



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สัญญาเลขที่ RDG5650123

โครงการ “การศึกษาสมมูลคาร์บอนและน้ำ  
เพื่อใช้เป็นข้อมูลทำคาร์บอนฟุตพริ้นต์และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์  
ของสวนยางพารา: ระยะที่ 2”

โดย รศ.ดร. พูนพิภพ เกษมทรัพย์ และคณะ  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
กรมวิชาการเกษตร

พฤษภาคม 2560

สัญญาเลขที่ RDG5650123

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การศึกษาสมดุลคาร์บอนและน้ำ  
เพื่อใช้เป็นข้อมูลทำคาร์บอนฟุตพริ้นต์และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์  
ของสวนยางพารา: ระยะที่ 2”

| คณะผู้วิจัย                  | สังกัด                 |
|------------------------------|------------------------|
| 1. รศ.ดร. พูนพิภพ เกษมทรัพย์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 2. ดร. ดวงรัตน์ ศตคุณ        | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 3. ดร. เจษฎา ภัทรเลอพงศ์     | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 4. ดร. เชษฐ สาทริกิจ         | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 5. ดร. ชมกฤษ ฉายาเวช         | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 6. ผศ.ดร. ทิพา พาโคกหม       | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 7. น.ส. อรุมา ด้วงงาม        | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 8. น.ส. ดอกแก้ว จุระ         | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 9. ผศ.ดร. หาญพล พึ่งรัมย์    | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  |
| 10. ดร. ไพรัช อุดมรัตน์      | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  |
| 11. ดร. กฤษดา สังข์สิงห์     | กรมวิชาการเกษตร        |
| 12. ดร. พิสมัย จันทูมา       | กรมวิชาการเกษตร        |

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)  
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)  
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช., สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

## บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

**ยางธรรมชาติ คือ green rubber** เนื่องจากต้นยางพาราจะตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เข้ามาไว้ในต้นและราก และเพิ่มคาร์บอนสะสมในดินจากการร่วงของใบ กิ่ง ตัน ผล และการสลายของราก ซึ่งช่วยลดคาร์บอนในอากาศ ที่เป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ แต่ในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลวิจัยที่ชัดเจนและน่าเชื่อถือได้ในระดับสากล ดังนั้น นักวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาปริมาณคาร์บอนที่สวนยางพาราตรึงได้ คาร์บอนที่สูญเสียไปจากการเขตกรรม และการเก็บเกี่ยว

คาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดโดยตรงหรือโดยอ้อมจากสวนยางพารา โดยนำเสนอเป็น CO<sub>2</sub> equivalent มีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ

1. องค์ประกอบของคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากกิจกรรมของต้นยางพาราและดิน (ประมาณ 90% ของคาร์บอนฟุตพริ้นต์)
2. องค์ประกอบของคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากการเขตกรรม ปุ๋ย ยา และสารเคมีที่ใช้ (ประมาณ 3-5% ของคาร์บอนฟุตพริ้นต์)
3. คาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากการเก็บเกี่ยวยางพารา (ประมาณ 5-10% ของคาร์บอนฟุตพริ้นต์)

นักวิจัยเสนอเทคนิค Eddy Covariance ซึ่งเป็นเทคนิคที่ตรวจวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างสวนยางพาราและบรรยากาศโดยตรงที่น่าเชื่อถือที่สุดในปัจจุบัน สำหรับการศึกษาองค์ประกอบคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากกิจกรรมของต้นยางพาราและดิน และศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากการเขตกรรม ปุ๋ย ยา และสารเคมีที่ใช้ และของเสียที่เกิดจากการปลูกยางพารา โดยวิธี LCA (Life cycle assessment) ที่ใช้สำหรับจัดทำฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมฯ และบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมฯ โดยเฉลี่ยของการปลูกยางพาราและของเสียที่เกิดจากการปลูกยางพารา และ ศึกษาองค์ประกอบของคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากการเก็บเกี่ยว โดยใช้ข้อมูลผลผลิต

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพืชเศรษฐกิจอื่นๆ โดยมีค่ามากกว่าพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นๆ 2-100 เท่า ถึงแม้ว่าการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของยางพาราที่ปลูกในประเทศไทยจะมีค่าน้อยที่สุดในโลกก็ตาม (6,900 m<sup>3</sup>.ton<sup>-1</sup>) (Mekonnen and Hoekstra, 2011) อนึ่งแม้ว่าในงานวิจัยของ UNESCO-IHE (2010) ได้ประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของยางพาราไทยลงรายละเอียดแยกเป็นรายจังหวัดมากกว่า 70 จังหวัดก็ตาม แต่การประเมินเหล่านั้นยังไม่มีตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) จึงมีข้อจำกัดใช้ได้เฉพาะในเชิงเปรียบเทียบข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของยางพาราที่ปลูกในพื้นที่ต่างๆ ระหว่างประเทศ หรือเชิงเปรียบเทียบกับพืชอื่น ๆ ในขณะนี้ประเทศไทยจึงยังไม่มีค่าสมบูรณ์ (Absolute value) ของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของยางพารา และยังไม่มีข้อมูลจากการตรวจวัดจริงสำหรับใช้ในการ validate แบบจำลอง นักวิจัยจึงเสนอให้ตรวจวัดวอเตอร์ฟุตพริ้นต์โดยตรงจากอัตราการคายระเหยของน้ำจากสวนยางพาราสู่บรรยากาศที่ตรวจวัดโดยตรงด้วยเทคนิค Eddy covariance ตามที่รายงานโดย Bhardwaj et al. (2010)

ชุดโครงการวิจัย “การศึกษาสมดุลคาร์บอนและน้ำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นต์และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา: ระยะที่ 2” ถูกเสนอขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดอัตราการเคลื่อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างสวนยางพาราและบรรยากาศด้วยเทคนิค Eddy covariance ร่วมกับการศึกษาองค์ประกอบของคาร์บอนจากการเขตกรรมและการเก็บเกี่ยว เพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นต์ และการตรวจวัดอัตราการเคลื่อนของน้ำระหว่างสวนยางพาราและบรรยากาศ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการ

จัดทำวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา ในส่วนของ green water และเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยสภาพแวดล้อมต่อสมดุลคาร์บอนและน้ำของระบบนิเวศยางพารา

การศึกษาดำเนินการในยางพาราพันธุ์ RRIM600 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ปลูกมากที่สุดในประเทศไทย ประกอบด้วยพื้นที่ศึกษา 2 แห่ง ได้แก่ (1) ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา พื้นที่ประมาณ 50 ไร่ ต้นยางมีอายุ 19 ปี (ในปี 2556) และเปิดกรีดมาแล้ว 10 ปี และ (2) แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ พื้นที่ประมาณ 100 ไร่ ต้นยางมีอายุ 4 ปี (ในปี 2556)

**การศึกษาสมดุลคาร์บอน** แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) การศึกษาสมดุลคาร์บอนในพื้นที่ปลูกยางพารา เป็นการวัดสมดุลคาร์บอนด้วยเทคนิค Eddy Covariance และ (2) การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมดุลคาร์บอนของการเกษตรกรรม ด้วยวิธี LCA ของพื้นที่ปลูกยางทางภาคตะวันออก

#### การศึกษาสมดุลคาร์บอนในพื้นที่ปลูกยางพารา

พื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยจากพื้นที่ปลูกยางพารา มีปริมาณเท่ากับ  $-3,694.84$  กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ ซึ่งแสดงว่าในระยะเวลาที่ดำเนินงานวิจัย พื้นที่ปลูกยางพาราดังกล่าวมีการเก็บกักคาร์บอนไว้  $3,694.84$  กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ (ตารางที่ 6-2) จากข้อมูลสมดุลคาร์บอนในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบ 1 ปี (1 ฤดูปลูก) ถูกนำมาคำนวณหา Carbon equivalent ของพื้นที่ปลูกยางพาราที่มีอายุ 19 ปี แสดงให้เห็นว่ามีคาร์บอนที่ถูกกักเก็บไว้ในพื้นที่ปลูกยางสูงถึง  $1,223.21$  กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 92.87 สำหรับปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาเนื่องมาจากการเกษตรกรรมนั้น คิดเป็นร้อยละ 0.68 และปริมาณคาร์บอนในน้ำยาง มีปริมาณ Carbon equivalent สูงถึงร้อยละ 7.81 สำหรับพื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยจากพื้นที่ปลูกยางพารา มีปริมาณเท่ากับ  $-1,214.08$  กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ ซึ่งแสดงว่าในระยะเวลาที่ดำเนินงานวิจัย (18 ต.ค. 55 – 30 เม.ย. 56 และ 1 พ.ย. 56 – 31 ส.ค. 57) พื้นที่ปลูกยางพาราดังกล่าวมีการเก็บกักคาร์บอนไว้  $1,214.08$  กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่

พื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ มีปริมาณคาร์บอนปลดปล่อยจากพื้นที่ปลูกยางพารา คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยจากพื้นที่ปลูกยางพารา มีปริมาณเท่ากับ  $-1,214.08$  กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ ซึ่งแสดงว่าในระยะเวลาที่ดำเนินงานวิจัย พื้นที่ปลูกยางพาราดังกล่าวมีการเก็บกักคาร์บอนไว้  $1,214.08$  กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ (ตารางที่ 1)

#### ตารางที่ 1    สรุปข้อมูลสมดุลคาร์บอนของพื้นที่ปลูกยางพารา

| Site                                                   | ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา | แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ    |
|--------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| ระยะเวลาในการบันทึกข้อมูล                              | 1 มิ.ย. 55 – 31 ธ.ค. 56 | 18 ต.ค. 55 – 30 เม.ย. 56 |
|                                                        | 1 ก.พ. 57 – 31 ส.ค. 57  | 1 พ.ย. 56 – 31 ส.ค. 57   |
| NEE (Net Ecosystem Exchange, $\text{kg C ra}^{-1}$ )   | $-3,694.84$             | $-1,214.08$              |
| GPP (Gross Primary Production, $\text{kg C ra}^{-1}$ ) | $8,781.15$              | $2,113.22$               |
| $R_e$ (Ecosystem Respiration, $\text{kg C ra}^{-1}$ )  | $5,886.34$              | $899.14$                 |
| NEP (Net Ecosystem Production, $\text{kg C ra}^{-1}$ ) | $-3,694.84$             | $-1,214.08$              |
| สถานะของระบบนิเวศยางพารา                               | Carbon sink             | Carbon sink              |

หมายเหตุ    Carbon sink    คือ    ระบบนิเวศยางพาราทำหน้าที่เป็นทั้งแหล่งกักเก็บคาร์บอน ( $\text{NEP} < 0$ )

## การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมมูลคาร์บอนของการเกษตรกรรมในพื้นที่ปลูกยางทางภาคตะวันออก

ศึกษาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเกษตรกรรมในพื้นที่ภาคตะวันออก รวม 2 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดระยอง และจันทบุรี ด้วยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเกษตรกรรม อาทิเช่น ขนาดของสวนยางพารา ลักษณะการถือครองที่ดิน และลักษณะทางสังคม เป็นต้น

จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์น้ำยางสด 1 กิโลกรัม ในพื้นที่สวนยางพาราทั้งสวนขนาดเล็ก สวนขนาดกลาง และสวนขนาดใหญ่ ของจังหวัดระยองและจันทบุรี พบว่า ปริมาณการใช้ปุ๋ยต่อหน่วย เป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ โดยค่าเฉลี่ยการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสฟอรัส และปุ๋ยโพแทสเซียมของแต่ละพื้นที่ ซึ่งพบว่าพื้นที่ที่มีการใช้ปุ๋ยมากจะมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ไปในแนวโน้มที่สูงเช่นเดียวกัน และขนาดของสวนยางพาราไม่มีผลกระทบต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพาราแต่อย่างใด

อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคาร์บอนฟุตพริ้นต์ คือ ปริมาณผลผลิตน้ำยางพาราสดต่อไร่ หากเกษตรกรสามารถเพิ่มผลผลิตได้มากขึ้น โดยที่ยังใช้ปุ๋ยในปริมาณเท่าเดิม หรือใช้ปุ๋ยลดลงแต่ยังคงผลผลิตเท่าเดิม จะสามารถลดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ได้ แต่ในปัจจุบันนั้น พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ปุ๋ยมากเกินไปจนความจำเป็นและมากกว่าปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการตามข้อแนะนำของสถาบันวิจัยยาง

**การศึกษาสมมูลน้ำ**ของพื้นที่ปลูกยางพารา พื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา มีค่าการคายระเหยน้ำที่วัดได้จริง (ETR) และการใช้น้ำของพื้นที่ปลูกยาง (CWU) เท่ากับ 2,178.51 มิลลิเมตร และ 3,485.60 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 6-3) และจากข้อมูลการใช้น้ำของยางพาราของ Site ที่ 1 ในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น มีค่าการใช้น้ำสะสมในรอบ 1 ปี เท่ากับ 1,492.53 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ สำหรับผลผลิตน้ำยางของพื้นที่ Site ที่ 1 ในปี 2556 มีค่าเท่ากับ 159.93 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของพื้นที่ปลูกยางพารา Site ที่ 1 (green water) จึงมีค่าเท่ากับ 9.33 ลูกบาศก์เมตรของน้ำต่อกิโลกรัมผลผลิตน้ำยาง

พื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ มีค่าการคายระเหยน้ำที่วัดได้จริง (ETR) และการใช้น้ำของพื้นที่ปลูกยาง (CWU) เท่ากับ 865.33 มิลลิเมตร และ 1,384.51 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ตามลำดับ สำหรับผลผลิตน้ำยางของพื้นที่ Site ที่ 2 เนื่องจากต้นยางพารามีอายุ 4 ปี ยังไม่มีการเปิดกรีดและคาดว่าจะเปิดกรีดได้เมื่ออายุ 6 ปี จึงยังสามารถคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของพื้นที่ปลูกยางพาราในปีนี้ได้ (ตารางที่ 2)

### ตารางที่ 2   สรุปข้อมูลสมมูลน้ำของพื้นที่ปลูกยางพารา

| Site                                                            | ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา | แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ    |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| ระยะเวลาในการบันทึกข้อมูล                                       | 1 มิ.ย. 55 – 31 ธ.ค. 56 | 18 ต.ค. 55 – 30 เม.ย. 56 |
|                                                                 | 1 ก.พ. 57 – 31 ส.ค. 57  | 1 พ.ย. 56 – 31 ส.ค. 57   |
| ETR (ค่าการคายระเหยน้ำ, mm)                                     | 2,178.51                | 865.33                   |
| CWU (ค่าการใช้น้ำของยางพารา, m <sup>3</sup> rai <sup>-1</sup> ) | 3,485.60                | 1,384.51                 |

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Kc) ของยางพาราตลอดฤดูปลูก ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยาง ฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา เปรียบเทียบค่า Kc ปี 2556 (1 ม.ค. – 31 ธ.ค. 56) และ ปี 2557 (31 ม.ค. – 31 ส.ค. 57) พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า Kc ในแต่ละช่วงเวลาใกล้เคียงกัน แม้ว่าค่า Kc ในปี 2557 มีค่าสูงกว่าค่า Kc ในปี 2556 เล็กน้อย การแบ่งการเจริญเติบโตในแต่ละช่วง ซึ่งได้แก่ Initial stage, Development stage, Mid-season stage และ Late season stage พบว่า

- initial stage ช่วงฤดูแล้งที่ต้นยางพาราใบร่วงหมดและยังไม่มีมีการแตกใบใหม่  
ใช้เวลา 29 วัน : 1 - 29 ม.ค.
- Development stage ช่วงที่ยางพาราเริ่มแตกใบและเจริญเติบโตจนขยายขนาดเต็มที่  
ใช้เวลา 40 วัน : 30 ม.ค. – 9 มี.ค.
- Mid-season stage ช่วงที่ใบของต้นยางเจริญเติบโตเต็มที่ได้แล้ว  
ใช้เวลา 174 วัน : 10 มี.ค. – 30 ส.ค.
- Late-season stage ช่วงที่ใบยางเริ่มร่วงจนร่วงหมดทั้งต้น  
ใช้เวลา 123 วัน : 31 ส.ค. – 31 ธ.ค.

#### **การศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อสมดุลคาร์บอนและน้ำ**

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (NEE) กับจุลภูมิอากาศ อันได้แก่ ปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) ความเข้มแสง (PAR) อุณหภูมิอากาศ (Tair) ปริมาณน้ำฝน (Rain) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และ ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (VPD, Vapor pressure deficit) พบว่า ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา ในฤดูปลูกปี 2556 พบว่า NEE มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ PAR และ Tair และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rn Rain และ RH สำหรับในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า NEE มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR และ Tair และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rain และ RH นอกจากนี้ พบว่า NEE มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุด สำหรับ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ ในฤดูปลูกปี 2556 และ 2557 พบว่า NEE มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair และ RH และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rain และ VPD นอกจากนี้ยังพบว่า NEE มีความสัมพันธ์กับ VPD มากที่สุด

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยของน้ำ (ETR) สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Kc) และการใช้น้ำของยางพารา (CWU) กับจุลภูมิอากาศ ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา ในฤดูปลูกปี 2556 พบว่า ค่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rain RH และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rn PAR และ Tair สำหรับในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า ค่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn RH และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ PAR Tair และ Rain นอกจากนี้ยังพบว่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์กับ PAR มากที่สุด สำหรับค่า Kc ในปี 2556 พบว่า มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair Rain และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ RH ขณะที่ในปี 2557 พบว่า สำหรับค่า Kc พบว่า มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair Rain RH และ VPD นอกจากนี้ยังพบว่า Kc มีความสัมพันธ์กับ Rn มากที่สุด สำหรับ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ ในฤดูปลูกปี 2556 พบว่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn RH และ VPD และมีความสัมพันธ์

ไปในทิศทางเดียวกับ PAR Tair และ Rain และในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rain และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rn PAR Tair และ RH สำหรับค่า Kc พบว่า ในฤดูปลูกปี 2556 ค่า Kc มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair Rain และ RH และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ VPD และในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า Kc มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair Rain และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ RH

### ข้อเสนอแนะ การใช้ประโยชน์จากข้อมูล

#### 1. การศึกษาสมดุลคาร์บอนของพื้นที่ปลูกยางพารา

ข้อมูลการศึกษาคาร์บอนประกอบของคาร์บอนจากการเขตกรรมและการเก็บเกี่ยว สามารถนำไปใช้คำนวณประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์ ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ได้

ทั้งนี้ ควรรายงานเพิ่มเติมข้อมูลสมดุลคาร์บอนที่ตรวจวัดด้วยเทคนิค Eddy Covariance จากโครงการนี้ ซึ่งแสดงถึงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมากที่ยางพาราธรรมชาติตรึงจากบรรยากาศและเก็บไว้ จะบ่งชี้ชัดว่า ยางพาราธรรมชาติ เป็น Green rubber ซึ่งจะช่วยให้ประเทศไทยสามารถใช้เป็นข้อได้เปรียบในการแข่งขันกับยางสังเคราะห์ได้

#### 2. การศึกษาสมดุลน้ำของพื้นที่ปลูกยางพารา

ข้อมูลจากการศึกษาคาร์บอนประกอบของน้ำ จากการเขตกรรมและการเก็บเกี่ยว สามารถนำไปใช้คำนวณประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ แบบ Grey water footprint ได้

ในขณะที่ ข้อมูลสมดุลน้ำที่ตรวจวัดด้วยเทคนิค Eddy Covariance จากโครงการนี้ สามารถนำไปใช้เป็นตัวประเมิน Green water footprint ได้

#### 3. การใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อการสอบเทียบ (Calibration) และการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation)

ข้อมูลต่างๆ จากโครงการนี้ เช่น ค่าสมบรูณ์ของคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นในอากาศ และสมดุลคาร์บอนและน้ำ ที่ตรวจวัดด้วยเทคนิค Eddy Covariance จากโครงการนี้ เป็นข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการตรวจวัดจริง (ไม่ใช่จาก Simulation model) ที่สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อการสอบเทียบ (Calibration) และการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) สำหรับการศึกษาวิจัยอื่นๆ เช่น งานทางด้าน Remote sensing

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยการศึกษาสมมูลคาร์บอนและน้ำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นต์และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา: ระยะที่ 2 นี้ ถูกเสนอขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดสมมูลคาร์บอนและน้ำด้วยเทคนิค Eddy Covariance สำหรับใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของระบบนิเวศยางพารา และเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยสภาพแวดล้อมต่อสมมูลคาร์บอนและน้ำของระบบนิเวศยางพารา

การศึกษาสมมูลคาร์บอนและน้ำของระบบนิเวศยางพารา พันธุ์ RRIM600 โดยศึกษาในพื้นที่ปลูกยาง 2 แห่ง ได้แก่ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา พื้นที่ประมาณ 50 ไร่ ต้นยางมีอายุ 19 ปี (ในปี 2556) เปิดกรีดมาแล้ว 10 ปี และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ พื้นที่ประมาณ 100 ไร่ ต้นยางมีอายุ 4 ปี (ในปี 2556) ยังไม่เปิดกรีด

โครงการย่อยที่ 1 การศึกษาสมมูลคาร์บอนของพื้นที่ปลูกยางพารา แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) การตรวจวัดสมมูลคาร์บอนในพื้นที่ปลูกยางพาราด้วยเทคนิค Eddy Covariance และ (2) การศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเกษตรกรรมของพื้นที่ปลูกยางทางภาคตะวันออก ด้วยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเกษตรกรรม

การศึกษาสมมูลคาร์บอนในพื้นที่ปลูกยางพารา พบว่า พื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยจากพื้นที่ปลูกยางพารา มีปริมาณเท่ากับ -3,694.84 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ ซึ่งแสดงว่าในระยะเวลาที่ดำเนินงานวิจัย (1 มิ.ย. 55 – 31 ธ.ค. 56 และ 1 ก.พ. 57 – 31 ส.ค. 57) พื้นที่ปลูกยางพาราดังกล่าวมีการเก็บกักคาร์บอนไว้ 3,694.84 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ จากข้อมูลสมมูลคาร์บอนในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบ 1 ปี (1 ฤดูปลูก) ถูกนำมาคำนวณหา Carbon equivalent ของพื้นที่ปลูกยางพาราที่มีอายุ 19 ปี แสดงให้เห็นว่ามีคาร์บอนที่ถูกกักเก็บไว้ในพื้นที่ปลูกยางสูงถึง 1,223.21 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 92.87 สำหรับปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาเนื่องมาจากการเกษตรกรรมนั้น คิดเป็นร้อยละ 0.68 และปริมาณคาร์บอนในน้ำยาง มีปริมาณ Carbon equivalent สูงถึงร้อยละ 7.81 สำหรับพื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยจากพื้นที่ปลูกยางพารา มีปริมาณเท่ากับ -1,214.08 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ ซึ่งแสดงว่าในระยะเวลาที่ดำเนินงานวิจัย (18 ต.ค. 55 – 30 เม.ย. 56 และ 1 พ.ย. 56 – 31 ส.ค. 57) พื้นที่ปลูกยางพาราดังกล่าวมีการเก็บกักคาร์บอนไว้ 1,214.08 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่

การศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นต์อันเนื่องมาจากการเกษตรกรรมของพื้นที่ปลูกยางทางภาคตะวันออก ในพื้นที่ 2 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดระยอง และจันทบุรี ด้วยวิธี LCA จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์น้ำยางสด 1 กิโลกรัม ในพื้นที่สวนยางพาราทั้งสวนขนาดเล็ก สวนขนาดกลาง และสวนขนาดใหญ่ของจังหวัดระยองและจันทบุรี พบว่า ปริมาณการใช้ปุ๋ยต่อหน่วยเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ โดยค่าเฉลี่ยการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะพบว่าพื้นที่ที่มีการใช้ปุ๋ยมากจะมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ไปในแนวโน้มที่สูงเช่นเดียวกัน ส่วนขนาดของสวนยางพารานั้นไม่ส่งผลกระทบต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพาราแต่อย่างใด อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อคาร์บอนฟุตพริ้นต์ คือ ปริมาณผลผลิตน้ำยางพาราสดต่อไร่ หากเกษตรกรสามารถเพิ่มผลผลิตได้มากขึ้น โดยที่ยังใช้ปุ๋ยในปริมาณเท่าเดิม หรือใช้ปุ๋ยลดลงแต่ผลผลิตยังคงมีปริมาณเท่าเดิม จะสามารถลดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ได้ แต่ในปัจจุบันนั้นพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ปุ๋ยมากเกินไปจนความจำเป็นและมากกว่าปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการตามคำแนะนำของสถาบันวิจัยยาง

โครงการย่อยที่ 2 การศึกษาสมดุลน้ำของพื้นที่ปลูกยางพารา พบว่า Site ที่ 1 มีค่าการคายระเหยน้ำที่วัดได้จริง (ETR) และการใช้น้ำของพื้นที่ปลูกยาง (CWU) เท่ากับ 2,178.51 มิลลิเมตร และ 3,485.60 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ตามลำดับ และจากข้อมูลการใช้น้ำของยางพาราของ Site ที่ 1 ในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น มีค่าการใช้น้ำสะสมในรอบ 1 ปี เท่ากับ 1,492.53 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ สำหรับผลผลิตน้ำยางของพื้นที่ Site ที่ 1 ในปี 2556 มีค่าเท่ากับ 159.93 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของพื้นที่ปลูกยางพารา Site ที่ 1 (green water) จึงมีค่าเท่ากับ 9.33 ลูกบาศก์เมตรของน้ำต่อกิโลกรัมผลผลิตน้ำยาง

พื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 มีค่าการคายระเหยน้ำที่วัดได้จริง (ETR) และการใช้น้ำของพื้นที่ปลูกยาง (CWU) เท่ากับ 865.33 มิลลิเมตร และ 1,384.51 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ตามลำดับ สำหรับผลผลิตน้ำยางของพื้นที่ Site ที่ 2 เนื่องจากต้นยางพารามีอายุ 4 ปี ยังไม่มีการเปิดกรีดและคาดว่าจะเปิดกรีดได้เมื่ออายุ 6 ปี จึงยังสามารถคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของพื้นที่ปลูกยางพาราในปีนี้ได้

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Kc) ตลอดฤดูปลูก ณ Site ที่ 1 จากการเปรียบเทียบค่า Kc ปี 2556 (1 ม.ค. – 31 ธ.ค. 56) และ ปี 2557 (31 ม.ค. – 31 ส.ค. 57) พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า Kc ในแต่ละช่วงเวลาใกล้เคียงกัน แม้ว่าค่า Kc ในปี 2557 มีค่าสูงกว่าค่า Kc ในปี 2556 เล็กน้อย การแบ่งการเจริญเติบโตในแต่ละช่วง ซึ่งได้แก่ Initial stage ได้แก่ ช่วงฤดูแล้งที่ต้นยางพาราใบร่วงหมดและยังไม่มีมีการแตกใบใหม่ ใช้เวลา 29 วัน (1 - 29 ม.ค.) Development stage ได้แก่ ช่วงที่ยางพาราเริ่มแตกใบและเจริญเติบโตจนขยายขนาดเต็มที่ ใช้เวลา 40 วัน (30 ม.ค. – 9 มี.ค.) Mid-season stage ได้แก่ ช่วงที่ใบของต้นยางเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ใช้เวลา 174 วัน (10 มี.ค. – 30 ส.ค.) และ Late-season stage ได้แก่ ช่วงที่ใบยางเริ่มร่วงจนร่วงหมดทั้งต้น ใช้เวลา 123 วัน (31 ส.ค. – 31 ธ.ค.)

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (NEE) กับจุลภูมิอากาศ อันได้แก่ ปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) ความเข้มแสง (PAR) อุณหภูมิอากาศ (Tair) ปริมาณน้ำฝน (Rain) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และ ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (VPD, Vapor pressure deficit) พบว่า ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา ในฤดูปลูกปี 2556 พบว่า NEE มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ PAR และ Tair และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rn Rain และ RH สำหรับในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า NEE มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR และ Tair และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rain และ RH นอกจากนี้ พบว่า NEE มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุด สำหรับ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ ในฤดูปลูกปี 2556 และ 2557 พบว่า NEE มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair และ RH และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rain และ VPD นอกจากนี้ยังพบว่า NEE มีความสัมพันธ์กับ VPD มากที่สุด

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยของน้ำ (ETR) สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Kc) และการใช้น้ำของยางพารา (CWU) กับจุลภูมิอากาศ ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา ในฤดูปลูกปี 2556 พบว่า ค่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rain RH และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rn PAR และ Tair สำหรับในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า ค่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn RH และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ PAR Tair และ Rain นอกจากนี้ยังพบว่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์กับ PAR มากที่สุด สำหรับค่า Kc ในปี 2556 พบว่า มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair Rain และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ RH ขณะที่ในปี 2557 พบว่า สำหรับค่า Kc พบว่า มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair Rain RH และ VPD นอกจากนี้ยังพบว่า Kc มีความสัมพันธ์กับ Rn มากที่สุด

สำหรับ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ ในฤดูปลูกปี 2556 พบว่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn RH และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ PAR Tair และ Rain และในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rain และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rn PAR Tair และ RH สำหรับค่า Kc พบว่า ในฤดูปลูกปี 2556 ค่า Kc มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair Rain และ RH และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ VPD และในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า Kc มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair Rain และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ RH

**คำสำคัญ:** ยางพารา, เทคนิค Eddy Covariance, สมดุลคาร์บอน, สมดุลน้ำ, คาร์บอนฟุตพริ้นต์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์

## Abstract

Study on carbon and water balance to estimate carbon footprint and water footprint of Para rubber plantation: 2<sup>nd</sup> period was proposed to measure carbon and water flux with Eddy Covariance technique. Carbon and water flux data is the basic data that were used to assess carbon and water footprint of Para rubber ecosystem. In addition, these basic data were used to study effect of environmental factors on carbon and water balance of Para rubber ecosystem.

Carbon and water balance of Para rubber ecosystem (RRIM 600) were measured from 2 plantation sites, Site no. 1: Chachoengsao Rubber Research Center, Chachoengsao province which the area was about 50 rais. A Para rubber tree was 19 years-old (in 2013) and has been tapped over 10 years. Site no. 2: The plantation in Bueng Kan province. Area was about 100 rais. Para rubber tree was 4 years-old (in 2013) and have never been tapped.

The 1<sup>st</sup> sub-project, study of carbon balance of Para rubber plantation, was separated into 2 parts, (1) measurement of carbon flux of Para rubber plantation by using Eddy Covariance technique. And (2) Study on carbon footprint from cultural practices by using LCA (Life Cycle Assessment) method to provide the factors that effect on carbon footprint.

Study on carbon flux of Para rubber plantation at Site no. 1, the result shown that carbon flux from plantation was  $-3,694.84 \text{ Kg C.Rai}^{-1}$  which indicate that during this period (Jun. 1, 2012 – Dec. 31, 2013 and Feb. 1, 2014 to Aug. 31, 2014) carbon about  $3,694.84 \text{ Kg C.Rai}^{-1}$  was stored by plantation. In 2013, which carbon data was completely collected along the year were calculated for carbon equivalent of the 19-year-old rubber plantation. The result shown that carbon about  $1,223.21 \text{ Kg C.Rai}^{-1}$  was stored in rubber plantation (92.87% of carbon equivalent). For carbon that was released from rubber plantation by cultural practice was 0.68% and carbon content in latex has a high carbon equivalent value of 7.81%. The Site no. 2 Site, carbon flux of this plantation was  $-1,214.08 \text{ Kg C.Rai}^{-1}$  which indicate that during this period (Oct. 18, 2012 – Apr. 30, 2013 and Nov. 1, 2013 – Aug. 31, 2014) carbon about  $1,214.08 \text{ Kg C.Rai}^{-1}$  was stored by plantation.

Carbon footprint from cultural practice was studied at the East part of Thailand, Rayong and Chantaburi province, by using LCA (Life cycle assessment) method. The result shown that there were 2 major factors that affect on carbon footprint, fertilization and latex yield per area. We also found that the areas where fertilizer is used have carbon footprints in the same trend. The size of the plantation does not affect the carbon footprint of the rubber plantation. Another factor affecting carbon footprint is the latex yield per area, if farmers could increase productivity more by using the same amount of fertilizer. Or the fertilizer is reduced, but the output is still the same. It could reduce carbon footprint. In the present, we found that most of farmers use fertilizer more than necessary and more than the

amount of plant nutrients requirement which was recommended the Rubber Research Institute.

The 2<sup>nd</sup> sub-project, study of water balance of Para rubber plantation. Site no. 1, the cumulative of evapotranspiration (ETR) and crop water use (CWU) were 2,178.51 mm and 3,485.60 m<sup>3</sup>.rai<sup>-1</sup>, respectively. In 2013 which carbon data was completely collected along the year, CWU was 1,492.53 m<sup>3</sup>.rai<sup>-1</sup> and latex yield was about 159.93 Kg rai<sup>-1</sup>. So water footprint (green water) of this plantation was 9.33 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O.Kg yield<sup>-1</sup>. For site no. 2, cumulative of ETR and CWU 865.33 mm and 1,384.51 m<sup>3</sup>.rai<sup>-1</sup>, respectively. This site was 4-year-old plantation and has never been tapped. It was the cause that we could not calculate water footprint of this plantation.

Comparison of Crop coefficient (Kc) of Site no. 1 between 2013 (1 Jan. to 31 Dec.) and 2014 (31 Jan. to 31 Aug.). The result shown that The trend of Kc change in each period was similar, although the Kc value in 2557 was slightly higher than in 2013.

Growth stage of rubber tree during a year was separated into 4 stage, (1) Initial stage, the dry period that rubber tree no leave (29 days, Jan. 1 - 29), (2) Development stage, the period during which the rubber trees start to foliate and grow until mature (40 days, Jan. 30 – Mar. 9), (3) Mid-season stage is the period that leaves of the rubber tree matured (174 days, Mar. 10-Aug. 30). And (4) the Late-season stage is the defoliated period when the leaves began to fall and fall all the time (123 days, Aug. 31-Dec. 31)

Correlation between environmental factors (Net radiation (Rn), Photosynthetic active radiation (PAR), Air temperature (Tair), Rain, Relative humidity (RH) and Vapor pressure deficit (VPD)) and ecosystem exchange (NEE) were analyzed by using correlation analysis. At Site no. 1, Chachoengsao Rubber Research Center, in 2013, the result shown that NEE was negatively correlated with PAR and Tair, and positively correlated with Rn, Rain and RH. In 2014, NEE was negatively correlated with Rn, PAR and Tair, and positively correlated with Rain and RH. In addition, NEE was most correlated with RH. At Site no. 2, Para rubber plantation in Bueng Kan province, in 2013 and 2014, the result shown that NEE was negatively correlated with Rn, PAR Tair and RH, and positively correlated with Rain and VPD. In addition, NEE was most correlated with VPD.

Correlation between environmental factors water flux parameters (Evapotranspiration (ETR), Crop water use (CWU) and Crop coefficient (Kc)) were analyzed by using correlation analysis. At Site no. 1, Chachoengsao Rubber Research Center, in 2013, the result shown that ETR and CWU were negatively correlated with Rain, RH and VPD, and positively correlated with Rn, PAR and Tair. In 2014, ETR and CWU were negatively correlated with Rn, RH and VPD, and positively correlated with PAR, Tair and Rain. In addition, ETR and CWU were most correlated with PAR. For Kc, in 2013, the negative correlation was found with Rn, PAR, Tair, Rain and VPD

while the positive correlation was found with RH. In 2014, Kc was negatively correlated with Rn, PAR, Tair, Rain, RH and VPD and Kc was most correlated with Rn.

At Site no. 2, Para rubber plantation in Bueng Kan province, in 2013, the result shown that ETR and CWU were negatively correlated with Rn, RH and VPD, and positively correlated with PAR, Tair and Rain. In 2014, ETR and CWU were negatively correlated with Rain and VPD, and positively correlated with Rn, PAR, Tair and RH. For Kc, in 2013, the negative correlation was found with Rn, PAR, Tair, Rain and RH while the positive correlation was found with VPD. In 2014, Kc was negatively correlated with Rn, PAR, Tair, Rain and VPD and positively correlated with RH.

**Keywords:** *Rubber, Eddy covariance technique, Carbon balance, Water balance, Carbon footprint and Water footprint*

## กิตติกรรมประกาศ

แผนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้ทั้งหมดในเอกสารนี้ นักวิจัย ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ผู้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด และขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของสำนักประสานงานชุดโครงการยางพารา ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และประสานงานด้านต่างๆ

ขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิจัยยางมะเขือเทศ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย อันได้แก่ แปลงทดลองยางพารา อ. สนาบชัยเขต จ. มะเขือเทศ และขอขอบคุณ คุณวิศิษฐ์ จิรวิงศ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย อันได้แก่ แปลงปลูกยางพารา อ. ปากคาด จังหวัดบึงกาฬ สำหรับใช้ในการศึกษาสมมูลคาร์บอนและน้ำ

ขอขอบคุณอาจารย์และนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยและหน่วยงานวิจัยภายใต้เครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการด้านยางพารา (HRPP) อันได้แก่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบัน CIRAD และสถาบันวิจัยยาง ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์และห้องปฏิบัติการวิจัย การเสนอแนะและแนะนำทางวิชาการในด้านต่างๆ

และขอขอบคุณนักวิจัยและผู้ช่วยนักวิจัยของแผนงานวิจัยทุกท่านที่ช่วยให้การดำเนินงานวิจัยสำเร็จ ลุล่วงด้วยดี

## สารบัญ

|                                                                                                                                                            | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| สารบัญ                                                                                                                                                     | ก    |
| สารบัญตาราง                                                                                                                                                | ค    |
| สารบัญภาพ                                                                                                                                                  | ช    |
| ภาคผนวก                                                                                                                                                    | ฎ    |
| บทที่ 1 บทนำ                                                                                                                                               | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ                                                                                                                       | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์                                                                                                                                           | 3    |
| 1.3 แผนงานของโครงการ                                                                                                                                       | 3    |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ                                                                                                                                    | 5    |
| บทที่ 2 การศึกษาองค์ประกอบของคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากกิจกรรมของต้น<br>ยางพาราและดิน                                                                     | 6    |
| 2.1 ศึกษาสมมูลคาร์บอนของพื้นที่ปลูกยางพาราด้วยเทคนิค Eddy<br>Covariance                                                                                    | 6    |
| 2.1.1 ซ่อมแซมและตรวจสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ Eddy Covari-<br>ance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ                                                        | 6    |
| 2.1.2 ผลการศึกษาสมมูลคาร์บอนของสวนยางพารา                                                                                                                  | 10   |
| 2.2 การวัดอัตราการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เหนือผิวดิน<br>(Soil respiration)                                                                            | 20   |
| 2.2.1 การดำเนินงานวิจัย                                                                                                                                    | 20   |
| 2.2.2 ผลการดำเนินงานวิจัย                                                                                                                                  | 23   |
| 2.3 ข้อมูลประกอบอื่น ๆ                                                                                                                                     | 33   |
| 2.3.1 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นรอบโคนต้นยาง                                                                                                                | 33   |
| 2.3.2 การประเมินดัชนีพื้นที่ใบของพื้นที่ปลูกยางพารา (Stand leaf<br>area index) จากข้อมูลชีวมวลของยางพาราที่ร่วงหล่นสู่พื้น<br>(Litter trap) ของแปลงยางพารา | 35   |
| 2.4 การคำนวณค่า GPP, NEP และ NBP                                                                                                                           | 39   |
| 2.5 ค่า Carbon equivalent ที่ใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาคาร์บอนฟุตพริ้นต์                                                                                    | 44   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                                                    | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| บทที่ 3 การศึกษาองค์ประกอบของคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากการเขตรกรรม ปุ๋ย ยา และสารเคมีที่ใช้ และของเสียที่เกิดขึ้น | 46   |
| 3.1 บทนำ                                                                                                           | 46   |
| 3.2 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น                                                                                        | 48   |
| 3.3 การดำเนินโครงการ                                                                                               | 56   |
| 3.4 ผลการดำเนินงาน                                                                                                 | 64   |
| บทที่ 4 การศึกษาสมมูลน้ำเพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา                                      | 74   |
| 4.1 ศึกษาสมมูลของน้ำของพื้นที่ปลูกยางพาราด้วยเทคนิค Eddy Covariance                                                | 74   |
| 4.2 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา                                                                         | 85   |
| บทที่ 5 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อสมมูลคาร์บอนและน้ำของสวนยางพารา                                                    | 86   |
| 5.1 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อสมมูลคาร์บอน                                                                           | 86   |
| 5.2 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อสมมูลน้ำ                                                                               | 86   |
| บทที่ 6 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ                                                                             | 90   |
| เอกสารอ้างอิง                                                                                                      | 94   |

## สารบัญตาราง

|              | หน้า |
|--------------|------|
| ตารางที่ 1-1 | 3    |
| ตารางที่ 1-2 | 4    |
| ตารางที่ 1-3 | 5    |
| ตารางที่ 2-1 | 7    |
| ตารางที่ 2-2 | 12   |
| ตารางที่ 2-3 | 13   |
| ตารางที่ 2-4 | 31   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

|                                                                                                                                                                                                                                                                      | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 2-5                                                                                                                                                                                                                                                         | 43   |
| แสดงค่าอัตราการผลิตปฐมภูมิรวม (GPP) การหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศ (Re) และผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบ (NEP) ของพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิถุนายน 2555 – 31 ธันวาคม 2556 และ 1 กุมภาพันธ์ – 31 สิงหาคม 2557)                      |      |
| ตารางที่ 2-6                                                                                                                                                                                                                                                         | 44   |
| แสดงค่า Carbon equivalent ของข้อมูลการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของพื้นที่ปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM 600 Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา                                                                                                                       |      |
| ตารางที่ 2-7                                                                                                                                                                                                                                                         | 45   |
| แสดงค่าอัตราการผลิตปฐมภูมิรวม (GPP) การหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศ (Re) ผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบ (NEP) และผลผลิตน้ำยาง (Yield) ของพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิถุนายน 2555 – 31 ธันวาคม 2556 และ 1 กุมภาพันธ์ – 31 สิงหาคม 2557) |      |
| ตารางที่ 3-1                                                                                                                                                                                                                                                         | 51   |
| ตารางแสดงข้อมูลพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจจังหวัดระยองปี 2556/2557                                                                                                                                                                                                        |      |
| ตารางที่ 3-2                                                                                                                                                                                                                                                         | 52   |
| พื้นที่การปลูกยางพารารายตำบล จังหวัดระยอง                                                                                                                                                                                                                            |      |
| ตารางที่ 3-3                                                                                                                                                                                                                                                         | 55   |
| สถิติการเพาะปลูกยางพาราปีการเพาะปลูก ปี พ.ศ.2541-2555                                                                                                                                                                                                                |      |
| ตารางที่ 3-4                                                                                                                                                                                                                                                         | 56   |
| พื้นที่ยืนต้นยางพารารายอำเภอ จังหวัดจันทบุรี ปี พ.ศ.2551                                                                                                                                                                                                             |      |
| ตารางที่ 3-5                                                                                                                                                                                                                                                         | 59   |
| พื้นที่การปลูกยางพารา แยกรายอำเภอ จังหวัดระยอง                                                                                                                                                                                                                       |      |
| ตารางที่ 3-6                                                                                                                                                                                                                                                         | 59   |
| พื้นที่การปลูกยางพารา แยกรายอำเภอ จังหวัดจันทบุรี                                                                                                                                                                                                                    |      |
| ตารางที่ 3-7                                                                                                                                                                                                                                                         | 60   |
| จำนวนกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรในแต่ละพื้นที่ ของจังหวัดระยองและจังหวัดจันทบุรี                                                                                                                                                                                            |      |
| ตารางที่ 3-8                                                                                                                                                                                                                                                         | 61   |
| ตัวอย่างการจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life cycle Inventory) ของผลิตภัณฑ์ใดๆ                                                                                                                                                                                        |      |
| ตารางที่ 3-9                                                                                                                                                                                                                                                         | 66   |
| ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการปลูกยางพารา 1 ไร่ สวนขนาดเล็ก จังหวัดระยอง                                                                                                                                                                                            |      |
| ตารางที่ 3-10                                                                                                                                                                                                                                                        | 67   |
| ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการปลูกยางพารา 1 ไร่ สวนขนาดกลาง จังหวัดระยอง                                                                                                                                                                                            |      |
| ตารางที่ 3-11                                                                                                                                                                                                                                                        | 68   |
| ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการปลูกยางพารา 1 ไร่ สวนขนาดใหญ่ จังหวัดระยอง                                                                                                                                                                                            |      |
| ตารางที่ 3-12                                                                                                                                                                                                                                                        | 69   |
| ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการปลูกยางพารา 1 ไร่ สวนขนาดเล็ก จังหวัดจันทบุรี                                                                                                                                                                                         |      |
| ตารางที่ 3-13                                                                                                                                                                                                                                                        | 70   |
| ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการปลูกยางพารา 1 ไร่ สวนขนาดกลาง จังหวัดจันทบุรี                                                                                                                                                                                         |      |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

|               | หน้า                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ตารางที่ 3-14 | ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการปลูกยางพารา 1 ไร่ สวนขนาดใหญ่<br>จังหวัดจันทบุรี 71                                                                                                                                                                                                           |
| ตารางที่ 3-15 | ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของสวนยางพาราตลอดช่วงอายุต้นยางต่อไร่<br>สวนขนาดเล็ก สวนขนาดกลาง และสวนขนาดใหญ่ ของจังหวัดระยอง<br>และจังหวัดจันทบุรี 71                                                                                                                                                 |
| ตารางที่ 3-16 | ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์น้ำยางสด 1 กิโลกรัม ของจังหวัด<br>ระยองและจังหวัดจันทบุรี 71                                                                                                                                                                                                 |
| ตารางที่ 3-17 | ค่าการใช้ปุ๋ยของสวนยางพาราแต่ละพื้นที่เปรียบเทียบกับค่าคาร์บอน<br>ฟุตพริ้นท์ของแต่ละพื้นที่ 73                                                                                                                                                                                               |
| ตารางที่ 3-18 | ปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นของการปลูกต้นยางพารา สำหรับภาค<br>ตะวันออก ตามคำแนะนำของสถาบันวิจัยยาง ปี พ.ศ.2556 73                                                                                                                                                                                |
| ตารางที่ 4-1  | แสดงค่าผลผลิตน้ำยาง (yield, kg.Rai <sup>-1</sup> ), ค่าการคายระเหยของน้ำ<br>(Evapo - transpiration, mm) และค่าการใช้น้ำของยางพารา (Crop<br>Water Use) ของพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ.<br>ฉะเชิงเทรา (1 มิ.ย. 2555 – 31 ธ.ค. 2556 และ 1 ก.พ. 2557 - 31<br>ส.ค. 2557) 83 |
| ตารางที่ 4-2  | แสดง ค่าการคายระเหยของน้ำ (Evapo -transpiration, mm) และ<br>ค่าการใช้น้ำของยางพารา (Crop Water Use) ของพื้นที่ศึกษา Site ที่<br>2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ต.ค. 2555-30 เม.ย. 2556 และ 1<br>พ.ย. 2556 – 31 ส.ค. 2557) 84                                                                    |
| ตารางที่ 4-3  | แสดงค่าอัตราการฟุตพริ้นท์ของพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยาง<br>ฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มกราคม – 31 ธันวาคม 2556) 85                                                                                                                                                                |
| ตารางที่ 5-1  | แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอน<br>สุทธิ (NEE) และปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมต่างๆ ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัย<br>ยางฉะเชิงเทรา จ.ฉะเชิงเทรา 88                                                                                                                             |
| ตารางที่ 5-2  | แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอน<br>สุทธิ (NEE) และปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมต่างๆ ณ Site ที่ 2 แปลง<br>เกษตรกร จ. บึงกาฬ 88                                                                                                                                            |
| ตารางที่ 5-3  | แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยของน้ำ<br>สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา และการใช้น้ำของยางพารา กับ<br>ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมต่างๆ ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา<br>จ.ฉะเชิงเทรา 89                                                                                       |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

|              |                                                                                                                                                                                       | หน้า |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 5-4 | แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยของน้ำ<br>สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา และการใช้น้ำของยางพารา กับ<br>ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมต่างๆ ณ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึง<br>กาฬ | 89   |
| ตารางที่ 6-1 | สรุปข้อมูลของพื้นที่ศึกษา                                                                                                                                                             | 90   |
| ตารางที่ 6-2 | สรุปข้อมูลสมมูลคาร์บอนของพื้นที่ปลูกยางพารา                                                                                                                                           | 91   |
| ตารางที่ 6-3 | สรุปข้อมูลสมมูลน้ำของพื้นที่ปลูกยางพารา                                                                                                                                               | 92   |

## สารบัญรูป

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | หน้า |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 2-1 | แปลงยางพารา Site ที่ 1 ณ ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา อำเภอสนามชัย เขต จังหวัดฉะเชิงเทรา                                                                                                                                                                                                                                                             | 8    |
| รูปที่ 2-2 | แปลงยางพารา Site ที่ 2 ณ แปลงเกษตรกร อำเภอบางคาค จังหวัด บึงกาฬ                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 9    |
| รูปที่ 2-3 | ความเข้มแสงสะสม (Cumulative photosynthetically active radiation, PAR, $\text{mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ) และอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (Tair, $^{\circ}\text{C}$ ) ของแปลงปลูกยางพารา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิถุนายน 2555 – 31 สิงหาคม 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ตุลาคม 2555 – 31 สิงหาคม 2557) | 14   |
| รูปที่ 2-4 | ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยและปริมาณน้ำฝนรายวันของแปลงปลูกยางพารา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิถุนายน 2555 – 31 สิงหาคม 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ตุลาคม 2555 – 31 สิงหาคม 2557)                                                                                                                       | 15   |
| รูปที่ 2-5 | ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Global solar radiation, $R_g$ ) และปริมาณรังสีสุทธิ (Net radiation, $R_n$ ) สะสมต่อวันของแปลงปลูกยางพารา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิถุนายน 2555 – 31 สิงหาคม 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ตุลาคม 2555 – 31 สิงหาคม 2557)                                                    | 18   |
| รูปที่ 2-6 | อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (Net ecosystem exchange, NEE) ของแปลงปลูกยางพารา ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิถุนายน 2555 – 31 ธันวาคม 2556 และ 1 กุมภาพันธ์ – 31 สิงหาคม 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ตุลาคม 2555 – 30 เมษายน 2556 และ 12 พฤศจิกายน 2556 – 31 สิงหาคม 2557)                        | 19   |
| รูปที่ 2-7 | พื้นที่ที่ใช้สำหรับวัดอัตราการหายใจของแปลงศึกษา ณ ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา (รูปบน) และแปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ (รูปล่าง)                                                                                                                                                                                                      | 21   |
| รูปที่ 2-8 | การติดตั้งชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ ณ พื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 สวนยางพาราของเกษตรกร อำเภอบางคาค จังหวัดบึงกาฬ                                                                                                                                                                                                                               | 22   |
| รูปที่ 2-9 | การติดตั้งระบบ Solar panel บนหอคอย ณ พื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 สวนยางพาราของเกษตรกร อำเภอบางคาค จังหวัดบึงกาฬ                                                                                                                                                                                                                                     | 22   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

|             | หน้า |
|-------------|------|
| รูปที่ 2-10 | 23   |
| รูปที่ 2-11 | 27   |
| รูปที่ 2-12 | 28   |
| รูปที่ 2-13 | 29   |
| รูปที่ 2-14 | 30   |
| รูปที่ 2-15 | 32   |
| รูปที่ 2-16 | 34   |
| รูปที่ 2-17 | 34   |
| รูปที่ 2-18 | 37   |
| รูปที่ 2-19 | 37   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

|             | หน้า |
|-------------|------|
| รูปที่ 2-20 | 38   |
| รูปที่ 2-21 | 42   |
| รูปที่ 3-1  | 50   |
| รูปที่ 3-2  | 54   |
| รูปที่ 3-3  | 60   |
| รูปที่ 3-4  | 62   |
| รูปที่ 3-5  | 63   |
| รูปที่ 3-6  | 72   |
| รูปที่ 3-7  | 72   |
| รูปที่ 4-1  | 78   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 4-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 79   |
| การคายระเหยของน้ำ (Evapotranspiration, ETR) และ การคายน้ำของพืช (Transpiration, E) ของแปลงปลูกยางพารา ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิ.ย. 2555 – 31 ธ.ค. 2556 และ 1 ก.พ. 2557 - 31 ส.ค. 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ต.ค. 2555-30 เม.ย. 2556 และ 1 พ.ย. 2556 – 31 ส.ค. 2557)                                             |      |
| รูปที่ 4-3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 80   |
| ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Water Use) ของแปลงปลูกยางพาราได้รับ ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิ.ย. 2555 – 31 ธ.ค. 2556 และ 1 ก.พ. 2557 - 31 ส.ค. 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ต.ค. 2555-30 เม.ย. 2556 และ 1 พ.ย. 2556 – 31 ส.ค. 2557)                                                                                   |      |
| รูปที่ 4-4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 81   |
| ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient; Kc) แปลงปลูกยางพาราได้รับ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิ.ย. 2555 – 31 ธ.ค. 2556 และ 1 ก.พ. 2557 - 31 ส.ค. 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ต.ค. 2555-30 เม.ย. 2556 และ 1 พ.ย. 2556 – 31 ส.ค. 2557)                                                                         |      |
| รูปที่ 4-5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 82   |
| ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Kc) ของยางพาราตลอดฤดูปลูก ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา ตั้งแต่วันที่ 31 มกราคม 2557 – 31 สิงหาคม 2557 (จุดที่บ) เปรียบเทียบกับ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Kc) ของยางพาราตลอดฤดูปลูก ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2556 – 31 ธันวาคม 2556 (จุดโปร่ง) |      |

## ภาคผนวก

|                                                                                                               | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ภาคผนวก ก ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ | 100  |
| ภาคผนวก ข ภาพ System boundary ที่รวม กิจกรรมที่ใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์             | 105  |
| ภาคผนวก ค ข้อมูลประกอบในการศึกษาสมดุลคาร์บอนและน้ำคาร์บอนฟุตพริ้นต์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์                      | 107  |
| ภาคผนวก ง การศึกษาสมดุลคาร์บอนและน้ำของพื้นที่ปลูกยางพาราด้วยวิธี Eddy Covariance                             | 109  |
| ภาคผนวก จ สมมติฐานการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์                                                                   | 114  |
| ภาคผนวก ฉ Verification Sheet แปลงปลูกยางพารา                                                                  | 118  |
| ภาคผนวก ช แบบสอบถามข้อมูลบัญชีรายการ                                                                          | 122  |
| ภาคผนวก ซ เอกสารอ้างอิงประกอบการวิจัย                                                                         | 137  |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

**ยางธรรมชาติ** คือ **Green rubber** เนื่องจากต้นยางพาราจะตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เข้ามาไว้ในต้นและราก และเพิ่มคาร์บอนสะสมในดินจากการร่วนของใบ กิ่ง ต้น ผล และการสลายของราก ซึ่งช่วยลดคาร์บอนในอากาศอันเป็นแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญ แต่ในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลวิจัยที่ชัดเจนและน่าเชื่อถือได้ในระดับสากล ว่ายางธรรมชาติช่วยลดคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้มากเท่าใด (คาร์บอนฟุตพริ้นต์) ดังนั้น นักวิจัยจึงต้องศึกษาวิจัยปริมาณคาร์บอนที่สวนยางพาราตรึงได้ คาร์บอนที่สูญเสียไปจากการเกษตรกรรม และการเก็บเกี่ยว

#### คาร์บอนฟุตพริ้นต์ (Carbon footprint) (Wright *et al.*, 2011)

“คาร์บอนฟุตพริ้นต์เป็นผลรวมของแก๊สเรือนกระจก (GHG) ที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยบุคคล องค์กร เหตุการณ์ หรือผลิตภัณฑ์ ทั้งทางตรงและทางอ้อม”

“การวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนทั้งหมดที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากระบบ หรือกิจกรรมที่กำหนดไว้ โดยพิจารณาแหล่งที่เกี่ยวข้องทั้งหมด (source, sink และ storage) ภายใต้ขอบเขตพื้นที่และเวลาของประชากร ระบบ หรือกิจกรรมที่น่าสนใจ”

**คาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา** คือ ปริมาณแก๊สเรือนกระจกที่เกิดโดยตรงหรือโดยอ้อมจากสวนยางพารา โดยนำเสนอเป็น CO<sub>2</sub> equivalent มีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ

1. องค์ประกอบของคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากกิจกรรมของต้นยางพาราและดิน (ประมาณ 90% ของคาร์บอนฟุตพริ้นต์ทั้งหมด) โดยในองค์ประกอบนี้นักวิจัยเสนอเทคนิค Eddy Co-variance ซึ่งเป็นเทคนิคที่ตรวจวัดการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างสวนยางพาราและบรรยากาศโดยตรงที่น่าเชื่อถือที่สุด
2. องค์ประกอบของคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากการเกษตรกรรม ปุ๋ย ยา และสารเคมีที่ใช้ (ประมาณ 3-5% ของคาร์บอนฟุตพริ้นต์ทั้งหมด) และของเสียที่เกิดจากการปลูกลูกยางพารา โดยวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบ Gate to Gate ที่ใช้ที่สำหรับจัดทำบัญชีข้อมูลสิ่งแวดล้อม และบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม โดยเฉลี่ยของการปลูกลูกยางพาราและของเสียที่เกิดจากการปลูกลูกยางพารา
3. คาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากการเก็บเกี่ยวยางพารา (ประมาณ 5-10% ของคาร์บอนฟุตพริ้นต์) โดยในองค์ประกอบนี้ นักวิจัยจะศึกษาด้วยวิธีการประเมินจากข้อมูลผลผลิต

นักวิจัยเสนอเทคนิค Eddy Covariance ซึ่งเป็นเทคนิคที่ตรวจวัดการแลกเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างสวนยางพาราและบรรยากาศโดยตรงที่น่าเชื่อถือที่สุดในการศึกษาองค์ประกอบคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากกิจกรรมของต้นยางพาราและดิน และศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากการเกษตรกรรม ปุ๋ย ยา และสารเคมีที่ใช้ และของเสียที่เกิดจากการปลูกลูกยางพารา โดยวิธีการประเมินจากการเกษตรกรรมมาตรฐานร่วมกับการสำรวจ (Hillier *et al.*, 2009) และศึกษาองค์ประกอบของคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากการเก็บเกี่ยวโดยใช้ข้อมูลผลผลิต

ในปัจจุบันการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์ (Carbon footprint) หรือ LCA (Life cycle assessment) ของผลิตภัณฑ์ยังไม่ได้นำปริมาณคาร์บอนที่ต้นยางพาราตรึงจากอากาศ และเก็บไว้ในส่วนต่างๆ ของดินและราก (ซึ่งส่วนหนึ่งกลายเป็นองค์ประกอบของดิน) เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณ แต่จะคิดเฉพาะคาร์บอนที่ปล่อยออกมาในกระบวนการแปรรูปเท่านั้น ทำให้ยางธรรมชาติมีสมดุลคาร์บอนเป็นบวกเพราะมีการปล่อยคาร์บอนออกมาในกระบวนการผลิต แทนที่จะเป็นลบมากๆ เมื่อรวมถึงคาร์บอนที่ตรึงไว้ในสวนยางพาราด้วย ทำให้เสียโอกาสที่จะใช้จุดเด่นของยางธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะเรื่องคาร์บอนฟุตพริ้นต์ให้เป็นประโยชน์ เพราะในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ หรือ LCA ของยางพาราธรรมชาติที่ประเมินได้มีการปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศในปริมาณที่ใกล้เคียงกับยางสังเคราะห์ ซึ่งทำให้อุตสาหกรรมยางพาราธรรมชาติของประเทศไทยยังไม่สามารถนำความจริงที่เป็นประโยชน์ในเรื่องคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของยางธรรมชาติไปเป็นจุดขายแข่งกับยางสังเคราะห์ได้

ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ประเทศไทยจะต้องมีข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่ตรวจวัดจริงจากพื้นที่ปลูกเป็นของตนเอง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการตัดสินใจในเชิงนโยบาย และเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้ยางธรรมชาติของประเทศไทย

อนึ่ง กระบวนการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์ หรือ LCA นั้นยินยอมให้สามารถนำคาร์บอนที่เก็บสะสมไว้ในต้นยางพารามาคิดคำนวณฟุตพริ้นต์ได้ ถ้ามีข้อมูลและหลักฐานวิทยาศาสตร์อย่างเพียงพอ นักวิจัยจึงเสนอชุดโครงการนี้ เพื่อให้ประเทศไทยได้มีข้อมูลสมดุลคาร์บอน เพื่อใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของยางพารา

นอกจากนี้ การศึกษาสมดุลของคาร์บอนของสวนยางพารา จะทำให้ทราบความสามารถในการสร้างชีวมวลของยางพารา และทราบผลกระทบของปัจจัยสภาพแวดล้อมต่อการสร้างชีวมวลอันเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต่อการประเมินผลกระทบของสภาวะโลกร้อนต่อยางพารา และยังช่วยให้สามารถตัดสินใจเกี่ยวกับการเขตกรรมและการจัดการการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เป็นประโยชน์ทั้งในระดับเกษตรกรและระดับนโยบายของประเทศ

### วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (Water footprint) (Hoekstra *et al.*, 2009)

“วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ คือ ปริมาณน้ำ (freshwater) ในการผลิตของผลิตภัณฑ์ โดยวัดปริมาณน้ำทั้งหมดที่เกี่ยวข้องอยู่ในห่วงโซ่อุปทาน”

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพืชเศรษฐกิจอื่น ๆ ทั้งหมดทุกชนิด โดยมีค่ามากกว่าพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ 2-100 เท่า ถึงแม้ว่าการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของยางพาราที่ปลูกในประเทศไทยจะมีค่าน้อยที่สุดในโลกก็ตาม ( $6,900 \text{ m}^3 \cdot \text{ton}^{-1}$ ) (Mekonnen and Hoekstra, 2011) อนึ่งแม้ว่าในงานวิจัยของ UNESCO-IHE (2010) ได้ประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของยางพาราไทยลงรายละเอียดแยกเป็นรายจังหวัดมากกว่า 70 จังหวัด แต่การประเมินเหล่านั้นยังไม่มี การตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ซึ่งมีข้อจำกัดใช้ได้เฉพาะในเชิงเปรียบเทียบข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของยางพาราที่ปลูกในพื้นที่ต่างๆ ระหว่างประเทศ หรือเชิงเปรียบเทียบกับพืชอื่นๆ ในขณะนี้ประเทศไทยจึงยังไม่มีค่าสมบูรณ์ (Absolute value) ของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของยางพารา และยังไม่มีการตรวจสอบการตรวจวัดจริงสำหรับใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง (Validate) ของแบบจำลอง นักวิจัยจึงเสนอให้ตรวจวัดวอเตอร์ฟุตพริ้นต์โดยตรงจากอัตราการคายระเหยของน้ำจากสวนยางพาราสู่บรรยากาศที่ตรวจวัดด้วยเทคนิค Eddy Covariance ตามที่รายงานโดย Bhardwaj *et al.* (2010) ทารด้วยข้อมูลผลผลิตที่ได้

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อตรวจวัดสมดุลคาร์บอนและน้ำด้วยเทคนิค Eddy covariance สำหรับใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา ซึ่งยังไม่เคยมีการศึกษามาก่อน

2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยสภาพแวดล้อมต่อสมดุลคาร์บอนและน้ำของสวนยางพารา

## 3. แผนงานของโครงการ

โครงการประกอบด้วย 2 โครงการย่อย ได้แก่

โครงการย่อยที่ 1 การศึกษาสมดุลคาร์บอน เพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา

โครงการย่อยที่ 2 การศึกษาสมดุลน้ำเพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา

แผนงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำเทคนิค Eddy covariance ไปใช้ตรวจวัดสมดุลคาร์บอนและน้ำของสวนยางพาราใน 2 พื้นที่ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน และนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการตัดสินใจเชิงนโยบาย

พื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 2 เขตพื้นที่ ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกยางทางภาคตะวันออก และพื้นที่ใหม่ ได้แก่ (1) ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา มีสวนยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุต้นยาง 19 ปี (พ.ศ. 2556) และ (2) แปลงปลูกยางพาราของเกษตรกร จังหวัดนครบึงกาฬ อายุต้น 4 ปี (พ.ศ. 2556) ซึ่งเป็นพื้นที่ในเขตพื้นที่การปลูกสวนยางพาราระยะที่ 2 แปรแผนไร่ และต่อเนื่องจากระยะที่ 2 หนึ่งล้านไร่ อนึ่ง พื้นที่ศึกษา (2) เป็นการศึกษาในสวนยางพาราปลูกใหม่ การศึกษาใน 2 พื้นที่ เพื่อเปรียบเทียบสมดุลคาร์บอนและคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางที่มีอายุและสภาพแวดล้อมต่างกัน อนึ่งสวนยางในพื้นที่ (2) เป็นสถานที่ที่ยังไม่เปิดกรีด โดยจะมีการเปิดกรีดในปี 2557 หรือ 2558 จึงยังคำนวณคาร์บอนและวอเตอร์ฟุตพริ้นต์โดยตรงไม่ได้ในปีที่ทำการศึกษา แต่จะให้ข้อมูลการตรึงคาร์บอนและการใช้น้ำในช่วงเวลาก่อนที่สวนยางจะให้ผลผลิต ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ตลอดอายุปลูกได้

### ตารางที่ 1-1 แผนของโครงการวิจัย

| ระยะเวลา     | กิจกรรม                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6 เดือนที่ 1 | 1. การประชุมหารือ สรุปลงแผนการดำเนินงานตลอดแผนงานวิจัย ระยะเวลา 1 ปี<br>2. ติดตามความก้าวหน้าของการดำเนินงานของโครงการย่อยทุกเดือน และประชุมสรุปลงผลการดำเนินงานวิจัย ทุก 2 เดือน<br>3. ประชุมสรุปลงผลการดำเนินงานวิจัย และจัดทำรายงานความก้าวหน้า |
| 6 เดือนที่ 2 | 1. ติดตามความก้าวหน้าของการดำเนินงานของโครงการย่อยทุกเดือน และประชุมสรุปลงผลการดำเนินงานวิจัย ทุก 2 เดือน<br>2. ประชุมสรุปลงผลการดำเนินงานวิจัย และจัดทำรายงานผลการวิจัย                                                                           |

ตารางที่ 1-2 แผนของโครงการย่อยที่ 1 การศึกษาสมดุลคาร์บอน เพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำคาร์บอน  
ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพาราในระยะเวลา 1 ปี

| ระยะเวลา     | กิจกรรม                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6 เดือนที่ 1 | <ol style="list-style-type: none"> <li>Eddy covariance <ol style="list-style-type: none"> <li>ดูแลรักษาและตรวจสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ Eddy covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 sites</li> <li>เก็บข้อมูลอัตราการเคลื่อนของคาร์บอนของสวนยางพารา</li> </ol> </li> <li>Soil respiration <ol style="list-style-type: none"> <li>เก็บข้อมูล Soil CO<sub>2</sub> efflux ของสวนยางพาราทั้ง 2 sites ทุก 2 หรือ 4 (กรณีที่เครื่องมือเสียหาย) สัปดาห์</li> <li>พัฒนาชุดอุปกรณ์วัดอัตราการหายใจของดินแบบอัตโนมัติ</li> </ol> </li> <li>วัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของเรือนพุ่มพืชในสวนยางพารา ดำเนินการ ณ แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ</li> <li>เก็บข้อมูลประกอบอื่น ๆ เช่น ข้อมูลด้าน Biometric และ Litter</li> <li>การคำนวณค่า GPP และ NEP</li> <li>คาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเกษตรกรรม ปุ๋ย ยา และสารเคมีที่ใช้ และของเสียที่เกิดขึ้น</li> </ol>                                                               |
| 6 เดือนที่ 2 | <ol style="list-style-type: none"> <li>Eddy covariance <ol style="list-style-type: none"> <li>ดูแลรักษาและตรวจสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ Eddy covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 sites</li> <li>เก็บข้อมูลอัตราการเคลื่อนของคาร์บอนของสวนยางพารา</li> </ol> </li> <li>Soil respiration <ol style="list-style-type: none"> <li>เก็บข้อมูล Soil CO<sub>2</sub> efflux ของสวนยางพาราทั้ง 2 sites ทุก 2 หรือ 4 (กรณีที่เครื่องมือเสียหาย) สัปดาห์</li> <li>พัฒนาชุดอุปกรณ์วัดอัตราการหายใจของดินแบบอัตโนมัติ</li> </ol> </li> <li>วัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของเรือนพุ่มพืชในสวนยางพารา ดำเนินการ ณ แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ</li> <li>เก็บข้อมูลประกอบอื่น ๆ เช่น ข้อมูลด้าน Biometric และ Litter</li> <li>การคำนวณค่า GPP และ NEP</li> <li>คาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเกษตรกรรม ปุ๋ย ยา และสารเคมีที่ใช้ และของเสียที่เกิดขึ้น</li> <li>การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 sites</li> </ol> |

**ตารางที่ 1-3** แผนของโครงการย่อยที่ 2 การศึกษาสมดุลน้ำเพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา ในระยะเวลา 1 ปี

| ระยะเวลา     | กิจกรรม                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6 เดือนที่ 1 | <ol style="list-style-type: none"> <li>Eddy covariance <ol style="list-style-type: none"> <li>ดูแลรักษาและตรวจสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ Eddy covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 sites</li> <li>เก็บข้อมูลอัตราการเคลื่อนของไอน้ำของสวนยางพารา</li> </ol> </li> <li>เก็บข้อมูลประกอบอื่น ๆ เช่น ข้อมูลจาก sap flow และ soil water content ผลผลิต</li> <li>การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพาราทั้ง 2 sites</li> </ol> |
| 6 เดือนที่ 2 | <ol style="list-style-type: none"> <li>Eddy covariance <ol style="list-style-type: none"> <li>ดูแลรักษาและตรวจสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ Eddy covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 sites</li> <li>เก็บข้อมูลอัตราการเคลื่อนของไอน้ำของสวนยางพารา</li> </ol> </li> <li>เก็บข้อมูลประกอบอื่น ๆ เช่น ข้อมูลจาก sap flow และ soil water content ผลผลิต</li> <li>การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพาราทั้ง 2 sites</li> </ol> |

