



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การจัดทำดัชนีความแห้งแล้งโดยใช้ข้อมูลความชื้นของดินและ
การคายระเหยของน้ำในระบบนิเวศการเกษตร
จังหวัดนครศรีธรรมราช ประเทศไทย”

โดย ดร.วัชร รวยริน

มิถุนายน 2563

สัญญาเลขที่ MRG5980199

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การจัดทำดัชนีความแห้งแล้งโดยใช้ข้อมูลความชื้นของดินและการ
คายระเหยของน้ำในระบบนิเวศการเกษตร
จังหวัดนครศรีธรรมราช ประเทศไทย”

ดร.วัชร รวยรีน
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและ
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย
เสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ผู้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด และขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และประสานงานด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณผู้บริหารองค์การสวนยาง และเจ้าหน้าที่ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการดำเนินงานวิจัยอันได้แก่ แปลงทดลองยางพารา การอำนวยความสะดวกในการเข้าใช้พื้นที่เก็บข้อมูล ตลอดจนการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณคณะที่มวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาสมดุลคาร์บอนและความต้องการใช้น้ำของยางพารา ภายใต้ชุดโครงการวิจัยสรีรวิทยาการผลิตยางพารา: การศึกษาระดับแปลงใหญ่ (Physiology of Rubber Production : Plantation Scale Study) รหัสแผนงานวิจัย พ-ท (ช) 3.55 ซึ่งได้ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้ชุดข้อมูล Eddy Covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศบนหอคอยในพื้นที่สวนยางพารา อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช พร้อมทั้งขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานีที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องต่าง ๆ มากมาย

ขอบคุณครอบครัวที่คอยสนับสนุนการทำงาน และคอยให้กำลังใจในการฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆ เพื่อให้งานดำเนินไปได้ ขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ที่ทำหน้าที่ผู้ช่วยนักวิจัยของโครงการช่วยให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

หากงานวิจัยชิ้นนี้พอจะมีประโยชน์บ้าง ผู้วิจัยขอขอบคุณดีทั้งหมดแต่ พ่อแม่ ครูอาจารย์ที่เคยอบรมสั่งสอนประสิทธิประสาทวิชาความรู้ และหากงานวิจัยชิ้นนี้มีข้อบกพร่องประการใด นักวิจัยยินดีน้อมรับทุกความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

วัชรีย์ รวยริน

มิถุนายน 2563

บทสรุปผู้บริหาร

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพาราธรรมชาติมากเป็นอันดับหนึ่งในตลาดโลกหลายปีติดต่อกัน มีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 4.4 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) การปลูกยางพารานอกจากเป็นการสร้างรายได้โดยตรงแก่เกษตรกรชาวสวนยางแล้ว ยังเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้แก่ประเทศไทยที่สามารถช่วยดูดซับและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศได้ (Petsri et al., 2013) โดยเฉพาะภาคใต้ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีพื้นที่ปลูกและผลผลิตยางพาราธรรมชาติสูงสุดในประเทศ โดยมีพื้นที่ปลูกประมาณ 12,849,166 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 65 ของพื้นที่ปลูกยางทั้งประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) อย่างไรก็ตามจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นและสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศในรูปแบบต่างๆ ได้ส่งผลกระทบต่อสรีรวิทยาการเจริญเติบโต รวมไปถึงผลผลิตของยางพาราที่อาจจะผันผวนลดลงได้ ทั้งปัญหากล้งแล้งที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งและการที่มีฝนตกต่อเนื่องยาวนาน ส่งผลให้ผลผลิตของน้ำยางลดลงและกิจกรรมทางการเกษตรของชาวสวนยางถูกจำกัดในพื้นที่ ดังนั้นโครงการวิจัยการจัดทำดัชนีความแห้งแล้งโดยใช้ข้อมูลความชื้นของดินและการคายระเหยน้ำในระบบนิเวศการเกษตรถูกเสนอขึ้นเพื่อเข้าใจถึงสมดุลพลังงานในระบบนิเวศเกษตรยางพารา การใช้ข้อมูลการตรวจวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อมภาคสนามทั้งข้อมูลความชื้นในดิน และการคายระเหยน้ำสำหรับหาดัชนีความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นในพื้นที่ ตลอดจนการเปรียบเทียบข้อมูลภาคสนามกับข้อมูลระยะไกลจากดาวเทียม ซึ่งในการศึกษารั้งนี้ได้เลือกดาวเทียม SMAP มาใช้สำหรับเปรียบเทียบข้อมูลความชื้นในดินในระบบนิเวศสวนยางที่จะเป็นตัวบ่งชี้หรือบอกสภาวะความแห้งแล้งในพื้นที่ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตยาง

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจุลอุตุนิยมวิทยา การตรวจวัดการแลกเปลี่ยนพลังงานและน้ำด้วยเทคนิค Eddy Covariance ข้อมูลความชื้นของดิน และข้อมูลปัจจัยทางกายภาพอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่แปลงปลูกยางพารา ผลจากการศึกษาพบว่า พลังงานส่วนใหญ่ที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ในระบบนิเวศเกษตรยางพารา ถูกใช้ไปเพื่อการระเหยของน้ำ (Latent heat, LE) ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของสมดุลพลังงานในระบบนิเวศนี้ ในขณะที่พลังงานที่ใช้ในการเผาอากาศ (Sensible heat, H) จะเกิดมากในช่วงฤดูแล้งและฤดูการทิ้งใบของยางพาราและความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (Soil heat flux, G) ค่อนข้างคงที่ตลอดการตรวจวัดเนื่องจากมีสิ่งปกคลุมโดยพืชมากทำให้พลังงานส่วนใหญ่ถูกเก็บไว้ในชีวมวล ค่าเฉลี่ย H, LE, G และ storage ในระบบนิเวศเกษตรยางพารามีสัดส่วนประมาณ 46.94, 30.84, 3.63% ที่เหลือ 11.70% เป็นพลังงานที่กักเก็บไว้ในระบบนิเวศ อัตราการคายระเหยน้ำที่วัดได้จริง ตลอดระยะเวลา 23 เดือน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $6.72 \pm 2.17 \text{ mm day}^{-1}$ โดยค่าการคายระเหยน้ำมีความสัมพันธ์ระดับสูงกับอุณหภูมิอากาศ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ VPD

ดัชนีความชื้นในดิน (soil moisture index) สามารถนำไปใช้ในการติดตามภัยแล้งในพื้นที่ได้ โดยพบว่าในปี 2559 พื้นที่แปลงปลูกยางพาราพบความแห้งแล้งเกิดขึ้น 3 ระดับ คือ มีภัยแล้งเล็กน้อย ภัยแล้งปานกลาง และภัยแล้งรุนแรง เท่ากับ 74, 33, และ 26 วัน ตามลำดับ ในขณะที่จากนำดัชนีการขาดดุลการคายระเหยที่ต่างจากเกณฑ์ปกติ (Standardized Evapotranspiration Deficit Drought Index; SEDI) มา

ประยุกต์ใช้เพื่อติดตามตามแห้งแล้งและการเชื่อมต่อกันระหว่างสภาพอากาศร้อนและชื้น พบว่าในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราเกิดภาวะความแห้งแล้งในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 โดยพบสภาวะความแห้งแล้งเกิดขึ้นถึง 64% ในช่วงดังกล่าว ประกอบด้วยภัยแล้งรุนแรงมาก ภัยแล้งรุนแรง ภัยแล้งปานกลาง ภัยแล้งเล็กน้อย เท่ากับ 50, 12, 19, และ 10 วัน ตามลำดับ ซึ่งช่วงที่เกิดสภาวะความแห้งแล้งสอดคล้องกับช่วงที่มีการลดลงของปริมาณน้ำในดินและช่วงที่ต้นยางพารามีการทิ้งใบ SEDI จึงเป็นดัชนีความแห้งแล้งที่เหมาะสมมากกว่าดัชนีปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิในการจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของระบบนิเวศอันเนื่องมาจากสภาวะความแห้งแล้ง (Zhang et. al, 2019)

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลจากข้อมูลดาวเทียม SMAP กับข้อมูลความชื้นในดินภาคสนามพบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันโดยค่าความชื้นในดินที่ได้จากภาพจากดาวเทียม SMAP โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร เท่ากับ 0.51 และที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร เท่ากับ 0.57 และเมื่อสร้างแผนที่ความชื้นในดินจากข้อมูลตรวจวัดภาคสนามเปรียบเทียบกับแผนที่ความชื้นในดินจากข้อมูลดาวเทียม SMAP พบว่า ค่าเฉลี่ยความชื้นของดินจากข้อมูลดาวเทียม SMAP กับข้อมูลตรวจวัดภาคสนามของความชื้นในดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งบ่งบอกถึงว่าข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP สามารถนำมาใช้ในการติดตามความชื้นในดินของแปลงปลูกยางพาราได้ และสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างกว่าการตรวจวัดภาคสนาม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์สร้างเป็นดัชนีความแห้งแล้งจากข้อมูลระยะไกลต่อไปได้

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: MRG5980199

ชื่อโครงการ: การจัดทำดัชนีความแห้งแล้งโดยใช้ข้อมูลความชื้นของดินและการคายระเหยของน้ำในระบบนิเวศการเกษตร จังหวัดนครศรีธรรมราช ประเทศไทย

ชื่อนักวิจัย และสถาบัน: ดร.วัชร รวยรีน มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

อีเมล: watcharee.rua@sur.ac.th, ruairuen@gmail.com

ระยะเวลาโครงการ: 2 ปี (2 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 2 พฤษภาคม พ.ศ. 2561)

โครงการจัดทำดัชนีความแห้งแล้งโดยใช้ข้อมูลความชื้นของดินและการคายระเหยของน้ำในระบบนิเวศการเกษตร มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาสมมูลพลังงาน การแลกเปลี่ยนน้ำในระบบนิเวศการเกษตร 2) พัฒนาดัชนีบ่งชี้การเกิดความแห้งแล้งโดยใช้ข้อมูลความชื้นของดินและการคายระเหยน้ำจากการตรวจวัดภาคสนาม และ 3) เปรียบข้อมูลความชื้นตรวจวัดภาคสนามกับข้อมูลระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียม SMAP ในการติดตามความแห้งแล้งของแปลงปลูกยางพารา โดยทำการตรวจวัดสมมูลพลังงาน การคายระเหยน้ำ ด้วยเทคนิค Eddy covariance พร้อมตรวจวัดข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น อุณหภูมิดินและอากาศ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดิน ในพื้นที่ปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM600 อายุต้นยาง 16 ปี (ปี พ.ศ. 2559) ละเปิดกรีดยางไปแล้วมากกว่า 10 ปี ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2559 ถึงเดือนมิถุนายน 2561 ผลการศึกษา พบว่า พลังงานที่ใช้ไปเพื่อการระเหยของน้ำ (Latent heat, LE) เป็นพลังงานหลักในการแลกเปลี่ยนพลังงานของระบบนิเวศการเกษตรยางพารา (คิดเป็น 30-67%) ใช้ในการเผาอากาศ (Sensible heat, H) ประมาณ 31% โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งและฤดูการทิ้งใบของยางพารามีสัดส่วนถึง 48% และใช้เป็นความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (Soil heat flux, G) เพียง 4% ที่เหลืออีก 18% เป็นพลังงานที่กักเก็บไว้ในระบบนิเวศ อัตราการคายระเหยน้ำที่วัดได้จริง (actual evapotranspiration, AET) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $6.72 \pm 2.17 \text{ mm day}^{-1}$ ในขณะที่อัตราการคายระเหยอ้างอิง มีค่าเฉลี่ย $7.44 \pm 2.69 \text{ mm day}^{-1}$ โดยค่าการคายระเหยน้ำมีความสัมพันธ์ระดับสูงกับอุณหภูมิอากาศ ($r=0.700$; $p<0.01$) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และ ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ VPD ($r=0.708$; $p<0.01$)

ดัชนีความชื้นในดิน (soil moisture index, SMI) จากข้อมูลความชื้นในดินภาคที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร และ 50 เมตร สามารถแสดงสภาวะความแห้งแล้งในระบบนิเวศการเกษตรได้ โดยในปี 2559 พบว่าแปลงปลูกยางพาราเกิดความแห้งแล้ง 3 ระดับ ตั้งแต่ระดับเกิดภัยแล้งเล็กน้อยไปจนถึงภัยแล้งรุนแรง และมีจำนวนวันในการเกิดภัยแล้งทั้งสิ้น 133 วัน โดยเกิดขึ้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงเดือนมิถุนายน ในขณะที่จากการพัฒนาดัชนีการขาดดุลการคายระเหยที่ต่างจากเกณฑ์ปกติ (Standardized

Evapotranspiration Deficit Drought Index; SEDI) ซึ่งเป็นดัชนีที่พิจารณาถึงพฤติกรรมทางด้านชีววิทยาของพืชร่วมด้วย และสามารถบ่งชี้การเกิดความแห้งแล้งในพื้นที่ ได้ 4 ระดับตั้งแต่ภัยแล้งเล็กน้อย จนถึงภัยแล้งรุนแรงมาก และพบจำนวนวันที่มีสภาวะความแห้งแล้งเกิดขึ้น 91 วัน ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 โดยช่วงการเกิดความแห้งแล้งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณน้ำในดิน

การเปรียบเทียบข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลจากดาวเทียม SMAP กับข้อมูลความชื้นในดินภาคสนามพบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระดับความลึก 10 และ 30 เซนติเมตร เท่ากับ 0.51 และ 0.57ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกถึงว่าข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP สามารถนำมาใช้ในการติดตามความชื้นในดินและความแห้งแล้งในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราที่ครอบคลุมพื้นที่ได้ในระดับ large scale อีกทั้งเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์สร้างเป็นดัชนีความแห้งแล้งจากข้อมูลระยะไกลต่อไปได้

คำหลัก : ค่าการคายระเหยน้ำ ความชื้นในดิน ดัชนีความแห้งแล้ง SMAP

Abstract

Project Code: MRG5980199

Project Title: Establishing an agricultural drought indicator by using soil moisture and evapotranspiration data in rubber plantation of Nakhon Si Thammarat province in Thailand

Investigator: Watcharee Ruairuen

E-mail Address: watcharee.rua@sur.ac.th, ruairuen@gmail.com

Project Period: 2 year (May 2, 2016-May 2, 2018)

Establishing an agricultural drought indicator by using soil moisture and evapotranspiration data aim to 1) investigate the energy balance and water exchange in rubber plantation ecosystem 2) develop drought indices using soil moisture and evapotranspiration from field measurement 3) compare soil moisture data from field measurement with the Soil Moisture Active Passive (SMAP) satellite data for drought monitoring. In this study, observations of energy, evapotranspiration (ET) as well as others environmental parameter such as air and soil temperature, solar radiation, precipitation, relative humidity, and soil moisture were conducted between May 2016 to June 2018 above a monoclonal stand of rubber trees (*Hevea brasiliensis*) plot (clone RRIM 600). The forestry population was 16 years (in 2016) old and had been tapped continuously over 10 years for latex harvesting at the Rubber Estate Organization station in Na Bon district, Nakhon Si Thummarat province in Thailand.

The results indicated that latent heat (LE) flux was the main term of energy exchange (40%-60%) due to its dominance across the growing season. The net radiation (Rn) was converted into sensible heat (H) approximately 30% with almost of 48% was found during dry and leaf senescence period. While only about 4% of Rn was disaggregated into soil heat flux (G) and the rest of nearly 18% of energy was stored in the agroecosystem. The daily mean of evapotranspiration (ET) and reference evapotranspiration rate were 6.72 ± 2.17 and 7.44 ± 2.69 mm.d⁻¹ over the whole period of this study, respectively. A high relationship between ET with solar radiation ($r=0.799$; $p<0.01$), relative humidity ($r=-0.708$; $p<0.01$), vapor pressure deficit ($r=0.708$; $p<0.01$), and air temperature ($r = 0.700$; $p <0.01$) were reported.

Soil moisture index (SMI) from soil moisture content at a depth of 30 cm and 50 cm can be used to determine the severity and duration of agricultural drought at the study site. This index is categorized into three classes which start from less drought to severe drought for quantitatively assess drought. A total of 133 days was assessed as a drought during February to June in 2016 for this study. In addition, the Standardized Evapotranspiration Deficit Drought Index (SEDI) was also developed to better assess agricultural droughts that can sensitively depict the response of vegetation to drought evolution. There were four classes of SEDI is detected from less drought to extremely drought in the present study with 91 days was evaluated as a drought during January 1 to May 20 in 2018. The drought-assessment period illustrated at the same period of the decreasing in soil moisture content.

The change in soil moisture collecting from field was compared with the Soil Moisture Active Passive (SMAP) satellite observations. Result showed a good agreement between an observed soil moisture data and satellite data at 10 and 30 cm depths below surface with the correlation coefficient (R^2) of 0.51 and 0.57, respectively. According to this finding, we concludes that SMAP can be used for drought monitoring both at the local and large-scale agroecosystem. Hence, it has potential for use in assessments of drought indicator and its impact on ecosystems.

Keywords: evapotranspiration, soil moisture content, drought index, SMAP

สารบัญ

สารบัญ	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทสรุปผู้บริหาร	ค
บทคัดย่อ	ง
Abstract	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและแนวทางการดำเนินงาน	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	
2.1 ความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	4
2.2 ความแห้งแล้งและดัชนีบ่งชี้การเกิดความแห้งแล้ง	8
2.2.1 ประเภทของภัยแล้ง	9
2.2.2 สาเหตุของการเกิดภัยแล้ง	14
2.2.3 การเกิดภัยแล้งในประเทศไทยและภาคใต้	16
2.2.4 ดัชนีความแห้งแล้ง	20
2.4 การคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration)	33
2.4.1 ปัจจัยที่ควบคุมการคายระเหยน้ำ	34
2.4.2 วิธีวัดการคายระเหยน้ำ	36
2.5 ข้อมูลทั่วไปของยางพารา	39
2.5.1 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการปลูกยางพารา	41
2.5.2 พันธุ์ยางพารา	43
2.5.2 โรคและอาการเปลือกแห้งของยางพารา	44
2.5.4 อิทธิพลจากสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อยางพารา	46
2.6 ข้อมูลความชื้นในดินจากภาพดาวเทียม Soil Moisture Active Passive (SMAP)	49
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	51
3.1 แนวคิดและกรอบการศึกษาวิจัย	51
3.2 พื้นที่ศึกษา	52
3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล	55

3.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลตรวจวัดจุลอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorology) ด้วยชุดอุปกรณ์ Eddy Covariance	55
3.3.2 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศอัตโนมัติ (Automatic weather station)	58
3.3.3 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลปริมาณน้ำในดิน (Soil water content, SWC) และอุณหภูมิดิน (Soil Temperature, ST)	59
3.3.4 การรวบรวมข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม Soil Moisture Active Passive (SMAP)	63
3.4 หลักการทำงานของส่วนควบคุมในการติดตามข้อมูลตรวจวัดจากเทคนิค Eddy Covariance	64
3.5 การคำนวณสมดุลพลังงานโดยวิธี Eddy Covariance	66
3.6 การวิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้งในระบบนิเวศเขตรอยพารา	68
3.6.1 ดัชนีความชื้นในดิน (Soil Moisture Index, SMI)	68
3.6.2 ดัชนีความแห้งแล้งจากข้อมูลการคายระเหยน้ำ	68
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลความชื้นในดินและแสดงผลข้อมูลจากดาวเทียม SMAP	70
บทที่ 4 ผลการศึกษา	72
4.1 ข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการตรวจวัด	72
4.1.1 ประเภทของข้อมูลและช่วงเวลาที่มข้อมูล	72
4.1.2 สมบัติทั่วไปของดินในแปลงปลูกยางพารา	73
4.1.3 ข้อมูลจุลอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorological data)	74
4.1.4 อุณหภูมิดิน Soil heat flux และปริมาณน้ำในดิน	80
4.2 สมดุลพลังงานในระบบนิเวศเขตรอยพารา	82
4.3 อัตราการคายระเหยของน้ำในระบบนิเวศเขตรอยพารา	88
4.4 ดัชนีบ่งชี้การเกิดความแห้งแล้งจากข้อมูลความชื้นของดิน	94
4.5 ดัชนีความแห้งแล้งจากข้อมูลการคายระเหยน้ำ	98
4.6 ความชื้นในดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกล	100
4.6.1 ความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียม	100
4.6.2 การเปรียบเทียบข้อมูลตรวจวัดภาคสนามกับข้อมูลความชื้นในดินจากการสำรวจระยะไกล	101
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา	107
บรรณานุกรม	109
ภาคผนวก	117

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ภูมิภาคในประเทศไทยที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง	17
2.2	ตารางแสดงปริมาณฝนเฉลี่ยรายภาคระหว่างปี 2548-2558	19
2.3	เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง	20
2.4	เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง PDSI	22
2.5	เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง SPI	23
2.6	เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง SMI	24
2.7	เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง GMI_{pct}	26
2.8	เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง NDVI	28
2.9	พื้นที่กริดยางประเทศไทยแยกตามภูมิภาค	40
2.10	พื้นที่เพาะปลูกยางพารา 5 อันดับแรกของภาคใต้	41
2.11	สถาบันวิจัยยางแนะนำกลุ่มพันธุ์ยางและชื่อพันธุ์ให้ปลูก	44
2.12	ตัวอย่างพันธุ์ยางประเทศต่างที่นิยมปลูกในประเทศไทย	44
3.1	ค่าวิเคราะห์คุณสมบัติดินพื้นฐานดินกลุ่มชุดดิน 53	54
3.2	รายละเอียดเครื่องมือและการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย	57
3.3	เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง SEDI	69
4.1	ประเภทของข้อมูลและช่วงเวลาที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูล	72
4.2	ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินในแปลงปลูกยาง	73
4.3	สมดุลพลังงานในแต่ละเดือนของระบบนิเวศเกษตรยางพารา	85
4.4	ตารางผลการวิเคราะห์ข้อมูล Spearman Correlation Coefficient ของค่าการระเหยน้ำ (ET) อุณหภูมิอากาศ (air temp) ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) รังสีดวงอาทิตย์ (Rn) และ VPD	93
4.5	จำนวนวันที่พบภัยแล้งในพื้นที่แปลงปลูกยางพารา ในปี 2559 ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช	95

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ดัชนี 10 อย่างที่บ่งบอกถึงการร้อนขึ้นของอุณหภูมิโลก	4
2.2	อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่ต่างจากค่าเฉลี่ยของศตวรรษที่ 20	5
2.3	ผลกระทบทั่วโลกจากอิทธิพลของปรากฏการณ์ El Niño ที่เกิดขึ้น	5
2.4	ข้อมูล 10 อันดับปีที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าค่าปกติ	6
2.5	อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของไทยในช่วงปี พ.ศ. 2551-2560	7
2.6	ความสัมพันธ์ของรูปแบบภัยแล้งทั้ง 4 ประเภท คือ ภัยแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยา ภัยแล้งเชิงอุทกวิทยา ภัยแล้งเชิงเกษตรกรรม และภัยแล้งเชิงเศรษฐกิจและสังคม	11
2.7	แผนที่แสดงความเสี่ยงภัยแล้ง (drought risk) จากแบบจำลอง Aqueducts โดย World Resources Institute (WRI)	16
2.8	แผนที่การกระจายตัวของยางพาราทั่วโลก	40
2.9	ภาพความชื้นในดินครอบคลุมทั่วโลกจากดาวเทียม SMAP ที่มา: https://smap.jpl.nasa.gov/resources/87/smmaps-radiometer-captures-views-of-global-soil-moisture/	50
3.1	ขอบเขตการปกครองในระดับตำบลของพื้นที่ศึกษา ณ องค์การสวนยาง ตำบลช้างกลาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช	53
3.2	ภาพแปลงยางพาราจากดาวเทียม Google Earth ภายในพื้นที่รับผิดชอบขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช จุดสีเหลืองแสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด	53
3.3	แผนที่กลุ่มชุดดินที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา	54
3.4	ชุดอุปกรณ์ Eddy Covariance แบบถาวรบนหอคอย ณ แปลงยางพาราภายในพื้นที่รับผิดชอบขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ภาพถ่ายโดย ชมพูนุช ฉายาเวช	56
3.5	ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอุตุนิยมวิทยาเฉพาะพื้นที่ที่ถูกติดตั้งบนหอคอย พร้อมระบบบันทึกข้อมูล (Data logger) ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ภาพถ่ายโดย ชมพูนุช ฉายาเวช	58
3.6	ชุดตรวจวัดปริมาณน้ำในดินและอุณหภูมิดิน พร้อมระบบบันทึกข้อมูล (Data logger) ภาพถ่ายโดย คุณชมพูนุช ฉายาเวช	59

ภาพที่		หน้า
3.7	ชุดตรวจวัดปริมาณน้ำในดินเพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลปริมาณน้ำในดินในพื้นที่แปลง ศึกษา พร้อมระบบบันทึกข้อมูล	60
3.8	ไดอะแกรมในการติดตั้งเครื่องมือบนหอคอยถาวร และบริเวณภาคพื้นดิน (ST=soil temperature, SWC=soil water content)	61
3.9	การติดตั้งชุดตรวจวัดปัจจัยต่าง ๆ ในพื้นที่แปลงยาวพาราขนาดใหญ่ ณ องค์การ สวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช	63
3.10	ดาวเทียม SMAP ที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูลความชื้นในดินบนพื้นโลก	64
3.11	โปรแกรม EddyPro สำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด ด้วยเทคนิค Eddy Covariance	65
3.12	การแสดงผลภาพข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP ด้วยโปรแกรม Panoply วันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2561	70
3.13	การแสดงผลภาพข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP ตลอดเดือนเมษายน พ.ศ. 2559 วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Matlab	71
4.1	ความเข้มแสงสะสม (Cumulative light, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{day}^{-1}$) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2561	74
4.2	ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) และปริมาณรังสีสุทธิ (net radiation) รวมต่อวันบริเวณแปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่เดือนเมษายน 2559 ถึงเดือน กันยายน พ.ศ. 2561 (ช่วงที่ไม่มีข้อมูลเป็นช่วงที่อุปกรณ์เสียหาย)	76
4.3	การเปลี่ยนแปลงในรอบวันของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Rs) และรังสีสุทธิ (Rn) รายวัน ตั้งแต่เดือน มีนาคม 2559 ถึง เดือนกันยายน 2561	76
4.4	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (Tmean) อุณหภูมิอากาศสูงสุด (Tmax)- ต่ำสุด (Tmin) ในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัด นครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคมพ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 25 เดือนกันยายน 2561	77
4.5	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 25 เดือนกันยายน 2561	78