**4. ผลที่คาดว่าจะได้รับ**

- คาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา ที่คำนวณได้ข้อมูล greenhouse gas flux rate ที่ตรวจวัดได้โดยตรงด้วยเทคนิค Eddy covariance และเป็นองค์ประกอบหลักของคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา ร่วมกับข้อมูลองค์ประกอบรองอื่น ๆ ของคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเขตกรรมและผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวจากโครงการย่อย
- ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา ที่คำนวณได้จากมูลพื้นฐาน water vapor flux rate ที่ตรวจวัดได้โดยตรงด้วยเทคนิค Eddy covariance ร่วมกับข้อมูลผลผลิตจากการเก็บเกี่ยว จากโครงการย่อย
- สามารถกำหนดค่า parameter สำคัญในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (เช่น ค่า Ra:Rh, Kc) จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ตรวจวัดได้โดยตรงจากเทคนิค Eddy covariance เพื่อจะนำไปใช้ในการคาดการณ์คาร์บอนและวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ในพื้นที่อื่น ๆ ได้ต่อไป
- ได้ข้อมูลพื้นฐานสำคัญเพียงชนิดเดียวที่สามารถจะใช้ validate แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณคาร์บอนและวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพาราได้
- ทราบอิทธิพลของปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมและการจัดการที่กำหนดความแปรปรวนคาร์บอนและวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ได้

## บทที่ 2

### การศึกษาสมดุลคาร์บอน

#### เพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา

#### 2.1 ศึกษาสมดุลคาร์บอนของพื้นที่ปลูกยางพาราด้วยเทคนิค Eddy Covariance

การศึกษาสมดุลคาร์บอนของสวนยางพาราดำเนินการใน 2 พื้นที่ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน ได้แก่

##### Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

แปลงยางอายุมาก ณ ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา (ละติจูด  $13^{\circ}34'21.97''N$  ลองจิจูด  $101^{\circ}28'5.53''E$  ความสูงจากระดับน้ำทะเล 69 เมตร) ตั้งอยู่ที่อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา แปลงทดลองตั้งอยู่กลางศูนย์วิจัย มีเนื้อที่ประมาณ 50 ไร่ เป็นพื้นที่ปลูกยางที่อาศัยน้ำฝน ปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุต้นยาง 20 ปี (ปี พ.ศ. 2557) ระยะปลูก  $2.5 \times 7$  เมตร และเปิดกรีดมาแล้ว 11 ปี ดินในพื้นที่ปลูกยางเป็นชุดดินกบินทร์บุรี ความลาดชันของพื้นที่ค่อนข้างต่ำ มีความสม่ำเสมอของเรือนยอดยางพารา (รูปที่ 2-1)

##### Site ที่ 2 พื้นที่สวนยางของเกษตรกร อำเภอบึงกาฬ จังหวัดบึงกาฬ

สวนยางพาราของเกษตรกร ตั้งอยู่ที่อำเภอบึงกาฬ จังหวัดบึงกาฬ (ละติจูด  $18^{\circ}13'22.77''N$  ลองจิจูด  $103^{\circ}18'59.46''E$  ความสูงจากระดับน้ำทะเล 200 เมตร) มีเนื้อที่ประมาณ 100 ไร่ เป็นพื้นที่ปลูกยางโดยอาศัยน้ำฝน ปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุต้นยาง 5 ปี (ปี พ.ศ. 2557) ระยะปลูก  $3 \times 7$  เมตร และเป็นต้นยางที่ยังไม่เปิดกรีด ดินในพื้นที่ปลูกยางเป็นชุดดินโนนพิสัย สวนยางพารานี้เป็นสวนยางพาราปลูกใหม่ อยู่ในเขตพื้นที่การปลูกสวนยางพารา ระยะที่ 3 แปรแผนไร่ และต่อเนื่องจากระยะที่ 2 หนึ่งล้านไร่ พื้นที่มีความลาดชันของพื้นที่ค่อนข้างต่ำ มีความสม่ำเสมอของเรือนยอดยางพารา (รูปที่ 2-2)

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาสมดุลคาร์บอนของสวนยางพารา มีดังนี้

#### 2.1.1 ซ่อมแซมและตรวจสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ Eddy Covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ

ดำเนินการตรวจสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ Eddy Covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ ณ แปลงศึกษา Site ที่ 1 และ 2 ซึ่งมีการสร้างหอคอยสูง 25 และ 15 เมตร และได้ติดตั้งชุดอุปกรณ์ Eddy Covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดจุลภูมิอากาศเรียบร้อยแล้ว ที่ระดับความสูง 27 และ 12 เมตร ตามลำดับ และดำเนินการสอบเทียบค่า (Calibrate) เครื่องวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำในอากาศ (Open-path  $CO_2$  and  $H_2O$  analyzer, LI-7500) ที่ติดตั้งอยู่บน Tower

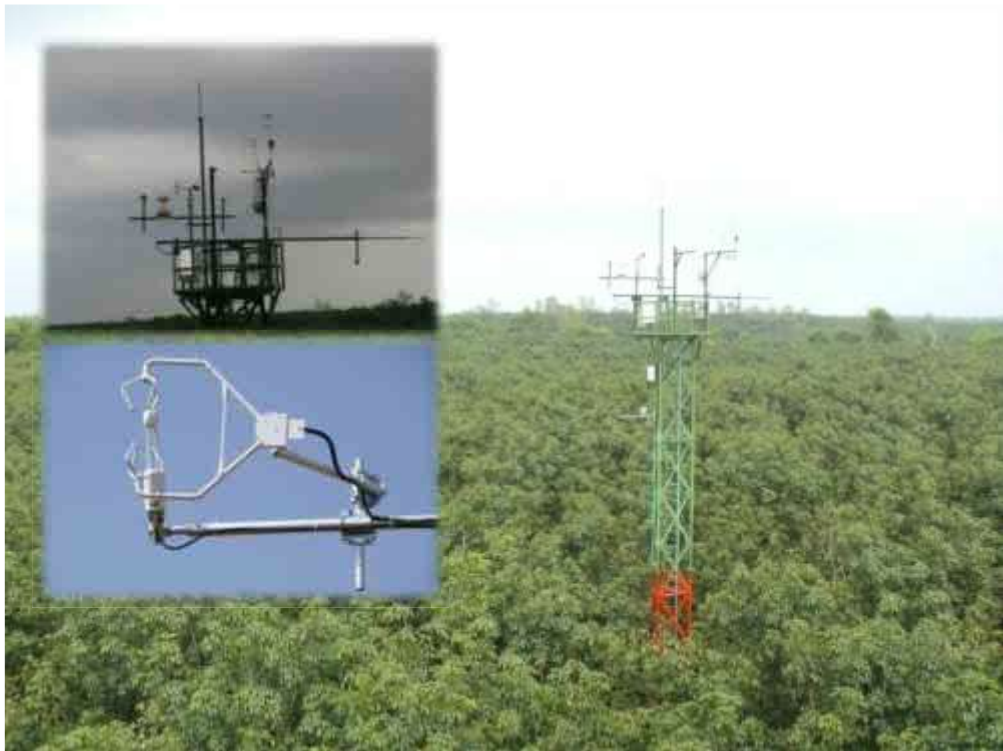
Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า เครื่องวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำในอากาศ (Open-path  $CO_2$  and  $H_2O$  analyzer, LI-7500) เครื่องที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเสียหาย และต้องดำเนินการส่งกลับไปซ่อมและสอบเทียบค่าใหม่ ณ บริษัท LI-COR, Ltd. USA ทำให้ไม่สามารถบันทึกข้อมูลสมดุลคาร์บอนและน้ำ ในช่วงเดือนมกราคม 2557 ได้

ขณะนี้ได้นำเครื่องวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ (เครื่องสำรอง) ไปติดตั้งใหม่แล้ว ซึ่งจะเริ่มบันทึกข้อมูลตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2557 เป็นต้นมา

Site ที่ 2 พื้นที่สวนยางของเกษตรกร อำเภอปากคาด จังหวัดบึงกาฬ พบว่า เครื่องวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำในอากาศ (Open-path CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O analyzer, LI-7500) เครื่องที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและเครื่องสำรองที่นำมาติดตั้งใหม่เสียหาย และต้องดำเนินการส่งกลับไปซ่อมและสอบเทียบค่าใหม่ ณ บริษัท LI-COR, Ltd. USA ทำให้ไม่สามารถบันทึกข้อมูลสมมูลคาร์บอนและน้ำ และมีข้อมูลขาดหายไปเกือบ 2 เดือน ขณะนี้เครื่องวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำได้รับการซ่อมและการสอบเทียบค่าเสร็จเรียบร้อยแล้ว และทีมวิจัยได้ดำเนินการติดตั้งเครื่องมือดังกล่าวไว้บน Tower ดังเดิมและสามารถเก็บข้อมูลได้ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2556 เป็นต้นมา

**ตารางที่ 2-1** ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ปลูกยาง ณ ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา และแปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ (จำนวนซ้ำ=3, \* แสดงค่า Standard deviations)

| ตัวแปร                            | ความลึกจากผิวดิน (cm) | ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา | แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ |
|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> ) | 0 - 10                | 1.57 ± 0.10*            | 1.26 ± 0.08               |
|                                   | 10 - 30               | 1.73 ± 0.04             | 1.42 ± 0.06               |
|                                   | 30 - 50               | 1.75 ± 0.06             | 1.44 ± 0.16               |
|                                   | 50 - 70               | 1.77 ± 0.09             | 1.46 ± 0.06               |
|                                   | 70 - 100              | 1.59 ± 0.07             | 1.45 ± 0.03               |
| pH                                | 0 - 10                | 5.32 ± 0.23             | 6.71 ± 0.29               |
|                                   | 10 - 30               | 5.76 ± 0.41             | 6.86 ± 0.17               |
|                                   | 30 - 50               | 5.75 ± 0.61             | 6.89 ± 0.29               |
|                                   | 50 - 70               | 5.84 ± 0.61             | 7.12 ± 0.12               |
|                                   | 70 - 100              | 5.63 ± 0.54             | 7.10 ± 0.04               |
| Organic carbon (%)                | 0 - 10                | 1.225 ± 0.248           | 0.314 ± 0.121             |
|                                   | 10 - 30               | 0.718 ± 0.283           | 0.225 ± 0.079             |
|                                   | 30 - 50               | 0.520 ± 0.103           | 0.187 ± 0.012             |
|                                   | 50 - 70               | 0.311 ± 0.072           | 0.123 ± 0.012             |
|                                   | 70 - 100              | 0.263 ± 0.060           | 0.129 ± 0.012             |
| Organic matter (%)                | 0 - 10                | 2.112 ± 0.427           | 0.541 ± 0.209             |
|                                   | 10 - 30               | 1.238 ± 0.487           | 0.387 ± 0.136             |
|                                   | 30 - 50               | 0.897 ± 0.178           | 0.322 ± 0.021             |
|                                   | 50 - 70               | 0.537 ± 0.124           | 0.212 ± 0.021             |
|                                   | 70 - 100              | 0.454 ± 0.104           | 0.222 ± 0.021             |
| Total carbon (%)                  | 0 - 10                | 1.193 ± 0.256           | 0.347 ± 0.049             |
|                                   | 10 - 30               | 0.700 ± 0.310           | 0.300 ± 0.036             |
|                                   | 30 - 50               | 0.577 ± 0.093           | 0.283 ± 0.015             |
|                                   | 50 - 70               | 0.400 ± 0.069           | 0.237 ± 0.031             |
|                                   | 70 - 100              | 0.373 ± 0.040           | 0.260 ± 0.056             |
| Total nitrogen (%)                | 0 - 10                | 0.083 ± 0.012           | 0.033 ± 0.006             |
|                                   | 10 - 30               | 0.063 ± 0.015           | 0.027 ± 0.006             |
|                                   | 30 - 50               | 0.057 ± 0.006           | 0.030 ± 0.010             |
|                                   | 50 - 70               | 0.047 ± 0.012           | 0.023 ± 0.006             |
|                                   | 70 - 100              | 0.043 ± 0.006           | 0.027 ± 0.006             |



**รูปที่ 2-1** แปลงยางพารา Site ที่ 1 ณ ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา



รูปที่ 2-2 แปลงยางพารา Site ที่ 2 ณ แปลงเกษตรกร อำเภอปากคาด จังหวัดบึงกาฬ

## 2.1.2 ผลการศึกษาสมดุลคาร์บอนของสวนยางพารา

### 2.1.2.1 ข้อมูลจุลภูมิอากาศ

ข้อมูลจุลภูมิอากาศต่างๆ ได้แก่ ความเข้มแสงสะสมต่อวัน อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Global solar radiation;  $R_g$ ) และปริมาณรังสีสุทธิ (Net radiation,  $R_n$ ) ของพื้นที่ศึกษา 2 Site ได้แก่ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 รวมทั้งสิ้น 822 วัน และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร อำเภอบางบาล จังหวัดบึงกาฬ เป็นข้อมูลตั้งแต่วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 รวมทั้งสิ้น 683 วัน

#### ความเข้มแสงสะสม

ความเข้มแสงสะสมต่อวันในพื้นที่ปลูกยางพารา วัดด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Quantum sensor) รุ่น LI-190SA ของบริษัท Licor, Inc., U.S.A และคำนวณค่าเป็นความเข้มแสงสะสมต่อวัน จากการศึกษาพบว่า Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (822 วัน) มีความเข้มแสงสะสมอยู่ในช่วง  $2.67 - 225.05 \text{ mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  และมีความเข้มแสงสะสมเท่ากับ  $11,709.98 \text{ mol m}^{-2}$  ในช่วงระยะเวลา 822 วัน ที่ดำเนินการเก็บข้อมูล ความเข้มแสงสะสมต่อวันในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น มีความเข้มแสงสะสมอยู่ในช่วง  $2.67 - 24.32 \text{ mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  และมีความเข้มแสงสะสมเท่ากับ  $5,418 \text{ mol m}^{-2}$  ในช่วงระยะเวลา 1 ปี ค่าความเข้มแสงสะสมมีค่าต่ำสุดและสูงสุดปรากฏในวันที่ 28 มกราคม 2556 และ 8 พฤษภาคม 2556 (รูปที่ 2-3 และตารางที่ 2-2)

Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (683 วัน) มีความเข้มแสงสะสมอยู่ในช่วง  $2.28 - 24.21 \text{ mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  และมีความเข้มแสงสะสมเท่ากับ  $10,540.81 \text{ mol m}^{-2}$  ในช่วงระยะเวลา 683 วัน ที่ดำเนินการเก็บข้อมูล ความเข้มแสงสะสมต่อวันในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น มีความเข้มแสงสะสมอยู่ในช่วง  $2.28 - 24.21 \text{ mol m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  และมีความเข้มแสงสะสมเท่ากับ  $5,625 \text{ mol m}^{-2}$  ในช่วงระยะเวลา 1 ปี ค่าความเข้มแสงสะสมมีค่าต่ำสุดและสูงสุดปรากฏในวันที่ 3 มีนาคม 2556 และ 12 สิงหาคม 2556 (รูปที่ 2-3 และตารางที่ 2-3)

จากข้อมูลในปี 2556 ปรากฏว่าความเข้มแสงสะสมในรอบ 1 ปี ของแปลงปลูกยางพารา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา มีค่าน้อยกว่า Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ

#### อุณหภูมิอากาศ

อุณหภูมิอากาศในพื้นที่ปลูกยางพารา วัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Temperature and Relative Humidity Probe) รุ่น HMP45C ของบริษัท Vaisala Inc., U.S.A. และนำข้อมูลที่ได้อ่านคำนวณเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวัน จากการศึกษาพบว่า Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (822 วัน) มีค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่อวันอยู่ในช่วง  $19.87 - 31.14 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และสำหรับปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น ปรากฏค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่อวันอยู่ในช่วง  $19.87 - 31.14 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และมีค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ  $27.18 \text{ }^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันต่ำสุดและสูงสุดปรากฏในวันที่ 18 ธันวาคม 2556 และ 15 พฤษภาคม 2556 ตามลำดับ (รูปที่ 2-3 และตารางที่ 2-2)

Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (683 วัน) มีค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่อวันอยู่ในช่วง 15.62 – 30.78 °C และสำหรับปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น ปรากฏค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่อวันอยู่ในช่วง 15.62 – 30.59 °C และมีค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 25.48 °C อุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันต่ำสุดและสูงสุด ปรากฏในวันที่ 21 ธันวาคม 2556 และ 3 เมษายน 2556 ตามลำดับ (รูปที่ 2-3 และตารางที่ 2-3)

จากข้อมูลในปี 2556 ปรากฏว่าค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่อวันของแปลงปลูกยางพารา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา มีค่าสูงกว่า Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ

### **ความชื้นสัมพัทธ์**

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ปลูกยางพารา วัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Temperature and Relative Humidity Probe) รุ่น HMP45C ของบริษัท Vaisala Inc., U.S.A. และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวัน จากการศึกษาพบว่า Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (822 วัน) มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวันอยู่ในช่วง 40.5 – 99.2 % และสำหรับปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น ปรากฏค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวันอยู่ในช่วง 50.2 – 98.7 % และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 81.74 % ความชื้นสัมพัทธ์ต่อวันต่ำสุดปรากฏในวันที่ 18 มกราคม 2556 ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่อวันสูงสุดปรากฏในวันที่ 20 กันยายน 2556 และ 16 ตุลาคม 2556 (รูปที่ 2-4 และตารางที่ 2-2)

Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (683 วัน) มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวันอยู่ในช่วง 27.4 – 98.4 % และสำหรับปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น ปรากฏค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวันอยู่ในช่วง 27.4 – 98.4 % และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 69.17 % ความชื้นสัมพัทธ์ต่อวันต่ำสุดปรากฏในวันที่ 19 พฤษภาคม 2556 ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่อวันสูงสุดปรากฏในวันที่ 26 มิถุนายน 2556 (รูปที่ 2-4 และตารางที่ 2-3)

จากข้อมูลในปี 2556 ปรากฏว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวันของแปลงปลูกยางพารา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา มีค่าสูงกว่า Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ

### **ปริมาณน้ำฝน**

ปริมาณน้ำฝนต่อวันในพื้นที่ปลูกยางพารา วัดด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน Rain Gauges รุ่น TE525 TIPPING BUCKET Rain Gauges ของบริษัท Campbell Scientific, U.S.A. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเป็นปริมาณน้ำฝนรวมต่อวัน จากการศึกษาพบว่า Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (822 วัน) มีปริมาณน้ำฝนสะสมเท่ากับ 3,343.40 mm และสำหรับปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น ปรากฏว่ามีปริมาณน้ำฝนสะสมเท่ากับ 1,316.20 mm และมีค่าสูงสุดปรากฏในวันที่ 3 ตุลาคม 2556 ซึ่งมีปริมาณฝนสะสมต่อวันเท่ากับ 90.6 mm (รูปที่ 2-4 และตารางที่ 2-2)

Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (683 วัน) มีปริมาณน้ำฝนสะสม เท่ากับ 2,694.00 mm และสำหรับปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น ปรากฏว่ามีปริมาณน้ำฝนสะสมเท่ากับ 1,440.60 mm และมีค่าสูงสุด ปรากฏในวันที่ 15 ธันวาคม 2556 ซึ่งมีปริมาณฝนสะสมต่อวันเท่ากับ 60.4 mm (รูปที่ 2-4 และตารางที่ 2-3)

**ตารางที่ 2-2** ข้อมูลรายเดือนของความเข้มแสงสะสม (Cumulative photosynthetically active radiation, PAR,  $\text{mol m}^{-2} \text{month}^{-1}$ ) อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย ( $T_{\text{air}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (RH, %) ปริมาณน้ำฝน (Rain, mm) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสม (Global solar radiation,  $R_g$ ,  $\text{MW.m}^{-2} \text{month}^{-1}$ ) และปริมาณรังสีสุทธิสะสม (Net radiation,  $R_n$ ,  $\text{MW.m}^{-2} \text{month}^{-1}$ ) ของแปลงปลูกยางพารา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (15 มิถุนายน 2555 – 31 สิงหาคม 2557)

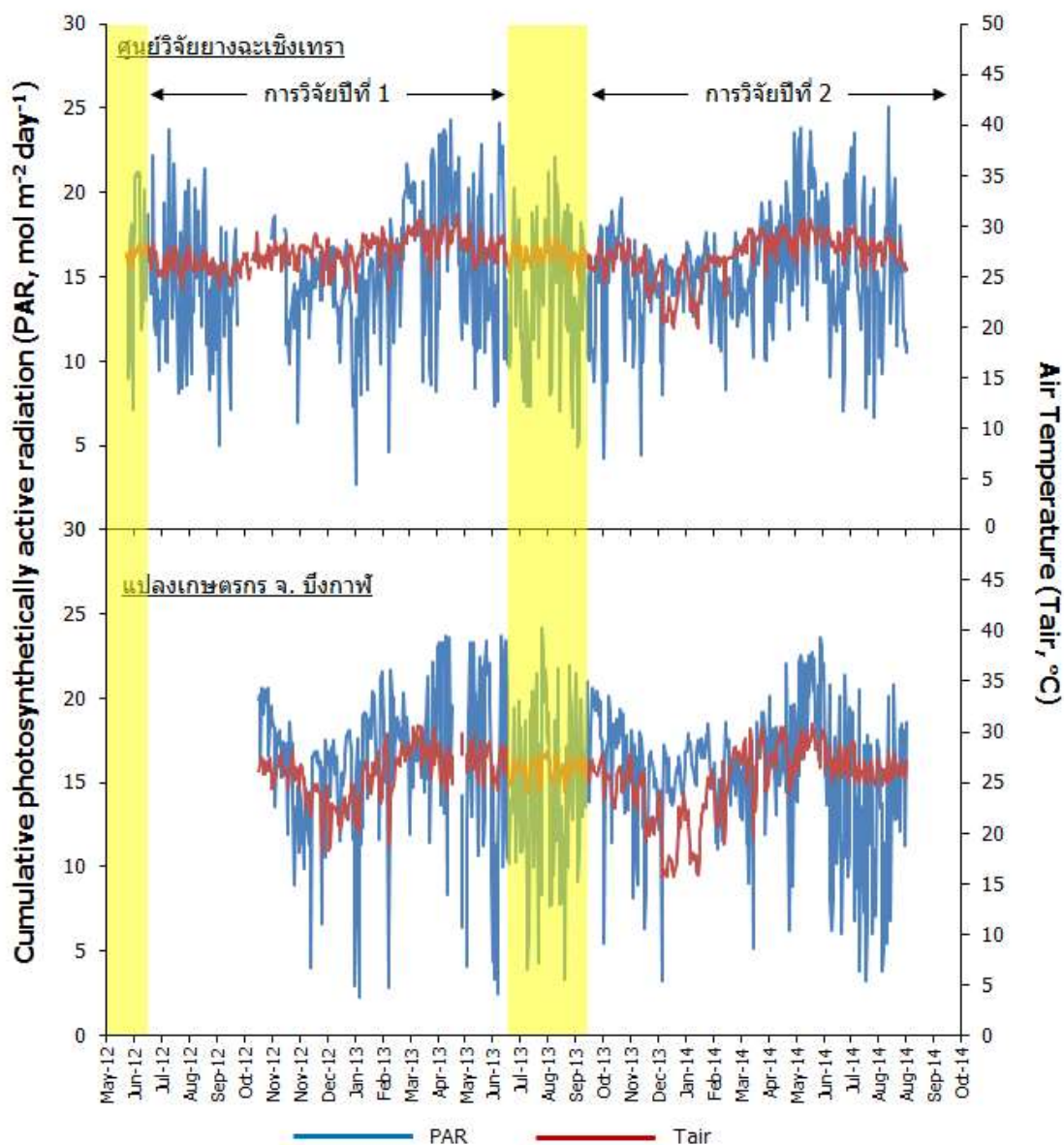
| ปี          | เดือน | PAR<br>( $\text{mol m}^{-2} \text{month}^{-1}$ ) | $T_{\text{air}}$<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | RH<br>(%) | Rain<br>(mm) | $R_g$<br>( $\text{MW.m}^{-2} \text{month}^{-1}$ ) | $R_n$<br>( $\text{MW.m}^{-2} \text{month}^{-1}$ ) |
|-------------|-------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------|--------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 2555        | 6     | 486.89                                           | 27.28                                      | 79.81     | 126.60       | 269.50                                            | 185.62                                            |
|             | 7     | 453.21                                           | 26.20                                      | 84.23     | 264.20       | 251.14                                            | 172.92                                            |
|             | 8     | 462.93                                           | 26.37                                      | 83.94     | 125.00       | 258.79                                            | 181.41                                            |
|             | 9     | 335.78                                           | 25.58                                      | 86.89     | 489.80       | 180.44                                            | 137.15                                            |
|             | 10    | <sup>1/</sup>                                    | 26.70                                      | 79.87     | 204.80       | <sup>1/</sup>                                     | <sup>1/</sup>                                     |
|             | 11    | 287.10                                           | 27.22                                      | 84.02     | 36.40        | 161.61                                            | 115.97                                            |
|             | 12    | 462.32                                           | 27.55                                      | 73.28     | 2.80         | 270.24                                            | 188.35                                            |
| รวม         |       | 2,488.23                                         | 26.70                                      | 81.72     | 1,249.60     | 1,391.72                                          | 981.42                                            |
| 2556        | 1     | 405.09                                           | 26.34                                      | 70.13     | 53.00        | 246.59                                            | 162.59                                            |
|             | 2     | 387.95                                           | 28.26                                      | 72.94     | 6.00         | 233.29                                            | 152.53                                            |
|             | 3     | 521.63                                           | 28.20                                      | 79.77     | 18.20        | 306.64                                            | 207.95                                            |
|             | 4     | 493.26                                           | 28.80                                      | 80.35     | 0            | 283.06                                            | 191.11                                            |
|             | 5     | 545.72                                           | 29.06                                      | 82.89     | 22.60        | 304.65                                            | 210.21                                            |
|             | 6     | 456.33                                           | 27.60                                      | 88.40     | 71.60        | 257.13                                            | 175.58                                            |
|             | 7     | 414.39                                           | 27.15                                      | 88.22     | 183.20       | 239.99                                            | 161.49                                            |
|             | 8     | 476.08                                           | 27.46                                      | 86.54     | 168.40       | 276.86                                            | 193.94                                            |
|             | 9     | 394.55                                           | 26.71                                      | 90.89     | 506.00       | 219.28                                            | 158.87                                            |
|             | 10    | 454.47                                           | 26.88                                      | 86.13     | 273.20       | 266.63                                            | 189.14                                            |
|             | 11    | 422.98                                           | 26.74                                      | 81.32     | 0            | 253.96                                            | 175.06                                            |
|             | 12    | 446.01                                           | 22.97                                      | 73.23     | 14.00        | 281.14                                            | 184.49                                            |
| รวม         |       | 5,418.45                                         | 27.18                                      | 81.73     | 1,316.20     | 3,169.22                                          | 2,162.96                                          |
| 2557        | 1     | 473.31                                           | 24.13                                      | 61.87     | 0.00         | 299.22                                            | 188.27                                            |
|             | 2     | 388.73                                           | 26.40                                      | 78.91     | 2.20         | 240.33                                            | 158.30                                            |
|             | 3     | 465.46                                           | 28.23                                      | 80.00     | 34.40        | 290.16                                            | 197.60                                            |
|             | 4     | 479.91                                           | 28.49                                      | 83.60     | 159.60       | 299.83                                            | 206.78                                            |
|             | 5     | 577.12                                           | 29.12                                      | 83.60     | 85.60        | 317.23                                            | 218.27                                            |
|             | 6     | 457.26                                           | 28.59                                      | 85.08     | 149.80       | 257.34                                            | 172.67                                            |
|             | 7     | 492.89                                           | 28.07                                      | 85.35     | 146.80       | 275.66                                            | 187.48                                            |
|             | 8     | 468.62                                           | 27.30                                      | 88.44     | 199.20       | 257.98                                            | 180.75                                            |
| รวม         |       | 3,803.30                                         | 27.54                                      | 80.86     | 777.60       | 2,237.75                                          | 1,510.12                                          |
| รวมทั้งสิ้น |       | 11,709.99                                        | 27.14                                      | 81.44     | 3,343.40     | 6,798.69                                          | 4,654.50                                          |

หมายเหตุ <sup>1/</sup> หมายถึง ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้เนื่องจากเครื่องมือชำรุด

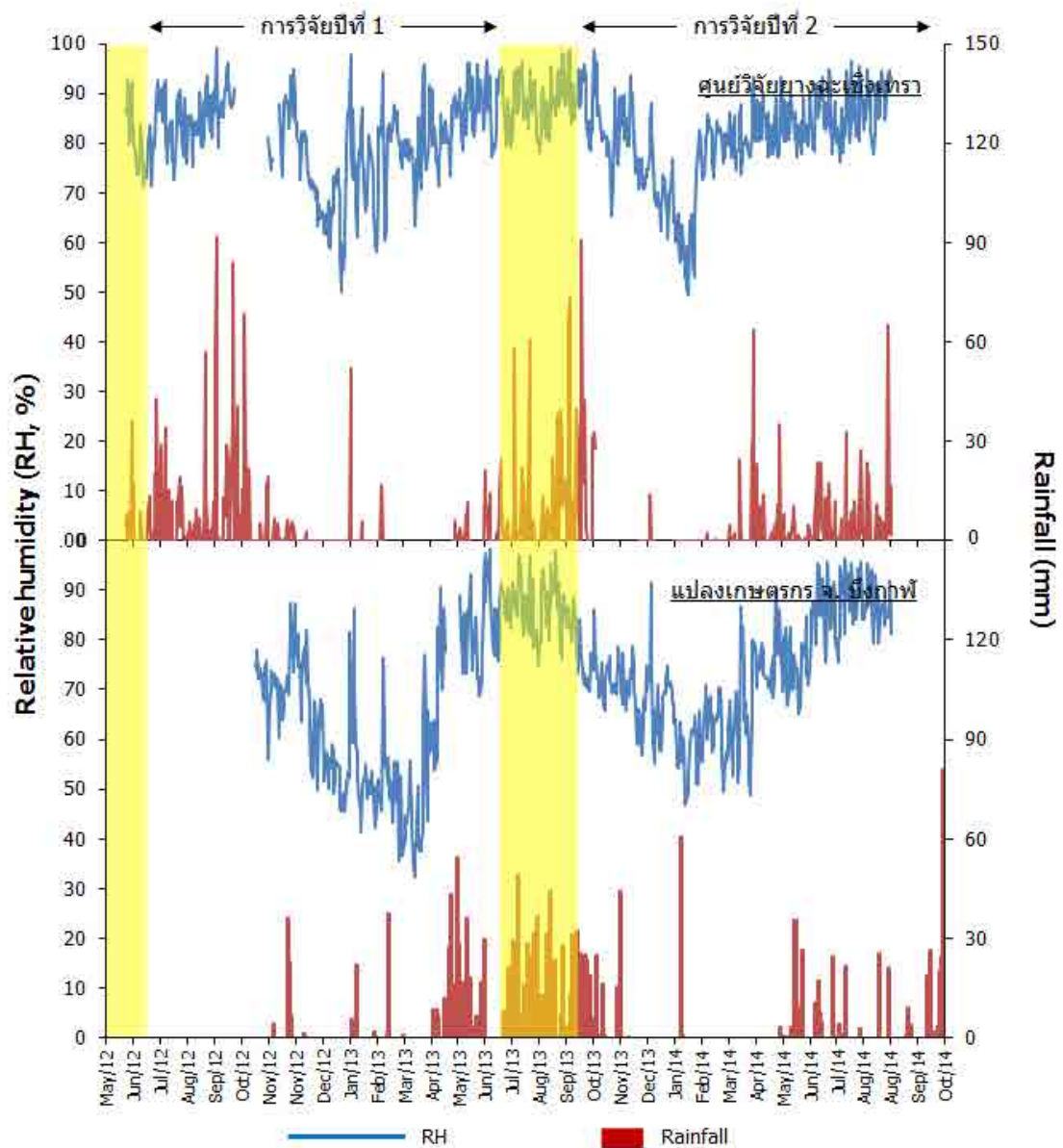
**ตารางที่ 2-3** ข้อมูลรายเดือนของความเข้มแสงสะสม (Cumulative photosynthetically active radiation, PAR,  $\text{mol m}^{-2} \text{month}^{-1}$ ) อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย ( $T_{air}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (RH, %) ปริมาณน้ำฝน (Rain, mm) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสม (Global solar radiation,  $R_g$ ,  $\text{MW.m}^{-2} \text{month}^{-1}$ ) และปริมาณรังสีสุทธิสะสม (Net radiation,  $R_n$ ,  $\text{MW.m}^{-2} \text{month}^{-1}$ ) ของแปลงปลูกยางพารา Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. ปังกาฬ (18 ตุลาคม 2555 – 31 สิงหาคม 2557)

| ปี          | เดือน            | PAR<br>( $\text{mol m}^{-2} \text{month}^{-1}$ )                                      | $T_{air}$<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | RH<br>(%) | Rain<br>(mm) | $R_g$<br>( $\text{MW.m}^{-2} \text{month}^{-1}$ ) | $R_n$<br>( $\text{MW.m}^{-2} \text{month}^{-1}$ ) |
|-------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------|--------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 2555        | 6                | อยู่ระหว่างการเตรียมพื้นที่ และติดตั้งชุดอุปกรณ์วัดจุลภูมิอากาศ จึงยังไม่มีเก็บข้อมูล |                                     |           |              |                                                   |                                                   |
|             | 7                |                                                                                       |                                     |           |              |                                                   |                                                   |
|             | 8                |                                                                                       |                                     |           |              |                                                   |                                                   |
|             | 9                |                                                                                       |                                     |           |              |                                                   |                                                   |
|             | 10 <sup>2/</sup> | 269.99                                                                                | 26.64                               | 72.24     | 0.00         | 137.38                                            | 89.73                                             |
|             | 11               | 465.39                                                                                | 26.09                               | 71.91     | 70.00        | 236.23                                            | 151.06                                            |
|             | 12               | 439.61                                                                                | 23.54                               | 66.10     | 1.80         | 229.20                                            | 139.58                                            |
| รวม         |                  | 1,174.99                                                                              | 25.42                               | 70.08     | 71.80        | 602.80                                            | 380.37                                            |
| 2556        | 1                | 452.47                                                                                | 22.35                               | 55.78     | 27.80        | 237.15                                            | 136.96                                            |
|             | 2                | 488.36                                                                                | 25.62                               | 51.01     | 2.00         | 258.03                                            | 153.51                                            |
|             | 3                | 508.43                                                                                | 26.91                               | 48.87     | 39.40        | 285.56                                            | 173.85                                            |
|             | 4                | 548.58                                                                                | 28.21                               | 50.84     | 44.00        | 293.38                                            | 195.72                                            |
|             | 5                | 315.44                                                                                | 27.03                               | 73.02     | 285.40       | 161.27                                            | 114.00                                            |
|             | 6                | 486.92                                                                                | 27.06                               | 82.70     | 82.80        | 249.59                                            | 173.71                                            |
|             | 7                | 445.85                                                                                | 26.22                               | 87.11     | 315.60       | 230.23                                            | 161.59                                            |
|             | 8                | 478.55                                                                                | 26.61                               | 85.07     | 291.00       | 300.14                                            | 178.75                                            |
|             | 9                | 460.12                                                                                | 26.45                               | 84.46     | 226.80       | 244.48                                            | 177.76                                            |
|             | 10               | 542.71                                                                                | 25.61                               | 73.43     | 64.60        | 287.38                                            | 202.35                                            |
|             | 11               | 447.96                                                                                | 24.69                               | 71.46     | 0.00         | 232.83                                            | 159.86                                            |
|             | 12               | 450.09                                                                                | 18.96                               | 66.31     | 61.20        | 246.12                                            | 150.10                                            |
| รวม         |                  | 5,625.48                                                                              | 25.48                               | 69.17     | 1,440.60     | 3,026.16                                          | 1,978.16                                          |
| 2557        | 1                |                                                                                       | 20.23                               | 61.06     | 1.40         | 278.92                                            | 160.10                                            |
|             | 2                | 431.00                                                                                | 24.13                               | 62.59     | 0.00         | 244.29                                            | 142.20                                            |
|             | 3                | 476.50                                                                                | 27.33                               | 62.02     | 4.60         | 276.57                                            | 166.07                                            |
|             | 4                | 490.70                                                                                | 27.67                               | 73.39     | 141.80       | 279.54                                            | 191.42                                            |
|             | 5                | 583.42                                                                                | 28.24                               | 75.80     | 63.60        | 315.03                                            | 230.30                                            |
|             | 6                | 430.34                                                                                | 27.23                               | 85.39     | 310.60       | 232.69                                            | 166.61                                            |
|             | 7                | 391.66                                                                                | 26.41                               | 88.03     | 435.60       | 218.36                                            | 151.93                                            |
|             | 8                | 431.03                                                                                | 26.37                               | 86.30     | 224.00       | 240.94                                            | 172.82                                            |
| รวม         |                  | 3,740.33                                                                              | 25.95                               | 74.32     | 1,181.60     | 2,086.34                                          | 1,381.45                                          |
| รวมทั้งสิ้น |                  | 10,540.80                                                                             | 25.62                               | 71.19     | 2,694.00     | 5,715.31                                          | 3,739.98                                          |

หมายเหตุ <sup>2/</sup> หมายถึง มีการบันทึกข้อมูลตั้งแต่วันที่ 18 – 30 ตุลาคม 2555



**รูปที่ 2-3** ความเข้มแสงสะสม (Cumulative photosynthetically active radiation, PAR, mol m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>) และอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (Tair, °C) ของแปลงปลูกยางพารา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิถุนายน 2555 – 31 สิงหาคม 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ตุลาคม 2555 – 31 สิงหาคม 2557)



**รูปที่ 2-4** ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%) และปริมาณน้ำฝนรายวัน (mm) ของแปลงปลูกยางพารา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิถุนายน 2555 – 31 สิงหาคม 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ตุลาคม 2555 – 31 สิงหาคม 2557)

จากข้อมูลในปี 2556 ปรากฏว่าปริมาณน้ำฝนสะสมในรอบ 1 ปี ของแปลงปลูกยางพารา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา มีค่าปริมาณน้อยกว่า Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ

### **ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (R<sub>g</sub>)**

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Global solar radiation, R<sub>g</sub>) ที่แปลงปลูกยางพารา ได้รับ วัดด้วยเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation sensor) รุ่น LPO2 ของบริษัท Hukseflux, U.S.A. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเป็นปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวมต่อวัน จากการศึกษาพบว่า Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (822 วัน) มีค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสมอยู่ในช่วง 1.36 – 13.40 MW.m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> และมีค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสมเท่ากับ 6,798.69 MW.m<sup>-2</sup> ในช่วงระยะเวลา 822 วันที่ดำเนินการเก็บข้อมูล ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสมต่อวันในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น มีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสมสะสมอยู่ในช่วง 1.36 – 13.29 MW.m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> และในช่วงระยะเวลา 1 ปี มีค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสมเท่ากับ 3,169.22 MW.m<sup>-2</sup> นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสมรายวันมีค่าต่ำสุดและสูงสุดปรากฏในวันที่ 28 มกราคม 2556 และ 8 พฤษภาคม 2556 ตามลำดับ (รูปที่ 2-5 และตารางที่ 2-2)

Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (683 วัน) มีค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสมอยู่ในช่วง 1.01 – 12.60 MW.m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> และมีค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสมเท่ากับ 5,715.31 MW.m<sup>-2</sup> ในช่วงระยะเวลา 683 วันที่ดำเนินการเก็บข้อมูล ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสมต่อวันในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น มีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสมสะสมอยู่ในช่วง 1.39 – 10.27 MW.m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> และในช่วงระยะเวลา 1 ปี มีค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสมเท่ากับ 3,026.16 MW.m<sup>-2</sup> นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสมรายวันมีค่าต่ำสุดและสูงสุดปรากฏในวันที่ 3 มีนาคม 2556 และ 12 สิงหาคม 2556 ตามลำดับ (รูปที่ 2-5 และตารางที่ 2-3)

จากข้อมูลในปี 2556 ปรากฏว่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สะสมในรอบ 1 ปี ของแปลงปลูกยางพารา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา มีค่าสูงกว่า Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ

### **ปริมาณรังสีสุทธิ (R<sub>n</sub>)**

ปริมาณรังสีสุทธิ (Net radiation, R<sub>n</sub>) ที่แปลงปลูกยางพาราได้รับ วัดด้วยเครื่องวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สุทธิ รุ่น NR-Lite ของบริษัท Kipp & Zonen Inc., Netherlands นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเป็นปริมาณรังสีสุทธิรวมต่อวัน จากการศึกษาพบว่า Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (822 วัน) มีค่าปริมาณรังสีสุทธิสะสมอยู่ในช่วง 0.54 – 9.47 MW.m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> และมีค่าปริมาณรังสีสุทธิสะสมเท่ากับ 4,645.50 MW.m<sup>-2</sup> ในช่วงระยะเวลา 822 วันที่ดำเนินการเก็บข้อมูล ปริมาณรังสีสุทธิสะสมต่อวันในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น มีปริมาณรังสีสุทธิสะสมอยู่ในช่วง 0.54 – 9.47 MW.m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> และในช่วงระยะเวลา 1 ปี มีค่าปริมาณรังสีสุทธิสะสมเท่ากับ 2,162.96 MW.m<sup>-2</sup> นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณรังสีสุทธิสะสมรายวันมีค่าต่ำสุดและสูงสุดปรากฏในวันที่ 28 มกราคม 2556 และ 8 พฤษภาคม 2556 ตามลำดับ (รูปที่ 2-5 และตารางที่ 2-2)

Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (683 วัน) มีค่าปริมาณรังสีสุทธิสะสมอยู่ในช่วง  $0.03 - 9.51 \text{ MW.m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  และมีค่าปริมาณรังสีสุทธิสะสมเท่ากับ  $3,739.98 \text{ MW.m}^{-2}$  ในช่วงระยะเวลา 683 วันที่ดำเนินการเก็บข้อมูล ปริมาณรังสีสุทธิสะสมต่อวันในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น มีปริมาณรังสีสุทธิสะสมอยู่ในช่วง  $0.03 - 9.51 \text{ MW.m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  และในช่วงระยะเวลา 1 ปี มีค่าปริมาณรังสีสุทธิสะสมเท่ากับ  $1,978.16 \text{ MW.m}^{-2}$  นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณรังสีสุทธิสะสมรายวันมีค่าต่ำสุดและสูงสุดปรากฏในวันที่ 3 มีนาคม 2556 และ 12 สิงหาคม 2556 ตามลำดับ (รูปที่ 2-5 และตารางที่ 2-3)

จากข้อมูลในปี 2556 ปรากฏว่าปริมาณรังสีสุทธิสะสมในรอบ 1 ปี ของแปลงปลูกยางพารา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา มีค่าสูงกว่า Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ

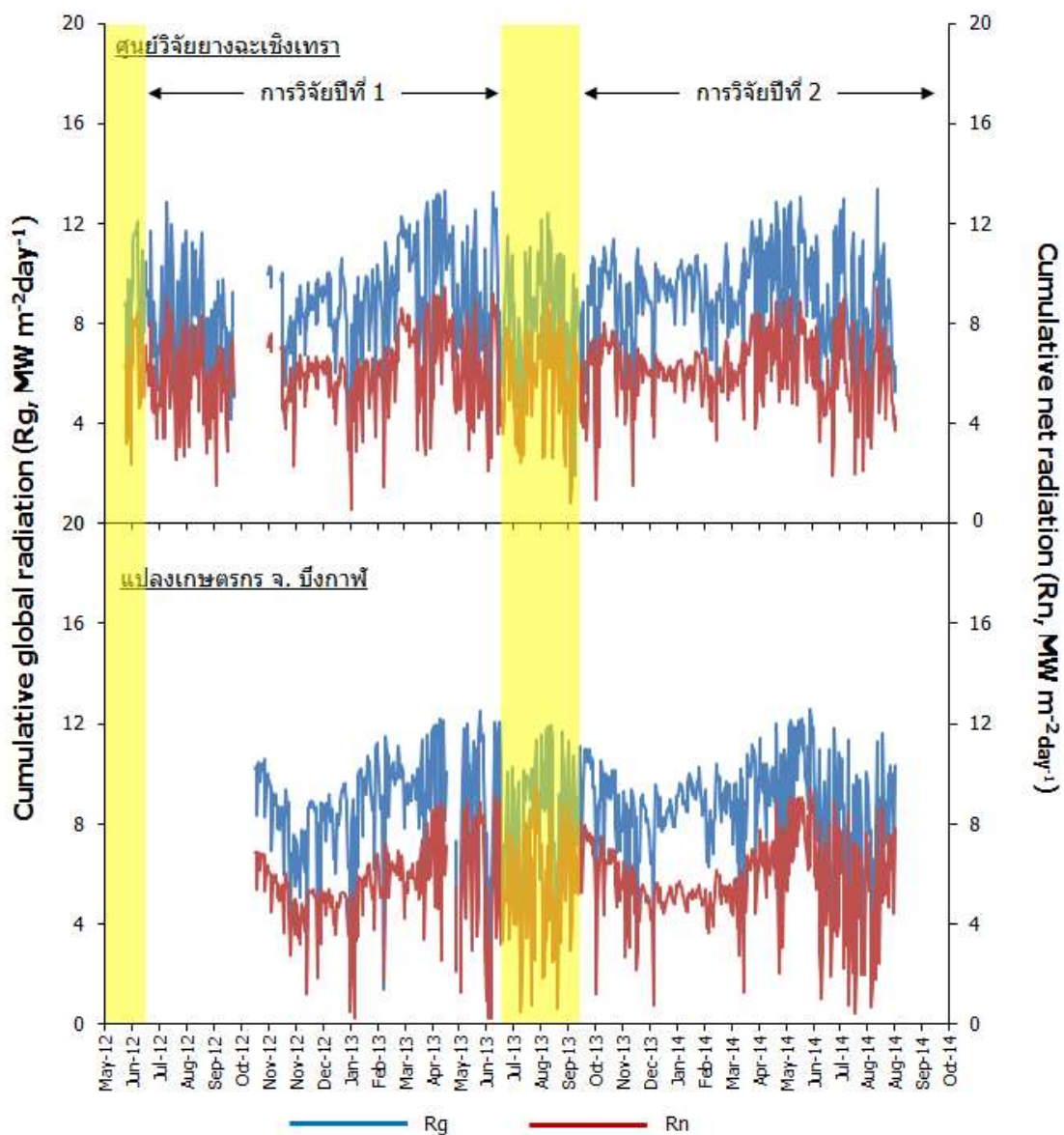
#### 2.1.2.2 ข้อมูล Flux ของคาร์บอน

ข้อมูล Flux ของคาร์บอนในพื้นที่ปลูกยาง ได้แก่ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2556 และวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 รวมทั้งสิ้น 790 วัน และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร อำเภอปากคาด จังหวัดบึงกาฬ เป็นข้อมูลตั้งแต่วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2556 และวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 รวมทั้งสิ้น 498 วัน ข้อมูล Flux ของคาร์บอนดังกล่าววัดโดยวิธี Eddy Covariance ซึ่งข้อมูลที่ได้ประกอบด้วย

#### อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (NEE)

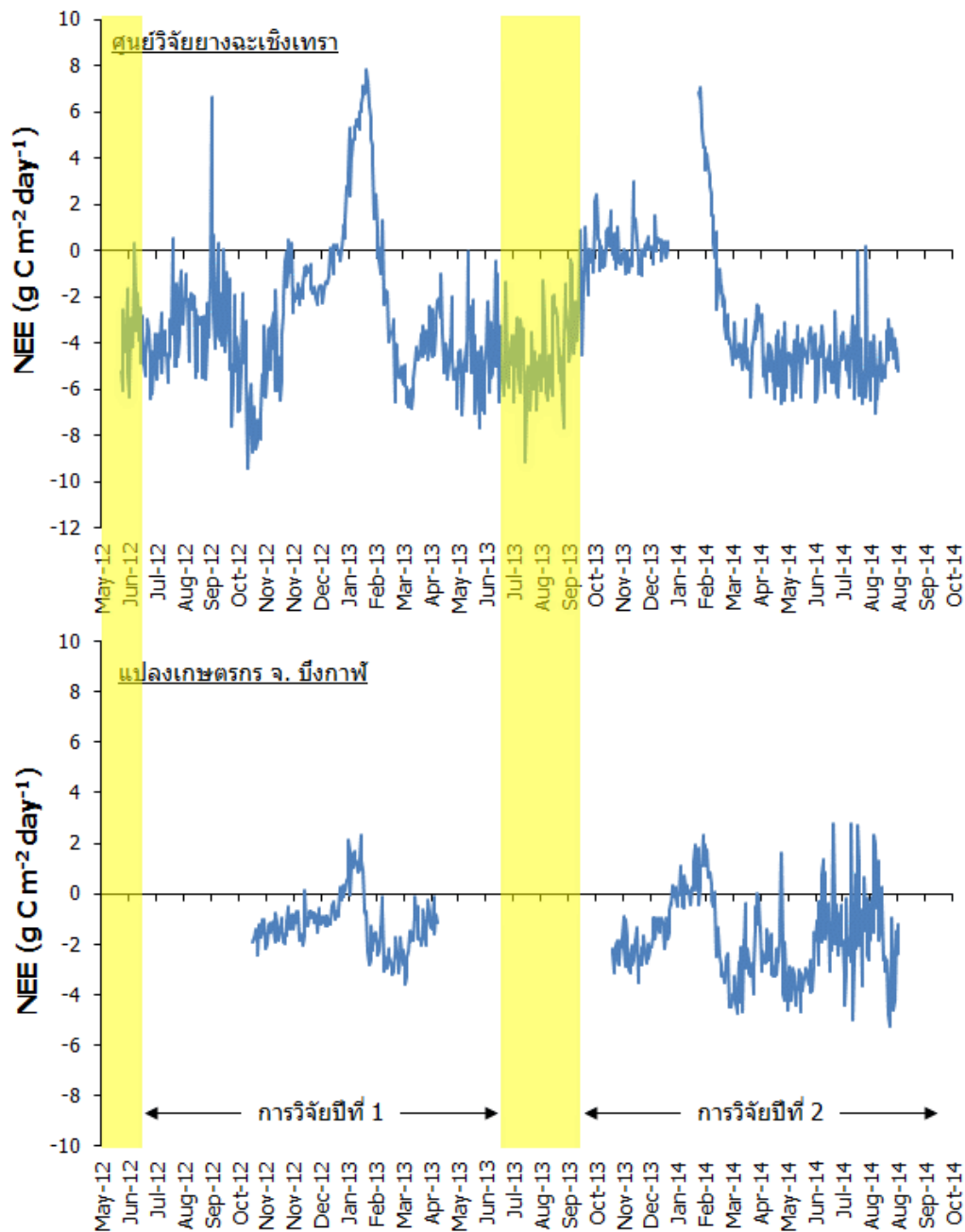
อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (Net ecosystem exchange, NEE) ของพื้นที่ปลูกยางพารา วัดด้วยเทคนิค Eddy Covariance (Goulden *et al.*, 1996) ค่าที่วัดได้ประกอบด้วยความเร็วและทิศทางลม และความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณเป็นค่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ จากการศึกษาพบว่า Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2556 และวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (790 วัน) มีค่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ อยู่ในช่วง  $-9.47$  ถึง  $7.85 \text{ g C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  รวมอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิสะสมในช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลทั้งหมดค่าเท่ากับ  $-3,694.84 \text{ kg C rai}^{-2}$  หรือ  $-13,547.74 \text{ kg CO}_2 \text{ rai}^{-2}$  สำหรับข้อมูลอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น มีค่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิอยู่ในช่วง  $-9.15$  ถึง  $7.85 \text{ g C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  และมีอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิสะสมในรอบ 1 ปี เท่ากับ  $-1,223.23 \text{ kg C rai}^{-2}$  หรือ  $-4,485.16 \text{ kg CO}_2 \text{ rai}^{-2}$  โดยพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 นี้มีอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิสะสมต่ำสุด และสูงสุดในช่วงเดือนสิงหาคม และกุมภาพันธ์ ตามลำดับ (รูปที่ 2-6)

Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2556 และวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (498 วัน) มีค่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ อยู่ในช่วง  $-5.28$  ถึง  $2.76 \text{ g C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  รวมอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิสะสมในช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลทั้งหมดค่าเท่ากับ  $-1,214.08 \text{ kg C rai}^{-2}$  หรือ  $-4,451.63 \text{ kg CO}_2 \text{ rai}^{-2}$  (รูปที่ 2-6)



รูปที่ 2-5

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Global solar radiation,  $R_g$ ) และปริมาณรังสีสุทธิ (Net radiation,  $R_n$ ) สะสมต่อวันของแปลงปลูกยางพารา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิถุนายน 2555 – 31 สิงหาคม 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ตุลาคม 2555 – 31 สิงหาคม 2557)



**รูปที่ 2-6** อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (Net ecosystem exchange, NEE) ของแปลงปลูกยางพารา ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิถุนายน 2555 – 31 ธันวาคม 2556 และ 1 กุมภาพันธ์ – 31 สิงหาคม 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ตุลาคม 2555 – 30 เมษายน 2556 และ 12 พฤศจิกายน 2556 – 31 สิงหาคม 2557)

## 2.2 การวัดอัตราการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เหนือผิวดิน (Soil respiration)

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากผิวดินเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อวัฏจักรคาร์บอนของโลก (Global carbon cycle) เนื่องจากดินมีคาร์บอนในสัดส่วนที่มากกว่าในบรรยากาศโลก นอกจากนี้ อัตราการหายใจของดิน (Soil respiration,  $R_s$ ) ยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อสมดุลของคาร์บอนในระบบนิเวศ อัตราการหายใจของดิน ประกอบด้วย Autotrophic respiration ( $R_a$ ) ซึ่งเกิดจากการหายใจของรากและจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืช (Mycorrhizae และ Rhizosphere bacteria) และ Heterotrophic respiration ( $R_h$ ) (Jassal and Black, 2006) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายเศษซากพืชและอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์ทั้งบนดินและใต้ดิน  $R_a$  มีสารตั้งต้นที่ประกอบด้วย Root carbohydrate และ Root exudates ซึ่งใช้เวลาอยู่ในดินไม่นาน ในขณะที่  $R_h$  ประกอบด้วยสารประกอบคาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินเป็นเวลานาน ตั้งแต่ระยะเป็นเดือนจนถึงปี ตั้งแต่เศษซากพืชสดจนกลายเป็นอินทรีย์วัตถุในดิน องค์ประกอบทั้งหมดอาจได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมและลักษณะของพื้นที่ที่แตกต่างกัน และยังมี การตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ และอุณหภูมิโลกที่ต่างกัน ดังนั้น การประเมินสัดส่วนขององค์ประกอบดังกล่าวเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการวิเคราะห์และการจำลองอัตราการหายใจของดิน และการศึกษาการตอบสนองของอัตราการหายใจต่อสภาพภูมิอากาศและผลกระทบอื่นๆ จากสภาพแวดล้อม เพื่อที่จะทำบัญชีคาร์บอนในระบบนิเวศอย่างพาราและการตรวจติดตาม Carbon sequestration ในดิน ซึ่งการประเมิน Carbon sequestration ในระบบนิเวศ ก็คือ Net ecosystem production (NEP) ซึ่งสามารถประเมินได้จากความแตกต่างระหว่างการเปลี่ยนแปลงของชีวมวลพืชและ  $R_h$

### 2.2.1 การดำเนินงานวิจัย

#### การกำหนดพื้นที่ในการเก็บข้อมูล

กำหนดพื้นที่สำหรับวัดอัตราการหายใจของดิน ในพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 แห่ง แต่ละพื้นที่แบ่งเป็น 3 Plots ได้แก่ Plot A, B และ C แต่ละ Plot ประกอบด้วย 2 Sub-plot (รูปที่ 2-7) ได้แก่ Control (วัดอัตราการหายใจของดิน,  $R_s$ ) และ Trench (วัดอัตราการหายใจของดิน ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายเศษซากพืช และอินทรีย์วัตถุ โดยจุลินทรีย์ทั้งบนดินและใต้ดิน,  $R_h$ ) พื้นที่ที่ใช้วัดอัตราการหายใจของดินมีขนาดกว้างเป็น 1 ใน 4 ของพื้นที่สี่เหลี่ยมที่ถูกล้อมด้วยยางพารา 4 ต้น Collar ซึ่งทำจากท่อ PVC มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm สูง 11 cm จะถูกติดตั้งในพื้นที่ดังกล่าวจำนวน 8 Collar (กระจายทั่วพื้นที่) ในแต่ละ Sub-plot นอกจากนี้ Sub-plot ที่เป็น Control และ Trench จะติดตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน

#### การวัดอัตราการหายใจของดิน

วัดอัตราการหายใจของดิน หลังจากติดตั้ง collar แล้ว 1 สัปดาห์ ในพื้นที่ Plot A, B และ C (Control และ Trench plot) ด้วยเครื่องวัดอัตราการหายใจของดิน (Soil  $CO_2$  Flux System) รุ่น LI-8100<sup>®</sup> (LI-COR, Inc., Ltd., U.S.A.) (รูปที่ 2-8) โดยวัดควบคุมไปกับอุณหภูมิ ( $^{\circ}C$ ) และปริมาณน้ำในดิน (Soil water content, %) ที่ระดับความลึก 5 cm. จากผิวดินด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ (T handle thermocouple) ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับเครื่องวัดอัตราการหายใจของดินได้ (รูปที่ 2-9) และ Soil moisture sensor รุ่น EC-5 (Decagon Devices, Inc. U.S.A.) ซึ่งอ่านค่าที่วัดได้โดยใช้ ProCheck

(Decagon Devices, Inc.m U.S.A.) (รูปที่ 2-10) วัดอัตราการหายใจของดินในพื้นที่ปลูกยางพารา ทุก 2 สัปดาห์ ในรอบ 1 ปี

อัตราการหายใจของดินที่วัดได้ (Soil CO<sub>2</sub> efflux) มีหน่วยเป็น  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  จะถูกเปลี่ยนเป็น  $\text{g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$  โดยคูณด้วย 1.0368 จากนั้นนำค่าที่วัดได้มาคำนวณอัตราการหายใจของดินสะสมในรอบ 1 ปี

$$\begin{array}{ccccc} \text{soil CO}_2 \text{ efflux} & \times & 1.0368 & = & \text{Soil C efflux} \\ (\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}) & & & & (\text{g C m}^{-2}\text{d}^{-1}) \end{array} \quad (1)$$



**รูปที่ 2-7** พื้นที่ที่ใช้สำหรับวัดอัตราการหายใจของแปลงศึกษา ณ ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา (รูปบน) และแปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ (รูปล่าง)



**รูปที่ 2-8** เครื่องวัดอัตราการหายใจของดิน (Soil CO<sub>2</sub> Flux System) รุ่น LI-8100<sup>®</sup> (LI-COR, Inc., Ltd., U.S.A.)



**รูปที่ 2-9** อุปกรณ์วัดอุณหภูมิดิน (T handle thermocouple) ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับเครื่องวัดอัตราการหายใจของดินได้



**รูปที่ 2-10** อุปกรณ์วัดปริมาณน้ำในดิน (Soil moisture sensor) รุ่น EC-5 (Decagon Devices, Inc.m U.S.A.) ซึ่งอ่านค่าที่วัดได้โดยใช้ ProCheck (Decagon Devices, Inc.m U.S.A.)

## 2.2.2 ผลการดำเนินงานวิจัย

### อัตราการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน

วัดอัตราการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ณ ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ตั้งแต่ วันที่ 4 พฤศจิกายน 2555 ถึงวันที่ 29 กรกฎาคม 2557 รวมทั้งสิ้น 632 วัน และวัดต่อเนื่องมาทุก 2 สัปดาห์ ค่าเฉลี่ยอัตราการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินจาก Control plot มีค่าตั้งแต่ 0.21 – 8.00  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ส่วนใน Trench plot นั้นมีค่าตั้งแต่ 0.19 – 7.62  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ค่าเฉลี่ยอัตราการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ที่เป็น Control และ Trench plot 2 ครั้งแรกมีค่าไม่แตกต่างกัน (ยังไม่ได้ติดตั้ง Trench plot) และตั้งแต่การวัดครั้งที่ 3 เป็นต้นมา (หลังจากติดตั้ง Trench plot เสร็จเรียบร้อยแล้ว) ค่าเฉลี่ยอัตราการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินจาก Control plot มีค่าสูงกว่า Trench plot อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ยกเว้น ค่าเฉลี่ยอัตราการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินที่วัดเมื่อวันที่ 28 มกราคม 2557 พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 2-11)

วัดอัตราการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในพื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 ณ แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ตั้งแต่ วันที่ 23 ธันวาคม 2555 ถึงวันที่ 7 สิงหาคม 2557 รวมทั้งสิ้น 592 วัน และวัดต่อเนื่องมาทุก 2 สัปดาห์ ค่าเฉลี่ยอัตราการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินจาก Control plot มีค่าตั้งแต่ 0.47 – 7.99  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ส่วนใน Trench plot นั้นมีค่าตั้งแต่ 0.28 – 6.70  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ค่าเฉลี่ยอัตราการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ที่เป็น Control และ Trench plot 3 ครั้งแรกมีค่าไม่แตกต่างกัน (การวัด 2 ครั้งแรก ยังไม่ได้ติดตั้ง Trench plot) และตั้งแต่การวัดครั้งที่ 4 เป็นต้นมา (หลังจากติดตั้ง Trench plot เสร็จ

เรียบร้อยแล้ว) ค่าเฉลี่ยอัตราการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินจาก Control plot มีค่าสูงกว่า Trench plot อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ยกเว้น ค่าเฉลี่ยอัตราการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินที่วัดเมื่อวันที่ 31 มีนาคม 2556 12 สิงหาคม 2556 และ 19 กันยายน 2556 พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 2-11)

#### อัตราการหายใจของดิน

การวัดอัตราการหายใจของดินในพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ณ ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ตั้งแต่วันที่ 4 พฤศจิกายน 2555 ถึงวันที่ 29 กรกฎาคม 2557 รวมทั้งสิ้น 632 วัน และวัดต่อเนื่องมาทุก 2 สัปดาห์ ค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจของดินจาก Control plot มีค่าตั้งแต่ 0.21 – 8.29 g C m<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup> ส่วนใน Trench plot นั้นมีค่าตั้งแต่ 0.20 – 7.90 g C m<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup> ค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจของดินเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ที่เป็น Control และ Trench plot 2 ครั้งแรกมีค่าไม่แตกต่างกัน (ยังไม่ได้ติดตั้ง Trench plot) และตั้งแต่การวัดครั้งที่ 3 เป็นต้นมา (หลังจากติดตั้ง Trench plot เสร็จเรียบร้อยแล้ว) ค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจของดินจาก Control plot มีค่าสูงกว่า Trench plot อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ยกเว้น ค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจของดินที่วัดเมื่อวันที่ 28 มกราคม 2557 พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 2-12) และพบว่า อัตราการหายใจสะสมในฤดูปลูกปี 2556 พื้นที่ปลูกยางพารามีอัตราหายใจเฉลี่ยสะสมใน Control (R<sub>cp</sub>) และ Trench (R<sub>tp</sub>) plot มีค่าเท่ากับ 1,704.74 และ 1,021.34 g C m<sup>-2</sup>year<sup>-1</sup>

การคำนวณอัตราการหายใจสะสมเริ่มตั้งแต่วันที่ 19 พฤศจิกายน 2555 หลังจากทำ Trench plot ถึงวันที่ 29 กรกฎาคม 2557 รวมระยะเวลา 603 วัน พบว่า อัตราหายใจเฉลี่ยสะสมใน Control (R<sub>cp</sub>) และ Trench (R<sub>tp</sub>) plot มีค่าเท่ากับ 2,811.98 และ 1,703.62 g C m<sup>-2</sup> จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมจนถึงปัจจุบันยังไม่สามารถคำนวณค่า R<sub>h</sub> (Heterotrophic respiration) และ R<sub>a</sub> (Autotrophic respiration) ออกมาได้เนื่องจาก

$$R_h = R_{tp} - R_d \quad (2)$$

$$R_a = R_{cp} - R_h \quad (3)$$

โดยที่ R<sub>d</sub> ได้แก่ Decomposing root-derived CO<sub>2</sub> efflux ซึ่งต้องใช้ข้อมูลอัตราการย่อยสลายของรากยางในการคำนวณ และขณะนี้ยังไม่ถึงกำหนดเวลาที่จะต้องเก็บตัวอย่างรากยางตามแผนการดำเนินงาน (ดำเนินการเก็บตัวอย่างรากเมื่อใช้ในการคำนวณอัตราการย่อยสลายของรากในเดือนธันวาคม 2557) ทำให้ไม่สามารถคำนวณค่า R<sub>h</sub> และ R<sub>a</sub> ได้ แต่เมื่อได้ค่า R<sub>d</sub> มาแล้ว จะสามารถคำนวณค่า R<sub>h</sub> และ R<sub>a</sub> ที่เวลา 617 วัน ได้ดังนี้

$$R_h = 1,703.62 - R_d \quad (4)$$

$$R_a = 2,811.98 - R_h \quad (5)$$

การวัดอัตราการหายใจของดินในพื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 ณ แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ตั้งแต่วันที่ 23 ธันวาคม 2555 ถึงวันที่ 7 สิงหาคม 2557 รวมทั้งสิ้น 592 วัน และวัดต่อเนื่องมาทุก 2 สัปดาห์ ค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจของดินจาก Control plot มีค่าตั้งแต่ 0.50 – 8.28 g C m<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup> ส่วนใน Trench plot นั้นมีค่าตั้งแต่ 0.29 – 6.94 g C m<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup> ค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจของดินเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ที่เป็น Control และ Trench plot 3 ครั้งแรกมีค่าไม่แตกต่างกัน (การวัด 2 ครั้งแรก ยังไม่ได้ติดตั้ง Trench plot) และตั้งแต่การวัดครั้งที่ 4 เป็นต้นมา (หลังจากติดตั้ง Trench plot เสร็จเรียบร้อยแล้ว) ค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจของดินจาก Control plot มีค่าสูงกว่า Trench plot อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ยกเว้น ค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจของดินที่วัดเมื่อวันที่ 31 มีนาคม 2556 12 สิงหาคม 2556 และ 19 กันยายน 2556 พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 2-12) และพบว่า อัตราการหายใจสะสมในฤดูปลูกปี 2556 พื้นที่ปลูกยางพารามีอัตราการหายใจเฉลี่ยสะสมใน Control ( $R_{cp}$ ) และ Trench ( $R_{tp}$ ) plot มีค่าเท่ากับ 1,467.15 และ 872.74 g C m<sup>-2</sup>year<sup>-1</sup>

การคำนวณอัตราการหายใจสะสมเริ่มตั้งแต่วันที่ 14 มกราคม 2556 หลังจากทำ Trench plot ถึงวันที่ 7 สิงหาคม 2557 รวมระยะเวลา 570 วัน พบว่า อัตราหายใจเฉลี่ยสะสมใน Control ( $R_{cp}$ ) และ Trench ( $R_{tp}$ ) plot มีค่าเท่ากับ 1,467.15 และ 872.74 g C m<sup>-2</sup> จากข้อมูลที่เกิดขึ้นจนกระทั่งปัจจุบันยังไม่สามารถคำนวณค่า  $R_h$  (Heterotrophic respiration) และ  $R_a$  (Autotrophic respiration) ออกมาได้เช่นเดียวกับ Site ที่ 1 (ดำเนินการเก็บตัวอย่างรากเมื่อใช้ในการคำนวณอัตราการย่อยสลายของรากในเดือนมกราคม 2558) แต่เมื่อคำนวณค่า  $R_d$  มาแล้ว จะสามารถคำนวณค่า  $R_h$  และ  $R_a$  ที่เวลา 146 วัน ณ แปลงยางพาราของเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ได้ดังนี้

$$R_h = 872.74 - R_d \quad (6)$$

$$R_a = 1,467.15 - R_h \quad (7)$$

### อุณหภูมิดิน

อุณหภูมิดินที่ตรวจวัดไปพร้อมกับการวัดอัตราการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ณ ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ตั้งแต่วันที่ 4 พฤศจิกายน 2555 ถึงวันที่ 29 กรกฎาคม 2557 รวมทั้งสิ้น 632 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินจาก Control plot มีค่าตั้งแต่ 22.05 – 30.50 °C ส่วนใน Trench plot นั้นมีค่าตั้งแต่ 19.60 – 32.95 °C ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ที่เป็น Control และ Trench plot พบว่า ส่วนใหญ่แล้วมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินไม่แตกต่างกัน ยกเว้นค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินที่วัดในวันที่ 3 และ 17 มกราคม 2555 วันที่ 9 และ 23 มกราคม 2556 วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2556 วันที่ 2 ธันวาคม 2556 และ 2 มกราคม 2557 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินของ Control plot มีค่าน้อยกว่า Trench plot ( $P < 0.05$ ) ขณะที่ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินที่วัดในวันที่ 23 เมษายน 2556 วันที่ 20 มิถุนายน 2556 และ 17 กรกฎาคม 2556 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินของ Control plot มีค่ามากกว่า Trench plot ( $P < 0.05$ ) (รูปที่ 2-13)

อุณหภูมิดินที่ตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 ณ แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ตั้งแต่วันที่ 23 ธันวาคม 2555 ถึงวันที่ 7 สิงหาคม 2557 รวมทั้งสิ้น 592 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินที่ตรวจวัดจาก Control plot มีค่าตั้งแต่ 16.40 – 35.55 °C ส่วนใน Trench plot นั้นมีค่าตั้งแต่ 17.20 – 35.30 °C ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ที่เป็น Control และ Trench พบว่า ส่วนใหญ่แล้วมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินไม่แตกต่างกัน ยกเว้นค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินที่วัดในวันที่ 9 มิถุนายน 2556 และ 19 กันยายน 2556 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินของ Control plot มีค่าน้อยกว่า Trench plot ( $P < 0.05$ ) (รูปที่ 2-13)

### ปริมาณน้ำในดิน

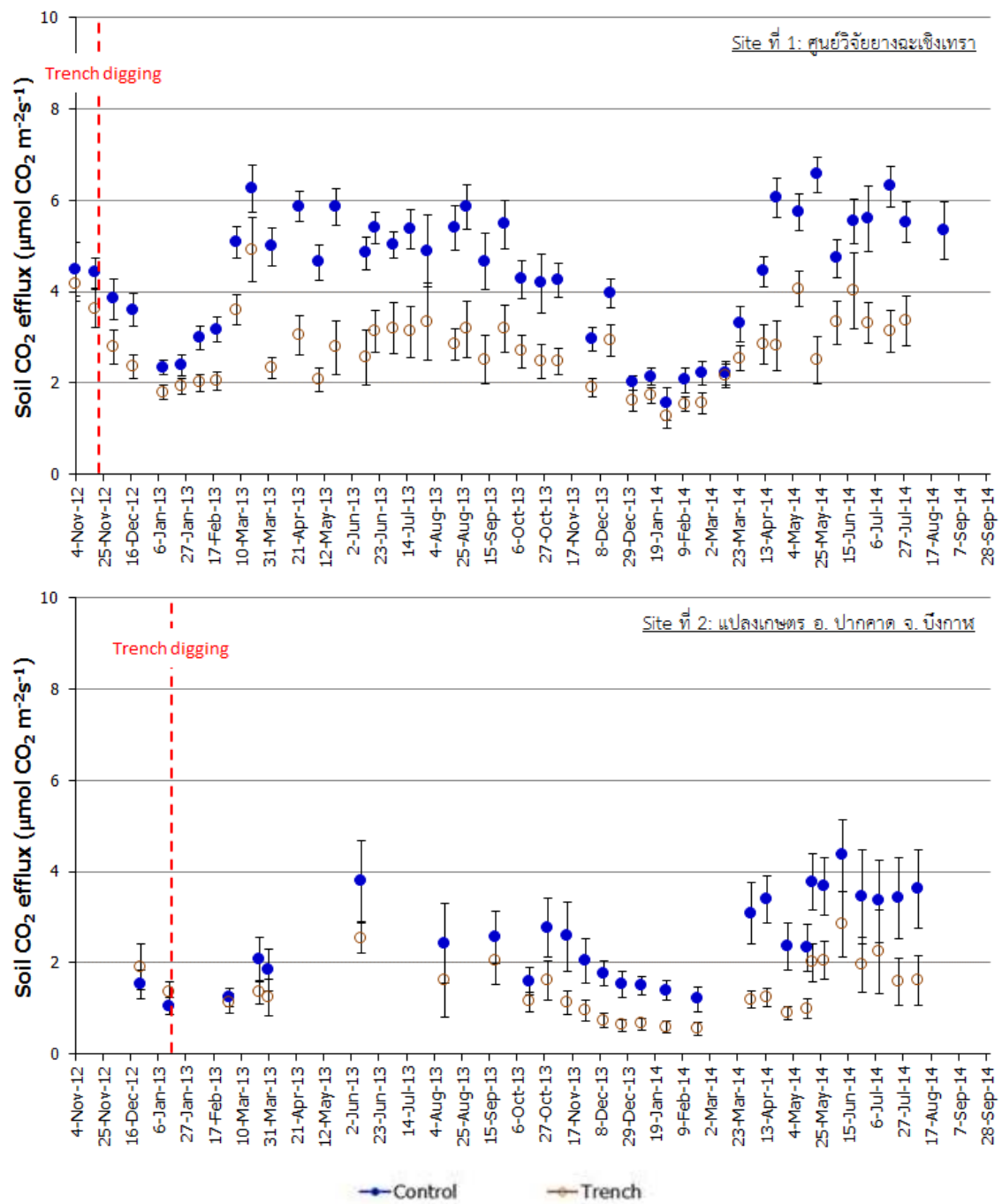
ปริมาณน้ำในดินที่ตรวจวัดไปพร้อมกับการวัดอัตราการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ณ ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ตั้งแต่วันที่ 4 พฤศจิกายน 2555 ถึงวันที่ 29 กรกฎาคม 2557 รวมทั้งสิ้น 632 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำในดินจาก Control plot มีค่าตั้งแต่

0.45 – 40.75 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใน Trench plot นั้นมีค่าตั้งแต่ 1.15 – 40.35 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำในดินเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ที่เป็น Control และ Trench plot พบว่า Control plot มีค่ามากกว่า Trench plot ( $P < 0.05$ ) ขณะที่ ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำในดินที่วัดในวันที่ 4 และ 19 พฤศจิกายน 2555 วันที่ 3 ธันวาคม 2555 วันที่ 23 มกราคม 2556 และ 26 พฤศจิกายน 2556 มีค่าไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 2-14)

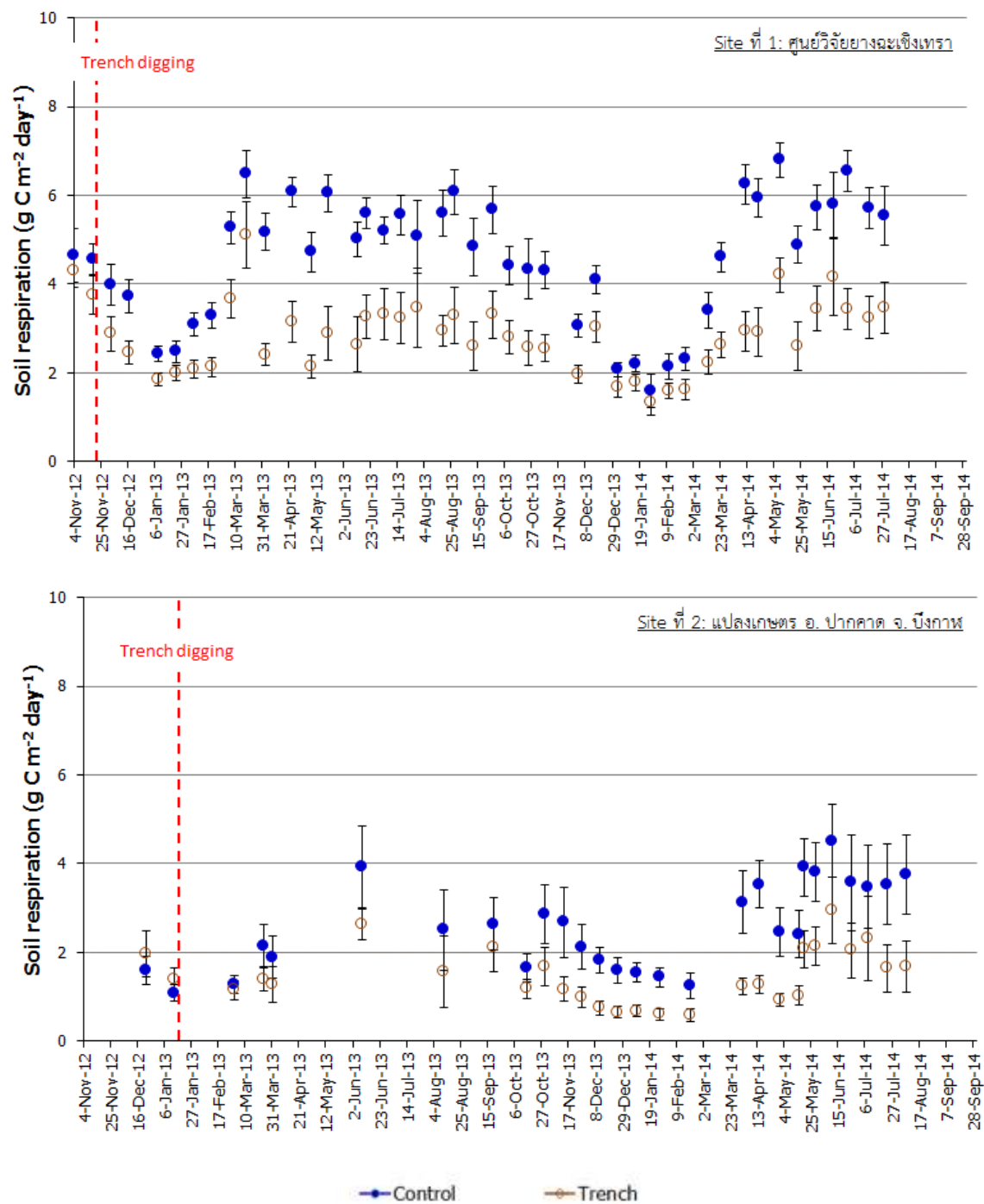
ปริมาณน้ำในดินที่ตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 ณ แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ตั้งแต่ วันที่ 23 ธันวาคม 2555 ถึงวันที่ 7 สิงหาคม 2557 รวมทั้งสิ้น 592 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำในดินที่ตรวจวัดจาก Control plot มีค่าตั้งแต่ 0.10 – 35.40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใน Trench plot นั้นมีค่าตั้งแต่ 0.64 – 37.00 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำในดินเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ที่เป็น Control และ Trench พบว่า ส่วนใหญ่แล้วมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำในดินไม่แตกต่างกัน ยกเว้นค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำในดินที่วัดในวันที่ 9 มิถุนายน 2556 วันที่ 19 กันยายน 2556 วันที่ 2 เมษายน 2557 วันที่ 19 และ 28 พฤษภาคม 2557 วันที่ 10 มิถุนายน 2557 วันที่ 8 และ กรกฎาคม 2557 และวันที่ 7 สิงหาคม 2557 พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำในดินของ Control plot มีค่าน้อยกว่า Trench plot ( $P < 0.05$ ) (รูปที่ 2-14)

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจของดิน ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) และ อัตราการหายใจของดินต่อวัน ( $\text{g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) กับ อุณหภูมิดิน ( $T_{\text{soil}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) และปริมาณน้ำในดิน (SWC, %) ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ.ฉะเชิงเทรา พบว่า อัตราการหายใจของดิน และอัตราการหายใจของดินต่อวัน มีความสัมพันธ์ในทางบวก (Positive correlation) กับค่าอุณหภูมิดิน และปริมาณน้ำในดิน และอัตราการหายใจของดิน และอัตราการหายใจของดินต่อวัน มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดิน มากที่สุด คือ ประมวลร้อยละ 34.4 (ตารางที่ 2-4)

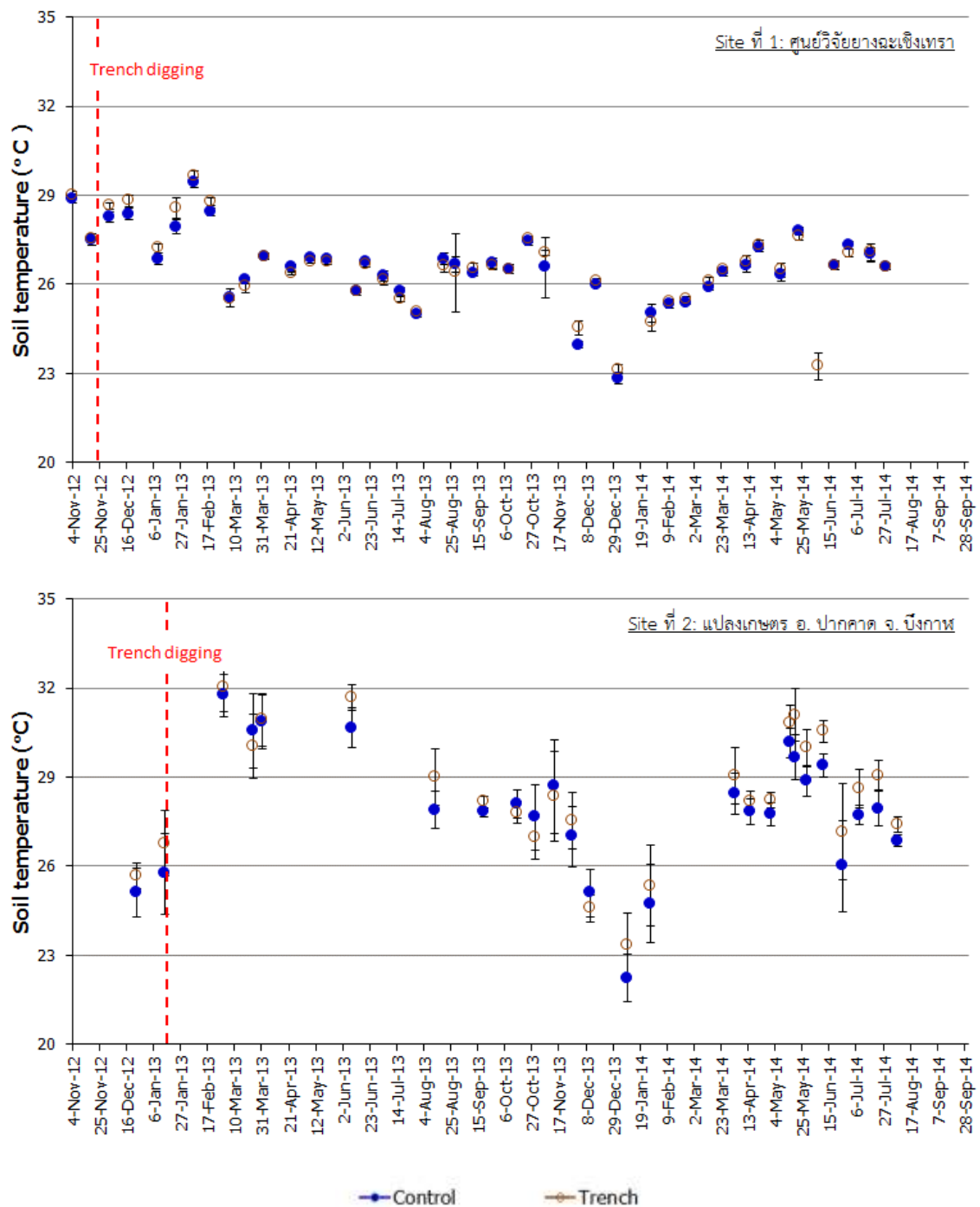
สำหรับ Site ที่ 2 แปลงปลูกยางพาราของเกษตรกร จ. บึงกาฬ พบว่า อัตราการหายใจของดิน และอัตราการหายใจของดินต่อวัน มีความสัมพันธ์ในทางบวก (Positive correlation) กับค่าอุณหภูมิดิน และปริมาณน้ำในดิน และอัตราการหายใจของดิน และอัตราการหายใจของดินต่อวัน มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดิน มากที่สุด คือ ประมวลร้อยละ 26.24 (ตารางที่ 2-4)



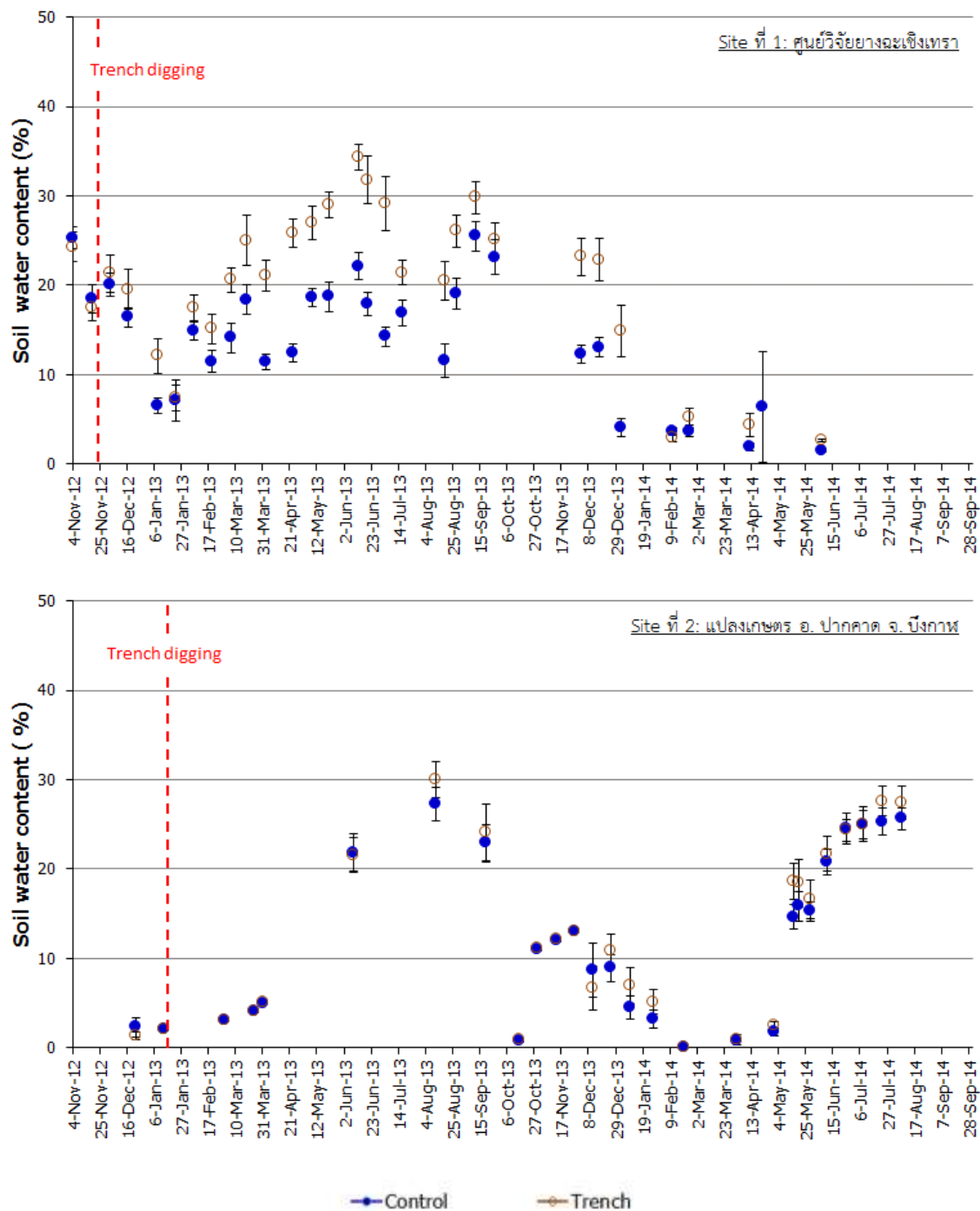
**รูปที่ 2-11** ค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจของดิน ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) เปรียบเทียบระหว่าง Control และ Trench plot (Vertical bars = confident interval ของค่าเฉลี่ย, ที่ความเชื่อมั่น 95 %)



**รูปที่ 2-12** ค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจของดินต่อวัน ( $\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) เปรียบเทียบระหว่าง Control และ Trench plot (Vertical bars = confident interval ของค่าเฉลี่ย, ที่ความเชื่อมั่น 95 %)



**รูปที่ 2-13** ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดิน (°C) เปรียบเทียบระหว่าง Control และ Trench plot (Vertical bars = confident interval ของค่าเฉลี่ย, ที่ความเชื่อมั่น 95 %)



**รูปที่ 2-14** ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำในดิน (%) เปรียบเทียบระหว่าง Control และ Trench plot (Vertical bars = confident interval ของค่าเฉลี่ย, ที่ความเชื่อมั่น 95 %)

**ตารางที่ 2-4** แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจของดิน ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) และ อัตราการหายใจของดินต่อวัน ( $\text{g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) กับ อุณหภูมิดิน ( $T_{\text{soil}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) และ ปริมาณน้ำในดิน (SWC, %) ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ.ฉะเชิงเทรา และ Site ที่ 2 แปลงยางพาราของเกษตรกร จ. บึงกาฬ

| แปลงปลูกยางพารา                               | ตัวแปรที่ศึกษา            | $T_{\text{soil}}$     | SWC                |
|-----------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|
| Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางพารา<br>จ. ฉะเชิงเทรา | อัตราการหายใจของดิน       | 0.15325*<br><0.0001** | 0.34395<br><0.0001 |
|                                               | อัตราการหายใจของดินต่อวัน | 0.15215<br><0.0001    | 0.34331<br><0.0001 |
| Site ที่ 2 แปลงยางของเกษตรกร<br>จ. บึงกาฬ     | อัตราการหายใจของดิน       | 0.19894<br><0.0001    | 0.26246<br><0.0001 |
|                                               | อัตราการหายใจของดินต่อวัน | 0.19690<br><0.0001    | 0.26248<br><0.0001 |

หมายเหตุ \* = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

\*\* = ความน่าจะเป็น

#### การทำเครื่องวัดอัตราการหายใจของดินแบบอัตโนมัติ

เนื่องจากเครื่องวัดอัตราการหายใจของดินแบบอัตโนมัติที่ทีมวิจัยได้พัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยปีที่ 1 ประสบปัญหาความดันภายใน Chamber ที่มีค่าสูง และไม่สามารถวัดค่าได้ในช่วงฤดูแล้งที่มีอัตราการหายใจของดินที่ต่ำมาก ทีมวิจัยได้ดำเนินการขอความร่วมมือทางวิชาการในการพัฒนาเครื่องวัดอัตราการหายใจของดินแบบอัตโนมัติ จาก Dr. Naishen Liang นักวิจัยจาก National Institute for Environmental Studies ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นหนึ่งในนักวิจัยภายใต้เครือข่าย AsiaFlux และมีความรู้ความสามารถเป็นอย่างดีในการพัฒนาชุดอุปกรณ์ดังกล่าว Dr. Naishen Liang ได้เดินทางมายังประเทศไทยเพื่อวิเคราะห์การทำงานของเครื่องวัดอัตราการหายใจของดินแบบอัตโนมัติที่สร้างไว้แล้วพบว่า ระบบการส่งอากาศเข้า-ออกจาก Chamber ไม่เหมาะสม ต้องเปลี่ยนระบบไหลเวียนอากาศจากเดิม ซึ่งเป็นระบบเปิด (Open system) ไปเป็นระบบปิด (Close system) ทีมวิจัยจึงประสานความร่วมมือกับ National Institute for Environmental Studies เพื่อสร้างเครื่องวัดอัตราการหายใจของดินแบบอัตโนมัติขึ้นมาใหม่ แต่เนื่องจากต้นทุนวัสดุและระบบควบคุมที่ National Institute for Environmental Studies ใช้สร้างเครื่องวัดอัตราการหายใจของดินแบบอัตโนมัติที่มีจำนวน Chamber มากกว่า 2 Chamber นั้นสูงมาก ทีมวิจัยจึงได้ขอความร่วมมือในการพัฒนาเครื่องวัดอัตราการหายใจของดินแบบอัตโนมัติขนาด 2 Chamber ขึ้นมาก่อน และให้นักวิจัยในทีมวิจัย ไปฝึกอบรมการออกแบบ และสร้างเครื่องมือดังกล่าว กับทาง National Institute for Environmental Studies และกลับมาพัฒนาเครื่องวัดอัตราการหายใจของดินแบบอัตโนมัติที่สร้างไว้เดิม ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ชุดอุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศไทยต่อไป

ขณะนี้ เครื่องวัดอัตราการหายใจของดินแบบอัตโนมัติขนาด 2 Chamber ที่พัฒนาร่วมกับ National Institute for Environmental Studies ได้สร้างเสร็จแล้ว (ภาพที่ 2-15) โดยชุดอุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วย กล่องควบคุม (Control unit) Chamber วัดการหายใจของดินจำนวน 2 Chamber และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ บั๊มลม สายลม สายไฟ เซนเซอร์วัดสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ดิน ความชื้นดิน ภายในกล่องควบคุม ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักดังนี้

- CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O Gas analyzer (Li-840, Licor, USA)
- Data logger (CR-1000, Campbell scientific, USA)
- Programmable logic control unit (custom build)
- Solenoid valve system unit (custom build)
- AC100-240V and DC 12V power supply unit with Battery (custom build)
- Operation Panel (Custom build)

เครื่องวัดอัตราการหายใจของดินแบบอัตโนมัติขนาด 2 Chamber นี้สามารถวัดอัตราการหายใจของดินได้ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง โดยสามารถโปรแกรมให้วัดสลับกันระหว่าง Chamber ที่ 1 กับ 2 ได้ตามต้องการ ระบบทำงานโดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ภายนอกหรือไฟฟ้ากระแสสลับอย่างใดอย่างหนึ่ง และหากพลังงานภายนอกหมดลงระบบยังสามารถทำงานต่อเนื่องได้อีก 12 ชั่วโมง โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่สำรองภายในเครื่อง ตัวเครื่องบรรจุอยู่ในกล่องกันน้ำ จึงสามารถทำงานได้ในสภาพแปลง และสามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ดี หากนำเครื่องวัดอัตราการหายใจของดินแบบอัตโนมัติขนาด 2 Chamber นี้ไปวัดการหายใจของดินแบบ Survey แทนเครื่อง Li-8100 ที่ใช้งานอยู่ เครื่องมือนี้สามารถลดเวลาในการวัดต่อ Chamber ลงได้จาก 5 นาที เป็น 3 นาที โดยการโปรแกรมการเปิด-ปิด Chamber และติดตั้ง Chamber อีกตัวไว้ยังตำแหน่งวัดถัดไปได้ก่อน ทำให้สามารถวัดค่าจากตำแหน่งต่างๆ กันได้ในเวลาที่สั้นลง เป็นการลดความคลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป



**รูปที่ 2-15** เครื่องวัดอัตราการหายใจของดินแบบอัตโนมัติขนาด 2 chamber ที่พัฒนาร่วมกับ National Institute for Environmental Studies แสดงให้เห็นกล่องควบคุม (รูปซ้าย) และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ (รูปขวา)

## 2.3 ข้อมูลประกอบอื่น ๆ

การติดตามการเจริญเติบโตและการสร้างชีวมวล ประกอบด้วย

### 2.3.1 การเปลี่ยนแปลงเส้นรอบวงโคนต้นยาง (Girth)

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดของ Girth โดยดำเนินการเก็บข้อมูลทุกๆ 6 เดือน โดยการวัด Girth ที่ความสูง 1.5 เมตร จากพื้นดิน (พิศมัย และคณะ, 2554)

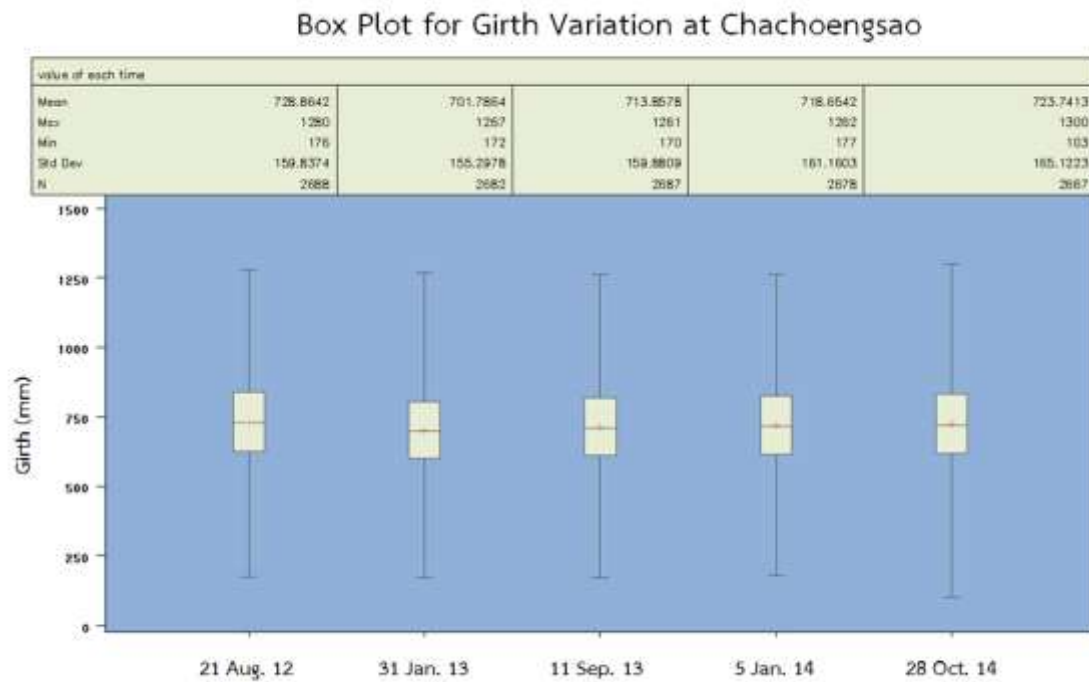
#### Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา

ในแปลงทดลองยางพาราที่ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ที่มิวิจัยวัด Girth ของยางพาราทุกต้นในแปลงทดลองพื้นที่ 50 ไร่มาแล้ว จำนวน 5 ครั้ง เมื่อวันที่ 21 สิงหาคม 2555 วันที่ 31 มกราคม 2556 วันที่ 11 กันยายน 2556 วันที่ 5 มกราคม 2557 และวันที่ 28 ตุลาคม 2557 จากยางพารา 4 Plot ข้อมูล Girth ที่วัดได้ทั้ง 5 ครั้ง จากยางพาราจำนวน 2,689 2,653 2,687 2,678 และ 2,667 ต้น ตามลำดับ ข้อมูล Girth ที่วัดได้ทั้ง 5 ครั้ง มีการกระจายตัวแบบปกติ ค่าเฉลี่ยของ Girth ที่วัดได้ มีเฉลี่ยเท่ากับ 728.86 701.79 713.86 718.65 และ 723.74 mm. ค่าเฉลี่ยของ Girth ที่วัดเมื่อวันที่ 21 สิงหาคม 2555 มีค่าสูงสุด รองลงมาได้แก่ ค่าเฉลี่ยของ Girth ที่วัดเมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2557 วันที่ 5 มกราคม 2557 และวันที่ 11 กันยายน 2556 ส่วนค่าเฉลี่ยของ Girth ที่วัดเมื่อวันที่ 31 มกราคม 2556 มีค่าน้อยที่สุด ( $P < 0.05$ ) (รูปที่ 2-16)

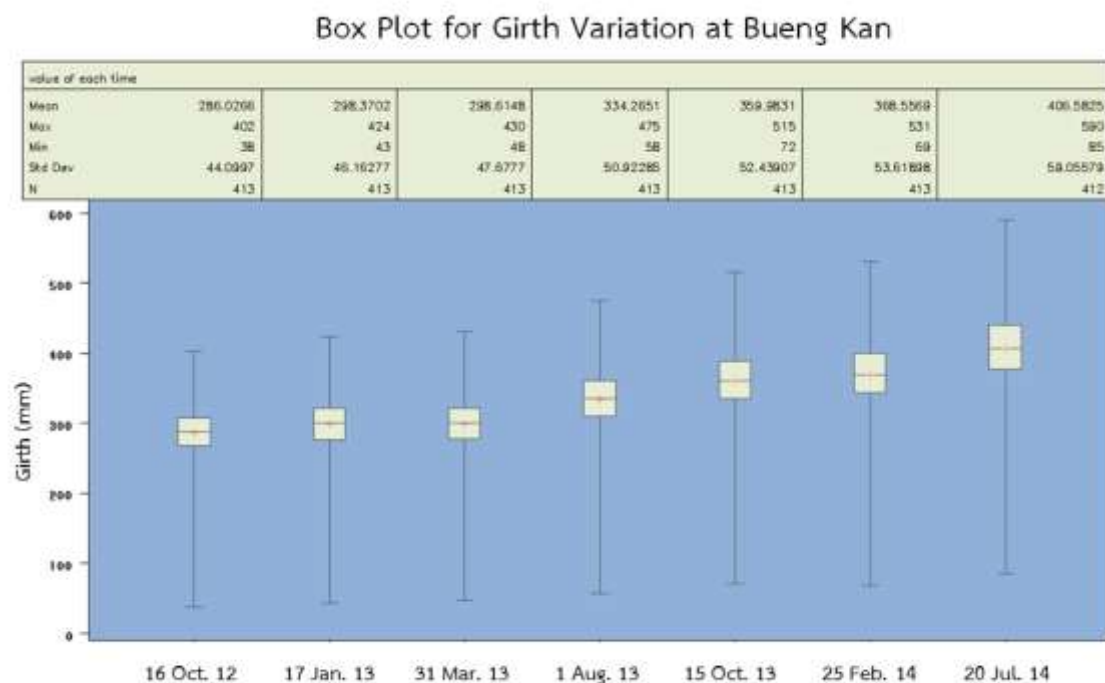
#### Site ที่ 2 แปลงปลูกยางของเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ

เนื่องจากต้นยางในแปลงเกษตรกรมีอายุน้อย และน่าจะมีอัตราการเจริญเติบโตของต้นมากกว่าต้นยางอายุมากที่ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ดังนั้นที่มิวิจัยจึงเก็บข้อมูล Girth ถิ่นมากกว่าที่ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา การทดลองปีที่ 1 ถึงปัจจุบัน ที่มิวิจัยวัด Girth ของต้นยางพารา จำนวน 7 ครั้ง ได้แก่ วันที่ 16 ตุลาคม 2555 วันที่ 17 มกราคม 2556 วันที่ 31 มีนาคม 2556 วันที่ 1 สิงหาคม 2556 วันที่ 15 ตุลาคม 2556 วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2557 และวันที่ 20 กรกฎาคม 2557 อีกทั้งแปลงปลูกยางพารา จังหวัดบึงกาฬนั้น มีพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่มาก ทำให้ไม่สามารถวัด Girth ของต้นยางได้ทุกต้น ดังนั้นที่มิวิจัยวัด Girth ของต้นยางพาราทุกต้นในแปลงทดลอง 3 Plot ได้แก่ A B และ C เพื่อเป็นตัวแทนของแปลงปลูกทั้งหมด

ข้อมูล Girth ที่วัดได้ทั้ง 7 ครั้ง จากยางพาราจำนวน 413 ต้น (การวัดครั้งที่ 7 เหลือต้นยางพาราอยู่ 412 ต้น) ข้อมูล Girth ที่วัดได้ทั้ง 7 ครั้ง มีการกระจายตัวแบบปกติ ค่าเฉลี่ยของ Girth ที่วัดได้ มีเฉลี่ยเท่ากับ 286.03 298.37 298.61 334.27 359.98 368.56 และ 406.58 mm. ค่าเฉลี่ยของ Girth ที่วัดเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2555 มีค่าน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของ Girth เพิ่มขึ้นตามลำดับ จากวันที่ 17 มกราคม 2556 และวันที่ 31 มีนาคม 2556 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของ Girth เท่ากัน ต่อมาค่าเฉลี่ยของ Girth เพิ่มมากขึ้นจนมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในครั้งสุดท้ายที่เก็บข้อมูล ได้แก่ วันที่ 20 กรกฎาคม 2557 ( $P < 0.05$ ) (รูปที่ 2-17) แสดงให้เห็นว่าต้นยางพาราในแปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ มีการเจริญเติบโตขึ้นตามลำดับ



**รูปที่ 2-16** การกระจายของขนาด Girth (mm.) ของต้นยางพาราในแปลงทดลองยางพาราที่ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา



**รูปที่ 2-17** การกระจายของขนาด Girth (mm.) ของต้นยางพาราในแปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ

### 2.3.2 การประเมินดัชนีพื้นที่ใบของพื้นที่ปลูกยางพารา (Stand leaf area index) จากข้อมูลชีวมวลของยางพาราที่ร่วงหล่นสู่พื้น (Litter trap) ของแปลงยางพารา

ดัชนีพื้นที่ใบ หรือ Leaf area index (LAI) เป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญทางด้านโครงสร้างพืช (Plant canopy structure) เนื่องจากมีอิทธิพลต่อปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่พืชได้รับ และการแลกเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และพลังงานระหว่างต้นพืชและบรรยากาศ ดังนั้นดัชนีพื้นที่ใบจึงเป็นตัวแปรสำคัญในแบบจำลองที่มีการเชื่อมโยงระหว่างพืชและปัจจัยสภาพแวดล้อม

การประเมินดัชนีพื้นที่ใบโดยใช้ข้อมูล Litter trap เป็นวิธีการวัดดัชนีพื้นที่ใบโดยตรง (Direct method) ที่ไม่ทำลายต้นยางพารา (Non-destructive method) ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การเก็บตัวอย่างใบที่ตกลงมาใน Litter trap ที่ติดตั้งไว้ และการวัดพื้นที่ใบ โดยทีมวิจัยวัดพื้นที่ใบด้วยวิธี Gravimetric method ซึ่งเป็นวิธีการที่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของใบ และค่า Specific leaf area (SLA)

การเก็บข้อมูลชีวมวลของยางพาราที่ร่วงหล่นสู่พื้นด้วยวิธีการใช้ตาข่ายดัก (Litter trap) ในรอบปี โดยการติดตั้ง Litter trap ซึ่งทำจากตาข่ายขนาดกว้าง 1 m. ยาว 1 m. ลึก 50 cm. ติดตั้งเหนือพื้นดิน 1 m. ณ ตำแหน่งต่างๆ ในแปลง (Eriksson *et al.* 2005)

เก็บรวบรวมชิ้นส่วนยางพาราที่ร่วงหล่นลงใน Litter trap ทุก 2-4 สัปดาห์ ต่อเนื่องตลอดฤดูกาล ตั้งแต่ต้นยางพารามีการแตกใบใหม่ จนกระทั่งใบร่วงจนหมด ชิ้นส่วนของยางพาราที่เก็บจาก Litter trap จะถูกนำมาอบแห้งในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาแยกออกเป็นชิ้นส่วนประเภทต่างๆ (Law *et al.* 2001) น้ำหนักแห้งของพื้นที่ใบในรอบ 1 ปีจะถูกนำมาคำนวณหาค่าดัชนีพื้นที่ใบของพื้นที่ปลูกยางพาราที่มากที่สุดของแปลงปลูกยางที่เก็บข้อมูล Litter trap มา ส่วนความแปรปรวนของดัชนีพื้นที่ใบในรอบปีศึกษานั้น จะถูกคำนวณย้อนกลับด้วยดัชนีพื้นที่ใบสูงสุดที่คำนวณได้ และน้ำหนักแห้งของตัวอย่างใบยางพาราที่บันทึกไว้ในแต่ละครั้ง

การหาค่า Specific Leaf Area (SLA, สัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักใบ) โดยการสุ่มเก็บใบที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว จำนวน 10 ใบจากตำแหน่งต่างๆ ในเรือนพุ่มยางพารา และสุ่มเก็บตัวอย่างจากต้นยางพาราในตำแหน่งต่างๆ กันในแปลงปลูก จำนวน 20 ตำแหน่ง นำตัวอย่างใบทั้งหมดมาวัดพื้นที่ใบโดยใช้เทคนิคการสแกนด้วยสแกนเนอร์ และคำนวณหาพื้นที่ใบโดยนับจำนวนพิกเซลของใบในภาพ และนำไปคูณกับอัตราส่วนของขนาดพิกเซลต่อขนาดจริง จากนั้นจึงนำไปอบแห้ง ในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำตัวอย่างใบที่ผ่านการอบแล้วไปชั่งน้ำหนักใบ (น้ำหนักแห้ง) และนำค่าที่ได้ไปคำนวณ SLA จากสมการ (Eriksson *et al.* 2005)

$$SLA = \frac{\sum A_i}{\sum W_i} \quad (8)$$

โดย SLA = Specific Leaf Area  
A = พื้นที่ใบของใบที่ i  
W = น้ำหนักแห้งของใบที่ i

การคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ใบของแปลงปลูก โดยใช้น้ำหนักแห้งของใบรวมทั้งปี ที่ได้จาก Litter trap มาคำนวณหาค่าดัชนีพื้นที่ใบจากความสัมพันธ์กับ SLA (Eriksson *et al.* 2005 และ Law *et al.* 2001) ที่ได้จากสมการที่ 8

#### Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา

ผู้วิจัยติดตั้งตาข่ายดัก Litter trap บริเวณต่างๆ กันในแปลงทดลอง จำนวน 20 ตำแหน่ง โดยมีตำแหน่งที่ติดตั้งแบบต่างๆ ได้แก่ ติดตั้งระหว่างต้นในแถว ติดตั้งระหว่างแถว ในแนวต้น และติดตั้งระหว่างแถว-ระหว่างต้น ภาพการติดตั้งตาข่ายดักซากพืช แสดงใน รูปที่ 2-18

การหาค่า SLA ของยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ณ แปลงทดลองยางพาราที่ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา พบว่า เมื่อน้ำหนักใบเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ใบก็เพิ่มขึ้นตาม และสามารถใช้น้ำหนักแห้งประเมินพื้นที่ใบได้จากสมการที่ 9 โดยน้ำหนักแห้งสามารถใช้ประเมินพื้นที่ใบได้ที่มีความเชื่อมั่น 68%

$$A_i = 99.901W_i + 7.2309 \quad (9)$$

โดย  $A$  = พื้นที่ใบของใบที่  $i$   
 $W$  = น้ำหนักแห้งของใบที่  $i$

การคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของแปลงทดลองยางพาราที่ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2555 – 28 มกราคม 2557 มีค่า LAI อยู่ระหว่าง 0.31 – 6.08 โดยค่า LAI ต่ำสุดปรากฏในเดือนมกราคม 2557 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการทิ้งใบของยางพารา และค่า LAI สูงสุดปรากฏในเดือนพฤษภาคม 2556 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใบยางพารามีการขยายขนาดเต็มที่ (รูปที่ 2-21, รูปบน)

#### แปลงปลูกยางพาราจังหวัดบึงกาฬ

ผู้วิจัยสุ่มติดตั้ง Litter trap บริเวณต่างๆ กันในแปลงทดลองย่อยทั้ง 3 แปลง จำนวน 9 ตำแหน่งต่อแปลงทดลองย่อย รวมทั้งหมด 27 ตำแหน่ง โดยมีตำแหน่งที่ติดตั้งแบบต่างๆ ได้แก่ ติดตั้งระหว่างต้นในแถว ติดตั้งระหว่างแถว ในแนวต้น และติดตั้งระหว่างแถว-ระหว่างต้น (รูปที่ 2-19 และ 2-20)

การหาค่า SLA ของยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ณ แปลงปลูกยางพาราจังหวัดบึงกาฬ พบว่า เมื่อน้ำหนักใบเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ใบก็เพิ่มขึ้นตาม และสามารถใช้น้ำหนักแห้งประเมินพื้นที่ใบได้จากสมการที่ 10 โดยน้ำหนักแห้งสามารถใช้ประเมินพื้นที่ใบได้ที่มีความเชื่อมั่น 98%

$$A_i = 137.66W_i + 0.6632 \quad (10)$$

โดย  $A$  = พื้นที่ใบของใบที่  $i$   
 $W$  = น้ำหนักแห้งของใบที่  $i$

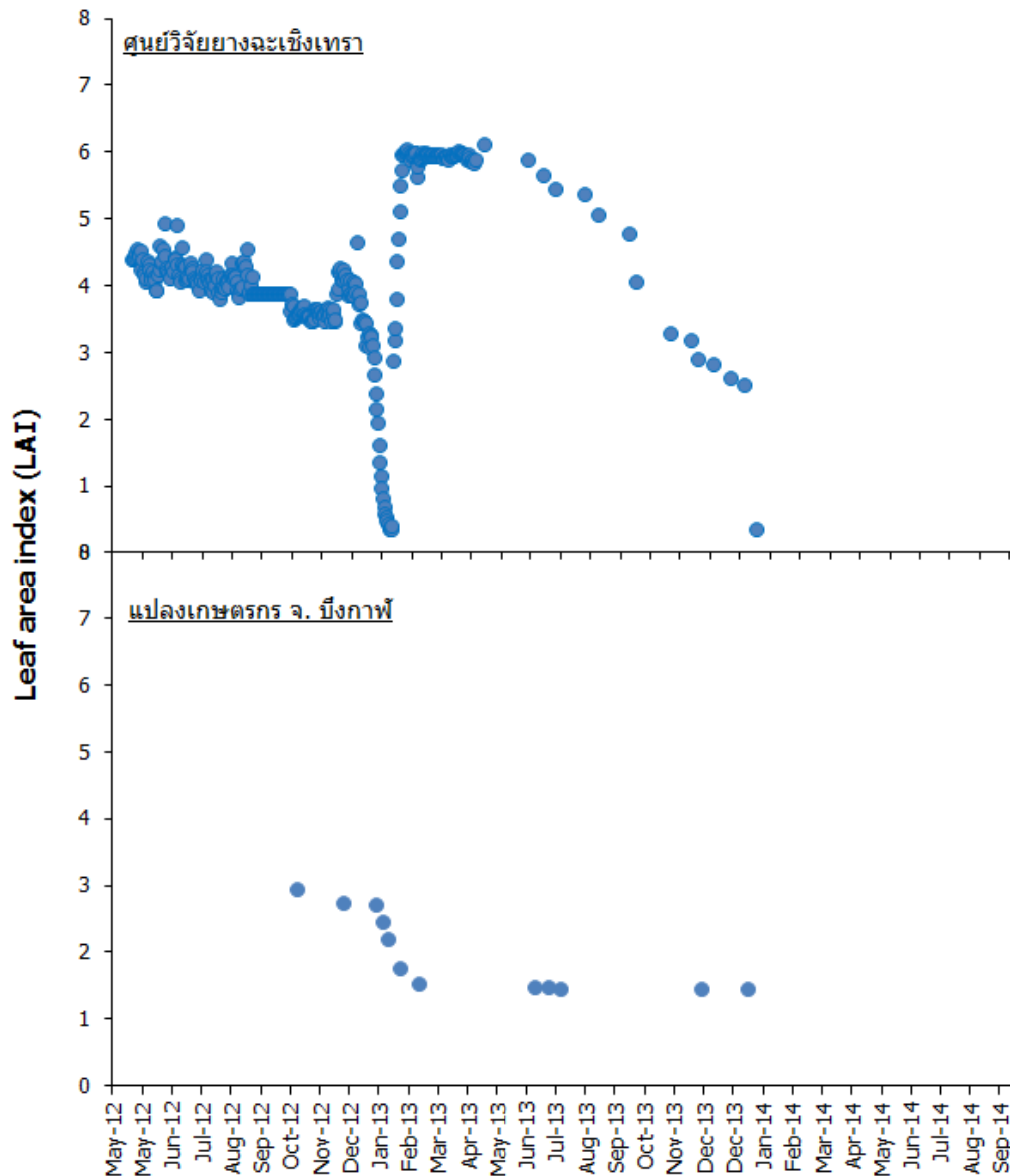
การคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของแปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ ระหว่างวันที่ 18 ตุลาคม 2555-29 มกราคม 2556 มีค่า LAI อยู่ระหว่าง 0.43 – 1.24 โดยค่า LAI ต่ำสุดปรากฏในวันที่ 29 มกราคม 2556 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการทิ้งใบของยางพารา และค่า LAI สูงสุดปรากฏในวันที่ 18 ตุลาคม 2555 ซึ่งเป็นช่วงก่อนที่ยางจะทิ้งใบ (รูปที่ 2-21, รูปล่าง) สำหรับข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2556 – 31 มีนาคม 2557 นั้นอยู่ระหว่างการวิเคราะห์ข้อมูล



**รูปที่ 2-18** การติดตั้ง Litter trap ในแปลงทดลองยางพาราที่ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา



**รูปที่ 2-19** แผนที่แสดงตำแหน่งที่สุ่มติดตั้ง Litter trap ในแปลงทดลองย่อย ในแปลงปลูกยางพารา จังหวัดบึงกาฬ (● ต้นยางพารา, ■ Litter trap) (ภาพซ้าย) และ ภาพแสดงการติดตั้ง Litter trap ในแปลงทดลองย่อย ในแปลงปลูกยางพาราจังหวัดบึงกาฬ (ภาพขวา)



**รูปที่ 2-20** ความแปรปรวนของค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของแปลงปลูกยางพารา ณ ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (รูปบน) และแปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (รูปล่าง) ซึ่งประเมินจากความสัมพันธ์กับค่า Specific leaf area และข้อมูลจาก Litter trap

## 2.4 การคำนวณค่า GPP, NEP และ NBP

การศึกษาสมดุลคาร์บอนในระบบนิเวศ เป็นการศึกษาการหมุนเวียนคาร์บอนโดยเริ่มจากคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศถูกพืชดูดซับ เพื่อนำไปใช้สังเคราะห์โปรโตพลาสซึม โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง สารอินทรีย์ของคาร์บอนจะถูกส่งผ่านไปยังสัตว์โดยการกิน การย่อย และนำไปใช้ในรูปแบบต่างๆ ในที่สุดทั้งพืชและสัตว์จะคืนคาร์บอนสู่บรรยากาศโดยการหายใจ และบางส่วนของคาร์บอนที่ยังคงประกอบเป็นเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์จะมีการหมุนเวียนกลับสู่บรรยากาศใหม่หลังจากพืชและสัตว์ตาย และมีการย่อยสลายเกิดขึ้น ดังนั้นคาร์บอนจึงหมุนเวียนอยู่ในระบบนิเวศอย่างสมดุล อัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างชั้นบรรยากาศและระบบนิเวศน์ ซึ่งถูกตรวจวัดและประเมินเป็นค่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (Net ecosystem exchange, NEE) และศักยภาพในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบจะถูกประเมินด้วยค่าผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบ (Net Ecosystem Production, NEP) ซึ่งเป็นการประเมินว่าระบบนิเวศนั้นๆ มีการดูดซับหรือปลดปล่อยคาร์บอน โดยระบบนิเวศที่มีการดูดซับคาร์บอนมากกว่าการปลดปล่อย จัดว่าเป็น Carbon sinks ( $NEP > 0$ ) ในทางกลับกัน ถ้าระบบนิเวศที่มีการดูดซับคาร์บอนน้อยกว่าการปลดปล่อย จะถูกจัดว่าเป็น Carbon source ( $NEP < 0$ ) ซึ่งสามารถประเมินได้ตามสมการของ Luysaert *et al.* (2009) ดังนี้

$$NEP = -NEE_{day} \quad (11)$$

NEP เท่ากับผลรวมของค่า NEE ในช่วงกลางวัน โดยค่า NEE ในช่วงเวลาดังกล่าวจะมีค่าเป็นลบ (-) ซึ่งแสดงว่ามีการเคลื่อนที่ Flux ของคาร์บอนจากบรรยากาศเข้าสู่ระบบนิเวศอย่างพารา หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ต้นยางพาราดูดซับคาร์บอนเข้าไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงนั่นเอง

$$R_e = NEE_{night} \quad (12)$$

$R_e$  เท่ากับผลรวมของค่า NEE ในช่วงกลางคืน โดยค่า NEE ในช่วงเวลาดังกล่าวจะมีค่าเป็นบวก (+) ซึ่งแสดงว่ามีการเคลื่อนที่ Flux ของคาร์บอนจากระบบนิเวศอย่างพาราขึ้นสู่บรรยากาศ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ต้นยางพาราปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศโดยกระบวนการหายใจของต้นยางนั่นเอง

$$GPP = NEP + R_e \quad (13)$$

เมื่อ  $NEP$  = ผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบ (Net Ecosystem Production )

$NEE$  = อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (Net ecosystem exchange) ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จากวิธีการทาง Eddy Covariance method

$GPP$  = อัตราการผลิตปฐมภูมิรวม (Gross Primary Production) ซึ่งเป็นค่าแสดงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงทั้งหมดของพืช หรือเรียกว่าเป็น “อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงทั้งหมด” (total photosynthesis หรือ total assimilation)

$R_e$  = การหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศ (Ecological respiration,  $R_e$ ) โดยสามารถคำนวณได้จากค่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ ( $+NEE$ ) ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืน

NBP (Net biome production) คือ ปริมาณคาร์บอนสะสมที่คงอยู่ในระบบนิเวศ ณ ช่วงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากหักลบปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปจากระบบนิเวศ โดยการหายใจทั้งหมดของระบบและกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การเผาไหม้ และการเก็บเกี่ยว เป็นต้น (Kutscha *et al.*, 2010)

$$NBP = NEP - D \quad (14)$$

เมื่อ  $D$  = ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปเนื่องจากการเผาไหม้ (carbon lost by fires) และการเก็บเกี่ยว (carbon removed by harvest)

ซึ่งในการศึกษาทดลองครั้งนี้ ได้จัดทำข้อมูลเพียงระยะเวลาสั้น อีกทั้งช่วงระยะเวลาศึกษายังไม่ครอบคลุมการเจริญเติบโตของยางพาราในรอบปี จึงยังไม่สามารถคำนวณค่า Net biome production (NBP) ได้

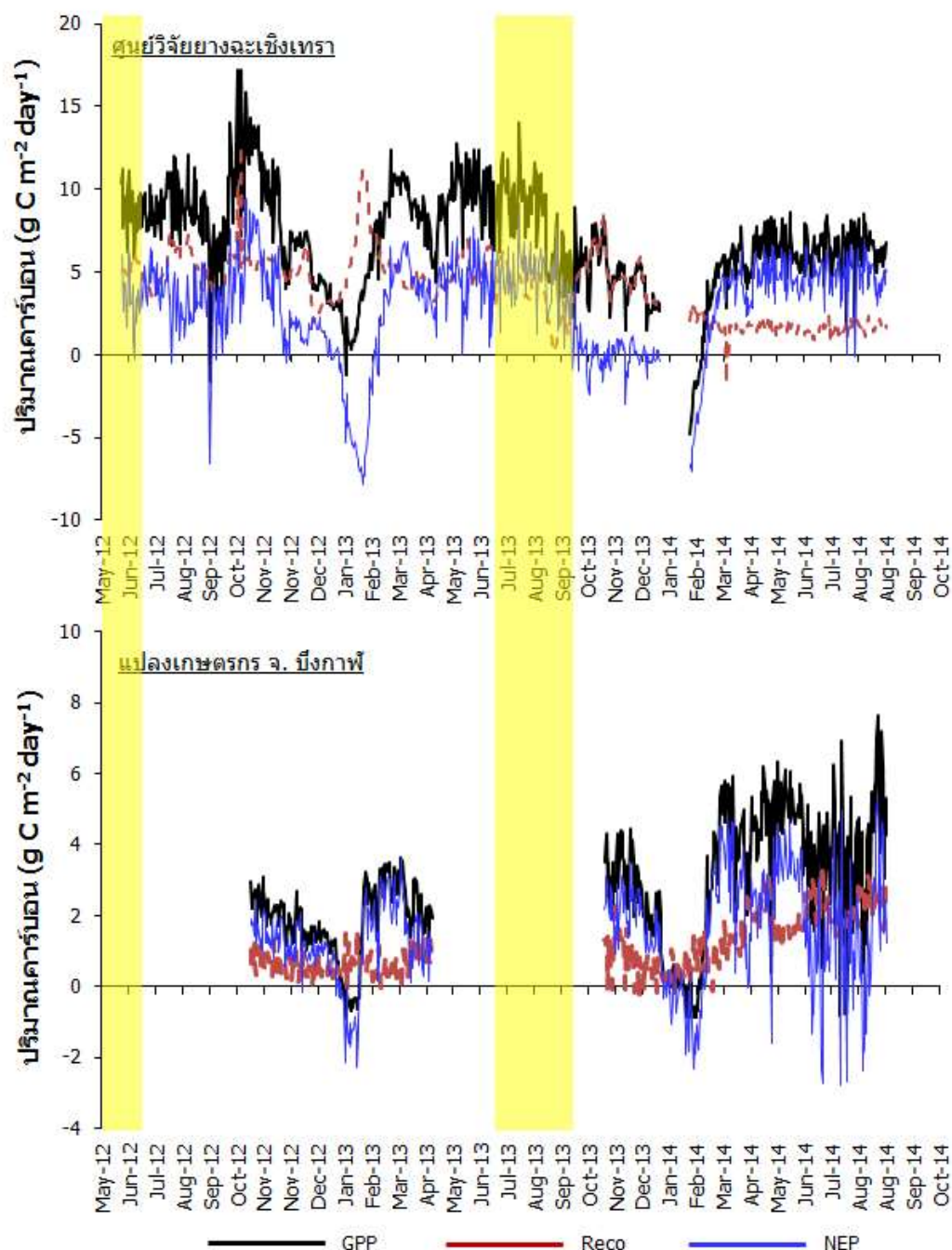
#### 2.4.1 สมดุลคาร์บอนของระบบนิเวศยางพารา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา

จากการดำเนินงานวิจัย ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึง วันที่ 31 ธันวาคม 2556 และวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (789 วัน) จากข้อมูลอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิที่วัดได้ด้วยเทคนิค Eddy Covariance ทำให้สามารถคำนวณค่าอัตราการผลิตปฐมภูมิรวม (GPP) อัตราการปลดปล่อยคาร์บอนจากการหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศ ( $R_e$ ) และผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบ (NEP) โดยปรากฏว่าในช่วงระยะเวลาดำเนินการเก็บข้อมูลนั้นมีค่า GPP,  $R_e$  และ NEP มีค่าอยู่ในช่วง -4.79 ถึง 17.24, -1.72 ถึง 12.63 และ -7.85 ถึง 9.47  $g\ C\ m^{-2}\ day^{-1}$  ตามลำดับ สำหรับข้อมูลสมดุลคาร์บอนในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้นมีค่า GPP,  $R_e$  และ NEP มีค่าอยู่ในช่วง -1.23 ถึง 13.99 0.14 ถึง 11.12 และ -7.85 ถึง 9.19  $g\ C\ m^{-2}\ day^{-1}$  ตามลำดับ จากค่าสมดุลคาร์บอนในปี 2556 นี้ ทำให้ทราบว่าค่าสะสมของ GPP,  $R_e$  และ NEP ในรอบ 1 ปี มีค่าเท่ากับ 3,978.69 2,755.48 และ 1,223.21  $kg\ C\ ra^{-1}$  (รูปที่ 2-21) โดยพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 นี้มีค่า GPP สะสมต่ำสุด และสูงสุดในช่วงเดือนมกราคม และมิถุนายน โดยมีค่าสะสม GPP เท่ากับ 142.53 และ 482.56  $kg\ C\ ra^{-1}month^{-1}$  ตามลำดับ ค่า  $R_e$  สะสมต่ำสุด และสูงสุดในช่วงเดือนกันยายน และกุมภาพันธ์ โดยมีค่าสะสม  $R_e$  เท่ากับ 91.04 และ 372.68  $kg\ C\ ra^{-1}month^{-1}$  ตามลำดับ และค่า NEP สะสมต่ำสุด และสูงสุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ และสิงหาคม โดยมีค่าสะสม NEP เท่ากับ -218.42 และ 267.38  $kg\ C\ ra^{-1}month^{-1}$  ตามลำดับ (ตารางที่ 2-5) การเปลี่ยนแปลงของสมดุลคาร์บอนในรอบปีสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบของยางพารา เนื่องจากในช่วงเดือนมกราคม ซึ่งมีการทิ้งใบของต้นยางพารา พื้นที่ปลูกยางพารามีค่า GPP ต่ำที่สุด แต่ปรากฏค่าสูงสุดในช่วงเดือนมิถุนายน ซึ่งเป็นช่วงที่ใบยางเจริญเติบโตเต็มที่และเป็นช่วงฤดูฝน ขณะที่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์นั้น ต้นยางเริ่มแตกใบใหม่และมีการเจริญเติบโตของใบยาง ทำให้พื้นที่ปลูกยางมีค่า  $R_e$  สูงที่สุด และมีค่า NEP ต่ำที่สุด โดยค่า NEP ที่ปรากฏในช่วงเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และธันวาคมนั้น มีค่าน้อยกว่า 0 แสดงว่าในช่วงเวลาดังกล่าว ระบบนิเวศของยางพาราทำหน้าที่เป็น Carbon source ในขณะที่ช่วงเดือนอื่นๆ นั้น NEP มีค่ามากกว่า 0 ระบบนิเวศของยางพาราจึงทำหน้าที่เป็น Carbon sink

#### 2.4.2 สมดุลคาร์บอนของระบบนิเวศยางพารา Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ

Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2556 และวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (497 วัน) มีอัตราการผลิตปฐมภูมิรวม (GPP) อัตราการปลดปล่อยคาร์บอนจากการหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศ ( $R_e$ ) และผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบ (NEP) โดยปรากฏว่าในช่วงระยะเวลาดำเนินการเก็บข้อมูลนั้นมีค่า GPP,  $R_e$  และ NEP มีค่าอยู่ในช่วง -0.89 ถึง 7.66, -0.37 ถึง 3.48 และ -2.76 ถึง 5.28  $g\ C\ m^{-2}\ day^{-1}$  ตามลำดับ (รูปที่ 2-21) สำหรับข้อมูลสมดุลคาร์บอนในช่วงเวลาที่ดำเนินการเก็บข้อมูล จำนวน 497 วันพบว่า มีค่าสะสมของ GPP,  $R_e$  และ NEP มีค่าเท่ากับ 2,113.22, 899.14 และ 1,214.08  $kg\ C\ ra^{-1}$  เกือบ

ตลอดระยะเวลาที่เก็บข้อมูล พบว่า NEP มีค่ามากกว่า 0 แสดงว่าในช่วงเวลาดังกล่าวระบบนิเวศของยางพาราทำหน้าที่เป็น Carbon sink ยกเว้นในช่วงเดือนมกราคม 2557 ซึ่งมีค่า NEP สะสมเท่ากับ  $-10.80 \text{ kg C.rai}^{-1}\text{month}^{-1}$  ซึ่งแสดงว่าในเดือนนี้ ระบบนิเวศของยางพาราทำหน้าที่เป็น Carbon source และ (ตารางที่ 2-6)



**รูปที่ 2-21** ค่าสะสมรายเดือนของอัตราการผลิตปฐมภูมิรวม (GPP, Gross primary production) การหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศ ( $R_e$ , Ecosystem respiration) และผลผลิตคาร์บอนสุทธิ (NEP, Net Ecosystem Production) ของแปลงปลูกยางพารา ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิถุนายน 2555 – 31 ธันวาคม 2556 และ 1 กุมภาพันธ์ – 31 สิงหาคม 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ตุลาคม 2555 – 30 เมษายน 2556 และ 1 พฤศจิกายน 2556 – 31 สิงหาคม 2557)

**ตารางที่ 2-5** แสดงค่าอัตราการผลิตปฐมภูมิรวม (GPP) การหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศ (Re) และ ผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบ (NEP) ของพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยาง ฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิถุนายน 2555 – 31 ธันวาคม 2556 และ 1 กุมภาพันธ์ – 31 สิงหาคม 2557)

| ปี                 | เดือน                | GPP (kg C.raí <sup>-1</sup> ) | Re (kg C.raí <sup>-1</sup> ) | NEP (kg C.raí <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 2555               | มิถุนายน             | 417.17                        | 242.72                       | 174.45                        |
|                    | กรกฎาคม              | 460.90                        | 253.45                       | 207.45                        |
|                    | สิงหาคม              | 431.47                        | 281.41                       | 150.06                        |
|                    | กันยายน              | 344.18                        | 217.15                       | 127.03                        |
|                    | ตุลาคม               | 611.71                        | 300.36                       | 311.35                        |
|                    | พฤศจิกายน            | 398.72                        | 246.68                       | 152.04                        |
|                    | ธันวาคม              | 298.91                        | 220.38                       | 78.53                         |
|                    | <b>รวม</b>           | <b>2,963.06</b>               | <b>1,762.15</b>              | <b>1,200.91</b>               |
| 2556               | มกราคม               | 142.52                        | 171.60                       | -29.08                        |
|                    | กุมภาพันธ์           | 154.26                        | 372.68                       | -218.42                       |
|                    | มีนาคม               | 457.77                        | 272.52                       | 185.25                        |
|                    | เมษายน               | 413.19                        | 201.27                       | 211.92                        |
|                    | พฤษภาคม              | 439.97                        | 219.94                       | 220.03                        |
|                    | มิถุนายน             | 482.55                        | 263.01                       | 219.54                        |
|                    | กรกฎาคม              | 453.16                        | 239.39                       | 213.77                        |
|                    | สิงหาคม              | 477.31                        | 209.93                       | 267.38                        |
|                    | กันยายน              | 244.26                        | 91.04                        | 153.22                        |
|                    | ตุลาคม               | 301.49                        | 297.59                       | 3.90                          |
|                    | พฤศจิกายน            | 225.36                        | 224.38                       | 0.98                          |
|                    | ธันวาคม              | 186.85                        | 192.13                       | -5.28                         |
|                    | <b>รวม</b>           | <b>3,978.69</b>               | <b>2,755.48</b>              | <b>1,223.21</b>               |
| 2557               | มกราคม <sup>1/</sup> | -                             | -                            | -                             |
|                    | กุมภาพันธ์           | 19.04                         | 102.69                       | -83.65                        |
|                    | มีนาคม               | 278.61                        | 66.70                        | 211.91                        |
|                    | เมษายน               | 296.50                        | 85.01                        | 211.49                        |
|                    | พฤษภาคม              | 312.06                        | 81.40                        | 230.66                        |
|                    | มิถุนายน             | 306.97                        | 71.35                        | 235.62                        |
|                    | กรกฎาคม              | 305.86                        | 77.49                        | 228.37                        |
|                    | สิงหาคม              | 320.36                        | 84.07                        | 236.29                        |
|                    | <b>รวม</b>           | <b>1,839.4</b>                | <b>5,68.71</b>               | <b>1,270.69</b>               |
| <b>รวมทั้งสิ้น</b> |                      | <b>8,781.15</b>               | <b>5,086.34</b>              | <b>3,694.81</b>               |

<sup>1/</sup> ช่วงเดือนมกราคม 2557 ไม่สามารถดำเนินการเก็บข้อมูลได้ เนื่องจากเครื่องวัดปริมาณไอน้ำและแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเสียหายต้องส่งซ่อมและปรับเทียบค่าใหม่ ณ บริษัท Licor Co. Ltd., USA ทำให้ขาด ข้อมูลสมดุลคาร์บอนและน้ำในช่วงเวลาดังกล่าวข้างต้น

**ตารางที่ 2-6** แสดงค่าอัตราการผลิตปฐมภูมิรวม (GPP) การหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศ (Re) และผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบ (NEP) ของพื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ตุลาคม 2555 – 30 เมษายน 2556 และ 28 กุมภาพันธ์ 31 สิงหาคม 2557)

| ปี                 | เดือน                 | GPP (kg C.raí <sup>-1</sup> ) | R <sub>e</sub> (kg C.raí <sup>-1</sup> ) | NEP (kg C.raí <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|
| 2555               | ตุลาคม <sup>1/</sup>  | 54.53                         | 18.36                                    | 36.17                         |
|                    | พฤศจิกายน             | 96.68                         | 31.60                                    | 65.08                         |
|                    | ธันวาคม               | 77.46                         | 23.17                                    | 54.29                         |
|                    | <b>รวม</b>            | <b>288.67</b>                 | <b>73.13</b>                             | <b>155.54</b>                 |
| 2556               | มกราคม                | 35.71                         | 25.88                                    | 9.83                          |
|                    | กุมภาพันธ์            | 56.26                         | 30.46                                    | 25.80                         |
|                    | มีนาคม                | 143.84                        | 22.94                                    | 120.90                        |
|                    | เมษายน                | 101.29                        | 43.08                                    | 58.21                         |
|                    | พฤษภาคม <sup>2/</sup> | -                             | -                                        | -                             |
|                    | มิถุนายน              | -                             | -                                        | -                             |
|                    | กรกฎาคม               | -                             | -                                        | -                             |
|                    | สิงหาคม               | -                             | -                                        | -                             |
|                    | กันยายน               | -                             | -                                        | -                             |
|                    | ตุลาคม                | -                             | -                                        | -                             |
|                    | พฤศจิกายน             | 159.28                        | 50.85                                    | 108.43                        |
|                    | ธันวาคม               | 113.54                        | 24.11                                    | 89.43                         |
|                    | <b>รวม</b>            | <b>609.92</b>                 | <b>197.32</b>                            | <b>412.60</b>                 |
| 2557               | มกราคม                | 7.78                          | 18.58                                    | -10.80                        |
|                    | กุมภาพันธ์            | 50.17                         | 30.27                                    | 19.91                         |
|                    |                       | 221.17                        | 58.15                                    | 163.02                        |
|                    |                       | 202.62                        | 109.06                                   | 93.56                         |
|                    |                       | 253.10                        | 78.19                                    | 174.91                        |
|                    |                       | 162.05                        | 115.13                                   | 46.92                         |
|                    |                       | 170.38                        | 94.75                                    | 75.62                         |
|                    |                       | 207.36                        | 124.56                                   | 82.80                         |
|                    | <b>รวม</b>            | <b>1,274.63</b>               | <b>628.69</b>                            | <b>645.94</b>                 |
| <b>รวมทั้งสิ้น</b> |                       | <b>2,113.22</b>               | <b>899.14</b>                            | <b>1,214.08</b>               |

<sup>1/</sup> เก็บข้อมูลไม่ครบเดือน (18-31 ตุลาคม 2555)

<sup>2/</sup> ช่วงเดือนพฤษภาคม 2556 – ตุลาคม 2556 ไม่สามารถดำเนินการเก็บข้อมูลได้ เนื่องจากเครื่องวัดปริมาณไอน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเสียหายต้องส่งซ่อมและปรับเทียบค่าใหม่ ณ บริษัท Licor Co. Ltd., USA ทำให้ขาดข้อมูลสมมูลคาร์บอนและน้ำในช่วงเวลาดังกล่าวข้างต้น

## 2.5 ค่า Carbon equivalent ที่ใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาคาร์บอนฟุตพริ้นต์

ข้อมูลผลผลิตคาร์บอนสุทธิ (NEP) ซึ่งคำนวณจากข้อมูลสมดุลคาร์บอนที่วัดได้จริงด้วยเทคนิค Eddy Covariance เป็นหนึ่งในข้อมูลการปล่อยแก๊สเรือนกระจกช่วงต้นน้ำ (Upstream emissions) ซึ่งยังไม่มี การนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์เนื่องจากไม่มีข้อมูลเพียงพอที่จะ สามารถนำมาคำนวณได้ แต่ในปัจจุบันซึ่งการพัฒนาของเทคโนโลยีและเทคนิคต่างๆ ทำให้เราสามารถ ตรวจวัดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพื้นที่ปลูกพืชได้ ดังนั้นทีมวิจัยจึงศึกษาการ ปลดปล่อยปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพื้นที่ปลูกยางดังกล่าวเพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลในการ คำนวณหาคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์

จากข้อมูล Carbon equivalent ของพื้นที่ปลูกยางพาราจังหวัดฉะเชิงเทรา แสดงให้เห็นว่ามี คาร์บอนที่ถูกเก็บไว้ในพื้นที่ปลูกยางสูงถึง 1,223.21 kg C.ra<sup>-1</sup> คิดเป็นร้อยละ 92.87 สำหรับปริมาณ คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาเนื่องมาจากการเกษตรกรรมนั้น คิดเป็นร้อยละ 0.68 และปริมาณคาร์บอนใน น้ำยาง ซึ่งมีการเก็บผลผลิตเฉพาะที่ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา มีปริมาณ Carbon equivalent สูงถึงร้อยละ 7.81 ซึ่งอาจถูกใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ ในกรณีที่ ผลิตภัณฑ์นั้นๆ มีอายุใช้งานนานเกิน 10 ปี (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์, 2552) (ตารางที่ 2-6 และ 2-7)

**ตารางที่ 2-6** แสดงค่า Carbon equivalent ของข้อมูลการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของพื้นที่ปลูก ยางพาราพันธุ์ RRIM 600 Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา

| ข้อมูล                          | ปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมา (kg C.ra <sup>-1</sup> )<br>ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา อายุต้นยาง 19 ปี <sup>1/</sup> |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. พื้นที่ปลูกยางพารา (ค่า NEP) | -1,223.21 <sup>2/</sup>                                                                                             |
| 2. การเกษตรกรรม <sup>3/</sup>   | 9.02                                                                                                                |
| 3. ผลผลิต                       | 102.89 <sup>4/</sup>                                                                                                |

<sup>1/</sup> ประเมินจากข้อมูล 12 เดือน (1 ม.ค. – 31 ธ.ค. 56)

<sup>2/</sup> ปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมา (kg C.ra<sup>-1</sup>) หมายความว่า มีการดูดกลืนคาร์บอนเข้ามามากกว่าที่จะ ปลดปล่อยออกมา

<sup>3/</sup> ประเมินจากค่า Carbon dioxide equivalent ของข้อมูลเกษตรกรรม ณ ปีที่ศึกษา คิดจำนวนเดือนของข้อมูล เทียบเท่ากับข้อมูลปริมาณคาร์บอนสะสมของพื้นที่ปลูกยางพารา คือ 11 เดือน และ 6 เดือน ของพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ ตามลำดับ

<sup>4/</sup> ปริมาณผลผลิตน้ำยาง ตั้งแต่เดือน มกราคม – ธันวาคม 2556 ส่วนเดือนกุมภาพันธ์ – เมษายน 2556 ไม่มีการกรีดยาง รวมทั้งสิ้น 128.24 kg.ra<sup>-1</sup> และคำนวณเป็นปริมาณคาร์บอนที่สะสมในน้ำยางเท่ากับ 102.89 kg C.ra<sup>-1</sup> (กาญจนา, 2550)