ภาพที่		หน้า
4.6	ปริมาณน้ำฝนรวมรายวันในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559 ถึง วันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2560	79
4.7	ทิศทางลมและความเร็วลมในพื้นที่แปลงปลูกยางพารา ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคมพ.ศ. 2559 ถึง วันที่ 25 กันยายนพ.ศ. 2561; (ก) ผังลมแสดงความเร็วและทิศทางลม ปี 2559; (ข) ผังลมแสดงความเร็วและทิศทางลม ปี 2560; และ (ค) ผังลมแสดงความเร็ว และทิศทางลม ปี 2561	79-80
4.8	ข้อมูลอุณหภูมิผิวดินจากการตรวจวัดในพื้นที่แปลงยางพารา ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 เดือนมกราคม 2559 ถึงวันที่ 25 เดือนกันยายน 2561 (ช่วงที่ไม่มีข้อมูลเป็นช่วง ที่อุปกรณ์เสียหาย)	81
4.9	ข้อมูลปริมาณน้ำในดิน จากการตรวจวัดในพื้นที่แปลงยางพารา ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 เดือนมกราคม 2559 ถึงวันที่ 25 เดือนกันยายน 2561	82
4.10	ความผันแปรของ Net radiation (Rn) เฉลี่ยรายชั่วโมงในรอบเดือน บริเวณ พื้นที่แปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัด นครศรีธรรมราช ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561	83
4.11	ความผันแปรเชิงฤดูกาลของ Sensible heat (H) เฉลี่ยรายชั่วโมงในรอบเดือน บริเวณพื้นที่แปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัด นครศรีธรรมราช ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมพ.ศ. 2559 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561	84
4.12	ความผันแปรของ Latent heat (LE) เฉลี่ยรายชั่วโมงในรอบเดือนบริเวณพื้นที่ แปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัด นครศรีธรรมราช ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561	85
4.13	ความผันแปรของความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (Soil heat flux; G) เฉลี่ยรายชั่วโมง ในรอบเดือนบริเวณพื้นที่แปลงยางพารา ตั้งแต่วันที่ 1 เดือนกรกฎาคม 2559 ถึงวันที่ 25 เดือนกุมภาพันธ์ 2561	86
4.14	การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบสมดุลพลังงานในรอบวันของระบบนิเวศ เกษตรยางพารา เปรียบเทียบระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน; (ก) สมดุลพลังงานช่วง	87

ภาพที่	หน้า
ฤดูฝน เดือนมิถุนายน ปี 2560 และ (ข) สมดุลพลังงานช่วงฤดูแล้งของเดือน กุมภาพันธ์ ปี 2560	
4.15 อัตราการคายระเหยของน้ำรายวันในระบบนิเวศเกษตรยางพาราตั้งแต่วันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2561 (ช่วงที่ไม่มีข้อมูลเป็น ช่วงที่อุปกรณ์เสียหาย)	88
4.16 ความแปรปรวนของการคายระเหยของน้ำในรอบวัน (ET) และค่าปริมาณไอน้ำ ที่อากาศรับเพิ่มได้ (VPD) ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2561	89
4.17 ความแปรปรวนของการคายระเหยของน้ำที่วัดได้ในรอบวัน (ET) ปริมาณรังสี ดวงอาทิตย์ (Rs) อุณหภูมิอากาศ (Air Temp) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และ ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (VPD) ในรอบวันและในฤดูแล้งและฤดูฝน ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช	91
4.18 แผนภาพการกระจาย (scatter plot) ระหว่างการระเหยน้ำกับตัวแปร อุตุนิยมวิทยา (ก) อุณหภูมิอากาศ (air temp) (ข) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) (ค) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Rn) (ง) ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (VPD)	92
4.19 ดัชนีความชื้นในดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร และ 50 เซนติเมตร ในพื้นที่ แปลงปลูกยางพาราระหว่างวันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2559	95
4.20 แผนที่แสดงดัชนีความชื้นในดินเฉลี่ยรายปีที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร บริเวณพื้นที่แปลงปลูกยางพารา ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัด นครศรีธรรมราช ระหว่างวันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2559	96
4.21 แผนที่แสดงดัชนีความชื้นในดินเฉลี่ยรายปีที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร บริเวณพื้นที่แปลงปลูกยางพารา ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัด นครศรีธรรมราช ระหว่างวันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2559	97
4.22 ข้อมูลการคายระเหยน้ำจริง (actual evapotranspiration; AET) และการคาย ระเหยน้ำอ้างอิง (reference evapotranspiration; ET0) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 31 ธันวาคม ปีพ.ศ. 2560	98

ภาพที่		หน้า
4.23	ดัชนีการขาดดุลการคายระเหยที่ต่างจากเกณฑ์ปกติ (Standardized Evapotranspiration Deficit Drought Index; SEDI) ในแปลงปลูกยางพารา ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคมถึงวันที่ 22 พฤษภาคม ปี พ.ศ. 2561	100
4.24	ค่าเฉลี่ยความชื้นในดิน $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากข้อมูลดาวเทียม SMAP ในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม ปี พ.ศ. 2559 เส้นที่บสีแดงแสดงถึงค่าความชื้นในดินจากข้อมูลดาวเทียม และแถบสีเขียวอ่อนแสดงถึงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\pm$ SD) ค่าความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียม	101
4.25	ข้อมูลความชื้นในดินที่ได้จากดาวเทียม SMAP เดือนพฤษภาคมปี พ.ศ. 2559	101
4.26	แผนภาพการกระจายเปรียบเทียบข้อมูลความชื้นในดินจากข้อมูลดาวเทียม SMAP (SMAP SM) กับ ข้อมูลความชื้นในดินจากการตรวจวัดในแปลงปลูกยางพารา; (ก) ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร (Observed SM10cm) และ (ข) ที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร (Observed SM30cm) ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559	103
4. 27	การเปรียบเทียบความชื้นในดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SMAP (SMAP SM) กับข้อมูลความชื้นจากการตรวจวัดในแปลงปลูกยางพารา ระดับความลึก 10 เซนติเมตร (Observed SM _{10cm}) และ 30 เซนติเมตร (Observed SM _{30cm})	103
4.28	ค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปีที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม SMAP ระหว่างวันที่ 1 มกราคม- วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2559	105
4.29	ค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปีที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ระหว่างวันที่ 1 มกราคม- วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2559 จากการตรวจวัดภาคสนามในแปลงปลูกยางพารา อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช	106

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการวิจัย

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกยางพาราประมาณ 22.47 ล้านไร่มากเป็นอันดับสองของโลกรองจากประเทศอินโดนีเซีย เป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดในตลาดโลกหลายปีติดต่อกันมา โดยปริมาณการส่งออกเมื่อปี 2561 มีจำนวนมากกว่า 4.4 ล้านตัน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 37.73 ของปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติ (green rubber) ของโลก (สถาบันวิจัยยาง, 2561) ก่อให้เกิดอุตสาหกรรมต่อเนื่องตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ เกี่ยวข้องกับทุกภาคส่วนทั้งเกษตรกร ผู้ประกอบการและภาครัฐที่กระจายอยู่ทั่วประเทศ โดยการเกษตรและอุตสาหกรรมยางพาราสามารถสร้างงานสร้างรายได้เลี้ยงชีพให้แก่เกษตรกรชาวสวนยางในประเทศประมาณร้อยละ 10 ของประชากรทั้งประเทศ (ประมาณ 6 ล้านคน) (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2558) ส่งผลให้เกิดความเข้มแข็งของชุมชน การปลูกยางพารานอกจากเป็นการสร้างรายได้โดยตรงแก่เกษตรกรชาวสวนยางแล้ว ยังเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้แก่ประเทศไทยให้มากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถช่วยดูดซับและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศได้ (Petsri et al., 2013) สามารถช่วยสร้างความชุ่มชื้นให้แก่สภาพแวดล้อมโดยรอบ เป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ตามธรรมชาติทำให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพตามมา โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีผลผลิตและมีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุดในประเทศโดยประมาณ 13.69 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 65 ของพื้นที่ปลูกยางทั้งประเทศ (สถาบันวิจัยยาง, 2561) เนื่องจากเป็นภูมิภาคที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น มีปริมาณน้ำฝนสูงเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของยางพารา

อย่างไรก็ตามจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมาและสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศในรูปแบบต่าง ๆ ย่อมส่งผลกระทบต่อสรีรวิทยาการเจริญเติบโต รวมไปถึงผลผลิตของยางพาราที่อาจจะผันผวนลดลงได้ เนื่องจากภาคใต้เป็นพื้นที่ที่อ่อนไหวต่อความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ รวมทั้งสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศที่เกี่ยวข้องกับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงประกอบด้วย การลดลงของปริมาณฝนรวมรายปี ความแรงและความถี่ของเหตุการณ์ฝนตกหนักที่พบบริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน ในขณะที่บริเวณชายฝั่งอ่าวไทยสภาวะความรุนแรงของฝน มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เพิ่มขึ้นของความแรงของฝนซึ่งเกี่ยวข้องกับการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของจำนวนวันฝนตก (อัศมน ลิมสกุล และคณะ, 2553; Limsakul et al., 2010a; Limsakul et al., 2010b)

การแปรปรวนของสภาพอากาศและปัจจัยสภาพแวดล้อมดังกล่าวย่อมส่งผลกระทบโดยตรงต่อวิถีชีวิตชีวิตและระบบการผลิตทางการเกษตรที่ต้องพึ่งพิงลมฟ้าอากาศและน้ำฝนเป็นหลัก โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ไม่มีระบบชลประทาน และส่งผลกระทบต่อเนื่องต่อการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม โดยฐานเศรษฐกิจของประเทศส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับผลผลิตทางการเกษตรและยางพาราก็เป็นพืชเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ และเป็นพืชที่ปลูกโดยอาศัยน้ำฝนจากธรรมชาติ การเจริญเติบโตรวมทั้งผลผลิตจึงขึ้นอยู่กับสภาพของลมฟ้าอากาศเป็นหลัก ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นทั้งประเด็นการเกิดภัยแล้งและฝนตกต่อเนื่องยาวนาน ย่อมส่งผลกระทบต่อผลผลิตยางลดลง และกิจกรรมทางการเกษตรของชาวสวนยางถูกจำกัด สร้างความเดือดร้อนให้แก่เกษตรกร ขาดรายได้มาเลี้ยงดูครอบครัว อีกทั้งส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังความยั่งยืนของระบบ

เศรษฐกิจและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องของยางพารา กลายเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญทั้งในระดับภูมิภาคและระดับโลก

นอกจากนี้องค์ความรู้เกี่ยวกับภัยแล้งในภาคใต้ยังมีปรากฏอยู่น้อย ในขณะที่ภาคใต้มีผลผลิตและพื้นที่ปลูกยางพารามากที่สุดของประเทศ แม้ว่าภาคใต้จะมีฤดูแล้งสั้นกว่าพื้นที่อื่นของประเทศ แต่ปริมาณฝนที่มีความผันแปรสูง และการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอตลอดปี ในบางครั้งเกิดภาวะฝนทิ้งช่วง และมีแนวโน้มว่าในอนาคตอาจจะเกิดฝนทิ้งช่วงได้อีก ลักษณะดินที่ไม่เอื้อต่อการอุ้มน้ำในบางพื้นที่ และระบบเก็บน้ำที่มีอยู่ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการในปัจจุบัน หากไม่ได้รับการแก้ไขคาดว่าในอนาคตข้างหน้าปัญหาก็จะทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณแปลงยางพาราที่อยู่ห่างไกลแหล่งน้ำและอยู่นอกเขตชลประทาน ดังนั้นโครงการการจัดทำดัชนีความแห้งแล้งโดยใช้ข้อมูลความชื้นของดินและการคายระเหยของน้ำในระบบนิเวศการเกษตร จังหวัดนครศรีธรรมราชของประเทศไทย จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการศึกษาให้เข้าใจถึงปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในระบบนิเวศการเกษตรยางพารา ซึ่งจะใช้เป็นตัวบ่งชี้หรือบอกสถานะทางสิ่งแวดล้อมที่อาจจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตของยางพาราและกิจกรรมทางการเกษตรอื่น ๆ โดยเฉพาะการติดตามความแห้งแล้งที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ ตลอดจนการแลกเปลี่ยนของพลังงานและน้ำในระบบนิเวศการเกษตรยางพาราของพื้นที่ภาคใต้ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกยางดั้งเดิม (Traditional areas) การสร้างดัชนีตัวชี้วัดความแห้งแล้งจากข้อมูลการตรวจวัดจริงในภาคสนาม และนำข้อมูลการตรวจวัดที่ได้มาสอบเทียบกับข้อมูลดาวเทียมเพื่อการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ที่กว้างขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้ประกอบในการวางแผน หาแนวทางและมาตรการเพื่อจัดการแก้ไขและลดผลกระทบ ความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นต่อเกษตรกรชาวสวนยางและเศรษฐกิจจากอุตสาหกรรมยางพาราของประเทศได้อย่างเป็นรูปธรรมและมีประสิทธิภาพบนพื้นฐานการนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์สำหรับบริหารจัดการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระดับพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกษตรกรชาวสวนยางพาราในภาคใต้ตลอดจนพื้นที่การปลูกยางพาราในพื้นที่อื่น ๆ ของประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อศึกษาการแลกเปลี่ยนพลังงานและน้ำในระบบนิเวศยางพารา
- 2) เพื่อสร้างดัชนีบ่งชี้การเกิดความแห้งแล้งโดยใช้ข้อมูลความชื้นของดินและการคายระเหยของน้ำในระบบนิเวศการเกษตรจากการตรวจวัดภาคสนาม
- 3) เพื่อเปรียบเทียบและปรับข้อมูลตรวจวัดภาคสนามกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการประมาณความชื้นของดินสำหรับติดตามความแห้งแล้งในสเกลพื้นที่ที่กว้างขึ้น

1.3 ขอบเขตและแนวทางการดำเนินงาน

กิจกรรมที่ 1 การติดตั้งเครื่องมือเก็บข้อมูลภาคสนาม ดำเนินการติดตั้งชุดตรวจวัดปริมาณความชื้นและอุณหภูมิในดินที่เป็นแปลงปลูกยางพารา เก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของดิน เช่น เนื้อดิน โครงสร้างของดิน ช่องว่างในดิน ความหนาแน่นจำเพาะรวมของดิน พร้อมทั้งร่วมดำเนินการติดตั้งเครื่องมือและขอสนับสนุนและใช้ข้อมูลสมมูลพลังงานและน้ำที่ได้ดำเนินการตรวจวัดจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาสมมูลคาร์บอนและความต้องการใช้น้ำของยางพาราภายใต้ชุดโครงการวิจัยสรีรวิทยาการผลิตยางพารา: การศึกษาระดับแปลงใหญ่ (Physiology of Rubber Production : Plantation Scale Study) รหัสแผนงานวิจัย พ-ท (ช) 3.55 ซึ่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ติดตั้งชุดอุปกรณ์ Eddy Covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศบนหอคอย (Tower) ในพื้นที่สวนยางพารา ณ อำเภอ نابอน จังหวัดนครศรีธรรมราช

กิจกรรมที่ 2 ซ่อมแซมและตรวจสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ที่ได้ติดตั้งในแปลงยางพารา

กิจกรรมที่ 3 เก็บข้อมูลปริมาณน้ำในดิน อุณหภูมิดิน ข้อมูลปัจจัยสภาพอากาศ และข้อมูลอัตราการเคลื่อนแลกเปลี่ยนพลังงานและน้ำในแปลงยางพารา

กิจกรรมที่ 4 การวิเคราะห์สมมูลพลังงานที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศเกษตรยางพารา จากข้อมูลการตรวจวัด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศ ดินและปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

กิจกรรมที่ 5 ศึกษาดัชนีภัยแล้งที่ใช้ในการศึกษา และนำเอาค่าที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามไปใส่ในแบบจำลองแทนการคำนวณจากโมเดลทางคณิตศาสตร์

กิจกรรมที่ 6 ศึกษาข้อมูลความชื้นของดินที่ได้จากดาวเทียม SMAP การเลือกข้อมูลมาใช้ โดยจำเพาะในขอบเขตที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา การเข้าถึงข้อมูลและการเลือกใช้ข้อมูลที่ต้องการ เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมกับค่าที่ได้การตรวจวัดจริงภาคสนาม

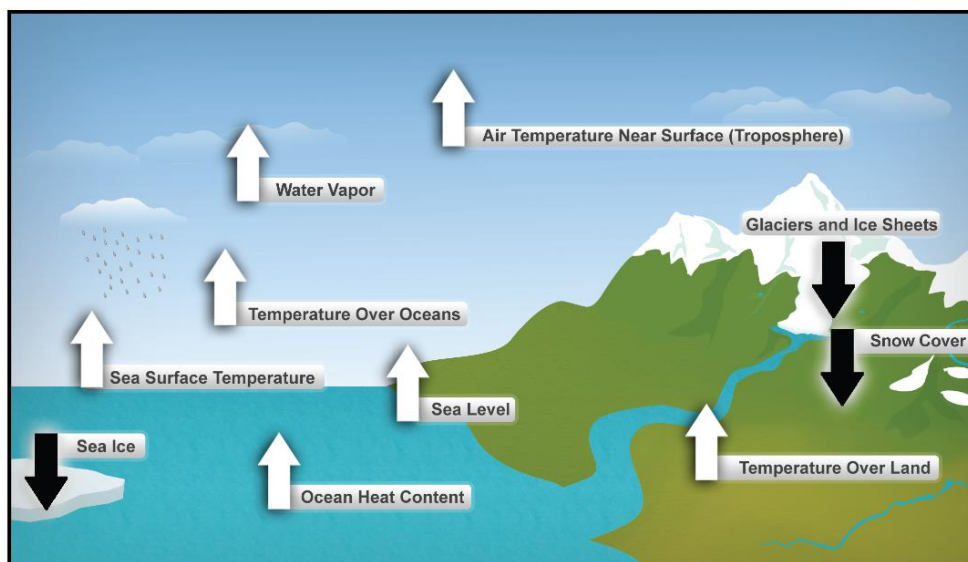
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1) ได้ดัชนีชี้วัดความแห้งแล้งเบื้องต้นสำหรับระบบนิเวศเกษตรยางพาราในภาคใต้
- 2) ได้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนน้ำและพลังงานในระบบนิเวศเกษตรยางพาราภาคใต้ ตลอดจนความสัมพันธ์ของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่จะสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ในการบริหารจัดการสวนยางพาราเพื่อให้ได้ผลผลิตตามที่คาดหวังไว้
- 3) ได้ข้อมูลพื้นฐานสำคัญที่สามารถจะใช้ validate แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เพื่อคำนวณปัจจัยอื่นๆ ต่อไป
- 4) ได้ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดกับข้อมูลดาวเทียม และ validate สำหรับการนำไปปรับใช้ในสเกลที่กว้างขึ้นหรือปรับใช้กับพื้นที่ยางพาราบริเวณอื่น ๆ ของประเทศไทย
- 5) ได้ถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่นักศึกษาและบุคลากรหรือเกษตรกรสวนยางได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่มีผลกับยางพาราในพื้นที่ได้ ตลอดจนสามารถสร้างเครือข่ายงานวิจัยกับหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศ

บทที่ 2 ทบพวนวรรณกรรม

2.1 ความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

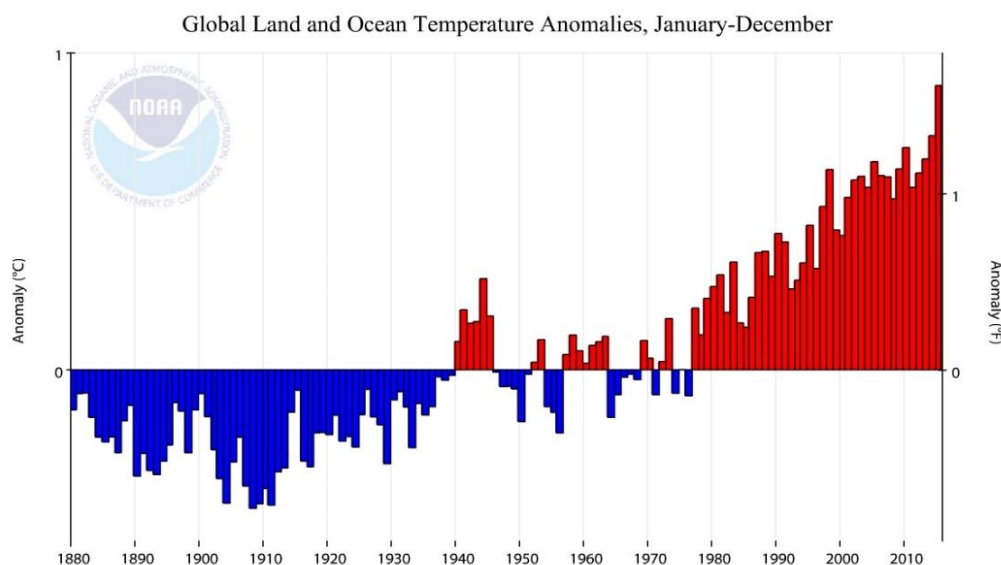
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากองค์การอุตุนิยมวิทยาโลกซึ่งติดตามข้อมูลสภาพอากาศและภูมิอากาศระดับโลกได้ระบุว่าปี 2559 จะเป็นปีที่ร้อนที่สุดของโลก อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้นถึง 1.1 องศาเซลเซียสเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงก่อนยุคอุตสาหกรรม (พ.ศ.2423-2442) สูงกว่าค่าปกติถึง 0.83 องศาเซลเซียส (ค่าปกติ หมายถึงค่าเฉลี่ย 30 ปีระหว่าง พ.ศ. 2504-2533) และสูงกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2524-2553 ประมาณ 0.52 องศาเซลเซียส (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2560) หลักฐานที่แสดงถึงการอุ่นหรือร้อนขึ้นของอุณหภูมิโลกประกอบไปด้วย น้ำแข็งในทะเล ธารน้ำแข็งและพื้นที่หิมะปกคลุมลดลง ในขณะที่อุณหภูมิผิวหน้าน้ำทะเล ระดับน้ำทะเล อุณหภูมิเหนือพื้นผิวมหาสมุทร ใต้น้ำในอากาศ อุณหภูมิเหนือพื้นดิน อุณหภูมิอากาศใกล้ชั้นโทรโพสเฟียร์สูงขึ้น (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 ดัชนี 10 อย่างที่บ่งบอกถึงการร้อนขึ้นของอุณหภูมิโลก

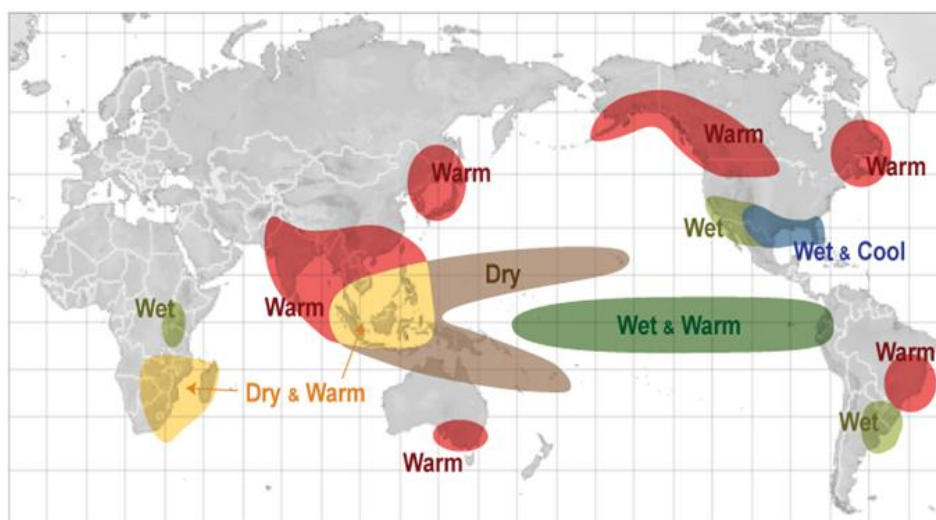
ที่มา : <https://www.ncdc.noaa.gov/climate-information/climate-change-and-variability>

นอกจากนั้นปรากฏการณ์เอลนีโญ ยังมีส่วนผลักดันให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงกว่าค่าปกติมาก โดยสูงกว่าค่าปกติ 1.13 และ 1.09 องศาเซลเซียสในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคมตามลำดับ แม้หลังปรากฏการณ์เอลนีโญสิ้นสุดแล้วก็ยังคงทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าปกติ และอุณหภูมิผิวโลกเฉลี่ยช่วง 6 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2554-2559) ถูกจัดว่าเป็นช่วงที่ร้อนที่สุด (ภาพที่ 2.2) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลในอดีต ในขณะเดียวกันหลายพื้นที่ทั่วโลกได้ประสบกับภัยแล้งรุนแรง ซึ่งส่วนใหญ่เกี่ยวเนื่องมาจากปรากฏการณ์เอลนีโญที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2015-2016 (พ.ศ.2558-2559) (ภาพที่ 2.3) ขณะที่บางพื้นที่ภัยแล้งได้ลดความรุนแรงลงหลังจากสิ้นสุดปรากฏการณ์เอลนีโญ แต่ก็มีพื้นที่อื่น ๆ ที่ยังคงได้รับผลกระทบรุนแรง



ภาพที่ 2.2 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่ต่างจากค่าเฉลี่ยของศตวรรษที่ 20

ที่มา : <https://www.climate.gov/maps-data/dataset/global-temperature-anomalies-graphing-tool>



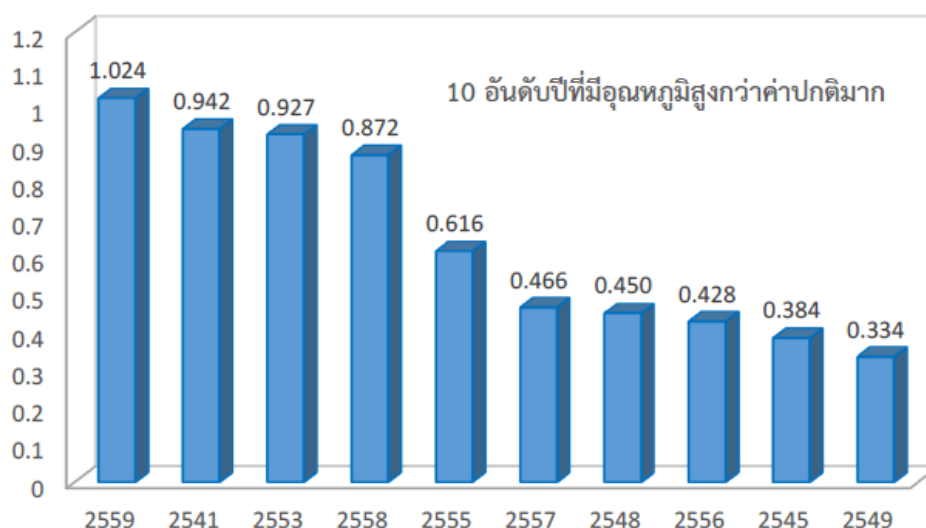
ภาพที่ 2.3 ผลกระทบทั่วโลกจากอิทธิพลของปรากฏการณ์ El Niño ที่เกิดขึ้น