**ตารางที่ 2-7** แสดงค่าอัตราการผลิตปฐมภูมิรวม (GPP) การหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศ (Re) ผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบ (NEP) และผลผลิตน้ำยาง (Yield) ของพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางยะเชิงเทรา จ. ยะเชิงเทรา (1 มิถุนายน 2555 – 31 ธันวาคม 2556 และ 1 กุมภาพันธ์ – 31 สิงหาคม 2557)

| ปี                 | เดือน                | GPP (kg C.raí <sup>-1</sup> ) | R <sub>e</sub> (kg C.raí <sup>-1</sup> ) | NEP (kg C.raí <sup>-1</sup> ) | Yield (kg.raí <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 2555               | มิถุนายน             | 417.17                        | 242.72                                   | 174.45                        | 15.71                         |
|                    | กรกฎาคม              | 460.90                        | 253.45                                   | 207.45                        | 21.97                         |
|                    | สิงหาคม              | 431.47                        | 281.41                                   | 150.06                        | 23.86                         |
|                    | กันยายน              | 344.18                        | 217.15                                   | 127.03                        | 23.67                         |
|                    | ตุลาคม               | 611.71                        | 300.36                                   | 311.35                        | 24.32                         |
|                    | พฤศจิกายน            | 398.72                        | 246.68                                   | 152.04                        | 20.75                         |
|                    | ธันวาคม              | 298.91                        | 220.38                                   | 78.53                         | 21.02                         |
|                    | <b>รวม</b>           | <b>2,963.06</b>               | <b>1,762.15</b>                          | <b>1,200.91</b>               | <b>151.30</b>                 |
| 2556               | มกราคม               | 142.52                        | 171.60                                   | -29.08                        | 31.69                         |
|                    | กุมภาพันธ์           | 154.26                        | 372.68                                   | -218.42                       | -                             |
|                    | มีนาคม               | 457.77                        | 272.52                                   | 185.25                        | -                             |
|                    | เมษายน               | 413.19                        | 201.27                                   | 211.92                        | -                             |
|                    | พฤษภาคม              | 439.97                        | 219.94                                   | 220.03                        | 21.76                         |
|                    | มิถุนายน             | 482.55                        | 263.01                                   | 219.54                        | 8.55                          |
|                    | กรกฎาคม              | 453.16                        | 239.39                                   | 213.77                        | 11.66                         |
|                    | สิงหาคม              | 477.31                        | 209.93                                   | 267.38                        | 17.10                         |
|                    | กันยายน              | 244.26                        | 91.04                                    | 153.22                        | 9.33                          |
|                    | ตุลาคม               | 301.49                        | 297.59                                   | 3.90                          | 20.21                         |
|                    | พฤศจิกายน            | 225.36                        | 224.38                                   | 0.98                          | 12.43                         |
|                    | ธันวาคม              | 186.85                        | 192.13                                   | -5.28                         | 27.20                         |
|                    | <b>รวม</b>           | <b>3,978.69</b>               | <b>2,755.48</b>                          | <b>1,223.21</b>               | <b>128.24</b>                 |
| 2557               | มกราคม <sup>1/</sup> | -                             | -                                        | -                             | 21.76                         |
|                    | กุมภาพันธ์           | 19.04                         | 102.69                                   | -83.65                        | -                             |
|                    | มีนาคม               | 278.61                        | 66.70                                    | 211.91                        | -                             |
|                    | เมษายน               | 296.50                        | 85.01                                    | 211.49                        | -                             |
|                    | พฤษภาคม              | 312.06                        | 81.40                                    | 230.66                        |                               |
|                    | มิถุนายน             | 306.97                        | 71.35                                    | 235.62                        |                               |
|                    | กรกฎาคม              | 305.86                        | 77.49                                    | 228.37                        |                               |
|                    | สิงหาคม              | 320.36                        | 84.07                                    | 236.29                        |                               |
|                    | <b>รวม</b>           | <b>1,839.4</b>                | <b>5,68.71</b>                           | <b>1,270.69</b>               |                               |
| <b>รวมทั้งสิ้น</b> |                      | <b>8,781.15</b>               | <b>5,086.34</b>                          | <b>3,694.81</b>               |                               |

<sup>1/</sup> ช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน ของทุกปีไม่มีการกรีดยาง

<sup>2/</sup> ช่วงเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม 2557 อยู่ระหว่างการเก็บข้อมูลผลผลิต

### บทที่ 3

## การศึกษาองค์ประกอบของคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากการเกษตรกรรม ปุ๋ย ยา และสารเคมีที่ใช้ และของเสียที่เกิดขึ้น

### 3.1 บทนำ

#### 3.1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันน้ำยางพารามีพื้นที่ปลูกทั่วโลกทั้งในแหล่งกำเนิดเดิมในประเทศบราซิล และนอกถิ่นกำเนิด ในประเทศ ไลบีเรีย ไนจีเรีย อินเดีย จีน และในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซียและไทย ซึ่งประเทศที่ผลิตยางพารามากเป็นอันดับ 1 คือ ประเทศไทย มีผลผลิตรวมคิดเป็นร้อยละ 30.2 ของผลผลิตยางพาราทั่วโลก รองลงมาคือประเทศอินโดนีเซีย และอันดับ 3 คือ ประเทศมาเลเซีย รวมผลผลิตยางพาราทั้ง 3 ประเทศ คิดเป็นร้อยละ 65.9 ของผลผลิตยางพาราทั่วโลก ยางพาราได้ถูกนำเข้ามาในประเทศไทยในปี พ.ศ.2443 และรัฐบาลมีการส่งเสริมให้ปลูกในปี พ.ศ. 2503 จนมาถึงปัจจุบัน ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพารา 18.76 ล้านไร่ โดยแบ่งเป็นภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและตะวันออก และภาคใต้ ร้อยละ 4.7, 18.84, 11.97 และ 64.50 ตามลำดับ ส่งออก 2.95 ล้านตัน ในปี 2554 ประเทศไทย เป็นผู้ใช้อย่างอันดับ 5 ของโลก ด้วยปริมาณ 486,745 ตัน หรือร้อยละ 13.6 ของปริมาณการผลิตยางในประเทศการส่งออกยางธรรมชาติของไทย ส่งออกในรูปของวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ยางไม้ยางพาราแปรรูปและผลิตภัณฑ์ไม้ ทำรายได้ให้แก่ประเทศ คิดเป็นมูลค่า 678,942 ล้านบาท ผลผลิตเฉลี่ย 276 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี จะเห็นได้ว่าสวนยางพาราก่อให้เกิดมูลค่าการส่งออกสูงและกำลังขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับประเทศไทยมีความได้เปรียบในเรื่องวัตถุดิบมากกว่าประเทศคู่แข่ง เนื่องจากมีวัตถุดิบเพียงพอสำหรับใช้ภายในประเทศ อย่างไรก็ตาม ความได้เปรียบต่างๆ ก็มักจะถูกกีดกันทางการค้าจากประเทศผู้นำเข้าโดยอ้างว่ายางพาราของประเทศไทยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค อีกทั้งประเทศไทยยังได้ลงนามรับรองพิธีสารเกียวโต เมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งกำหนดให้ทุกภาคีร่วมรับผิดชอบดำเนินการด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามขีดความสามารถและสถานการณ์ของแต่ละประเทศด้วยความสมัครใจ และมีสิทธิ์เข้าร่วมโครงการตามกลไกการพัฒนาที่สะอาด ในช่วงพันธกรณีแรก พ.ศ. 2551-2555

ด้วยเหตุนี้ การปรับตัวเพื่อให้อุตสาหกรรมยางพาราของประเทศยังคงศักยภาพการแข่งขันได้ การศึกษาและวิเคราะห์ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตจึงเป็นกลไกที่สำคัญอย่างหนึ่งเพื่อช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิต รวมถึงการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการคาดการณ์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งทางบวกและทางลบ เพื่อกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อมและใช้ในการประกอบการตัดสินใจพัฒนาอุตสาหกรรม ในงานศึกษานี้จึงนำแนวคิดของการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ LCA (Life Cycle Assessment: LCA) มุ่งเน้นที่จะเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ทรัพยากร วัตถุดิบ สารเคมี ตลอดจนพลังงานที่ใช้ของสวนยางพาราในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย 2 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรีเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลและพัฒนาคู่ยอดไปสู่ฐานข้อมูลของประเทศ อีกทั้งผลการศึกษายังช่วยให้สามารถตัดสินใจเกี่ยวกับการเกษตรกรรมและการจัดการการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เป็นประโยชน์ทั้งในระดับเกษตรกรและระดับนโยบายของประเทศ

### 3.1.2 วัตถุประสงค์

3.1.2.1 เพื่อศึกษาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเกษตรกรรมในพื้นที่ภาคตะวันออก รวม 2 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี ด้วยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

3.1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเกษตรกรรม อาทิเช่น ขนาดของสวนยางพารา ลักษณะการถือครองที่ดิน และลักษณะทางสังคม เป็นต้น ในพื้นที่ภาคตะวันออก รวม 2 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี

### 3.1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

3.1.3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของสวนยางพาราในเขตพื้นที่จังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี เพื่อคัดเลือกพื้นที่ในการเก็บข้อมูลการเกษตรกรรม โดยเก็บข้อมูลการเกษตรกรรมในพื้นที่สวนยางพารา คิดเป็นร้อยละ 30 ของพื้นที่การปลูกยางพาราในจังหวัดนั้นๆ ซึ่งครอบคลุมสวนขนาดเล็ก สวนขนาดกลาง และสวนขนาดใหญ่ เพื่อกำหนดคาร์บอนฟุตพริ้นต์และพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์สวนยางพารา อาทิเช่น ขนาดของสวนยางพารา ลักษณะการถือครองที่ดิน และลักษณะทางสังคม เป็นต้น

3.1.3.2 ออกแบบสอบถาม และติดต่อผู้เป็นเจ้าของและชาวสวนยางพาราในพื้นที่เพื่อเข้าสำรวจเบื้องต้น

3.1.3.3 จัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ หมายรวมถึง ปริมาณการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและวัตถุดิบ พลังงานและสาธารณูปโภค และปริมาณมลสารทางอากาศ

3.1.3.4 ประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเกษตรกรรม

3.1.3.5 สรุปรายงานผลสัมฤทธิ์ตลอดโครงการ

### 3.1.4 แผนงานของโครงการ

แผนงานของโครงการเป็นไปตามข้อเสนอโครงการซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

| กิจกรรม                                                                                                                          | เม.ย. 57 | พ.ค. 57 | มิ.ย. 57 | ก.ค. 57 | ส.ค. 57 | ก.ย. 57 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------|----------|---------|---------|---------|
| 1. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของสวนยางพาราในเขตพื้นที่จังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี และคัดเลือกพื้นที่ในการเก็บข้อมูลการเกษตรกรรม | X        |         |          |         |         |         |
| 2. ออกแบบสอบถาม และเข้าสำรวจเบื้องต้น                                                                                            | X        | X       |          |         |         |         |
| 3. ดำเนินการเข้าสำรวจและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (LCI)                                           |          | X       | X        | X       |         |         |
| 4. ประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเกษตรกรรม ปุ๋ย ยา และสารเคมีที่ใช้ และของเสียที่เกิดขึ้น                                     |          |         |          | X       | X       |         |
| 5. จัดทำสรุปรายงานผลสัมฤทธิ์ตลอดโครงการ                                                                                          |          |         |          |         | X       | X       |

### 3.1.5 แผนงานของโครงการ

- 3.1.5.1 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา จังหวัดระยอง
- 3.1.5.2 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา จังหวัดจันทบุรี
- 3.1.5.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา ในเขตพื้นที่ภาคตะวันออก

## 3.2 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

### 3.2.1 ข้อมูลเบื้องต้นจังหวัดระยอง

- **ลักษณะทางภูมิศาสตร์**

- ขนาดและที่ตั้ง**

จังหวัดระยองตั้งอยู่ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย ระหว่างเส้นละติจูดที่ 12 องศา 33 ลิปดา ถึง 13 องศา 9 ลิปดาเหนือ และเส้นลองจิจูดที่ 100 องศา 59 ลิปดา ถึง 101 องศา 50 ลิปดา ตะวันออก มีพื้นที่ประมาณ 3,552 ตารางกิโลเมตร หรือ 2,220,000 ไร่ ห่างจากกรุงเทพฯ ประมาณ 179 กิโลเมตร และมีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียงดังนี้

ทิศเหนือ ติดต่อกับ อำเภอนนทบุรี บ่อทอง และศรีราชา จังหวัดชลบุรี

ทิศใต้ ติดต่อกับ อ่าวไทย พื้นที่ฝั่งทะเลยาวประมาณ 100 กิโลเมตร

ทิศตะวันออก ติดต่อกับ อำเภอนครชัยศรี จังหวัดจันทบุรี

ทิศตะวันตก ติดต่อกับ อำเภอสทิงพระ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี

- ลักษณะภูมิประเทศ**

สภาพพื้นที่โดยทั่วไปเป็นที่ราบสลับที่ดอนเป็นลูกคลื่น ประกอบด้วยภูเขาเตี้ยๆ ด้านเหนือและตะวันออก เป็นที่ราบสลับภูเขา ลาดต่ำลงสู่อ่าวไทย ทางทิศใต้เป็นดินร่วนปนทราย ระบายน้ำได้ดี มีชายฝั่งทะเลเว้าแหว่งติดอ่าวไทย ยาวประมาณ 100 กิโลเมตร มีแม่น้ำสำคัญ 2 สาย คือ แม่น้ำระยอง ชาวบ้านโดยทั่วไป เรียก คลองใหญ่ มีความยาวประมาณ 50 กิโลเมตร ไหลผ่านพื้นที่อำเภอบางพลายแดง บ้านค่าย ผ่านตำบลท่าประดู่ และไหลลงสู่ทะเลที่ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง และแม่น้ำประแสร์ ที่มีต้นกำเนิดมาจากทิวเขาจันทบุรี ยาวประมาณ 120 กิโลเมตร ไหลผ่านตำบลต่างๆ ในเขตอำเภอแกลง ลงสู่ทะเลที่ตำบลปากน้ำประแสร์ อำเภอแกลง ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดระยองแสดงดังรูปที่ 3-1

- ลักษณะภูมิอากาศ**

มีลักษณะภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อนลมทะเลพัดผ่านตลอดปี อากาศอบอุ่นไม่ร้อนจัด บริเวณชายฝั่งทะเลเย็นสบาย ในฤดูฝนจะมีฝนตกชุก ปริมาณฝนเฉลี่ยต่อปี 1,382 มิลลิเมตร ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมของทุกปี อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 29.5 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุดในเดือนเมษายนวัดได้ 38.7 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดในเดือนมกราคมวัดได้ 17.8 องศาเซลเซียส

- **สภาพเศรษฐกิจและสังคม**

- ประชากรและอาชีพ**

จังหวัดระยองมีประชากรรวมทั้งสิ้น 583,470 คน เป็นชาย 288,098 คน และหญิง 295,372 คน ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม อัตราความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่ 164.27 คนต่อตารางกิโลเมตร

### เศรษฐกิจ

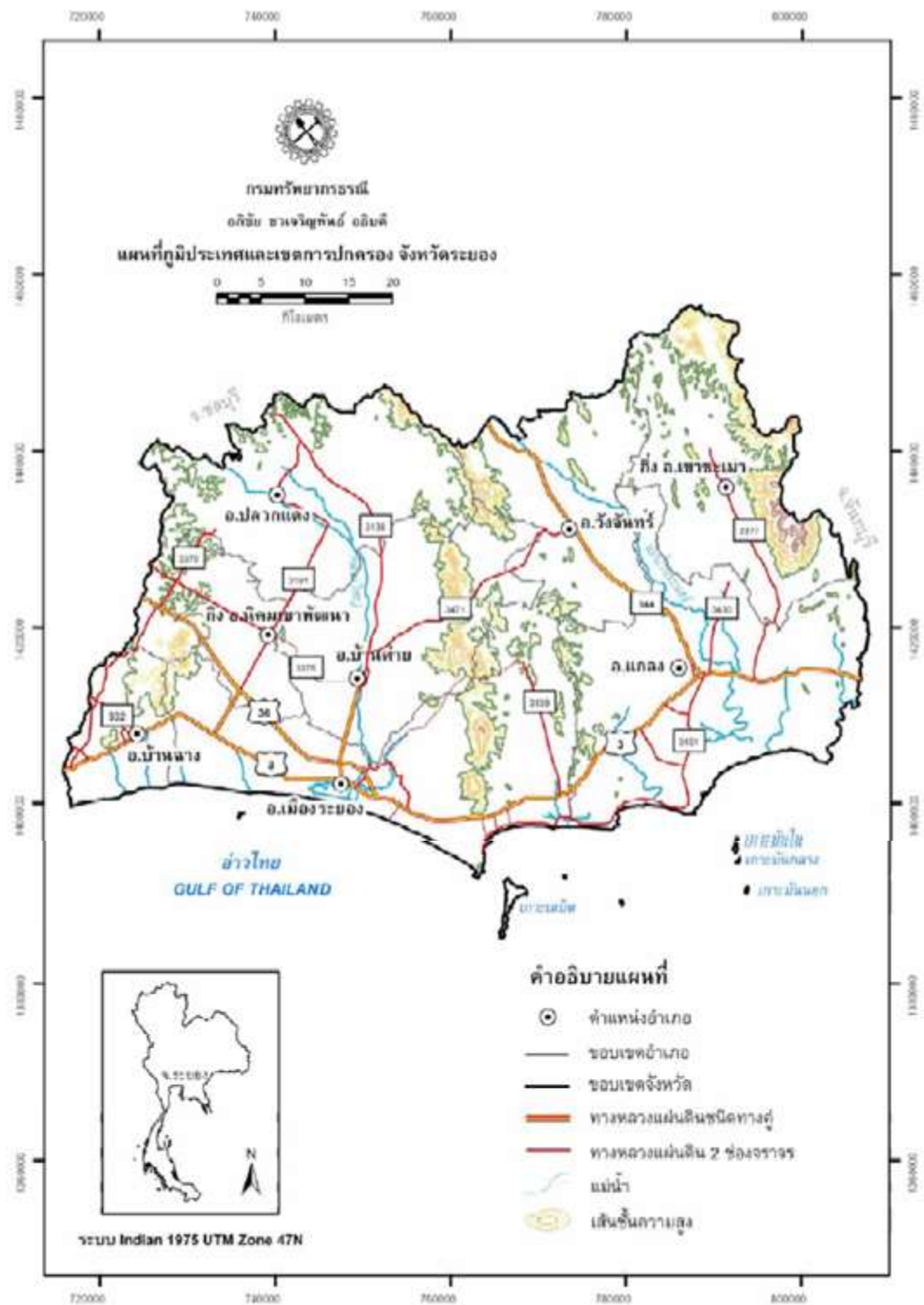
จังหวัดระยองเป็นจังหวัดที่มีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในทุกๆ ด้าน มีสภาพเศรษฐกิจที่ดี มีรายได้เฉลี่ยต่อหัวประชากรสูงเป็นอันดับหนึ่งของประเทศ ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากการพัฒนาตาม โครงการพัฒนาพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก หรือโครงการ Eastern Seaboard เป็นฐานเศรษฐกิจที่สำคัญ การพัฒนาส่งผลให้จังหวัดระยองเป็นศูนย์อุตสาหกรรมหลักและอุตสาหกรรมต่อเนื่องเป็นศูนย์กลางความเจริญแห่งใหม่ มีการลงทุนภาคอุตสาหกรรมสูงที่สุดของประเทศ มีการจ้างงานจำนวนมาก จากรายงานของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติแจ้งว่า ในปี พ.ศ. 2549 จังหวัดระยองมีมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมของจังหวัด (GPP) ตามราคาประจำปีประมาณ 527,183 ล้านบาท หรือประมาณร้อยละ 40.68 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภาคตะวันออก มูลค่าผลิตภัณฑ์เฉลี่ยต่อคน (Per capita GPP) ประมาณ 995,733 บาท รายได้ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับภาคอุตสาหกรรมมากที่สุดถึงร้อยละ 48.41 ซึ่งมีมูลค่าการผลิตประมาณ 255,219 ล้านบาท รองลงมาคือรายได้จากการทำเหมืองแร่ คิดเป็นร้อยละ 34.26 มูลค่าการผลิตประมาณ 180,632 ล้านบาท ส่วนรายได้จากการเกษตรกรรมคิดเป็นร้อยละ 1.16<sup>1</sup>

จังหวัดระยอง มีพื้นที่เกษตรกรรม 1,371,051 ไร่ จากพื้นที่ทั้งจังหวัด 1,945,075 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 70.49 ของพื้นที่ทั้งจังหวัด มีครัวเรือนเกษตรกร จำนวน 51,101 ครัวเรือน โดยมีพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัด ได้แก่ ยางพารา มันสำปะหลัง สับปะรด อ้อย ข้าว ผลไม้ต่าง ๆ เช่นทุเรียนเงาะ และมังคุด โดยข้อมูลพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจจังหวัดระยองในปี พ.ศ.2556/2557 แสดงดังตารางที่ 3-1

สำหรับยางพารา เป็นพืชที่เพาะปลูกมากที่สุดในจังหวัด เมื่อเปรียบเทียบกับพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดอื่นๆ เนื่องจากยางพาราเป็นพืชที่ปลูกง่ายไม่จำเป็นต้องดูแลรักษา มากอีกทั้งสภาพทางภูมิประเทศของจังหวัดเอื้ออำนวยและความต้องการของตลาดยังคงมีปริมาณสูง ซึ่งพื้นที่การปลูกยางพารากระจายตัวอยู่ใน 7 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอแกลง อำเภอบ้านค่าย อำเภอบ้านฉาง อำเภอปลวกแดง อำเภอวังจันทร์ และอำเภอเขาชะเมา โดยอำเภอแกลงมีพื้นที่การปลูกยางพารามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 29.03 ของพื้นที่การปลูกยางพาราทั้งหมด ตามด้วยอำเภอวังจันทร์ อำเภอเขาชะเมา อำเภอบ้านค่าย และอำเภอเมือง คิดเป็นร้อยละ 16.98, 14.42, 13.86 และ 12.07 ของพื้นที่การปลูกยางพาราทั้งหมดตามลำดับ<sup>2</sup> ทั้งนี้ ข้อมูลพื้นที่การปลูกยางพาราของแต่ละพื้นที่ในจังหวัดระยอง แสดงดังตารางที่ 3-2

<sup>1</sup> กรมทรัพยากรธรณี, (2551). การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดระยอง. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

<sup>2</sup> สำนักงานเกษตรจังหวัดระยอง, (2557). ข้อมูลพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจจังหวัดระยองปี 2556/2557. สืบค้นเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2557 เข้าถึงได้จาก [www.rayong.doae.go.th/](http://www.rayong.doae.go.th/)



รูปที่ 3-1 แผนที่ภูมิประเทศและเขตการปกครองจังหวัดระยอง

ตารางที่ 3-1 ตารางแสดงข้อมูลพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจจังหวัดระยองปี 2556/2557

| อำเภอ                 | พื้นที่ถือครอง<br>(ไร่) | พื้นที่การเกษตร<br>(ไร่) | ครอบครัว<br>เกษตรกร | ข้าวนาปี<br>(ไร่) | สับปะรด<br>(ไร่) | มันสำปะหลัง<br>(ไร่) | ลองกอง<br>(ไร่) | อ้อย<br>(ไร่) | ทุเรียน<br>(ไร่) | มะม่วง<br>(ไร่) | เงาะ<br>(ไร่) | ขนุน<br>(ไร่) | มังคุด<br>(ไร่) | มะพร้าว<br>(ไร่)          | ยางพารา<br>(ไร่) | ปาล์มน้ำมัน<br>(ไร่) |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------|------------------|----------------------|-----------------|---------------|------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------------------|------------------|----------------------|
| เมือง                 | 278,134                 | 186,337                  | 8,980               | 3,468             | 1,948            | 5,825                | 2,653           | 0             | 4,877            | 2,479           | 3,151         | 432           | 9,948           | 1,484                     | 90,200           | 276                  |
| แกลง                  | 435,344                 | 332,004                  | 15,000              | 5,757             | 3,522            | 5,445                | 2,856           | 0             | 36,863           | 3,032           | 4,894         | 4,736         | 8,504           | 3,254                     | 216,956          | 2,767                |
| บ้านค่าย              | 250,194                 | 215,538                  | 7,456               | 11,102            | 8,547            | 6,747                | 405             | 1,000         | 1,579            | 200             | 956           | 180           | 3,820           | 630                       | 103,575          | 262                  |
| บ้านฉาง               | 343,587                 | 148,807                  | 4,064               | 22                | 44,004           | 22,690               | 3               | 300           | 21               | 65              | 18            | 64            | 56              | 145                       | 68,985           | 7,985                |
| ปลวกแดง               | 121,158                 | 60,556                   | 2,482               | 7                 | 1,859            | 26,367               | 0               | 580           | 11               | 5,232           | 6             | 643           | 71              | 1,793                     | 4,865            | 2,325                |
| วังจันทร์             | 169,447                 | 169,911                  | 4,409               | 375               | 2,055            | 2,825                | 1,003           | 613           | 9,142            | 169             | 527           | 1,320         | 2,233           | 19                        | 126,934          | 5,787                |
| เขาชะเมา              | 177,252                 | 143,563                  | 4,644               | 650               | 4,042            | 2,807                | 1,884           | 0             | 6,692            | 204             | 2,231         | 1,500         | 6,212           | 92                        | 107,792          | 1,260                |
| นิคมพัฒนา             | 169,959                 | 114,335                  | 4,066               | 29                | 35,051           | 8,472                | 76              | 0             | 247              | 1,068           | 21            | 438           | 243             | 1,241                     | 28,047           | 321                  |
| รวม                   | 1,945,075               | 1,371,051                | 51,101              | 21,410            | 101,028          | 81,178               | 8,880           | 2,493         | 59,432           | 12,449          | 11,804        | 9,313         | 31,087          | 8,658                     | 747,354          | 20,983               |
| พื้นที่ให้ผล (ไร่)    |                         |                          |                     | 21,410            | 68,367           | 55,115               | 7,521           | 2,493         | 55,831           | 11,409          | 11,018        | 7,922         | 28,635          | 8,076                     | 556,670          | 15,858               |
| ผลผลิตเฉลี่ย (ไร่/กก) |                         |                          |                     | 589.80            | 6,822.07         | 4,529.66             | 590.20          | 9,560         | 1,357.49         | 897.47          | 1,342.71      | 2,785.12      | 700.02          | อ่อน 965 ผล<br>แก่ 825 ผล | 225.97           | 2,832.46             |
| ผลผลิตรวม (ตัน)       |                         |                          |                     | 12,627.52         | 466,404.70       | 249,652.29           | 4,438.88        | 23,833.08     | 75,789.90        | 10,239.25       | 14,794.01     | 22,063.72     | 20,045.14       | 5,278.64                  | 125,792.89       | 44,917.20            |

ที่มา : สำนักงานเกษตรจังหวัดระยอง, 2557

ตารางที่ 3-2 พื้นที่การปลูกยางพารารายตำบล จังหวัดระยอง

| อำเภอเมือง       |        | อำเภอแกลง   |         | อำเภอบ้านค่าย |         | อำเภอปลวกแดง |        | อำเภอบ้านฉาง |       | อำเภอวังจันทร์ |         | อำเภอเขาชะเมา |         | อำเภอนิคมพัฒนา |        |
|------------------|--------|-------------|---------|---------------|---------|--------------|--------|--------------|-------|----------------|---------|---------------|---------|----------------|--------|
| ตำบล             | ไร่(   | ตำบล        | ไร่(    | ตำบล          | ไร่(    | ตำบล         | ไร่(   | ตำบล         | ไร่(  | ตำบล           | ไร่(    | ตำบล          | ไร่(    | ตำบล           | ไร่(   |
| มาตาพุตห้วยโป่ง/ | 1,547  | กองดิน      | 25,199  | ชากบก         | 11,160  | ปลวกแดง      | 5,675  | สำนักท้อน    | 4,060 | วังจันทร์      | 10,285  | น้ำเป็น       | 21,763  | มาบข่า         | 12,280 |
| เนินพระ          | 16     | พังราด      | 1,250   | ตาขัน         | 950     | ตาสีหิ       | 13,690 | พลา          | 80    | พลองตาเอี่ยม   | 21,876  | ข้าฝ้อ        | 38,262  | นิคมพัฒนา      | 6,660  |
| ทับมา            | 2,365  | คลองปูน     | 3,507   | บางบุตร       | 32,787  | ละหาร        | 13,862 | บ้านฉาง      | 725   | ชุมแสง         | 44,457  | ห้วยทับมอญ    | 30,024  | พนานิคม        | 5,905  |
| น้ำคอก           | 2,973  | ปากน้ำกระแ  | 2       | หนองบัว       | 30,264  | แม่น้ำคู้    | 14,864 |              |       | ป่ายูบโน       | 50,316  | เขาน้อย       | 17,743  | มะขามคู้       | 3,202  |
| เชิงเนิน         | 32     | ทุ่งควายกิน | 22,379  | บ้านค่าย      | 745     | มาบยางพร     | 4,432  |              |       |                |         |               |         |                |        |
| นาตาขวัญ         | 5,090  | ทางเกวียน   | 13,538  | หนองตะพาน     | 4,540   | หนองไร่      | 16,462 |              |       |                |         |               |         |                |        |
| บ้านแลง          | 4,400  | บ้านนา      | 28,842  | หนองละลอก     | 23,129  |              |        |              |       |                |         |               |         |                |        |
| ตะพง             | 2,706  | กระแสน      | 33,097  |               |         |              |        |              |       |                |         |               |         |                |        |
| เพ               | 1,503  | วังห้ว      | 27,910  |               |         |              |        |              |       |                |         |               |         |                |        |
| แกลง             | 9,696  | เนินขี้     | 3,483   |               |         |              |        |              |       |                |         |               |         |                |        |
| กะเจด            | 40,919 | ห้วยยาง     | 6,828   |               |         |              |        |              |       |                |         |               |         |                |        |
| สำนักทอง         | 18,953 | สองสลึง     | 20,198  |               |         |              |        |              |       |                |         |               |         |                |        |
|                  |        | ชากโดน      | 13,484  |               |         |              |        |              |       |                |         |               |         |                |        |
|                  |        | ชากพง       | 15,185  |               |         |              |        |              |       |                |         |               |         |                |        |
|                  |        | กร้า        | 2,054   |               |         |              |        |              |       |                |         |               |         |                |        |
| รวม              | 90,200 | รวม         | 216,956 | รวม           | 103,575 | รวม          | 68,985 | รวม          | 4,865 | รวม            | 126,934 | รวม           | 107,792 | รวม            | 28,047 |

ที่มา : สำนักงานเกษตรจังหวัดระยอง, 2557

### 3.2.2 ข้อมูลเบื้องต้นจังหวัดจันทบุรี

#### ● ลักษณะทางภูมิศาสตร์

##### ขนาดและที่ตั้ง

จังหวัดจันทบุรี ตั้งอยู่ภาคตะวันออกของประเทศไทย ห่างจากกรุงเทพมหานคร ประมาณ 223 กิโลเมตร มีเนื้อที่ประมาณ 6,338 ตร.กม. หรือประมาณ 3,961,250 ไร่ แยกเป็นรายอำเภอ ดังนี้

|                     |        |       |               |
|---------------------|--------|-------|---------------|
| อำเภอเมืองจันทบุรี  | ประมาณ | 253   | ตารางกิโลเมตร |
| อำเภอขลุง           | ประมาณ | 756   | ตารางกิโลเมตร |
| อำเภอท่าใหม่        | ประมาณ | 613   | ตารางกิโลเมตร |
| อำเภอแหลมสิงห์      | ประมาณ | 191   | ตารางกิโลเมตร |
| อำเภอโป่งน้ำร้อน    | ประมาณ | 927   | ตารางกิโลเมตร |
| อำเภอมะขาม          | ประมาณ | 480   | ตารางกิโลเมตร |
| อำเภอสอยดาว         | ประมาณ | 734   | ตารางกิโลเมตร |
| อำเภอแก่งหางแมว     | ประมาณ | 1,254 | ตารางกิโลเมตร |
| อำเภอนายายอาม       | ประมาณ | 300   | ตารางกิโลเมตร |
| กิ่งอำเภอเขาคิชฌกูฏ | ประมาณ | 830   | ตารางกิโลเมตร |

##### เขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง

|              |           |                                            |
|--------------|-----------|--------------------------------------------|
| ด้านเหนือ    | ติดต่อกับ | จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา และจังหวัดสระแก้ว |
| ด้านใต้      | ติดต่อกับ | จังหวัดตราดและอ่าวไทย                      |
| ด้านตะวันออก | ติดต่อกับ | จังหวัดตราด และประเทศกัมพูชา               |
| ด้านตะวันตก  | ติดต่อกับ | จังหวัดระยองและอ่าวไทย                     |

##### ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดจันทบุรีส่วนใหญ่ประกอบด้วยพื้นที่ราบลูกฟูก หรือที่ราบลูกกระพรวน มีลักษณะเป็นพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำสลับกับที่เนินเตี้ย ๆ บริเวณชายฝั่งทะเลมีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มน้ำแคบๆ ได้แก่ พื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำจันทบุรี ลุ่มแม่น้ำวังโตนดและลุ่มน้ำพังราด ส่วนบริเวณที่ติดกับเทือกเขาจะเป็นพื้นที่ราบ หุบเขาและพื้นที่ราบเชิงเขาตอนบนของจังหวัดจันทบุรี บริเวณเขตติดต่อกับจังหวัดปราจีนบุรี และรอยต่อของอำเภอสอยดาวกับกิ่งอำเภอเขาคิชฌกูฏ มีเทือกเขาที่สำคัญได้แก่ยอดเขาสอยดาวใต้ซึ่งเป็นยอดเขาที่สูงที่สุดในภูมิภาคนี้ คือ สูง 1,675 เมตร รองลงมาได้แก่ยอดเขาสอยดาวเหนือสูง 1,369 เมตร ยอดเขาพระบาท ยอดเขาตะเคียน ส่วนบริเวณติดต่อของอำเภอเมืองจันทบุรี อำเภอมะขาม และอำเภอขลุง มีเทือกเขาสระบาปวางตัวกันอยู่เทือกเขาตัวเองเป็นแหล่งกำเนิดของน้ำตกพลั่ว น้ำตกคลอง-นารายณ์ และน้ำตกตรอกนอง ลุ่มน้ำลำธารที่สำคัญของจังหวัดจันทบุรี ได้แก่ แม่น้ำจันทบุรี แม่น้ำเวฬุ ซึ่งกั้นระหว่างจังหวัดจันทบุรี ตราด แม่น้ำวังโตนด และมีลำน้ำขนาดเล็กกั้นระหว่างจันทบุรี ระยอง คือแม่น้ำพังราดลำน้ำเหล่านี้เป็นแม่น้ำสายสั้นๆ ซึ่งกำเนิดจากป่าเทือกเขาตอนบนของจังหวัดจันทบุรี เนื่องจากทางใต้ของจังหวัดจันทบุรีจรดกับอ่าวไทย 3 แผนที่แสดงที่ตั้งและอาณาเขตจังหวัดจันทบุรี แสดงดังรูปที่ 3-2



รองลงมา เป็นสาขาการค้าส่งและค้าปลีก ร้อยละ 21.68 คิดเป็นมูลค่า 4,953 ล้านบาท และสาขาบริการ ร้อยละ 13.27 คิดเป็นมูลค่า 3,031 ล้านบาท

#### การปกครอง

การปกครองส่วนภูมิภาคแบ่งออกเป็น 9 อำเภอ 1 กิ่งอำเภอ 76 ตำบล 721 หมู่บ้าน ประชากร 511,587 คน การปกครองส่วนท้องถิ่นประกอบด้วย

1. องค์การบริหารส่วนจังหวัด
2. เทศบาล (เทศบาลเมือง 2 แห่ง , เทศบาลตำบล 14 แห่ง)
3. องค์การบริหารส่วนตำบล 68 แห่ง

4. จำนวนตำบลในจังหวัดจันทบุรีประกอบด้วย อำเภอเมืองจันทบุรี 11 ตำบล อำเภอท่าใหม่ 14 ตำบล อำเภอขลุง 12 ตำบล อำเภอมะขาม 6 ตำบล อำเภอแหลมสิงห์ 7 ตำบล อำเภอโป่งน้ำร้อน 5 ตำบล อำเภอแก่งหางแมว 5 ตำบล อำเภอนายายอาม 6 ตำบล กิ่งอำเภอเขาคิชฌกูฏ 5 ตำบล

จังหวัดจันทบุรี เป็นเมืองที่อุดมสมบูรณ์ ดินฟ้าอากาศเอื้ออำนวยต่อการปลูกผลไม้หลายชนิด โดยเฉพาะ ทุเรียน เงาะ มังคุด และพืชผลทางการเกษตรอื่น ๆ เช่น พริกไทย ยางพารา เป็นศูนย์กลางธุรกิจด้านอัญมณี และมีแหล่งท่องเที่ยวที่น่าสนใจมากมายไม่ว่าจะเป็นภูเขา ป่าไม้ น้ำตก ชายทะเล และโบราณสถาน โบราณวัตถุต่างๆ จากข้อมูลสถิติการปลูกยางพาราในปี พ.ศ.2555 พบว่าจันทบุรีมีพื้นที่การปลูกยางพารา 732,855 ไร่ ซึ่งมีแนวโน้มการปลูกยางพาราเพิ่มขึ้นกว่าแสนไร่เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ.2543 แสดงดังตารางที่ 3-3 โดยสามารถแบ่งพื้นที่การปลูกยางอำเภอ แสดงดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-3 สถิติการเพาะปลูกยางพาราปีการเพาะปลูก ปี พ.ศ.2541-2555

| ปีการเพาะปลูก<br>(ไร่) | พื้นที่ปลูกรวม<br>(ไร่) | พื้นที่ให้ผลผลิต<br>(ไร่) | ผลผลิตรวม<br>(ตัน) | ผลผลิตเฉลี่ย<br>(ก.ก./ไร่) |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|----------------------------|
| 2543                   | 566,974.00              | 459,300.00                | 73,103.00          | 159                        |
| 2544                   | 615,838.00              | 475,025.00                | 74,746.00          | 157                        |
| 2545                   | 691,074.00              | 580,599.00                | 103,918.00         | 179                        |
| 2546                   | 546,894.00              | 458,958.00                | 77,760.00          | 169                        |
| 2547                   | 693,722.00              | 596,282.00                | 121,300.00         | 203                        |
| 2548                   | 548,838.00              | 470,447.00                | 108,673.00         | 231                        |
| 2549                   | 580,107.00              | 343,528.00                | 121,925.00         | 253                        |
| 2550                   | 652,011.00              | 522,057.00                | 126,336.00         | 242                        |
| 2551                   | 692,642.00              | 547,850.00                | 140,241.27         | 256                        |
| 2552                   | 712,759.00              | 576,368.00                | 150,904.00         | 262                        |
| 2553                   | 728,078.00              | 583,966.00                | 152,414.00         | 261                        |
| 2554                   | 760,416.00              | 605,164.00                | 158,098.00         | 261                        |
| 2555                   | 732,855.00              | 583,706.00                | 153,072.00         | 262                        |

ที่มา : สำนักงานเกษตรจังหวัดจันทบุรี, 2557

ตารางที่ 3-4 พื้นที่ยืนต้นยางพารารายอำเภอ จังหวัดจันทบุรี ปี พ.ศ.2551

| ลำดับที่ | อำเภอ         | พื้นที่ปลูก   |                    |           |
|----------|---------------|---------------|--------------------|-----------|
|          |               | อายุ 1 - 6 ปี | อายุ > 6 ปี ขึ้นไป | รวม (ไร่) |
| 1        | เขาคิชฌกูฏ    | 10,547        | 31,122             | 41,669    |
| 2        | แก่งหางแมว    | 51,399        | 141,561            | 192,960   |
| 3        | ขลุง          | 13,250        | 14,257             | 27,507    |
| 4        | ท่าใหม่       | 7,878         | 32,260             | 40,138    |
| 5        | นายายอาม      | 9,453         | 27,045             | 36,498    |
| 6        | โป่งน้ำร้อน   | 21,481        | 12,363             | 33,844    |
| 7        | มะขาม         | 7,932         | 20,177             | 28,109    |
| 8        | เมืองจันทบุรี | 3,211         | 11,105             | 14,316    |
| 9        | สอยดาว        | 22,237        | 24,579             | 46,816    |
| 10       | แหลมสิงห์     | 1,643         | 299                | 1,942     |
|          | รวมทั้งหมด    | 149,031       | 314,768            | 463,799   |

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2551<sup>4</sup>

### 3.3 การดำเนินโครงการ

#### 3.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

##### ● เป้าหมาย

เพื่อให้ได้ข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการการได้มาซึ่งน้ำยางพาราสดเพื่อวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ ซึ่งจะต้องจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) โดยเฉลี่ยแยกแต่ละกระบวนการผลิต (Inventory Data by Process) ของกระบวนการการได้มาซึ่งน้ำยางพาราสด

##### ● ขอบเขต

###### ขอบเขตการศึกษา

โครงการนี้ได้มีเป้าหมายเพื่อที่จะคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการการได้มาซึ่งน้ำยางพาราสด โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเกษตรกรรม

###### ข้อมูลปริมาณการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและวัตถุดิบ

ทรัพยากรธรรมชาติและวัตถุดิบที่ใช้ หมายถึง ทรัพยากรและวัตถุดิบทั้งหมดที่ต้องการสำหรับแต่ละกระบวนการย่อยที่อยู่ในขอบเขตที่ต้องการศึกษา ซึ่งปริมาณของทรัพยากรและวัตถุดิบที่ใช้จะระบุในรูปของน้ำหนักต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้

<sup>4</sup> กรมวิชาการเกษตร, (2551). โครงการจัดทำฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ของยางพาราปี 2550 โดยการสำรวจข้อมูลระยะไกลและเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

### ข้อมูลปริมาณการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและวัตถุดิบ

ทรัพยากรธรรมชาติและวัตถุดิบที่ใช้ หมายถึง ทรัพยากรและวัตถุดิบทั้งหมดที่ต้องการสำหรับแต่ละกระบวนการย่อยที่อยู่ในขอบเขตที่ต้องการศึกษา ซึ่งปริมาณของทรัพยากรและวัตถุดิบที่ใช้จะระบุในรูปของน้ำหนักต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้

### ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานและสาธารณูปโภค

ข้อมูลพลังงานและสาธารณูปโภคที่ใช้ในกระบวนการการได้มาซึ่งน้ำยางพาราสด หมายถึงพลังงานและสาธารณูปโภคที่ต้องการสำหรับแต่ละกระบวนการย่อยที่อยู่ในขอบเขตของระบบที่ศึกษาซึ่งอาจอยู่ในรูปของไฟฟ้า ไอน้ำ และหรือเชื้อเพลิงต่างๆ ซึ่งปริมาณพลังงานจะรายงานในรูปของมวล (กิโลกรัม หรือ ตัน) หรือปริมาตร (ลิตร หรือ ลูกบาศก์เมตร) ตามชนิดของตัวพาพลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้ กรณีจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนหน่วยจากหน่วยพลังงานเป็นหน่วยมวลหรือปริมาตรซึ่งจำเป็นต้องใช้ค่าความร้อน จะใช้ค่าความร้อนซึ่งอ้างอิงจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงซึ่งกำหนดโดยกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

### ข้อมูลปริมาณมลสารทางอากาศ

ข้อมูลปริมาณมลสารทางอากาศที่เกิดจากกระบวนการการได้มาซึ่งน้ำยางพาราสด มลสารทางอากาศที่เกิดจากระบบสนับสนุนต่างๆ เช่น ระบบผลิตพลังงาน และมลสารทางอากาศที่เกิดจากกระบวนการกำจัดของเสีย (ถ้ามี) โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาให้เป็นไปตามที่กำหนดในประกาศข้อกำหนด มาตรฐานและกฎหมายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งกำหนดโดยหน่วยงานที่มีหน้าที่ดูแล ซึ่งปริมาณมลสารทางอากาศที่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศจะระบุในรูปของน้ำหนักต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้

### ข้อมูลปริมาณมลสารทางน้ำ

ข้อมูลปริมาณมลสารทางน้ำที่เกิดจากกระบวนการการได้มาซึ่งน้ำยางพาราสด ได้แก่ BOD, COD, Total P, Total N และ SS และปริมาณมลสารทางน้ำที่เกิดจากกระบวนการกำจัดของเสีย (ถ้ามี) โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาให้เป็นไปตามที่กำหนดในประกาศ ข้อกำหนดมาตรฐานและกฎหมายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งกำหนดโดยหน่วยงานที่มีหน้าที่ในการกำกับดูแล ซึ่งปริมาณมลสารทางน้ำที่ระบายออกจากระบบการผลิตจะระบุในรูปของน้ำหนักต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ได้

## ● หน่วยอ้างอิง (Reference Unit)

หน่วยอ้างอิง (Reference Unit) เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องทำการกำหนดขึ้นในทุกๆ การประเมิน วัฏจักรชีวิต เพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับกำหนดการวัดหรือเก็บข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบที่ทำการศึกษา รวมทั้งมีส่วนสำคัญในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ด้วยสำหรับหน่วยอ้างอิง (Reference Unit) ของกระบวนการการได้มาซึ่งน้ำยางพาราสด สำหรับการศึกษาจะกำหนดหน่วยการศึกษาคือ น้ำยางพาราสด 1 กิโลกรัม

## ● การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

ในการศึกษานี้ ได้แบ่งกลุ่มการศึกษาในแต่ละพื้นที่ออกเป็น 3 ขนาด ตามนิยาม พ.ร.บ. กองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง พ.ศ.2503<sup>5</sup> ได้แก่

สวนขนาดใหญ่ (L) สวนยางพาราที่มีพื้นที่ตั้งแต่ 250 ไร่ ขึ้นไป

สวนขนาดกลาง (M) สวนยางพาราที่มีพื้นที่ตั้งแต่ 50 ไร่ ขึ้นไป แต่น้อยกว่า 250 ไร่

<sup>5</sup> พระราชบัญญัติกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2503

สวนขนาดเล็ก (S) สวนยางพาราที่มีพื้นที่น้อยกว่า 50 ไร่

โดยกำหนดให้แต่ละพื้นที่มีอัตราสวนขนาดสวนยางพารา แบ่งออกเป็นสวนยางขนาดเล็ก 93.01% ของพื้นที่สวนยางทั้งหมด โดยมีขนาดของสวนยางเฉลี่ย 13 ไร่ สวนยางขนาดกลาง 6.71 % ของพื้นที่สวนยางทั้งหมด โดยมีขนาดโดยเฉลี่ย 60 ไร่ และสวนยางขนาดใหญ่ 0.28 % ของพื้นที่สวนยางทั้งหมด โดยมีขนาดเฉลี่ยของสวน 395 ไร่ (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2540)

ทั้งนี้ ในแต่ละพื้นที่จะเก็บข้อมูลการเกษตรกรรมในพื้นที่สวนยางพารา คิดเป็นร้อยละ 30 ของพื้นที่การปลูกยางพาราในจังหวัดนั้นๆ ซึ่งครอบคลุมสวนขนาดเล็ก สวนขนาดกลาง และสวนขนาดใหญ่ โดยใช้วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างของ ทาโร่ ยามาเนะ<sup>6</sup> ซึ่งกำหนดให้ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 90% ดังสมการต่อไปนี้

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

เมื่อ  $n$  = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (กลุ่มเกษตรกรตัวอย่าง : คน)

$N$  = ขนาดของประชากร (จำนวนเกษตรกรในพื้นที่แต่ละขนาด : คน)

$E$  = ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

สำหรับการเลือกพื้นที่ ในการศึกษาจะเลือกสุ่มตัวอย่างในพื้นที่ที่มีการปลูกยางพารามากที่สุดลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ 3 ในแต่ละจังหวัด โดยพื้นที่จังหวัดระยองที่เข้าเก็บตัวอย่าง ได้แก่ อำเภอแกลง ซึ่งมีพื้นที่การปลูกยางพารามากที่สุด ตามด้วยอำเภอวังจันทร์ และอำเภอเขาชะเมา พื้นที่จังหวัดจันทบุรี ได้แก่ อำเภอแก่งหางแมว อำเภอท่าใหม่ และอำเภอเขาชีชมภู ซึ่งข้อมูลพื้นที่การปลูกยางพาราในจังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี โดยสำนักงานเกษตรจังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี แสดงดังตารางที่ 3-5 และ 3-6 ตามลำดับ และจำนวนกลุ่มตัวอย่างในแต่ละพื้นที่ แสดงดังตารางที่ 3-7

### 3.3.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ

บัญชีรายการ คือ ข้อมูลบัญชีรายการ (Inventory data) ที่แสดงถึงปริมาณสารขาเข้า (Input) เช่น ทรัพยากร พลังงาน สาธารณูปโภค และสารขาออก (Output) เช่น ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์รวม มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ กากของเสีย รวมถึงรายการด้านสิ่งแวดล้อมทั้งหมดของกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI) เป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากกระบวนการผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ หรือการปล่อยของเสียออกสู่ อากาศ น้ำ และดิน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ต่อไป

การวิเคราะห์บัญชีรายการอาจต้องทำซ้ำไปมาในบางครั้ง เนื่องจากอาจมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมการเปลี่ยนแปลงวิธีเก็บข้อมูล หรือการเพิ่มประเด็นปัญหาเพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายของ

<sup>6</sup> Taro Yamane . Statistics : An Introductory Analysis. 1970 : 886

การศึกษาที่ได้ตั้งไว้ นอกจากนี้การเก็บข้อมูลในบัญชีรายการนั้นจะต้องทำให้สัมพันธ์กับทุกกระบวนการย่อยที่อยู่ในระบบ ซึ่งมีวิธีการเก็บข้อมูลแตกต่างกันขึ้นกับเป้าหมาย

กระบวนการหรือระบบที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม การรวบรวมข้อมูลนั้นยากที่จะทำให้ครบถ้วนสมบูรณ์ทั้งหมด เนื่องจากต้องใช้เวลาและงบประมาณมาก การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมนั้นควรพิจารณาประเด็นต่างๆ ได้แก่ การเก็บรวบรวมข้อมูล การคำนวณ ความถูกต้องของข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลกับระบบย่อย การกำหนดขอบเขตของระบบให้เหมาะสมขึ้น (Refining system boundaries) และการปันส่วน (Allocation)

ขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการโดยทั่วไป แสดงดังรูปที่ 3-3

ตารางที่ 3-5 พื้นที่การปลูกยางพารา แยกรายอำเภอ จังหวัดระยอง

| ลำดับที่ | อำเภอ     | ยางพารา (ไร่) | %      |
|----------|-----------|---------------|--------|
| 1        | เมือง     | 90,200        | %12.07 |
| 2        | แกลง      | 216,956       | %29.03 |
| 3        | บ้านค่าย  | 103,575       | %13.86 |
| 4        | ปลวกแดง   | 68,985        | %9.23  |
| 5        | บ้านฉาง   | 4,865         | %0.65  |
| 6        | วังจันทร์ | 126,934       | %16.98 |
| 7        | เขาชะเมา  | 107,792       | %14.42 |
| 8        | นิคมพัฒนา | 28,047        | %3.75  |
| รวม      |           | 747,354       | %100   |

ที่มา: สำนักงานเกษตรจังหวัดระยอง, 2556

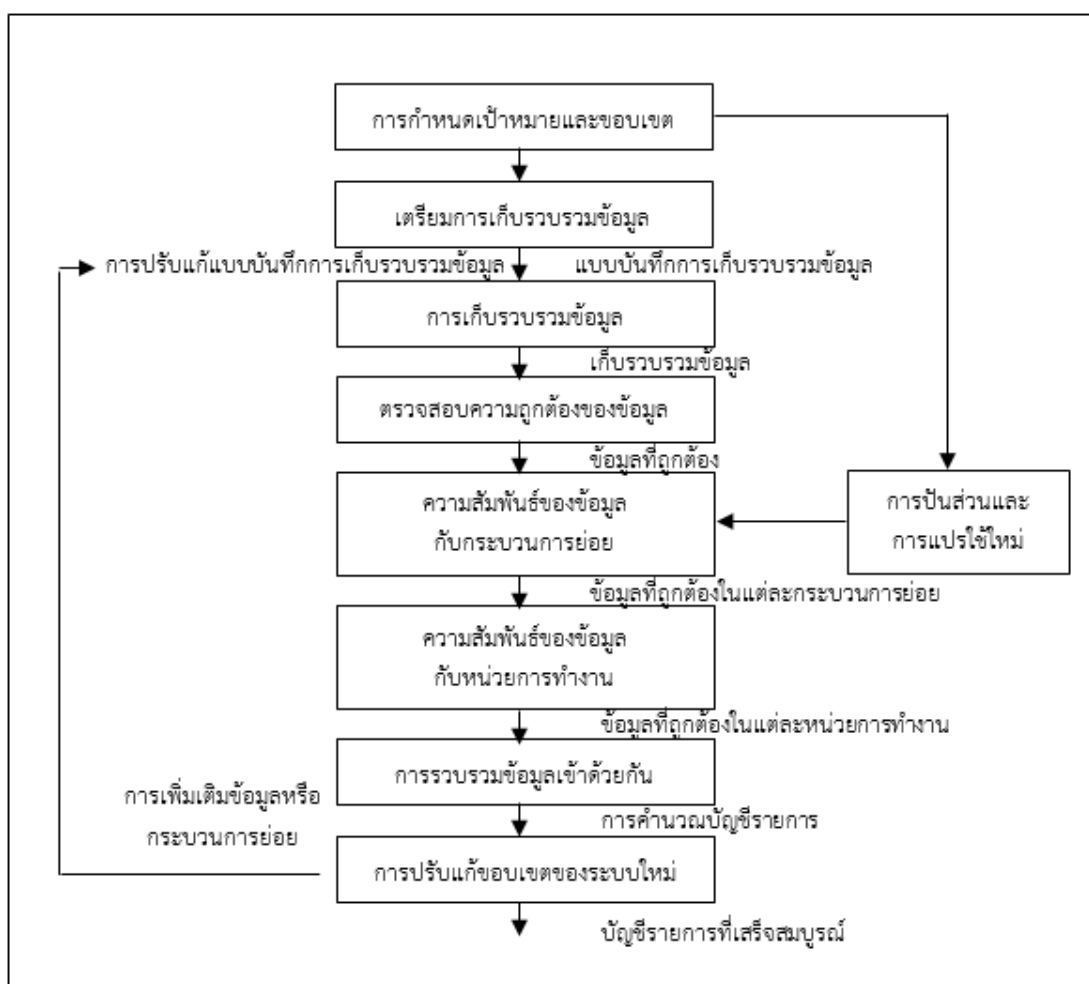
ตารางที่ 3-6 พื้นที่การปลูกยางพารา แยกรายอำเภอ จังหวัดจันทบุรี

| ลำดับที่ | อำเภอ       | ยางพารา (ไร่) | %       |
|----------|-------------|---------------|---------|
| 1        | เมือง       | 22,863        | %3.09   |
| 2        | ขลุง        | 39,204        | %5.30   |
| 3        | แหลมสิงห์   | 295           | %0.04   |
| 4        | มะขาม       | 49,105        | %6.64   |
| 5        | โป่งน้ำร้อน | 30,514        | %4.12   |
| 6        | ท่าใหม่     | 85,099        | %11.50  |
| 7        | สอยดาว      | 50,095        | %6.77   |
| 8        | แก่งหางแมว  | 321,260       | %43.42  |
| 9        | นายายอาม    | 57,571        | %7.78   |
| 10       | เขาคิชฌกูฏ  | 83,945        | %11.34  |
| รวม      |             | 739,951       | %100.00 |

ที่มา: สำนักงานเกษตรจังหวัดจันทบุรี, 2556

ตารางที่ 3-7 จำนวนกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรในแต่ละพื้นที่ ของจังหวัดระยองและจังหวัดจันทบุรี

| ขนาดสวน                   | ขนาดเล็ก | ขนาดกลาง | ขนาดใหญ่ | รวม     |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------|
| <b>จังหวัดระยอง</b>       |          |          |          |         |
| พื้นที่ (ไร่)             | 208,534  | 15,044   | 628      | 224,206 |
| จำนวนเกษตรกร (คน)         | 4,171    | 100      | 3        | 4,273   |
| จำนวนเกษตรกรตัวอย่าง (คน) | 98       | 50       | 2        | 150     |
| <b>จังหวัดจันทบุรี</b>    |          |          |          |         |
| พื้นที่ (ไร่)             | 206,469  | 14,895   | 622      | 221,985 |
| จำนวนเกษตรกร (คน)         | 4,129    | 99       | 2        | 4,231   |
| จำนวนเกษตรกรตัวอย่าง (คน) | 98       | 50       | 2        | 150     |



รูปที่ 3-3 ขั้นตอนโดยทั่วไปของการวิเคราะห์บัญชีรายการ

ตัวอย่างการจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life cycle Inventory) ของผลิตภัณฑ์ใดๆ แสดงดังตารางที่ 3-8 และตัวอย่างการเก็บข้อมูลเพื่อจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมในรูปของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ แสดงดังรูปที่ 3-4

ตารางที่ 3-8 ตัวอย่างการจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life cycle Inventory) ของผลิตภัณฑ์ใดๆ

| สารขาเข้า                                                                                                    | หน่วย                                       | สารขาออก                                                                                                                                                                             | หน่วย                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>วัตถุดิบ (Raw Material Resources)</b>                                                                     |                                             | <b>ผลิตภัณฑ์</b>                                                                                                                                                                     |                       |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>วัตถุดิบ</li> <li>สารเคมี</li> </ul>                                  | ตัน/ปี<br>ตัน/ปี                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>ผลิตภัณฑ์หลัก</li> </ul>                                                                                                                      | ตัน/ปี                |
| <b>ทรัพยากรธรรมชาติ (Natural Resources)</b>                                                                  |                                             | <b>ผลิตภัณฑ์ร่วม/ผลิตภัณฑ์พลอยได้</b>                                                                                                                                                |                       |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>ก๊าซธรรมชาติ</li> <li>ถ่านหิน</li> <li>น้ำมัน</li> <li>น้ำ</li> </ul> | ล้านBTU/ปี<br>ตัน/ปี<br>ลิตร/ปี<br>ลบ.ม./ปี | <ul style="list-style-type: none"> <li>ผลิตภัณฑ์ร่วม/ผลิตภัณฑ์พลอยได้</li> </ul>                                                                                                     | ตัน/ปี                |
| <b>การใช้พลังงานไฟฟ้า (Energy Use)</b>                                                                       |                                             | <b>การปล่อยมลสารทางอากาศ (Air Emissions)</b>                                                                                                                                         |                       |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>ไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต</li> </ul>                                 | kWh/ปี                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>อัตราการไหลของอากาศ</li> <li>มลสารทางอากาศ เช่น CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, HFC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> และฝุ่น (Dust)</li> </ul> | ลบ.ม./ชั่วโมง<br>ppm  |
| <b>ระบบสนับสนุนอื่นๆ</b>                                                                                     |                                             | <b>การปล่อยมลสารทางน้ำ (Water Emissions)</b>                                                                                                                                         |                       |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>ระบบผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุ</li> <li>ระบบผลิตไอน้ำ</li> </ul>           | ลบ.ม./ชั่วโมง<br>ตัน/ชั่วโมง                | <ul style="list-style-type: none"> <li>อัตราการปล่อยน้ำเสีย</li> <li>มลสารทางน้ำ เช่น BOD, COD, Total P, Total N และ Suspended Solids (SS)</li> </ul>                                | ลบ.ม./ชั่วโมง<br>mg/L |
|                                                                                                              |                                             | <b>การปล่อยมลสารทางดิน (Solid Emissions)</b>                                                                                                                                         |                       |
|                                                                                                              |                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>ของเสียที่เป็นของแข็งจากกระบวนการผลิต</li> <li>กากตะกอนบำบัดน้ำเสีย</li> </ul>                                                                | ตัน/ปี<br>ตัน/ปี      |

ที่มา: อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 .1998. อ้างใน สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2547. คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. ภายใต้โครงการ “การจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม”

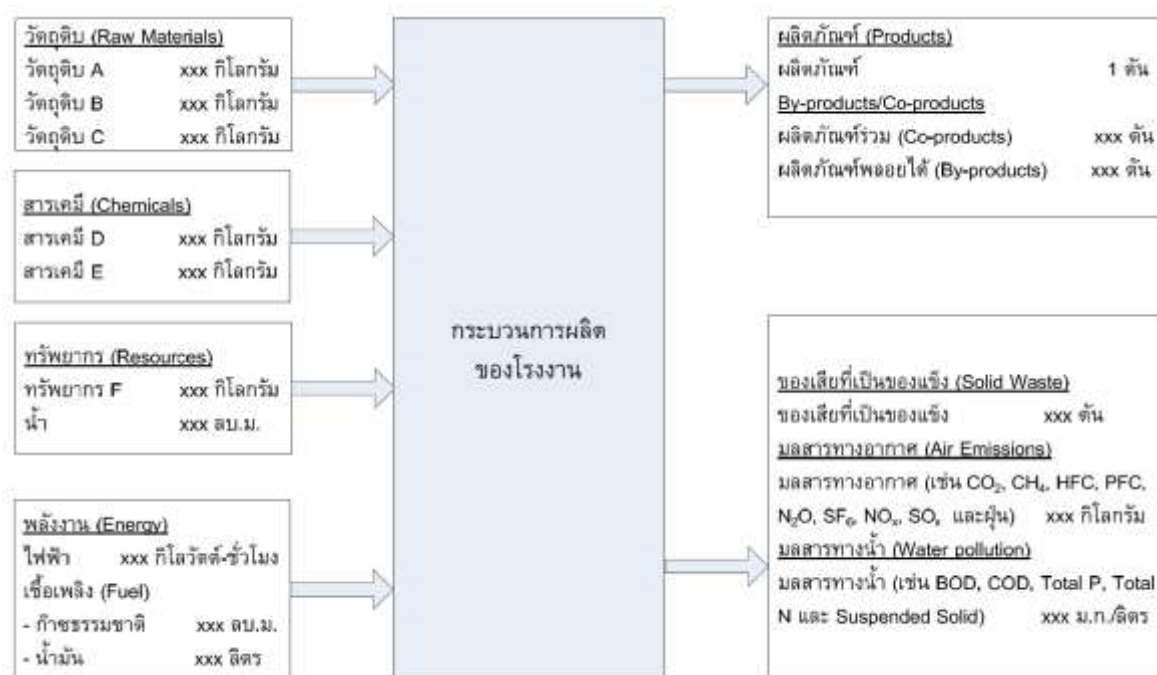
### ● การเก็บรวบรวมข้อมูล

บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมประกอบด้วยข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบและพลังงาน รวมถึงการปลดปล่อยของเสีย มลสารทางอากาศ มลสารทางน้ำ ซึ่งในโครงการนี้จะทำการเก็บข้อมูลจากการผลิตจริงโดยใช้แบบสอบถามเป็นหลัก ซึ่งในกรณีที่ไม่สามารถให้ข้อมูลตามแบบสอบถามได้ คณะทำงานอาจทำการลงภาคสนามเพื่อสำรวจข้อมูลหรือใช้ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงต่างๆ

การเก็บรวบรวมข้อมูลเริ่มต้นจากการสำรวจข้อมูลในแหล่งข้อมูลอ้างอิงต่างๆ เพื่อศึกษารายการวัตถุดิบที่ใช้และกระบวนการในการผลิตผลิตภัณฑ์ และสร้างแผนผังกระบวนการผลิตขึ้นจากนั้นสร้างแบบสอบถามและส่งแบบสอบถามนั้นไปยังชาวสวนยาง นำแบบสอบถามกลับมาเพื่อวิเคราะห์ความครบถ้วนสมบูรณ์ ติดต่อผู้ให้ข้อมูลอีกครั้งเพื่อแก้ไขข้อมูลต่างๆ ให้สมบูรณ์ สอบถามถึงการบำบัดของเสีย สมมติฐานต่างๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ เมื่อได้ข้อมูลของกระบวนการย่อยต่างๆ ก็จะนำมารวมเป็นข้อมูลชุดเดียว ซึ่งวิธีการรวมจะแตกต่างกันขึ้นกับความละเอียดของข้อมูลที่มีข้อมูลที่รวมเสร็จแล้วจะถูกส่งไปให้กับเจ้าของข้อมูลเพื่อตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง ซึ่งความยากง่ายในการเก็บรวบรวมข้อมูลเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการศึกษา และควรหลีกเลี่ยงการนับซ้ำ (Double Counting) รวมทั้ง

เมื่อกระบวนการย่อยมีสารขาเข้าเข้าไปหลายชนิด (เช่น มีทางน้ำเข้าหลายที่เข้าไปในโรงบำบัดน้ำ) หรือ สารขาออกหลายชนิด จะต้องมีการขั้นตอนการปันส่วน (Allocation) มาเกี่ยวข้อง

อย่างไรก็ตาม อาจมีข้อมูลบางส่วนที่ไม่สามารถสืบหาได้โดยตรง คณะทำงานจะใช้ แหล่งข้อมูลอื่นๆ อาทิเช่น ข้อมูลจากรายงานวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment Report; EIA Report) ข้อมูลจากเอกสารรายงานการวิจัย บทความวิชาการ วิทยานิพนธ์ และข้อมูลอ้างอิงจากต่างประเทศ การคำนวณทางวิศวกรรม ซึ่งขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและองค์ประกอบทางเคมีของกระบวนการ ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการนั้น เป็นต้น



รูปที่ 3-4 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเพื่อจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมในรูปของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์

#### ● การตรวจสอบข้อมูล

เมื่อได้ข้อมูลจากแบบสอบถาม คณะทำงานจะทำการตรวจสอบข้อมูล โดยที่รายการที่ตรวจสอบประกอบด้วย

ตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูล

โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแหล่งอ้างอิงต่างๆ อาทิเช่น

- ข้อมูลจากรายงานวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment Report; EIA Report)
- ข้อมูลจากเอกสารรายงานการวิจัย บทความวิชาการ และวิทยานิพนธ์
- ข้อมูลอ้างอิงจากต่างประเทศ เป็นต้น

### การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจะใช้หลักการดุลมวลสาร และเทียบเคียงข้อมูลที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกัน โดยมีหลักเกณฑ์คือดุลมวลสารขาเข้าและสารขาออกโดยมีความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 10 ของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมด

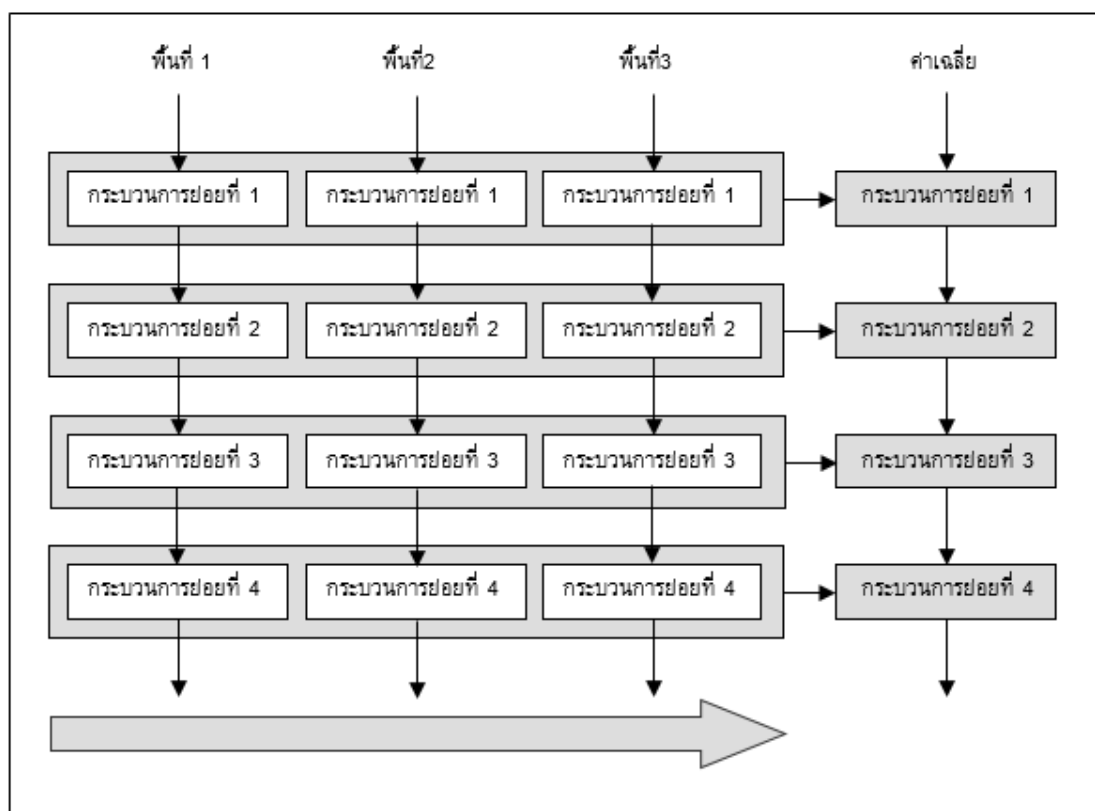
- การปันส่วนและการคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณสารขาเข้าและสารขาออก (Inventory)

#### รายผลิตภัณฑ์แยกแต่ละกระบวนการผลิต

การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วยบัญชีรายการสารขาเข้าและบัญชีรายการสารขาออกสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ จะแสดงค่าเป็นข้อมูลต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ซึ่งได้จากการปันส่วน ซึ่งการปันส่วนสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น ปันส่วนโดยน้ำหนัก ปันส่วนโดยปริมาณพลังงาน ปันส่วนโดยมูลค่าผลิตภัณฑ์ฯ ในโครงการนี้จะทำการปันส่วนโดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นการใช้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์เป็นหลักในการคำนวณ

ในการจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมสำหรับการเขตกรรมสวนยางพาราที่มีข้อมูลการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันจากหลายพื้นที่ซึ่งมีกระบวนการที่คล้ายคลึงกัน การคำนวณค่าเฉลี่ยของข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถเป็นตัวแทนของการผลิตน้ำยางพาราสดจะคิดค่าเฉลี่ยจากข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกแบบแนวนอน ซึ่งเป็นการคิดค่าเฉลี่ยตามกระบวนการผลิตย่อยของแต่ละพื้นที่ แสดงดังรูปที่

3-5



รูปที่ 3-5 แผนภาพแสดงวิธีการคิดค่าเฉลี่ยแบบแนวนอน

### 3.3.3 แบบสอบถามข้อมูลบัญชีรายการ

แบบสอบถามข้อมูลบัญชีรายการของการศึกษานี้ ประกอบด้วยข้อมูล 6 ส่วน แสดงถึงภาคผนวก พิจารณาคอบคลุมข้อมูลทั่วไป สรุปขั้นตอนการปลูกยางพารา การเพาะกล้ายางพารา การเตรียมการเพาะปลูกและการปรับพื้นที่ การปลูกและการบำรุงรักษาก่อนกรีดยาง (ก่อนเปิดกรีด) และการบำรุงรักษาขณะกรีดยางจนหมดน้ำยาง (หลังเปิดกรีด)