ที่มา : https://www.weather.gov/jetstream/enso_impacts

สำหรับประเทศไทยอุณหภูมิอากาศในภาพรวมของประเทศ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 99% ($p < 0.01$) โดยอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิต่ำสุดรายปี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.86, 0.95 และ 1.45 องศาเซลเซียส ในรอบ 55 ปีที่ผ่านมา (ค.ศ. 1955-2009) ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงต่อทศวรรษ มีค่าเท่ากับ 0.16, 0.17 และ 0.26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (อัศมน ลิ้มสกุล และแสงจันทร์ ลิ้มจิรกาล, 2554) ในขณะที่ปี พ.ศ. 2559 เป็นปีที่ประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าค่าปกติมากที่สุดเท่าที่เคยบันทึกมา โดยนับเป็นปีแรกที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าค่าปกติ

มากกว่า 1 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 2.4) หลายพื้นที่มีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าสถิติเดิมที่เคยตรวจวัดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนเมษายนและพฤษภาคม และอุณหภูมิสูงที่สุดที่วัดได้คือ 44.6 องศาเซลเซียส ที่อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน เมื่อวันที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2559 เป็นอุณหภูมิสูงสุดที่ทำลายสถิติเดิมที่เคยมีการตรวจวัดของประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2494 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2560)

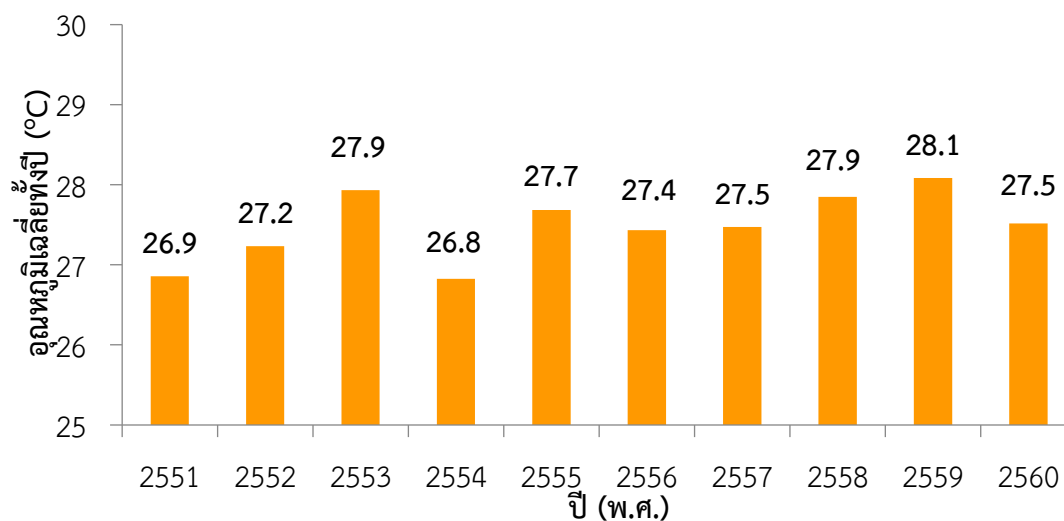
ค่าเฉลี่ยรายปีของเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิปรากฏ (Apparent temperature) ในประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) เช่นกัน ในอัตรา 2.2% และ 0.71 องศาเซลเซียส ในรอบ 42 ปี (1965-2006) ตามลำดับ (อัศมน ลิ้มสกุล และแสงจันทร์ ลิ้มจิรกาล, 2554) ในขณะที่อัตราการระเหยของน้ำที่ตรวจวัดด้วยภาควัดการระเหยในประเทศไทย ในช่วงปี ค.ศ. 1970-2009 กลับลดลงในอัตรา 7.7 มิลลิเมตร ต่อปี (Limjirakan and Limsakul, 2012b)



ภาพที่ 2.4 ข้อมูล 10 อันดับปีที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าค่าปกติ

ที่มา : <http://climate.tmd.go.th/content/file/435>

ประเทศไทยมีพื้นที่ที่อุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าค่าปกติมากกว่า 1 องศาเซลเซียส ได้แก่ ภาคเหนือมีอุณหภูมิสูงกว่าค่าปกติ 1.25 องศาเซลเซียส และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอุณหภูมิสูงกว่าค่าปกติ 1.02 องศาเซลเซียส สำหรับบริเวณอื่น ๆ มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าปกติอยู่ในช่วง 0.80 - 0.93 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2551-2560) พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของไทยในช่วงปี พ.ศ. 2551-2560

ที่มา: ดัดแปลงจากกรมอุตุนิยมวิทยา (2561)

จากข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายปีของประเทศไทยในรอบ 57 ปีที่ผ่านมา (1955-2011) ไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวที่ชัดเจน ซึ่งความแปรปรวนระยะสั้นที่เกี่ยวข้องกับความผันแปรของระบบลมมรสุมเอเชียและปรากฏการณ์เอนโซ เป็นรูปแบบที่โดดเด่นของการเปลี่ยนแปลงของฝนในประเทศไทย (Limsakul, 2013) แต่สภาวะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย มีรูปแบบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อน ซึ่งดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝนมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทั้งสองทิศทาง คือ การเพิ่มขึ้นและการลดลงในอัตราที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ การเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในภาพรวมของประเทศไทย ประกอบด้วยจำนวนวันฝนตก และระยะเวลาที่ฝนตกอย่างต่อเนื่องมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ความรุนแรงของฝนและปริมาณฝนจากเหตุการณ์ฝนตกหนักกลับเพิ่มขึ้น โดยที่ภาคกลาง ภาคตะวันออกและภาคใต้จะพบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวชัดเจนมากกว่าภาคอื่น ๆ บ่งชี้ถึงความถี่ของเหตุการณ์ฝนตกในพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยลดน้อยลง แต่ความรุนแรงของฝนและเหตุการณ์ฝนตกหนักกลับเพิ่มขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2559 ประเทศไทยมีปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงฤดูต่าง ๆ สูงกว่าค่าปกติ ยกเว้นในช่วงฤดูร้อนจะต่ำกว่าค่าปกติ หลายพื้นที่ไม่มีรายงานฝนตกเกือบตลอดฤดูกาล ทำให้ปริมาณฝนต่ำกว่าค่าปกติในทุกภาค โดยทั่วทั้งประเทศปริมาณฝนต่ำกว่าค่าปกติประมาณ 64% (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2560)

2.2 ความแห้งแล้งและดัชนีบ่งชี้การเกิดความแห้งแล้ง

ความแห้งแล้ง (Drought) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดการขาดแคลนน้ำอันเนื่องมาจากการขาดฝนเป็นระยะเวลายาวนาน จนทำให้ไม่มีน้ำใช้ตามความต้องการ (เกษม จันทรแก้ว, 2551) โดยความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นอาจจะเนื่องมาจากความแห้งแล้งของลมฟ้าอากาศที่เกิดจากการมีฝนน้อยกว่าปกติ หรือฝนตกไม่ถูกต้องตามฤดูกาลเป็นระยะเวลานานกว่าปกติและครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค การผลิตทางการเกษตรและการพัฒนาอุตสาหกรรม พืชพรรณต่างๆ เจริญเติบโตผิดปกติ ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เป็นภัยธรรมชาติประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี และได้สร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจและสังคมเป็นอย่างมาก ปัญหาภัยแล้งมีแนวโน้มความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น จากความแปรปรวนจากสภาพภูมิอากาศ ความต้องการใช้น้ำที่มากขึ้น การขยายพื้นที่เกษตรกรรมและการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรม ทั้งนี้ความรุนแรงของภัยแล้งจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความชื้นในดิน ความชื้นในอากาศ ระยะเวลาที่เกิดความแห้งแล้ง รวมถึงขนาดของพื้นที่ที่เกิดความแห้งแล้ง เป็นต้น (วิรัช วรานจิตต์ และคณะ, 2554; Eden, 2012)

The U.S. National Drought Policy Commission (NDPC) (2543) ได้นิยาม ภัยแล้ง คือ การขาดความชื้นในอากาศ หรือบนผิวดินอย่างผิดปกติและต่อเนื่อง ซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อพืช สัตว์ หรือมนุษย์ กรมอุตุนิยมวิทยา (2557) ได้ให้ความหมายของภัยแล้ง ว่าหมายถึง ภัยที่เกิดจากการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเป็นเวลานาน จนก่อให้เกิดความแห้งแล้ง และส่งผลกระทบต่อชุมชน อีกนัยหนึ่งนิยามของภัยแล้งหมายถึง ความแห้งแล้งของลมฟ้าอากาศ อันเกิดจากการที่มีฝนน้อยกว่า ปกติหรือฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาลเป็นระยะเวลานานกว่าปกติและครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำดื่ม น้ำใช้ของพืชพันธุ์ไม้ต่างๆ ขาดน้ำ ทำให้ไม่เจริญเติบโตตามปกติเกิดความเสียหายและความอดอยากทั่วไป (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2551) นอกจากนั้น ภัยแล้งยังหมายถึง ภัยที่เกิดจากการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเป็นเวลานานจนก่อให้เกิดภัยแล้งและส่งผลกระทบต่อชุมชน ภัยแล้งเกิดจากฝนแล้งและฝนทิ้งช่วง ทำให้ปริมาณฝนตกน้อยกว่าปกติหรือตกไม่ถูกต้องตามฤดูกาล หรือสภาวะระดับน้ำบนดินและใต้ดินลดลง หรือน้ำในแม่น้ำลำคลองน้อยลง โดยการเกิดความแห้งแล้งมี 3 ลักษณะ คือ 1) สภาวะอากาศแห้งแล้ง จากการที่มีการระเหยของน้ำจากดินและพืชมากกว่าปริมาณน้ำฝนรายปี 2) สภาวะขาดน้ำจากการมีฝนตกน้อยเฉลี่ยต่ำกว่าปกติเป็นเวลานานต่อเนื่องกัน และ 3) สภาวะแห้งแล้งสำหรับการเกษตรจากการลดลงของปริมาณฝนระดับ น้ำใต้ดินหรือความชื้นในดินจนพืชไม่สามารถดึงน้ำมาใช้ได้ (กุลวดี แก่นสันติสุขมงคลและคณะ, 2556) ต่อมา คณะกรรมการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติ (2558) ได้ให้ความหมายของภัยแล้งว่า คือ ภัยที่เกิดจากความแห้งแล้งของลมฟ้าอากาศอันเกิดจากการที่มีปริมาณฝนน้อยและฝนไม่ตกเป็นระยะเวลานานและครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำ ดื่มน้ำใช้พืชพันธุ์ไม้ต่าง ๆ ขาดน้ำไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติเกิดความเสียหายและส่งผลกระทบอย่างกว้างขวางรุนแรงต่อประชาชนโดยภัยแล้งเกิดจากสาเหตุดังนี้ (1) ฝนแล้ง หมายถึง สภาวะที่มีฝนน้อยหรือไม่มีฝนเลยในช่วงเวลาหนึ่งซึ่งตามปกติ จะต้องมียอดน้ำ (ภาวะที่ปริมาณฝนตกน้อยกว่าปกติหรือไม่ตกต้องตามฤดูกาล) โดยขึ้นอยู่กับสถานที่ และฤดูกาล ณ ที่นั้น

ๆ (2) ฝนทิ้งช่วง หมายถึง ช่วงที่มีปริมาณฝนตกไม่ถึงวันละ 1 มิลลิเมตรติดต่อกันเกิน 15 วัน ในช่วงฤดูฝน เดือนที่มีโอกาสเกิดฝนทิ้งช่วงสูงสุดคือเดือนมิถุนายนและกรกฎาคม

โดยสรุป ภัยแล้ง หมายถึง ภัยที่เกิดจากการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง อันเนื่องมาจากฝนทิ้งช่วง ฝนตกในปริมาณน้อยกว่าปกติ หรือฝนไม่ตกถูกต้องตามฤดูกาล เป็นระยะเวลาเกินกว่าปกติ ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค การผลิตทางการเกษตรและการพัฒนาอุตสาหกรรม พืชพันธุ์ไม้และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ขาดน้ำไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ เกิดความเสียหายและส่งผลกระทบต่ออย่างกว้างขวางรุนแรงต่อการดำรงชีวิตของประชาชนในด้านต่างๆ

ปัญหาภัยแล้ง เป็นภัยที่ก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากซึ่งมีผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตของประชาชนทั้งทางตรงและทางอ้อม เกิดปัญหาต่างๆ มากมายทั้งทางด้านการเกษตร เศรษฐกิจ สังคม สาธารณสุข และสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสาเหตุของปัญหาภัยแล้งนั้นมีสาเหตุมาจากหลายสาเหตุด้วยกัน ทั้งปัญหาปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอและการกระจายของฝนไม่ทั่วถึงพื้นที่ที่ไม่มีแหล่งกักเก็บน้ำเพียงพอและความสามารถในการกักเก็บน้ำของดินต่ำ ตลอดจนแหล่งน้ำต่างๆ ที่มีอยู่ตื้นเขิน ไม่มีการชะลอน้ำ ทำให้น้ำไหลบ่าลงสู่แม่น้ำสายหลักต่างๆ และไหลลงทะเลอย่างรวดเร็ว

นอกจากนั้นปัจจัยผสมผสานระหว่างปรากฏการณ์ธรรมชาติ "เอลนีโญ" และภาวะโลกร้อน ที่เป็นผลพวงของการปล่อยควันทูบออกสู่ชั้นบรรยากาศเป็นปริมาณมากอันเนื่องมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ส่งผลให้ภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลกให้ต้องเผชิญกับวิกฤตภัยแล้งที่รุนแรงโดยเฉพาะที่เคยเกิดขึ้นในปี 2558 การเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมโลกดังกล่าว ทำให้สถานะของปัญหาภัยแล้งเป็นปัญหาที่แต่ละประเทศให้ความสำคัญมาเป็นลำดับต้นๆ ในทวีปเอเชียสถานการณ์ภัยแล้งได้เกิดขึ้นในหลายพื้นที่ครอบคลุมตั้งแต่จีน อินเดีย ไทย กัมพูชา เวียดนาม จนถึงฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย ส่งผลให้รัฐบาลในหลายประเทศต้องเร่งจัดทำมาตรการฉุกเฉินเพื่อบรรเทาผลกระทบ และรับมือกับวิกฤตการณ์

2.2.1 ประเภทของภัยแล้ง

ภัยแล้ง (Drought) เป็นภัยธรรมชาติที่เกิดในช่วงเวลาซึ่งอากาศแห้งผิดปกติหรือขาดฝน ทำให้เกิดความขาดแคลนน้ำกินน้ำใช้ และถ้ามีความรุนแรงอาจทำให้พืชผลตลอดจนสิ่งมีชีวิตต่างๆ เกิดความเสียหาย ความรุนแรงของความแห้งแล้งมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับสภาวะฝนแล้งหรือความแห้งแล้งของลมฟ้าอากาศ ซึ่งเกิดจากการมีฝนตกน้อยกว่าปกติ หรือฝนไม่ตกตามฤดูกาล ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำใช้ พืชพันธุ์ต่างๆ ขาดน้ำหล่อเลี้ยง ขาดความชุ่มชื้น ทำให้พืชผลไม่สมบูรณ์ หรือเจริญเติบโตให้ผลไม่ปกติ เกิดความเสียหาย และเกิดความขาดแคลนทั่วไป จึงนับได้ว่า ฝนเป็นตัวประกอบสำคัญ และมีอิทธิพลต่อความแห้งแล้งชัดเจนกว่าข้อมูลอุณหภูมิต่ำกว่าอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น หรือการระเหยของน้ำ เป็นต้น

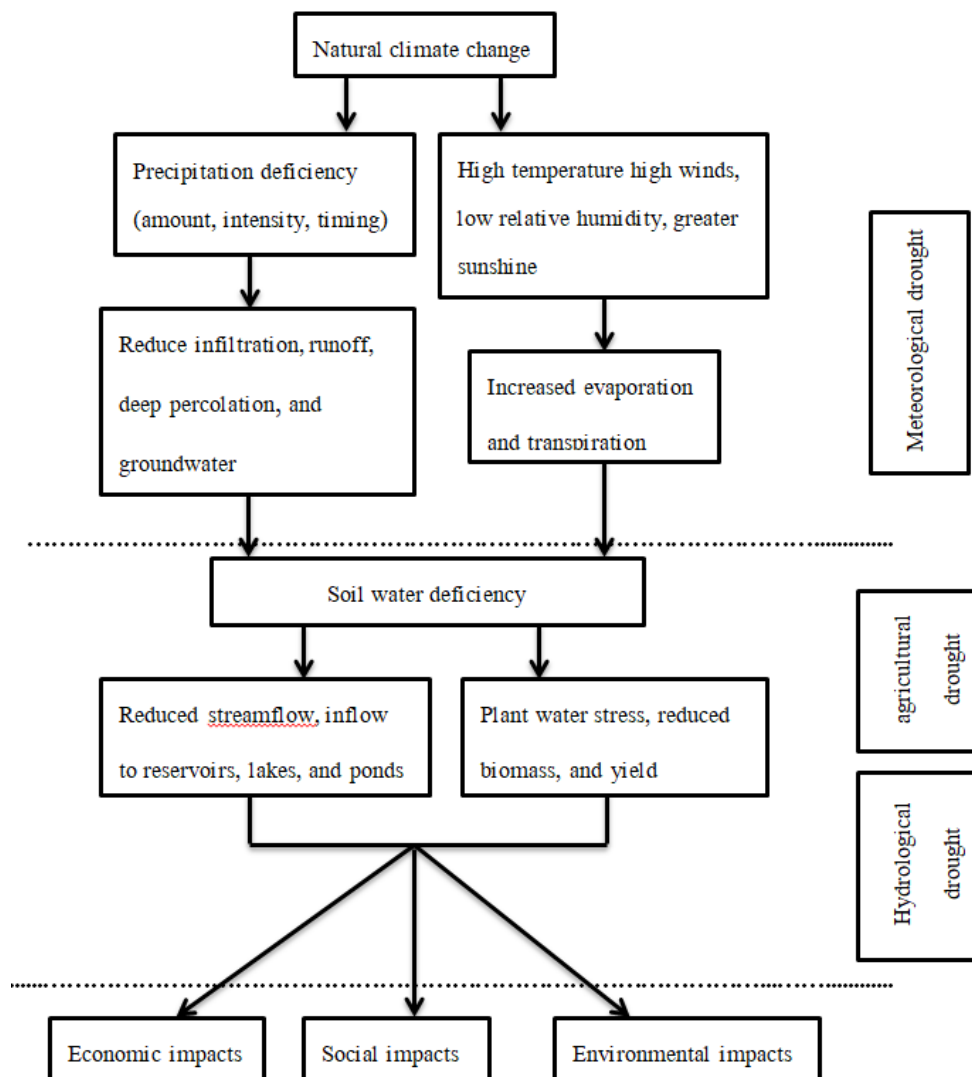
ความแห้งแล้งแบ่งออกเป็น 4 ประเภท (ภาพที่ 2.6) ตามลักษณะการเกิดดังต่อไปนี้

1) ความแห้งแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Drought) เกิดเนื่องจากการมีฝนตกน้อยกว่าปกติ หรือมีจำนวนวันที่ฝนตกน้อยผิดปกติ เป็นบริเวณกว้างและระยะเวลานานต่อเนื่องกัน ความแห้งแล้งในทางอุตุนิยมวิทยาเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาความแห้งแล้งประเภทอื่นๆ ซึ่งเกิดขึ้นตามกันเป็นลำดับ

2) ความแห้งแล้งเชิงเกษตรกรรม (Agricultural Drought) เป็นความแห้งแล้งซึ่งเป็นผลกระทบต่อเนื่องมาจากความแห้งแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยา ความแห้งแล้งเชิงเกษตรกรรมจะมุ่งสนใจในเรื่องของการเกิดฝนทิ้งช่วง ซึ่งทำให้ดินขาดความชุ่มชื้น และนอกจากนี้ความแห้งแล้งเชิงเกษตรกรรมยังขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ซึ่งมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศได้ต่างกัน ความต้องการน้ำแตกต่างกัน รวมทั้งลำดับขั้นตอนการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีผลต่อผลผลิตทางการเกษตรทั้งสิ้น

3) ความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา (Hydrological Drought) เป็นความแห้งแล้งที่เกิดจากช่วงฤดูกาลที่มีปริมาณฝนตกน้อยหรือไม่มีฝนตก ทำให้ระดับน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินลดระดับลง ซึ่งความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยานี้มักจะพิจารณาในระดับของกลุ่มน้ำ ความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยาเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างซ้ำๆ ต่างจากความแห้งแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยา และความแห้งแล้งเชิงเกษตรกรรม โดยสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา แต่ยังมีปัจจัยอื่นๆอาจเป็นสาเหตุด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต้นน้ำจะทำให้เกิดผลกระทบต่อพื้นที่ท้ายน้ำได้ เช่นการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน การลดลงของป่าไม้ และการสร้างเขื่อนกักเก็บน้ำ เป็นต้น

4) ความแห้งแล้งเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคม (Socioeconomic Drought) เป็นความแห้งแล้งที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรที่มีอยู่ และความต้องการทรัพยากรนั้น แต่เนื่องจากทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและมีความต้องการทรัพยากรมีมาก จึงทำให้เกิดความขาดแคลนขึ้น ซึ่งความแห้งแล้งเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคมจะแตกต่างออกไปจากนิยามความแห้งแล้งอื่นๆ เนื่องจากมีความต้องการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดที่กล่าวถึงคือ ทรัพยากรที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจหรือมีราคา และเกิดความจำกัดขึ้นเนื่องจากผลกระทบจากความแห้งแล้งทั้ง 3 ประเภท ข้างต้น ทรัพยากรดังกล่าว ได้แก่ น้ำ ธัญญาหาร ผลผลิตทางการเกษตร สัตว์น้ำ และกระแสไฟฟ้าพลังน้ำ ซึ่งความขาดแคลนทรัพยากรที่เกิดขึ้นย่อมจะเกิดผลกระทบต่อเนื่องในระบบเศรษฐกิจและสังคม เช่น กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้น้อยลงทำให้ต้องเพิ่มปริมาณการนำเข้าน้ำมัน และถ่านหิน หรือข้าวมีผลผลิตต่อไร่ลดลง ทำให้ราคาสูงขึ้นหรือมีผลกระทบต่อรายได้จากการส่งออก เป็นต้น



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของรูปแบบภัยแล้งทั้ง 4 ประเภท คือ ภัยแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยา ภัยแล้งเชิงอุทกวิทยา ภัยแล้งเชิงเกษตรกรรม และภัยแล้งเชิงเศรษฐกิจและสังคม

ที่มา: ประวิทย์ จันทรณ์ฉ่าง (2553)

นอกจากนี้ในนิยามความแห้งแล้งในทางอุตุนิยมวิทยาเกษตรได้เคยมีผู้ที่ศึกษาและรวบรวมโดย Dunkel Zoltan Hungarian Meteorological Service ซึ่งสามารถแย่งแยกประเภทและสาเหตุการเกิดออกเป็นประเภทหลักๆ โดยมีรายละเอียดประกอบด้วย

1) ช่วงฝนแล้ง (Drought) หมายถึง ปริมาณฝนที่ขาดแคลนยืดเยื้อเป็นเวลานานหรือมีปริมาณฝนไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้ และเป็นสัญญาณบ่งบอกถึงความแห้งแล้งที่เกิดขึ้น หรือช่วงเวลาที่มีความผิดปกติที่สภาวะอากาศแห้งยืดเยื้อยาวนานและไม่มีฝนตก เป็นสาเหตุที่รุนแรงที่ทำให้สภาวะน้ำขาดความสมดุลในทางธรรมชาติ (World Meteorological Organization: WMO 1992, No.182) ความหมายของช่วงฝนแล้งใน

พจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์ ราชบัณฑิตยสถาน หมายถึง ช่วงเวลาซึ่งอากาศแห้งผิดปกติหรือขาดฝน ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำใช้และพืชผลต่างๆ เสียหาย ความรุนแรงของช่วงฝนแล้งนั้นขึ้นอยู่กับความชื้นในอากาศ ระยะเวลาที่เกิดความแห้งแล้ง และความกว้างใหญ่ของบริเวณพื้นที่ที่มีความแห้งแล้ง

2) ฤดูแล้ง (Dry Season) หมายถึง ฤดูที่มีปริมาณฝนตกในช่วงระยะเวลาของปี นั้นๆ ที่เกือบจะขาดแคลนน้ำ โดยทั่วไป (ในความหมายนี้ส่วนใหญ่จะใช้บริเวณแถบละติจูดต่ำ)

3) ระยะแล้ง (Dry Spell) หมายถึง ช่วงระยะเวลาที่ขาดแคลนน้ำหรือฝนแล้งที่เกิดขึ้น เป็นบริเวณกว้างแต่ความรุนแรงน้อยกว่าช่วงฝนแล้ง ซึ่งอาจจะกำหนดเป็นช่วงระยะเวลาที่ขาดฝน ไม่น้อยกว่า 1-2 สัปดาห์และช่วงเวลาดังกล่าวไม่มีฝนตกที่สามารถวัดปริมาณฝนได้

4) ความแห้งแล้งทางบรรยากาศ (Atmospheric Drought) หมายถึง ปริมาณความชื้นในบรรยากาศต่ำเกิดจากการขาดแคลนปริมาณความชื้นสูงมากที่จะทำให้บรรยากาศในขณะนั้นอึดตัว

5) ความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Drought) หมายถึง ปริมาณฝนโดยเฉลี่ยจะมีปริมาณน้อยกว่าเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงระยะเวลายาวนานในอดีตที่ผ่านมา เกิดเนื่องจากการมีฝนตกน้อยกว่าปกติ หรือมีจำนวนวันที่ฝนตกน้อยผิดปกติ เป็นบริเวณกว้างและเป็นระยะเวลานานต่อเนื่องกัน

6) ความแห้งแล้งทางเกษตรกรรม (Agricultural Drought) มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับ ความแห้งแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยาและความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา เป็นสภาวะที่พืชขาดน้ำซึ่งเกิดเนื่องจากปริมาณฝนรวม และการกระจายตัวของฝนน้อยผิดปกติ การระเหยของน้ำจริง (Actual evapotranspiration) มีมากกว่า ศักยภาพการระเหย (Potential evapotranspiration) และความชื้นในดินมีน้อย ทำให้ระดับน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำผิวดินลดลง จึงทำให้ผลผลิตการเกษตร (พืชพันธุ์และสัตว์เลี้ยง) ลดน้อยลง

7) ความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาอุทก (Hydrological Drought) หมายถึง ช่วงเวลาของระดับน้ำที่ไหลมีระดับต่ำกว่าปกติ เกิดเนื่องจากปริมาณน้ำท่า (ในแม่น้ำลำคลอง หนอง บึง และอ่างเก็บน้ำต่างๆ) มีน้อยกว่าระดับปรกติ หรือระดับน้ำใต้ดินลดลง

8) ความแห้งแล้งทางสรีรศาสตร์ (Physiological Drought) หมายถึง พืชไม่สามารถนำเอาน้ำมาใช้ได้ทั้งๆ ที่มีความชื้นในดินเพียงพอ

9) ความแห้งแล้งทางสังคมและเศรษฐกิจ (Socioeconomic Drought) เป็นผลกระทบจากความแห้งแล้ง ทำให้มีการระเหยของน้ำจากดินและพืชมาก พื้นดินขาดน้ำ ผลผลิตการเกษตรลดลง พืชและสัตว์เลี้ยงอาจถึงตายได้ จากการที่มนุษย์และสัตว์ขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภค อาจมีผลถึงโรคระบาดในฤดูแล้ง รวมถึงการขาดแคลนน้ำในด้านอุตสาหกรรม และน้ำที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เมื่อผลผลิตน้อยลง ในขณะราคาสินค้าสูงขึ้น ทำให้รัฐต้องสูญเสียงบประมาณเพื่อช่วยผู้ประสบภัยแล้ง นอกจากนี้ ยังส่งผลให้เกษตรกรไม่มีงานทำ ต้องอพยพเข้ามาหางานทำในเมืองใหญ่ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาด้านเศรษฐกิจ ปัญหาชุมชน และบางที่ก็เพิ่มปัญหาทางด้านอาชญากรรมขึ้น ถ้าไม่สามารถหางานทำได้

10) ความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการผันแปรของสภาพอากาศ ซึ่งเกิดขึ้นจากปัจจัย 3 ประการ คือ ความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา ความแห้งแล้งทางด้านเกษตร และความแห้งแล้งทางอุทกวิทยา ทั้ง 3 ประการนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ใช้ระยะเวลายาวนานนำไปสู่ผลกระทบทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของประเทศ

นอกจากนี้ภูมิอากาศประจำถิ่นถือเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งของการเกิดภัยแล้ง โดยเฉพาะในกรณีของประเทศไทยซึ่งจัดอยู่ในเขตภูมิอากาศชื้นและแห้ง (Wet and Dry Climate) ซึ่ง มีช่วงแห้งแล้งระยะสั้น ความชื้นในดินไม่เพียงพอให้พืชได้เจริญเติบโตไม่หยุดชะงัก และ มีช่วงแห้งแล้งระยะยาว ความชื้นในดินหมดไป จนกระทั่งพืชบางชนิดต้องตายไป หรือไม่ก็ต้องปรับตัว โดยวิธีการต่างๆ เพื่อให้ดำรงชีพได้ในช่วงที่แห้งแล้ง ตามการจำแนกเขตภูมิอากาศของ Koppen

ดังนั้น ความแห้งแล้งจึงเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นเป็นปกติซึ่งต้องยอมรับ และเตรียมการเพื่อแก้ไข ทั้งนี้ ภาวะความแห้งแล้งของลมฟ้าอากาศ สามารถแบ่งตามระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1) ความแห้งแล้งอย่างเบา หรือช่วงฝนทิ้ง (Dry Spell) เป็นสภาวะความแห้งแล้งที่มีฝนตกเฉลี่ยไม่ถึงวันละ 1 มิลลิเมตร เป็นเวลาต่อเนื่องกันถึง 15 วันในช่วงฤดูฝน ความแห้งแล้งแบบนี้เกิดขึ้นตามภาคต่างๆ ในประเทศไทยเสมอ ในตอนต้นฤดูฝน ระหว่างเดือนมิถุนายน และกรกฎาคม

2) ความแห้งแล้งปานกลางหรือความแห้งแล้งชั่วคราว (Partial Drought) เป็นช่วงฝนแล้ง ที่มีฝนตกในฤดูฝนเฉลี่ยไม่เกินวันละ 0.25 มิลลิเมตร เป็นเวลานานต่อเนื่องกันไม่น้อยกว่า 29 วัน ความแห้งแล้งแบบนี้เกิดขึ้นถึงขั้นขาดแคลนน้ำ มีผลกระทบต่อการเกษตร ความเป็นอยู่ของประชาชน และเศรษฐกิจของประเทศ แต่ไม่ค่อยได้เกิดขึ้นในประเทศไทยบ่อยนัก

3) ความแห้งแล้งอย่างรุนแรง หรือความแห้งแล้งสมบูรณ์ (Absolute Drought) เป็นความแห้งแล้งที่ฝนไม่ตกในฤดูฝน ต่อเนื่องกันไม่น้อยกว่า 15 วัน หรืออาจมีตกบ้าง แต่ไม่มีวันใดที่มีฝนตกถึง 0.25 มิลลิเมตร นับเป็นภัยธรรมชาติที่รุนแรงที่สุด มีพืชพรรณต่างๆ ล้มตายเรื่อย ๆ ทำให้ไม่มีผลผลิต สภาวะแห้งแล้งเช่นนี้ ยังไม่เคยปรากฏในประเทศไทย

ภาวะความแห้งแล้ง มีสาเหตุดังนี้

1) การแปรปรวนของลมฟ้าอากาศ ทำให้ฝนตกน้อยกว่าปกติหรือไม่ตกต้องตามฤดูกาล จำนวนวันที่ฝนตกน้อยกว่าเกณฑ์เฉลี่ยหรือฝนทิ้งช่วงนานผิดปกติ

2) การขาดความสมดุลของธรรมชาติ จึงไม่เอื้ออำนวยต่อการเกิดฝน

3) การเปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การตัดไม้ทำลายป่าต้นน้ำ การทำไร่เลื่อนลอย การปลูกพืชเชิงเดี่ยว เป็นต้น

4) การใช้น้ำที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการพัฒนาพื้นที่ทั้งทางด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม รวมทั้งการเพิ่มของประชากร

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสภาวะภัยแล้ง พบว่า ฝนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้เกิดสภาวะภัยแล้ง นอกจากนั้นสภาพสิ่งแวดล้อมของพื้นที่ก็เป็นปัจจัยสนับสนุนที่จะก่อให้เกิดระดับความรุนแรงของสภาวะภัยแล้ง ได้แก่ ดิน พืชคลุมดิน ความลาดชัน เป็นต้น

2.2.2 สาเหตุของการเกิดภัยแล้ง

การเกิดภัยแล้งและการขาดแคลนน้ำในประเทศไทยนั้น ประกอบด้วยหลายปัจจัย ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของบรรยากาศ ระบบการหมุนเวียนของบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างบรรยากาศและน้ำทะเลหรือมหาสมุทร การเปลี่ยนแปลงและการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจและสังคม โดยสาเหตุการเกิดภัยแล้งตามรายงานของศูนย์ป้องกันวิกฤติน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ (2561) สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) จากสภาวะอากาศในฤดูร้อนที่ร้อนมากกว่าปกติ หรือความผิดปกติของตำแหน่งร่องมรสุม และการพัดพาของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้
- 2) การเกิดฝนตกในพื้นที่ไม่ต่อเนื่องหรือฝนไม่ตกตามฤดูกาล รวมทั้งการเกิดภาวะฝนทิ้งช่วง ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน
- 3) ความผิดปกติ เนื่องจากพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนที่ผ่านประเทศไทยน้อยกว่าปกติ
- 4) การเปลี่ยนแปลงความสมดุลของพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ เช่น การเผาพลาสติก น้ำมัน และถ่านหิน ทำให้เกิดรูโหว่ในชั้นโอโซน
- 5) ผลกระทบจากปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจก เนื่องจากส่วนผสมของบรรยากาศ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำลอยขึ้นไปเคลือบชั้นล่างของชั้นโอโซน ทำให้ความร้อนสะสมอยู่ในอากาศใกล้ผิวโลก มากขึ้น ทำให้อากาศร้อนกว่าปกติ
- 6) การเจริญเติบโตและการพัฒนาด้านอุตสาหกรรม รวมถึงการเพิ่มขึ้นของประชากร การขยายตัวของเมืองหลวงและพื้นที่เขตเศรษฐกิจที่สำคัญ
- 7) การตัดไม้ทำลายป่า การบุกรุกพื้นที่ป่าต้นน้ำและการขยายพื้นที่ทำกิน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของภูมิอากาศ เช่น ฝน อุณหภูมิ และความชื้น (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2551)
- 8) แหล่งเก็บกักน้ำตามธรรมชาติและที่สร้างขึ้น มีน้อยไม่เพียงพอต่อการเก็บกักน้ำไว้ใช้ ประโยชน์ ซึ่งอาจเกิดจาก ข้อจำกัดของภูมิประเทศที่ไม่มีลำน้ำธรรมชาติ สภาพพื้นที่ไม่เหมาะสม ที่จะพัฒนาเป็นแหล่งน้ำ แหล่งน้ำที่ได้รับการพัฒนา มีขนาดเล็กเกินไป ใช้ประโยชน์ได้ไม่เพียงพอ เก็บกักน้ำได้น้อย และ อยู่ไกลแหล่งชุมชน
- 9) แหล่งเก็บกักน้ำตามธรรมชาติและที่สร้างขึ้นเสื่อมสภาพ ตื้นเขิน ชำรุด ทำให้มีประสิทธิภาพต่ำ เก็บกักน้ำไว้ได้น้อยจนถึงไม่สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ การร่อนน้ำฝนจากหลังคาบ้านเพื่อเก็บเอาไว้ใช้อุปโภค บริโภคไม่สามารถทำได้ เพราะแร่ใยหินที่ใช้ผลิตกระเบื้องมุงหลังคาเป็นสารก่อมะเร็ง อีกทั้งในเขตเมืองมีฝุ่น ควันและมลพิษจากเครื่องยนต์จำนวนมาก ทำให้คุณภาพน้ำฝนที่กักเก็บไว้ไม่เหมาะสำหรับการบริโภค
- 10) คุณภาพน้ำไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น น้ำเค็ม น้ำขุ่น เป็นสนิม สกปรก หรือ เน่าเสีย
- 11) การขาดจิตสำนึกในการใช้น้ำและการอนุรักษ์น้ำ เช่น ใช้น้ำไม่ประหยัด ใช้น้ำอย่างไม่ถูกต้องเหมาะสม การบุกรุกทำลายแหล่งน้ำ

12) การวางผังเมืองไม่เหมาะสม โดยแบ่งแยกพื้นที่เพื่อการทำกิจกรรมไม่เหมาะสมสอดคล้องกับแหล่งน้ำที่จะนำมาใช้ประโยชน์ ขาดการวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำที่เหมาะสมไว้ล่วงหน้า

13) การบริหารจัดการน้ำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ การประมาณการ กักเก็บและระบายน้ำ เป็นต้น (กรมชลประทาน, 2547)

นอกจากนี้การเกิดความแห้งแล้งของประเทศไทยโดยส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการขาดฝน หรือปริมาณฝนที่มีค่าต่ำกว่าค่าปกติมากในบางปีซึ่งเกิดความแห้งแล้ง โดยปริมาณฝนในแต่ละปีจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการที่สำคัญ ได้แก่

1) พายุหมุนเขตร้อน เป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้มีฝนตกหนักเป็นบริเวณกว้าง จากสถิติที่ผ่านมาประเทศไทยจะมีพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนเข้าสู่ปีละประมาณ 3-4 ลูก ถ้าปีใดมีพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนเข้ามาน้อยหรือไม่เคลื่อนผ่านเข้ามาเลย อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณฝนน้อยกว่าปกติ อย่างไรก็ตามปริมาณฝนที่เกิดขึ้นเนื่องจากพายุจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ทิศทาง ขนาดและความแรงของพายุ

2) ร่องมรสุมหรือร่องความกดอากาศต่ำ การเคลื่อนของร่องมรสุม จะทำให้เกิดฝนตกในบริเวณที่เคลื่อนผ่านอย่างต่อเนื่อง หากปีใดร่องมรสุมมีกำลังอ่อนหรือเคลื่อนออกไปพาดผ่านนอกเขตประเทศไทยเร็วกว่าปกติ ก็อาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณฝนมีค่าน้อยกว่าปกติ และเกิดความแห้งแล้งขึ้นได้ โดยปกติในแต่ละปีร่องมรสุมจะเคลื่อนที่ตามแนวดวงอาทิตย์ (Declination) พาดผ่านประเทศไทย 2 ช่วง คือ ช่วงแรกประมาณเดือนเมษายนถึงมิถุนายน เคลื่อนจากใต้ไปเหนือ และช่วงหลังประมาณเดือนสิงหาคมถึงพฤศจิกายน เคลื่อนจากเหนือลงใต้

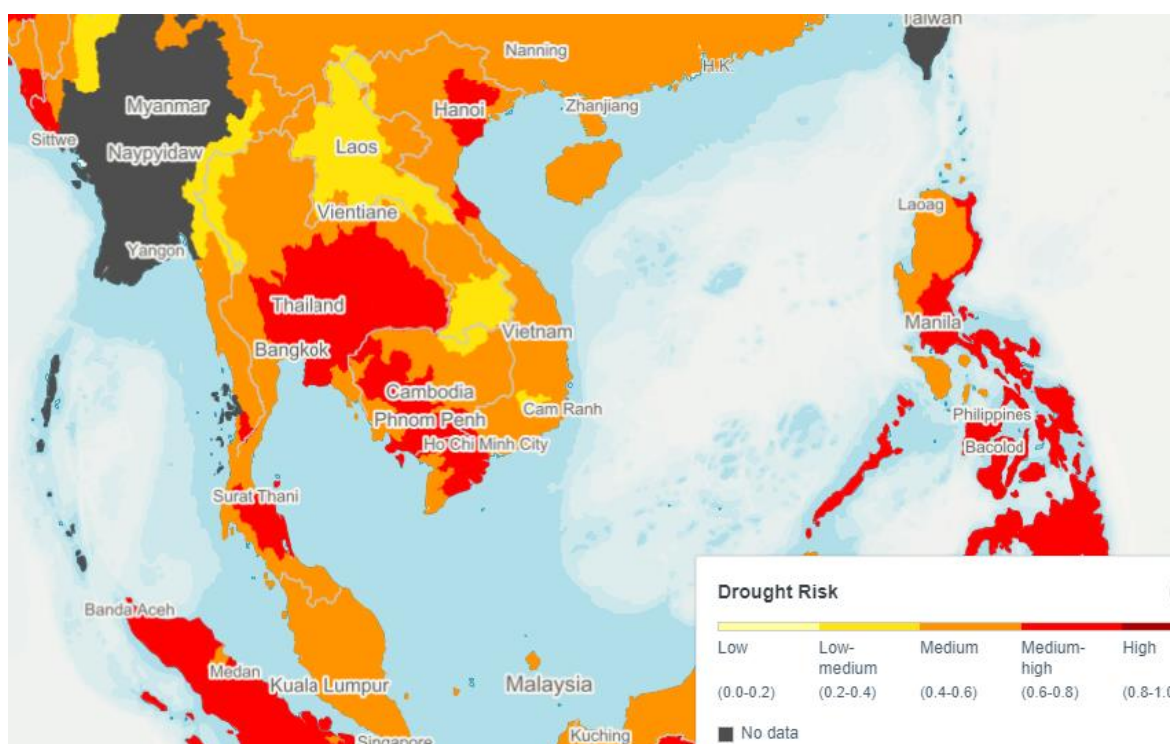
3) ฝนทิ้งช่วง ปกติจะมีฝนทิ้งช่วงเกิดขึ้นเป็นประจำในสภาวะที่สภาพภูมิอากาศโลกเปลี่ยนแปลง ช่วงเวลาที่ฝนทิ้งช่วงในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยก็จะแตกต่างกันไป โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นระหว่างปลายเดือนมิถุนายนถึงปลายเดือนกรกฎาคม อาจจะทิ้งช่วงนานประมาณ 2 สัปดาห์ถึงหนึ่งเดือนหรือยาวนานมากกว่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าว ร่องมรสุมจะเลื่อนขึ้นไปพาดผ่านบริเวณประเทศจีนตอนใต้ ทำให้ฝนในประเทศไทยลดลงโดยทั่วไป ด้วยเหตุนี้หากปีใดมีฝนทิ้งช่วงเกิดขึ้นนานกว่า 2 สัปดาห์ขึ้นไป ก็จะทำให้เกิดความเดือดร้อนต่อเกษตรกร เพราะจะทำให้กิจกรรมทางการเกษตร เช่น การเพาะปลูกหรือปักดำข้าวกล้าช้ากว่าปกติ หรือหากมีฝนทิ้งช่วงนานเป็นเดือน ๆ ก็จะส่งผลทำให้เกิดภัยแล้งรุนแรงทั่วประเทศเหมือนเช่นการเกิดภัยแล้งเมื่อปี 2558 เป็นต้น

4) ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงฤดูฝนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะพัดพาเอาความชื้นจากทะเลเข้าสู่ประเทศไทยทำให้เกิดฝนตกเป็นประจำ แต่ถ้าหากว่าปีใดลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีกำลังอ่อนหรือเกิดในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และขาดความชื้นที่จะสนับสนุนให้เกิดฝนได้แล้ว ปีนั้นปริมาณฝนอาจจะน้อยกว่าปกติ และสภาวะความแห้งแล้งอาจเกิดขึ้นได้

นอกจากปัจจัยที่ก่อให้เกิดฝนโดยตรงดังกล่าวข้างต้นแล้ว ในทางอุตุนิยมวิทยายังเน้นความสนใจเรื่องระบบการหมุนเวียนของบรรยากาศ และการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างบรรยากาศกับมหาสมุทร เช่น ปรากฏการณ์เอนโซ และ Indian Ocean Dipole เป็นต้น

2.2.3 การเกิดภัยแล้งในประเทศไทยและภาคใต้

ประเทศไทยนับว่าเป็นประเทศที่มีการใช้น้ำสูงมากทั้งภาคการเกษตรและภาคการบริการ จากแบบจำลองการใช้น้ำของ World Resources Institute (WRI) ระบุว่าไทยอยู่ในกลุ่มประเทศที่มีความตึงเครียดน้ำ (water stress area) เกณฑ์ฐานปานกลาง-สูง แต่หากพิจารณาในรายละเอียด จะพบว่าพื้นที่ประเทศไทยเกือบครึ่งหนึ่งถูกจัดอยู่ในพื้นที่ความเสี่ยงสูง โดยเฉพาะภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออก (ภาพที่ 2.7)



ภาพที่ 2.7 แผนที่แสดงความเสี่ยงภัยแล้ง (drought risk) จากแบบจำลอง Aqueducts โดย World Resources Institute (WRI)

ที่มา: <https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas/>

ประเทศไทยจะประสบปัญหาภัยแล้งใน 2 ช่วงเวลา ได้แก่ 1) ช่วงฤดูหนาวต่อเนื่องถึงฤดูร้อน ซึ่งเริ่มจากครึ่งหลังของเดือนตุลาคมเป็นต้นไป บริเวณประเทศไทยตอนบน (ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันออก) จะมีปริมาณฝนตกลงเป็นลำดับจนกระทั่งเข้าสู่ฤดูฝนในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมของปีถัดไป ซึ่งภัยแล้งลักษณะนี้ จะเกิดขึ้นประจำปี 2) ช่วงกลางฤดูฝน ประมาณปลายเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม จะมีสถานการณ์ฝนทิ้งช่วงเกิดขึ้น ทำให้เกิดภัยแล้งครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างเกือบทั่วประเทศ โดยระดับความรุนแรงของภัยแล้งได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านอุทกวิทยาเป็นสำคัญ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย ความชื้นในดินและในอากาศ รวมถึงสภาพทางภูมิศาสตร์ การใช้ที่ดิน และการพัฒนาแหล่งน้ำ (กรมอุตุฯ, 2557)

พื้นที่ในประเทศไทยจะได้รับผลกระทบจากภัยแล้งแตกต่างกันตามฤดูกาลและลักษณะพื้นที่ โดยภัยแล้งในประเทศไทยส่วนมากจะมีผลกระทบต่อการผลิตในด้านเกษตรกรรม ซึ่งเป็นภัยแล้งที่เกิดจากการขาดฝนหรือฝนแล้ง ในฤดูฝน และฝนทิ้งช่วง ระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม (ตารางที่ 2.1) โดยพื้นที่ที่เกิดภัยแล้งตามฤดูกาลของภาคใต้ซึ่งแบ่งออกเป็นสองฝั่ง คือภาคใต้ฝั่งตะวันออกและภาคใต้ฝั่งตะวันตก โดยภาคใต้ฝั่งตะวันออกจะได้รับผลกระทบด้านภัยแล้งในช่วงเดือนมีนาคม ในขณะที่ภาคใต้ฝั่งตะวันตกจะได้รับผลกระทบด้านภัยแล้งตั้งแต่เดือนมกราคมไปจนถึงเดือนพฤษภาคม (กรมทรัพยากรน้ำ, 2559) อย่างไรก็ตาม หากเปรียบเทียบปริมาณฝนเป็นรายภาคระหว่างปี 2558 และค่าเฉลี่ย 30 ปี (ค่าปกติ) พบว่า ทุกภาคมีค่าปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าค่าเฉลี่ย ยกเว้นภาคใต้ฝั่งตะวันออกที่มีฝนมากกว่าค่าเฉลี่ย 30 ปี (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.1 ภูมิภาคในประเทศไทยที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง

ภาค/เดือน	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ตะวันออก	ใต้	
					ฝั่งตะวันออก	ฝั่งตะวันตก
ม.ค.						ฝนแล้ง
ก.พ.		ฝนแล้ง	ฝนแล้ง			ฝนแล้ง
มี.ค.	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง
เม.ย.	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง		ฝนแล้ง
พ.ค.						ฝนแล้ง
มิ.ย.	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง		
ก.ค.	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง		

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (<https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=71>)

สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้โดยเฉพาะบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออก มีพื้นที่ประมาณ 16.26 ล้านไร่ ครอบคลุมพื้นที่ 11 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดชุมพร ตรัง นครศรีธรรมราช นราธิวาส ประจวบคีรีขันธ์ พัทลุง ยะลา ปัตตานี หนองสงขลา และสุราษฎร์ธานี โดยมีลุ่มน้ำตาปี ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา และลุ่มน้ำปัตตานีแทรกตัวเป็นช่วง ๆ มีปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 2,197 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย 24,563 ล้านลูกบาศก์เมตร ขณะที่ศักยภาพเก็บกักในแหล่งน้ำต่างในพื้นที่มีประมาณ 110 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี แต่มีความต้องการน้ำถึง 10,216 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, 2561) ทำให้ภาคใต้ฝั่งตะวันออกประสบปัญหาเรื่องการขาดแคลนน้ำตลอดมา โดยเฉพาะในช่วงหน้าร้อน

การเกิดภัยแล้งในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช จากข้อมูลของสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดนครศรีธรรมราชพบว่าหลายพื้นที่ของจังหวัดนครศรีธรรมราช ได้รับผลกระทบจากภาวะภัยแล้งขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค และน้ำเพื่อการเกษตร มีต้นไม้ผลยืนต้นตาย เช่น ทุเรียน มังคุด ลองกอง เป็นต้น โดยได้มีการจำแนกพื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง ออกเป็น 2 ระดับ คือระดับความเสี่ยงต่ำ ประกอบไปด้วยพื้นที่อำเภอขนอม นบพิตำ เมืองนครศรีธรรมราช ลานสกา นาบอน บางขัน ร่อนพิบูลย์ และอำเภอเฉลิมพระเกียรติ สำหรับพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งความเสี่ยงปานกลาง ประกอบไปด้วย อำเภอชะอวด หัวไทร เขียวใหญ่ และปากพนัง โดยปัจจัยหลักมีสาเหตุมาจากการที่ฝนตกไม่เป็นไปตามฤดูกาล ไม่มีแหล่งกักเก็บน้ำขนาดใหญ่ และแหล่งต้น

น้ำถูกทำลาย เป็นต้น ประกอบกับปัญหาการเจริญเติบโตด้านเศรษฐกิจในพื้นที่ซึ่งมีความต้องการใช้น้ำในปริมาณสูงทำให้มีแนวโน้มการขาดแคลนน้ำเพิ่มขึ้น รวมถึงการใช้ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้มีปัญหาด้านอุทกภัยเพิ่มขึ้นและส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่และก่อให้เกิดความเสียหายด้านเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงปริมาณฝนเฉลี่ยรายภาคระหว่างปี 2548-2558

ภาค	เฉลี่ย 30 ปี	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558
ภาคเหนือ	1,231.82	1,314.28	1,496.23	1,262.49	1,360.49	1,135.87	1,263.56	1,738.02	1,282.12	1,328.81	1,149.74	1,020.27
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	1,384.05	1,212.28	1,432.11	1,452.47	1,517.55	1,364.23	1,299.75	1,661.58	1,261.83	1,456.96	1,343.91	1,159.14
ภาคกลาง	1,218.45	1,211.86	1,333.81	1,167.91	1,277.57	1,279.20	1,254.62	1,374.69	1,247.49	1,222.45	1,020.81	1,015.31
ภาคตะวันออก	1,218.45	1,211.86	1,333.81	1,167.91	1,277.57	1,279.20	1,254.62	1,374.69	1,247.49	1,222.45	1,020.81	1,015.31
ภาคใต้ฝั่งตะวันตก	2,534.93	1,937.21	2,393.04	2,465.33	2,215.56	2,320.24	2,309.48	2,889.32	2,903.69	2,769.38	2,536.13	1,644.14
ภาคใต้ฝั่งตะวันออก	1,972.34	1,677.82	1,833.76	1,953.68	1,931.62	1,812.07	1,987.69	2,529.66	2,082.90	2,107.33	1,882.19	2,303.75

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2558)

2.2.4 ดัชนีความแห้งแล้ง

ดัชนีความแห้งแล้ง (drought index) คือ ตัวบ่งชี้ความแห้งแล้งของพื้นที่หนึ่ง ๆ ที่ใช้แทนค่าของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแห้งแล้งของพื้นที่ ได้แก่ ฝนที่ผิดปกติ บรรยากาศแล้ง ความแห้งแล้ง ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติของภูมิอากาศสัมพันธ์กับฝนที่ไม่พอเพียงที่จะใช้บริหารจัดการกับพืชผัก ปัจจัยดังกล่าวเป็นตัวที่ก่อให้เกิดความผิดปกติของความชื้นในดินที่ลดลงกว่าปกติ ดัชนีความแห้งแล้งมีการพัฒนาและใช้งานกันในหลายประเทศ ในระยะแรกเป็นการประเมินจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ที่มีการปรับรูปแบบของตัวดัชนีที่แตกต่างกันออกไปบ้างตามตัวแปรที่นำเข้ามาวิเคราะห์ เช่น อุณหภูมิ ที่ตั้งของพื้นที่ (ละติจูด) ความชื้นดิน ความเร็วลม เป็นต้น (Paral, 2006; Zargar et al., 2014; วิรัช และคณะ, 2554) โดยดัชนีความแห้งแล้งที่ได้รับความนิยมใช้และมีการอ้างอิงใช้มากมายในประเทศไทยและในต่างประเทศ โดยมีตัวอย่างดังต่อไปนี้

1) ดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Moisture Available Index: *MAI*) เป็นดัชนีที่พัฒนาโดย Hargreaves (1975) ซึ่งพิจารณาจากระดับความชื้นที่ขาดแคลนหรือเพียงพอและเป็นประโยชน์ต่อพืชสำหรับผลผลิตทางการเกษตร โดยใช้อัตราส่วนความน่าจะเป็นของปริมาณฝนที่ระดับ 75% หรือฝนที่คาดหวังได้ (Dependable rainfall; *DP*) กับศักยภาพของการคายระเหยน้ำของพืช (Potential evapotranspiration; *PET*) ดังสมการที่ 2.1 โดยมีเกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้งดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

$$MAI = \frac{DP}{PET} \quad (2.1)$$

โดยที่ *MAI* = ดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

DP = ค่าความน่าจะเป็นของปริมาณฝนที่ระดับ 75% หรือฝนที่คาดหวัง

PET = ศักยภาพการคายระเหยน้ำของพืช (Potential Evapotranspiration)

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง *MAI*

<i>MAI</i> Index	เกณฑ์ที่ใช้วัดความแห้งแล้ง
> 1.00	พืชได้รับน้ำพอเพียง (Normal)
0.68 ถึง 1.00	พืชขาดน้ำเล็กน้อย (Somewhat deficient)
0.34 ถึง 0.67	พืชขาดน้ำปานกลาง (Moderately deficient)
0.00 ถึง 0.33	พืชขาดน้ำรุนแรง (Very deficient)

ที่มา: วิรัช วรานุจิตต์ และคณะ (2554)

การคำนวณค่า *PET* ประเมินตามวิธีการของ Penman-Monteith (Allen et. Al., 1998) ที่อยู่บนพื้นฐานของการพิจารณาเปรียบเทียบค่าการคายระเหยที่เป็นอยู่กับค่าอ้างอิง (reference evapotranspiration) โดยตัวแปรที่ใช้ในสมการของ Penman-Monteith มีองค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยาที่ผูกพันต่อการใช้น้ำของพืช ได้แก่ รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม เป็นต้น

และสามารถแสดงผลเป็นระดับการขาดน้ำของพืชได้ เช่น รุนแรง ปานกลาง เล็กน้อย พอเพียง และมากเกินไป เป็นต้น ซึ่งมีสมการในการคำนวณ ดังนี้

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2.2)$$

โดย ET_0 = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Evapotranspiration หรือ *PET* [mm day⁻¹])

R_n = ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์สุทธิ [Wm⁻² day⁻¹]

G = flux ค่าความร้อนของพื้นดิน (soil heat flux) [Wm⁻² day⁻¹]

T = อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย [°C]

u_2 = ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร [m sec⁻¹]

e_s = ความดันไอน้ำอิ่มตัวของบรรยากาศ [kPa]

e_a = ความดันไอน้ำเฉลี่ยของบรรยากาศ [kPa]

Δ = ความชันของกราฟความดันไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิที่อุณหภูมิ T [kPa °C⁻¹]

γ = ค่าคงที่ของ psychrometric [kPa °C⁻¹]

900 = factor ปรับแก้

อภันตริ ยุทธพันธ์ (2555) ได้ประยุกต์วิธีการคำนวณของ MAI โดยใช้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศในช่วง 10 วัน เพื่อติดตามสถานการณ์ความชื้นที่มีในดินเนื่องจากฝนว่ามีเพียงพอต่อความต้องการของพืชหรือไม่ โดยผลลัพธ์ของค่า MAI จากการคำนวณตามสถานีอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทยชนิดข้อมูลจุด (Point data) จะถูกนำมาแปลงเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) โดยใช้เทคนิคของการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และนำเสนอในรูปแบบที่แสดงค่า MAI ระหว่างวันที่ 11-20 สิงหาคม 2555 และพบว่า บริเวณที่พืชขาดน้ำมากส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ของภาคเหนือตอนล่างบริเวณจังหวัดสุโขทัย อุตรดิตถ์ และพิษณุโลก ภาคกลางด้านตะวันตกบริเวณจังหวัดราชบุรี เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ ส่วนบริเวณที่พืชขาดน้ำเล็กน้อยถึงปานกลางส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ของภาคเหนือด้านตะวันออกและตอนล่าง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้านตะวันตก ภาคกลางด้านตะวันตกและตอนล่าง ภาคตะวันออกบริเวณจังหวัดชลบุรี และระยอง ภาคใต้ตอนบนและบริเวณจังหวัดพัทลุง ตรัง และสตูล

2) ดัชนีความแห้งแล้งของพาล์มเมอร์ (Palmer Drought Severity Index: PDSI) เป็นดัชนีที่ถูกพัฒนาโดย Palmer (1965) ในสหรัฐอเมริกาและมีการใช้งานมาอย่างยาวนาน เป็นดัชนีวัดความผิดปกติของความชื้น ใช้หลักการวิเคราะห์ความต้องการน้ำและปริมาณน้ำที่มีในสมการสมดุลน้ำ (water balance equation) ดัชนี PDSI เป็นตัวชี้วัดความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ฝน ความชื้นดิน โดย PDSI สามารถนำมาเป็นมาตรฐานของความชื้นที่สามารถเปรียบเทียบได้ทั้งระหว่างพื้นที่และระหว่างเดือน PDSI เป็นดัชนีที่สะท้อนสภาพอากาศที่แห้งหรือชื้นเกินไป มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เหมาะกับพื้นที่

ขนาดใหญ่ที่มีลักษณะภูมิประเทศที่เหมือนกันหรือคล้ายคลึงกันตลอดทั้งพื้นที่ศึกษา ส่วนในเขตที่มีภูมิประเทศที่ซับซ้อนเป็นประเภทยูนิฟอร์มหรือมีลักษณะภูมิอากาศที่แปรปรวนมาก ความแม่นยำจะลดลง นอกจากนี้ขั้นตอนในการคำนวณค่อนข้างยุ่งยาก และผู้ใช้งานไม่สามารถเลือกช่วงเวลาในการคำนวณได้ตามที่ต้องการ

ดัชนี PDSI สามารถทำการคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 ถึง 2.9 ส่วนเกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง Palmer Drought Severity Index (PDSI) แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

$$PDSI_i = 0.897PDSI_{i+1} + 1/3Z_i \quad (2.3)$$

ความชื้นของดิน Z_i สามารถหาได้จากสมการที่ 2.4

$$Z_i = k_i(P_i - (\alpha_i E_i + \beta_i G_i + \gamma_i Ro_i - \delta_i L_i)) \quad (2.4)$$

โดย

P ปริมาณฝน (Precipitation)

E ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration)

G ปริมาณความชื้นที่เพิ่มเข้ามา (Soil moisture recharge)

Ro น้ำไหลบ่าบนผิวดิน (Surface runoff)

L ปริมาณความชื้นที่สูญเสียไป (Soil moisture loss)

i คาบเวลา

k_j คำนวณมาจากสมการที่ 2.5

$$k = \frac{E_i + G_i}{P_i + L_i} \quad (2.5)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ สามารถคำนวณจากสมการที่ 2.6 ถึง 2.9

$$\alpha = ET/PET \quad (2.6)$$

$$\beta = \bar{R}/\overline{PR} \quad (2.7)$$

$$\gamma = \overline{Ro}/\overline{PRO} \quad (2.8)$$

$$\delta = \bar{L}/\overline{PL} \quad (2.9)$$

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง PDSI

ค่าดัชนี PDSI	เกณฑ์ที่ใช้วัดความแห้งแล้ง
≥ -1.99	ภัยแล้งเล็กน้อย (Near normal)
-2.99 ถึง -2.00	ภัยแล้งปานกลาง (Moderate dry)
-3.99 ถึง -3.00	ภัยแล้งรุนแรง (Severe dry)
≤ -4.00	ภัยแล้งรุนแรงมาก (Extreme dry)

ที่มา: Palmer (1965)

3) ดัชนีปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน (Standardized Precipitation Index: SPI) หรือดัชนีความแห้งแล้งจากฝนที่ต่างจากเกณฑ์ปกติ (หากใช้เป็นดัชนีวัดความแห้งแล้ง) ได้พัฒนาขึ้นจากแนวคิดของ McKee และคณะ (1993) เพื่อเฝ้าดูสภาวะแห้งแล้งในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่กำหนดโดยดูจากปริมาณฝนสะสมในแต่ละช่วงเวลาที่น่าสนใจเป็นแบบรายสัปดาห์หรือรายเดือน เป็นดัชนีที่สะท้อนความแห้งแล้งจากการขาดแคลนปริมาณฝนที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความแห้งแล้งในแต่ละช่วงเวลาต่างไปจากปกติ (ค่าเฉลี่ย) ได้แก่ ความชื้นดิน ปริมาณน้ำในดิน ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ และน้ำที่ไหลในแม่น้ำ SPI ใช้ข้อมูลพื้นฐาน คือ ปริมาณฝน ณ สถานี และช่วงเวลาหนึ่งๆ แล้วใช้วิธีการแปลงค่าอนุกรมเวลาของฝน ให้อยู่ในรูปการแจกแจงปกติแบบมาตรฐาน เพื่อหาค่า SPI สำหรับสถานที่และช่วงเวลานั้น ๆ สามารถคำนวณได้จากผลต่างของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (normalized seasonal precipitation) ของสถานีสังเกตการณ์ กับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (long-term seasonal mean) ของทุกสถานีหารด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ค่าดัชนีที่เป็นไปในทางลบแสดงถึงความแห้งแล้ง ส่วนค่าดัชนีที่เป็นไปในทางบวกแสดงถึงความชุ่มชื้นหรือมีฝนมากกว่าปกติ โดยมีรูปแบบของสมการดังนี้

$$SPI = \frac{X_{ij} - X_{im}}{\sigma} \quad (2.10)$$

เมื่อ SPI = ดัชนีปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน

X_{ij} = ผลการตรวจวัดปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนที่สถานี i ณ เดือน j (มิลลิเมตร)

X_{im} = ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนของทุกสถานี (มิลลิเมตร)

σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

โดยสามารถจัดเกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง SPI ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง SPI

ค่าดัชนี SPI	เกณฑ์ที่ใช้วัดความแห้งแล้ง
0 ถึง -0.99	ภัยแล้งเล็กน้อย (Near normal)
-1.00 ถึง -1.49	ภัยแล้งปานกลาง (Moderate dry)
-1.50 ถึง -1.99	ภัยแล้งรุนแรง (Severe dry)
ตั้งแต่ -2.00 ลงไป	ภัยแล้งรุนแรงมาก (Extreme dry)

ที่มา: McKee et al. (1995)

4) ค่าดัชนีความชื้นในดิน (Soil Moisture Index; SMI)

ค่าดัชนีความชื้นในดิน (Soil Moisture Index; SMI) เป็นการกำหนดจุดเริ่มต้นของสภาวะแล้งทางการเกษตรจะใช้ข้อมูลความชื้นดินที่มีอยู่จริง (Actual Water Content) ร่วมกับค่าความชื้นความจุสนาม (Field Capacity; FC) และจุดแห้งเหี่ยว (Wilting Point; WP) เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าดัชนีความชื้นในดิน (Soil Moisture Index; SMI) โดยกำหนดให้ SMI มีค่าอยู่ระหว่าง 5.0 และ -1.0 โดย SMI มีค่า 5.0 เมื่อมีความชื้นในดินมีค่าที่ FC และ SMI มีค่า -1.0 เมื่อความชื้นในดินเท่ากับ WP โดยค่า SMI ที่มีค่าเป็นบวกหมายถึงความชื้นในดินมีเพียงพอสำหรับพืช แต่หากมีค่าเป็นลบหมายถึงความชื้นในดินไม่เพียงพอสำหรับพืช (Eric et al, 2008.)

ค่าดัชนีความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช หาได้จากเงื่อนไขความชื้นในดิน ได้แก่ ความชื้นในดินที่มีอยู่จริง ความชื้นความจุสนาม และจุดแห้งเหี่ยว ตามการกำหนดของ Sridhar et al. (2008) ดังนี้

$$SMI = \left[\frac{5(SM - WP)}{(FC - WP)} - 5 \right] \quad (2.11)$$

SM คือ ค่าความชื้นในดิน

WP คือ ค่าจุดแห้งเหี่ยว

FC คือ ค่าความชื้นที่ความจุสนาม

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง SMI

ค่าดัชนี SMI	เกณฑ์ที่ใช้วัดความแห้งแล้ง
-1 หรือ มากกว่า	ภัยแล้งเล็กน้อย (Less intense)
-2 ถึง < -1	ภัยแล้งปานกลาง (Moderate dry)
-3 ถึง < -2	ภัยแล้งสูง (High intense)
-4 ถึง < -3	ภัยแล้งรุนแรง (Severe dry)
-5 หรือน้อยกว่า	ภัยแล้งรุนแรงมาก (Extreme dry)

ที่มา : Sridhar et al. (2008)

5) ความแห้งแล้งทางด้านเกษตรกรรมตามฤดูการมรสุม (Generalized Monsoon Index: GMI) เป็นดัชนีความแห้งแล้งทางด้านเกษตรที่แสดงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับพืชที่กำลังเจริญเติบโต อันเนื่องมาจากการขาดแคลนความชื้น ซึ่งแบ่งระยะการเจริญเติบโตของพืชได้ 4 ระยะ คือ ระยะเริ่มต้นปลูก (Planting) ระยะเติบโตทางลำต้น (Vegetative) ระยะออกดอกและระยะเจริญเติบโตของผลและเมล็ด (Flowering/Reproductive) และระยะเติบโตเต็มที่ของผลผลิต (Maturity) ซึ่งในแต่ละระยะมีความต้องการน้ำไม่เท่ากันหากเปรียบเทียบกันแล้ว ความต้องการน้ำมากที่สุดคือ ช่วงระยะออกดอกและระยะเจริญเติบโตของผลและเมล็ด รองลงมาคือช่วงระยะเติบโตเต็มที่ของผลผลิต ส่วนระยะเริ่มต้นปลูกและระยะเจริญเติบโตทางลำต้นนั้นมีความต้องการน้ำน้อยที่สุด การวิเคราะห์ค่า GMI จะมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณฝนรายเดือนในระหว่างช่วงฤดูมรสุมนั้นๆ ซึ่งประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิด คือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (Southwest Monsoon: SW) พัดปกคลุมประเทศไทย

ประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ส่วนมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Northeast Monsoon: NE) พัดปกคลุมประเทศไทย ช่วงประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ โดยค่า GMI ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงใต้คำนวณได้จาก

$$GMI_{sw} = 0.125P6 + 0.125P7 + 0.5P8 + 0.25P9 \quad (2.12)$$

เมื่อ $P6$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนมิถุนายน

$P7$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนกรกฎาคม

$P8$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนสิงหาคม

$P9$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนกันยายน

GMI_{sw} ใช้ในช่วงที่เกิดมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ระหว่างเดือนมิถุนายนจนถึงกันยายน โดยจะคำนวณค่า GMI_{sw} เมื่อสิ้นเดือนมิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม และกันยายน โดยมีค่า GMI_{sw} เมื่อสิ้นเดือนดังกล่าว ตามลำดับดังนี้

เมื่อสิ้นเดือนมิถุนายน $GMI6 = 0.125P6$

เมื่อสิ้นเดือนกรกฎาคม $GMI7 = 0.125P6 + 0.125P7$

เมื่อสิ้นเดือนสิงหาคม $GMI8 = 0.125P6 + 0.125P7 + 0.5P8$

เมื่อสิ้นเดือนกันยายน $GMI9 = 0.125P6 + 0.125P7 + 0.5P8 + 0.25P9$

ส่วนค่า GMI ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือคำนวณได้จาก

$$GMI_{NE} = 0.125P10 + 0.125P11 + 0.5P12 + 0.25P1 \quad (2.13)$$

เมื่อ $P10$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนตุลาคม

$P11$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนพฤศจิกายน

$P12$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนธันวาคม

$P1$ คือ ฝนรายเดือนของเดือนมกราคม

GMI_{NE} ใช้ในช่วงที่เกิดมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือระหว่างเดือนตุลาคมจนถึงมกราคม โดยจะคำนวณค่า GMI_{NE} เมื่อสิ้นเดือนตุลาคม พฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม โดยมีค่า GMI_{NE}

เมื่อสิ้นเดือนดังกล่าว ตามลำดับดังนี้

เมื่อสิ้นเดือนตุลาคม $GMI10 = 0.125P10$

เมื่อสิ้นเดือนพฤศจิกายน $GMI_{11} = 0.125P_{10} + 0.125P_{11}$

เมื่อสิ้นเดือนธันวาคม $GMI_{12} = 0.125P_{10} + 0.125P_{11} + 0.5P_{12}$

เมื่อสิ้นเดือนมกราคม $GMI_1 = 0.125P_{10} + 0.125P_{11} + 0.5P_{12} + 0.25P_1$

ค่า GMI ที่คำนวณได้จะมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร เพื่อความสะดวกในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการพิจารณาสถานะพืช GMI จะถูกนำมาวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ไทล์ (percentile rank) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0-100 โดยนำค่า GMI มาเรียงลำดับจากน้อยไปมาก และคำนวณค่า percentile rank จากสมการที่ (2.14) โดยสามารถจัดเกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง GMI_{pct} ดังแสดงในตารางที่ 2.7

$$GMI_{pct} = (r \times 100)/(n + 1) \quad (2.14)$$

เมื่อ GMI_{pct} คือ percentile rank ของ GMI

r คือ ลำดับหมู่ของข้อมูลดิบ

n คือ จำนวนปีของข้อมูลของแต่ละสถานี

ตารางที่ 2.7 เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง GMI_{pct}

ค่าดัชนี GMI_{pct}	เกณฑ์ที่ใช้วัดความแห้งแล้ง
0-20	แล้งจัด (severe drought impact and possible crop failure)
21-30	แล้ง (drought impact on crop)
31-40	ค่อนข้างแล้ง (moderate drought impact on crop)
41-60	ปกติ (normal crop)
61-90	ความชื้นสูงกว่าปกติ (possible above normal crop)
91-100	ความชื้นเกินความต้องการ (possible excessive moisture)

ที่มา: อภิวัฒน์ ก้อนทอง และ ปานวิทย์ ฐะนุติ (2015)

6) การศึกษาภัยแล้งจากดัชนีภัยความแล้งจากข้อมูลการรับรู้ระยะไกล

ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมเป็นข้อมูลที่มีความต่อเนื่องทั้งเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ เพราะมีการบันทึกภาพซ้ำเป็นช่วงเวลา และยังมีข้อมูลการสะท้อนแสงหลายช่วงคลื่นที่ตอบสนองต่อสิ่งที่บ่งบอกถึงความแห้งแล้ง ได้แก่ พืชพรรณ ค่าคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณ ปริมาณน้ำในพืชและในดิน ที่จะสามารถเลือกใช้ให้ตรงกับความต้องการ (Taekeuchi et al., 2010; Jaenicke et al., 2011) การประยุกต์ใช้ดาวเทียมเพื่อการตรวจสอบทรัพยากรมีจุดเริ่มต้นมาเมื่อ ปี ค.ศ. 1980 คุณสมบัติของข้อมูลภาพจากดาวเทียมจึงมีความเหมาะสมสำหรับการติดตามตรวจสอบความเปลี่ยนแปลง และแสดงผลกระทบของความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นกับพื้นที่ได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะจากพืชพรรณ ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีวิสัย รูปร่างใบ เรือนยอด สีลักษณะ ความ

หนาแน่นจำนวนต้นไม้ และพฤติกรรมการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันออกไป โดยลักษณะการแสดงออกซึ่งสัมพันธ์กับฤดูกาล ที่สามารถใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงสภาวะอากาศได้ เช่น การทิ้งใบของพืชเป็นการตอบสนองต่อปริมาณน้ำที่พืชจะสามารถนำมาใช้ได้เมื่อพืชอยู่ในสภาวะความเครียด เนื่องจากการขาดน้ำในสภาวะอากาศแห้งแล้ง พืชจึงต้องมีการทิ้งใบเพื่อลดการคายน้ำและเก็บอาหารไว้เลี้ยงส่วนลำต้น เพื่อรอให้สภาพอากาศเหมาะสมจึงแตกใบใหม่อีกครั้ง ในภาพดาวเทียมลักษณะที่พืชแสดงออกนี้จะปรากฏเป็นค่าการสะท้อนที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะช่วงคลื่นอินฟราเรดที่จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในพืช ซึ่งข้อมูลดาวเทียม MODIS แบนด์ 6 เป็นแบนด์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้ตรวจสอบพื้นที่ประสบภัยแล้ง สามารถจำแนกลักษณะที่แตกต่างกันในฤดูที่มีน้ำและฤดูที่ขาดแคลนน้ำของพืชพรรณได้ (Chen et al., 2005; Volcani et al., 2005; Caccamo et al., 2011) ในพื้นที่ป่าหรือสิ่งปกคลุมดินต่างชนิดกัน การเปลี่ยนแปลงของพืชก็จะแตกต่างกัน เมื่ออยู่ในช่วงฤดูกาลที่ต่างกัน ยางพาราในพื้นที่ภาคใต้จะเกิดการร่วงหรือการทิ้งใบในช่วงเดือนกุมภาพันธ์หรือมีนาคมในพื้นที่ภาคใต้ฝั่งตะวันออก ในขณะที่ภาคใต้ฝั่งตะวันตกจะร่วงก่อนประมาณ 1-2 เดือน ทั้งนี้เนื่องมาจากช่วงแล้งของทั้งสองพื้นที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณในพื้นที่แห้งแล้งจะปรากฏเป็นค่าการสะท้อนที่แตกต่างกันที่เห็นได้ในภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลดาวเทียมมีศักยภาพในด้านการสำรวจพื้นที่บริเวณกว้าง และสามารถถ่ายภาพซ้ำบริเวณเดิมของแต่ละรอบโคจรทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลง ตรวจสอบและศึกษาความแห้งแล้งของพื้นที่ในช่วงเวลานั้นได้ (กุลวดี บุญบุตร และยุพเรศ ภูง , 2554; Richardson et al., 2013) โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้แทนที่การใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาหรือกรณีที่ข้อมูลด้านภูมิอากาศมีไม่เพียงพอ หรือไม่ครอบคลุมพื้นที่ (แคสสัด มงคลสวัสดิ์ และชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, 2552) ตัวอย่างดัชนีชี้วัดความแห้งแล้งของพืชพรรณ ได้แก่

ดัชนีพืชพรรณ (vegetation Index) ซึ่งเป็นการคำนวณที่นำช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณมาทำสัดส่วนกันและกัน แล้วให้ผลลัพธ์ในการจำแนกบริเวณที่มีปริมาณพืชปกคลุม (Biomass) กับบริเวณที่ไม่ใช่พืชพรรณ มีประโยชน์สำหรับติดตามการเพิ่มหรือลดลงของพืชพรรณ และสถานการณ์สิ่งแวดล้อมในพื้นที่ศึกษา ช่วงคลื่นที่เกี่ยวกับพืชพรรณได้แก่ ช่วงคลื่นแสงสีแดง มีความยาวคลื่น 0.6-0.70 ไมโครเมตร มีคุณสมบัติในการวัดค่าการสะท้อนจากส่วนที่มีการดูดกลืนพลังงานในใบพืชหรือส่วนที่มีคลอโรฟิลล์ และ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ มีความยาวช่วงคลื่น 0.76-0.90 ไมโครเมตร มีคุณสมบัติในการแยกแยะพืชพรรณและวัดค่าปริมาณมวลชีวภาพ ดัชนีพืชพรรณมีการคำนวณหลายวิธี แต่ขอยกตัวอย่างเฉพาะ ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการติดตามความแห้งแล้ง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (Normalized Differences Vegetation Index: NDVI) หรือ ดัชนีพืชพรรณมาตรฐาน ถูกเสนอขึ้นโดย Krieglner et al (1969) จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนแสงอินฟราเรดและการดูดซับแสงสีแดงของพืชพรรณ ค่า NDVI เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงความหนาแน่นของมวลชีวภาพ ยิ่ง NDVI มีค่ามากก็จะมีค่าความหนาแน่นของพืชพรรณมากแสดงถึงมวลชีวภาพและความสมบูรณ์ของพืชสูงด้วยการใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่เพื่อประมาณการหาความหนาแน่นของพืชว่าพื้นที่ดังกล่าวมีพืชพันธุ์ขึ้นอยู่อย่างหนาแน่นหรือไม่ โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.15 และมีเกณฑ์พิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง NDVI แสดงในตารางที่ 2.8

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (2.15)$$

เมื่อ *NIR* และ *Red* คือ ค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่นของแสงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) และค่าการสะท้อนแสงช่วงความยาวคลื่นของแสงสีแดง (Red) ตามลำดับ

ตารางที่ 2.8 เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง NDVI

ค่าดัชนี NDVI	เกณฑ์ที่ใช้วัดความแห้งแล้ง
≥ 0.40	ไม่แล้ง (No drought)
0.25 ถึง 0.39	แล้งปานกลาง (Moderate drought)
0.1 ถึง 0.24	แล้งรุนแรง (Severe drought)
< 0.10	แล้งรุนแรงมาก (Extreme drought)

ที่มา: วิรัช วรานุจิตต์ และคณะ (2554)

สำหรับประเทศไทยได้มีการทดสอบใช้ดัชนีความแห้งแล้งรวมเพื่อติดตามความแห้งแล้งทางการเกษตรที่ได้มีการพัฒนามาจากดัชนี 5 ชนิด ได้แก่ ดัชนี Palmer Drought Severity Index (PDSI) ดัชนี Standardized Precipitation Index (SPI) ดัชนี Moisture Availability Index (MAI) ดัชนี Weekly Stream flow (WSF) และดัชนี Normalized Differences Vegetation Index (NDVI) ในรูปแบบแผนที่รายสัปดาห์ โดยผลจากการศึกษาพบว่าแผนที่ดังกล่าวสามารถแบ่งแยกระดับความแห้งแล้งทางการเกษตรได้ถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 60-80 ซึ่งสาเหตุความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการมีปริมาณฝนที่ตกเพิ่มในพื้นที่ภายหลังการเก็บข้อมูลภาคสนาม ซึ่งมีผลต่อค่าดัชนีที่ใช้ฝนเป็นปัจจัยในการคำนวณสำหรับประเมินความแห้งแล้ง หรือบางพื้นที่มีฝนตกลงหน้า ทำให้ค่าดัชนีอื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลง ยกเว้น ดัชนี NDVI ที่ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมาก เพราะเป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ทางด้านสรีระวิทยาของพืช (อภิรัฐ ปันทอง และบัญชา ขวัญยืน, 2561)