### 3.3.4 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อน หรือคาร์บอนฟุตพริ้นต์

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม เป็นขั้นตอนที่มีเป้าหมายเพื่อประเมินระดับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญในระบบผลิตภัณฑ์ที่พิจารณา โดยเป็นการแปรข้อมูลบัญชีรายการการใช้ทรัพยากรและการปล่อยมลสาร (ค่าปริมาณของวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ตลอดจนของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด) ให้อยู่ในรูปของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อน หรือ คาร์บอนฟุตพริ้นต์ด้วยหลักการ LCA ในการศึกษาจะแสดงผลในหน่วยสารอ้างอิงพื้นฐาน คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในหน่วยกิโลกรัม (kg CO<sub>2</sub> equivalent) ซึ่งมีวิธีการดำเนินการ ดังนี้

- 1) ข้อมูลปริมาณและข้อมูลคุณสมบัติถูกแปลงให้อยู่ในรูปของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
- 2) แปลงค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยนำไปคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) ของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิด

## 3.4 ผลการดำเนินงาน

### 3.4.1 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory)

จากการเก็บข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของสวนยางพาราจากการเกษตรกรรม ซึ่งรวมถึงการใช้ปุ๋ย ยา และสารเคมี และของเสียที่เกิดขึ้น ในพื้นที่จังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี ครอบคลุมพื้นที่สวนขนาดเล็ก สวนขนาดกลาง และสวนขนาดใหญ่ โดยข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของสวนแต่ละขนาดในแต่ละจังหวัดแสดงดังตารางที่ 3-9 และ 3-10

ทั้งนี้ การจัดทำข้อมูลบัญชีรายการได้มีการตัดออก (cut-off) ในส่วนของข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนสูง เช่น ผลผลิตต่อไร่ต่อปีของสวนยางพารามีค่ามากกว่า 612 กิโลกรัม และผลผลิตต่อไร่ต่อปีของสวนยางพารามีค่าต่ำกว่า 164 กิโลกรัม เป็นต้น ซึ่งเป็นค่ามีมากกว่าค่าสูงสุดและน้อยกว่าค่าต่ำสุดของผลผลิตยางพาราต่อไร่ต่อปีของยางพาราพันธุ์ RRIM 600 และพันธุ์ RRIT 251 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีการปลูกเป็นส่วนใหญ่ในพื้นที่กลุ่มตัวอย่าง (กลุ่มวิจัยและพัฒนาการอนุรักษ์ดินและน้ำพื้นที่พืชไร่, 2548) โดยแต่ละขนาดพื้นที่ที่มีการตัดออก ดังนี้

|                            |                         |              |                           |
|----------------------------|-------------------------|--------------|---------------------------|
| ● สวนขนาดเล็ก จังหวัดระยอง | กลุ่มตัวอย่าง           | 98           | แบบสอบถาม                 |
|                            |                         | ตัดออก       | 13                        |
|                            | คิดเป็นการตัดออก        | ร้อยละ 13.27 | ของจำนวนกลุ่มตัวอย่าง     |
|                            | คิดเป็นพื้นที่ที่ตัดออก | ร้อยละ 15.18 | ของพื้นที่ที่เก็บตัวอย่าง |
| ● สวนขนาดกลาง จังหวัดระยอง | กลุ่มตัวอย่าง           | 50           | แบบสอบถาม                 |
|                            |                         | ตัดออก       | 7                         |
|                            | คิดเป็นการตัดออก        | ร้อยละ 14.00 | ของจำนวนกลุ่มตัวอย่าง     |
|                            | คิดเป็นพื้นที่ที่ตัดออก | ร้อยละ 14.62 | ของพื้นที่ที่เก็บตัวอย่าง |

- สวนขนาดใหญ่ จังหวัดระยอง กลุ่มตัวอย่าง 2 แบบสอบถาม  
ไม่มีการตัดออก
- สวนขนาดเล็ก จังหวัดจันทบุรี กลุ่มตัวอย่าง 100 แบบสอบถาม  
ตัดออก 6 แบบสอบถาม  
คิดเป็นการตัดออก ร้อยละ 6.00 ของจำนวนกลุ่มตัวอย่าง  
คิดเป็นพื้นที่ที่ตัดออก ร้อยละ 10.55 ของพื้นที่ที่เก็บตัวอย่าง
- สวนขนาดกลาง จังหวัดจันทบุรี กลุ่มตัวอย่าง 50 แบบสอบถาม  
ตัดออก 3 แบบสอบถาม  
คิดเป็นการตัดออก ร้อยละ 6.00 ของจำนวนกลุ่มตัวอย่าง  
คิดเป็นพื้นที่ที่ตัดออก ร้อยละ 11.72 ของพื้นที่ที่เก็บตัวอย่าง
- สวนขนาดใหญ่ จังหวัดจันทบุรี กลุ่มตัวอย่าง 2 แบบสอบถาม  
ไม่มีการตัดออก

### 3.4.2 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา

ผลการศึกษาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพาราในเขตพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดจันทบุรี ในที่นี้จะนำเสนอ 2 รูปแบบ ได้แก่ ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพาราลดช่วงอายุต้นยางต่อไร่ และค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยหน้าที่ (Functional unit) หรือค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์น้ำยางสด 1 กิโลกรัม โดยผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

คาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพาราลดช่วงอายุต้นยางต่อไร่ สวนขนาดเล็ก สวนขนาดกลาง และสวนขนาดใหญ่ ของจังหวัดระยองและจังหวัดจันทบุรี แสดงดังตารางที่ 3-15 และรูปที่ 3-6

คาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยหน้าที่ (Functional unit) หรือค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์น้ำยางสด 1 กิโลกรัม ของจังหวัดระยองและจังหวัดจันทบุรี แสดงดังตารางที่ 3-16 และรูปที่ 3-7

### 3.4.3 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์น้ำยางสด 1 กิโลกรัม ในพื้นที่สวนยางพาราทั้งสวนขนาดเล็ก สวนขนาดกลาง และสวนขนาดใหญ่ ของจังหวัดระยองและจังหวัดจันทบุรี พบว่าปริมาณการใช้ปุ๋ยต่อหน่วยเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ โดยค่าเฉลี่ยการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสฟอรัส และปุ๋ยโพแทสเซียมของแต่ละพื้นที่ แสดงดังตารางที่ 3-17 ซึ่งจะพบว่าพื้นที่ที่มีการใช้ปุ๋ยมากจะมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ไปในแนวโน้มที่สูงเช่นเดียวกัน โดยขนาดของสวนยางพาราไม่ได้ส่งผลต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพาราแต่อย่างใด

อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อคาร์บอนฟุตพริ้นต์ คือปริมาณผลผลิตน้ำยางพาราสดต่อไร่ หากเกษตรกรสามารถเพิ่มผลผลิตได้มากขึ้น โดยที่ยังใช้ปุ๋ยในปริมาณเท่าเดิม หรือใช้ปุ๋ยลดลงแต่ยังคงผลผลิตจะสามารถลดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ได้ เนื่องจากในปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ปุ๋ยมากเกินไปจนเกิดความจำเป็นโดยธาตุอาหารที่พืชต้องการตามข้อแนะนำของสถาบันวิจัยยาง<sup>7</sup> สำหรับการปลูกยางพาราภาคตะวันออก แสดงดังตารางที่ 3-18

<sup>7</sup> นุชนารถ กังพิศดาร .(2556). การพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืช สำหรับยางพาราเฉพาะพื้นที่. สถาบันวิจัยยางกรมวิชาการเกษตร ,

ตารางที่ 3-9 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการปลูกยางพารา 1 ไร่ สวนขนาดเล็ก จังหวัดระยอง

| สารขาเข้า                                         | ปริมาณ   | หน่วย    |
|---------------------------------------------------|----------|----------|
| การเตรียมการเพาะปลูกและการปรับพื้นที่             |          |          |
| น้ำมันดีเซล                                       | 2.4115   | กิโลกรัม |
| น้ำมันเครื่อง                                     | 0.0652   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยคอก                                           | 6.9212   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 16-16-16                                     | 0.5415   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-15-15                                     | 0.0903   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 0-3-0                                        | 17.2469  | กิโลกรัม |
| พาราควอต (Paraquat)                               | 0.0508   | กิโลกรัม |
| การปลูกและบำรุงรักษาก่อนการกรีดยาง                |          |          |
| ต้นยาง                                            | 67       | ต้น      |
| ปุ๋ยซีไค                                          | 72.1570  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยอินทรีย์เคมี(8-3-4)                           | 178.3394 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยคอก                                           | 75.5921  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 18-8-8                                       | 5.0542   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 16-16-8                                      | 5.4152   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 18-18-18                                     | 0.2888   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 30-0-0                                       | 9.3863   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-15-15                                     | 129.6058 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 16-16-16                                     | 30.3845  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 13-13-21                                     | 30.9567  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 21-7-14                                      | 4.3321   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 20-8-20                                      | 99.8105  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 27-12-6                                      | 2.4639   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 30-9-9                                       | 11.5523  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 25-7-7                                       | 0.0000   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 27-7-7                                       | 1.0830   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 26-7-7                                       | 1.8953   | กิโลกรัม |
| ไกลโฟเฟต (Glyphosate)                             | 1.3347   | กิโลกรัม |
| พาราควอต (Paraquat)                               | 7.3980   | กิโลกรัม |
| คาร์บาริล (Carbaryl)                              | 0.2924   | กิโลกรัม |
| เมทาแลกซิล (Metalaxyl)                            | 0.0027   | กิโลกรัม |
| การปลูกและบำรุงรักษาขณะกรีดยางจนกระทั่งหมดอายุยาง |          |          |
| ปุ๋ยซีไค                                          | 34.2960  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยคอก                                           | 162.8996 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยอินทรีย์เคมี (8-3-4)                          | 346.5704 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-15-15                                     | 179.3222 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 16-11-14                                     | 16.2455  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 27-12-6                                      | 11.3718  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 14-4-19                                      | 58.4838  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 14-4-9                                       | 27.0758  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 16-16-16                                     | 165.1534 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-7-18                                      | 112.0939 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 20-8-20                                      | 193.2310 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 21-7-14                                      | 108.2581 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 21-4-21                                      | 72.3827  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-5-25                                      | 106.4234 | กิโลกรัม |
| ไกลโฟเฟต (Glyphosate)                             | 0.6989   | กิโลกรัม |
| พาราควอต (Paraquat)                               | 5.1491   | กิโลกรัม |

| สารขาออก         | ปริมาณ | หน่วย    |
|------------------|--------|----------|
| ผลิตภัณฑ์        |        |          |
| น้ำยางสด %DRC 30 | 955.49 | กิโลกรัม |
| (เนื้อยางแห้ง)   | 286.65 | กิโลกรัม |
|                  |        |          |

ตารางที่ 3-10 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการปลูกยางพารา 1 ไร่ สวนขนาดกลาง จังหวัดระยอง

| สารขาเข้า                                         | ปริมาณ   | หน่วย    |
|---------------------------------------------------|----------|----------|
| การเตรียมการเพาะปลูกและการปรับพื้นที่             |          |          |
| น้ำมันดีเซล                                       | 2.4100   | กิโลกรัม |
| น้ำมันเครื่อง                                     | 0.0655   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยคอก                                           | 0.0720   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 16-16-16                                     | 0.0422   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-15-15                                     | 3.5198   | กิโลกรัม |
| ไกลโฟเซต (Glyphosate)                             | 0.1903   | กิโลกรัม |
| พาราควอต (Paraquat)                               | 11.9216  | กิโลกรัม |
| การปลูกและบำรุงรักษาก่อนการกรีดยาง                |          |          |
| ต้นยาง                                            | 72.1062  | ต้น      |
| ปุ๋ยคอก                                           | 52.3212  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 12-3-3                                       | 13.2329  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 18-8-8                                       | 9.1324   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 30-0-0                                       | 15.2207  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-15-15                                     | 209.0502 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 21-7-14                                      | 7.9909   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 30-9-9                                       | 9.5890   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 16-16-16                                     | 53.7671  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 20-8-20                                      | 57.4602  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 27-12-6                                      | 3.0441   | กิโลกรัม |
| ไกลโฟเซต (Glyphosate)                             | 2.2694   | กิโลกรัม |
| พาราควอต (Paraquat)                               | 5.9469   | กิโลกรัม |
| เมทาแลกซิล (Metalaxyl)                            | 0.0371   | กิโลกรัม |
| การปลูกและบำรุงรักษาขณะกรีดยางจนกระทั่งหมดอายุยาง |          |          |
| ปุ๋ยซีโก้                                         | 97.0320  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยคอก                                           | 164.3721 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 18-8-8                                       | 48.5160  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-15-15                                     | 242.2565 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 16-11-14                                     | 36.1644  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 8-3-8                                        | 36.5315  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 19-19-19                                     | 36.5315  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 16-16-16                                     | 161.1872 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 20-8-20                                      | 46.2709  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 21-7-14                                      | 41.0959  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 21-4-21                                      | 75.3425  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 19-9-19                                      | 74.5814  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 21-0-0                                       | 57.5342  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-5-25                                      | 261.3908 | กิโลกรัม |
| พาราควอต (Paraquat)                               | 5.5043   | กิโลกรัม |
| เมทาแลกซิล (Metalaxyl)                            | 0.0626   | กิโลกรัม |

| สารขาออก         | ปริมาณ | หน่วย    |
|------------------|--------|----------|
| ผลิตภัณฑ์        |        |          |
| น้ำยางสด %DRC 30 | 934.91 | กิโลกรัม |
| (เนื้อยางแห้ง)   | 280.47 | กิโลกรัม |
|                  |        |          |



ตารางที่ 3-12 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการปลูกยางพารา 1 ไร่ สวนขนาดเล็ก จังหวัดจันทบุรี

| สารขาเข้า                                         | ปริมาณ   | หน่วย    |
|---------------------------------------------------|----------|----------|
| การเตรียมการเพาะปลูกและการปรับพื้นที่             |          |          |
| น้ำมันดีเซล                                       | 1.5696   | กิโลกรัม |
| น้ำมันเครื่อง                                     | 0.0426   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยซีไ้                                          | 0.0967   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยคอก                                           | 7.3707   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยหมักชีวภาพ                                    | 0.4737   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยยูเรีย                                        | 0.0097   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 0-3-0                                        | 13.5887  | กิโลกรัม |
| ไกลโฟเซต (Glyphosate)                             | 0.0329   | กิโลกรัม |
| พาราควอต (Paraquat)                               | 0.3715   | กิโลกรัม |
| การปลูกและบำรุงรักษาก่อนการกรีดยาง                |          |          |
| ต้นยาง                                            | 72.4842  | ต้น      |
| ปุ๋ยซีไ้                                          | 24.3320  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยหมักชีวภาพ                                    | 12.1055  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยค้ำคาว                                        | 2.4211   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยอินทรีย์เคมี (8-3-4)                          | 2.5940   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยคอก                                           | 27.8686  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 30-9-9                                       | 3.3833   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-15-15                                     | 208.5299 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-7-18                                      | 4.0599   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-5-25                                      | 10.4398  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 19-9-19                                      | 2.3200   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 16-16-16                                     | 78.9908  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 20-8-20                                      | 86.6892  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 21-4-21                                      | 3.3833   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 25-8-18                                      | 3.9633   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 25-7-7                                       | 16.5781  | กิโลกรัม |
| ไกลโฟเซต (Glyphosate)                             | 2.5770   | กิโลกรัม |
| พาราควอต (Paraquat)                               | 7.4637   | กิโลกรัม |
| การปลูกและบำรุงรักษาขณะกรีดยางจนกระทั่งหมดอายุยาง |          |          |
| ปุ๋ยคอก                                           | 306.8149 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 12-4-4                                       | 17.2064  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-15-15                                     | 251.7730 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 16-16-16                                     | 439.8647 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-7-18                                      | 17.3997  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 20-8-20                                      | 212.1798 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 25-7-7                                       | 4.4466   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 21-7-14                                      | 84.0986  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 21-4-21                                      | 102.4650 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 19-9-19                                      | 51.3291  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 30-5-18                                      | 67.3755  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 21-0-0                                       | 16.4331  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 18-8-26                                      | 4.3499   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-5-20                                      | 26.0996  | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 15-5-25                                      | 5.7516   | กิโลกรัม |
| ไกลโฟเซต (Glyphosate)                             | 1.6422   | กิโลกรัม |
| พาราควอต (Paraquat)                               | 5.6833   | กิโลกรัม |
| เอทธิฟอน (Ethvphon)                               | 0.5987   | กิโลกรัม |

| สารขาออก         | ปริมาณ   | หน่วย    |
|------------------|----------|----------|
| ผลิตภัณฑ์        |          |          |
| น้ำยางสด %DRC 30 | 928.6787 | กิโลกรัม |
| (เนือยางแห้ง)    | 278.6036 | กิโลกรัม |
|                  |          |          |

ตารางที่ 3-13 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการปลูกยางพารา 1 ไร่ สวนขนาดกลาง จังหวัดจันทบุรี

| สารขาเข้า                                                | ปริมาณ   | หน่วย    | สารขาออก         | ปริมาณ   | หน่วย    |
|----------------------------------------------------------|----------|----------|------------------|----------|----------|
| <b>การเตรียมการเพาะปลูกและการปรับพื้นที่</b>             |          |          | <b>ผลิตภัณฑ์</b> |          |          |
| น้ำมันดีเซล                                              | 1.4665   | กิโลกรัม | น้ำยางสด %DRC 30 | 841.0693 | กิโลกรัม |
| น้ำมันเครื่อง                                            | 0.0398   | กิโลกรัม | (เนื้อยางแห้ง)   | 252.3208 | กิโลกรัม |
| ปุ๋ยซีไค                                                 | 0.0108   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ยคอก                                                  | 0.9329   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ยยูเรีย สูตรบำรุงต้น                                  | 0.9203   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 0-3-0                                               | 11.7448  | กิโลกรัม |                  |          |          |
| พาราควอต (Paraquat)                                      | 0.0135   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| <b>การปลูกและบำรุงรักษาก่อนการกรีดยาง</b>                |          |          |                  |          |          |
| ต้นยาง                                                   | 68.9989  | ต้น      |                  |          |          |
| ปุ๋ยขึ้นกรรหา                                            | 4.3057   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ยหมักอินทรีย์ ตราบัวทิพย์                             | 6.4586   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ยยูเรีย                                               | 6.9071   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ยคอก                                                  | 89.5766  | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 15-15-15                                            | 252.6166 | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 16-16-16                                            | 87.1188  | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 20-8-20                                             | 47.3089  | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 25-8-18                                             | 6.4586   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 25-7-7                                              | 17.2228  | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ไกลโฟเซต (Glyphosate)                                    | 1.0832   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| พาราควอต (Paraquat)                                      | 7.8012   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| เมทาแลกซิล (Metalaxyl)                                   | 0.0178   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| <b>การปลูกและบำรุงรักษาขณะกรีดยางจนกระทั่งหมดอายุยาง</b> |          |          |                  |          |          |
| ปุ๋ยซีไค                                                 | 104.4349 | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ยคอก                                                  | 211.8407 | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ยหมัก ตราบัวทิพย์                                     | 194.1155 | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ยยูเรีย                                               | 35.5221  | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 15-15-15                                            | 272.6229 | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 13-3-21                                             | 43.9182  | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 9-3-9                                               | 30.4987  | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 16-16-16                                            | 90.6351  | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 20-8-20                                             | 373.9146 | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 21-7-14                                             | 108.5038 | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 25-7-7                                              | 36.5985  | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 21-0-0                                              | 63.4374  | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 46-0-0                                              | 103.3369 | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 15-5-25                                             | 21.5285  | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ไกลโฟเซต (Glyphosate)                                    | 0.8777   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| พาราควอต (Paraquat)                                      | 7.2724   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| เอทธิฟอน (Ethyphon)                                      | 1.3748   | กิโลกรัม |                  |          |          |

ตารางที่ 3-14 ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการปลูกยางพารา 1 ไร่ สวนขนาดใหญ่ จังหวัดจันทบุรี

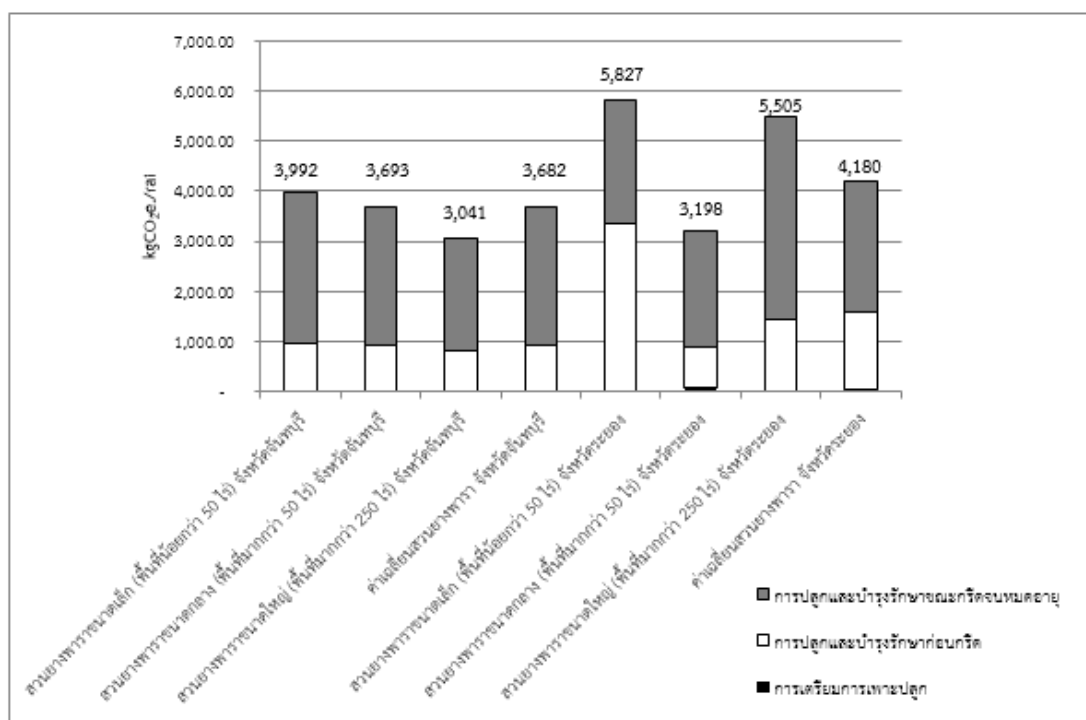
| สารขาเข้า                                                | ปริมาณ   | หน่วย    | สารขาออก         | ปริมาณ   | หน่วย    |
|----------------------------------------------------------|----------|----------|------------------|----------|----------|
| <b>การเตรียมการเพาะปลูกและการปรับพื้นที่</b>             |          |          | <b>ผลิตภัณฑ์</b> |          |          |
| น้ำมันดีเซล                                              | 2.6000   | กิโลกรัม | น้ำยางสด %DRC 30 | 1,480.00 | กิโลกรัม |
| น้ำมันเครื่อง                                            | 0.0706   | กิโลกรัม | (เนือยางแห้ง)    | 444.00   | กิโลกรัม |
| ปุ๋ย 0-3-0                                               | 15.4545  | กิโลกรัม |                  |          |          |
| <b>การปลูกและบำรุงรักษาก่อนการกรีดยาง</b>                |          |          |                  |          |          |
| ต้นยาง                                                   | 72.2727  | ต้น      |                  |          |          |
| ปุ๋ย 15-15-15                                            | 159.0909 | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 16-16-16                                            | 290.9091 | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ไกลโฟเซต (Glyphosate)                                    | 6.3636   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| พาราควอต (Paraquat)                                      | 8.7273   | กิโลกรัม |                  |          |          |
| <b>การปลูกและบำรุงรักษาขณะกรีดยางจนกระทั่งหมดอายุยาง</b> |          |          |                  |          |          |
| ปุ๋ย 16-16-16                                            | 618.1818 | กิโลกรัม |                  |          |          |
| ปุ๋ย 21-7-14                                             | 818.1818 | กิโลกรัม |                  |          |          |
| พาราควอต (Paraquat)                                      | 34.9091  | กิโลกรัม |                  |          |          |

ตารางที่ 3-15 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของสวนยางพาราตลอดช่วงอายุต้นยางต่อไร่ สวนขนาดเล็ก สวนขนาดกลาง และสวนขนาดใหญ่ ของจังหวัดระยองและจังหวัดจันทบุรี

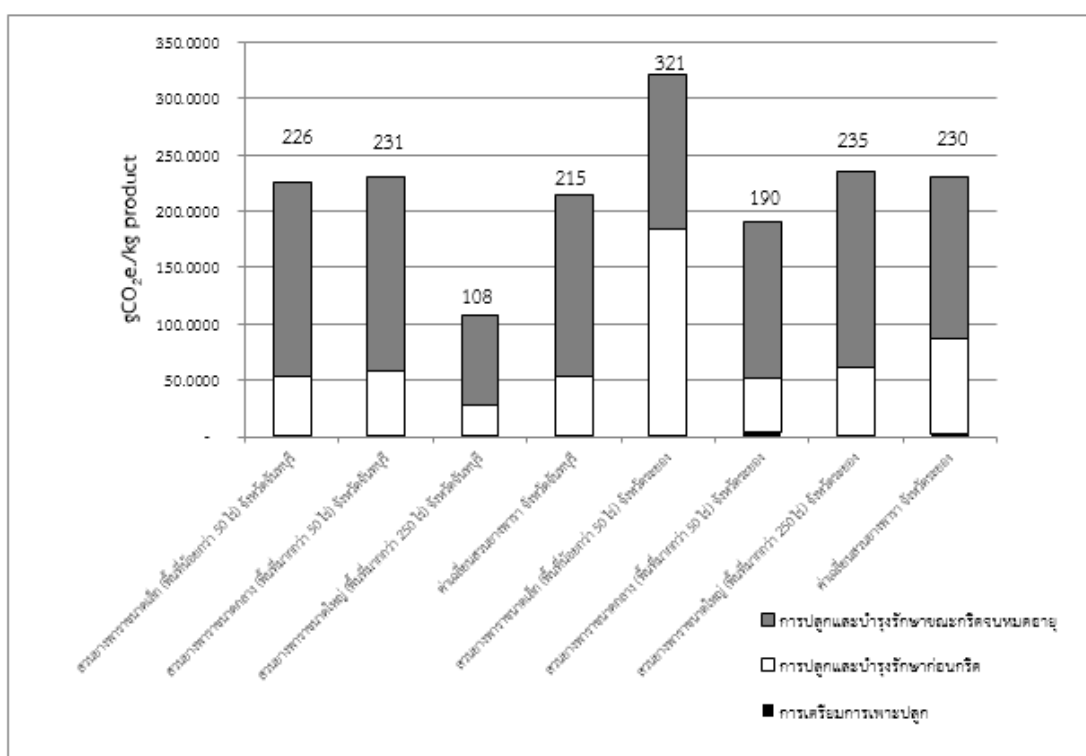
| พื้นที่สวนยางพารา                                           | kgCO <sub>2</sub> e/ไร่ |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------|
| สวนยางพาราขนาดเล็ก (พื้นที่น้อยกว่า 50 ไร่) จังหวัดจันทบุรี | 3,992.46                |
| สวนยางพาราขนาดกลาง (พื้นที่มากกว่า 50 ไร่) จังหวัดจันทบุรี  | 3,692.65                |
| สวนยางพาราขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 250 ไร่) จังหวัดจันทบุรี | 3,040.84                |
| ค่าเฉลี่ย สวนยางพารา จังหวัดจันทบุรี                        | 3,681.59                |
| สวนยางพาราขนาดเล็ก (พื้นที่น้อยกว่า 50 ไร่) จังหวัดระยอง    | 5,827.06                |
| สวนยางพาราขนาดกลาง (พื้นที่มากกว่า 50 ไร่) จังหวัดระยอง     | 3,197.70                |
| สวนยางพาราขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 250 ไร่) จังหวัดระยอง    | 5,504.57                |
| ค่าเฉลี่ย สวนยางพารา จังหวัดระยอง                           | 4,179.64                |

ตารางที่ 3-16 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์น้ำยางสด 1 กิโลกรัม ของจังหวัดระยองและจังหวัดจันทบุรี

| พื้นที่สวนยางพารา                                           | gCO <sub>2</sub> e/kg น้ำยางสด |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| สวนยางพาราขนาดเล็ก (พื้นที่น้อยกว่า 50 ไร่) จังหวัดจันทบุรี | 226                            |
| สวนยางพาราขนาดกลาง (พื้นที่มากกว่า 50 ไร่) จังหวัดจันทบุรี  | 231                            |
| สวนยางพาราขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 250 ไร่) จังหวัดจันทบุรี | 108                            |
| ค่าเฉลี่ย สวนยางพารา จังหวัดจันทบุรี                        | 215                            |
| สวนยางพาราขนาดเล็ก (พื้นที่น้อยกว่า 50 ไร่) จังหวัดระยอง    | 321                            |
| สวนยางพาราขนาดกลาง (พื้นที่มากกว่า 50 ไร่) จังหวัดระยอง     | 190                            |
| สวนยางพาราขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 250 ไร่) จังหวัดระยอง    | 235                            |
| ค่าเฉลี่ย สวนยางพารา จังหวัดระยอง                           | 230                            |



รูปที่ 3-6 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพาราตลอดช่วงอายุต้นยางต่อไร่ สวนขนาดเล็ก สวนขนาดกลาง และสวนขนาดใหญ่ ของจังหวัดระยองและจังหวัดจันทบุรี



รูปที่ 3-7 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์น้ำยางสด 1 กิโลกรัม สวนขนาดเล็ก สวนขนาดกลาง และสวนขนาดใหญ่ ของจังหวัดระยองและจังหวัดจันทบุรี

ตารางที่ 3-17 ค่าการใช้ปุ๋ยของสวนยางพาราแต่ละพื้นที่เปรียบเทียบกับค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของแต่ละพื้นที่

| พื้นที่สวนยางพารา                                              | ปุ๋ย<br>ไนโตรเจน              | ปุ๋ย<br>ฟอสฟอรัส | ปุ๋ย<br>โพแทสเซียม | รวม      | ลำดับ | คาร์บอนฟุตพริ้นท์ | ลำดับ |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------|----------|-------|-------------------|-------|
|                                                                | (กิโลกรัม//กิโลกรัม น้ำยางสด) |                  |                    |          |       | gCO2e/kg น้ำยางสด |       |
| สวนยางพาราขนาดเล็ก (พื้นที่น้อยกว่า 50 ไร่)<br>จังหวัดจันทบุรี | 0.0177                        | 0.0118           | 0.0201             | 4.96E-02 | 2     | 226               | 4     |
| สวนยางพาราขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 50 ไร่)<br>จังหวัดจันทบุรี  | 0.0210                        | 0.0104           | 0.0149             | 4.62E-02 | 3     | 231               | 3     |
| สวนยางพาราขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 250 ไร่)<br>จังหวัดจันทบุรี | 0.0121                        | 0.0081           | 0.0101             | 3.03E-02 | 6     | 108               | 6     |
| สวนยางพาราขนาดเล็ก (พื้นที่น้อยกว่า 50 ไร่)<br>จังหวัดระยอง    | 0.0160                        | 0.0089           | 0.0535             | 7.84E-02 | 1     | 321               | 1     |
| สวนยางพาราขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 50 ไร่)<br>จังหวัดระยอง     | 0.0154                        | 0.0096           | 0.0149             | 3.99E-02 | 5     | 190               | 5     |
| สวนยางพาราขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 250 ไร่)<br>จังหวัดระยอง    | 0.0213                        | 0.0051           | 0.0172             | 4.36E-02 | 4     | 235               | 2     |

ตารางที่ 3-18 ปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นของการปลูกต้นยางพารา สำหรับภาคตะวันออก ตามคำแนะนำของสถาบันวิจัยยาง ปี พ.ศ.2556

| ช่วงการปลูกยางพารา | ปริมาณธาตุอาหาร (กิโลกรัม/ไร่/ปี) |                               |                  |      |
|--------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------|------|
|                    | N                                 | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | รวม  |
| ก่อนเปิดกรีด       | 10.8                              | 3.8                           | 8.6              | 23.2 |
| หลังเปิดกรีด       | 18.9                              | 5.7                           | 13.7             | 38.2 |

## บทที่ 4

### การศึกษาสมมูลน้ำเพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำอเวเตอร์ฟุตปริ้นต์ของสวนยางพารา

#### 4.1 ศึกษาสมมูลน้ำของพื้นที่ปลูกยางพาราด้วยเทคนิค Eddy Covariance

การศึกษาสมมูลคาร์บอนของสวนยางพาราดำเนินการใน 2 พื้นที่ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน ได้แก่

##### Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

แปลงยางอายุมาก ณ ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา (ละติจูด  $13^{\circ}34'21.97''\text{N}$  ลองจิจูด  $101^{\circ}28'5.53''\text{E}$  ความสูงจากระดับน้ำทะเล 69 เมตร) ตั้งอยู่ที่อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา แปลงทดลองตั้งอยู่กลางศูนย์วิจัย มีเนื้อที่ประมาณ 50 ไร่ เป็นพื้นที่ปลูกยางที่อาศัยน้ำฝน ปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุต้นยาง 19 ปี (ปี พ.ศ. 2556) ระยะปลูก  $2.5 \times 7$  เมตร และเปิดกรีดมาแล้ว 10 ปี ดินในพื้นที่ปลูกยางเป็นชุดดินกบินทร์บุรี ความลาดชันของพื้นที่ค่อนข้างต่ำ มีความสม่ำเสมอของเรือนยอดยางพารา (รูปที่ 2-1)

##### Site ที่ 2 พื้นที่สวนยางของเกษตรกร อำเภอปากคาด จังหวัดบึงกาฬ

สวนยางพาราของเกษตรกร ตั้งอยู่ที่อำเภอปากคาด จังหวัดบึงกาฬ (ละติจูด  $18^{\circ}13'22.77''\text{N}$  ลองจิจูด  $103^{\circ}18'59.46''\text{E}$  ความสูงจากระดับน้ำทะเล 200 เมตร) มีเนื้อที่ประมาณ 100 ไร่ เป็นพื้นที่ปลูกยางโดยอาศัยน้ำฝน ปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุต้นยาง 4 ปี (ปี พ.ศ. 2556) ระยะปลูก  $3 \times 7$  เมตร และเป็นต้นยางที่ยังไม่เปิดกรีด ดินในพื้นที่ปลูกยางเป็นชุดดินโนนพิสัย สวนยางพารานี้เป็นสวนยางพาราปลูกใหม่ อยู่ในเขตพื้นที่การปลูกสวนยางพารา ระยะที่ 3 แปรแผนไร่ และต่อเนื่องจากระยะที่ 2 หนึ่งล้านไร่ พื้นที่มีความลาดชันของพื้นที่ค่อนข้างต่ำ มีความสม่ำเสมอของเรือนยอดยางพารา (รูปที่ 2-2)

#### 4.1.1 การคายระเหยของน้ำ (Evapotranspiration, ETR)

อัตราการคายระเหยน้ำ (ETR) ของพื้นที่ปลูกยางพารา วัดด้วยเทคนิค Eddy Covariance (Goulden *et al.*, 1996) ค่าที่วัดได้ประกอบด้วยความเร็วและทิศทางลม และปริมาณไอน้ำในอากาศ จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณเป็นค่าอัตราการคายระเหยน้ำ จากการศึกษาพบว่า Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2556 และวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (789 วัน) มีค่าอัตราการคายระเหยน้ำอยู่ในช่วง 0.00 ถึง  $6.29 \text{ mm.day}^{-1}$  รวมอัตราการคายระเหยน้ำสะสมในช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลทั้งหมดค่าเท่ากับ 2,178.49 mm สำหรับข้อมูลปริมาณการคายระเหยน้ำของพื้นที่ปลูกยางพาราในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น มีปริมาณการคายระเหยน้ำอยู่ในช่วง 0.20 ถึง  $5.72 \text{ mm.day}^{-1}$  และมีปริมาณการคายระเหยน้ำสะสมในรอบ 1 ปี เท่ากับ 932.83 mm โดยพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 นี้มีปริมาณการคายระเหยน้ำต่ำสุด และสูงสุดปรากฏในช่วงเดือนมกราคม 2556 และสิงหาคม 2556 โดยมีปริมาณการระเหยน้ำสะสมเท่ากับ 40.47 และ  $132.09 \text{ mm.month}^{-1}$  ตามลำดับ (รูปที่ 4-1)

Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2556 และวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (497 วัน) มีปริมาณการคายระเหยน้ำ อยู่ในช่วง 0.20 ถึง  $3.83 \text{ mm.day}^{-1}$  รวมปริมาณการคายระเหยน้ำสะสมในช่วงเวลาที่

บันทึกข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ 865.33 mm และพบว่าพื้นที่ปลูกยางมีปริมาณการคายระเหยน้ำสะสมต่ำสุด และสูงสุดปรากฏในเดือน มกราคม 2556 และพฤษภาคม 2557 โดยมีปริมาณการระเหยน้ำสะสมเท่ากับ 15.79 และ 93.99 mm.month<sup>-1</sup> ตามลำดับ (รูปที่ 4-1)

#### 4.1.2 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference crop evapotranspiration, ETo)

ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ของพื้นที่ปลูกยาง Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2556 และวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (789 วัน) มีปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงอยู่ในช่วง 0.53 ถึง 10.43 mm.day<sup>-1</sup> รวมปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงสะสมในช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลทั้งหมดค่าเท่ากับ 4,269.51 mm สำหรับข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงของพื้นที่ปลูกยางพาราในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น ปรากฏค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงอยู่ในช่วง 0.53 ถึง 10.43 mm.day<sup>-1</sup> และมีปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงสะสมในรอบ 1 ปี เท่ากับ 2,220.93 mm โดยพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 นี้มีค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงต่ำสุด และสูงสุดในช่วงเดือนกันยายน 2556 และพฤษภาคม 2556 โดยมีปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงสะสมเท่ากับ 159.55 และ 227.83 mm.month<sup>-1</sup> ตามลำดับ (รูปที่ 4-1)

Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2556 และวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (497 วัน) มีปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง อยู่ในช่วง 0.04 ถึง 13.28 mm.day<sup>-1</sup> รวมค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงสะสมในช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ 3,176.97 mm (รูปที่ 4-1)

ปริมาณการคายระเหยของน้ำ (ETR) และการระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (ETo) ของระบบนิเวศยางพาราของทั้ง 2 site มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกัน แต่ปริมาณการระเหยน้ำของพืชอ้างอิง ซึ่งได้จากการคำนวณนั้น มีค่าสูงกว่าค่าการคายระเหยของน้ำ (ETR) ที่ได้จากการวัดจริงด้วยเทคนิค Eddy Covariance ความแตกต่างที่เกิดขึ้นดังกล่าวเป็นผลมาจาก ค่าการระเหยน้ำของพืชอ้างอิงนั้นเป็นค่าการระเหยน้ำของพืชที่ได้มาจากการคำนวณ โดยใช้ตัวแปรทางด้านจุลภูมิอากาศ และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop coefficient, K<sub>c</sub>) ค่า K<sub>c</sub> ที่ใช้ในการคำนวณตามวิธีการของ FAO Penman-Monteith เป็นค่าคงที่ตลอดฤดูกาลและพัฒนาขึ้นจากพื้นที่อื่นที่ไม่ใช่ประเทศไทย ดังนั้นค่าการคายระเหยน้ำที่คำนวณได้จากสมการดังกล่าวจึงค่อนข้างแตกต่างไปจากค่าการคายระเหยน้ำที่วัดได้จริงในพื้นที่ปลูก

#### 4.1.3 การใช้น้ำของยางพารา (Crop Water Use, CWU)

การใช้น้ำของยางพารา (Crop Water Use, CWU) ของ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2556 และวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (789 วัน) มีค่าการใช้น้ำของยางพาราอยู่ในช่วง 0.31 – 10.06 m<sup>3</sup>.rai<sup>-1</sup>.day<sup>-1</sup> รวมการใช้น้ำของยางพาราสะสมในช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลทั้งหมดค่าเท่ากับ 3,485.59 m<sup>3</sup>.rai<sup>-1</sup> สำหรับข้อมูลการใช้น้ำของยางพาราในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น มีปริมาณการใช้น้ำของยางพาราอยู่ในช่วง 0.31 – 9.15 m<sup>3</sup>.rai<sup>-1</sup>.day<sup>-1</sup> และมีปริมาณการคายระเหยน้ำสะสมในรอบ 1 ปี เท่ากับ 1,492.53 m<sup>3</sup>.rai<sup>-1</sup> โดยพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 นี้มีปริมาณการใช้น้ำต่ำสุด และสูงสุดปรากฏในช่วงเดือนมกราคม 2556 และ สิงหาคม 2556 โดยมีปริมาณการใช้น้ำสะสมเท่ากับ 64.75 และ 211.34 m<sup>3</sup>.rai<sup>-1</sup>.month<sup>-1</sup> ตามลำดับ (รูปที่ 4-3)

Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึง วันที่ 30 เมษายน 2556 และวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (497 วัน) มีปริมาณการใช้น้ำของยางพาราอยู่ในช่วง  $0.32 - 6.13 \text{ m}^3.\text{rai}^{-1}.\text{day}^{-1}$  รวมปริมาณการใช้น้ำสะสมในช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ  $1,384.53 \text{ m}^3.\text{rai}^{-1}$  (รูปที่ 4-3)

#### 4.1.4 การเคลื่อนของน้ำในลำต้น (Sap flow) และการคายน้ำของต้นยาง (Transpiration)

การคายน้ำของพืชเป็นกระบวนการสูญเสียน้ำภายในต้นพืชผ่านทางปากใบ (Taiz and Zeiger, 2006) การศึกษาการคายน้ำของพืชทำได้หลายวิธี เช่น การวัดค่า stomatal conductance (Motzer *et al.*, 2005) การประเมินจากการวัด sap flow (Hatton *et al.*, 1995; Granier *et al.*, 1987) หรือใช้วิธีการสมดุลน้ำ ในการวัดการระเหยน้ำ (ETo) และองค์ประกอบอื่นๆ เช่น Soil water budget, Sap flow, Eddy Covariance และ Catchment water balance (Wilson *et al.*, 2001).

วิธีการประเมินการคายน้ำจากการวัดการเคลื่อนของน้ำในลำต้น หรือ Sap flow ซึ่งสามารถวัดด้วยวิธีการ Heat dissipation method ซึ่งดัดแปลงจากวิธีการของ Granier (1985, 1987) ด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในลำต้น รุ่น SF32 Sap flow sensor ของบริษัท UP เป็นการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ มีหน่วยวัดเป็น mm และเปลี่ยนหน่วยเป็นค่าการคายน้ำของพืช มีหน่วยเป็น  $\text{mm}.\text{day}^{-1}$  ดังนั้นวิธีการนี้จึงสามารถใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในต้นที่เกี่ยวข้องกับการเจริญ และ ประสิทธิภาพการใช้น้ำในไม้ยืนต้นได้ดี (Smith and Allen 1996) นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ประเมินการคายน้ำในระดับแปลงได้อีกด้วย (Ford *et al.*, 2014)

การวัด Sap flow density ทำได้โดยวิธีการกระจายความร้อน (Heat dissipation method) ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Granier (1987) การวัดการกระจายความร้อนทำได้โดยการติดตั้ง Thermocouple probe ที่มีคุณลักษณะเหมือนกันจำนวน 2 probe เข้าไปในเนื้อเยื่อ sapwood โดย probe ทั้งสองจะถูกติดตั้งซ้อนกันในแนวตั้งห่างกันประมาณ 10 cm probe ที่อยู่ด้านล่าง ซึ่งไม่มีลวดทำความร้อนจะวัดอุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านในขณะที่ probe ที่อยู่ด้านบนนั้น มีลวดทำความร้อนจะปล่อยความร้อนออกมาและวัดอุณหภูมิไปในขณะเดียวกัน ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิจากทั้ง 2 probe ขึ้นอยู่กับความเร็วการไหลของน้ำใน sapwood โดยปรกติในช่วงกลางวัน ซึ่งมีการไหลของน้ำมาก ค่าความแตกต่างอุณหภูมิจากทั้ง 2 probe จะมีค่าต่ำ แต่ในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งมีการไหลของน้ำน้อยมาก ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิจะสูงได้ถึง  $10 - 13^{\circ}\text{C}$  ความแตกต่างของอุณหภูมิดังกล่าวจึงถูกใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณอัตราการไหลของน้ำในลำต้นพืช (Granier, 1985)

Sap flow density ( $J_s$ ) มีหน่วยเป็น  $\text{liters}.\text{dm}^{-2}.\text{h}^{-1}$  คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$J_s = 312 \times 10^{-6} K^{1.231} \quad (1)$$

และ Sap flow index (K) คำนวณจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันของ Probe ทั้งสองดังสมการที่ 2

$$K = \frac{\Delta T_0 - \Delta T_i}{\Delta T_i} \quad (2)$$

โดย  $\Delta T_0$  คือ daily maximum temperature difference และ  $\Delta T_i$  คือ current temperature difference ระหว่าง probe ทั้ง 2 ทั้ง 2 ค่ามีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

เมื่อนำค่า Sap flow density ในแต่ละช่วงเวลามาประเมิน ค่า Sap flow density ในรอบวัน ซึ่งมีหน่วยเป็น  $\text{kg m}^{-2} \text{day}^{-1}$  จะสามารถนำมาคำนวณเป็น Tree transpiration (ET) ได้ แต่เนื่องจาก probe ที่ใช้นั้นไม่สามารถวัดการไหลของน้ำในท่อลำเลียงได้ทั้งหมดจากข้อจำกัดของความยาว probe Na-Ayutthaya *et al.* (2010) จึงได้ศึกษาและเสนอวิธีการแก้ไขความคลาดเคลื่อนในการคำนวณการไหลของน้ำระหว่างท่อลำเลียงด้านนอกและด้านในไว้ดังสมการที่ 3

$$E_T = \frac{0.874 \times 10^{-2} \times J_s \times \text{sapwood area}}{\text{tree space area}} \quad (3)$$

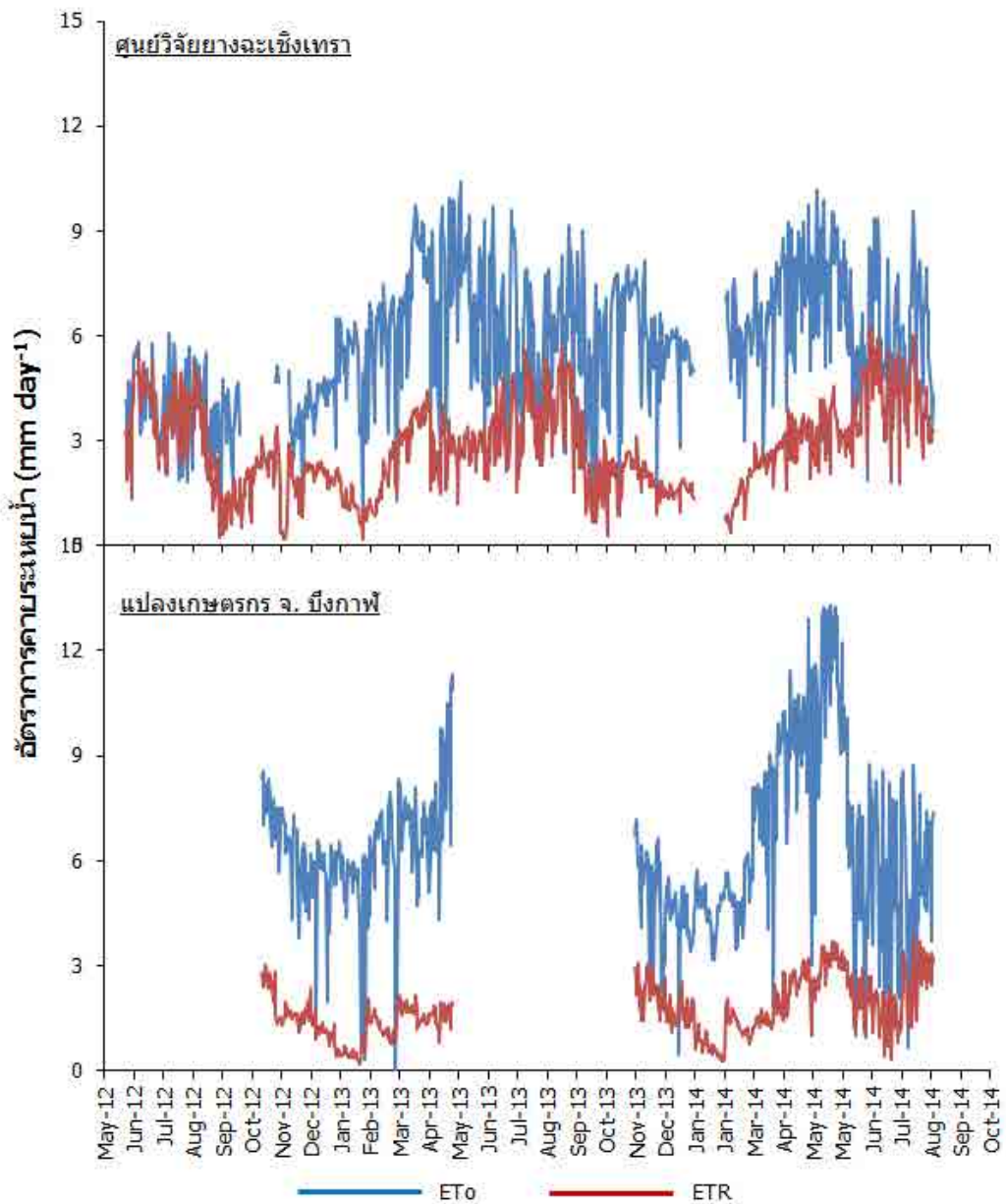
การคายน้ำของต้นยางพารา ซึ่งคำนวณจากอัตราการเคลื่อนของน้ำในลำต้น สำหรับ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 26 มีนาคม 2556 ถึงวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2557 (339 วัน) มีค่าการคายน้ำของต้นยางพาราอยู่ในช่วง 0.19 ถึง 3.72  $\text{mm.day}^{-1}$  รวมปริมาณการใช้น้ำของยางพาราในช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ 615.42 mm โดยพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 นี้มีค่าการคายน้ำของต้นยางต่ำสุด และสูงสุดปรากฏในช่วงเดือนมกราคม 2557 และเมษายน 2556 โดยมีค่าการคายน้ำสะสมเท่ากับ 12.72 และ 82.16  $\text{mm.month}^{-1}$  ตามลำดับ (รูปที่ 4-2)

Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 22 มีนาคม 2556 ถึงวันที่ 29 เมษายน 2557 (403 วัน) มีค่าการคายน้ำของต้นยางพาราอยู่ในช่วง 0.08 ถึง 1.51  $\text{mm.day}^{-1}$  รวมปริมาณการใช้น้ำของยางพาราในช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ 276.52 mm โดยพื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 นี้มีค่าการคายน้ำของต้นยางต่ำสุด และสูงสุดปรากฏในช่วงเดือนมกราคม 2557 และพฤศจิกายน 2556 โดยมีค่าการคายน้ำสะสมเท่ากับ 17.00 และ 37.87  $\text{mm.month}^{-1}$  ตามลำดับ (รูปที่ 4-2)

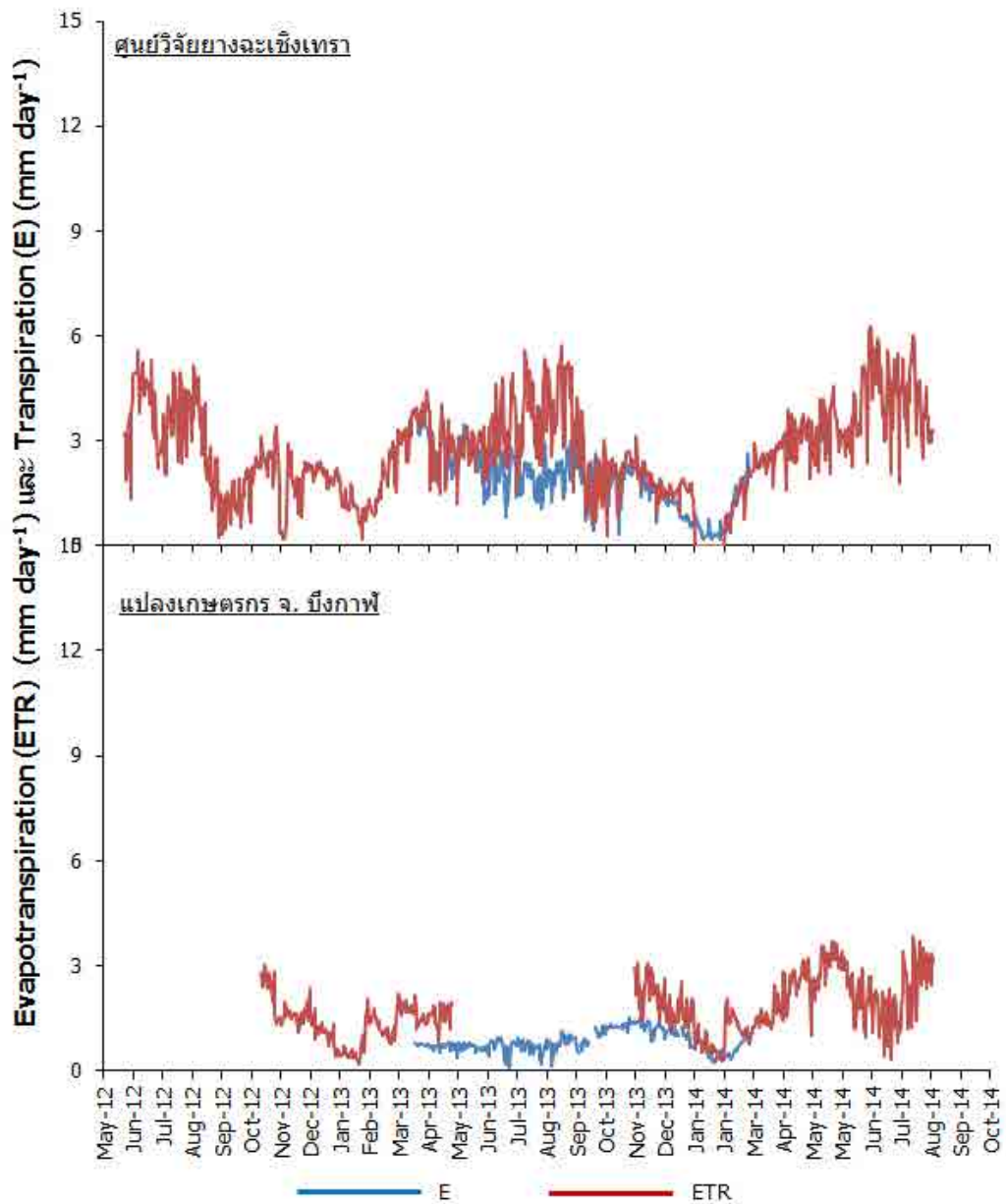
#### 4.1.5 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Crop Coefficient, $K_c$ )

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา จากการศึกษาพบว่า Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2556 และวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (789 วัน) มีค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพาราอยู่ในช่วง 0.06 ถึง 1.39 สำหรับข้อมูลสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพาราในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น มีค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพาราอยู่ในช่วง 0.06 ถึง 1.19 โดยพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 นี้มีค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารต่ำสุด และสูงสุดปรากฏในช่วงเดือนตุลาคม 2556 (รูปที่ 4-4)

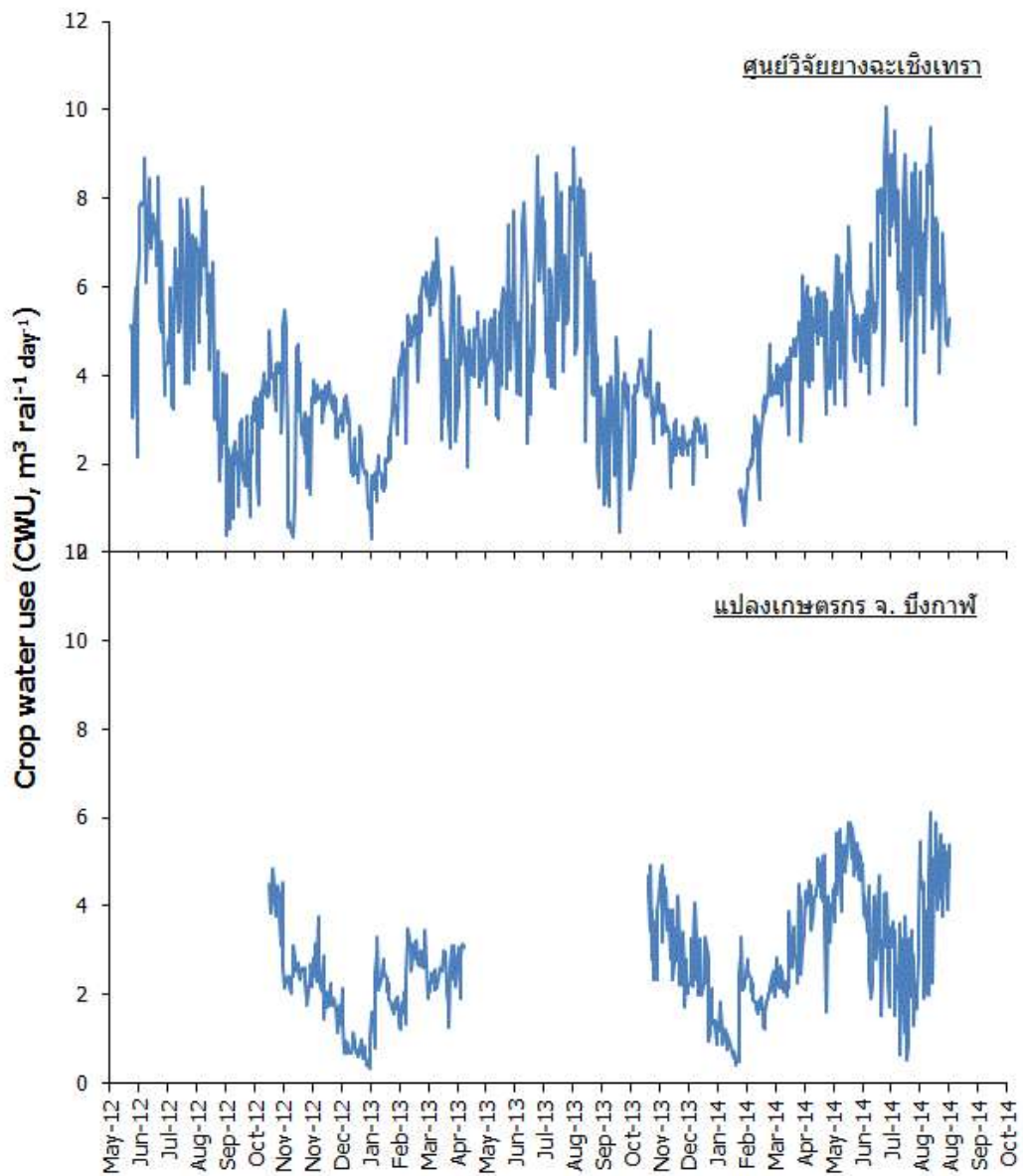
Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2556 และวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (497 วัน) มีค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Crop Coefficient;  $K_c$ ) ที่คำนวณได้ในแต่ละวัน อยู่ในช่วงระหว่าง 0.05 – 2.83 โดยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำจะมีค่าต่ำสุดในช่วงเดือนมกราคม 2556 และมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนธันวาคม 2556 (รูปที่ 4-4)



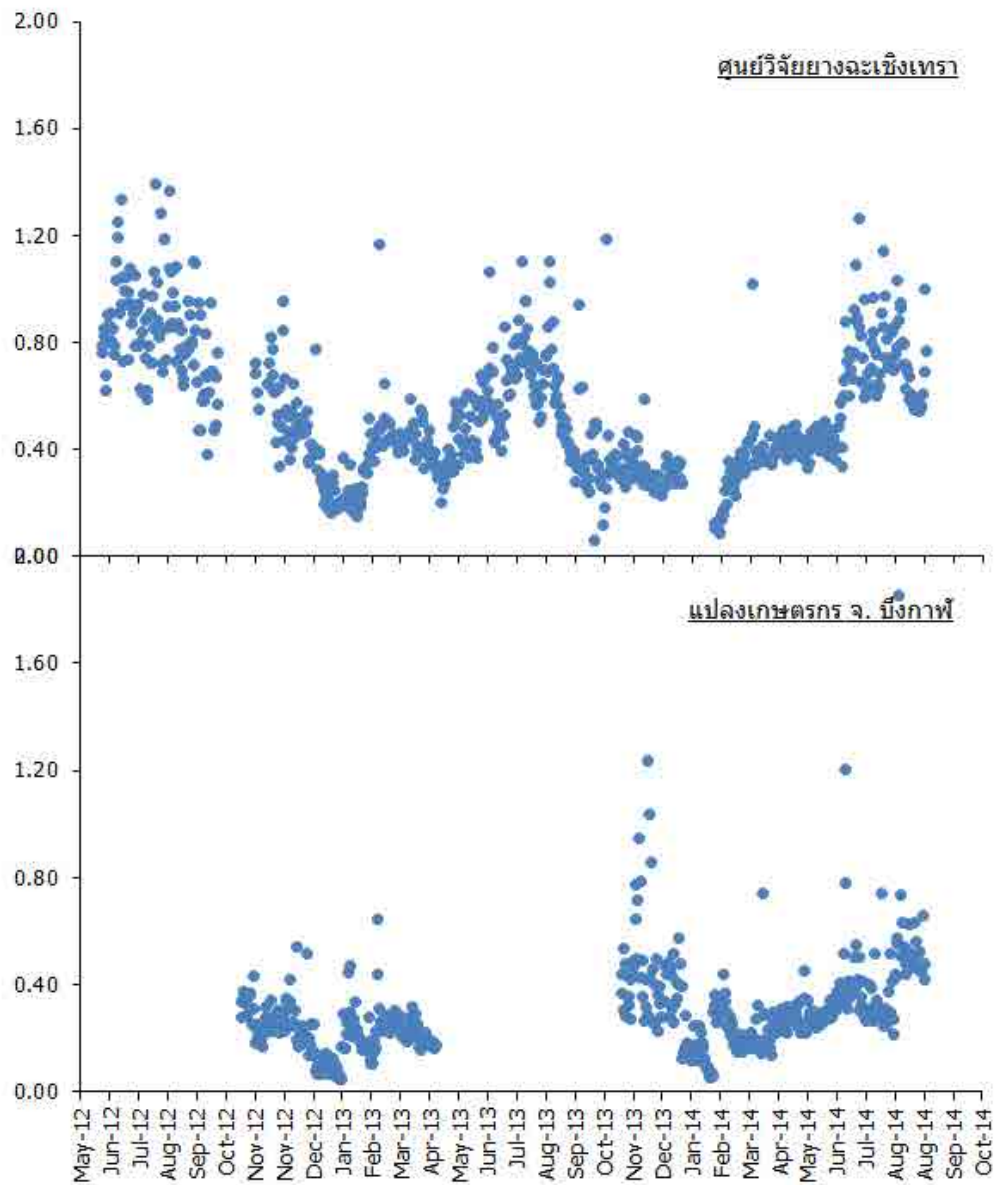
**รูปที่ 4-1** การคายระเหยของน้ำ (Evapotranspiration, ETR) และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference crop evapotranspiration, ET<sub>0</sub>) ของแปลงปลูกยางพารา ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิ.ย. 2555 – 31 ธ.ค. 2556 และ 1 ก.พ. 2557 – 31 ส.ค. 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ต.ค. 2555-30 เม.ย. 2556 และ 1 พ.ย. 2556 – 31 ส.ค. 2557)



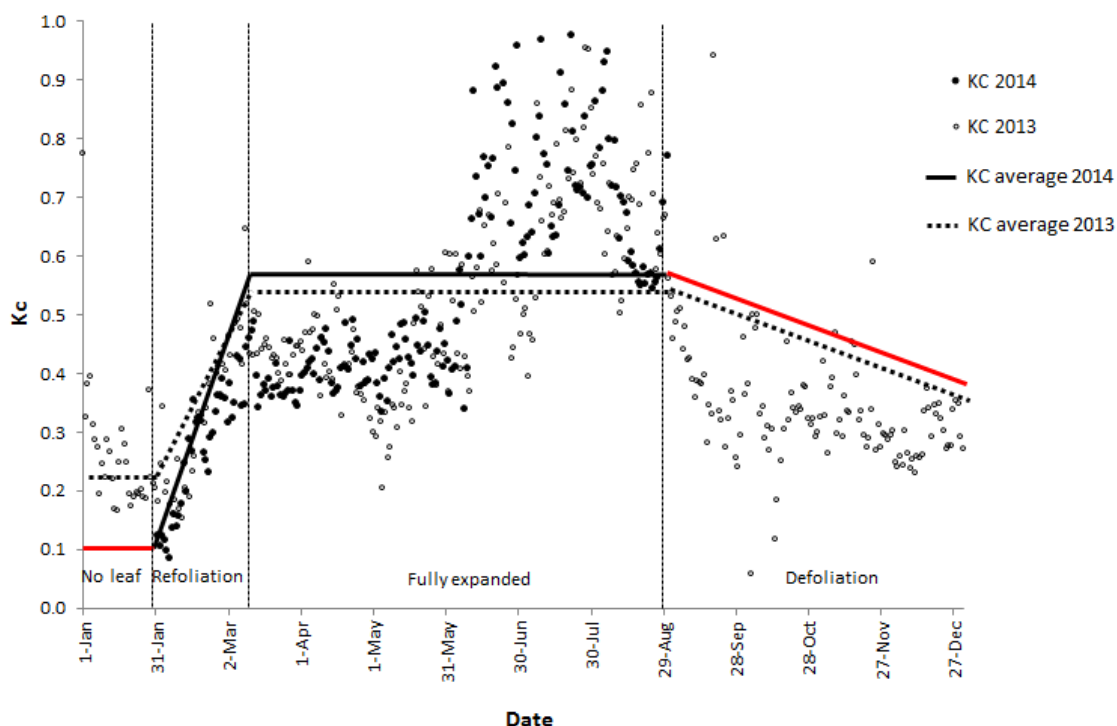
**รูปที่ 4-2** การคายระเหยของน้ำ (Evapotranspiration, ETR) และการคายน้ำของพืช (Transpiration, E) ของแปลงปลูกยางพารา ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิ.ย. 2555 – 31 ธ.ค. 2556 และ 1 ก.พ. 2557 – 31 ส.ค. 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ต.ค. 2555-30 เม.ย. 2556 และ 1 พ.ย. 2556 – 31 ส.ค. 2557)



**รูปที่ 4-3** ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Water Use) ของแปลงปลูกยางพาราได้รับ ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิ.ย. 2555 – 31 ธ.ค. 2556 และ 1 ก.พ. 2557 – 31 ส.ค. 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ต.ค. 2555-30 เม.ย. 2556 และ 1 พ.ย. 2556 – 31 ส.ค. 2557)



**รูปที่ 4-4** ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient;  $K_c$ ) แปลงปลูกยางพาราได้รับ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิ.ย. 2555 – 31 ธ.ค. 2556 และ 1 ก.พ. 2557 – 31 ส.ค. 2557) และ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18 ต.ค. 2555-30 เม.ย. 2556 และ 1 พ.ย. 2556 – 31 ส.ค. 2557)



**รูปที่ 4-5** ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา ( $K_c$ ) ของยางพาราตลอดฤดูปลูก ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา ตั้งแต่วันที่ 31 มกราคม 2557 – 31 สิงหาคม 2557 (จุดทึบ) เปรียบเทียบกับ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา ( $K_c$ ) ของยางพาราตลอดฤดูปลูก ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2556 – 31 ธันวาคม 2556 (จุดโปร่ง)

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา ( $K_c$ ) ของยางพาราตลอดฤดูปลูก ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา ตั้งแต่วันที่ 31 มกราคม 2557 – 31 สิงหาคม 2557 แสดงในรูปที่ 4-5 (จุดทึบ) เมื่อเปรียบเทียบกับค่า  $K_c$  ในช่วงเวลาเดียวกันของปี 2556 พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า  $K_c$  ในแต่ละช่วงเวลาใกล้เคียงกัน โดยค่า  $K_c$  ในปี 2557 มีค่าสูงกว่าค่า  $K_c$  ในปี 2556 เล็กน้อย การแบ่งการเจริญเติบโตในแต่ละช่วง ซึ่งได้แก่ Initial stage, Development stage, Mid-season stage และ Late season stage ปี 2556 พบว่า ในช่วง initial stage ได้แก่ ช่วงฤดูแล้งที่ต้นยางพาราใบร่วงหมดและยังไม่มีใบใหม่แตกในฤดูปลูก 2557 ไม่มีข้อมูล เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจวัดเสีย แต่เมื่อเทียบกับข้อมูลในปี 2556 แล้ว ใช้ระยะเวลายาวนาน 29 วัน คือ ตั้งแต่วันที่ 1 – 29 มกราคม 2557 ส่วน Development stage ได้แก่ ช่วงที่ยางพาราเริ่มแตกใบและเจริญเติบโตจนขยายขนาดเต็มที่ ใช้เวลาประมาณ 40 วัน คือ ตั้งแต่วันที่ 30 มกราคม 2557 ถึง 9 มีนาคม 2557 สำหรับ Mid-season stage ได้แก่ ระยะที่ใบของต้นยางเจริญเติบโตเต็มที่ได้แล้ว มีระยะเวลายาวนาน 174 วัน ตั้งแต่วันที่ 10 มีนาคม 2557 ถึง 30 สิงหาคม 2557 และ Late-season stage ได้แก่ ระยะที่ใบยางเริ่มร่วงจนร่วงหมดทั้งต้น นั้นยังอยู่ระหว่างการประมวลผลข้อมูล (รูปที่ 4-5)

เมื่อลองหาค่าเฉลี่ยของค่า  $K_c$  ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต ของปี 2557 เปรียบเทียบกับในปี 2556 พบว่าค่าเฉลี่ย ของค่า  $K_c$  ปี 2557 มีค่าสูงกว่าในปี 2556 และเห็นได้ว่าในช่วง Mid-season stage ค่า  $K_c$  มีความแตกต่างกันมากระหว่างช่วงต้นของการเจริญเติบโตและช่วงปลายการเจริญเติบโต ทั้งนี้อาจเนื่องจากยางพารามีการพัฒนาใบใหม่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การ

ใช้น้ำของพืช Kc ที่ใช้ในการคำนวณตามวิธีการของ FAO Penman-Monteith เป็นค่าคงที่ตลอดฤดูกาล และพัฒนาขึ้นจากพื้นที่อื่นที่ไม่ใช่ประเทศไทย อาจไม่สามารถใช้อธิบายการใช้น้ำของยางพาราในประเทศไทยได้ เนื่องจากค่า Kc ที่วัดได้จากเทคนิค Eddy covariance มีรูปแบบแตกต่างกันแม้ในช่วงการเจริญเติบโตเดียวกัน

**ตารางที่ 4-1** แสดงค่าผลผลิตน้ำยาง (yield, kg.Rai<sup>-1</sup>), ค่าการคายระเหยของน้ำ (Evapo - transpiration, mm) และค่าการใช้น้ำของยางพารา (Crop Water Use) ของพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มิ.ย. 2555 – 31 ธ.ค. 2556 และ 1 ก.พ. 2557 - 31 ส.ค. 2557)

| ปี          | เดือน      | Yield (kg.Rai <sup>-1</sup> ) | Evapotranspiration (mm) | Crop water Use (m <sup>3</sup> .Rai <sup>-1</sup> ) |
|-------------|------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------|
| 2555        | มิถุนายน   | 15.71                         | 124.02                  | 198.43                                              |
|             | กรกฎาคม    | 21.97                         | 105.49                  | 168.79                                              |
|             | สิงหาคม    | 23.86                         | 105.17                  | 168.27                                              |
|             | กันยายน    | 23.67                         | 38.96                   | 62.33                                               |
|             | ตุลาคม     | 24.32                         | 68.48                   | 109.57                                              |
|             | พฤศจิกายน  | 20.75                         | 49.75                   | 79.60                                               |
|             | ธันวาคม    | 21.02                         | 64.54                   | 103.26                                              |
| รวม         |            | 151.3                         | 556.41                  | 890.25                                              |
| 2556        | มกราคม     | 31.69                         | 40.47                   | 64.75                                               |
|             | กุมภาพันธ์ | -                             | 44.89                   | 71.82                                               |
|             | มีนาคม     | -                             | 100.34                  | 160.55                                              |
|             | เมษายน     | -                             | 87.25                   | 139.60                                              |
|             | พฤษภาคม    | 21.76                         | 85.74                   | 137.19                                              |
|             | มิถุนายน   | 8.55                          | 98.31                   | 157.29                                              |
|             | กรกฎาคม    | 11.66                         | 110.02                  | 176.03                                              |
|             | สิงหาคม    | 17.10                         | 132.09                  | 211.34                                              |
|             | กันยายน    | 9.33                          | 63.06                   | 100.90                                              |
|             | ตุลาคม     | 20.21                         | 63.80                   | 102.08                                              |
|             | พฤศจิกายน  | 12.43                         | 57.76                   | 92.42                                               |
|             | ธันวาคม    | 27.20                         | 49.10                   | 78.56                                               |
| รวม         |            | 159.93                        | 932.83                  | 1,492.53                                            |
| 2557        | มกราคม     | 27.20                         | -                       | -                                                   |
|             | กุมภาพันธ์ | -                             | 37.31                   | 59.69                                               |
|             | มีนาคม     | -                             | 78.32                   | 125.31                                              |
|             | เมษายน     | -                             | 92.54                   | 148.07                                              |
|             | พฤษภาคม    |                               | 101.47                  | 162.35                                              |
|             | มิถุนายน   |                               | 115.76                  | 185.21                                              |
|             | กรกฎาคม    |                               | 137.70                  | 220.32                                              |
|             | สิงหาคม    |                               | 126.17                  | 201.87                                              |
| รวม         |            | 27.20                         | 689.27                  | 1,102.82                                            |
| รวมทั้งสิ้น |            | 338.43                        | 2,178.51                | 3,485.6                                             |

**ตารางที่ 4-2** แสดง ค่าการคายระเหยของน้ำ (Evapo -transpiration, mm) และค่าการใช้น้ำของ  
 ยางพารา (Crop Water Use) ของพื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ (18  
 ต.ค. 2555-30 เม.ย. 2556 และ 1 พ.ย. 2556 – 31 ส.ค. 2557)

| ปี                 | เดือน      | Evapotranspiration (mm)                           | Crop water Use (m <sup>3</sup> .Rai <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 2555               | มิถุนายน   | อยู่ระหว่างการติดตั้งชุดอุปกรณ์ จึงไม่มีข้อมูล    |                                                     |
|                    | กรกฎาคม    |                                                   |                                                     |
|                    | สิงหาคม    |                                                   |                                                     |
|                    | กันยายน    |                                                   |                                                     |
|                    | ตุลาคม     | 35.92                                             | 57.47                                               |
|                    | พฤศจิกายน  | 45.15                                             | 72.24                                               |
|                    | ธันวาคม    | 40.04                                             | 64.07                                               |
| <b>รวม</b>         |            | <b>121.11</b>                                     | <b>193.78</b>                                       |
| 2556               | มกราคม     | 15.79                                             | 25.26                                               |
|                    | กุมภาพันธ์ | 36.40                                             | 58.23                                               |
|                    | มีนาคม     | 51.14                                             | 81.83                                               |
|                    | เมษายน     | 47.43                                             | 75.88                                               |
|                    | พฤษภาคม    | เครื่องมือมีปัญหาต้องดำเนินการซ่อม จึงไม่มีข้อมูล |                                                     |
|                    | มิถุนายน   |                                                   |                                                     |
|                    | กรกฎาคม    |                                                   |                                                     |
|                    | สิงหาคม    |                                                   |                                                     |
|                    | กันยายน    |                                                   |                                                     |
|                    | ตุลาคม     |                                                   |                                                     |
|                    | พฤศจิกายน  | 69.16                                             | 110.66                                              |
|                    | ธันวาคม    | 51.86                                             | 82.97                                               |
| <b>รวม</b>         |            | <b>271.78</b>                                     | <b>434.83</b>                                       |
| 2557               | มกราคม     | 20.42                                             | 32.67                                               |
|                    | กุมภาพันธ์ | 36.39                                             | 58.22                                               |
|                    | มีนาคม     | 47.41                                             | 75.86                                               |
|                    | เมษายน     | 76.50                                             | 122.40                                              |
|                    | พฤษภาคม    | 93.99                                             | 150.39                                              |
|                    | มิถุนายน   | 64.93                                             | 103.88                                              |
|                    | กรกฎาคม    | 47.95                                             | 76.72                                               |
|                    | สิงหาคม    | 84.85                                             | 135.76                                              |
| <b>รวม</b>         |            | <b>472.44</b>                                     | <b>755.9</b>                                        |
| <b>รวมทั้งสิ้น</b> |            | <b>865.33</b>                                     | <b>1,384.51</b>                                     |

## 4.2 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์

การใช้น้ำของยางพารา (Crop Water Use, CWU) ของ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2556 และวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2557 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (789 วัน) มีค่าการใช้น้ำของยางพาราสะสมในช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลทั้งหมดค่าเท่ากับ  $3,485.59 \text{ m}^3.\text{rai}^{-1}$  สำหรับข้อมูลการใช้น้ำของยางพาราในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น มีค่าการใช้น้ำสะสมในรอบ 1 ปี เท่ากับ  $1,492.53 \text{ m}^3.\text{rai}^{-1}$  สำหรับผลผลิตน้ำยางของพื้นที่ Site ที่ 1 ในปี 2556 มีค่าเท่ากับ  $159.93 \text{ Kg rai}^{-1}$  ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของพื้นที่ปลูกยางพารา Site ที่ 1 (green water) จึงมีค่าเท่ากับ  $9.33 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}.\text{Kg yield}^{-1}$  ค่าที่ปรากฏนั้น มีค่าน้อยกว่าที่รายงานโดย Mekonnen และ Hoekstra (2011) ซึ่งประเมินค่าโดยใช้แบบจำลอง CROPWAT 8.0 ที่มีค่า  $12.96 \text{ m}^3.\text{Kg}$  ผลผลิต ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การคำนวณการใช้น้ำของยางพาราด้วยแบบจำลอง CROPWAT 8.0 นั้น สูงกว่าความต้องการใช้น้ำจริงของยางพารา และอาจเป็นผลสืบเนื่องมาจากการใช้ค่า Kc ซึ่งเป็นค่าคงที่ แต่ถ้าสามารถประเมินค่า Kc โดยอาศัยข้อมูลจุลภูมิอากาศ อาจจะทำให้ค่าความต้องการใช้น้ำและวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของยางพารามีค่าที่แม่นยำยิ่งขึ้น

Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ซึ่งบันทึกข้อมูลตั้งแต่ วันที่ 18 ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2556 และวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557 (497 วัน) มีปริมาณการใช้น้ำสะสมในช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ  $1,384.53 \text{ m}^3.\text{rai}^{-1}$  สำหรับผลผลิตน้ำยางของพื้นที่ Site ที่ 2 เนื่องจากต้นยางพารามีอายุ 5 ปี ยังไม่มีการเปิดกรีดและคาดว่าจะเปิดกรีดได้เมื่ออายุ 6 ปี จึงยังสามารถคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของพื้นที่ปลูกยางพาราในปีนี้ได้

**ตารางที่ 4-3** แสดงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา (1 มกราคม – 31 ธันวาคม 2556)

| ข้อมูล                                                               | พื้นที่ปลูกยาง ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา อายุต้นยาง 19 ปี |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| การใช้น้ำของยางพารา ( $\text{m}^3.\text{rai}^{-1}\text{year}^{-1}$ ) | 1,492.53                                                |
| ผลผลิต ( $\text{Kg}.\text{rai}^{-1}\text{ year}^{-1}$ )              | 159.93                                                  |
| วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ ( $\text{m}^3.\text{Kg yield}^{-1}$ )              | 9.33                                                    |

## บทที่ 5

### อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อสมดุลคาร์บอนและน้ำของสวนยางพารา

#### 5.1 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อสมดุลคาร์บอน

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (NEE) กับลักษณะจุลภูมิอากาศ ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา ในฤดูปลูกปี 2556 พบว่า ค่า NEE มีความสัมพันธ์ในทางผกผัน (Negative correlation) กับค่าความชื้นแสงและอุณหภูมิอากาศ และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียว (Positive correlation) กับค่าปริมาณรังสีสุทธิ ปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์ และพบว่า NEE มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 79.01 สำหรับในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า ค่า NEE มีความสัมพันธ์ในทางผกผัน (Negative correlation) กับค่าปริมาณรังสีสุทธิ ความชื้นแสง และอุณหภูมิอากาศ และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียว (Positive correlation) กับปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์ และพบว่า NEE มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 58.40 (ตารางที่ 5-1)

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (NEE) กับลักษณะจุลภูมิอากาศ ณ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ ในฤดูปลูกปี 2556 พบว่า ค่า NEE มีความสัมพันธ์ในทางผกผัน (Negative correlation) กับค่าปริมาณรังสีสุทธิ ความชื้นแสง อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียว (Positive correlation) กับค่าปริมาณน้ำฝน และ VPD และพบว่า NEE มีความสัมพันธ์กับค่า VPD มากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 70.80 สำหรับในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า ค่า NEE มีความสัมพันธ์ในทางผกผัน (Negative correlation) กับค่าปริมาณรังสีสุทธิ ความชื้นแสง อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียว (Positive correlation) กับปริมาณน้ำฝน และค่า VPD และพบว่า NEE มีความสัมพันธ์กับค่า VPD มากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 95.67 (ตารางที่ 5-2)

#### 5.2 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อสมดุลน้ำ

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยของน้ำ (ETR) สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Kc) และการใช้น้ำของยางพารา (CWU) กับลักษณะจุลภูมิอากาศ ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา ในฤดูปลูกปี 2556 พบว่า ค่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์ในทางผกผัน (Negative correlation) กับค่าปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียว (Positive correlation) กับค่าปริมาณรังสีสุทธิ ความชื้นแสง และอุณหภูมิอากาศ และพบว่าค่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์กับค่าความความชื้นแสงมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 61.30 และ 61.86 ตามลำดับ สำหรับค่า Kc พบว่า มีความสัมพันธ์ในทางผกผัน (Negative correlation) กับค่าปริมาณรังสีสุทธิ ความชื้นแสง อุณหภูมิอากาศ ปริมาณฝน และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียว (Positive correlation) กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ Kc มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณแสงสุทธิมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 42.14

สำหรับในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า ค่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์ในทางผกผัน (Negative correlation) กับค่าปริมาณแสงสุทธิ ความชื้นสัมพัทธ์ และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียว

(Positive correlation) กับค่าความเข้มแสง อุณหภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝน และพบว่าค่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์กับค่าความความเข้มแสงมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 77.880 และ 77.84 ตามลำดับ สำหรับค่า Kc พบว่า มีความสัมพันธ์ในทางผกผัน (Negative correlation) กับค่าปริมาณรังสีสุทธิ ความเข้มแสง อุณหภูมิอากาศ ปริมาณฝน ความชื้นสัมพัทธ์ และ VPD ค่า KC มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณแสงสุทธิมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 35.05 (ตารางที่ 5-3)

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยของน้ำ (ETR) สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Kc) และการใช้น้ำของยางพารา (CWU) กับลักษณะจุลภูมิอากาศ ณ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ ในฤดูปลูกปี 2556 พบว่า ค่า ETR มีความสัมพันธ์ในทางผกผัน (Negative correlation) กับค่าปริมาณน้ำฝน และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียว (Positive correlation) กับค่าความเข้มแสง อุณหภูมิอากาศ และปริมาณน้ำฝน ส่วนค่า Kc กับค่าปริมาณรังสีสุทธิ ความเข้มแสง อุณหภูมิอากาศ ปริมาณฝน ความชื้นสัมพัทธ์ และ VPD และสำหรับค่า CWU พบว่า มีความสัมพันธ์ในทางผกผัน (Negative correlation) กับค่าปริมาณรังสีสุทธิ และความชื้นสัมพัทธ์ และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียว (Positive correlation) กับค่าความเข้มแสง อุณหภูมิอากาศ ปริมาณฝน และ VPD จากการวิเคราะห์ดังกล่าว พบว่า ค่า ETR และ Kc มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มแสงมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 61.60 และ 51.91 ตามลำดับ และ CWU มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 63.08

ในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า ค่า ETR มีความสัมพันธ์ในทางผกผัน (Negative correlation) กับค่าปริมาณน้ำฝน และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียว (Positive correlation) กับค่าปริมาณแสงสุทธิ ความเข้มแสง อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ส่วนค่า Kc กับค่าปริมาณรังสีสุทธิ ปริมาณฝน และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียว (Positive correlation) กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ และสำหรับค่า CWU พบว่า มีความสัมพันธ์ในทางผกผัน (Negative correlation) กับค่าปริมาณน้ำฝน และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียว (Positive correlation) กับค่าปริมาณแสงสุทธิ ความเข้มแสง อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ จากการวิเคราะห์ดังกล่าว พบว่า ค่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มแสงมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 65.83 และ 67.31 ตามลำดับ และ Kc มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 32.80

**ตารางที่ 5-1** แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (NEE) และ ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมต่างๆ ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ.ฉะเชิงเทรา

| ฤดูปลูกปี | NEE | Rn      | PAR      | Tair     | Rain    | RH             | VPD      |
|-----------|-----|---------|----------|----------|---------|----------------|----------|
| 2556      | r   | 0.10281 | -0.06733 | -0.28348 | 0.34244 | <b>0.79066</b> | 0.00934  |
|           | P   | <.0001  | <.0001   | <.0001   | <.0001  | <.0001         | 0.4133   |
| 2557      | r   | -0.0858 | -0.09157 | -0.38498 | 0.37323 | <b>0.58399</b> | -0.00321 |
|           | P   | <.0001  | <.0001   | <.0001   | <.0001  | <.0001         | 0.8275   |

**หมายเหตุ** คำย่อ NEE = อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (Net ecosystem exchange,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )  
Rn = ปริมาณรังสีสุทธิ (Net radiation,  $\text{MW.m}^{-2}$ )  
PAR = ความเข้มแสง (Photosynthetically active radiation,  $\text{PAR}, \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )  
Tair = อุณหภูมิอากาศ (Air temperature,  $^{\circ}\text{C}$ )  
Rain = ปริมาณน้ำฝน (mm)  
RH = ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity, %)  
VPD = ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (Vapor pressure deficit)  
r = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  
P = ความน่าจะเป็น

**ตารางที่ 5-2** แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (NEE) และ ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมต่างๆ ณ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ

| ฤดูปลูกปี | NEE | Rn       | PAR      | Tair     | Rain    | RH       | VPD     |
|-----------|-----|----------|----------|----------|---------|----------|---------|
| 2556      | r   | -0.09946 | -0.20424 | -0.44837 | 0.67519 | -0.33529 | 0.70799 |
|           | P   | 0.0006   | <.0001   | <.0001   | <.0001  | <.0001   | <.0001  |
| 2557      | r   | -0.38487 | -0.60967 | -0.294   | 0.61648 | -0.82705 | 0.9567  |
|           | P   | <.0001   | <.0001   | <.0001   | <.0001  | <.0001   | <.0001  |

**หมายเหตุ** คำย่อ NEE = อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (Net ecosystem exchange,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )  
Rn = ปริมาณรังสีสุทธิ (Net radiation,  $\text{MW.m}^{-2}$ )  
PAR = ความเข้มแสง (Photosynthetically active radiation,  $\text{PAR}, \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )  
Tair = อุณหภูมิอากาศ (Air temperature,  $^{\circ}\text{C}$ )  
Rain = ปริมาณน้ำฝน (mm)  
RH = ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity, %)  
VPD = ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (Vapor pressure deficit)  
r = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  
P = ความน่าจะเป็น

**ตารางที่ 5-3** แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยของน้ำ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา และการใช้น้ำของยางพารา กับปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมต่างๆ ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ.ฉะเชิงเทรา

| ฤดูปลูกปี | ข้อมูลสมมูลน้ำ |   | Rn             | PAR             | Tair     | Rain     | RH       | VPD      |
|-----------|----------------|---|----------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| 2556      | ETR            | r | 0.59639        | <b>0.61301</b>  | 0.35526  | -0.04744 | -0.05409 | -0.07555 |
|           |                | P | <.0001         | <.0001          | <.0001   | <.0001   | <.0001   | <.0001   |
|           | Kc             | r | <b>-0.4214</b> | -0.40295        | -0.18537 | -0.05888 | 0.03118  | -0.0583  |
|           |                | P | <.0001         | <.0001          | <.0001   | <.0001   | 0.0063   | <.0001   |
|           | CWU            | r | 0.59334        | <b>0.61861</b>  | 0.38343  | -0.08419 | -0.09106 | -0.10474 |
|           |                | P | <.0001         | <.0001          | <.0001   | <.0001   | <.0001   | <.0001   |
| 2557      | ETR            | r | -0.01532       | <b>0.77881</b>  | 0.7535   | 0.44194  | -0.14885 | -0.12519 |
|           |                | P | 0.299          | <.0001          | <.0001   | <.0001   | <.0001   | <.0001   |
|           | Kc             | r | -0.03781       | <b>-0.35051</b> | -0.29734 | -0.02946 | -0.09521 | -0.06262 |
|           |                | P | 0.0103         | <.0001          | <.0001   | 0.0458   | <.0001   | <.0001   |
|           | CWU            | r | -0.09539       | <b>0.77837</b>  | 0.76054  | 0.49101  | -0.20054 | -0.18842 |
|           |                | P | <.0001         | <.0001          | <.0001   | <.0001   | <.0001   | <.0001   |

**ตารางที่ 5-4** แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยของน้ำ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา และการใช้น้ำของยางพารา กับปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมต่างๆ ณ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ

| ฤดูปลูกปี | ข้อมูลสมมูลน้ำ |   | Rn       | PAR             | Tair           | Rain     | RH           | VPD      |
|-----------|----------------|---|----------|-----------------|----------------|----------|--------------|----------|
| 2556      | ETR            | r | -0.07461 | <b>0.61599</b>  | 0.60269        | 0.42166  | -0.1327      | -0.16017 |
|           |                | P | 0.0106   | <.0001          | <.0001         | <.0001   | <.0001       | <.0001   |
|           | Kc             | r | -0.06894 | <b>-0.51914</b> | -0.49272       | -0.08475 | -0.09467     | 0.28178  |
|           |                | P | 0.0182   | <.0001          | <.0001         | 0.0037   | 0.0012       | <.0001   |
|           | CWU            | r | -0.21925 | 0.61813         | <b>0.63085</b> | 0.51511  | -0.29221     | -0.07311 |
|           |                | P | <.0001   | <.0001          | <.0001         | <.0001   | <.0001       | 0.0122   |
| 2557      | ETR            | r | 0.42243  | <b>0.65831</b>  | 0.50375        | -0.28882 | 0.47574      | -0.58547 |
|           |                | P | <.0001   | <.0001          | <.0001         | <.0001   | <.0001       | <.0001   |
|           | Kc             | r | -0.02924 | -0.01492        | -0.01801       | -0.22042 | <b>0.328</b> | -0.2778  |
|           |                | P | 0.0277   | 0.2614          | 0.1754         | <.0001   | <.0001       | <.0001   |
|           | CWU            | r | 0.42993  | <b>0.67313</b>  | 0.50621        | -0.3168  | 0.51037      | -0.62446 |
|           |                | P | <.0001   | <.0001          | <.0001         | <.0001   | <.0001       | <.0001   |

หมายเหตุ คำย่อ ETR = การคายระเหยของน้ำ (Evapotranspiration, mm)  
Kc = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Crop Coefficient, Kc)  
CWU = การใช้น้ำของยางพารา (Crop Water Use, m<sup>3</sup> ra<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup>)  
Rn = ปริมาณรังสีสุทธิ (Net radiation, Rn, MW.m<sup>-2</sup>)  
PAR = ความเข้มแสง (Photosynthetically active radiation, PAR,  $\mu$ mol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)  
Tair = อุณหภูมิอากาศ (Air temperature, °C)  
Rain = ปริมาณน้ำฝน (mm)  
RH = ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity, %)  
VPD = ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (Vapor pressure deficit)  
r = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  
P = ความน่าจะเป็น

## บทที่ 6

### สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 6.1 พื้นที่ศึกษา

การดำเนินงานวิจัยในปีที่ 2 เริ่มต้นด้วยการบำรุงรักษาและสอบเทียบความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้การเก็บข้อมูลสมดุลคาร์บอนและน้ำในพื้นที่ปลูกยาง 2 Site ณ จังหวัดฉะเชิงเทรา และบึงกาฬ

การดำเนินงานวิจัย ณ ศูนย์วิจัยยางพารา จังหวัดฉะเชิงเทรา สามารถดำเนินการเก็บข้อมูล สมดุลคาร์บอนและน้ำครบรอบ 1 ปี ในปี 2556 แต่มีเครื่องมือบางชิ้นที่ได้รับความเสียหายต้องดำเนินการซ่อมและสอบเทียบใหม่ ทำให้ข้อมูลขาดหายไปในช่วงเดือนมกราคม 2557

การดำเนินงานวิจัย ณ แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ สามารถดำเนินการเก็บข้อมูลได้เพิ่มมากขึ้น แต่ข้อมูลยังได้ไม่ครบตามฤดูปลูกของยางพารา เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้สำหรับการบันทึกข้อมูลเสียหาย และต้องส่งซ่อม

ตารางที่ 6-1 สรุปข้อมูลของพื้นที่ศึกษา

| Site                                                               | ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา                                                                             | แปลงเกษตรกร        |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| ภาค                                                                | ตะวันออก                                                                                            | ตะวันออกเฉียงเหนือ |
| สถานที่                                                            | อ. สนามชัยเขต จ. ฉะเชิงเทรา                                                                         | อ.ปากคาด จ.บึงกาฬ  |
| พื้นที่ (ไร่)                                                      | 50 ไร่                                                                                              | 100 ไร่            |
| ละติจูด                                                            | 13°34'21.97"N                                                                                       | 18°13'22.77"N      |
| ลองจิจูด                                                           | 101°28'5.53"E                                                                                       | 103°18'59.46"E     |
| ความสูงจากระดับน้ำทะเล (m.)                                        | 69 m.                                                                                               | 200 m.             |
| การให้น้ำ                                                          | อาศัยน้ำฝน                                                                                          | อาศัยน้ำฝน         |
| ชุดดิน                                                             | ชุดดินกบินทร์บุรี                                                                                   | ชุดดินโพธิ์สัຍ     |
| พันธุ์ยาง                                                          | RRIM 600                                                                                            | RRIM 600           |
| ระยะปลูก                                                           | 2.5 x 7 เมตร                                                                                        | 3 x 7 เมตร         |
| อายุต้น                                                            | 19 ปี (ปี 2556)                                                                                     | 4 ปี (ปี 2556)     |
| ระยะเวลาที่เปิดกรีด(ปี)                                            | 10 ปี                                                                                               | ยังไม่เปิดกรีด     |
| ปีที่สร้างหอคาย/ความสูง                                            | 2549 / 25 m.                                                                                        | 2555 / 15 m.       |
| ติดตั้งชุดอุปกรณ์ Eddy Covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดจุลภูมิอากาศ | 2549<br>ซ่อมแซมแก้ไขเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมที่เสียหาย และสามารถดำเนินการวัดและบันทึกข้อมูลได้ | 2555               |

#### 6.2 การศึกษาสมดุลคาร์บอน เพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา

การศึกษасสมดุลคาร์บอนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) การศึกษาสมดุลคาร์บอนในพื้นที่ปลูกยางพารา เป็นการวัดสมดุลคาร์บอนด้วยเทคนิค Eddy Covariance และ (2) การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมดุลคาร์บอนของการเกษตรกรรม ด้วยวิธี LCA ของพื้นที่ปลูกยางทางภาคตะวันออก

### การศึกษาสมดุลคาร์บอนในพื้นที่ปลูกยางพารา

พื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา มีปริมาณคาร์บอนปลดปล่อยจากพื้นที่ปลูกยางพารา มีค่าเท่ากับ  $-3,694.84 \text{ kg C.rai}^{-1}$  ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าในระยะเวลาที่ดำเนินงานวิจัย พื้นที่ปลูกยางพารา ดังกล่าวมีการเก็บกักคาร์บอนไว้  $3,694.84 \text{ kg C.rai}^{-1}$  (ตารางที่ 6-2) จากข้อมูลสมดุลคาร์บอนในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบ 1 ปี (1 ฤดูปลูก) ถูกนำมาคำนวณหา Carbon equivalent ของพื้นที่ปลูกยางพาราที่มีอายุ 19 ปี ณ ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา แสดงให้เห็นว่ามีคาร์บอนที่ถูกเก็บกักไว้ในพื้นที่ปลูกยางสูงถึง  $1,223.21 \text{ kg C.rai}^{-1}$  คิดเป็นร้อยละ 92.87 สำหรับปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมา เนื่องมาจากการเขตรกรมนั้น คิดเป็นร้อยละ 0.68 และปริมาณคาร์บอนในน้ำยาง ซึ่งมีการเก็บผลผลิต เฉพาะที่ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา มีปริมาณ Carbon equivalent สูงถึงร้อยละ 7.81 ซึ่งอาจถูกใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์นั้นๆ มีอายุใช้งานนาน เกิน 10 ปี

พื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ มีปริมาณคาร์บอนปลดปล่อยจากพื้นที่ปลูกยางพารา มีค่าเท่ากับ  $-1,214.08 \text{ kg C.rai}^{-1}$  ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าในระยะเวลาที่ดำเนินงานวิจัย พื้นที่ปลูกยางพาราดังกล่าวมีการเก็บกักคาร์บอนไว้  $1,214.08 \text{ kg C.rai}^{-1}$  (ตารางที่ 6-2)

### ตารางที่ 6-2 สรุปข้อมูลสมดุลคาร์บอนของพื้นที่ปลูกยางพารา

| Site                                                    | ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา                           | แปลงเกษตรกร                                        |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| ระยะเวลาในการบันทึกข้อมูล                               | 1 มิ.ย. 55 – 31 ธ.ค. 56<br>1 ก.พ. 57 – 31 ส.ค. 57 | 18 ต.ค. 55 – 30 เม.ย. 56<br>1 พ.ย. 56 – 31 ส.ค. 57 |
| NEE (Net Ecosystem Exchange, $\text{kg C rai}^{-1}$ )   | -3,694.84                                         | -1,214.08                                          |
| GPP (Gross Primary Production, $\text{kg C rai}^{-1}$ ) | 8,781.15                                          | 2,113.22                                           |
| $R_e$ (Ecosystem Respiration, $\text{kg C rai}^{-1}$ )  | 5,886.34                                          | 899.14                                             |
| NEP (Net Ecosystem Production, $\text{kg C rai}^{-1}$ ) | -3,694.84                                         | -1,214.08                                          |
| สถานะของระบบนิเวศยางพารา                                | Carbon sink                                       | Carbon sink                                        |

หมายเหตุ Carbon sink คือ ระบบนิเวศยางพาราทำหน้าที่เป็นทั้งแหล่งกักเก็บคาร์บอน ( $\text{NEP} < 0$ )

### การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลคาร์บอนของการเขตรกรมนของพื้นที่ปลูกยางทางภาคตะวันออก

ศึกษาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเขตรกรมนในพื้นที่ภาคตะวันออก รวม 2 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี ด้วยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเขตรกรมน อาทิเช่น ขนาดของสวนยางพารา ลักษณะการถือครองที่ดิน และลักษณะทางสังคม เป็นต้น

จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์น้ำยางสด 1 กิโลกรัม ในพื้นที่สวนยางพาราทั้งสวนขนาดเล็ก สวนขนาดกลาง และสวนขนาดใหญ่ ของจังหวัดระยองและจังหวัดจันทบุรี พบว่า ปริมาณการใช้ปุ๋ยต่อหน่วยเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ โดยค่าเฉลี่ยการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสฟอรัส และปุ๋ยโพแทสเซียมของแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะพบว่าพื้นที่ที่มีการใช้ปุ๋ยมากจะมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ไปในแนวโน้มที่สูงเช่นเดียวกัน โดยขนาดของสวนยางพาราไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพาราแต่อย่างใด

อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อคาร์บอนฟุตพริ้นต์ คือ ปริมาณผลผลิตน้ำยางพาราสดต่อไร่ หากเกษตรกรสามารถเพิ่มผลผลิตได้มากขึ้น โดยที่ยังใช้ปุ๋ยในปริมาณเท่าเดิม หรือใช้ปุ๋ยลดลงแต่ยังคงผลผลิตจะสามารถลดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ได้ เนื่องจากในปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ปุ๋ยมากเกินไปจนความจำเป็นและมากกว่าปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการตามข้อแนะนำของสถาบันวิจัยยาง

### 6.3 การศึกษาสมมูลน้ำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา

การศึกษสมมูลน้ำเป็นการศึกษาสมมูลน้ำในพื้นที่ปลูกยางพารา ซึ่งวัดได้จริงด้วยเทคนิค Eddy Covariance พื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา มีค่าการคายระเหยน้ำที่วัดได้จริง (ETR) และการใช้น้ำของพื้นที่ปลูกยาง (CWU) เท่ากับ 2,178.51 mm และ 3,485.60 m<sup>3</sup>.rai<sup>-1</sup> ตามลำดับ (ตารางที่ 6-3) และจากข้อมูลการใช้น้ำของยางพาราของ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ในปี 2556 ซึ่งมีข้อมูลครบทั้งปีนั้น มีค่าการใช้น้ำสะสมในรอบ 1 ปี เท่ากับ 1,492.53 m<sup>3</sup>.rai<sup>-1</sup> สำหรับผลผลิตน้ำยางของพื้นที่ Site ที่ 1 ในปี 2556 มีค่าเท่ากับ 159.93 Kg rai<sup>-1</sup> ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของพื้นที่ปลูกยางพารา Site ที่ 1 (green water) จึงมีค่าเท่ากับ 9.33 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O.Kg yield<sup>-1</sup>

พื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ ฉะเชิงเทรา มีค่าการคายระเหยน้ำที่วัดได้จริง (ETR) และการใช้น้ำของพื้นที่ปลูกยาง (CWU) เท่ากับ 865.33 mm และ 1,384.53 m<sup>3</sup>.rai<sup>-1</sup> ตามลำดับ (ตารางที่ 6-3) สำหรับผลผลิตน้ำยางของพื้นที่ Site ที่ 2 เนื่องจากต้นยางพารามีอายุ 5 ปี ยังไม่มีการเปิดกรีดและคาดว่าจะเปิดกรีดได้เมื่ออายุ 6 ปี จึงยังสามารถคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของพื้นที่ปลูกยางพาราในปีนี้ได้ เนื่องจากค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์นั้นคำนวณโดยการนำค่าการใช้น้ำของพื้นที่ปลูกยางหารด้วยผลผลิตน้ำยาง

**ตารางที่ 6-3** สรุปข้อมูลสมมูลน้ำของพื้นที่ปลูกยางพารา

| Site                                                            | ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา                           | แปลงเกษตรกร                                        |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| ระยะเวลาในการบันทึกข้อมูล                                       | 1 มิ.ย. 55 – 31 ธ.ค. 56<br>1 ก.พ. 57 – 31 ส.ค. 57 | 18 ต.ค. 55 – 30 เม.ย. 56<br>1 พ.ย. 56 – 31 ส.ค. 57 |
| ETR (ค่าการคายระเหยน้ำ, mm)                                     | 2,178.51                                          | 865.33                                             |
| CWU (ค่าการใช้น้ำของยางพารา, m <sup>3</sup> rai <sup>-1</sup> ) | 3,485.60                                          | 1,384.51                                           |

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Kc) ของยางพาราตลอดฤดูปลูก ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา เปรียบเทียบค่า Kc ปี 2556 (1 ม.ค. – 31 ธ.ค. 56) และ ปี 2557 (31 ม.ค. – 31 ส.ค. 57) พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า Kc ในแต่ละช่วงเวลาใกล้เคียงกัน แม้ว่าค่า Kc ในปี 2557 มีค่าสูงกว่าค่า Kc ในปี 2556 เล็กน้อย การแบ่งการเจริญเติบโตในแต่ละช่วง ซึ่งได้แก่ Initial stage, Development stage, Mid-season stage และ Late season stage พบว่า

- initial stage ช่วงฤดูแล้งที่ต้นยางพาราใบร่วงหมดและยังไม่มีแตกใบใหม่ ใช้เวลา 29 วัน : 1 - 29 ม.ค.
- Development stage ช่วงที่ยางพาราเริ่มแตกใบและเจริญเติบโตจนขยายขนาดเต็มที่ ใช้เวลา 40 วัน : 30 ม.ค. – 9 มี.ค.
- Mid-season stage ช่วงที่ใบของต้นยางเจริญเติบโตเต็มที่ได้แล้ว ใช้เวลา 174 วัน : 10 มี.ค. – 30 ส.ค.

- Late-season stage ช่วงที่ใบยางเริ่มร่วงจนร่วงหมดทั้งต้น  
ใช้เวลา 123 วัน : 31 ส.ค. – 31 ธ.ค.

#### 6.4 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อสมดุลคาร์บอนและน้ำ

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (NEE) กับจุลภูมิอากาศ อันได้แก่ ปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) ความเข้มแสง (PAR) อุณหภูมิอากาศ (Tair) ปริมาณน้ำฝน (Rain) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และ ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (VPD, Vapor pressure deficit) พบว่า ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา ในฤดูปลูกปี 2556 พบว่า NEE มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ PAR และ Tair และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rn Rain และ RH สำหรับในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า NEE มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR และ Tair และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rain และ RH นอกจากนี้ พบว่า NEE มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์มากที่สุด สำหรับ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ ในฤดูปลูกปี 2556 และ 2557 พบว่า NEE มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair และ RH และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rain และ VPD นอกจากนี้ยังพบว่า NEE มีความสัมพันธ์กับ VPD มากที่สุด

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยของน้ำ (ETR) สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Kc) และการใช้น้ำของยางพารา (CWU) กับจุลภูมิอากาศ ณ Site ที่ 1 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา จ. ฉะเชิงเทรา ในฤดูปลูกปี 2556 พบว่า ค่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rain RH และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rn PAR และ Tair สำหรับในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า ค่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn RH และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ PAR Tair และ Rain นอกจากนี้ยังพบว่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์กับ PAR มากที่สุด สำหรับค่า Kc ในปี 2556 พบว่า มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair Rain และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ RH ขณะที่ในปี 2557 พบว่า สำหรับค่า Kc พบว่า มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair Rain RH และ VPD นอกจากนี้ยังพบว่า Kc มีความสัมพันธ์กับ Rn มากที่สุด

สำหรับ Site ที่ 2 แปลงเกษตรกร จ. บึงกาฬ ในฤดูปลูกปี 2556 พบว่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn RH และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ PAR Tair และ Rain และในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า ETR และ CWU มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rain และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ Rn PAR Tair และ RH สำหรับค่า Kc พบว่า ในฤดูปลูกปี 2556 ค่า Kc มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair Rain และ RH และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ VPD และในฤดูปลูกปี 2557 พบว่า Kc มีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับ Rn PAR Tair Rain และ VPD และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับ RH

## เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา ลุ่มเกี. 2550. การศึกษาต้นทุนด้านพลังงานในการสร้างชีวภาพและองค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำยาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. 2552. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน). 71 หน้า.
- จำลอง จิตต์หาญ, บรรเลง จันทรวาวาม, จุมพล ผัวผดุง, ธนัท แอ้วสกุลทอง และ ธาณินท์ หิมมะ. 2550. คู่มือการปลูก บำรุงรักษา และเก็บเกี่ยวผลผลิตยางพารา ฉบับปี 2550. องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้. 81 หน้า.
- พิศมัย จันทูมา, วารุณี บุญนำ, เอนก กุณณะสิริ, ดารุณี โกศัยเสวี, ศุภมิตร ลิ้มปิชัย, เฉลิมพงษ์ ขาวช่วง, รัตนติยา พวงแก้ว, นภาพรรณ เลชะวิพัฒน์, ศจีรัตน์ แรมลี, กฤษดา สังข์สิงห์, อารักษ์ จันทูมา, สุรเดช ปัจฉิมกุล และพวงนา รุ่งระวี. 2554. การประเมินการเจริญเติบโตของต้นยางในเขตปลูกยางใหม่. ว.ยางพารา 32 (2): 17-35.
- สถาบันวิจัยยาง. 2542. ข้อมูลทางวิชาการยางพารา. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 110 หน้า.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2557. TGO Guidebook ฉบับเดือนเมษายน 2557. แหล่งที่มา: [http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts\\_5941718e7a.pdf](http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_5941718e7a.pdf)
- Allen, R.G., L.S. Pereir, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO.
- Annamalainathan, K., P.R. Satheesh and Jame Jacob. 2011. Ecosystem flux measurements in tuber plantations. Nat. Rubber Research 24 (1): 28-370
- Aubinet M, Grelle A, Ibrom A, Rannik U, Moncrieff J et al 2000. Estimates of the annual net carbon and water exchange of European forests: the EUROFLUX methodology, Adv.Ecol.Res. 30: 113-75.
- Bhardwaj, A.K., T. Zenone, P. Jasrotia. G.P. Robertson, J. Chen and S.K. Hamilon. 2010. Water and energy footprints of bioenergy crop production on marginal lands. Global Change Biology – Bioenergy 3(3): 208-222.
- Bonal D, A. Bosc, S. Ponton, J.Y. Goret, B. Burban, P. Gross, J.M. Bonnefond, J. Elber, B. Longdoz, D. Epron, J.M. Guehl and A. Granier. 2008. Impact of severe dry season on net ecosystem exchange in the Neotropical rainforest of French Guiana Neotropical rainforest of French Guiana. Global Change Biology, 14, 1917-1933.
- Boone, R. D., K. J. Nadelhoffer, J. D. Canary, J. P. Kaye. 1998. Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. Nature 396: 570–572.
- Bowden, R. D., K. J. Nadelhoffer, R. D. Boone, J. M. Melillo and J. B. Garrison. 1993. Contributions of aboveground litter, belowground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. Canadian Journal of Forest Research 23: 1402–1407.

- Bowden, R.D., K.M. Newkirk and G.M. Rullo. 1998. Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory-controlled moisture and temperature conditions. *Soil Biol. Biochem.* 30: 1591-1597.
- Bush, S.E., D.E. Pataki, K.R. Hultine, A.G. West, J.S. Sperry, and J.R. Ehleringer. 2008. Wood anatomy constrains stomatal response to atmospheric vapor pressure deficit in irrigated urban trees. *Oecologia* 156: 13-20.
- Carswell F.E., A.L. Costa, M. Palheta, Y. Malhi, P. Meir, J. de P.R. Costa, M. de L. Ruivo. L. do S.M. Leal, J.M.N. Costa, R.J. Clement and J. Grace. 2002. Seasonality in CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O flux at an eastern Amazonian rain forest. *J. Geophys. Res.* 107, D20, art.
- Davidson, E.A., A. D. Richardson, K. E. Savage and D. Y. Hollinger. 2006. A distinct seasonal pattern of the ratio of soil respiration to total ecosystem respiration in a spruce-dominated forest. *E. Global Change Biology* 12: 230–239.
- Epron, D., C. Marsden, A. Thongo M'Bou, L. Saint-André, R. d'Annunzio and Y. Nouvellon. 2009. Soil carbon dynamics following afforestation of a tropical savannah with Eucalyptus in Congo. *Plant Soil*.
- Epron, D., J. NGAO and A. GRANIER. 2004. Interannual variation of soil respiration in a beech forest ecosystem over a six-year study. *Ann. For. Sci.* 61: 499–505.
- Epron, D., L. Faarque, E. Lucot and P. M. Baadot. 1999. Soil CO<sub>2</sub> efflux in a beech forest: dependence on soil temperature and soil water content. *Ann.For.Sci.* 56: 221-226.
- Epron, D., L. Faarque, E. Lucot and P. M. Baadot. 1999. Soil CO<sub>2</sub> efflux in a beech forest: the contribution of root respiration. *Ann.For.Sci.* 56: 289-295.
- Epron, D., V. Le Dantec, E. Dufréne and A. Granier. 2001. Seasonal dynamics of soil carbon dioxide efflux and simulated rhizosphere respiration in a beech forest. *Tree Physiology* 21: 145–152.
- Epron, D., Y. Nouvellon, O. Roupsard, W. Mouvondy, A. Mabialab, L. Saint-André, R. Joffred, C. Jourdan, J.M. Bonnefonde, P. Berbigiere and O. Hamelc. 2004. Spatial and temporal variations of soil respiration in a Eucalyptus plantation in Congo. *Forest Ecology and Management* 202: 149-160.
- Epron, D., Y. Nouvellon, P.S. Deleporte, G. Kazotti, A. Thongo M'Bou, W. Mouvondy, L. Saint-André, O. Roupsard, C. Jourdan, and O. Hamel. 2006. Soil carbon balance in a clonal Eucalyptus plantation in Congo: effects of logging on carbon inputs and soil CO<sub>2</sub> efflux. *Global Change Biology* 12: 1021–1031.
- Eriksson, H., L. Eklundh, K. Hall and A. Lindroth. 2005. Estimating LAI in deciduous forest stands. *Agricultural and Forest Meteorology*. 129, 27–37.

- Ewel, K. C., W.P. Cropper and H.L. Gholz. 1987. Soil CO<sub>2</sub> evolution in Florida slash pine plantations. II. Importance of root respiration. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 330–333.
- Fan, S.M., S.C. Wofsy, P.S. Bakwin, D.J. Jacob and D.R. Fitzjarrald. 1990. Atmosphere-biosphere exchange of CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> in the Central Amazon forest. *J. of Geophys. Res.* 95: 16851-16864.
- Ford, A.C., E.M. Quigley, B.E. Lacy, A.J. Lembo, Y.A. Saito and L.R. Schiller, E.E. Soffer, B.M. Spiegel and P. Moayyedi. 2014. Efficacy of prebiotics, probiotics, and synbiotics in irritable bowel syndrome and chronic idiopathic constipation: systematic review and meta-analysis. *Am. J. Gastroenterol.* 109(10): 1547-61.
- Granier, A. 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure des flux de sève dans le tronc des arbres. *Ann. For. Sci.* 42: 193-200.
- Granier, A. 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurement. *Tree Physiol.* 3: 309-320.
- Goulden, M.L., J.W. Munger, S.M. Fan, B.C. Daube, and S.C. Wofsy. 1996. Measurements of carbon sequestration by long-term eddy covariance: method and a critical evaluation of accuracy. *Global Change Biol.* 2: 169-182.
- Hatton, T.J., S.J. Moore and P.H. Reece. 1995. Estimating stand transpiration in a Eucalyptus populnea woodland with the heat pulse method: measurement errors and sampling strategies. *Tree Physiology* 15: 219-227.
- Hillier, J., C. Hawes, G. Squire, A. Hilton, S. Wale and P. Smith. 2009. The carbon footprints of food crop production. *Inter. J. of Agri. Sustain.* 7 (2): 107–118.
- Hoekstra, A. Y., A.K. Chapagain, M.M. Aldaya and M.M. Mekonnen. 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Earthscan, London, UK
- Isarangkool Na Ayutthaya, S., F.C. Do, K. Pannengpetch, J. Junjittakarn, J.L. Maeght and A. Rocheteau and H. Cochard. 2010. Transient thermal dissipation method of xylem sap flow measurement: multi-species calibration and field evaluation. *Tree Physiol.* 30: 139-148.
- Isarangkool Na Ayutthaya, S., F.C. Do, K. Pannangpetch, J. Junjittakarn, J.-L. Maeght, A. Rocheteau, and H. Cochard. 2011. Water loss regulation in mature Hevea brasiliensis: effects of intermittent drought in the rainy season and hydraulic regulation. *Tree Physiol.* 31: 751-762.
- Jawjit, W., C. Kroeze, and S. Jawjit. 2010. Quantification of Greenhouse Gas Emissions from Primary Rubber Industries in Thailand. 17<sup>th</sup> Climate Change and Green Growth: Innovating for sustainability. Seoul, Korea.
- King, J. S., P. Hanson, E. Bernhardt, P. DeAngelis, R.J. Norby and K.S. Pregitzer. 2004. A multiyear synthesis of soil respiration responses to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> from four forest FACE experiments. *Global Change Biology* 10: 1027–1042.

- Kucera, C. L. and R. Kirham. 1971. Soil respiration studies in tallgrass prairie in Missouri. *Ecology* 52: 912–915.
- Kutscha, W.L., M. Aubinet, N. Buchmann, P. Smith, B. Osborne, W. Eugster, M. Wattenbach, M. Schrumpf, E.D. Schulze, E. Tomelleri, E. Ceschi, C. Bernhofer, P. Beziat, A. Carra-rai, P. Di Tommasi, T. Grunwald, M. Jones, V. Magliulo, O. Marloie, C. Moureaux, A. Olioso, M.J. Sanzi, M. Saunders, H. Sogaard, W. Ziegler. 2010. The net biome production of full crop rotations in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139: 336–345.
- Law, B.E., S. Van Tuyl, A. Cescatti and D. D. Baldocchi. 2001. Estimation of leaf area index in open-canopy ponderosa pine forests at different successional stages and management regimes in Oregon. *Agricultural and Forest Meteorology*. 108, 1–14.
- Loescher H.W., S.F. Oberbauer, H.L. Gholz and D.B. Clark. 2003. Environmental controls on net ecosystem-level carbon exchange and productivity in a Central American tropical wet forest. *Global Change Biology* (9): 396–412.
- Luo, Y. and X. Zhou. 2006. Soil respiration and the environment. Elsevier, Inc., London, UK.
- Luyssaert, S., M. Reichstein, E.-D. Schulze, I. A. Janssens, B. E. Law, D. Papale, D. Dragoni, M. L. Goulden, A. Granier, W. L. Kutsch, S. Linder, G. Matteucci, E. Moors, J. W. Munger, K. Pilegaard, M. Saunders and E. M. Falge. 2009. Toward a consistency cross-check of eddy covariance flux-based and biometric estimates of ecosystem carbon balance. *Global Biogeochem. Cycles*, 23, doi:10.1029/2008GB003377.
- Malhi, Y., D.D. Baldocchi and P.G. Jarvis. 1999. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant Cell and Environment* 22: 715–740.
- Mekonnen, M.M. and A. Y. Hoekstra. 2010. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. UNESCO-IHE Institute for Water Education, The Netherlands. 35 pages. Source: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report47-WaterFootprintCrops-Vol1.pdf>.
- Mekonnen, M.M. and A. Y. Hoekstra. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop product. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15:1577–1600.
- Michaelis, L. and M.L. Menten. 1913. Die Kinetik der Invertin Wirkung. *Biochemische Zeitschrift* 49, 333
- Ngao, J., B. Longdoz, A. Granier and D. Epron. 2007. Estimation of autotrophic and heterotrophic components of soil respiration by trenching is sensitive to corrections for root decomposition and changes in soil water content. *Plant Soil* 301:99–110.
- Ngao, J., D. Epron, C. Brechet and A. Grainier. 2005. Estimating the contribution of leaf litter decomposition to soil CO<sub>2</sub> efflux in a beech forest using <sup>13</sup>C-depleted litter. *Global Change Biology* 11: 1768–1776.

- Pingthong, N., M. Y. Leclerc, J. P. Beasley, D. Durden, G. Zhang, C. Senthong, and D. Rowland. Hysteresis response of daytime net ecosystem exchange during drought. *Biogeosciences* 7: 1159–1170.
- Pré Consultants. 2015. SimaPro Version 7.3.2. Source: <https://www.pre-sustainability.com/simapro>.
- Rachhpal, S. J. and T. A. Black. 2006. Estimating heterotrophic and autotrophic soil respiration using small-area trenched plot technique: Theory and practice. *Agricultural and Forest Meteorology* 140: 193–202.
- Raymond, J., O. Zhaxybayeva, S. Gerdes, J.P. Gogarten and R.E. Blankenship. 2002. Whole genome analysis of photosynthetic prokaryotes. *Science* 298: 1616–1620.
- Rustad, L. E., J.L. Campbell, G.M. Marion, R.J. Norby, M.J. Mitchell, A.E. Hartley, J.H.C. Cornelissen and J. Gurevitch. 2001. A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. *Oecologia* 126: 543–562.
- Saleska, S.R., S.D. Miller, D.M. Matross, M.L. Goulden, S.C. Wofsy, H.R. da Rocha, P.B.R. de Camargo, P. Crill, B.C. Daube, H.C. de Freitas, L. Huttyra, M. Keller, V. Kirchhoff, M. Menton, J.W. Munger, E.H. Pyle, A.H. Rice. 2003. Carbon in Amazon forests: Unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses. *Science* 302: 1554–1557.
- Smith, D.M. and S.J. Allen. 1996. Measurement of sap flow in plant stems. *J. Exp. Bot.* 47: 1833–1844.
- Wilson, K.B., P.J. Hanson, P.J. Mulholland, D.D. Baldocchi, and S.D. Wullschlegel. 2001. A comparison of methods for determining forest evapotranspiration and its components: sap-flow, soil water budget, eddy covariance and catchment water balance. *Agric For. Meteorol.* 106: 153–168.
- Wright, L., S. Kemp and I Williams. 2011. Carbon footprinting: towards a universally accepted definition. *Carbon Manage.* 2 (1): 61–72.
- Wood, Tana E., Motteo Detto and Whendee L. Silver. 2013. Sensitivity of Soil respiration to variability in soil moisture and temperature in a humid tropical forest. *Plos One* 8 (12): 1–7.
- Wright, L., S. Kemp and I Williams. 2011. Carbon footprinting: towards a universally accepted definition. *Carbon Manage.* 2 (1): 61–72.
- Yan, J., Y. Zhang, G. Yu, L. Zhang, K. Li, Z. Tan and L. Sha. 2013. Seasonal and inter-annual variations in net ecosystem exchange of two old-growth forests in southern China. *Agri. Forest Met.* 182: 257–265.
- Zak DR, W.E. Holmes, N.W. MacDonald and K.S. Pregitzer. 1999. Soil temperature, matrix potential and the kinetics of microbial respiration and nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 575–584.

- Zanotelli, D., L. Montagnani, G. Manca and M. Tagliavini. 2013. Net primary productivity, allocation pattern and carbon use efficiency in an apple orchard assessed by integrating eddy covariance, biometric and continuous soil chamber measurements. *Biogeosciences* 10: 3089–3108.
- Zhang, P., S. Chen, W. Zhang, H. Miao, J. Chen, X. Han and G. Lin. 2012. Biophysical regulations of NEE light response in a steppe and a cropland in Inner Mongolia. *Plant Eco.* 5 (2): 238–248.

### ภาคผนวก ก

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผน และกิจกรรม  
ที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ

**ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผน และ  
กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ**

**ตารางผนวกที่ 1**    แผนของโครงการวิจัย

| วัตถุประสงค์                                                                                                                        | กิจกรรมที่วางแผน                                                                                        | กิจกรรมที่ดำเนินการมา                                                                                                                                                                                      | ผลที่ได้รับตลอดโครงการ                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. จัดซื้อครุภัณฑ์ในการดำเนินงานวิจัย                                                                                               | 1. จัดซื้อครุภัณฑ์ในการดำเนินงานวิจัย                                                                   | 1. จัดซื้อครุภัณฑ์ในการดำเนินงานวิจัยแล้วเสร็จครบทุกชิ้น                                                                                                                                                   | 1. จัดซื้อครุภัณฑ์บางชิ้นล่าช้า ทำให้การดำเนินการเก็บข้อมูลวิจัยล่าช้ากว่าที่วางแผนไว้                                                                          |
| 2. ทราบความก้าวหน้าและปัญหาของการดำเนินงานของโครงการย่อยอย่างต่อเนื่อง และสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้โดยไม่กระทบต่อแผนการดำเนินงาน | 2. ติดตามความก้าวหน้าของการดำเนินงานของโครงการย่อยทุกเดือน และประชุมสรุปผลการดำเนินงานวิจัย ทุก 2 เดือน | 2. ติดตามความก้าวหน้าของการดำเนินงานของโครงการย่อยทุกเดือน และประชุมสรุปผลการดำเนินงานวิจัย ทุก 2 เดือน<br>กรณีที่มีปัญหาเกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัย ทีมวิจัยมีการหารือบ่อยครั้งขึ้น และมากกว่าที่วางแผนไว้ | 2. การติดตามความก้าวหน้าของการดำเนินงานและการประชุมหารืออย่างต่อเนื่องทำให้ทีมวิจัยแก้ปัญหาได้ทันเวลา แม้ว่าในบางกรณีจะไม่สามารถแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นได้เลยก็ตาม |
| 3. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย และจัดทำรายงานผลงานวิจัย                                                                                 | 3. ประชุมสรุปผลการดำเนินงานวิจัย และจัดทำรายงานผลการวิจัย                                               | 3. ประชุมสรุปผลการดำเนินงานวิจัย และจัดทำรายงานผลการวิจัย                                                                                                                                                  | 3. สามารถจัดทำรายงานผลการวิจัยได้แล้วเสร็จตามระยะเวลาที่กำหนด                                                                                                   |

**ตารางผนวกที่ 2** แผนของโครงการย่อยที่ 1 การศึกษาสมดุลคาร์บอน เพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา

| วัตถุประสงค์                                                       | กิจกรรมที่วางแผน                                                                                                                                                                           | กิจกรรมที่ดำเนินการมา                                                                                                                                                                                     | ผลที่ได้รับตลอดโครงการ                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. เพื่อประเมินค่า NPP                                             | 1. Eddy covariance<br>- ซ่อมแซมและตรวจสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ Eddy covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศของ Site ที่ 1 และ 2<br>- เก็บข้อมูลอัตราการเคลื่อนของคาร์บอนของสวนยางพารา | 1. Eddy covariance<br>- ซ่อมแซมและตรวจสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ Eddy covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศของ Site ที่ 1 และ 2<br>- เก็บข้อมูลอัตราการเคลื่อนของคาร์บอนของสวนยางพารา แต่ไม่ครบ 1 ปี | 1. การดำเนินการส่วนใหญ่เป็นไปตามแผนที่กำหนด แต่การเก็บข้อมูลวิจัยไม่สามารถดำเนินการให้ครบ 1 ปี หรือ 1 ฤดูกาลได้ ทำให้ยังไม่สามารถคำนวณค่า NPP ได้ เนื่องจากตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณไม่สามารถประเมินได้จากข้อมูลที่มีอยู่ (ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่ครบ 1 ปี) |
| 2. เพื่อประเมินค่า $R_a$ และ $R_h$                                 | 2. Soil respiration<br>- เก็บข้อมูล Soil CO <sub>2</sub> efflux ของสวนยางพารา<br>- เก็บตัวอย่างราก เพื่อนำมาคำนวณอัตราการย่อยสลายของราก                                                    | 2. Soil respiration<br>- เก็บข้อมูล Soil CO <sub>2</sub> efflux ของสวนยางพารา ครบ 1 ปี<br>- ได้ข้อมูลที่ใช้ในการ Partition ของ Soil respiration                                                           | 2. ดำเนินการเก็บข้อมูลวิจัยได้ครบ 1 ปี หรือ 1 ฤดูกาล แต่ยังไม่สามารถคำนวณค่า $R_a$ และ $R_h$ ได้ เนื่องจากยังเก็บตัวอย่างรากไม่ครบตามเวลาที่กำหนดไว้                                                                                                  |
| 3. ข้อมูลประกอบในการคำนวณและประเมินความแปรปรวนของคาร์บอนฟุตพริ้นต์ | 3. เก็บข้อมูลประกอบอื่น ๆ เช่น ข้อมูลด้าน Biometric และ Litter                                                                                                                             | 3. ดำเนินการเก็บข้อมูล Girth ทุก 6 เดือน และ Litter trap ทุก 2 สัปดาห์                                                                                                                                    | 3. ข้อมูลที่ได้จะถูกใช้ในการประเมินการเจริญเติบโตของต้นยางพารา และดัชนีพื้นที่ใบของสวนยางพารา                                                                                                                                                         |
| 4. ข้อมูลประกอบในการคำนวณและประเมินความแปรปรวนของคาร์บอน           | 4. การคำนวณค่า GPP และ NEP                                                                                                                                                                 | 4. ทีมวิจัยสามารถคำนวณค่า GPP และ NEP ได้จากข้อมูลที่วัดได้จริง                                                                                                                                           | 4. ทีมวิจัยสามารถคำนวณค่า GPP และ NEP ได้ครบ 1 ปี เฉพาะพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1                                                                                                                                                                        |

| วัตถุประสงค์                                            | กิจกรรมที่วางแผน                                                                   | กิจกรรมที่ดำเนินการมา                                                                                                                                                   | ผลที่ได้รับตลอดโครงการ                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5. ข้อมูลประกอบในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา | 5. คาร์บอนฟุตพริ้นต์จากการเกษตรกรรม ปุ๋ย ยา และสารเคมีที่ใช้ และของเสียที่เกิดขึ้น | 5. สามารถประเมินปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมดุลคาร์บอนจากการเกษตรกรรมของพื้นที่ศึกษาด้วยวิธี LCA ในพื้นที่ปลูกยางภาคตะวันออก จำนวน 2 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดระยอง และจันทบุรี | 5. ทราบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมดุลคาร์บอนจากการเกษตรกรรมของพื้นที่ศึกษาด้วยวิธี LCA ในพื้นที่ปลูกยางภาคตะวันออก จำนวน 2 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดระยอง และจันทบุรี                                                                                                                                                |
| 6. คาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา                       | 6. การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์                                                       | 6. ข้อมูลค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่วัดได้จากพื้นที่ปลูกยางพาราครบ 1 ปี เฉพาะพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1                                                                        | 6. คาร์บอนฟุตพริ้นต์ของพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 ประเมินจากข้อมูลสมดุลคาร์บอนที่วัดได้จากพื้นที่ปลูกยางพาราในปี 2556 ส่วนพื้นที่ศึกษา Site ที่ 2 นั้น ข้อมูลสมดุลคาร์บอนที่วัดได้ยังไม่ครบ 1 ปี เนื่องจากความเสียหายของเครื่องมือ และเป็นพื้นที่ที่ยังไม่เปิดกรีด ทำให้ยังไม่สามารถคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ได้ |

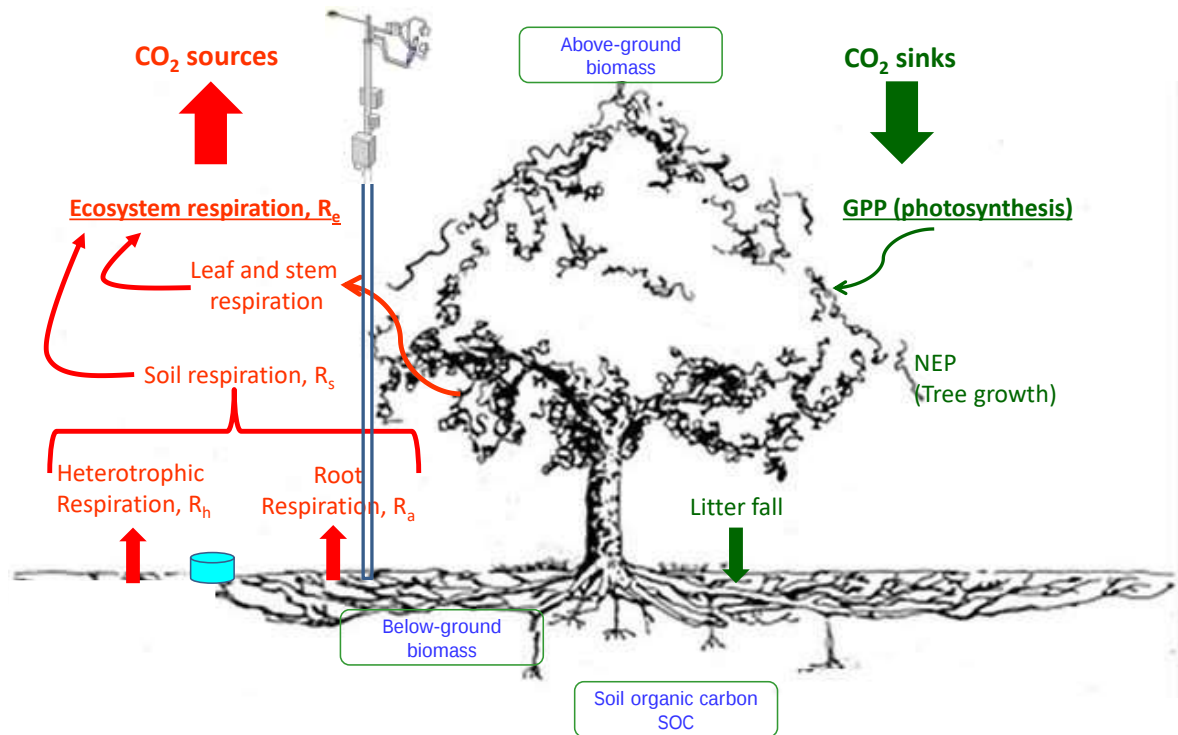
**ตารางผนวกที่ 3** แผนของโครงการย่อยที่ 2 การศึกษาสมมูลน้ำเพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา

| วัตถุประสงค์                                                                 | กิจกรรมที่วางแผน                                                                                                                                                                       | กิจกรรมที่ดำเนินการมา                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ผลที่ได้รับตลอดโครงการ                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. ค่าการคายระเหยน้ำของสวนยางพารา ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ | 1. Eddy covariance<br>- ซ่อมแซมและตรวจสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ Eddy covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศของ Site ที่ 1 และ 2<br>- เก็บข้อมูลอัตราการเคลื่อนของน้ำของสวนยางพารา | 1. Eddy covariance<br>- ซ่อมแซมและตรวจสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ Eddy covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศของ Site ที่ 1 และ 2<br>- เก็บข้อมูลอัตราการเคลื่อนของน้ำของสวนยางพารา                                                                                                                                                       | 1. ค่าการคายระเหยน้ำของสวนยางพารา ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ ครบ 1 ปี หรือ 1 ฤดูกาล ได้เฉพาะพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1                                                                                                                                                                |
| 2. ข้อมูลประกอบในการคำนวณและประเมินความแปรปรวนของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์           | 2. เก็บข้อมูลประกอบอื่น ๆ เช่น ข้อมูลจาก sap flow และ soil water content ผลผลิต                                                                                                        | 2. การเก็บข้อมูลประกอบอื่นๆ<br>- Sap flow ที่ติดตั้ง เสื่อมสภาพ เนื่องจากอายุการใช้งาน ทำให้ต้องซื้อ Sensor มาติดตั้งใหม่ และมีข้อมูลบางส่วนที่ขาดหายไป<br>- Soil temperature profile และ Soil water content ติดตั้งไปพร้อมๆ กับการทำ Trench plot สำหรับการศึกษา Soil respiration<br>- ผลผลิตมีข้อมูลจริงจากพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 เท่านั้น | 2. การเก็บข้อมูลประกอบอื่นๆ<br>- การติดตั้ง Sap flow ทำให้ได้ค่าการคายน้ำของต้นยางพารา<br><br>- ข้อมูล Soil temperature profile และ Soil water content มี 5 ระดับจากผิวดิน แต่ไม่ครบ 1 ปีทั้ง 2 Site<br><br>- ผลผลิตมีข้อมูลจริงจากพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 เท่านั้น ส่วน Site ที่ 2 ยังไม่มีข้อมูล |
| 3. การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพาราอายุ                                | 3. การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์                                                                                                                                                           | 3. ข้อมูลสมมูลน้ำที่วัดได้จากพื้นที่ปลูกยางพาราครบ 1 ปี ใน Site ที่ 1                                                                                                                                                                                                                                                                        | 3. ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ประเมินได้เฉพาะพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1                                                                                                                                                                                                                                      |

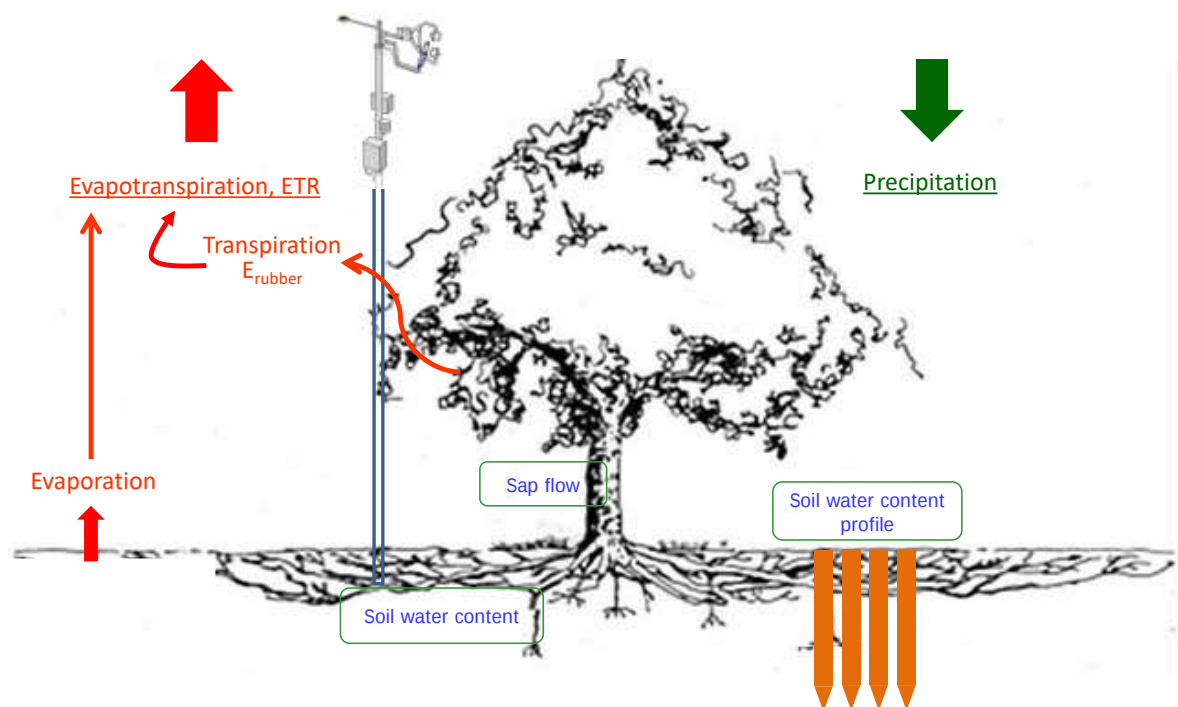
## ภาคผนวก ข

ภาพ System boundary ที่รวม กิจกรรม  
ที่ใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์

## “Carbon footprint”



## “Water footprint”



รูปผนวกที่ 1

System boundary ของแผนงาน “การศึกษาสมดุลคาร์บอนและน้ำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นต์และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา”

### ภาคผนวก ค

ข้อมูลประกอบในการศึกษาสมดุลคาร์บอนและน้ำ  
คาร์บอนฟุตพริ้นต์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์

**ตารางผนวกที่ 4** ข้อมูลประกอบในการศึกษาสมดุลคาร์บอนและน้ำ คาร์บอนฟุตพริ้นต์ และ  
วอเตอร์ฟุตพริ้นต์

| ข้อมูลที่ศึกษา                                          | ตัวย่อ             | หน่วย                                 | ความถี่ในการบันทึกค่า |
|---------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| <b>1. Eddy covariance system</b>                        |                    |                                       |                       |
| CO <sub>2</sub> concentration                           | [CO <sub>2</sub> ] | μmol mol <sup>-1</sup>                | 30 นาที               |
| CO <sub>2</sub> flux                                    | Fc                 | μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>  | 30 นาที               |
| Net ecosystem exchange                                  | NEE                | μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>  | 30 นาที               |
| H <sub>2</sub> O concentration                          | [H <sub>2</sub> O] | m mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> | 30 นาที               |
| Water vapor flux                                        | E                  | m mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> | 30 นาที               |
| Evapotranspiration                                      | ETR                | mm                                    | 30 นาที               |
| <b>2. Weather station</b>                               |                    |                                       |                       |
| Net radiation                                           | Rn                 | W.m <sup>-2</sup>                     | 30 นาที               |
| Global radiation                                        | Rg                 | W.m <sup>-2</sup>                     | 30 นาที               |
| Photosynthetic active photon<br>flux density            | PPFD               | μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>  | 30 นาที               |
| Air temperature                                         | Ta                 | °C                                    | 30 นาที               |
| Relative Humidity of the air                            | Rh                 | %                                     | 30 นาที               |
| Precipitation                                           | PPT                | mm                                    | 30 นาที               |
| Wind speed                                              | WS                 | m.s <sup>-1</sup>                     | 30 นาที               |
| Wind direction                                          | WD                 | Degree                                | 30 นาที               |
| Braometric pressure                                     | Pa                 | kPa                                   | 30 นาที               |
| Vapor pressure deficit                                  | VPD                | kPa                                   | 30 นาที               |
| Vapor pressure                                          | VP                 | kPa                                   | 30 นาที               |
| Evapotranspiration by FAO Pen-<br>man-Monteith equation | ETP                | mm                                    | 30 นาที               |
| <b>3. Soil respiration system</b>                       |                    |                                       |                       |
| Soil respiration                                        | Rs                 | μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>  | 2 สัปดาห์             |
| Heterotrophic respiration                               | Rh                 | μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>  | 2 สัปดาห์             |
| Autotrophic respiration                                 | Ra                 | μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>  | 2 สัปดาห์             |
| <b>4. Sapflow system</b>                                |                    |                                       |                       |
| Transpiration by plant                                  | T                  | mm                                    | 30 นาที               |
| <b>5. ข้อมูลประกอบอื่นๆ</b>                             |                    |                                       |                       |
| Soil temperature                                        | Ts                 | °C                                    | 30 นาที               |
| Soil water content                                      | SWC                | m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>        | 30 นาที               |
| Leaf area index                                         | LAI                | m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>        | 2 สัปดาห์             |
| Leaf litter trap                                        | Litter trap        | gram                                  | 2 สัปดาห์             |
| Diameter of plant                                       | Girth              | meter                                 | 6 เดือน               |

## ภาคผนวก ง

การศึกษาสมดุลคาร์บอนและน้ำของพื้นที่ปลูกยางพารา  
ด้วยวิธี Eddy Covariance

# การศึกษาสมดุลคาร์บอนและน้ำของพื้นที่ปลูกยางพารา ด้วยวิธี Eddy Covariance

## 1. Eddy Covariance

“Eddy Covariance” เป็นหนึ่งในวิธีการที่ใช้ในการวัด Flux ของแก๊สและตรวจติดตามการแพร่ของแก๊สจากพื้นที่ศึกษาที่มีความแม่นยำมากที่สุด เป็นการวัดค่าที่ศึกษาโดยตรง และมีการใช้แพร่หลายในปัจจุบัน

เทคนิค eddy covariance เป็นเทคนิคในการตรวจวัดด้านอุตุนิยมในระดับจุลภูมิอากาศ (Micro-climate) เพื่อตรวจวัดความแปรปรวนของ Flux ในแนวตั้งของชั้นบรรยากาศ โดยวัดความแปรปรวนร่วมระหว่างความเข้มข้นของสิ่งที่เราสนใจ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และมีเทน เป็นต้น กับความเร็วของลมในแนวตั้งภายในแต่ละ Eddy ดังนั้นในการตรวจวัดต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อน เนื่องจากความผันผวนของสิ่งที่เราสนใจนั้นเกิดขึ้นเร็วมาก และมีการเปลี่ยนแปลงในปริมาณที่น้อยมากทั้งความเข้มข้น ความหนาแน่น หรืออุณหภูมิ จึงจำเป็นต้องตรวจวัดในลักษณะที่รวดเร็วและมีความแม่นยำสูงๆ

## 2. ชุดอุปกรณ์ Eddy covariance

### 2.1 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ Eddy covariance

ชุดอุปกรณ์ Eddy covariance ประกอบด้วย

2.1.2 เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม แบบ 3 มิติ(ความเร็วลมในทิศทาง x, y, z) (Three dimensional sonic anemometer) รุ่น CSAT3 ของบริษัท Campbell Scientific

2.2.2 เครื่องวัดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ระบบเปิด (Open path infrared gas analyzer) รุ่น LI-7500 ของบริษัท Li-COR Inc.