วศัน สดศรี และคณะ (2561) ได้ประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการประเมินค่าดัชนีความชื้นในดิน และเปรียบเทียบค่าดัชนีความชื้นในดินที่ได้จากการวัดค่าความชื้นจริงโดยตรง (Gravimetric Sampling) กับค่าความชื้นที่ได้จากการประมาณค่าระบบสมมูลน้ำ ของพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากระเสียว จังหวัดสุพรรณบุรี โดยได้เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก ได้แก่ 30 และ 60 เซนติเมตร การเปรียบเทียบค่าดัชนีความชื้นในดินที่ได้จากการวัดค่าความชื้นจริงกับค่าที่ได้จากการประมาณค่าระบบสมมูลน้ำพบว่าค่า SMI ที่ได้จากการหาค่าความชื้นจะสูงกว่าค่า SMI ที่ได้จากระบบสมมูลน้ำ ค่าดัชนีความชื้นในดินที่ได้จากการวัดค่าความชื้นจริงกับค่าที่ได้จากการประมาณค่าระบบสมมูลน้ำด้วยการวิเคราะห์ถดถอยในครั้งนี้เห็นได้ว่าที่ระดับ 60 เซนติเมตรมีโอกาสอธิบายความผันแปรของค่า SMI ที่หาค่าความชื้นจริงได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของอนุรัตน์และคณะ (2554) ที่พบว่าค่าความชื้นที่ได้จากระบบสมมูลน้ำในระดับความลึก 60 เซนติเมตรมีค่าการยอมรับสูงที่สุด และสามารถใช้ค่าความชื้นที่ได้จากสมมูลน้ำไปประกอบการคำนวณค่า SMI เพื่อใช้ติดตามสถานะแล้งทางการเกษตรโดยเฉพาะพืชไร่ได้ ส่วนค่า SMI ที่ได้จากการประมาณ

ค่าสมมูลน้ำที่ระดับ 30 เซนติเมตร ไม่สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัดค่าความชื้นอาจเกิดจาก การคำนวณหา ค่าการคายระเหยของน้ำที่ได้มาจากค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ด้วย สภาพอากาศและพันธุ์พืชเปลี่ยนไป อาจทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงในบางพื้นที่ของจังหวัด สุพรรณบุรี

พัฒนา วิจิตรพงษ์สกุล และคณะ (2016) ใช้ดัชนีน้ำฝนมาตรฐาน (SPI) และ ดัชนีความแห้งแล้งทาง อุตุณิยวิทยา (D) ศึกษาระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำสะแกกรัง โดยใช้ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนระหว่างปี พ.ศ. 2528-2557 จากสถานีตรวจวัดน้ำฝน จำนวน 8 สถานี ผลการศึกษาระบุ ว่าพื้นที่ลุ่มน้ำสะแกกรังประสบภาวะความแห้งแล้งในระดับน้อยถึงปานกลาง และมีค่าดัชนี SPI อยู่ระหว่าง - 0.45 ถึง -1.41 และดัชนี D ช่วง -11.75 ถึง -26.62 โดยค่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการศึกษานี้สอดคล้องกับ ผลวิเคราะห์ความแห้งแล้งของกรมทรัพยากรน้ำมากกว่าการบ่งชี้ด้วยค่าดัชนี D โดยดัชนี SPI มีความเหมาะสม ในการนำมาวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของความแห้งแล้งในระดับพื้นที่ได้ เพราะมีร้อยละความผิดพลาด สัมบูรณ์ (Mean absolute percentage; MAPE) เพียง 20.83% ในขณะที่ ดัชนี D มีค่า MAPE มากกว่า 29 %

ศศิธร เพียนเลิศ (2561) ได้ประเมินค่าดัชนีความแห้งแล้งเพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง บริเวณลุ่มน้ำ สาขาเชิญ โดยใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลผลิตภัณฑ์ระดับที่ 3 จากภาพถ่ายดาวเทียม Aqua/MODIS ประกอบด้วยดัชนีความแตกต่างความชื้น (NDWI) ดัชนีอุณหภูมิพื้นผิวดิน (LST) ดัชนีความสมบูรณ์ของพืช พรรณ (VHI) และข้อมูลอุตุณิยวิทยา ได้แก่ ดัชนีปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน (SPI) ทำการวิเคราะห์เชิงพื้นที่โดย ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และใช้ตารางเปรียบเทียบคู่ (pairwise comparison) ในการหาค่าความสำคัญ ของแต่ละดัชนี และตรวจสอบความถูกต้องกับพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งซ้ำซากจากกรมพัฒนาที่ดินด้วยค่า overall accuracy ผลการศึกษาพบว่า ดัชนีความแตกต่างความชื้น (NDWI) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.25 - 0.46 ดัชนี อุณหภูมิพื้นผิวดิน (LST) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28.02 - 39.79 องศาเซลเซียส ดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ (VHI) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 49.32 - 55.67 และดัชนีปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน (SPI) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง (-1.96) - 0.003 การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในระดับเสี่ยงภัยมากที่สุด มีพื้นที่ 1,169.06 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 39.90 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ และผลการเปรียบเทียบพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งด้วยค่า overall accuracy พบว่า ในพื้นที่ระดับเสี่ยงภัยมากที่สุดมีค่าความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 96.17 โดยอำเภอที่มีพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมากที่สุด ได้แก่ อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น มีพื้นที่ 277.38 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น ร้อยละ 9.47 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ และหมู่บ้านที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยมีจำนวน 370 หมู่บ้าน ใน 9 อำเภอ

กรรณการ์ ศรีจันทโท และนพพร พรหมรักษา (2557) ได้ประเมินความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งในพื้นที่ จังหวัดกำแพงเพชร ด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยปัจจัยที่มีความสำคัญและคาดว่าจะ มีผลต่อการเกิดความแห้งแล้งมากที่สุด ในพื้นที่ ประกอบด้วยปริมาณน้ำฝน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ และการ หาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดิน และค่าดัชนีพืชพรรณ ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อความแห้ง แล้งในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร ด้วยการซ้อนทับข้อมูล ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสี่ยงใน

การเกิดความแห้งแล้งมากที่สุดคิดเป็นพื้นที่ 922,094 ไร่หรือร้อยละ 25.0 ของพื้นที่เสี่ยงทั้งหมด พื้นที่เสี่ยงต่อความแห้งแล้งมาก คิดเป็น 1,820,047 ไร่ (ร้อยละ 49.3) พื้นที่เสี่ยงต่อความแห้งแล้งปานกลาง 464,677 ไร่ (ร้อยละ 12.6) ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่เสี่ยงน้อยคิดเป็น 251,139 ไร่ (ร้อยละ 6.8) และความแห้งแล้งน้อยที่สุดคิดเป็น 236,375 (ร้อยละ 6.4)

เอกรัฐ สีขาว และคณะ (2556) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra/MODIS ในชุดผลิตภัณฑ์ MOD13Q1 เพื่อนำมาตรวจสอบสภาพความแห้งแล้งของพืชพรรณด้วย ดัชนีพืชพรรณมาตรฐาน (Standardized Vegetation Index: SVI) ของช่วงเวลาตามฤดูกาล ครอบคลุมพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีเนื้อที่ประมาณ 170,000 ตารางกิโลเมตร การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Terra-MODIS 10 ปี (2544-2553) วิเคราะห์ค่าคะแนนมาตรฐาน (Z-score) ของดัชนีผลต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ครอบคลุมทั้งภาค ใช้ในการประมาณการสภาพของพืชพรรณเปรียบเทียบกับเชิงพื้นที่จาก NDVI เฉลี่ย 10 ปีใน 4 ช่วง ของฤดูกาล แล้วตรวจสอบความถูกต้องดัชนีมาตรฐานของน้ำฝน (Standardized Precipitation Index: SPI) กับดัชนีมาตรฐานของน้ำฝน (Standardized Precipitation Index: SPI) ในช่วงเดียวกัน ผลที่ได้รับให้ดัชนีทั้งเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์ในการบอกขนาดและความรุนแรงของความแห้งแล้งในระดับความละเอียด 250 เมตร SVI มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนและ SPI เชิงเวลาและพื้นที่ ดัชนี SVI สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดความแห้งแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งเชิงเวลาและเชิงพื้นที่

อนุรัตน์ ศฤงคารภาสิต และคณะ (2554) ได้ทำการทดสอบการประมาณค่าความชื้นในดินจากระบบสมดุลงน้ำ ที่ใช้ตัวแปรอุตุนิยมวิทยา ในพื้นที่อำเภอกำแพงเพชร จังหวัดขอนแก่น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชื้นในดินที่ได้จากการตรวจวัดจริงในบริเวณดังกล่าว ระหว่างเดือนมกราคม 2553 – มิถุนายน 2554 แยกตามระดับความลึกของชั้นดิน 10, 20, 30, 40, 60 และ 100 เซนติเมตร พบความเหมาะสมสูงสุดที่ระดับชั้นดินความลึก 60 เซนติเมตร โดยมีค่า $R^2 = 0.61$ ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าความชื้นในดินจากระบบสมดุลงน้ำ แทนค่าความชื้นในดินที่ได้จากการตรวจวัดจริงไปประกอบการคำนวณค่า SMI เพื่อใช้ติดตามสภาวะแล้งทางการเกษตรโดยเฉพาะพืชไร่ ซึ่งมีระบบรากกระจุกตัวอยู่ที่ระดับความลึกใกล้เคียง 60 เซนติเมตร

ธีระพงศ์ ทองคำ และคณะ (2554) ได้ทำการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งในจังหวัดอุทัยธานี โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับข้อมูลจากดาวเทียม และประเมินผลกระทบที่เกิดจากภัยแล้ง โดยนำปัจจัยด้านพื้นที่ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเกิดภัยแล้ง ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน จำนวนวันที่ฝนตก ระยะห่างจากแหล่งน้ำ แหล่งน้ำใต้ดิน ความลาดชันของพื้นที่ ศักยภาพความชื้นของดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน วิเคราะห์โดยใช้วิธีการซ้อนทับข้อมูล (Overlay Analysis) โดยให้กำหนดคะแนนและการถ่วงน้ำหนัก (Weight) เพื่อกำหนดระดับของพื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง และนำข้อมูลที่ได้มาซ้อนทับกับค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่ได้จากข้อมูลดาวเทียม ผลการวิจัยพบ พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งสูง มีพื้นที่ 1,789.19 ตารางกิโลเมตร (26.80%) พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งปานกลาง มีพื้นที่ 2,253.50 ตารางกิโลเมตร (33.75%) พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งต่ำ มีพื้นที่ 1,546.52 ตารางกิโลเมตร (23.16%) และ พื้นที่ไม่เสี่ยงภัยแล้ง มีพื้นที่ 1,087.60 ตารางกิโลเมตร (16.29 %) เมื่อเปรียบเทียบระดับของพื้นที่เสี่ยง

ภัยแล้งและค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) พบว่า พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งสูง ที่มีค่าดัชนีพืชพรรณเสี่ยงภัยแล้งสูง มีพื้นที่ 926.26 ตารางกิโลเมตร (13.87%) พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งสูง ที่มีค่าดัชนีพืชพรรณเสี่ยงภัยแล้งต่ำ มีพื้นที่ 823.28 ตารางกิโลเมตร (12.33%) พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งสูงที่มีค่าดัชนีพืชพรรณเป็นพื้นที่ที่ไม่เสี่ยงภัย มีพื้นที่ 39.65 ตารางกิโลเมตร (0.59%) ในขณะที่พื้นที่ที่ไม่เสี่ยงภัยแล้งที่มีค่าดัชนีพืชพรรณเสี่ยงภัยแล้งสูง มีพื้นที่ 43.19 ตารางกิโลเมตร (0.65%) พื้นที่ที่ไม่เสี่ยงภัยแล้งที่มีค่าดัชนีพืชพรรณเสี่ยงภัยแล้งต่ำ มีพื้นที่ 921.51 ตารางกิโลเมตร (13.80%) และ พื้นที่ที่ไม่เสี่ยงภัยแล้งที่มีค่าดัชนีพืชพรรณไม่เสี่ยงภัยแล้ง มีพื้นที่ 122.91 ตารางกิโลเมตร (1.84%)

ณกร วัฒนกิจ (2551) ได้ทำการตรวจวัดความแห้งแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยการใช้ดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา โดยศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับปริมาณน้ำฝนและพัฒนาวิธีการตรวจวัดความแห้งแล้งในพื้นที่ด้วยดัชนีพืชพรรณ จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI) จากดาวเทียมเทอร์ราโมดิสเพื่อตรวจสอบสถานะของพืชพรรณ อีกทั้งใช้เพื่อการศึกษาหาความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน ผลการศึกษาได้รายงานความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับค่า NDVI คือมีค่า $r = 0.74$ อยู่ในระดับสูงจากการวิเคราะห์ SVI และ SPI ต่างก็สามารถชี้วัดความแห้งแล้งในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้

สมพิศ นิธิยานันท์ (2546) การวิเคราะห์ภัยแล้งและพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งในจังหวัดนครราชสีมา เพื่อศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับภัยแล้ง และพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งด้าน ปริมาณน้ำฝนกับจำนวนวันที่ฝนตก ด้านอุทกวิทยาและด้านการเกษตรในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาโดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือวิเคราะห์เชิงพื้นที่ ปัจจัยย่อยภัยแล้งแบบจับคู่ซ้อนทับข้อมูล ตามระดับความเสี่ยงภัยแล้งที่กำหนด ผลการศึกษาพบว่าจากปัจจัยหลักที่ศึกษาจะมีพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมาก ปานกลาง และ น้อยแตกต่างกัน เป็นไปตามการแบ่งชั้น (ข้อมูลและลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่กำหนดโดยวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง จังหวัดนครราชสีมา มีพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งระดับรุนแรงมากประมาณ 8,825.80 ตารางกิโลเมตร เมื่อพิจารณาสภาพปัญหาเกี่ยวกับแหล่งน้ำตามตัวชี้วัดระดับหมู่บ้านของจังหวัดนครราชสีมาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งระดับรุนแรงมาก จะมีหมู่บ้านที่มีปัญหาเกี่ยวกับน้ำสำหรับการเกษตรมากที่สุด โดยมีกระจายอยู่ถึง 716 หมู่บ้าน

นอกจากนี้ในต่างประเทศได้มีการนำดัชนีความแห้งแล้งที่ใช้ข้อมูลความชื้นในดินและการคายระเหยมาใช้ในการติดตามสถานการณ์ความแห้งแล้งในแต่ละพื้นที่ ซึ่งขอเสนอตัวอย่างที่สอดคล้องกับดัชนีที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

Sridhar et al. (2007) ได้พัฒนาดัชนีความชื้นในดินเพื่อประเมินความแห้งแล้งทางการเกษตรที่ในรัฐ Nebraska โดยใช้ข้อมูลความชื้นในดินจากการตรวจวัดของ Automated Weather Data Network (AWDN) จำนวน 37 สถานี ข้อมูลความชื้นที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ในดินได้จากการคำนวณความแตกต่างระหว่างความชื้นที่ความจุภาคสนามกับความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวรเพื่อจะได้ดัชนีความชื้นในดิน (soil moisture index; SMI) ซึ่งดัชนีความชื้นในดินนี้ถูกแบ่งเป็น 5 กลุ่มเริ่มจากไม่มีความแห้งแล้งไปจนถึงแห้งแล้งรุนแรงมาก ผลการศึกษาระบุว่าความชื้นในดินมีอิทธิพลในทางบวกสำหรับการบ่งชี้ความแห้งแล้ง ความรุนแรงและช่วง

ระยะเวลาของความแห้งแล้งในรัฐดังกล่าวมีความต่างจากทางฝั่งตะวันตกไปยังตะวันออก โดยในเขต Panhandle จะมีความรุนแรงของความแห้งแล้งมากที่สุด (มากกว่า 200 วัน) ตอนกลางและทางตะวันตกเฉียงใต้มีช่วงระยะเวลาแห้งแล้งอยู่ที่ 125-150 วัน ในขณะที่ทางตะวันออกมีความแห้งแล้ง 100 วันหรือน้อยกว่านั้น ดังนั้นแผนที่ SMI สามารถใช้เป็นแผนที่ติดตามความแห้งแล้งเพื่อการประเมินสถานะความแห้งแล้งระดับท้องถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Eric D. Hunt และคณะ (2008) ได้ศึกษาได้พัฒนาดัชนีความชื้นในดิน (Soil Moisture Index, SMI) จากชุดข้อมูล 8 ปีของความชื้นในดินได้แปลงปลูกหญ้าภายใต้เงื่อนไขการใช้น้ำฝน (1999-2006) ที่รัฐ Nebraska สหรัฐอเมริกาเพื่อใช้กำหนดจุดเริ่มต้นของสถานะแล้งทางการเกษตร บนพื้นฐานของความชื้นในดินที่มีอยู่จริง (actual water content) รวมทั้งทราบค่าความชื้นในดินที่กักเก็บได้ที่ความจุสนาม (field capacity, FC) และจุดแห้งเหี่ยวถาวร (Wilting point; WP) ในพื้นที่ที่ตรวจวัด กำหนดให้ SMI มีค่าอยู่ระหว่าง 5.0 และ -5.0 โดย SMI มีค่า 5.0 เมื่อความชื้นในดินมีค่าที่ระดับ FC และ SMI มีค่า -5.0 เมื่อความชื้นในดินมีค่าเท่ากับ WP ขณะที่ SMI มีค่าเป็นบวก หมายความว่าความชื้นในดินมีเพียงพอสำหรับพืช แต่ถ้า SMI เป็นลบหมายความว่าความชื้นในดินขาดแคลนมีไม่พอเพียงพอสำหรับพืชที่จะนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต ในทำนองเดียวกัน V. Sridhar และคณะ (2008) ได้พัฒนาดัชนีความชื้นในดินสำหรับประเมินสถานะแล้ง จะประเมินทั้งขอบเขตและช่วงเวลา โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ นับตั้งแต่ไม่แล้งจนถึงสถานะแล้งอย่างรุนแรง

Sohrabi et al. (2015) ได้พัฒนา Soil moisture drought index (SODI) เพื่อแสดงลักษณะความแห้งแล้ง ดัชนีนี้อ้างอิงค่าความชื้นในดินว่าดินต้องการความชื้นเท่าไรเพื่อให้ความชื้นของดินอยู่ในระดับความชื้นที่ความจุภาคสนาม ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในดัชนีดังกล่าวประกอบด้วยปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และความชื้นตลอดระยะเวลาที่ศึกษา นอกจากนี้มีการเปรียบเทียบกับดัชนีอื่นๆ เช่น SPI SPEI sc-PDSI ผลการศึกษาพบว่า SODI มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ มากกว่า SPI และ SPEI จากการแสดงความชื้นในดินภายในช่วงเวลาการศึกษา นอกจากนี้ SODI สามารถตรวจพบและสามารถขยายให้เห็นถึงความแห้งแล้งรุนแรงที่สัมพันธ์กับการแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ

Kim และ Rhee (2016) ได้ใช้ข้อมูลการคายระเหยจริงของน้ำที่ประมาณการณ์จากทฤษฎี Bouchet และสร้าง Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index สำหรับพัฒนาดัชนีความแห้งแล้งที่อาศัยการคายระเหยของน้ำเป็นหลัก และมี Standardized Evapotranspiration Deficit Index (SEDI) ผลการศึกษาพบว่าถ้าไม่มีข้อมูลปริมาณน้ำฝนผลผลิตที่ได้มีความสอดคล้องกับ Palmer Drought Severity Index (PDSI) และ Standardized Precipitation Index (SPI) สำหรับการจำแนกความแห้งแล้งใน South-Central United State ซึ่งดัชนีความแห้งแล้งที่พัฒนานี้เป็นดัชนีความแห้งแล้งอิสระสำหรับในเขตที่มีการแลกเปลี่ยนระหว่างพื้นดิน-บรรยากาศมีความรุนแรง หรือใช้เป็นดัชนีความแห้งแล้งทางเลือกสำหรับประเมินความแห้งแล้งทางการเกษตรที่ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนเป็นหลัก

นอกจากนี้ Zhang et al. (2019) ได้มีการพัฒนาดัชนีความแห้งแล้งที่อธิบายการตอบสนองของพืชกับการเกิดความแห้งแล้งในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืช ดัชนีความแห้งแล้งมีการจำแนกโดยใช้ standardized evapotranspiration deficit (SEDI) ด้วยการใช้ความแตกต่างระหว่างการคายระเหยจริง (actual evapotranspiration) กับการคายระเหยอ้างอิง (reference evapotranspiration) ผลจากการศึกษาพบว่า SEDI สามารถติดตามความแห้งแล้งและความเชื่อมต่อกันระหว่างสภาพภูมิอากาศแห้งและสภาพภูมิอากาศชื้นหรือเปียกที่สเกลระยะเวลาเพียง 1 เดือนและสามารถติดตามได้การเกิดความแห้งแล้งในระยะยาวได้ นอกจากนี้ SEDI สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาในระบบนิเวศที่ตอบสนองกับความถี่ของความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีของน้ำฝน และอุณหภูมิ ดังนั้นดัชนี SEDI มีความเหมาะสมและใช้ได้ดีกว่าดัชนีปริมาณน้ำฝน และดัชนีอุณหภูมิในการที่จะบ่งบอกถึงผลกระทบทางชีวภาพจากสภาพอากาศที่แห้งแล้ง

2.4 การคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration)

การคายระเหยน้ำ (evapotranspiration; ET) เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสภาพอากาศและวัฏจักรอุทกวิทยา (Hydrological cycle) เพราะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในสมดุลน้ำ (water balance) และสมดุลพลังงาน (energy balance) ซึ่งการคายระเหยน้ำประกอบไปด้วย 2 ส่วนประกอบหลักคือการระเหยน้ำที่ผิวดิน (evaporation) และการคายน้ำของพืช (transpiration) ซึ่งทั้งสองกระบวนการนี้เป็นการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวกลายเป็นไอสู่บรรยากาศ ทั้งการระเหยน้ำจากดินและการคายน้ำของพืชจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน จนไม่สามารถแบ่งได้อย่างชัดเจนว่าการเป็นสูญเสียโดยกระบวนการใด ในทางอุทกวิทยาของพื้นที่โดยทั่วไปการคายระเหย จะพิจารณาการคายน้ำรวมกับการระเหยเป็นเทอมเดียวกัน ซึ่งมีความหมายคล้ายกับการใช้น้ำของพืช (Consumptive use) แต่จะแตกต่างกันตรงที่การใช้น้ำของพืชจะรวมการระเหยและการคายน้ำทั้งหมด แต่ยังไม่รวมปริมาณน้ำที่ใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อของพืชโดยตรงด้วย แต่ในทางปฏิบัติความแตกต่างนี้มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด ดังนั้นปกติจะพิจารณาการคายระเหยน้ำและการใช้น้ำของพืชเป็นเทอมเดียวกัน

การคายระเหยน้ำเป็นกระบวนการดูดความร้อนโดยน้ำและพืชดูดซับพลังงานความร้อนซึ่งส่วนใหญ่เป็นพลังงานจากแสงอาทิตย์ เพื่อให้ได้โมเลกุลของน้ำเปลี่ยนสถานะจากรูปของเหลวไปเป็นก๊าซในรูปไอน้ำขึ้นสู่บรรยากาศ โดยพลังงานความร้อนที่ใช้สำหรับการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวเป็นก๊าซประมาณ 2,260 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ในการระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (David, 1993) และน้ำในรูปของก๊าซจะสามารถกลั่นตัวแล้วตกลงมาเป็นฝนซึ่งอยู่ในรูปของเหลว แล้วจะไหลรวมลงสู่แหล่งน้ำตลอดเวลา วัฏจักรของน้ำจึงอาจถือได้ว่าเป็นทรัพยากรที่ไม่หมดสิ้น

การคายระเหยน้ำเป็นกระบวนการหนึ่งของวัฏจักรของน้ำ (hydrologic cycle) ซึ่งมีบทบาทต่อจุลอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorology) มาก เพราะปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นมีส่วนทำให้เกิดการผันแปรสภาพอากาศจากอากาศร้อนให้เป็นเย็น ทั้งนี้เนื่องจากการคายระเหยน้ำเป็นการดูดความร้อนเข้าไป เพื่อทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำ

นักอุตุนิยมวิทยาได้แบ่งการคายระเหยน้ำออกเป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ

1) การคายระเหยน้ำจริง (actual evapotranspiration, ET_a) หมายถึง ปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นจากการระเหยน้ำที่ผิวดินและการคายน้ำของพืชสู่บรรยากาศได้จริงในสภาวะอากาศขณะนั้นซึ่ง ปริมาณน้ำที่สูญเสียโดยการคายระเหยน้ำนี้มีปัจจัยในการควบคุมหลายอย่าง เช่น รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ความเร็วลม ปริมาณไอน้ำในอากาศ คุณภาพน้ำ ชนิดพืช ความชื้นในดิน เป็นต้น

2) การคายระเหยน้ำได้สูงสุด (potential evapotranspiration, ET_p) ปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นจากการระเหยน้ำและการคายน้ำของพืชสู่บรรยากาศได้สูงสุดในสภาวะอากาศขณะนั้น ถ้ามีน้ำให้แก่กระบวนการคายระเหยน้ำได้อย่างเหมาะสมเพียงพอ ปริมาณการคายระเหยน้ำได้สูงสุดนี้จะมีค่าสูงหรือเท่ากับปริมาณการคายระเหยน้ำจริงเสมอ

2.4.1 ปัจจัยที่ควบคุมการคายระเหยน้ำ

ปริมาณการคายระเหยน้ำจะผันแปรไปตามลักษณะอากาศ ความชื้นในดิน ปัจจัยทางสรีรวิทยาของพืช ลักษณะพื้นที่ และชนิด โดยปัจจัยที่ควบคุมการคายระเหยน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1) ปัจจัยที่เกี่ยวกับลักษณะอากาศ (meteorological factors) โดยปัจจัยที่เกี่ยวกับลักษณะอากาศสามารถจำแนกได้ ดังนี้

1.1) ปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ (solar radiation)

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวโลก ขึ้นอยู่กับลักษณะสิ่งแวดล้อมของโลก ได้แก่ ตำแหน่งพื้นที่ผิวโลก ฤดูกาล ช่วงเวลาของวัน สภาพของท้องฟ้า เป็นต้น โดยเฉลี่ยแล้วโลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ประมาณ 0.0487 วัตต์ต่อตารางเมตร จากการศึกษาของ Chunkao (1971) พบว่า เมื่อโลกได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ในปริมาณมากอัตราการคายระเหยน้ำก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งปริมาณรังสีของรังสีคลื่นสั้นจะมีความสัมพันธ์ต่ออุณหภูมิและการคายระเหยน้ำโดยตรง

1.2) อุณหภูมิของอากาศ (air temperature)

อุณหภูมิ หมายถึง ค่าที่ใช้เพื่อชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเคลื่อนย้ายความร้อนโดยกระบวนการพาความร้อน (convection) อุณหภูมิของอากาศจะแปรผันตรงกับปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่โลกได้รับ อุณหภูมิของอากาศส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ แต่ก็มีบางที่เกิดจากโลก เช่น การใช้พลังงานของมนุษย์ ภูเขาไฟระเบิด น้ำพุร้อน ถ้าอุณหภูมิของอากาศสูงโอกาสที่กลายเป็นไอน้ำอยู่ในก้อนอากาศหนึ่งหน่วยปริมาตรค่อนข้างสูงขึ้น นั่นหมายความว่า อุณหภูมิยิ่งสูงการคายระเหยยิ่งสูงขึ้นด้วย

1.3) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (relative humidity)

ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอน้ำ โดยทั่วไปความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากไอน้ำในอากาศมีไม่เพียงพอ แต่ในช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการระเหยน้ำจะมีมากขึ้นตามไปด้วย สำหรับในช่วงที่มีอากาศเย็น เช่น ตอนกลางคืน ความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่ามากขึ้น อัตราการระเหยน้ำมีค่าสูงขึ้น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลง

1.4) การเคลื่อนที่ของลม (wind movement)

ลมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้อัตราการระเหยน้ำสูงขึ้นเพราะว่าลมพัดมาไอน้ำจากบริเวณที่มีความชื้นสูงไปสู่บริเวณที่มีความชื้นต่ำได้ทำให้บริเวณที่เคยมีความชื้นสูงมีไอน้ำลดลง โอกาสที่น้ำจะระเหยก็มากขึ้น ลมเป็นตัวพัดพาไอน้ำซึ่งมีการสะสมความร้อนของอากาศให้กระจายทั่วๆ ไป และลมจะพัดจากบริเวณที่มีอากาศเย็นไปสู่ที่มีอากาศร้อน ทำให้อากาศเย็นลอยตัวขึ้น ความสามารถที่จะให้ไอน้ำในอากาศอยู่ในหนึ่งหน่วยปริมาตรมีมากขึ้น การระเหยน้ำก็จะมีมากขึ้นตามไปด้วย

2) ธรรมชาติของผิวน้ำในการระเหยน้ำ (nature of evaporating surface)

การระเหยน้ำจะแตกต่างกันตามชนิดของสสารต่างๆ ดังนี้

2.1) พืชพรรณที่ปกคลุม (vegetative cover)

พืชพรรณแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในการยึดน้ำเอาไว้และการคายน้ำออกสู่บรรยากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (species) ความหนาแน่นของพืชพรรณ (density) ระยะห่างระหว่างต้น (spacing) จำนวนเปอร์เซ็นต์เรือนยอดปกคลุมดิน (ground cover) การกระจายของพันธุ์พืชในพื้นที่ (distribution) สัดส่วนของพันธุ์พืชในพื้นที่ (proportion of species) เป็นต้น พืชพันธุ์ชนิดใดสามารถยึดน้ำไว้ได้มาก โอกาสที่จะสูญเสียน้ำสู่บรรยากาศโดยการระเหยก็จะมีมากขึ้นด้วยและพืชพันธุ์ที่มีอัตราการคายน้ำสูง การสูญเสียน้ำก็จะมีมากขึ้น

2.2) สิ่งก่อสร้างที่สัมผัสกับผืน (infrastructure)

สิ่งก่อสร้างในที่โล่ง มีโอกาสสัมผัสกับผืนและผิวของสิ่งก่อสร้าง เช่น หลังคาบ้าน ถนน ลานจอดรถ สนามกีฬา เป็นต้น จะดูดซับน้ำไว้และสูญเสียให้กับบรรยากาศต่อไปโดยไม่มีโอกาสที่จะซึมลงสู่ดิน

2.3) การอิ่มตัวของผิวน้ำการระเหย (saturation of evaporating surface)

ผิวน้ำของสารใดที่อิ่มตัวด้วยน้ำก็เปรียบเสมือนผิวน้ำที่อิ่มตัวด้วยน้ำนั่นเองหรือเป็นผิวน้ำอิสระที่จะระเหย (free water surface) โอกาสที่น้ำจะระเหยเท่ากับจำนวนผิวน้ำของผิวน้ำอิสระที่เกิดขึ้น

3) ปัจจัยที่เกี่ยวกับสรีระวิทยาของพืช (plant physiology)

ปัจจัยที่เกี่ยวกับสรีระของพืชที่มีผลต่อการคายระเหยน้ำในรูปของการคายน้ำจากปากใบของพืช ซึ่งมีปัจจัยในการควบคุมดังนี้

3.1) ลักษณะอากาศ (meteorological factors)

ลักษณะอากาศ ได้แก่ รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ จำนวนชั่วโมงที่พืชได้รับแสงแดด เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช พืชต้องการคายน้ำเพื่อลดความร้อนและเพื่อดูดแร่ธาตุขึ้นมาใช้และคายน้ำออกจากปากใบ

3.2) สภาพความชื้นในดิน (soil moisture condition)

ปริมาณความชื้นในดินเป็นตัวจำกัดการคายน้ำได้อย่างมาก ถ้าสภาพความชื้นในดินมีน้อยพืชพรรณก็ต้องเก็บใบไว้ใช้มากกว่าที่จะปล่อยไปเพื่อการคายน้ำหรือกล่าวได้ว่าการคายน้ำจะผันแปรตามความชื้นดิน

2.4.2 วิธีวัดการคายระเหยน้ำ

การวัดค่าการระเหยน้ำสามารถทำได้ทั้งการวัดโดยตรง และการวัดโดยใช้สูตรที่ใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) วัดโดยตรง (direct measurement) เช่น

1.1) ถาดวัดการระเหย (evaporation pans)

ถาดวัดการระเหยเป็นเครื่องมือวัดการระเหยที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน อีกทั้งอัตราการระเหยที่วัดได้เป็นดัชนีที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการระเหยจากผิวน้ำมากที่สุด ข้อดีของข้อมูลอัตราการระเหยที่วัดได้จากถาดวัดการระเหยคือสามารถจัดเก็บข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก ถาดวัดการระเหยที่นิยมใช้กันแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลกก็คือ ถาดวัดการระเหยแบบ เอ ถาดชนิดนี้ทำด้วยเหล็กอาบสังกะสีหรือโลหะที่ทนต่อการผุกร่อน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 47.5 นิ้ว ลึก 10 นิ้ว ถาดชนิดนี้จะวางบนแผงไม้ตะแกรงโดยให้ก้นถาดอยู่เหนือระดับพื้นดินเดิมประมาณ 4 นิ้ว น้ำที่ใส่ลงในถาดจะลึกประมาณ 8 นิ้ว และเมื่อน้ำระเหยไปจนความลึกของน้ำเหลือประมาณ 7 นิ้ว ก็จะต้องเติมน้ำใหม่ให้มีความลึกประมาณ 8 นิ้ว อย่างเดิม การวัดการระเหยตามปกติจะวัดทุกวัน โดยใช้ข้ววัดระดับน้ำ (Hook gage) วัดระดับน้ำในบ่อน้ำนิ่ง (Stilling well) ในวันที่มีฝนตกค่าความลึกของน้ำจากการระเหยที่วัดได้จะต้องมีการปรับแก้ค่าโดยพิจารณาความลึกของน้ำฝนที่ตกซึ่งวัดได้จากเครื่องวัดน้ำฝนซึ่งโดยมากจะติดตั้งควบคู่กับถาดวัดการระเหย สำหรับประเทศไทยตามสถานีตรวจวัดข้อมูลภูมิอากาศก็นิยมใช้ถาดวัดการระเหยแบบ เอ

1.2) ถังวัดการใช้น้ำ (lysimeter)

ถังวัดการใช้น้ำเป็นถังที่ฝังลงในดินซึ่งอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่ปลูกพืชชนิดเดียวกัน โดยมีสภาพของดินภายในและสภาพภายนอกคล้ายคลึงกันมากที่สุด โดยแบ่งออกได้ตามลักษณะการทำงาน 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ 1) ประเภทที่ไม่เกี่ยวข้องกับน้ำหนัก (non-weighing lysimeter) โดยวัดปริมาตรหรือความลึกของน้ำที่หายไปจากถัง แล้วเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่พืชใช้ เช่น Drainage lysimeter และ Compensation lysimeter เป็นต้น 2) ประเภทวัดโดยอาศัยน้ำหนักของถัง (weighing lysimeter) การลดลงของน้ำหนักถังเกิดจากการให้น้ำชลประทานหรือปริมาณฝนและการระบายน้ำออกจากถัง ถังวัดการใช้น้ำของพืชชนิดนี้ เช่น Mechanical weighing lysimeter ชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่ง และ Electronic weighing lysimeter โดยใช้ electric load cell เป็นต้น

2) วัดโดยใช้สูตรที่ใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา (meteorological formulae)

วิธีนี้นิยมในหม่อกอุตุนิยมวิทยาเนื่องจากเป็นวิธีที่วัดได้สะดวกถ้าวัดข้อมูลต่าง ๆ ได้ถูกต้องดีแล้ว จะให้ผลเป็นที่น่าเชื่อถือและถูกต้องแต่ต้องลงทุนมาก โดยแบ่งเป็นหลายวิธี ได้แก่

2.1) วิธีการ aerodynamic

วิธี aerodynamic นี้เป็นวิธีการหาการคายระเหยน้ำจริงโดยใช้ความเร็วลมเป็นส่วนสำคัญในการคำนวณการสูญเสียน้ำ ปกติมักเกิดในท้องที่ที่เป็นพื้นที่เปิดกว้าง และลักษณะที่เกิดต้องมีสภาพเป็นธรรมชาติมากที่สุด Thompson (1999) ได้อธิบายไว้ว่าวิธี aerodynamic ใช้ตัวแปร 2 ตัวแปรมาใช้ในการประมาณค่าการคายระเหยน้ำ ซึ่งตัวแปรดังกล่าวได้แก่ ค่าแรงดูดซับไอน้ำของบรรยากาศ (Vapor Pressure Deficit; VPD) และค่าความเร็วลม (wind speed) โดยสมการพื้นฐานที่ใช้ในการประมาณค่าการคายระเหยน้ำโดยวิธี aerodynamic คือ

$$E_a = f(u)(e_s - e_a) \quad (2.16)$$

เมื่อ E_a คือ อัตราการคายระเหยน้ำ (cm d^{-1}), $f(u)$ คือ ฟังก์ชันของความเร็วลม u , e_s คือ ค่าความดันไอน้ำของบรรยากาศที่อิ่มตัว (kPa), และ e_a คือค่าความดันไอน้ำของบรรยากาศที่แท้จริง (kPa) โดย Penman (1956) ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณค่า $f(u)$ ดังนี้

$$f(u) = 0.26(0.5 + \frac{u_2}{160}) \quad (2.17)$$

เมื่อ u_2 คือ ความเร็วลม (m sec^{-1}) ที่ระดับความสูง 2 เมตร

2.2) วิธีงบประมาณพลังงาน (energy budget methods)

วิธีงบประมาณพลังงานนั้นใช้สำหรับการหาการคายระเหยน้ำซึ่งวิธีนี้คล้ายกับวิธีสมดุลน้ำ เว้นแต่วิธีสมดุลพลังงานจะเกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานมากกว่าน้ำ (Richardson, 1931; Commings, 1935) สำหรับพลังงานที่ใช้สำหรับการระเหยน้ำนั้นพิจารณาจากพลังงานที่ได้รับ พลังงานที่ปลดปล่อยออกไป และพลังงานที่

เก็บสะสมไว้ที่พื้นผิวดินที่ได้รับในช่วงเวลาหนึ่งๆ (Harbeck et al., 1954) โดยสมดุลพลังงานสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (Hanks and Ashcroft, 1980)

$$R_n = H + LE - G \quad (2.18)$$

เมื่อ R_n คือ พลังงานที่เกิดจากรังสีสุทธิของดวงอาทิตย์ ($W m^{-2}$), H คือ พลังงานความร้อนในการเผาผลาญอากาศ ($W m^{-2}$), LE คือ พลังงานความร้อนในการเผาผลาญน้ำ ($W m^{-2}$), และ G คือ พลังงานความร้อนที่เก็บไว้ในดิน ($W m^{-2}$) สมการสมดุลพลังงานข้างต้นนั้นสามารถเขียนได้หลายแบบขึ้นอยู่กับทิศทางของพลังงาน (Hanks and Ashcroft, 1980)

2.3) วิธี combination

วิธีนี้เป็นวิธีการที่รวมสูตรของวิธี aerodynamic กับวิธีสมดุลพลังงาน (energy budget) เข้าด้วยกัน และถือว่าการใช้น้ำของพืชจะขึ้นอยู่กับรังสีดวงอาทิตย์ และพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของลมและความชื้นของอากาศเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งวิธี combination ที่นิยมใช้กันมากก็คือวิธี Penman ซึ่ง Penman ได้รวมวิธีสมดุลพลังงานกับวิธี aerodynamic และพัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยได้เสนอสมการ Penman โดยรายละเอียดของสมการได้กล่าวไว้แล้วในส่วนของดัชนีภัยแล้ง

3) วัดจากวิธีสมดุลของน้ำ (moisture/water budget methods)

เป็นการตรวจสอบปริมาณน้ำไหลเข้า ปริมาณน้ำไหลออก และปริมาณน้ำที่ยังคงเหลือในดิน เนื่องจากปริมาณของน้ำนิยมวัดเป็นหน่วยความสูง ซึ่งหมายถึง ปริมาตรของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ ในการประเมินสมดุลของน้ำในแปลงพืชหนึ่งๆ เราต้องทราบองค์ประกอบของวัฏจักรน้ำ (hydrologic cycle component) แต่ละส่วนมีค่าเท่าใด ค่าเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กันตามกฎหมายมวล (law of mass conservation) ดังสมการ

ปริมาณน้ำไหลเข้า — ปริมาณน้ำไหลออก = ปริมาณเก็บกักในดินที่เปลี่ยนแปลง (2.19)
ซึ่งเมื่อบรรจุองค์ประกอบวัฏจักรน้ำเข้าไปในสมการข้างต้นก็จะกลายเป็น

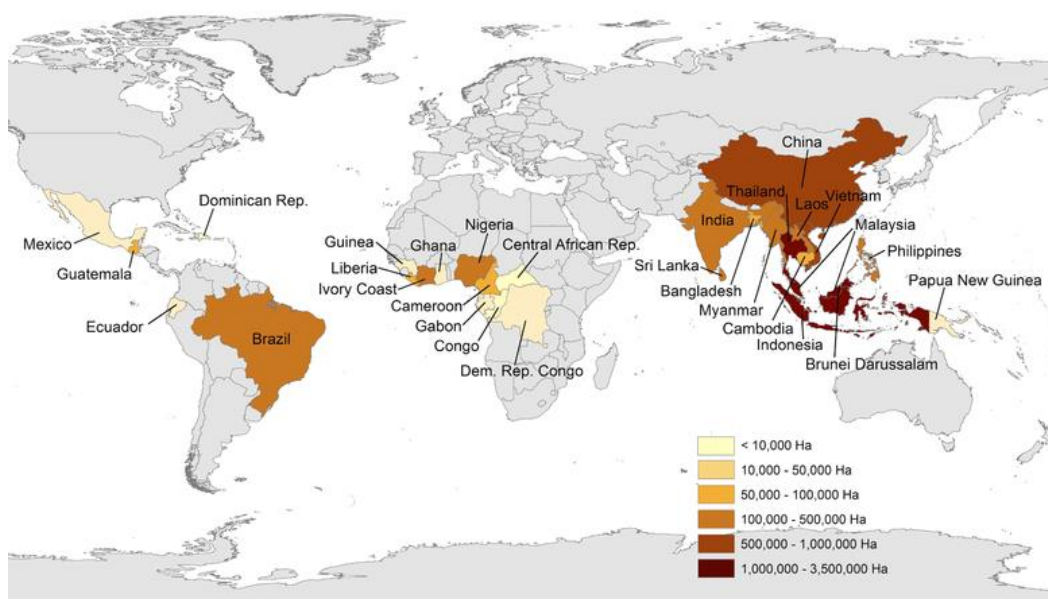
$$(I + P) - (R + D + ET) = \Delta S \quad (2.20)$$

ในที่นี้ I คือ ปริมาณน้ำชลประทาน P คือ ปริมาณน้ำฝน ทั้ง 2 กรณีรวมกันเป็นปริมาณน้ำไหลเข้าแปลงพืช ส่วน $R + D$ และ ET เป็นปริมาณน้ำไหลออก คือ น้ำท่า น้ำซึมลึก และน้ำคายระเหยตามลำดับ ΔS ด้านขวามือของสมการ คือ ปริมาณเก็บกักน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงที่มีการตรวจสอบองค์ประกอบวัฏจักรน้ำเหล่านั้น

สมการสมดุลน้ำ (water balance equation) สามารถใช้ประโยชน์ในการประเมินองค์ประกอบวัฏจักรน้ำตัวใดตัวหนึ่งในกรณีซึ่งทราบองค์ประกอบอื่นๆ แล้ว เนื่องจากปริมาณหรืออัตราการคายระเหยน้ำของแปลงพืช (ET) มีความสำคัญมากต่อการผลิตของพืช ดังนั้นสมการข้างต้นมักใช้ประเมินค่าการคายระเหยน้ำเมื่อทราบ I, P, R, D และ ΔS แล้ว ในจำนวนองค์ประกอบวัฏจักรข้างต้น ปริมาณน้ำซึมลึก (D) เป็นสิ่งที่ประเมินได้ยาก แต่ก็สามารถประเมินได้โดยการปลูกพืชในถังปลูกพืชที่ออกแบบเป็นพิเศษให้วัดอัตราการซึมลึกได้ (วิสุทธิ์, 2541)

2.5 ข้อมูลทั่วไปของยางพารา

ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ อยู่ในวงศ์ Euphobiaceae มีถิ่นกำเนิดในแถบกลุ่มแม่น้ำอะเมซอน ประเทศบราซิล จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของโลก เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่มีการปลูกกระจายไปหลายพื้นที่ทั่วโลกโดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ภาพที่ 2.8) โดยร้อยละ 90 ของผลผลิตยางโลกมาจากประเทศไทย มาเลเซีย และอินโดนีเซีย ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการผลิตยางพาราธรรมชาติเป็นอันดับ 1 ของโลก (บัญชา และคณะ, 2553) ในขณะที่ประเทศอินโดนีเซียเป็นประเทศที่มีพื้นที่ปลูกยางพารามากที่สุดในโลก รองลงมาคือประเทศไทย โดยในปี 2560 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางทั้งสิ้นประมาณ 22.47 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ยางที่เปิดกรีดประมาณ 19.22 ล้านไร่ โดยเพิ่มขึ้นจากปี 2559 ร้อยละ 4.09 พื้นที่ปลูกยางมากที่สุดคือภาคใต้ซึ่งมีจำนวน 13.69 ล้านไร่ รองลงมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 2.45 ล้านไร่ และภาคเหนือ จำนวน 1.19 ล้านไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 2.9) รวมทั้งสิ้น 67 จังหวัด และ จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุดในประเทศไทย โดยมีพื้นที่ปลูกยางประมาณ 2.54 ล้านไร่ (สถาบันวิจัยยาง, 2561) ผลผลิตจากยางพาราสามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยปีละไม่ต่ำกว่าหนึ่งแสนล้านบาทตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 เป็นต้นมา (สถาบันวิจัยยาง, 2558) นอกจากนี้ยังพบว่าไม้ยางพารามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ของประเทศไทย สามารถนำไปแปรรูปและสร้างผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพารา โดยมีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 94,650 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2558 เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2554 ที่มีมูลค่าส่งออกมีเพียง 84,955 ล้านบาท หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.97 (สมาคมธุรกิจไม้ยางพารา, 2559)



ภาพที่ 2.8 แผนที่การกระจายตัวของยางพาราทั่วโลก

ที่มา: Warren-Thomas และคณะ (2015)

ตารางที่ 2.9 พื้นที่กรีดยางประเทศไทยแยกตามภูมิภาค

ภูมิภาค	พื้นที่กรีดยาง (ไร่)			
	2559	2560	2561*	อัตราเพิ่ม (%)
รวมทั้งประเทศ	18,466,489	19,221,945	20,173,213	4.95
ภาคเหนือ	693,078	853,560	990,715	16.07
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	3,864,477	4,256,781	4,720,849	10.90
ภาคกลาง	1,959,818	2,059,848	2,244,729	8.98
ภาคใต้	11,949,116	12,051,756	12,216,920	1.37

ที่มา: สถาบันวิจัยยาง (2561)

หมายเหตุ: * ข้อมูลพยากรณ์, ข้อมูลเบื้องต้น ณ 21 มีนาคม 2561

ข้อมูลพื้นที่ปลูกยางพาราในภาคใต้ในปี 2558 พบว่า จังหวัดที่มีพื้นที่สวนยางพารามาก 5 อันดับแรก ได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี สงขลา นครศรีธรรมราช ตรัง และยะลา โดยมีพื้นที่เพาะปลูกยางพาราจำนวน 2,911,108 ไร่ 2,062,232 ไร่ 1,847,711 ไร่ 1,543,266 ไร่ และ 1,359,444 ไร่ ตามลำดับ หากพิจารณาเปรียบเทียบพื้นที่เพาะปลูกยางพาราในแต่ละจังหวัดในช่วงปี 2556 – 2558 จะสังเกตได้ว่าพื้นที่เพาะปลูกยางพารามีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 2.10) เนื่องจากช่วงระยะเวลาดังกล่าวรัฐบาลมีการควบคุมปริมาณการผลิตยางพาราผ่านโครงการตัดโค่นต้นยางแก่เพื่อปลูกทดแทน โครงการส่งเสริมการปลูกทดแทนยางด้วยพืชเศรษฐกิจอื่น โครงการทวงคืนพื้นที่ป่าที่เป็นสวนยางพารา และโครงการสนับสนุนสินเชื่อเกษตรกรชาวสวนยาง

รายย่อย เพื่อประกอบอาชีพเสริมโดยมีเงื่อนไขกำหนดให้เกษตรกรตัดโค่นต้นยางบางส่วนเพื่อลดจำนวนต้นยางพารา (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558)

ตารางที่ 2.10 พื้นที่เพาะปลูกยางพารา 5 อันดับแรกของภาคใต้

จังหวัด	2556	2557	2558	2559
สุราษฎร์ธานี	2,913,105	2,912,437	2,911,108	3,078,018
สงขลา	2,066,960	2,064,608	2,062,232	2,171,411
นครศรีธรรมราช	1,848,296	1,846,338	1,847,711	1,623,315
ตรัง	1,542,246	1,541,701	1,543,266	1,553,913
ยะลา	1,360,659	1,359,527	1,359,444	1,131,452
พัทลุง	775,846	776,881	776,988	957,783

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2559)

2.5.1 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการปลูกยางพารา

ประเทศไทยโดยเฉพาะพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยมีสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดและเหมาะสมต่อการปลูกยาง ต่อมาการขยายพื้นที่ปลูกไปยังแหล่งใหม่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือภาคเหนือ และภาคอื่นๆ ในประเทศ เนื่องจากยางพาราสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี จึงสามารถปลูกได้เกือบทุกภาคของประเทศ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของความพร้อมของดิน ปริมาณน้ำฝน การกระจายของฝนและบางพื้นที่เป็นที่ราบสูง อย่างไรก็ตามที่ภาคใต้ต้นยางสามารถเจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตสูงกว่าต้นยางในภาคอื่นๆ สามารถเปิดกรีดได้ตั้งแต่ต้นยางอายุ 6-7 ปี ในขณะที่ภาคอื่นๆ ต้นยางจะเปิดกรีดช้ากว่าอย่างน้อย 6 เดือน และให้ผลผลิตที่ต่ำกว่าภาคใต้ร้อยละ 10-15 ดังนั้นในการปลูกยางนอกจากเลือกสายพันธุ์ยางที่ดีแล้ว สภาพแวดล้อมและการจัดการสวนยางที่ถูกต้องจึงมีความจำเป็น เพราะสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปสามารถส่งผลกระทบต่อสรีรวิทยาการเจริญเติบโตรวมไปถึงผลผลิตที่อาจจะลดลงได้

1) สภาพพื้นที่

ยางพาราเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในสภาพพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงหรือปานกลาง และสามารถปรับตัวให้เจริญเติบโตในสภาพพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยยางพาราสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่อยู่ในเขตระหว่างเส้นรุ้งที่ 10 องศาใต้ – 15 องศาเหนือ แหล่งผลิตยางที่สำคัญอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 6 องศาเหนือและใต้ อย่างไรก็ตาม ในเขตร้อนชื้นระหว่างเส้นรุ้งที่ 28 องศาเหนือและใต้ ยางพาราสามารถเจริญเติบโตได้ดีเช่นกัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2533) พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกยางพารามีลักษณะเป็นพื้นที่ราบ ถ้าเป็นพื้นที่ลาดชันไม่ควรเกิน 35 องศา ควรมีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 600 เมตร ความลึกของหน้าดินไม่น้อยกว่า 1 เมตร การปลูกยางพาราในพื้นที่ที่มีความชันระหว่าง 9 -11 องศา มีผลทำให้ต้นยางพารา มีอัตราการเจริญเติบโตของลำต้นสูงสุด (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2546) ที่สำคัญพื้นที่ปลูกยางไม่ควรเป็นที่ลุ่มน้ำขังหรือเป็นที่นา

2) สภาพอากาศ

ยางพาราเป็นพืชยืนต้นประเภทผลัดใบที่ปลูกโดยอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก การเจริญเติบโตรวมทั้งผลผลิตขึ้นอยู่กับสภาพของลมฟ้าอากาศเป็นอย่างมาก ความแปรปรวนของตัวแปรทางภูมิอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีอิทธิพล และส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของต้นยางพาราตั้งแต่เริ่มปลูกไปจนถึงระยะเวลาที่เปิดกรีด (อัศมน ลิ้มสกุล และคณะ, 2556) ทั้งนี้ ปัจจัยทางภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการปลูกยางประกอบด้วยปัจจัยต่างๆ ดังนี้

อุณหภูมิ- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปลูกยางพาราจะเฉลี่ยอยู่ในระหว่าง 25-28 องศาเซลเซียส (นิรมล แสงจันดา และคณะ, 2557) ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด ไม่ควรปลูกยางในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 15 °C เพราะมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นยางที่ช้ากว่าปกติ แต่ถ้าอุณหภูมิที่สูงเกิน 35 องศาเซลเซียส ก็จะมีผลทำให้ปากใบของใบยางพาราปิด ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของใบยางพาราลดลง (Rao et al., 1990) ยางพารานับเป็นพืชที่มีความล่อแหลมสูงต่อความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ยกตัวอย่างเช่น ผลผลิตของยางพาราจะลดลงประมาณ 9-10% ในกรณีที่อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส (Satheesh et al., 2011) นอกจากนี้ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 37 องศาเซลเซียส ควบคู่กับการเกิดความเครียดของความชื้นในดิน (Soil Moisture Stress) ทำให้ใบเกิดความเสียหายและขอบใบไหม้ได้ ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงยังส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลของน้ำยางและทำให้ผลผลิตของน้ำยางลดลง (สถาบันวิจัยยาง, 2561) ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศทั้งที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและอนาคต ย่อมส่งผลกระทบต่อยางพาราในหลายมิติทั้งในด้านสรีรวิทยาการเจริญเติบโต รวมไปถึงศักยภาพของผลผลิตที่อาจจะผันผวนและลดลงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกยางพารามากที่สุดของประเทศ แต่เป็นพื้นที่ที่มักได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมทั้งสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ

ความชื้นสัมพัทธ์- ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เป็นปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับความสำเร็จในการปลูกยางพารา โดยยางพาราจะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีในพื้นที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยตลอดปีอยู่ระหว่าง 65-90 เปอร์เซ็นต์ ต้นยางที่ปลูกใหม่หากได้รับการกระทบจากการมีแสงจัดหรือความชื้นในอากาศต่ำเป็นเวลานานจะมีอัตราการตายสูงมาก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2533)