ในการศึกษาวิจัยชุดอุปกรณ์ Eddy Covariance ถูกติดตั้งไว้ที่ความสูง 27 และ 12 m. บนหอคอยของพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 (จังหวัดฉะเชิงเทรา) และ 2 (จังหวัดบึงกาฬ) ตามลำดับ ข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องมือจะถูกบันทึกในการ์ดบันทึกข้อมูลขนาดความจุ 2 GB (Compact flash) ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ในเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ (Data logger) รุ่น CR5000 และ CR3000 สำหรับพื้นที่ศึกษา Site ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ นักวิจัยจะเปลี่ยนการบันทึกข้อมูลจากเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติทุกๆ 2 อาทิตย์ การบันทึกข้อมูลของเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติจะดำเนินการตามคำสั่งที่นักวิจัยโปรแกรมไว้ คือ จะบันทึกข้อมูลด้วยความถี่ 20 Hz หรือ 20 ครั้งต่อวินาที ตลอด 24 ชั่วโมง

### 2.2 การคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเหนือเรือนยอดสวนยางพารา ด้วยเทคนิค Eddy Covariance

วิธีการคำนวณค่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (Net ecosystem exchange, NEE หรือ  $F_{CO_2}$ ) ด้วยเทคนิค Eddy Covariance (Goulden *et al.*, 1996) เป็นการคำนวณจาก Covariance ระหว่างความแปรปรวนความเร็วลมในแนวตั้ง ( $w'$ ) และความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $[CO_2]'$ ) ดังสมการที่ (1)

$$NEE = F_{CO_2} = \overline{\rho w' [CO_2]'} \quad (1)$$

โดยที่  $\rho$  ได้แก่ ความหนาแน่นของอากาศเฉลี่ย (mean air density)

ขั้นตอนการคำนวณ NEE จะดำเนินการตามวิธีมาตรฐานของ EUROFLUX (Aubinet *et al.*, 2000) ซึ่งข้อมูลความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และความเร็วลมในแนวตั้งจะถูกนำมาคำนวณด้วยโปรแกรม EdiRe ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ฟรีที่สามารถดาวน์โหลดได้ที่จาก <http://www.geos.ed.ac.uk/abs/research/micromet/EdiRe/> นักวิจัยได้เขียนโปรแกรมคำนวณตามวิธีมาตรฐานดังกล่าวขั้นตอนการคำนวณตามรายละเอียดของ รูปที่ 2-3 ค่า NEE เฉลี่ยทุกๆ 30 นาที จะถูกนำมาคำนวณหาค่าอื่นๆ ต่อไป ได้แก่ NEP (Net ecosystem production), NPP (Net primary production), GPP (Gross primary production), และ Re (Ecological respiration) ต่อไป

วิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ด้วยเทคนิค Eddy covariance ดังสมการที่ (1) และ (2) (Bhardwaj *et al.*, 2011) ตามลำดับ

$$CF = \frac{NEP - C_{loss}}{Yield} \quad (2)$$

$$WF = \frac{CWU}{Yield} \quad (3)$$

โดยที่ CF = Carbon footprint  
NEP = Net ecosystem production  
WF = Water footprint  
CWU = Crop water use (m<sup>3</sup>)  
Yield = Grain yield (Mg)

ค่า  $F_{CO_2}$  เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (NEE) มีความสัมพันธ์กับค่าผลผลิตปฐมภูมิรวมระบบนิเวศ (GPP) และค่าการหายใจของระบบนิเวศ (Re) ดังแสดงในสมการข้างล่าง

$$NEE = Re - GPP \quad (4)$$

$$NEP = GPP - Re \quad (5)$$

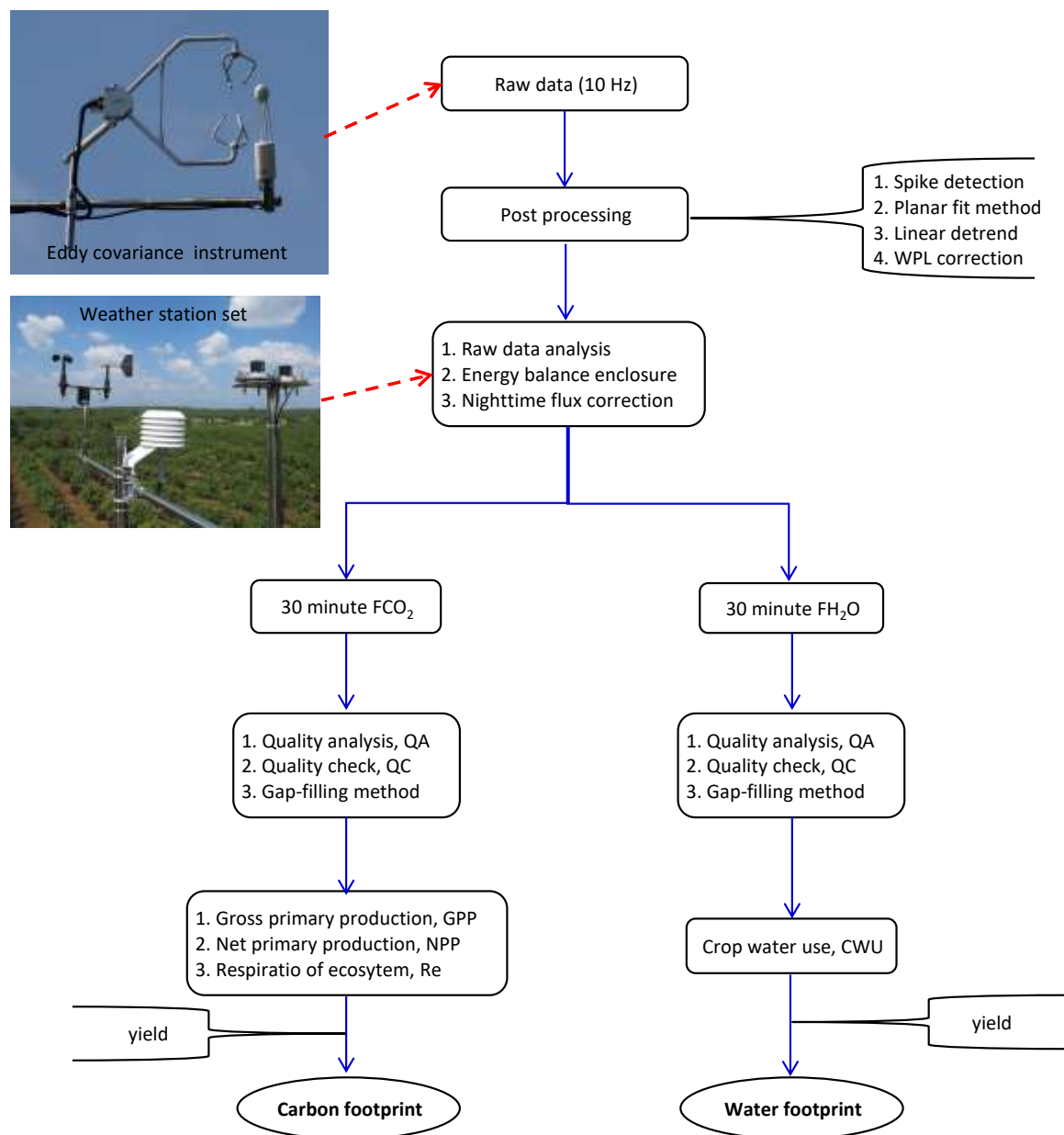
ดังนั้น

$$NEE = - NEP \quad (6)$$

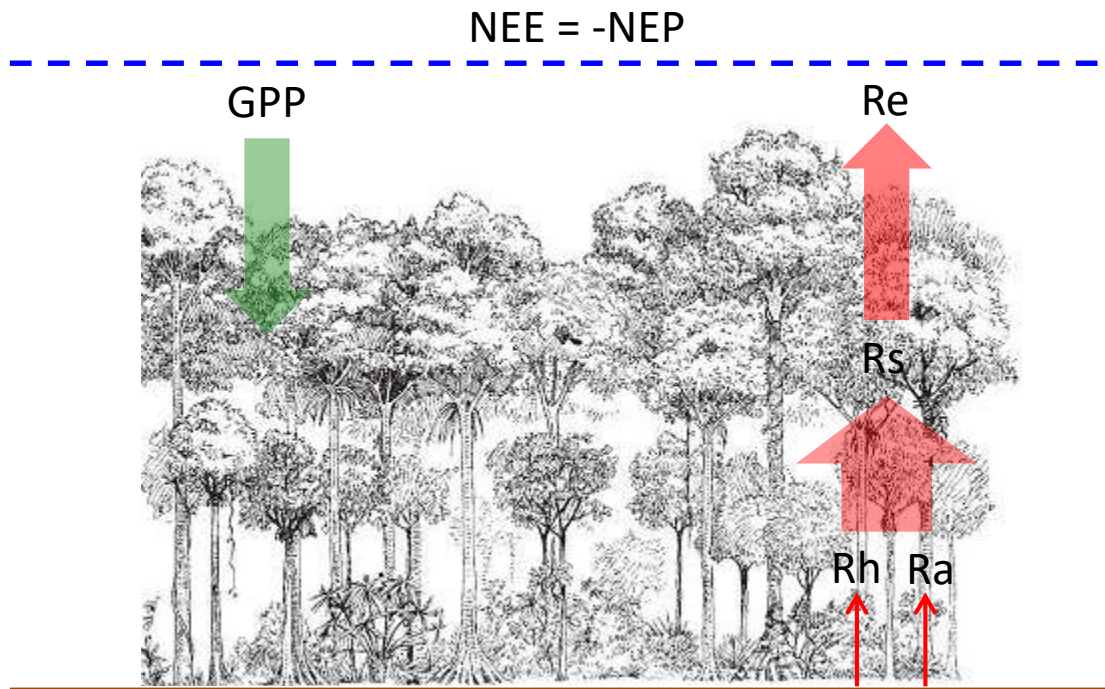
ค่าการหายใจของระบบนิเวศ ( $R_e$ ) เป็นผลรวมของการหายใจรวมทั้งหมดของพืช ( $R_a$ ) และส่วนที่ไม่ใช่พืช ( $R_h$ ) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินอันเนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุภายในดิน

$$Re = Ra + Rh \quad (7)$$

$$NEP = NPP - Rh \quad (8)$$



**รูปผนวกที่ 2** ขั้นตอนการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (flux of CO<sub>2</sub> และ H<sub>2</sub>O) และค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์



**รูปผนวกที่ 3** การหายใจในระบบนิเวศของพื้นที่ปลูกพืช

### 2.3 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ

ชุดตรวจวัดสภาพภูมิอากาศถูกติดตั้งบนหอคอยของทั้งสองพื้นที่ศึกษา เป็นระบบที่เก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) รุ่น CR10X (Campbell Scientific, Inc., USA) ข้อมูลที่จะจัดเก็บมี ประกอบด้วย (1) อุณหภูมิของอากาศ และ (2) ความชื้นสัมพัทธ์ ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ รุ่น HMP45C (Vaisala, Inc., USA) (3) ปริมาณน้ำฝน ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ( Rain Gage, dia. = 6 นิ้ว) (4) ทิศทางและความเร็วลม ด้วยเครื่องวัดทิศทางและความเร็วลม รุ่น Wind Sentry Anemometer (Campbell Scientific, Inc., USA) (5) ปริมาณแสงอาทิตย์ในลักษณะต่างๆ ได้แก่ Net Radiometer รุ่น NR-life, Shot-Long Wave รุ่น CNR1, Pyranometer รุ่น LI-200SA และ Quantum Sensor รุ่น LI190SA (LI-COR Inc., USA) อุปกรณ์สำหรับวัดจุลภูมิอากาศดังกล่าวข้างต้นจะถูกเชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ และเพื่อให้สามารถวัดค่าและบันทึกข้อมูลเก็บไว้ทุก 30 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง (รูปที่ 2-5) นักวิจัยจะดาวโหลดข้อมูลจากเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติทุก 2 อาทิตย์ โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ และใช้โปรแกรม LoggerNet ในการถ่ายโอนข้อมูล ข้อมูลที่ได้จะถูกเก็บไว้ในรูปของ ASCII file

ภาคผนวก จ

สมมติฐานการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์

## สมมติฐานการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์

คาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพาราที่เกิดจากการเกษตรกรรม ปุ๋ย ยา และสารเคมีที่ใช้ และของเสียที่เกิดจากการปลูกยางพารา โดยวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบ Gate to Gate ที่ใช้สำหรับจัดทำข้อมูลสิ่งแวดล้อมฯ และบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมฯ โดยเฉลี่ยของการปลูกยางพาราและของเสียที่เกิดจากการปลูกยางพารา ประกอบด้วย ข้อมูลจากสวนยางพารา 3 ระยะหลัก ได้แก่ การเตรียมการเพาะปลูกและการปรับพื้นที่ การปลูกและบำรุงรักษาก่อนการกรีดยาง และการปลูกและบำรุงรักษาขณะกรีดยางจนกระทั่งหมดอายุยาง โดยข้อมูลอ้างอิงจากสำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง (สกย.) จังหวัดบึงกาฬ ที่ใช้ในการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา อำเภอปากคาด จังหวัดบึงกาฬ แสดงได้ดังตารางผนวกที่ 5

**ตารางผนวกที่ 5** ข้อมูลเกษตรกรรมสวนยางพาราของพื้นที่ จังหวัดบึงกาฬ

| สาขาเข้า                                  | หน่วย    | ปริมาณ | สาขาก่อ    | หน่วย    | ปริมาณ |
|-------------------------------------------|----------|--------|------------|----------|--------|
| การเตรียมการเพาะปลูกและการปรับพื้นที่     |          |        | น้ำยางพารา | กิโลกรัม | 8880   |
| น้ำมันดีเซล                               | ลิตร     | 3      |            |          |        |
| น้ำมันเครื่อง                             | ลิตร     | 1      |            |          |        |
| การปลูกและบำรุงรักษาก่อนกรีดยาง (1-6 ปี)  |          |        |            |          |        |
| ต้นกล้ายางพารา                            | ต้น      | 90     |            |          |        |
| น้ำมันดีเซล                               | ลิตร     | 7      |            |          |        |
| ปุ๋ยสูตร 20-10-12                         | กิโลกรัม | 250    |            |          |        |
| ไกลโฟเซต 48%                              | กิโลกรัม | 7      |            |          |        |
| การปลูกและบำรุงรักษาหลังกรีดยาง (7-25 ปี) |          |        |            |          |        |
| น้ำมันดีเซล                               | ลิตร     | 18     |            |          |        |
| ปุ๋ยสูตร 30-5-18                          | กิโลกรัม | 1368   |            |          |        |
| พาราควอท                                  | กิโลกรัม | 18     |            |          |        |

หมายเหตุ น้ำยางพารามี %DRC = 60

ที่มา: สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง (สกย.) จังหวัดบึงกาฬ, (2556)

นอกจากนี้การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นต์ ด้วยทฤษฎีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) ยังคำนึงถึงการได้มาซึ่งวัตถุดิบ หมายรวมถึงการขนส่งวัตถุดิบ สารเคมี และปุ๋ย มายังพื้นที่ที่มีการเกษตรกรรม จากการศึกษาของ ณิชา สุโขดมโชติ (2556)<sup>1</sup> ที่ได้มีการสำรวจข้อมูลจากชาวสวนยางพารา พบว่า ชาวสวนยางพาราจะมีการซื้อวัตถุดิบต่างๆ ที่ใช้ในการเกษตรกรรมอยู่ในระยะรัศมี 50 กิโลเมตร จากพื้นที่สวนยางพารา ในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้ตั้งสมมติฐานการขนส่งให้มีระยะการขนส่งวัตถุดิบอยู่ที่ 50 กิโลเมตร สำหรับรายการวัตถุดิบที่ไม่สามารถสืบค้นข้อมูลได้

<sup>1</sup> ณิชา สุโขดมโชติ (2556). การประเมินวัฏจักรชีวิตและประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราในประเทศไทย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

มลสารต่างๆ ที่เกิดจากการเขตรกรรมของสวนยางพารา เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้คำนวณมลสารต่างๆ ที่เกิดขึ้น ได้แก่ มลสารทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และมลสารทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการใช้ปุ๋ย โดยวิธีการคำนวณ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การคำนวณมลสารจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องจักรกลการเกษตรที่เคลื่อนที่ที่ใช้การประมาณค่าจากสมการ

$$Epollutant = FC_{fuel\ type} \times EF_{pollutant, fuel\ type} \quad (1)$$

เมื่อ  $Epollutant$  คือ ปริมาณมลสาร  
 $FC_{fuel\ type}$  คือ ปริมาณเชื้อเพลิง  
 $EF_{pollutant, fuel\ type}$  คือ Emission factor ตามชนิดมลสาร ชนิดเชื้อเพลิง และชนิดของระบบการเผาไหม้ (ดีเซล, เบนซินเครื่องยนต์สองจังหวะ, เบนซินเครื่องยนต์สี่จังหวะ)

แก๊สเรือนกระจก  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$  ใช้วิธีการของ IPCC volume 2 (Energy), Chapter 3 (Mobile combustion) Tier 1 ดังรูปผนวกที่ 4

#### รูปผนวกที่ 4 Emission factors for off-road mobile source and machinery

ที่มา: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)(2006)

| TABLE 3.3.1<br>DEFAULT EMISSION FACTORS FOR OFF-ROAD MOBILE SOURCES AND MACHINERY <sup>(a)</sup> |                 |        |        |                                |       |       |                                 |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|--------|--------------------------------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|
| Off-Road Source                                                                                  | CO <sub>2</sub> |        |        | CH <sub>4</sub> <sup>(b)</sup> |       |       | N <sub>2</sub> O <sup>(c)</sup> |       |       |
|                                                                                                  | Default (kg/TJ) | Lower  | Upper  | Default (kg/TJ)                | Lower | Upper | Default (kg/TJ)                 | Lower | Upper |
| <b>Diesel</b>                                                                                    |                 |        |        |                                |       |       |                                 |       |       |
| Agriculture                                                                                      | 74 100          | 72 600 | 74 800 | 4.15                           | 1.67  | 10.4  | 28.6                            | 14.3  | 85.8  |
| Forestry                                                                                         | 74 100          | 72 600 | 74 800 | 4.15                           | 1.67  | 10.4  | 28.6                            | 14.3  | 85.8  |
| Industry                                                                                         | 74 100          | 72 600 | 74 800 | 4.15                           | 1.67  | 10.4  | 28.6                            | 14.3  | 85.8  |
| Household                                                                                        | 74 100          | 72 600 | 74 800 | 4.15                           | 1.67  | 10.4  | 28.6                            | 14.3  | 85.8  |
| <b>Motor Gasoline 4-stroke</b>                                                                   |                 |        |        |                                |       |       |                                 |       |       |
| Agriculture                                                                                      | 69 300          | 67 500 | 73 000 | 80                             | 32    | 200   | 2                               | 1     | 6     |
| Forestry                                                                                         | 69 300          | 67 500 | 73 000 |                                |       |       |                                 |       |       |
| Industry                                                                                         | 69 300          | 67 500 | 73 000 | 50                             | 20    | 125   | 2                               | 1     | 6     |
| Household                                                                                        | 69 300          | 67 500 | 73 000 | 120                            | 48    | 300   | 2                               | 1     | 6     |
| <b>Motor Gasoline 2-Stroke</b>                                                                   |                 |        |        |                                |       |       |                                 |       |       |
| Agriculture                                                                                      | 69 300          | 67 500 | 73 000 | 140                            | 56    | 350   | 0.4                             | 0.2   | 1.2   |
| Forestry                                                                                         | 69 300          | 67 500 | 73 000 | 170                            | 68    | 425   | 0.4                             | 0.2   | 1.2   |
| Industry                                                                                         | 69 300          | 67 500 | 73 000 | 130                            | 52    | 325   | 0.4                             | 0.2   | 1.2   |
| Household                                                                                        | 69 300          | 67 500 | 73 000 | 180                            | 72    | 450   | 0.4                             | 0.2   | 1.2   |

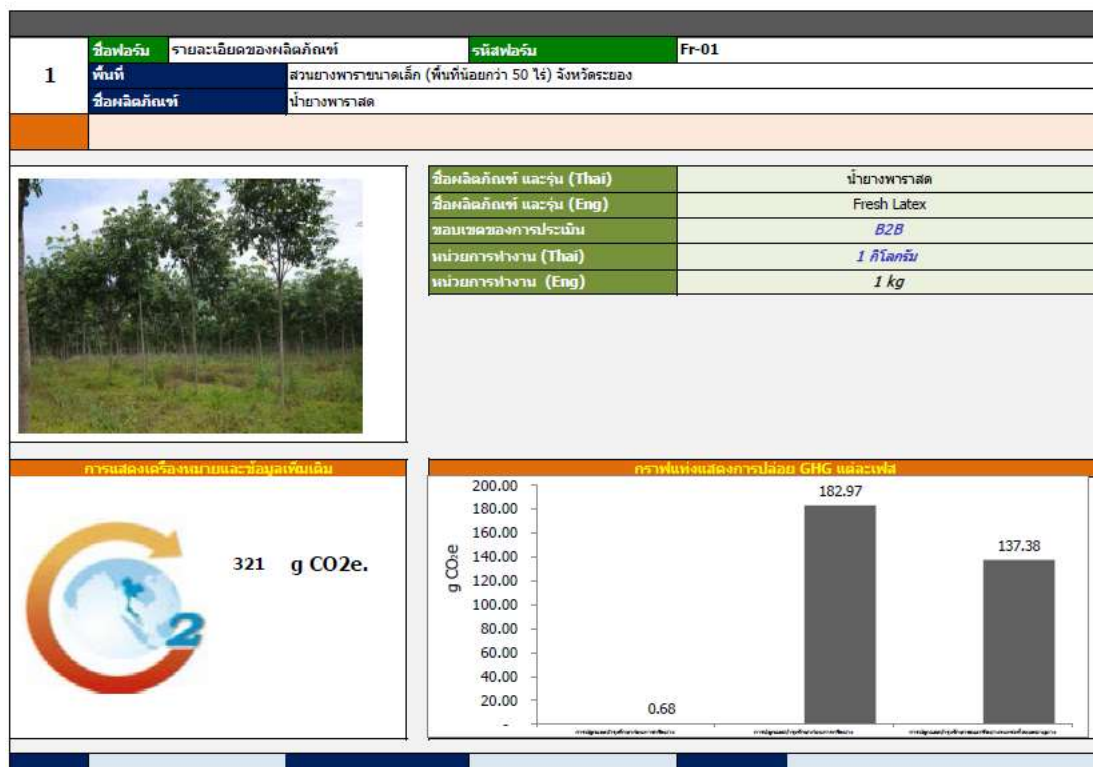
สำหรับผลสารจากปุ๋ยเคมี คำนวณปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยเคมีที่มีสูตรเป็น a-y-c ใช้ d กิโลกรัม จะได้ว่ามีไนโตรเจนอยู่  $a/100 \times d$  กิโลกรัม มี  $P_2O_5$  อยู่  $y/100 \times d$  กิโลกรัม มี  $K_2O$   $c/100 \times d$  กิโลกรัม และ เมื่อทราบปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ย คำนวณปริมาณ  $N_2O$  โดยใช้วิธีของ IPCC, volume 4, บทที่ 11 ไนโตรเจนร้อยละ 1 ของไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยจะกลายเป็น  $N_2O$  ซึ่ง  $N_2$  28 กิโลกรัม จะทำให้เกิด  $N_2O$  44 กิโลกรัม สมการคำนวณปริมาณ  $N_2O$  คือ

$$N_2O \text{ (kg)} = \text{น้ำหนักไนโตรเจน (kg)} \times 1/100 \times 44/28 \quad (2)$$

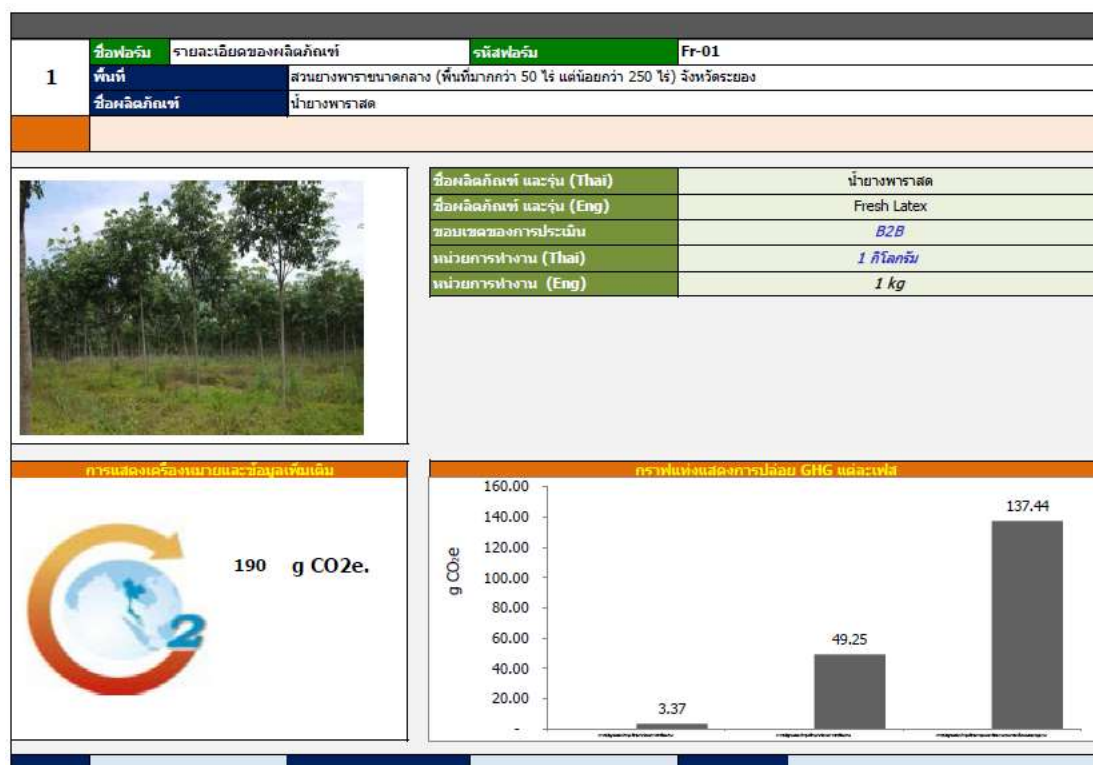
ภาคผนวก ฉ

Verification Sheet ส่วนยางพารา

รูปผนวกที่ 5 Verification Sheet สวนยางขนาดเล็ก จ. ระยอง



รูปผนวกที่ 6 Verification Sheet สวนยางขนาดกลาง จ. ระยอง



รูปผนวกที่ 7 Verification Sheet สวนยางขนาดใหญ่ จ. ระยอง

|   |               |                                                          |           |       |
|---|---------------|----------------------------------------------------------|-----------|-------|
| 1 | ชื่อฟาร์ม     | รายละเอียดของผลิตภัณฑ์                                   | รหัสฟาร์ม | Fr-01 |
|   | พื้นที่       | สวนยางพาราขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 250 ไร่) จังหวัดระยอง |           |       |
|   | ชื่อผลิตภัณฑ์ | น้ำยางพาราสด                                             |           |       |



|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (Thai) | น้ำยางพาราสด |
| ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (Eng)  | Fresh Latex  |
| ขอบเขตของการประเมิน          | B2B          |
| หน่วยการทำงาน (Thai)         | 1 กิโลกรัม   |
| หน่วยการทำงาน (Eng)          | 1 kg         |

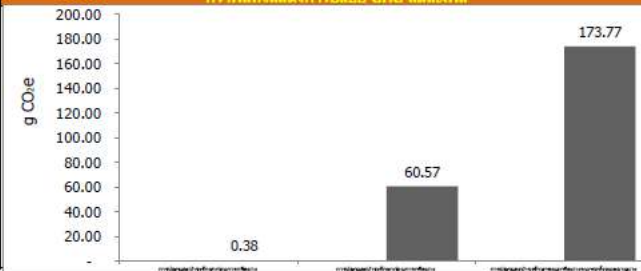
  

การแสดงผลเครื่องหมายและข้อมูลเพิ่มเติม



235 g CO<sub>2</sub>e.

กราฟแท่งแสดงการปล่อย GHG แต่ละเฟส



| Phase   | GHG Emissions (g CO <sub>2</sub> e) |
|---------|-------------------------------------|
| Phase 1 | 0.38                                |
| Phase 2 | 60.57                               |
| Phase 3 | 173.77                              |

รูปผนวกที่ 8 Verification Sheet สวนยางขนาดเล็ก จ. จันทบุรี

|   |               |                                                             |           |       |
|---|---------------|-------------------------------------------------------------|-----------|-------|
| 1 | ชื่อฟาร์ม     | รายละเอียดของผลิตภัณฑ์                                      | รหัสฟาร์ม | Fr-01 |
|   | พื้นที่       | สวนยางพาราขนาดเล็ก (พื้นที่น้อยกว่า 50 ไร่) จังหวัดจันทบุรี |           |       |
|   | ชื่อผลิตภัณฑ์ | น้ำยางพาราสด                                                |           |       |



|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (Thai) | น้ำยางพาราสด |
| ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (Eng)  | Fresh Latex  |
| ขอบเขตของการประเมิน          | B2B          |
| หน่วยการทำงาน (Thai)         | 1 กิโลกรัม   |
| หน่วยการทำงาน (Eng)          | 1 kg         |

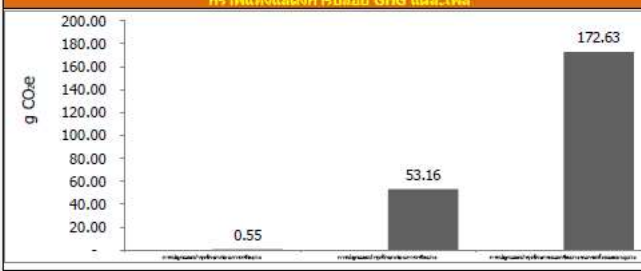
  

การแสดงผลเครื่องหมายและข้อมูลเพิ่มเติม



226 g CO<sub>2</sub>e.

กราฟแท่งแสดงการปล่อย GHG แต่ละเฟส



| Phase   | GHG Emissions (g CO <sub>2</sub> e) |
|---------|-------------------------------------|
| Phase 1 | 0.55                                |
| Phase 2 | 53.16                               |
| Phase 3 | 172.63                              |

รูปผนวกที่ 9 Verification Sheet สวนยางขนาดกลาง จ. จันทบุรี

|   |               |                                                            |           |       |
|---|---------------|------------------------------------------------------------|-----------|-------|
| 1 | ชื่อฟาร์ม     | รายละเอียดของผลิตภัณฑ์                                     | รหัสฟาร์ม | Fr-01 |
|   | พื้นที่       | สวนยางพาราขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 50 ไร่) จังหวัดจันทบุรี |           |       |
|   | ชื่อผลิตภัณฑ์ | น้ำยางพาราสด                                               |           |       |



|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (Thai) | น้ำยางพาราสด |
| ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (Eng)  | Fresh Latex  |
| ขอบเขตของการประเมิน          | B2B          |
| หน่วยการทำงาน (Thai)         | 1 กิโลกรัม   |
| หน่วยการทำงาน (Eng)          | 1 kg         |

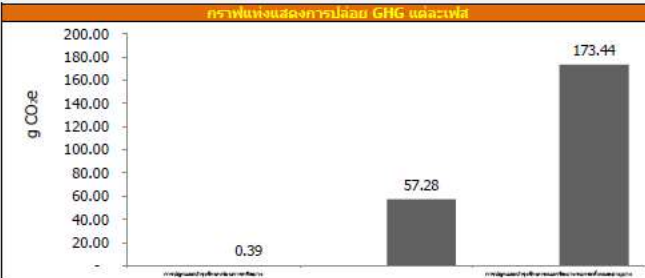
  

การแสดงผลเครื่องหมายและข้อมูลเพิ่มเติม



231 g CO<sub>2</sub>e.

กราฟแท่งแสดงการปล่อย GHG แต่ละเฟส



| Phase   | Value  |
|---------|--------|
| Phase 1 | 0.39   |
| Phase 2 | 57.28  |
| Phase 3 | 173.44 |

รูปผนวกที่ 10 Verification Sheet สวนยางขนาดใหญ่ จ. จันทบุรี

|   |               |                                                             |           |       |
|---|---------------|-------------------------------------------------------------|-----------|-------|
| 1 | ชื่อฟาร์ม     | รายละเอียดของผลิตภัณฑ์                                      | รหัสฟาร์ม | Fr-01 |
|   | พื้นที่       | สวนยางพาราขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 250 ไร่) จังหวัดจันทบุรี |           |       |
|   | ชื่อผลิตภัณฑ์ | น้ำยางพาราสด                                                |           |       |



|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (Thai) | น้ำยางพาราสด |
| ชื่อผลิตภัณฑ์ และรุ่น (Eng)  | Fresh Latex  |
| ขอบเขตของการประเมิน          | B2B          |
| หน่วยการทำงาน (Thai)         | 1 กิโลกรัม   |
| หน่วยการทำงาน (Eng)          | 1 kg         |

การแสดงผลเครื่องหมายและข้อมูลเพิ่มเติม



108 g CO<sub>2</sub>e.

กราฟแท่งแสดงการปล่อย GHG แต่ละเฟส



| Phase   | Value |
|---------|-------|
| Phase 1 | 0.36  |
| Phase 2 | 28.31 |
| Phase 3 | 79.47 |

ภาคผนวก ข

แบบสอบถามข้อมูลบัญชีรายการ

**แบบสอบถามข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม**  
**โครงการ “การศึกษาสมดุคคาร์บอน เพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา”**

แบบสอบถามนี้เป็นแบบสอบถามรายละเอียดของ **กระบวนการปลูกต้นยางพารา** ที่ใช้ในโครงการ “การศึกษาสมดุคคาร์บอน เพื่อใช้เป็นข้อมูลจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา” โดยประกอบด้วย 6 ส่วนดังนี้

- ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป
- ส่วนที่ 2 สรุปขั้นตอนการปลูกยางพารา
- ส่วนที่ 3 การเพาะกล้ายางพารา (ในกรณีที่มีแปลงเพาะกล้าเป็นของตนเอง)
- ส่วนที่ 4 การเตรียมการเพาะปลูกและการปรับพื้นที่
- ส่วนที่ 5 การปลูกและการบำรุงรักษาก่อนกรีดยาง (ก่อนเปิดกรีด)
- ส่วนที่ 6 การบำรุงรักษาขณะกรีดยางจนหมดน้ำยาง (หลังเปิดกรีด)

หมายเหตุ: ขี้ยาง คือ ยางที่ลอกเป็นเส้นมาจากหน้ายางที่แห้งติดต้นยางพารา หรือภาชนะรองน้ำยางสด หากสวนยางพาราไม่มีการเพาะกล้ายางพาราเป็นของตนเองไม่ต้องตอบแบบสอบถามในส่วนที่ 3 หากสวนยางพารามีอายุอยู่ในช่วงก่อนเปิดกรีดไม่ต้องตอบแบบสอบถามในส่วนที่ 6

**ข้อมูลเบื้องต้น**

ผู้ให้ข้อมูล ชื่อ .....นามสกุล.....  
เบอร์โทร.....E-mail.....

สถานะ           [ ] เจ้าของสวน           [ ] ผู้ดูแลสวน  
เพศ             [ ] ชาย                   [ ] หญิง                   อายุ .....ปี  
ระดับการศึกษา [ ] ไม่เรียน           [ ] ประถมศึกษา       [ ] มัธยมศึกษา  
                  [ ] อนุปริญญา       [ ] ปริญญาตรี           [ ] สูงกว่าปริญญาตรี  
อาชีพหลัก      [ ] ทำสวนยาง           [ ] อื่นๆ โปรดระบุ.....  
รายได้ต่อเดือน [ ] น้อยกว่า 5,000 บาท [ ] 5,001 – 10,000   [ ] 10,001 – 15,000  
                  [ ] 15,000 – 30,000   [ ] มากกว่า 30,000

อาชีพเสริม.....  
รายได้ต่อเดือน [ ] น้อยกว่า 5,000 บาท [ ] 5,001 – 10,000   [ ] 10,001 – 15,000  
                  [ ] 15,000 – 30,000   [ ] มากกว่า 30,000

ประสบการณ์การประกอบอาชีพชาวสวนยางพารา [ ] น้อยกว่า 5 ปี [ ] 5 – 10 ปี [ ] มากกว่า 10 ปี  
ที่ตั้งสวนยางพารา บ้านเลขที่.....หมู่ที่.....บ้าน.....  
ตำบล.....อำเภอ.....จังหวัด.....

วันที่ให้ข้อมูล.....

## ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

1.1 จำนวนพื้นที่ที่ปลูกยางพารา.....ไร่  
(ข้อมูลตั้งแต่เดือน.....ถึง.....ปี พ.ศ.....)

1.2 ข้อมูลต้นยางพารา ณ ปัจจุบัน  
(กรณีที่มีต้นยางพาราหลายช่วงอายุ โปรดระบุรายละเอียด ดังตารางด้านล่าง)

| แปลงที่ | ปีที่เริ่มปลูก | ช่วงอายุ<br>ปัจจุบัน | จำนวนพื้นที่<br>(ไร่) | ความหนาแน่นการปลูก<br>(ต้น/ไร่) | ลักษณะ/<br>สิทธิการถือครอง |
|---------|----------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 1       |                |                      |                       |                                 |                            |
| 2       |                |                      |                       |                                 |                            |
| 3       |                |                      |                       |                                 |                            |
| 4       |                |                      |                       |                                 |                            |
| 5       |                |                      |                       |                                 |                            |

1.3 การใช้ประโยชน์จากพื้นที่บริเวณนี้ในอดีต 20 ปีก่อน

1. ไม่ทราบ
2. เคย (โปรดระบุพืชชนิดที่เคยปลูก เช่น มันสำปะหลัง, ข้าวโพด, ผลไม้, ยูคาลิปตัส, ข้าว, ป่า เป็นต้น)

1.4 สภาพพื้นที่ที่ปลูก (เลือกจากหัวข้อต่อไปนี้)

1. ลาดเท
2. พื้นที่ราบ

1.5 ลักษณะดิน (เลือกจากหัวข้อต่อไปนี้)

1. ดินเหนียว
2. ดินร่วน
3. ดินทราย
4. อื่นๆ.....

1.6 สภาพภูมิอากาศ (เลือกจากหัวข้อต่อไปนี้)

1. ฝนตกชุก
2. ปานกลาง
3. แห้งแล้ง

1.7 แหล่งน้ำ (เลือกจากหัวข้อต่อไปนี้)

1. น้ำฝน
2. น้ำบาดาล
3. น้ำบ่อ
4. น้ำในแม่น้ำลำคลอง

1.8 แนวการเพาะปลูก

ระยะห่างระหว่างแถว ..... เมตร

ระยะห่างระหว่างต้น ..... เมตร

1.9 พันธุ์ยางที่ใช้ปลูก (เลือกจากหัวข้อต่อไปนี้)

1. RRIT 251 ปริมาณ ..... ต้นต่อไร่
2. RRIM 600 ปริมาณ ..... ต้นต่อไร่
3. อื่นๆ (โปรดระบุ) ..... ปริมาณ ..... ต้นต่อไร่
4. อื่นๆ (โปรดระบุ) ..... ปริมาณ ..... ต้นต่อไร่
5. อื่นๆ (โปรดระบุ) ..... ปริมาณ ..... ต้นต่อไร่

(โปรดระบุสัดส่วนพันธุ์ยางที่ใช้ในการเพาะปลูก ในกรณีที่มีการใช้หลายพันธุ์)

1.10 วิธีการปลูก (เลือกจากหัวข้อต่อไปนี้)

1. ต่อดาและปักชำ
2. ปักชำ
3. อื่นๆ(โปรดระบุ).....

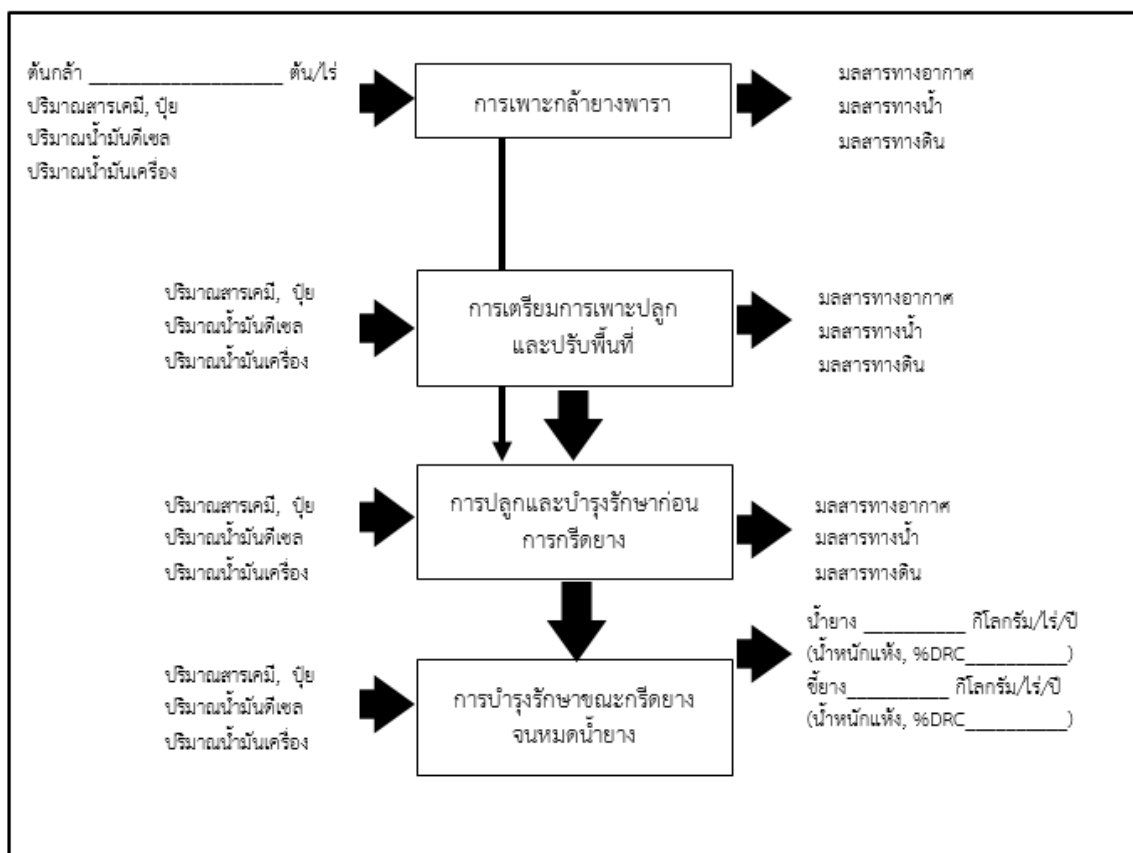
1.11 รูปแบบการปลูก

1. ปลูกแบบเชิงเดี่ยว
2. ปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่น

1.12 กล้า양พารามีการปลูกเองหรือไม่

1. ใช่ กรุณาตอบแบบสอบถามในส่วนที่ 3
2. ไม่ใช่ รับซื้อจากแปลงอื่น ใน อำเภอ .....จังหวัด.....  
รูปแบบรถที่ใช้ในการขนส่ง.....  
(ไม่ต้องตอบส่วนที่ 3 ให้เริ่มตอบในส่วนที่ 4)

## ส่วนที่ 2    สรุปขั้นตอนการปลูกยางพารา



### ส่วนที่ 3 การเพาะกล้ายางพารา (ในกรณีที่มีแปลงเพาะกล้าเป็นของตนเอง)

หมายเหตุ ขั้นตอนการเพาะกล้ายางพาราหมายถึง การดูแลพันธุ์ยาง การเพาะกล้ายาง และการชำถุง  
ในกรณีที่เพาะกล้าแบบอื่นๆ โปรดระบุและอธิบายเพิ่มเติม

#### 3.1 กรณารอกข้อมูลต่อไปนี้

| รายการ                               | หน่วย        | ปริมาณ | แหล่งซื้อปัจจัย<br>(อำเภอ และจังหวัด) | รูปแบบรถ<br>ที่ใช้ในการขนส่ง |
|--------------------------------------|--------------|--------|---------------------------------------|------------------------------|
| (1) จำนวนพื้นที่เพาะต้นกล้ายางพารา   | ไร่          |        |                                       |                              |
| (2) ปริมาณเมล็ดพันธุ์ยางพารา         | กิโลกรัม/ไร่ |        | อำเภอ _____<br>จังหวัด _____          | อำเภอ _____<br>จังหวัด _____ |
| (3) ถุงชำ<br>(ระบุชนิดพลาสติก _____) | กิโลกรัม/ไร่ |        | อำเภอ _____<br>จังหวัด _____          | อำเภอ _____<br>จังหวัด _____ |

#### 3.2 ปริมาณและชนิดของปุ๋ยที่ใช้

| รายการ                             | ปุ๋ยอินทรีย์                                                                                                     | ปุ๋ยเคมี                                                                                                         |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) มีการใช้ปุ๋ยหรือไม่            | [ ] ใช้ [ ] ไม่ใช้                                                                                               | [ ] ใช้ [ ] ไม่ใช้                                                                                               |
| (2) ชนิดของปุ๋ย                    | (เช่น ปุ๋ยขี้ไก่, ปุ๋ยพืชสด เป็นต้น)                                                                             | (เช่น ปุ๋ย 25-7-7, ปุ๋ยยูเรีย เป็นต้น)                                                                           |
| 2.1 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 2.2 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 2.3 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 2.4 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| (3) ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม/ไร่/ปี) |                                                                                                                  |                                                                                                                  |
| 3.1 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 3.2 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 3.3 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 3.4 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| (4) แหล่งซื้อปุ๋ย                  | อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____ | อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____ |
| (5) รูปแบบรถที่ใช้ขนส่ง            | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |

### 3.3 ปริมาณและชนิดของยากำจัดวัชพืชที่ใช้

| อันดับ | ชนิดของสารเคมี<br>(ชื่อการค้า) | ความหนาแน่น<br>(กิโลกรัม/ลิตร) | ปริมาณการใช้<br>(ลิตร/ไร่/ปี) | ใช้ในช่วงอายุ | แหล่งซื้อสารเคมี<br>(อำเภอ และจังหวัด) | รูปแบบรถ<br>ที่ใช้ในการขนส่ง |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------------------------------|------------------------------|
| 1      |                                |                                |                               |               |                                        |                              |
| 2      |                                |                                |                               |               |                                        |                              |
| 3      |                                |                                |                               |               |                                        |                              |
| 4      |                                |                                |                               |               |                                        |                              |
| 5      |                                |                                |                               |               |                                        |                              |

### 3.4 ปริมาณและชนิดของยากำจัดแมลงที่ใช้

| อันดับ | ชนิดของสารเคมี<br>(ชื่อการค้า) | ความหนาแน่น<br>(กิโลกรัม/ลิตร) | ปริมาณการใช้<br>(กิโลกรัม/ไร่/ปี) | ใช้ในช่วงอายุ | แหล่งซื้อสารเคมี<br>(อำเภอ และจังหวัด) | รูปแบบรถ<br>ที่ใช้ในการขนส่ง |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------|----------------------------------------|------------------------------|
| 1      |                                |                                |                                   |               |                                        |                              |
| 2      |                                |                                |                                   |               |                                        |                              |
| 3      |                                |                                |                                   |               |                                        |                              |
| 4      |                                |                                |                                   |               |                                        |                              |
| 5      |                                |                                |                                   |               |                                        |                              |

หมายเหตุ : การกรอกช่วงอายุ เช่น 1-3 ปี เป็นต้น

### 3.5 การใช้น้ำ (เลือกจากหัวข้อต่อไปนี้)

- มีการใช้น้ำหรือไม่                    ☐ มี                    ☐ ไม่มี
- แหล่งน้ำที่ใช้ในการให้น้ำ    ☐ น้ำผิวดิน            ☐ น้ำบาดาล    ☐ น้ำประปา
- รอบการให้น้ำ                    ☐ ทุกวัน                    ☐ ทุกๆ 2 วัน    ☐ อื่นๆ .....
- วิธีการให้น้ำ                    ☐ ใช้แรงงานคนในการรดน้ำ  
                                                  ☐ ปลอ่ยตามราง โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง  
                                                  ☐ ใช้เครื่องสูบน้ำ (โปรดระบุรายละเอียดในตาราง)  
                                                  ☐ ใช้เครื่องปั้มน้ำ (โปรดระบุรายละเอียดในตาราง)

| อันดับ | ชนิดของเครื่องจักร | กำลังม้า | กรณีที่ 1<br>ใช้เชื้อเพลิงเป็นต้นกำลัง                            |                               | กรณีที่ 2<br>ใช้ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง |                                   | น้ำมันเครื่อง<br>(ลิตร/ไร่/ปี) |
|--------|--------------------|----------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
|        |                    |          | ชนิดน้ำมัน                                                        | ปริมาณน้ำมัน<br>(ลิตร/ไร่/ปี) | ไฟฟ้า(กิโลวัตต์)                  | จำนวนชั่วโมงที่<br>ใช้ต่อไร่ต่อปี |                                |
| 1      | เครื่องสูบน้ำ      |          | <input type="checkbox"/> เบนซิน<br><input type="checkbox"/> ดีเซล |                               |                                   |                                   |                                |
| 2      | เครื่องปั้มน้ำ     |          |                                                                   |                               |                                   |                                   |                                |
| 3      |                    |          |                                                                   |                               |                                   |                                   |                                |
| 4      |                    |          |                                                                   |                               |                                   |                                   |                                |
| 5      |                    |          |                                                                   |                               |                                   |                                   |                                |

### 3.6 ผลผลิต

- กรณีติดตามชำถูง  
ต้นกล้ายางพาราแบบชำถูง ..... ต้น/ไร่  
ต้นกล้ายางพาราแบบชำถูงไม่สมบูรณ์ (เสียหรือชำรุด) ..... ต้น/ไร่
- กรณีอื่นๆ โปรดระบุ.....  
ต้นกล้ายางพารา ..... ต้น/ไร่  
ต้นกล้ายางพาราไม่สมบูรณ์ (เสียหรือชำรุด) ..... ต้น/ไร่

#### ส่วนที่ 4 การเตรียมการเพาะปลูกและการปรับพื้นที่

ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้  
ปริมาณน้ำมันเครื่องที่ใช้  
ปริมาณสารเคมีที่ใช้  
ปริมาณปุ๋ย



การเตรียมการ  
เพาะปลูกและการ  
ปรับพื้นที่

กรุณารอกข้อมูลต่อไปนี้

##### 4.1 การเตรียมการก่อนปลูก

| อันดับ | ชนิดเครื่องจักร<br>(เช่น รถไถ เครื่องตัด เครื่องขุด) | กำลังม้า | ชนิดน้ำมัน | ปริมาณน้ำมันที่ใช้<br>(ลิตร/ไร่) | ปริมาณน้ำมันเครื่อง<br>(ลิตร/ไร่) |
|--------|------------------------------------------------------|----------|------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1      |                                                      |          |            |                                  |                                   |
| 2      |                                                      |          |            |                                  |                                   |
| 3      |                                                      |          |            |                                  |                                   |
| 4      |                                                      |          |            |                                  |                                   |
| 5      |                                                      |          |            |                                  |                                   |

แหล่งซื้อเชื้อเพลิง ; อำเภอ..... จังหวัด .....

รูปแบบรถที่ใช้ขนส่ง ; .....

##### 4.2 ปริมาณและชนิดของสารเคมีที่ใช้ก่อนปลูก (เช่น ไกลโฟเซต 48%, พาราควอต 100% เป็นต้น)

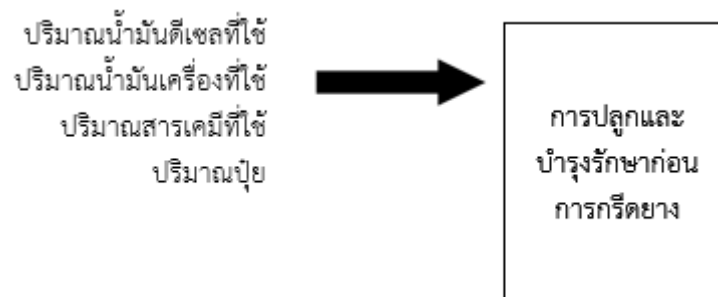
| อันดับ | ชนิดของ<br>สารเคมี<br>(ชื่อการค้า) | ความหนาแน่น<br>(กิโลกรัม/ลิตร) | ปริมาณการใช้<br>(กิโลกรัม/ไร่/ปี) | ใช้ในช่วง<br>อายุ | แหล่งซื้อสารเคมี<br>(อำเภอ และจังหวัด) | รูปแบบรถ<br>ที่ใช้ในการขนส่ง |
|--------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------------------------------|------------------------------|
| 1      |                                    |                                |                                   |                   |                                        |                              |
| 2      |                                    |                                |                                   |                   |                                        |                              |
| 3      |                                    |                                |                                   |                   |                                        |                              |

หมายเหตุ : การกรอกช่วงอายุ เช่น 1-3 ปี เป็นต้น

#### 4.3 ปริมาณและชนิดของปุ๋ยที่ใช้ก่อนปลูก

| รายการ                             | ปุ๋ยอินทรีย์                                                                                                     | ปุ๋ยเคมี                                                                                                         |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) มีการใช้ปุ๋ยหรือไม่            | [ ] ใช้ [ ] ไม่ใช้                                                                                               | [ ] ใช้ [ ] ไม่ใช้                                                                                               |
| (2) ชนิดของปุ๋ย                    | (เช่น ปุ๋ยขี้ไก่, ปุ๋ยคอก เป็นต้น)                                                                               | (เช่น ปุ๋ย 15-15-15, ปุ๋ย DAP เป็นต้น)                                                                           |
| 2.1 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 2.2 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 2.3 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 2.4 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| (3) ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม/ไร่/ปี) |                                                                                                                  |                                                                                                                  |
| 3.1 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 3.2 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 3.3 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 3.4 _____                          | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| (4) แหล่งซื้อปุ๋ย                  | อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____ | อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____ |
| (5) รูปแบบรถที่ใช้ขนส่ง            | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
|                                    | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
|                                    | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
|                                    | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
|                                    | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |

## ส่วนที่ 5 การปลูกและการบำรุงรักษาก่อนกรีดยาง (ก่อนเปิดกรีด)



กรุณากรอกข้อมูลต่อไปนี้

### 5.1 ปริมาณและชนิดของปุ๋ยที่ใช้

| รายการ                                                                                                                  | ปุ๋ยอินทรีย์                                                                                                     | ปุ๋ยเคมี                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) มีการใช้ปุ๋ยหรือไม่                                                                                                 | [ ] ใช้ [ ] ไม่ใช้                                                                                               | [ ] ใช้ [ ] ไม่ใช้                                                                                               |
| (2) ช่วงอายุที่ใช้<br>(เช่น 0-3 ปี เป็นต้น ในกรณีที่แต่ละปีมีการใช้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน โปรดระบุปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในแต่ละปี) |                                                                                                                  |                                                                                                                  |
| (3) ชนิดของปุ๋ย                                                                                                         | (เช่น ปุ๋ยซีไค, ปุ๋ยคอก เป็นต้น)                                                                                 | (เช่น ปุ๋ย 15-15-15, ปุ๋ย DAP เป็นต้น)                                                                           |
| 2.1 _____                                                                                                               | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 2.2 _____                                                                                                               | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 2.3 _____                                                                                                               | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 2.4 _____                                                                                                               | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| รายการ                                                                                                                  | ปุ๋ยอินทรีย์                                                                                                     | ปุ๋ยเคมี                                                                                                         |
| (4) ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม/ไร่/ปี)                                                                                      |                                                                                                                  |                                                                                                                  |
| 3.1 _____                                                                                                               | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 3.2 _____                                                                                                               | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 3.3 _____                                                                                                               | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| 3.4 _____                                                                                                               | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
| (5) แหล่งซื้อปุ๋ย                                                                                                       | อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____ | อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____ |
| (6) รูปแบบรถที่ใช้ขนส่ง                                                                                                 | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
|                                                                                                                         | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
|                                                                                                                         | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |
|                                                                                                                         | _____                                                                                                            | _____                                                                                                            |

## 5.2 ปริมาณและชนิดของยากำจัดวัชพืชที่ใช้

| อันดับ | ชนิดของสารเคมี (ชื่อการค้า) | ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลิตร) | ปริมาณการใช้ (ลิตร/ไร่/ปี) | ใช้ในช่วงอายุ | แหล่งซื้อสารเคมี (อำเภอ และ จังหวัด) | รูปแบบบรรจุที่ใช้ในการขนส่ง |
|--------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1      |                             |                             |                            |               |                                      |                             |
| 2      |                             |                             |                            |               |                                      |                             |
| 3      |                             |                             |                            |               |                                      |                             |
| 4      |                             |                             |                            |               |                                      |                             |

## 5.3 ปริมาณและชนิดของยากำจัดแมลงที่ใช้

| อันดับ | ชนิดของสารเคมี (ชื่อการค้า) | ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลิตร) | ปริมาณการใช้ (กิโลกรัม/ไร่/ปี) | ใช้ในช่วงอายุ | แหล่งซื้อสารเคมี (อำเภอ และ จังหวัด) | รูปแบบบรรจุที่ใช้ในการขนส่ง |
|--------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1      |                             |                             |                                |               |                                      |                             |
| 2      |                             |                             |                                |               |                                      |                             |
| 3      |                             |                             |                                |               |                                      |                             |
| 4      |                             |                             |                                |               |                                      |                             |

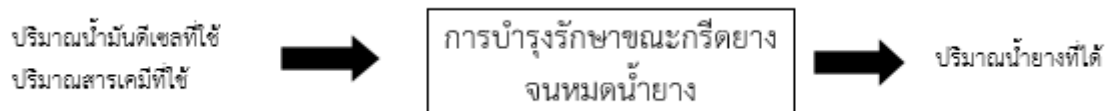
หมายเหตุ : การกรอกช่วงอายุ เช่น 1-3 ปี เป็นต้น

## 5.4 การใช้น้ำ (เลือกจากหัวข้อต่อไปนี้)

- มีการใช้น้ำหรือไม่      ☐ มี      ☐ ไม่มี
- แหล่งน้ำที่ใช้ในการให้น้ำ      ☐ น้ำผิวดิน      ☐ น้ำบาดาล      ☐ น้ำประปา
- รอบการให้น้ำ      ☐ ทุกวัน      ☐ ทุกๆ 2 วัน      ☐ อื่นๆ .....
- วิธีการให้น้ำ      ☐ ใช้แรงงานคนในการรดน้ำ  
☐ ปล่องตามราง โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง  
☐ ใช้เครื่องสูบ (โปรตระบุรายละเอียดในตาราง)  
☐ ใช้เครื่องปั้มน้ำ (โปรตระบุรายละเอียดในตาราง)

| อันดับ | ชนิดของเครื่องจักร | กำลังม้า | กรณีที่ 1<br>ใช้เชื้อเพลิงเป็นต้นกำลัง                            |                            | กรณีที่ 2<br>ใช้ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง |                               | น้ำมันเครื่อง (ลิตร/ไร่/ปี) |
|--------|--------------------|----------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|        |                    |          | ชนิดน้ำมัน                                                        | ปริมาณน้ำมัน (ลิตร/ไร่/ปี) | ไฟฟ้า(กิโลวัตต์)                  | จำนวนชั่วโมงที่ใช้ต่อไร่ต่อปี |                             |
| 1      | เครื่องสูบ         |          | <input type="checkbox"/> เบนซิน<br><input type="checkbox"/> ดีเซล |                            |                                   |                               |                             |
| 2      | เครื่องปั้มน้ำ     |          |                                                                   |                            |                                   |                               |                             |
| 3      |                    |          |                                                                   |                            |                                   |                               |                             |
| 4      |                    |          |                                                                   |                            |                                   |                               |                             |
| 5      |                    |          |                                                                   |                            |                                   |                               |                             |

## ส่วนที่ 6 การบำรุงรักษาขณะกรีดยางจนหมดน้ำยาง (ก่อนเปิดกรีต)



กรุณารอกข้อมูลต่อไปนี้

6.1 การกรีดยางเริ่มกรีดยางตั้งแต่อายุ \_\_\_\_\_ ปี จนถึง \_\_\_\_\_ ปี

6.2 ขนาดรอบลำต้นที่เริ่มเปิดกรีดยาง \_\_\_\_\_ เซนติเมตร

6.3 ทำการกรีดยางทุก \_\_\_\_\_ วัน

6.4 ลักษณะการกรีดยาง (เลือกจากหัวข้อต่อไปนี้)

1. ล่างขึ้นบน
2. บนลงล่าง
3. อื่นๆ (โปรดระบุ) \_\_\_\_\_

6.5 ปริมาณและชนิดของปุ๋ยที่ใช้

| รายการ                                                                                                                           | ปุ๋ยอินทรีย์                                                                                                     | ปุ๋ยเคมี                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) มีการใช้ปุ๋ยหรือไม่                                                                                                          | [ ] ใช้ [ ] ไม่ใช้                                                                                               | [ ] ใช้ [ ] ไม่ใช้                                                                                               |
| (2) ช่วงอายุที่ใช้<br>(เช่น 6-25 ปี เป็นต้น ในกรณีที่แต่ละปี<br>มีการใช้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน โปรดระบุ<br>ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในแต่ละปี) |                                                                                                                  |                                                                                                                  |
| (3) ชนิดของปุ๋ย<br>2.1 _____<br>2.2 _____<br>2.3 _____<br>2.4 _____                                                              | (เช่น ปุ๋ยขี้ไก่, ปุ๋ยคอก เป็นต้น)<br>_____<br>_____<br>_____<br>_____                                           | (เช่น ปุ๋ย 15-15-15, ปุ๋ย DAP เป็นต้น)<br>_____<br>_____<br>_____<br>_____                                       |
| (4) ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม/ไร่/ปี)<br>3.1 _____<br>3.2 _____<br>3.3 _____<br>3.4 _____                                           | _____<br>_____<br>_____<br>_____                                                                                 | _____<br>_____<br>_____<br>_____                                                                                 |
| (5) แหล่งซื้อปุ๋ย                                                                                                                | อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____ | อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____<br>อำเภอ _____ จังหวัด _____ |
| (6) รูปแบบรถที่ใช้ขนส่ง                                                                                                          | _____<br>_____<br>_____<br>_____                                                                                 | _____<br>_____<br>_____<br>_____                                                                                 |

6.6 ปริมาณและชนิดของยากำจัดวัชพืชที่ใช้

| อันดับ | ชนิดของสารเคมี<br>(ชื่อการค้า) | ความหนาแน่น<br>(กิโลกรัม/ลิตร) | ปริมาณการใช้<br>(ลิตร/ไร่/ปี) | ใช้ในช่วงอายุ | แหล่งซื้อสารเคมี<br>(อำเภอ และจังหวัด) | รูปแบบรถ<br>ที่ใช้ในการขนส่ง |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------------------------------|------------------------------|
| 1      |                                |                                |                               |               |                                        |                              |

|   |  |  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|--|
| 2 |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |

หมายเหตุ : การกรอกช่วงอายุ เช่น 1-3 ปี เป็นต้น

#### 6.7 ปริมาณและชนิดของยากำจัดแมลงที่ใช้

| อันดับ | ชนิดของสารเคมี<br>(ชื่อการค้า) | ความหนาแน่น<br>(กิโลกรัม/ลิตร) | ปริมาณการใช้<br>(ลิตร/ไร่/ปี) | ใช้ในช่วงอายุ | แหล่งซื้อสารเคมี<br>(อำเภอ และจังหวัด) | รูปแบบบรรจุ<br>ที่ใช้ในการขนส่ง |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------------------------------|---------------------------------|
| 1      |                                |                                |                               |               |                                        |                                 |
| 2      |                                |                                |                               |               |                                        |                                 |
| 3      |                                |                                |                               |               |                                        |                                 |
| 4      |                                |                                |                               |               |                                        |                                 |
| 5      |                                |                                |                               |               |                                        |                                 |

#### 6.8 สารเคมีเร่งน้ำยาง

| อันดับ | ชนิดของสารเคมี<br>(ชื่อการค้า) | ความหนาแน่น<br>(กิโลกรัม/ลิตร) | ปริมาณการใช้<br>(ลิตร/ไร่/ปี) | ใช้ในช่วงอายุ | แหล่งซื้อสารเคมี<br>(อำเภอ และจังหวัด) | รูปแบบบรรจุ<br>ที่ใช้ในการขนส่ง |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------------------------------|---------------------------------|
| 1      |                                |                                |                               |               |                                        |                                 |
| 2      |                                |                                |                               |               |                                        |                                 |
| 3      |                                |                                |                               |               |                                        |                                 |
| 4      |                                |                                |                               |               |                                        |                                 |
| 5      |                                |                                |                               |               |                                        |                                 |

#### 6.9 การใช้น้ำ (เลือกจากหัวข้อต่อไปนี้)

- มีการใช้น้ำหรือไม่      ☐ มี      ☐ ไม่มี
- แหล่งน้ำที่ใช้ในการให้น้ำ      ☐ น้ำผิวดิน      ☐ น้ำบาดาล      ☐ น้ำประปา
- รอบการให้น้ำ      ☐ ทุกวัน      ☐ ทุกๆ 2 วัน      ☐ อื่นๆ .....
- วิธีการให้น้ำ
  - ☐ ใช้แรงงานคนในการรดน้ำ
  - ☐ ปล่อยตามราง โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง
  - ☐ ใช้เครื่องสูบ (โปรดระบุรายละเอียดในตาราง)
  - ☐ ใช้เครื่องปั้มน้ำ (โปรดระบุรายละเอียดในตาราง)

| อันดับ | ชนิดของเครื่องจักร | กำลังม้า | กรณีที่ 1<br>ใช้เชื้อเพลิงเป็นต้นกำลัง |                               | กรณีที่ 2<br>ใช้ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง |                                   | น้ำมันเครื่อง<br>(ลิตร/ไร่/ปี) |
|--------|--------------------|----------|----------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
|        |                    |          | ชนิดน้ำมัน                             | ปริมาณน้ำมัน<br>(ลิตร/ไร่/ปี) | ไฟฟ้า(กิโลวัตต์)                  | จำนวนชั่วโมงที่<br>ใช้ต่อไร่ต่อปี |                                |
| 1      | เครื่องสูบ         |          | <input type="checkbox"/> เบนซิน        |                               |                                   |                                   |                                |

|   |                |  |           |  |  |  |  |
|---|----------------|--|-----------|--|--|--|--|
|   |                |  | [ ] ดีเซล |  |  |  |  |
| 2 | เครื่องปั้มน้ำ |  |           |  |  |  |  |
| 3 |                |  |           |  |  |  |  |
| 4 |                |  |           |  |  |  |  |
| 5 |                |  |           |  |  |  |  |

6.10 ปริมาณน้ำยางที่ได้

น้ำยาง.....กิโลกรัม/ไร่/ปี (น้ำหนักแห้ง) ; DRC.....

ขี้ยาง.....กิโลกรัมปี/ไร่/ ; %DRC.....

6.11 ภาชนะที่ใช้รองรับน้ำยาง (เลือกจากหัวข้อต่อไปนี้)

[ ] น้ำยางสด

[ ] ยางก้อนถ้วย ,DRC%.....

[ ] ยางแผ่นดิบ

ภาคผนวก ซ

เอกสารอ้างอิงประกอบการวิจัย

# Water and energy footprints of bioenergy crop production on marginal lands

A. K. BHARDWAJ\*†, T. ZENONE\*†, P. JASROTIA\*†, G. P. ROBERTSON\*†§, J. CHEN\*† and S. K. HAMILTON\*†¶

\*Great Lakes Bioenergy Research Center, Michigan State University, East Lansing, MI 48824, USA, †W.K. Kellogg Biological Station, Michigan State University, Hickory Corners, MI 49060, USA, ‡Department of Environmental Sciences, University of Toledo, Toledo, OH 43606, USA, §Department of Crop and Soil Sciences, Michigan State University, East Lansing, MI 48824, USA, ¶Department of Zoology, Michigan State University, East Lansing, MI 48824, USA

## Abstract

Water and energy demands associated with bioenergy crop production on marginal lands are inextricably linked with land quality and land use history. To illustrate the effect of land marginality on bioenergy crop yield and associated water and energy footprints, we analyzed seven large-scale sites (9–21 ha) converted from either Conservation Reserve Program (CRP) or conventional agricultural land use to no-till soybean for biofuel production. Unmanaged CRP grassland at the same location was used as a reference site. Sites were rated using a land marginality index (LMI) based on land capability classes, slope, soil erodibility, soil hydraulic conductivity, and soil tolerance factors extracted from a soil survey (SSURGO) database. Principal components analysis was used to develop a soil quality index (SQI) for the study sites based on 12 soil physical and chemical properties. The water and energy footprints on these sites were estimated using eddy-covariance flux techniques. Aboveground net primary productivity was inversely related to LMI and positively related to SQI. Water and energy footprints increased with LMI and decreased with SQI. The water footprints for grain, biomass and energy production were higher on lands converted from agricultural land use compared with those converted from the CRP land. The sites which were previously in the CRP had higher SQI than those under agricultural land use, showing that land management affects water footprints through soil quality effects. The analysis of biophysical characteristics of the sites in relation to water and energy use suggests that crops and management systems similar to CRP grasslands may provide a potential strategy to grow biofuels that would minimize environmental degradation while improving the productivity of marginal lands.

**Keywords:** Eddy covariance flux, land capability, land marginality index, land use suitability, net primary productivity, soil erodibility, soil quality index

Received 9 July 2010; revised version received 25 September 2010 and accepted 29 September 2010

## Introduction

Recently, marginal lands have been proposed as viable areas for growing biofuels using mixed prairie grasses (Tilman *et al.*, 2006), switchgrass (*Panicum virgatum*), Miscanthus (*Miscanthus giganteus*), and various other plant species that may be more tolerant of adverse conditions than conventional food crops. While production of biofuels, in general, has been questioned on

ecological (e.g. Chapin *et al.*, 2000; Searchinger *et al.*, 2008) as well as socioeconomic grounds (e.g. Pimentel & Patzek, 2005), there is general consensus that the ecological footprints of biofuels depend on the type of feedstock and the type of land. For example, Robertson *et al.* (2008, 2010) suggested that growing cellulosic biofuels on degraded lands or environmentally vulnerable crop lands could increase carbon sequestration and improve water quality. Searchinger *et al.* (2008) suggested that cellulosic biofuels would increase greenhouse gas emissions by 50% if grown on US corn lands, while Fargione *et al.* (2008) noted that growing them on degraded and abandoned lands might incur little or no carbon debt.

Correspondence: A. K. Bhardwaj, W.K. Kellogg Biological Station, 3700 E. Gull Lake Drive, Hickory Corners, MI 49060, USA, tel. +1 269 753 5350, fax +1 269 671 2104, e-mail: ajay@msu.edu

Marginal lands are considered unfit for prime agricultural use because of poor land quality characteristics (United Nations Statistical Division (UNSD), 1997). Although the concept of marginality encompasses bio-physical and social dimensions, it commonly focuses on bio-physical aspects with the assumption that socioeconomic marginality originates from bio-physical limitations. And while there is no single best indicator of land quality, a number of indicators have been used earlier such as soil productivity (or suitability) for crop growth, land capability classification (Hardie & Parks, 1997), and specific soil characteristics such as water-holding capacity (Lichtenberg, 1989; Wu and Brorsen, 1995).

Land quality primarily determines the allocation of land to agricultural use. For example, in the United States, lands enrolled in the Conservation Reserve Program (CRP) are typically of lower quality (either lower productivity or at higher risk of environmental degradation) compared with other lands in the same geographic area (Lubowski *et al.*, 2006). CRP is a cost-share and land rental program in the United States that converts highly erodible or otherwise environmentally sensitive crop land to noncrop vegetation.

Land quality is also not an absolute function but must be assessed in relation to the specific land use that one has in mind (Sombroek, 1997). Various land qualities in relation to crop growth, animal production, forest productivity, and input management levels are provided in a framework of land evaluation by FAO (1976). Among these, land qualities for crop productivity include characteristics such as moisture and nutrient availability, resistance to soil erosion, and soil workability for farming operations. Similarly, soil quality, which is a component of land quality, is defined in terms of the capacity of a soil to perform specific functions in relation to human needs or purposes, including maintaining environmental quality and sustaining plant and animal production (Lal, 1998).

Soil quality derives from a variety of particular physical, chemical, and biological properties that support crop growth (Mausbach & Seybold, 1998). Some properties are characterized by optimum levels, and deviation from these optima is associated with reduced soil quality. In addition to soil properties, other characteristics also play a critical role in determining land quality, including aspects of terrain and climate. On any particular parcel of land, some properties of soil and other resources may limit land quality while others do not. Two soil-based measures that are commonly used in the United States to assess the quality of land for agricultural purposes are the Land Capability Classification (USDA, 1973) and USDA's 'prime farmland' designation (Magleby, 2002). The Land Capability Classification system ranks land according to its suitability for crop production based on soil criteria, such as

depth and fertility, climate, wetness, and susceptibility to erosion (Heimlich, 1989), and the prime farm land has the best physical and chemical characteristics for crop growth including an adequate and dependable water supply.

In addition to land quality, policy has a large effect on the land use decisions and the resulting consequences for ecosystem goods and services (Robertson & Swinton, 2005). Land quality and land use have a direct relationship with environmental characteristics and processes, including the productivity of the land, species diversity, biogeochemistry, and the hydrologic cycle. If policies are not carefully designed and implemented, a particular land use may yield minimal gain in the ecosystem services of interest and may even diminish production of other services (Daily & Matson, 2008; Nelson *et al.*, 2008). For example, the type of land and the intensity of its use can have substantial impact on both the quantity and quality of water in a region. Together with nutrient cycling, water regulation and supply have been rated as some of the most valuable ecosystem services (Swinton *et al.*, 2007) with average global value as high as US\$ 2800 ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> (Costanza *et al.*, 1997). Managing water on a watershed basis helps to address potential impacts of land use change including soil erosion and salinization due to poor land use practices, water flow and storage that may prevent or ameliorate floods and droughts, deterioration of water resources due to increased input of pollutants, and decline in water resources due to excessive use. The relationships between land use and water quality and quantity are also bidirectional. Land management activities have direct impacts on water resources, while water quality and quantity may also influence the selection of land use activities.

To maintain or enhance the ecosystem services associated with marginal lands, it is important to assess the environmental and economic viability of potential land use choices. Such an assessment would help maximize the ecosystem services with economic returns by removing the bottlenecks and developing better management strategies. The aim of the work presented here is to assess land marginality and soil quality impacts on water and energy footprints of soybean production for biodiesel on some newly converted marginal lands in southwest Michigan, and to evaluate the implications of this interaction for better management of land and water resources to maximize ecosystem services.

## Materials and methods

### *Experimental approach*

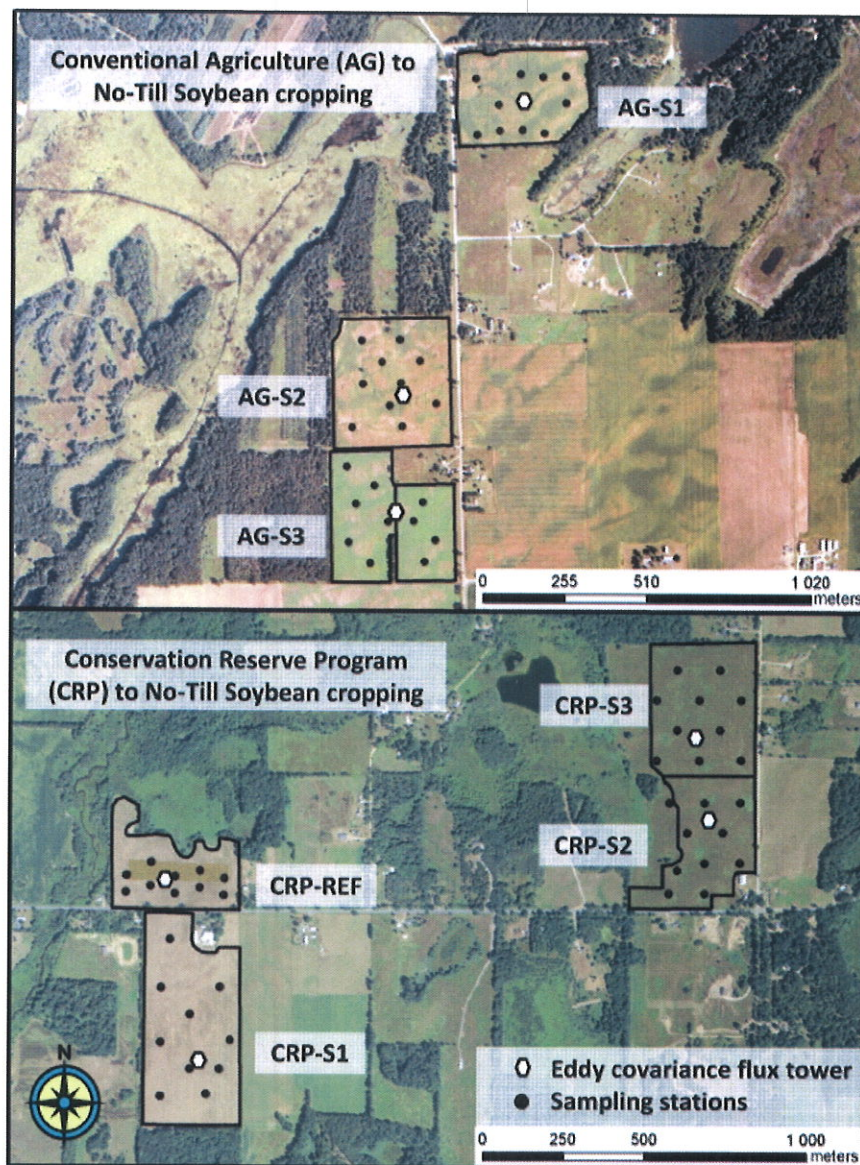
To assess land quality and management effects on the water and energy footprints of bioenergy crop production,

large-scale biofuel production experiments were started by converting two types of land uses (CRP grasslands and active agricultural lands) into soybean production for bioenergy. Over a 1 year period of land conversion and soybean production we measured the water and energy exchange, and its relation to land and soil quality characteristics.

#### Study site and layout

Our study sites were located in southwest Michigan, and constituted seven experimental units of 9–21 ha size

(Fig. 1). The data used for this study are from 2009 when all the sites except a reference no-management site were planted to no-till soybean. Before 2009, three of the sites (AG-S1, AG-S2, AG-S3) were in a corn–soybean rotation for >10 years, while the other three (CRP-S1, CRP-S2, CRP-S3) were enrolled in the CRP of the United States Department of Agriculture (USDA) for the past 20 years. A reference site (CRP-REF) was also under CRP for 20 years and remained dominated by Smooth Brome (*Bromus inermis* Leyss) grass. The three sites converted from CRP lands (and CRP-REF) were maintained fol-



**Fig. 1** Experimental layout of the sites and locations of eddy flux towers. AG-S1, -S2, and -S3 were converted from conventional agriculture to no-till soybean; CRP-S1, -S2, and -S3 were converted from Conservation Reserve Program (CRP) to no-till soybean; CRP-REF was the reference site with continued CRP land use.

**Table 1** Selected characteristics of the soil map units representing the studied sites

| Soil map unit | Soil               | Slope (%) | K    | Depth of surface soil (inches) | LCC   | T | K <sub>s</sub> (μm s <sup>-1</sup> ) |
|---------------|--------------------|-----------|------|--------------------------------|-------|---|--------------------------------------|
| 6C            | Boyer loamy sand   | 6–12      | 0.17 | 9                              | III e | 4 | 57.4                                 |
| 6D            | Boyer loamy sand   | 12–18     | 0.17 | 9                              | IV e  | 4 | 57.4                                 |
| 6E            | Boyer loamy sand   | 18–40     | 0.17 | 9                              | VII e | 4 | 57.4                                 |
| 21            | Houghton Muck      | Flat      |      | 14                             | V e   | 3 | 21.7                                 |
| 22B           | Kalamazoo loam     | 6–12      | 0.32 | 10                             | II e  | 4 | 9.0                                  |
| 22C           | Kalamazoo loam     | 12–18     | 0.32 | 10                             | III e | 4 | 9.0                                  |
| 22D           | Kalamazoo loam     | 18–40     | 0.32 | 10                             | IV e  | 4 | 9.0                                  |
| 31B           | Oshtemo sandy loam | 0–6       | 0.24 | 9                              | III s | 5 | 28.0                                 |
| 31C           | Oshtemo sandy loam | 6–12      | 0.24 | 9                              | III e | 5 | 28.0                                 |
| 31D           | Oshtemo sandy loam | 12–18     | 0.24 | 9                              | IV e  | 5 | 28.0                                 |
| 31E           | Oshtemo sandy loam | 18–40     | 0.24 | 9                              | VII e | 5 | 28.0                                 |

LCC, land capability class and sub class; K, soil erosion factor; T, erosion tolerance factor; K<sub>s</sub>, saturated hydraulic conductivity (0–50 cm depth).

lowing CRP management criteria in Smooth Brome grass before conversion. Historically, all seven sites were in either row crops or pasture for at least the past 72 years (based on occasional aerial photos) and cultivated every year for the past 40 years (Michigan land use survey maps). Soils at the sites developed on glacial outwash and are Typic Hapludalfs of the Kalamazoo (fine-loamy), Oshtemo (coarse-loamy), and Boyer (loamy sand) series. Climate is temperate with cool, moist winters and warm, humid summers. The area receives approximately 900 mm of annual precipitation, with about half as snow. Average annual temperature is 9.7 °C. Selected characteristics of the SSURGO soil map units representing the sites are summarized in Table 1.

#### Site preparation and management

In May 2009, before planting soybean, all vegetation on the three converted CRP sites was killed using glyphosate (N-phosphonomethyl, Syngenta, Greensboro, NC, USA) with a nonionic surfactant (0.35 L ha<sup>-1</sup>) and ammonium sulfate (1.5 kg ha<sup>-1</sup>) for effectiveness. Herbicide was applied using a pull type sprayer (Demco Dethmers MFG Company, Boyden, IA, USA) equipped with a monitor sprayer control, SCS 4400 (Raven Manufacturers, Omaha, NE, USA). Soybean cultivar 92M91 with genetically engineered Glyphosate resistance was planted on day of year (DOY) 160 (CRP-S1, CRP-S2, CRP-S3) and 161–162 (AG-S1, AG-S2, AG-S3) using a no-till planter.

#### Eddy-covariance measurement of evapotranspiration (ET)

The turbulent exchange of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O between the vegetation canopy and atmosphere was measured

using eddy-covariance flux methods (Lee *et al.*, 2004). A 3-m high tower was located close to the center of each site. The footprint of each eddy covariance tower extended about 150–200 m radius in the upwind direction around the tower. The eddy-covariance system on each tower consisted of a LI-7500 open-path infrared gas analyzer (IRGA) (Li-Cor Biosciences, Lincoln, NE, USA), a CSAT3 three-dimensional sonic anemometer (Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA), and a CR5000 data logger (Campbell Scientific Inc.). The LI-7500 was calibrated every 4 months using zero-grade nitrogen gas. A LI-610 dew-point generator (Li-Cor Biosciences) and (Scott Marrin Inc., Riverside, CA, USA) CO<sub>2</sub> standards were used for setting H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> spans, respectively.

The 30-min mean flux of latent heat was computed as the covariance of vertical wind speed and water concentration, after correcting sonic temperatures for humidity and pressure (Schotanus *et al.*, 1983). The coordinate system was corrected using the formulation of Leuning (2004) in the planar fit coordinate system (Wilczak *et al.*, 2001), which was defined from the entire year's mean wind data using the EC-processor (<http://research.eescience.utoledo.edu/lees/ECP/ECP.html>; Noormets *et al.*, 2008). Data quality was assessed using stationarity and stability criteria (Foken & Wichura, 1996). Thirty minute averages of latent heat was summed to a daily value after discarding latent heat fluxes >800 and <–250 W m<sup>-2</sup>. Daily evapotranspiration (ET) in mm day<sup>-1</sup> was derived by dividing the latent heat by the water vaporization constant.

The gross primary productivity (GPP) was determined by subtracting ecosystem respiration (R<sub>e</sub>) from net ecosystem exchange (NEE). Daytime R<sub>e</sub> were obtained from the nocturnal NEE-temperature rela-

tionship using the partitioning method described in Reichstein *et al.* (2005), which is a standardized flux partitioning technique used by the AmeriFlux and FLUXNET networks.

Soil water content on each of these sites was monitored using an *in situ* time domain reflectometry (TDR) sensor close to the eddy covariance tower. The TDR water sensor was installed vertically from the surface and was 30 cm long. The sensor determined soil water content every 30 min.

#### Soil sampling and analysis

Soil cores (1-m depth) were collected at 10 geo-referenced stations at each site before soybean planting using a hydraulic corer (Geoprobe Systems, Salina, KS, USA). The cores were divided into different depths (0–0.1, 0.1–0.25, 0.25–0.50, 0.50–1.0 m) and analyzed for various physical and chemical characteristics. The data for the 0–0.25 m layer were used for soil quality evaluation. In total, we collected 70 samples from seven experimental sites.

We used 12 soil characteristics important to crop production for development of a soil quality index (SQI). Bulk density (BD) (1) and soil texture (2) were measured by the core methods (Blake & Hartge, 1986) and Bouyoucos hydrometer method (Gee & Bauder, 1986), respectively. Soil aggregate stability (3) (soil stability ratio; SSR) was determined using the high energy moisture characteristics (HEMC) method (Collis-George & Figueroa, 1984; Pierson & Mulla, 1989; Levy & Miller, 1997; Levy & Mamedov, 2002). In the HEMC method, aggregates are wetted either slowly (20 mm h<sup>-1</sup>) or rapidly (100 mm h<sup>-1</sup>), and moisture characteristic curves at high energies (i.e., up to 500 mm H<sub>2</sub>O tension) are measured. Details of this method are provided in Bhardwaj *et al.* (2007). Total soil carbon (4) and nitrogen (5) were determined by dry combustion of dried, ground soil samples using an automatic CN analyzer (Costech Analytical Technologies Inc., Valencia, CA, USA). Other chemical properties including pH (6), cation exchange capacity (CEC) (7), available Phosphorus (P) (8), exchangeable Potassium (K<sup>+</sup>) (9), Calcium (Ca<sup>2+</sup>) (10), and Magnesium (Mg<sup>2+</sup>) (11), were analyzed at Michigan State University's Soil Testing Laboratory. Determination of P was by extraction using Bray-Kurtz P1 (weak acid) solution, while K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> were extracted using 1.0N neutral ammonium acetate. P concentrations were determined by colorimetry with a spectrophotometer (Olsen *et al.*, 1954), and K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> were determined by inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy. Soil pH and electrical conductivity (EC) (12) were measured in a 1:1 soil-to-water suspension with a pH and EC meter, respectively.

#### Soil quality assessment

The first step followed in the soil quality assessment and development of SQI is to define the primary soil function, which in this case is crop productivity, and then to select a minimum dataset (MDS) to represent this function. We used 12 soil parameters for development of the MDS. The data were reduced to MDS through a series of uni- and multivariate statistical methods. Nonparametric statistics (Kruskal–Wallis  $\chi^2$ ) were used to identify indicators with significant differences among sites. Only variables with significant differences among sites ( $P < 0.05$ ) were chosen for the next step in MDS formation. A standardized principal components analysis (PCA) was performed for each statistically significant variable (Andrews & Carroll, 2001; Andrews *et al.*, 2002). Principal components (PCs) are linear combinations of variables that account for maximum variance for a data set; PCs receiving high Eigen values and variables with high factor loading best represent system attributes. Therefore, we examined only PCs with Eigen values  $\geq 1.0$  (Brejda *et al.*, 2000). Within each PC only highly weighted factors (i.e., those with absolute values within 10% of the highest weight) were retained for the MDS. To reduce redundancy and to rule out spurious groupings among the highly weighted variables within PCs, Pearson's correlation coefficients were used to determine the strength of the relationships among variables.

After determining the variables for the MDS, every observation of each MDS indicator was transformed for inclusion in the SQI. A linear scoring technique was followed because of its simplicity of design and because it relies on the observed knowledge of the system (Liebig *et al.*, 2001). Indicators were ranked in the ascending or descending order depending on whether a higher value was considered 'beneficial' or 'detrimental' to primary soil function. For 'higher is better' indicators such as C, each observation was divided by the highest observed value such that the highest observed value received a score of 1. For 'lower is better' indicators, such as BD, the lowest observed value (in the numerator) was divided by each observation (in the denominator) such that the lowest observed value received a score of 1. For those indicators, such as pH, where 'neither higher is better nor lower is better', observations were scored as 'higher is better' up to a threshold value and then scored as 'lower is better' above the threshold value (Liebig *et al.*, 2001).

Once transformed, the MDS variables for each observation were weighted using the PCA results. Each PC explained a certain amount (%) of the variation in the total data set. This percentage, divided by the total percentage of variation explained by all PCs with

eigenvectors  $>1.0$ , provided the weighted factor for variables chosen under a given PC. The SQI was determined as:

$$SQI = \sum_{i=1}^n (W_i \times S_i), \quad (1)$$

where  $W$  is the PC weighting factor and  $S$  is the indicator score for variable  $i$ . In the model, higher index scores indicate better soil quality or greater performance of soil function.

#### Land marginality assessment

Land marginality was assessed by combining five dominant factors in land quality assessment from the standpoints of crop production as well as environmental quality. These factors were land capability class, soil erodibility, slope, hydraulic conductivity and soil tolerance. These constituted five primary land quality characteristics which determine how marginal a land area is for crop/biomass production, in regard to biophysical characteristics. These land characteristics were extracted from Soil Survey Geographic (SSURGO) database for Barry County, Michigan (Soil Survey Staff, 1990). These five characteristics were combined into a land marginality index (LMI) as follows:

$$LMI = \frac{(\text{Land capability factor}) + (\text{site slope factor}) + (\text{soil erodibility factor})}{(\text{Profile conductivity factor}) + (\text{soil tolerance factor})}. \quad (2)$$

The land capability factor (LCF) was calculated as:

$$LCF = \sum_{i=1}^n (C_i A_i), \quad (3)$$

where  $C$  is land capability class number for a soil map unit  $i$  and  $A$  is the area of the site under the soil map unit  $i$ .

The site slope factor (SSF) for the sites was calculated as:

$$SSF = \sum_{i=1}^n (S_i A_i), \quad (4)$$

where  $S$  is the average slope for a soil map unit  $i$ , and  $A$  is the area of the site under the soil map unit  $i$ .

The soil erodibility factor (SEF) for the sites was calculated as:

$$SEF = \sum_{i=1}^n (K_i A_i), \quad (5)$$

where  $K$  is the soil erosion factor for a soil map unit  $i$ , and  $A$  is the area of the site under the soil map unit  $i$ . Soil erosion is one of the most important factors that affects productivity by reducing infiltration, water holding capa-

city, soil biota and even soil depth (Pimentel *et al.*, 1995). The soil erosion factor indicates the susceptibility of a soil to sheet and rill erosion by water. It is one of six factors used in the universal soil loss equation (USLE) and the revised universal soil loss equation (RUSLE) to predict the average annual rate of soil loss by sheet and rill erosion (Renard *et al.*, 1991). Values of  $K$  range from 0.02 to 0.69. Other factors being equal, the higher the value for  $K$ , the more susceptible the soil is to sheet and rill erosion by water (<http://websoilsurvey.nrcs.usda.gov/>).

The profile conductivity factor (PCF) for the sites was calculated as:

$$PCF = \sum_{i=1}^n (K_{s_i} A_i), \quad (6)$$

where  $K_s$  is the representative saturated hydraulic conductivity for a soil map unit  $i$ , and  $A$  is the area of the site under the soil map unit  $i$ .

The soil tolerance factor (STF) for the sites was calculated as:

$$STF = \sum_{i=1}^n (T_i A_i), \quad (7)$$

where  $T$  is the erosion tolerance factor for the soil map unit  $i$ , and  $A$  is the area of the site under the soil map unit  $i$ . The erosion tolerance factor  $T$  is an estimate of the

maximum average annual rate of soil erosion by wind and/or water that can occur without affecting crop productivity over a sustained period (Renard *et al.*, 1991). The rate is in tons per acre per year.

Finally, for inclusion in the LMI, each of these factors was normalized to the highest observed value at our study sites by dividing each observation by the highest observed value.

#### Net primary productivity and crop yields

Aboveground net primary production (ANPP) was estimated as the annual maximum plant biomass accumulation. Plant biomass was measured by quantifying the peak dry mass of plants per unit area in each treatment in late September. We sampled by clipping plants within a 1 m<sup>2</sup> area at 10 geo-referenced sampling stations at each site. The crop plants were further separated into grain and stover. The biomass was dried at 60 °C for at least 48 h and weighed. The peak grain plus stover biomass was used for footprint calculations. Crop yields were also determined by harvesting

soybeans on each site using a JD 9410 combine with a global positioning system (John Deere Inc., Moline, IL, USA). This area-weighted grain yield was used for determining the harvestable yield potential of the sites.

#### Water and energy footprints

Water and energy footprints of the soybean production for biofuels were calculated as follows. Water footprint is the volume of water used to produce a product, in our case either grain or total biomass (ANPP).

$$\text{Water footprint (grain)} = \frac{\text{Crop water use (m}^3\text{)}}{\text{Grain yield (Mg)}}, \quad (8)$$

$$\text{Water footprint (ANPP)} = \frac{\text{Crop water use (m}^3\text{)}}{\text{ANPP (Mg)}}, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{Water footprint (energy)} \\ = \frac{\text{Crop water use (m}^3\text{)}}{\text{Biodiesel energy produced (GJ)}}, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{Water use efficiency (grain)} \\ = \frac{\text{Grain yield (kg)}}{\text{Crop water use (m}^3\text{)}}, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{Water use efficiency (net photosynthesis)} \\ = \frac{\text{Gross primary productivity (kg)}}{\text{Crop water use (m}^3\text{)}}, \end{aligned} \quad (12)$$

where crop water use was determined from the total ET as estimated using eddy covariance fluxes.

The energy indices were computed as:

$$\text{Energy efficiency} = \frac{\text{Total energy output (kW h-out)}}{\text{Total energy input (kW h-in)}}, \quad (13)$$

$$\text{Energy productivity} = \frac{\text{Grain yield (kg)}}{\text{Total energy input (kW h)}}, \quad (14)$$

$$\text{Specific energy} = \frac{\text{Total energy input (kW h)}}{\text{Grain yield (kg)}}. \quad (15)$$

Total energy input included the use of fertilizer, seed, pesticide, and diesel for all operations. The total energy output included biodiesel energy produced. The total energy output was calculated from biodiesel yield from each site using bioenergy conversion factors recommended by the Oak Ridge National Laboratory (ORNL)

and available at: [http://bioenergy.ornl.gov/papers/misc/energy\\_conv.html](http://bioenergy.ornl.gov/papers/misc/energy_conv.html) (accessed 21 April 2010).

#### Statistical analysis

The selection of MDS and the PCA for SQI development was performed using SPSS (1998). Yield and productivity were analyzed statistically using SAS Institute. (2004). All parameters were tested using a one-way analysis of variance (ANOVA) and separation of means was subjected to Tukey's honestly significant difference test (Steel & Torrie, 1960). Correlation analysis was conducted to identify relationships between the measured parameters. All tests were performed at the 0.05 significance level.

#### Results

During the period of this study the annual average air temperature was 8.5 °C and the precipitation was 920 mm, which tends to be evenly distributed throughout the year. The maximum daily photosynthetically active radiation was recorded during the summer season between 11:00 and 14:00 h, with an average value of 800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . The meteorology of this period represented an average year.

#### SQI

There were significant differences in the soil physical and chemical properties of the studied sites (Table 2). On average, BD was 0.1–0.3  $\text{Mg m}^{-3}$  higher at historically agricultural sites (AG) compared with sites which had been enrolled in the CRP. There were significant differences in soil pH among the sites. The SSR, an indicator of aggregate stability, was also higher in CRP compared with AG. CRP lands also were higher in available P, exchangeable  $\text{K}^+$ , total carbon (C) and total nitrogen (N). Ammonium nitrogen ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) and nitrate-nitrogen ( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ) contents were more than double in the CRP compared with AG. On the other hand,  $\text{Ca}^{2+}$  and Magnesium  $\text{Mg}^{2+}$  contents were higher in AG, possibly due to practice of adding lime which is prevalent in the region on agricultural lands and was also practiced on these AG.

The nonparametric test of soil properties of the sites revealed that out of 12 soil variables, 11 variables were significantly different among the sites at  $P < 0.01$  (Table 2). For SQI development these 11 variables were selected for PCA. In the PCA of 11 variables, three PCs had Eigen values  $> 1$  and explained 77% of the variance in the data (Table 3). Highly weighted variables (those within absolute 10% of the highest weight of factor loading in each PC) under PC1 included C, N, and

**Table 2** Soil physical and chemical properties that were used for the minimum data set (MDS) selection process for the soil quality index (SQI) development

| Treatment*            | BD                  | SSR                  | pH                  | P                  | K <sup>+</sup>     | Ca <sup>2+</sup>   | Mg <sup>2+</sup>   | C                   | N                   | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N |
|-----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| AG-S1                 | 1.55 <sup>bc†</sup> | 0.54 <sup>bcd</sup>  | 6.04 <sup>abc</sup> | 29.0 <sup>e</sup>  | 72.7 <sup>b</sup>  | 1.14 <sup>a</sup>  | 127.5 <sup>b</sup> | 14.20 <sup>c</sup>  | 1.32 <sup>d</sup>   | 0.13 <sup>b</sup>               | 0.07 <sup>a</sup>               |
| AG-S2                 | 1.73 <sup>a</sup>   | 0.50 <sup>d</sup>    | 6.14 <sup>abc</sup> | 35.2 <sup>de</sup> | 95.7 <sup>b</sup>  | 1.22 <sup>a</sup>  | 179.7 <sup>a</sup> | 13.70 <sup>c</sup>  | 1.34 <sup>d</sup>   | 0.11 <sup>b</sup>               | 0.05 <sup>a</sup>               |
| AG-S3                 | 1.61 <sup>ab</sup>  | 0.53 <sup>cd</sup>   | 5.80 <sup>bc</sup>  | 27.5 <sup>e</sup>  | 71.9 <sup>b</sup>  | 1.13 <sup>a</sup>  | 190.1 <sup>a</sup> | 16.38 <sup>bc</sup> | 1.62 <sup>cd</sup>  | 0.15 <sup>b</sup>               | 0.05 <sup>a</sup>               |
| CRP-S1                | 1.41 <sup>cd</sup>  | 0.83 <sup>a</sup>    | 5.80 <sup>abc</sup> | 85.0 <sup>ab</sup> | 170.1 <sup>a</sup> | 0.94 <sup>ab</sup> | 69.4 <sup>c</sup>  | 30.94 <sup>a</sup>  | 2.79 <sup>a</sup>   | 0.64 <sup>a</sup>               | 0.10 <sup>a</sup>               |
| CRP-S2                | 1.34 <sup>d</sup>   | 0.70 <sup>abc</sup>  | 6.28 <sup>a</sup>   | 56.5 <sup>cd</sup> | 92.3 <sup>b</sup>  | 0.93 <sup>ab</sup> | 57.8 <sup>c</sup>  | 26.39 <sup>a</sup>  | 2.27 <sup>abc</sup> | 0.58 <sup>a</sup>               | 0.08 <sup>a</sup>               |
| CRP-S3                | 1.42 <sup>cd</sup>  | 0.72 <sup>ab</sup>   | 5.72 <sup>c</sup>   | 63.4 <sup>bc</sup> | 110.1 <sup>b</sup> | 0.80 <sup>b</sup>  | 85.7 <sup>c</sup>  | 23.75 <sup>ab</sup> | 2.02 <sup>bcd</sup> | 0.50 <sup>a</sup>               | 0.10 <sup>a</sup>               |
| CRP-REF               | 1.41 <sup>cd</sup>  | 0.65 <sup>abcd</sup> | 6.15 <sup>ab</sup>  | 87.2 <sup>a</sup>  | 181.7 <sup>a</sup> | 1.10 <sup>ab</sup> | 89.4 <sup>bc</sup> | 30.59 <sup>a</sup>  | 2.69 <sup>ab</sup>  | 0.50 <sup>a</sup>               | 0.09 <sup>a</sup>               |
| <i>P</i> < $\alpha$ † | <0.0001             | 0.0013               | 0.0020              | <0.0001            | <0.0001            | 0.0002             | <0.0001            | <0.0001             | <0.0001             | <0.0001                         | 0.0012                          |

\*AG-S1, -S2, -S3, no-till agriculture to no-till soybean land use change; CRP-S1, -S2, -S3, Conservation Reserve Program (CRP) land to no-till soybean land use change; CRP-REF, reference site with continued CRP land use.

†For a soil property, treatments followed by same letters are not significantly different at *P* < 0.01.

‡ $\alpha$  Level of significance of Kruskal–Wallis test.

BD, bulk density (Mg m<sup>-3</sup>); SSR, soil stability ratio; P, available phosphorus (kg ha<sup>-1</sup>); K<sup>+</sup>, exchangeable potassium (kg ha<sup>-1</sup>); Ca<sup>2+</sup>, calcium (Mg ha<sup>-1</sup>); Mg<sup>2+</sup>, magnesium (kg ha<sup>-1</sup>); C, soil carbon (g kg<sup>-1</sup>); N, soil nitrogen (g kg<sup>-1</sup>); NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, ammonium nitrogen (mg kg<sup>-1</sup>); NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, nitrate nitrogen (mg kg<sup>-1</sup>).

**Table 3** Results of principal components (PC) analysis of statistically significant soil quality indicators

| Statistical parameter           | PC1                         | PC2    | PC3    |
|---------------------------------|-----------------------------|--------|--------|
| Eigen value                     | 5.80                        | 1.546  | 1.14   |
| % of variance                   | 52.74                       | 14.05  | 10.36  |
| Cumulative percent              | 52.74                       | 66.79  | 77.16  |
| Soil parameter*                 | Factor loading/Eigen Vector |        |        |
| SSR                             | 0.663                       | -0.408 | -0.048 |
| pH                              | -0.027                      | 0.176  | 0.890† |
| BD                              | -0.643                      | 0.364  | -0.108 |
| C                               | 0.869†                      | -0.277 | -0.032 |
| N                               | 0.897†                      | -0.201 | -0.055 |
| P                               | 0.776                       | -0.395 | 0.250  |
| K <sup>+</sup>                  | 0.866†                      | 0.230  | -0.091 |
| Ca                              | -0.073                      | 0.951† | 0.156  |
| Mg                              | -0.380                      | 0.786  | 0.002  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | 0.733                       | -0.559 | 0.170  |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | 0.235                       | -0.514 | 0.539  |

\*SSR, soil stability ratio; BD, bulk density (Mg m<sup>-3</sup>); C, soil carbon (g kg<sup>-1</sup>); N, soil nitrogen (g kg<sup>-1</sup>); P, available phosphorus (kg ha<sup>-1</sup>); K<sup>+</sup>, exchangeable potassium (kg ha<sup>-1</sup>); Ca<sup>2+</sup>, calcium (kg ha<sup>-1</sup>); Mg<sup>2+</sup>, magnesium (kg ha<sup>-1</sup>); NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, ammonium nitrogen (mg kg<sup>-1</sup>); NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, nitrate nitrogen (mg kg<sup>-1</sup>).

†Factor loadings are considered highly weighted when within 10% of variation of the absolute values of the highest factor loading in each PC.

K<sup>+</sup>. Pearson's correlation coefficients for the highly weighted variables under different PCs were determined separately to reduce the redundancy among the variables. Ca<sup>2+</sup> and pH showed highest weighted values in PC2 and PC3, respectively. The final MDS thus

included C, N, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and pH, indicating that the most significant differences in the soils of the sites were in their C content and nutrient availability.

These five variables were selected for developing the SQI. The selected MDS variables for each site were transformed using linear scoring functions. Among the selected soil characteristics, C, N, and K<sup>+</sup> were considered as 'the higher the better'. For pH, neutral (7.0) was considered desirable and therefore it was also taken as 'the higher the better' because all values were <7.0. Therefore, for all of the selected soil properties, the parameter values for all sites were divided by the highest value, such that the site with highest value received a score of 1 and all other values were normalized to it. The coefficient of 'weighting factor' for the variables in PC1 (C, N, K<sup>+</sup>) was 0.684, and it was 0.182 for PC2 (Ca<sup>2+</sup>), and 0.132 for PC3 (pH). The SQI was highest for the CRP-REF and CRP-S1 sites, and all of the CRP sites had higher SQIs than the AG sites (Fig. 2). At all sites the soil available N made the highest contribution to SQI, followed by C and K<sup>+</sup>.

### LMI

There were significant differences between historically agricultural (AG-S1, AG-S2, AG-S3) and conservation reserve (CRP-S1, CRP-S2, CRP-S3, CRP-REF) sites in the SEF, SSF, STF and LCF (Fig. 3). The SEF was higher in AG compared with CRP, while SSF was higher in the more topographically variable CRP landscapes. The LCF was highest for AG-S1 and lowest for CRP-REF site. The LMI, which combines these factors, was higher for AG (LMI = 1.3–1.5) compared with CRP sites (LMI = 0.8–1.2) (Fig. 4).

*ET and consumptive water use*

The cumulative ET during the growing season from soybean emergence to harvest is presented in Fig. 5.

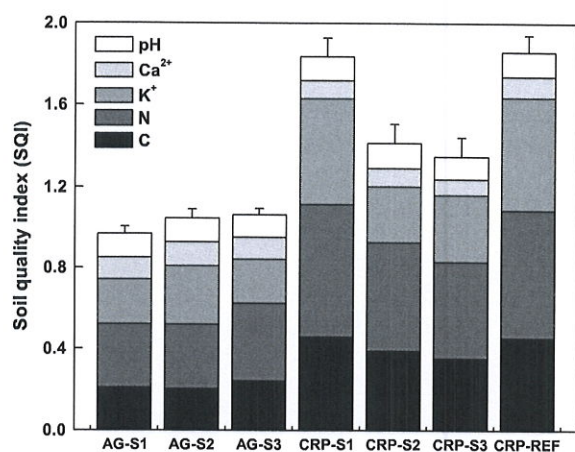


Fig. 2 Soil quality index (SQI) for the sites. Error bars indicate  $\pm 1$  SD. AG-S1, -S2, -S3, conventional agriculture to no-till soybean land use change; CRP-S1, -S2, -S3, Conservation Reserve Program (CRP) land to no-till soybean land use change; CRP-REF, reference site with continued CRP land use.

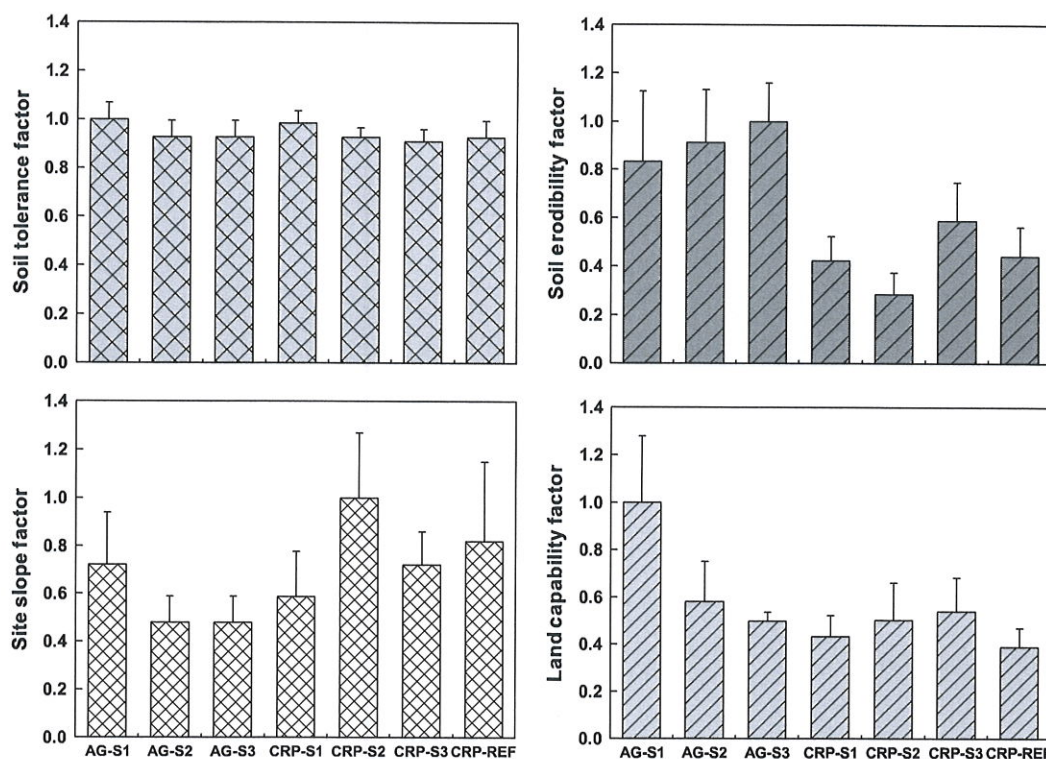


Fig. 3 Selected factors included in the land marginality index (LMI) developed for the sites. Error bars indicate  $\pm 1$  SD for soil map unit on a site. AG-S1, -S2, -S3, conventional agriculture to no-till soybean land use change; CRP-S1, -S2, -S3, Conservation Reserve Program (CRP) land to no-till soybean land use change; CRP-REF, reference site with continued CRP land use.

Prior to emergence of the crop (late May to early June), the ET gradually increased with available solar energy (data not presented). After emergence of crop canopy, ET began increasing rapidly (DOY = 190–260). There was a steady increase in ET for all sites, except AG-S2 and CRP-S2, from first trifoliolate (V1) to initial seedling stage (V5). The peak ET ranged from 3 to 6 mm day<sup>-1</sup> for the soybean sites compared with CRP-REF where it peaked at ~4 mm day<sup>-1</sup>. The ET values began declining from initial maturity (V6) to full maturity (V8) stage until harvesting at DOY 306.

The total water evapotranspired (crop water use) by the soybean crop varied considerably among the six fields planted in soybeans (Fig. 5). The site AG-S2 had the least consumptive water use followed by CRP-REF and CRP-S2. One of the most probable ways in which land marginality is associated with inferior crop growth and ET is lower soil water availability during the growing season. Measurements of soil water content show that the CRP sites (CRP-S1, CRP-S2 and CRP-S3) maintained higher soil water content than AG sites (AG-S1, AG-S2 and AG-S3) until the middle of the growing season (Fig. 6). On the other hand close to maturity the AG sites maintained higher soil water compared with CRP, until the end of the year. Main-

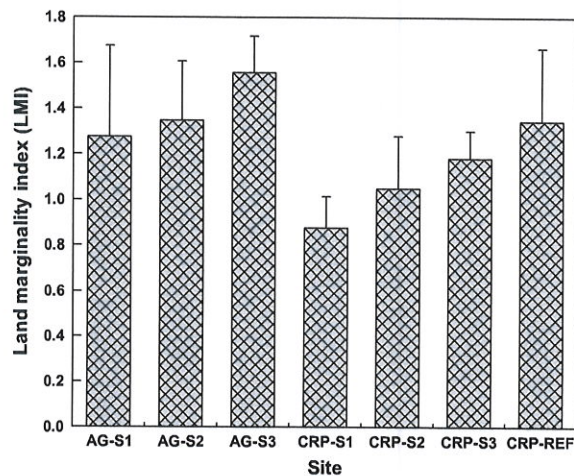


Fig. 4 Land Marginality Index (LMI) for the sites. Error bars indicate  $\pm 1$  SD for soil map unit on a site. AG-S1, -S2, -S3, conventional agriculture to no-till soybean land use change; CRP-S1, -S2, -S3, Conservation Reserve Program (CRP) land to no-till soybean land use change; CRP-REF, reference site with continued CRP land use.

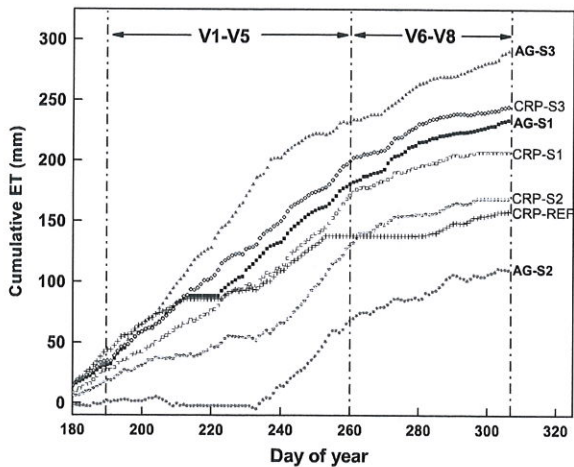


Fig. 5 Changes in cumulative evapotranspiration (ET) of soybeans over the growing period on the sites. AG-S1, -S2, -S3, conventional agriculture to no-till soybean land use change; CRP-S1, -S2, -S3, Conservation Reserve Program (CRP) land to no-till soybean land use change; CRP-REF, reference site with continued CRP land use. V1 = first trifoliate stage, V5 = initial seedling stage, V6 = initial maturity stage, V8 = full maturity stage.

taining higher soil water indicates suitable conditions for crop growth and less effect of drought periods on crop growth and productivity. Since there was only one soil water sensor per site, close to the flux tower, it serves only as a very general indication of land and soil quality effects.

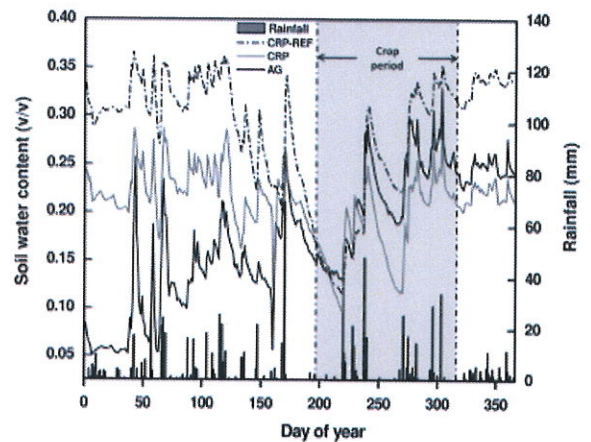


Fig. 6 Average daily soil water content for the sites based on samples taken from 0 to 0.25 m. AG-S, conventional agriculture to no-till soybean land use change; CRP-S, Conservation Reserve Program (CRP) land to no-till soybean land use change; CRP-REF, reference site with continued CRP land use.

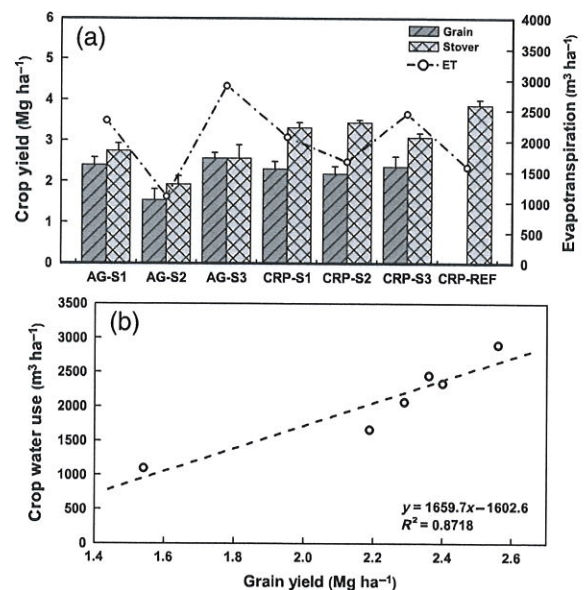


Fig. 7 Total crop water use and soybean biomass yields from the sites. AG-S1, -S2, -S3, conventional agriculture to no-till soybean land use change; CRP-S1, -S2, -S3, Conservation Reserve Program (CRP) land to no-till soybean land use change; CRP-REF, reference site with continued CRP land use.

### Yield and productivity

The soybean ANPP was closely related to the crop water use (Fig. 7). Site AG-S3 had the highest grain yield followed by AG-S1 and CRP-S3. Site AG-S2 had the least grain yield as well as crop water use. Similar trends were not evident in the stover yield. The CRP sites (CRP-S1, -S2, -S3) had comparatively higher stover

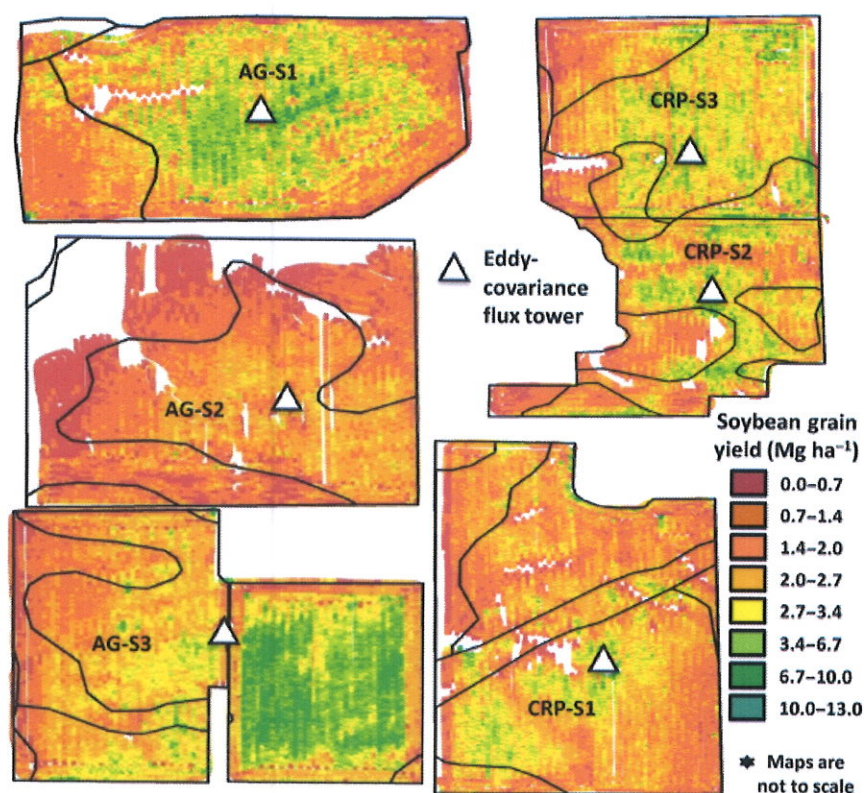


Fig. 8 Harvested soybean grain yield maps of the sites showing spatial variability of productivity. AG-S1, -S2, -S3, conventional agriculture to no-till soybean land use change; CRP-S1, -S2, -S3, Conservation Reserve Program (CRP) land to no-till soybean land use change; CRP-REF, reference site with continued CRP land use. The contoured lines within a site indicate the boundaries of SSURGO soil map units.

yields than the AG sites. The actual harvesting patterns and spatial distribution of grain yield on the sites provided a better indication of how marginality characteristics (land capability class, slope, soil erodibility, erosion tolerance and hydraulic conductivity) interacted with grain productivity (Fig. 8). For example, site AG-S1 had higher LMI than AG-S2, but the productivity on AG-S2 was very low compared with AG-S1. The AG-S2 site was largely affected by sheet and rill (turning into gullies) erosion which was well indicated by the site's erodibility and tolerance factors.

The three way analysis of the interactions of the LMI and SQI with ANPP indicated a direct relationship between ANPP and SQI, and an inverse relationship between ANPP and LMI (Fig. 9). To a lesser extent the relationship was also affected by the management history of the sites. The CRP sites had higher ANPP than the AG sites which was also indicative of the former's higher soil quality (Figs 2 and 4).

#### Water and energy footprints

The water footprints of the soybean crops were related directly with LMI and indirectly with SQI. As LMI

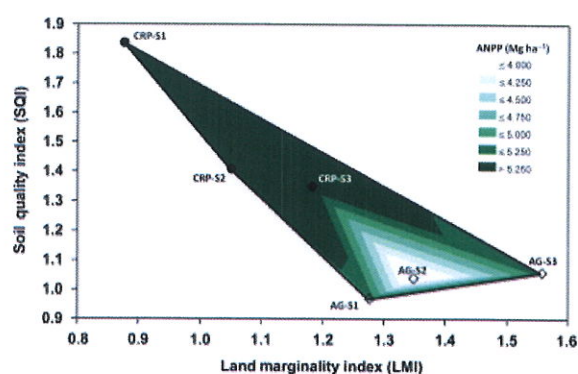


Fig. 9 Contour map of the interactions between aboveground net primary productivity (ANPP), soil quality index (SQI) and land marginality index (LMI). AG-S1, -S2, -S3, conventional agriculture to no-till soybean land use change; CRP-S1, -S2, -S3, Conservation Reserve Program (CRP) land to no-till soybean land use change; CRP-REF, reference site with continued CRP land use.

increased the water footprint (of total biomass production) increased, while the footprints decreased with increased soil quality (Fig. 10). The water footprint also changed based on whether grain production (for bio-

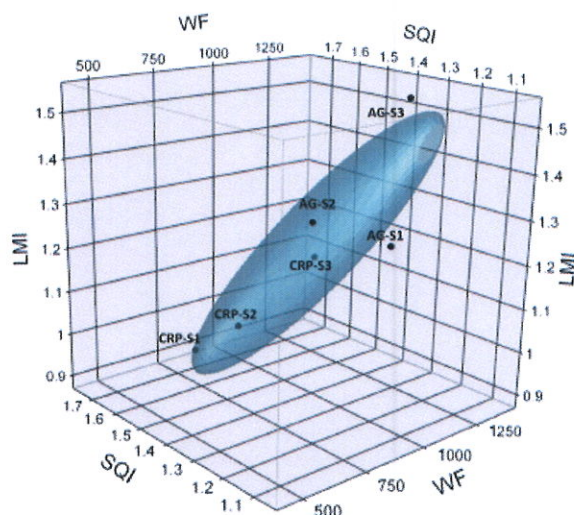
diesel) or total biomass was considered as the end product. There were combined effects of LMI and SQI on the water use efficiency and energy efficiency (Table 4). Water use efficiencies based on net photosynthesis, grain yield and total biomass were highest in CRP-S2 and AG-S2 and lowest in AG-S3. There was very close agreement between the water use efficiency based on total biomass produced and the one

based on the GPP determined using eddy-covariance measurements.

The AG sites had larger water footprints compared with CRP sites considering crop water use per unit ANPP. The site CRP-S3 had the largest water footprint per unit energy output (from biodiesel;  $172.3 \text{ m}^3 \text{ GJ}^{-1}$ ) among CRP sites, and AG-S3 had largest ( $157.6 \text{ m}^3 \text{ GJ}^{-1}$ ) among AG sites (Table 4). The energy efficiency of all the sites for biofuel production was very low. The only site with energy efficiency higher than one (i.e., net positive energy yield) was AG-S3. The main reason for energy efficiency lower than one during the first year of conversion was because of the use of a large quantity of herbicide on these sites. This initial high-energy input will not be present in subsequent years (Table 4). Although there were no significant interactions between the energy productivity, and land and soil quality, in general the energy productivity of the CRP sites was lower than the AG sites, perhaps due to the same reason (Table 4).

## Discussion

We found significant interactions between land quality indices (SQI and LMI) and water as well as energy footprints on the studied sites. The land under CRP had significantly higher land quality in terms of both soil physical (BD, SSR) and chemical (C, N,  $\text{K}^+$ ) characteristics. Water and energy footprints, in general, increased with marginality characteristics. The total biomass produced (ANPP) and grain yield decreased with decreased land quality. Although the extent (but not direction) may vary regionally, marginal lands used to grow biofuels are likely to have bigger water and energy footprints (Fig. 10).



**Fig. 10** Interrelationships of water footprints (WF;  $\text{m}^3 \text{ Mg}^{-1}$ ) with the soil quality index (SQI) and Land Marginality Index (LMI) on the studied sites. AG-S1, -S2, -S3, conventional agriculture to no-till soybean land use change; CRP-S1, -S2, -S3, Conservation Reserve Program (CRP) land to no-till soybean land use change; CRP-REF, reference site with continued CRP land use.

**Table 4** Water and energy footprints of soybean crops on the study sites

| Treatment* | Water use efficiency (net photosynthesis) ( $\text{kg m}^{-3}$ ) | Water use efficiency (grain; biomass) ( $\text{kg m}^{-3}$ ) | Water footprint (grain) ( $\text{m}^3 \text{ Mg}^{-1}$ ) | Water footprint (biomass) ( $\text{m}^3 \text{ Mg}^{-1}$ ) | Water footprint (energy) ( $\text{m}^3 \text{ GJ}^{-1}$ )† | Energy efficiency ( $\text{kW h-out/kW h-in}$ ) | Energy productivity ( $\text{kg kW h}^{-1}$ ) | Specific energy ( $\text{kW h kg}^{-1}$ ) |
|------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| AG-S1      | 2.44                                                             | 1.03 (2.20)                                                  | 974                                                      | 454                                                        | 148                                                        | 0.61 (8.97)                                     | 0.33 (4.91)                                   | 2.99 (0.20)                               |
| AG-S2      | 2.55                                                             | 1.40 (3.15)                                                  | 715                                                      | 317                                                        | 108                                                        | 0.49 (6.41)                                     | 0.27 (3.51)                                   | 3.74 (0.29)                               |
| AG-S3      | 2.23                                                             | 0.88 (1.76)                                                  | 1134                                                     | 567                                                        | 172                                                        | 1.29 (12.76)                                    | 0.71 (6.98)                                   | 1.42 (0.14)                               |
| CRP-S1     | 2.46                                                             | 1.11 (2.72)                                                  | 902                                                      | 368                                                        | 137                                                        | 0.51 (9.19)                                     | 0.28 (5.02)                                   | 3.58 (0.20)                               |
| CRP-S2     | 2.60                                                             | 1.31 (3.37)                                                  | 761                                                      | 297                                                        | 116                                                        | 0.36 (7.63)                                     | 0.20 (4.17)                                   | 5.08 (0.24)                               |
| CRP-S3     | 2.04                                                             | 0.96 (2.44)                                                  | 1037                                                     | 452                                                        | 158                                                        | 0.57 (9.71)                                     | 0.31 (5.31)                                   | 3.20 (0.19)                               |

Figures in parenthesis is the scenario calculated without use of herbicide, which was used in the first year to kill weeds/grasses on the site for planting of soybeans.

\*AG-S1, -S2, -S3, conventional agriculture to no-till soybean land use change; CRP-S1, -S2, -S3, Conservation Reserve Program (CRP) land to no-till soybean land use change; CRP-REF, reference site with continued CRP land use.

†Energy from biodiesel yield from soybeans.

*Water and energy footprint assessment for marginal lands*

Assessment of land quality and its effects on water and energy footprints helps identify the limitations of a land and its management implications. Although the total cropland acreage in United States has remained roughly constant for last 100 years, the less productive 'marginal' cropland has shifted in and out over time (Lubowski *et al.*, 2006). Production costs and economic returns are the likely drivers inducing farmers to shift marginal lands in and out of production. Less productive cropland is often more environmentally sensitive than protected land (Wiebe, 2003). Therefore, land use change to grow biofuel crops on marginal fallow or less productive agricultural lands may have undesirable environmental as well as economic consequences without proper consideration of the capabilities and limitations of the land.

Use of multivariate approaches to group and transform data, and incorporation of the appropriate metrics into the soil quality (SQI) and land marginality (LMI) indices, helped us interpret complex land quality characteristics. The SQI approach not only helped identify factors sensitive to management but also the interrelatedness of those factors. Among the numerous variables considered important from crop production as well as environmental standpoints, selection of the most significant ones based on total variance in the data, and their integration into a single index (LMI), helped interpret changes in production potential of the soils of these lands under different land use histories and degrees of marginality. This potential in turn indicated long-term effects (ca. 20 years in CRP vs. row crop production) on the environmental sustainability of land management practices. Assessment of soil quality using a single index (SQI) also helped to identify potential tradeoffs in soil conditions that might result from management choices, as well as to identify improved management practices with enhanced environmental benefits. For example, sites which were under CRP for the past several years maintained higher soil quality which was also evident in the aboveground productivity of these sites.

*Land marginality relevance to biofuel induced land use change*

Marginal lands have been proposed as viable areas for growing biofuels to avoid competition with food production on prime agricultural land; however, it is uncertain whether energy and water footprints of growing biofuels on marginal lands will be the same as on prime farm lands. The energy and water productivity of the marginal lands will determine how

much land will be needed in the vicinity of a bio-refinery to achieve targeted energy outputs. The two most important characteristics of marginal lands, low soil quality for crop production and environmental sensitivity, should figure prominently in debates about environmental sustainability.

Any bioenergy production initiative that will entail major land use change would also have significant environmental effects, although they will vary regionally. Our results demonstrate the benefits that are achieved in the soil quality of lands under CRP, and its direct implications for their productivity. If biofuel production systems with high yielding, nutrient-efficient perennial grasses and minimal management are developed and implemented on marginal lands such as the CRP fields under study here, environmental as well as economic benefits over time are more likely.

The fact that every marginal land is not the same in its susceptibility to degradation or in its economic viability is underrated in most of the regional and global assessments. In our study, the area-weighted harvestable grain yield was found to range from 40% to 100% of the prime agricultural land in the county based on the degree of marginality as well as management (Fig. 8). We deduced from this study that using the marginal land areas for conventional biofuel crop production may offset a significant amount of bioenergy demand in this region. But on marginal lands with low productivity, increasing bioenergy production would either require increasing productivity or increasing land area used for production. Although it is unclear whether more intensive management of these marginal lands for increased productivity is possible by intensified management without environmental impacts; our results indicate a good potential for cellulosic biofuel crop production. The sites which were previously under CRP supported perennial grasses with virtually no management. Therefore, the soils on these sites accumulated organic matter over time and were less exposed to erosion and oxidation processes. In contrast, sites with a recent agricultural history (AG) had been intensively managed and showed visible signs of sheet and rill erosion, to varying degrees. The higher soil quality in sites under CRP land use in past years indicated soil conservation advantages of the program. The fact that these benefits might have been achieved in last 20 years after converting the land from agriculture to CRP strengthens the argument that growing perennial grasses on marginal land can provide economic as well as ecological benefits in terms of enhanced ecosystem services. From the crop production point of view, these changes are not trivial, considering the two most significant constraints for crop production in the region are nutrient leaching losses and poor water holding

capacity, both of which tend to be exacerbated by coarser soil textures.

## Conclusions

Landscape scale analysis and use of multivariate approaches to assess land quality complemented each other in developing conceptual understanding of how land use change on marginal lands may affect water and energy footprints. We offer the following conclusions from this study:

1. An indexing framework can be effectively applied to assess the land and soil quality, and is effective in evaluating the potential of marginal lands for biofuel production. It is important to precisely assess this realistic potential as well as its ecological soundness to inform policy as well as to devise management strategies to maximize ecosystem services.

2. The large differences in soil quality between historically agricultural and CRP sites revealed the potential benefits that can be achieved by growing perennial grasses with low input requirements in place of annual crops. The sites historically under CRP had better soil quality in terms of improved soil physical structure, carbon storage, and nutrient availability, strongly suggesting that crops such as high yielding perennial grasses with management systems similar to these may provide a potential strategy to produce bioenergy by improving the productivity as well as ecosystem services.

3. Marginal lands can be viable areas for growing biofuels; however, water and energy footprints of biofuel crops on marginal lands are likely to be higher than on prime farm lands. Decreases in water and energy footprints can be achieved through improvements in soil quality via management and crop choices. Therefore, proper evaluation of capabilities and limitations of the marginal lands and use of region-specific management strategies can make marginal lands an important asset for bioenergy production.

## Acknowledgements

Support for this research was provided by the Department of Energy's (DOE) Great Lakes Bioenergy Research Center (GLBRC) (DOE Office of Science, BER DE-FC02-0764494), the NSF Long-Term Ecological Research Program, and the Michigan Agricultural Experiment Station.

## References

- Andrews SS, Carroll CR (2001) Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications*, **11**, 1573–1585.
- Andrews SS, Mitchell JP, Mancinelli R *et al.* (2002) On farm assessment of soil quality in California's central valley. *Agronomy Journal*, **94**, 12–23.
- Bhardwaj AK, Goldstein D, Azenkot A, Levy GJ (2007) Irrigation with treated waste water under two different irrigation methods: effects on hydraulic conductivity of a clay soil. *Geoderma*, **140**, 199–206.
- Blake GR, Hartge KH (1986) Bulk density. In: *Methods of Soil Analysis, Part 1 (2nd Edition); Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph 9* (ed Klute A), pp. 364–367. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Brejda JJ, Moorman TB, Karlen DL, Dao TH (2000) Identification of regional soil quality factors and indicators. I. Central and southern high plains. *Soil Science Society of America Journal*, **64**, 2115–2124.
- Chapin FS, Zavaleta ES, Eviner VT *et al.* (2000) Consequences of changing biodiversity. *Nature*, **405**, 234–242.
- Collis-George N, Figueroa BS (1984) The use of soil moisture characteristics to assess soil stability. *Australian Journal of Soil Research*, **22**, 349–356.
- Costanza R, d'Arge R, Groot RD, Farber S *et al.* (1997) The value of world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**, 253–260.
- Daily GC, Matson PA (2008) Ecosystem services: theory to implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, **105**, 9455–9456.
- FAO (1976) *A Framework of Land Evaluation*. Soil Bulletin 32. Food and Agricultural Organisation, Rome.
- Fargione J, Hill J, Tilman D, Polasky S, Hawthorne P (2008) Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science*, **319**, 1235–1238.
- Foken T, Wichura B (1996) Tools for quality assessment of surface based flux measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, **78**, 83–105.
- Gee GW, Bauder JW (1986) Particle size analysis. In: *Methods of Soil Analysis, Part 1 (2nd Edition); Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph 9* (ed Klute A), pp. 404–408. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Hardie I, Parks P (1997) Land use with heterogeneous land quality: an application of an area base model. *American Journal of Agricultural Economics*, **79**, 299–310.
- Heimlich R (1989) *Productivity and erodibility of U.S. cropland*. Agricultural Economics Report, vol. 604, 47 pp. Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, USA.
- Lal R (1998) Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **17**, 319–464.
- Lee XL, Massman W, Law B (2004) *Handbook of Micrometeorology*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands.
- Leuning R (2004) Measurements of trace gas fluxes in the atmosphere using eddy covariance. In: *Handbook of Micrometeorology. A Guide to Surface Flux Measurement and Analysis* (eds Lee X, Massman WJ, Law BE), pp. 119–132. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, USA.
- Levy GJ, Mamedov AI (2002) Aggregate stability and seal formation. *Soil Science Society of America Journal*, **66**, 1603–1609.
- Levy GJ, Miller WP (1997) Aggregate stabilities of some Southeastern U.S. soils. *Soil Science Society of America Journal*, **61**, 1176–1182.

- Lichtenberg E (1989) Land quality, irrigation development, and cropping patterns in the northern high plains. *American Journal of Agricultural Economics*, **71**, 187–194.
- Liebig MA, Varvel G, Doran JW (2001) A simple performance-based index for assessing multiple agroecosystem functions. *Agronomy Journal*, **93**, 313–318.
- Lubowski R, Bucholtz S, Claassen R *et al.* (2006) Environmental effects of agricultural land-use change: the role of economics and policy. *Economic Research Report Number 25*. Economic Research Service, United States Department of Agriculture, Washington, DC, USA.
- Magleby R (2002) Soil management and conservation. *Agricultural Resources and Environmental Indicators. Report No. AH722*, Economic Research Service, U.S.. Department of Agriculture, Washington, DC, USA.
- Mausbach MJ, Seybold CA (1998) Assessment of soil quality. In: *Soil Quality and Agricultural Sustainability* (ed. Lal R), pp. 33–43. Ann Arbor Press, Ann Arbor, MI, USA.
- Nelson E, Polasky S, Lewis DJ *et al.* (2008) Efficiency of incentives to jointly increase carbon sequestration and species conservation on a landscape. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, **105**, 9471–9476.
- Noormets A, McNulty S, DeForest D *et al.* (2008) Drought during canopy development has lasting effect on annual carbon balance in a deciduous temperate forest. *New Phytologist*, **179**, 818–828.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean LA (1954) *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. U.S. Department of Agriculture Circular, 939.
- Pierson FB, Mulla DJ (1989) An improved method for measuring aggregate stability of a weakly aggregated loessial soil. *Soil Science Society of America Journal*, **53**, 1825–1831.
- Pimentel D, Harvey C, Resosudarmo P (1995) Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, **267**, 117–123.
- Pimentel D, Patzek TW (2005) Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. *Natural Resource Research*, **14**, 65–76.
- Reichstein M, Falge E, Baldocchi D *et al.* (2005) On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. *Global Change Biology*, **11**, 1424–1439.
- Renard KG, Foster GR, Weesies GA *et al.* (1991) RUSLE: revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, **46**, 30–33.
- Robertson GP, Hamilton SK, Parton WJ *et al.* (2010) The biogeochemistry of bioenergy landscapes: carbon, nitrogen, and water considerations. *Ecological Applications*, in press.
- Robertson GP, Swinton SM (2005) Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **3**, 38–46.
- Robertson GP, Virginia DH, Otto CD *et al.* (2008) Sustainable biofuels redux. *Science*, **322**, 49–50.
- SAS Institute. (2004) *The SAS System for Windows. Release 9.1*. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Schotanus P, Nieuwstadt FTM, de Bruin HAR (1983) Temperature measurement with a sonic anemometer and its application to heat and moisture fluxes. *Boundary Layer Meteorology*, **26**, 81–93.
- Searchinger TR, Heimlich RA, Houghton F *et al.* (2008) Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science*, **319**, 1238–1240.
- Soil Survey staff (1990) *Soil survey of Barry County, Michigan*. National Cooperative Soil Survey. United States Department of Agriculture, MI, USA.
- Sombroek WG (1997) Land resources evaluation and the role of land-related indicators. In: *Land Quality Indicators and their use in Sustainable Agriculture and Rural Development*. FAO Land and Water Bulletin-5. pp. 9–17. Food and Agricultural Organization of The United Nations, Rome, Italy.
- SPSS (1998) *SigmaPlot 5.0 Programming Guide*. SPSS, Chicago, IL.
- Steel RGD, Torrie JH (1960) *Principles and Procedures of Statistics*. McGraw, New York.
- Swinton SM, Lupi F, Robertson GP, Hamilton SK (2007) Ecosystem services and agriculture: cultivating agriculture ecosystems for diverse benefits. *Ecological Economics*, **64**, 245–252.
- Tilman D, Hill J, Lehman C (2006) Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. *Science*, **314**, 1598–1600.
- United Nations Statistical Division (UNSD) (1997) Marginal land. *Glossary of Environmental Statistics, Studies in Methods, Series F, No. 67*. United Nations, New York.
- USDA (1973) Land capability classification. Agricultural Handbook 210. Available at: <http://soils.usda.gov/technical/handbook/> (accessed 29 March 2010).
- Wiebe K (2003) Linking land quality, agricultural productivity, and food security. *Agricultural Economic Report Number 823*, Economic Research Service, United States Department of Agriculture, Washington DC, USA.
- Wilczak JM, Oncley SP, Stage SA (2001) Sonic anemometer tilt correction algorithms. *Boundary-Layer Meteorology*, **99**, 127–150.
- Wu J, Brorsen BW (1995) The impact of government programs and land characteristics on cropping patterns. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, **43**, 87–104.