ฝน- ปริมาณน้ำฝน เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ส่งต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของยางพารา ซึ่งยางพารามีความต้องการปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตโดยเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 2,000 มิลลิเมตรต่อปี มีจำนวนวันฝนตกเฉลี่ย 100-150 วันต่อปี และมีช่วงแล้งไม่เกิน 3-4 เดือน (Watson, 1989) ต้นยางสามารถปรับตัวในช่วงฤดูแล้งในบางบริเวณ โดยสามารถใช้น้ำที่เหลืออยู่จากช่วงฤดูฝนได้ (Morales, 1977) สำหรับประเทศไทยซึ่งมีช่วงแล้งนานกว่า 6 เดือนในบางพื้นที่ พบว่า ยางพาราถูกยับยั้งการเจริญเติบโตถึง 15 เปอร์เซ็นต์ (Saengruksowong et al., 1983)

2) ลักษณะดินและความอุดมสมบูรณ์ของดิน

คุณสมบัติที่เหมาะสมของดินสำหรับการปลูกยางพาราควรประกอบไปด้วย

2.1) ลักษณะโครงสร้างของดินควรเป็นดินที่มีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมมน มีความร่วนเหนียวพอเหมาะ อึมน้ำได้ดี เนื้อดินมีลักษณะเป็นดินร่วนเหนียวถึงดินร่วนทราย ดินร่วน ดินร่วนปนทราย หรือ ดินร่วนทราย ไม่มีชั้นหิน ชั้นหินดินดานหรือชั้นกรวดอัดแน่นในระดับสูงกว่า 1 เมตรจากพื้นดิน เพราะช่วงหน้าแล้งต้นยางไม่สามารถใช้น้ำในระดับรากแขนงได้ จะมีผลให้ต้นยางแสดงอาการตายจากยอด ดินมีการระบายน้ำดี โดยไม่มีชั้นหินแข็งหรือดินดานที่เป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของรากยาง มีระดับน้ำใต้ดินต่ำกว่าระดับผิวดินมากกว่า 1 เมตร

2.2) ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกยางพาราควรอยู่ระหว่าง 4.5-5.5 (นิรมล แสงจินดา และคณะ, 2557) ไม่เป็นดินด่าง ดินเค็มหรือดินเกลือ เพราะจะมีผลต่อความสามารถในการละลายและควบคุมความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดิน

2.3) ดินควรมีอินทรีย์วัตถุที่เพียงพอเพราะจะช่วยทำให้ดินจับตัวเป็นก้อน เพิ่มช่องว่างในดินมากขึ้น ทำให้การระบายน้ำและอากาศในดินดี

2.4) สีของดินควรมีสีสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดดิน ซึ่งดินที่เหมาะสมในการปลูกยางพารามักมีสีน้ำตาล เหลืองปนแดง หรือแดง ไม่ควรมีสีจุดประในระดับ 60 เซนติเมตร หรือดินไม่เป็นสีเทาจัด ซึ่งเป็นลักษณะของดินที่มีระดับน้ำใต้ดินในช่วงฤดูฝนสูงทำให้กระทบต่อการเจริญเติบโตของรากยางได้

นอกจากนี้ความแปรปรวนของสภาพอากาศสามารถส่งผลกระทบต่อผลผลิตของยางพาราโดยเฉพาะอย่างยิ่งฝั่งอ่าวไทย ที่มีความสัมพันธ์ที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับความแปรปรวนของสมดุลน้ำในรูปของความแตกต่างระหว่างอัตราการระเหยและปริมาณน้ำฝน (Evaporation-Precipitation; E-P) โดยผลผลิตของยางพารา มีแนวโน้มสูงขึ้นในเดือนที่ค่า E-P มีค่าเป็นบวก หรือช่วงที่มีปริมาณฝนเกิดขึ้นน้อยกว่าอัตราการระเหยของน้ำซึ่งมักตรงกับในช่วงที่เกิดความแห้งแล้ง (เหตุการณ์ El Niño) ของปรากฏการณ์เอนโซ หรือช่วงที่ลมมรสุมเอเชียอ่อนกำลังลง (สಾಯันท์ สดุดี และคณะ, 2557)

2.5.2 พันธุ์ยางพารา

การยางแห่งประเทศไทยโดยสถาบันวิจัยยางได้พิจารณาพันธุ์ยางใหม่ผ่านการวิจัยปรับปรุงพันธุ์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ทั้งในส่วนในพื้นที่ปลูกยางเดิมและพื้นที่ปลูกยางใหม่ เพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้ ยางพันธุ์ดีประจำปี พ.ศ. 2559 แบ่งเป็นยางพันธุ์ดีชั้น 1, 2 และ 3

ยางพันธุ์ดีชั้น 1 เป็นพันธุ์ยางที่ผ่านการวิจัยและพัฒนาพันธุ์มาอย่างดี สามารถปลูกได้ในทุกพื้นที่ ส่วนของยางพันธุ์ดีชั้น 2 ประสิทธิภาพในการให้ผลผลิตอาจยังไม่ได้เท่าที่ควร ยังอยู่ในระหว่างการศึกษาทดลอง เช่น ข้อมูลโรคยาง ส่วนของยางพันธุ์ดีชั้น 3 ยังคงอยู่ในการศึกษาวิจัยลักษณะบางประการ ข้อมูลผลผลิตที่ได้ จึงแนะนำให้ปลูกในพื้นที่ปลูกยางพันธุ์ดีชั้น 2 และ 3 ไม่ควรเกินร้อยละ 50 ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด ควรจะปลูก

แบบคละสายพันธุ์ (ตารางที่ 2.11) เพื่อลดการเกิดโรคระบาดในสวนยางได้ (การยางแห่งประเทศไทย, 2559) นอกจากนี้ตารางที่ 2.12 เป็นตารางที่แสดงตัวอย่างพันธุ์ยางจากประเทศต่างๆ ที่นิยมปลูกในประเทศไทย

ตารางที่ 2.11 สถาบันวิจัยยางแนะนำกลุ่มพันธุ์ยางและชื่อพันธุ์ให้ปลูก

พันธุ์ยางกลุ่มที่	ชื่อพันธุ์ยาง
1	RRIT 251, RRIT 226, BPM 24, RRIM 600, BPM 24
2	PB 260, RRIC 110, PB 235
3	ฉะเชิงเทรา 50, BPM 1

ที่มา: ดัดแปลงจากสถาบันวิจัยยาง (2559)

ตารางที่ 2.12 ตัวอย่างพันธุ์ยางประเทศต่างๆ ที่นิยมปลูกในประเทศไทย

พันธุ์ยาง	ประเทศ
RRIT	ไทย
RRIM	มาเลเซีย
PB	มาเลเซีย
RRIC	ศรีลังกา
ฉะเชิงเทรา	ไทย
BPM	อินโดนีเซีย

ที่มา: ดัดแปลงจากสถาบันวิจัยยาง (2559)

อย่างไรก็ตามยางพันธุ์ดีที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ RRIM600 เนื่องจากมีการปรับตัวและให้ผลผลิตได้ดีในเกือบทุกพื้นที่ รวมทั้งทนทานต่อการกรีดถี่ได้มากกว่าพันธุ์อื่น ๆ และมีจำนวนต้นแสดงอาการเปลือกแห้งน้อย นอกจากนี้พันธุ์ยางดังกล่าวมีความทนทานต่อโรคราแป้ง โรคใบจุดนูน และให้ผลผลิตสูง แม้ว่าอยู่ในสภาวะอากาศแห้งแล้งการแสดงอาการยืนต้นตายและยอดแห้งจะน้อยกว่ายางพันธุ์อื่นๆ (กรรณิการ์ ธีระวัฒนสุข และ นภาพรณ เลขะวิวัฒน์, 2554) จึงกลายเป็นพันธุ์ยางที่เกษตรกรนิยมปลูกมากที่สุด

2.5.2 โรคและอาการเปลือกแห้งของยางพารา

โรคและอาการผิดปกติที่สำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหายแก่สวนยางประจำปี ส่งผลกระทบต่อเนื้อให้เกิดความสูญเสียในระดับครัวเรือนและระดับเศรษฐกิจภาพรวมของประเทศ ได้แก่ โรคราแป้ง โรคใบร่วง โรคระบบราก โรคใบจุดก้างปลา และอาการเปลือกแห้ง โดยโรคยางพาราที่สำคัญส่วนใหญ่เกิดจากเชื้อรา ซึ่งการระบาดของโรคมีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศ ทั้งปริมาณและการกระจายตัวของฝน ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ รวมทั้งการปฏิบัติที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งโรคที่เป็นปัญหาสำคัญของยางพารา (สถาบันวิจัยยาง, 2561) มีรายละเอียดดังนี้

โรคใบจุดก้ำปลา (Corynespora leaf disease) เกิดจากเชื้อรา *Corynesporacassiicola* (Burk. & Curt.) Wei. มีลักษณะอาการ คือบนใบที่พบมีตั้งแต่จุดแผลลักษณะกลม หรือรูปร่างไม่แน่นอนทั้งขนาดใหญ่ และขนาดเล็ก กลางแผลมีสีน้ำตาลอ่อน ขอบแผลสีน้ำตาลเข้ม และมีวงสีเหลืองล้อมรอบรอยแผล แผลอาจขยายลุกลามเข้าไปตามเส้นใบ ทำให้แผลมีลักษณะคล้ายก้ำปลา หากระบาดรุนแรงจะทำให้ใบอ่อนไหม้แห้งเหี่ยว ใบร่วง ทำให้ต้นยางชะงักการเจริญเติบโต ถ้าสภาพอากาศเหมาะสมจะขยายขนาดและลุกลาม จนทำให้กิ่งหรือยอดที่เป็นโรคแห้งตาย เชื้อราจะแพร่ระบาดโดยลม และฝน โรคระบาดรุนแรงในสภาพอากาศร้อน และมีความชื้นสูง

โรคราแป้ง (Powdery mildew, secondary leaf fall) เกิดจากเชื้อรา *Oidium heveae* Steinn. มีลักษณะอาการ คือ ทำให้ดอกและใบยางอ่อนร่วง อาการของโรคจะแตกต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของใบ เชื้อรายังเข้าทำลายดอกยางทำให้เกิดการเน่าแห้ง และร่วง เชื้อแพร่ระบาดโดยลมและแมลง ระบาดรุนแรงในช่วงยางผลิใบใหม่ หลังการผลัดใบเดือนมกราคม – เมษายน มักแพร่ระบาดในสภาพอากาศกลางวันค่อนข้างร้อน กลางคืนอากาศเย็น มีความชื้นสูง มีหมอกในตอนเช้า หรือมีฝนตกปรอยๆ ในบางวัน

โรครากน้ำตาล (Brown root disease) เกิดจากเชื้อ *Phellinus noxius* (Corner) G.H. Gunn ลักษณะอาการของโรค คือเชื้อราเข้าไปทำลายบริเวณรากและโคนต้น ลักษณะของรากและโคนต้นเมื่อถูกเชื้อเข้าทำลายจะขรุขระด้วยดิน เม็ดกรวด หรือทรายในบริเวณนั้น มีเส้นใยเชื้อราสีขาวละเอียดในเปลือกไม้ และเส้นใยบนผิวรากมีลักษณะละเอียดสีน้ำตาลปนเหลืองเหมือนกำมะหยี่ เมื่อระบบรากถูกทำลายต้นยางไม่สามารถดูดซึมน้ำและธาตุอาหารไปเลี้ยงลำต้นได้ ทำให้แสดงอาการทางใบ เมื่อระบบรากถูกทำลายอย่างรุนแรงก็จะทำให้ยางยืนต้นตายในที่สุด เช่นเดียวกับโรคราชนิดอื่น เชื้อราสามารถเจริญได้ดีในสภาพ pH 4-7.5

โรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อราไฟทอปทอรา (Phytophthora leaf fall) เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora botryose* Chee, *P. palmivora* (Butl.) Butl., *P. nicotianae* var. *parasitica*, *P. meadii* McRae ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะพบเชื้อสาเหตุเป็นสองตัวแรก (*Phytophthora botryose* Chee และ *P. palmivora* (Butl.) Butl.) มีลักษณะอาการเด่นชัดที่ก้านใบ โดยปรากฏรอยแผลซ้ำสีน้ำตาลเข้มถึงดำตามความยาวของก้านใบ เมื่อนำใบยางเป็นโรคมาสะบัดเบาๆ ใบย่อยจะหลุดออกจากก้านใบโดยง่าย ในสภาพอากาศเหมาะสมยางพันธุ์อ่อนแอใบจะร่วงหมด และผลผลิตลดลงอย่างชัดเจน เชื้อยังสามารถเข้าทำลายฝักยางได้ทุกระยะ ทำให้ฝักเน่า ถ้าความชื้นในอากาศสูงจะพบเชื้อราสีขาวเจริญปกคลุมฝัก ฝักที่ถูกทำลายจะเน่าดำค้างอยู่บนต้น ไม่แตกและร่วงหล่นตามธรรมชาติกลายเป็นแหล่งเชื้อโรคในปัดมา ความรุนแรงของโรคขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันฝนตก เชื้อนี้ต้องการน้ำเพื่อการขยายพันธุ์ จึงระบาดได้ดีในสภาพอากาศเย็น ฝนตกชุก มีความชื้นสูงต่อเนื่องกันอย่างน้อย 4 วัน โดยที่มีแสงแดดน้อยกว่า 3 ชั่วโมงต่อวัน

โรคเส้นดำ (Black stripe) เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora botryose* Chee, *P. palmivora* (Butl.) Butl. มีลักษณะอาการ คือ เหนือรอยกรีดมีลักษณะเป็นรอยข้ำ ต่อมากลายเป็นรอยบวมสีดำหรือสีน้ำตาลตามแนวยาวของลำต้น และอาจลุกลามลงใต้รอยกรีดถ้าอาการรุนแรง เปลือกบริเวณที่เป็นโรคปริเน่า มีน้ำยางไหล เปลือกเน่าหลุดออกมา แพร่ระบาดโดยเชื้อบนฝักและใบที่เป็นโรคถูกชะล้างโดยน้ำฝนลงมาที่หน้ากรีด พบ

ระบาตรุนแรงเมื่อกรีดยางติดต่อกันในฤดูฝนโดยไม่มีกำบังรักษาหน้ากรีด โดยเฉพาะเมื่อความชื้นสูงกว่า 90% หน้ากรีดจะเปียกอยู่ตลอดเวลา เหมาะต่อการขยายพันธุ์ของเชื้อ

โรครากขาว (White root disease) เกิดจากเชื้อรา *Rigidoporus microporus* (Sw.) Overeen เชื้อโรครากขาวสามารถเข้าทำลายต้นยางได้ทุกระยะการเจริญเติบโต ตั้งแต่อายุ 1 ปี ขึ้นไป โรคจะลุกลามไปตามรากสู่ต้นยางรอบรัศมีของต้นที่เป็นโรค ทั้งในแถวและระหว่างแถว เมื่อระบบรากถูกทำลายจะไม่สามารถดูดน้ำและธาตุอาหารไปเลี้ยงลำต้นได้ ทำให้แสดงอาการทางใบ และเมื่อถูกทำลายอย่างรุนแรงทำให้ต้นยางล้มหรือยืนต้นตายในที่สุด โรครากขาวแพร่และลุกลามได้เร็วและระบาตรุนแรงในเขตพื้นที่ฝนตกชุก ความชื้นสูง

อาการเปลือกแห้ง (Tapping panel dryness) เป็นการผิดปกติทางด้านสรีรวิทยาไม่มีเชื้อราเป็นสาเหตุ เป็นความผิดปกติของการไหลน้ำยาง ทำให้ผลผลิตน้ำยางลดลงจนถึงไม่มีผลผลิตเลย พบว่ายังไม่มีวิธีการที่แก้ไขและรักษาได้เหมือนอาการผิดปกติหรือโรคอื่นๆ ทั่วไป จำเป็นต้องเฝ้าระวังและหลีกเลี่ยงปัจจัยเสี่ยงที่อาจทำให้เกิดอาการเปลือกแห้งเท่านั้น ซึ่งสาเหตุการเกิดอาการเปลือกแห้ง มีจากหลายปัจจัย ได้แก่ สภาพแวดล้อมที่สภาพภูมิอากาศ มีช่วงแล้งมากกว่า 4 เดือน ซึ่งจะมีความเสี่ยงสูงกว่าพื้นที่ที่มีความชุ่มชื้นสูง อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีอยู่ในช่วง 18-22 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า 29 องศาเซลเซียส หน้าดินลึกน้อยกว่า 1 เมตร มีชั้นกรวด ชั้นหินแข็งหรือชั้นดินดานที่เป็นอุปสรรคต่อการแพร่กระจายราก โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง การระบายน้ำและอากาศไม่ดี ไม่อุ้มน้ำ ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ เป็นต้น

2.5.4. อิทธิพลจากสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อยางพารา

จากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ และสภาพภูมิอากาศในอนาคตคาดว่าอุณหภูมิของโลกจะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 3-5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดจะเพิ่มสูงขึ้น ฤดูแล้งจะส่งผลกระทบต่อหลายพื้นที่มากขึ้น แต่ในบางพื้นที่มีปริมาณและการกระจายตัวของน้ำฝนเพิ่มสูงขึ้น (อรรคเดช ศรีบุตตะ และพัชรี แสนจันทร์, 2545; Justus and Fletcher, 2006) ซึ่งปัจจัยดังกล่าวย่อมจะมีผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่างๆ ของพืช เช่น การสังเคราะห์แสงและการหายใจ ส่งผลกระทบต่อผลิตภาพของพืช สำหรับยางพารา สมเจตน์ ประทุมมินทร์ และคณะ (2545) ได้ศึกษาประเมินสภาพพื้นที่ปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของยางพารา ซึ่งใช้วิธีการประเมินศักยภาพที่ดินร่วมกับการสำรวจข้อมูลระยะไกล และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ จำแนกความเหมาะสมของพื้นที่ในการปลูกยางพาราและแบ่งเขตพื้นที่ปลูกที่มีศักยภาพในภาคใต้ ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ของประเทศไทยได้

ต่อมาสมเจตน์ ประทุมมินทร์ และคณะ (2546) ได้ใช้แบบจำลองการผลิตพืชวิเคราะห์ร่วมกับการประเมินสภาพพื้นที่ปลูกยางพารา ทำให้สามารถคาดคะเนผลผลิตน้ำยางได้ใกล้เคียงกับในสภาพแปลงปลูกจริง ซึ่งแบบจำลองได้ใช้ 2 ปัจจัยที่สำคัญ คือ 1) ปัจจัยด้านพันธุกรรม ยางแต่ละพันธุ์ให้ผลผลิตแตกต่างกัน ตามความแตกต่างทางพันธุกรรม (Simmonds, 1989) พันธุ์ยางที่เจริญเติบโตดีหรือมีศักยภาพในการสังเคราะห์แสงสูง มีความสามารถในการสร้างมวลชีวภาพได้ดี เช่น พันธุ์ RRIT 251 ที่เจริญเติบโตได้เร็วกว่าพันธุ์ RRIM 600 ในระยะก่อนเปิดกรีด และมีผลผลิตน้ำยางเฉลี่ย 10 ปีกรีด สูงกว่าถึง 60% (สถาบันวิจัยยาง, 2546ก)

ในขณะที่ยางพันธุ์ RRIT 402 มีการสะสมน้ำหนักแห้งในลำต้น สามารถให้ปริมาณเนื้อไม้ในส่วนท่อนซุงสูงกว่าพันธุ์ RRIM 600 ถึง 97% (สถาบันวิจัยยาง, 2546ข) นอกจากนี้ ลักษณะทางสัณฐานวิทยา เช่น ขนาดทรงพุ่ม รูปทรงฉัตร และการจัดเรียงตัวของใบมีผลต่อประสิทธิภาพในการรับแสงและการสังเคราะห์แสงของยางพารา (สุทัศน์ ด้านสกุลผล, 2543) 2) ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม เนื่องจากสภาพแวดล้อมมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาด้วย อันได้แก่ การเปลี่ยนแปลงในรอบวันของสภาพอากาศ เช่น ปริมาณแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแรงดูดซึบน้ำในบรรยากาศ ที่ส่งผลต่อการเปิดปากใบ ศักย์ของน้ำในใบ การแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ และการสังเคราะห์แสงในแต่ละวันของยางพารา (ศรปราชญ์ ธนศวรรยารักษ์กุล และคณะ, 2544; Watson, 1989) รวมถึงความชื้นในดิน ความเป็นกรดต่างของดิน ธาตุอาหารในดิน โครงสร้างและลักษณะเนื้อดิน ความลาดชัน และความสูงต่ำของพื้นที่หรือพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลกที่นอกจากส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตแล้ว ยังมีผลต่อความอยู่รอดของยางพารา

Rao และคณะ (1998) ได้ระบุว่าสภาพดินที่มีความชื้นต่ำเนื่องจากได้รับปริมาณความร้อนสูงจากดวงอาทิตย์ ส่งผลให้เกิดการคายน้ำสูงปริมาณและอัตราการไหลของน้ำยางจะลดลง เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากลำต้น ยางจะปิดปากใบทำให้เกิดสภาพการจำกัดของน้ำในต้นยาง การผลิตน้ำยางทดแทนน้ำยางที่สูญเสียน้ำจากต้นยางเมื่อมีการกรีดจะลดลง ปริมาณน้ำยางที่ไหลออกจากรอยกรีดจึงลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Sethurai และ Raghavendra (1987) ที่ได้รายงานถึงสภาวะขาดน้ำของต้นยางมีผลทำให้อัตราการไหลของน้ำยางและปริมาณผลผลิตลดลง โดยจากการทดลองของสภาวะแล้งมีผลต่อการผลิตของยางพาราที่ประเทศอินเดียเมือง Dapchari รัฐ Maharashtra ที่มีความแห้งแล้งติดต่อกันยาวนาน 7 เดือนติดต่อกัน ทำให้ผลผลิตเฉลี่ยในฤดูร้อนลดลงน้อยกว่าฤดูฝนประมาณ 47% (Vijayakumar et al., 1988 อ้างโดย สายัณห์, 2534)

พลวัตรของน้ำในดิน เช่น การไหลบ่า การระบายน้ำ การระเหยน้ำ ระดับน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช มีผลต่อการดูดซึมน้ำของต้นยางพาราแตกต่างกันในรอบปีอีกด้วย (Pratummintra et al, 2002) ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการไหลของน้ำในดินสู่ราก จากรากสู่ส่วนต่าง ๆ ของต้น และการคายน้ำจากใบสู่บรรยากาศ (Thornley, 1996) จากปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ จึงส่งผลต่อการสร้างพื้นที่ใบ การสร้างมวลของกิ่งก้าน ลำต้น ราก ปริมาณน้ำยาง และการสะสมธาตุอาหารที่จำเป็นในต้นยางพารา เนื่องจากพืชที่มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง มีการสะสมน้ำแห้งหรือสร้างมวลชีวภาพได้ดี รวมถึงกระบวนการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืชที่ดีในระยะต่อมา (Asaeda et al., 2005)

สภาพแวดล้อมยังมีผลต่อการแลกเปลี่ยนคาร์บอนที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศเกษตรยางพาราโดยข้อมูลการศึกษาของพูนพิภพ เกษมทรัพย์ และคณะ (2557) ได้ศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิด้วยเทคนิค Eddy Covariance เปรียบเทียบกันระหว่างแปลงยางพาราอายุมาก (19 ปี) เปิดกรีดมาแล้ว 10 ปี ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ของศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา อำเภอสนาบชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา กับแปลงยางพาราอายุน้อย (4 ปี) ยังไม่เปิดกรีด ในพื้นที่สวนยางของเกษตรกร อำเภอบางบาล จังหวัดบึงกาฬ ผลการศึกษาพบว่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (NEE) ในรอบวันของระบบนิเวศยางพาราของทั้ง 2 พื้นที่ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลง

ในรอบวันที่คล้ายคลึงกัน คือ มีค่าติดลบในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งแสดงถึงการดูดกลืนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพื่อใช้สำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง และจะมีค่าบวกในช่วงเวลากลางคืนซึ่งแสดงถึงการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศของระบบนิเวศยางพารา โดยทั้ง 2 พื้นที่จะมี NEE รวมแตกต่างกัน คือ แปลงยางพาราอายุมาก (ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา) มีค่าเท่ากับ $-0.44 \text{ g C m}^{-2}\text{day}^{-1}$ ขณะที่ในแปลงยางพาราอายุน้อยของเกษตรกร จังหวัดบึงกาฬ มีค่าเท่ากับ $-0.18 \text{ g C m}^{-2}\text{day}^{-1}$ ซึ่งความแตกต่างนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากความแตกต่างของอายุต้นยาง ลักษณะภูมิประเทศ และลักษณะภูมิอากาศของพื้นที่ปลูกยาง และจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่าง NEE กับอิทธิพลของสภาพแวดล้อมสำหรับแปลงยางอายุมาก พบว่าค่า NEE มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางผกผันกับค่าดัชนีพื้นที่ใบ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และความชื้นสัมพัทธ์ แต่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับค่าปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ ในขณะที่พื้นที่แปลงยางพาราอายุน้อย ค่า NEE มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางผกผันกับค่า ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ และ ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอัตราการคายระเหยของน้ำทั้งในแปลงยางทั้งสองพื้นที่ พบว่าในแปลงยางพาราอายุมากมีอัตราการคายระเหยของน้ำสูงกว่าแปลงยางพาราอายุน้อย การคายระเหยของน้ำในรอบวัน ณ ช่วงเวลาต่างๆ ในรอบปี (ช่วงฤดูฝน ฤดูแล้ง ฤดูการทิ้งใบของยางพารา และช่วงเริ่มสร้างใบใหม่) มีความแตกต่างกัน โดยจะพบอัตรา การคายระเหยของน้ำสูงสุดในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีค่าเท่ากับ $0.377 \text{ mm day}^{-1}$ และมีค่าน้อยที่สุดในช่วงที่มีการทิ้งใบของยางพาราซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.08 mm day^{-1}

จากตัวอย่างการศึกษาที่ผ่านมาทำให้เห็นได้ชัดเจนว่า ยางพารา นอกจากเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย แต่ระบบนิเวศเกษตรยางพาราขนาดใหญ่ยังสามารถกลายเป็นแหล่งกักเก็บและดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ซึ่งเป็นตัวการหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนปัจจุบันได้อีกทางหนึ่ง ในขณะเดียวกันก็เป็นพืชที่ได้รับผลกระทบสูงจากสภาพแวดล้อมสภาพภูมิอากาศรวมถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภัยพิบัติทางลมฟ้าอากาศ ไม่ว่าจะเป็นพายุและฝนหนัก หรือภัยแล้ง ส่งผลกระทบต่อยางพาราโดยตรง เช่น กรณีเหตุการณ์อุทกภัยและวาตภัยที่เกิดขึ้นบ่อยๆ ในภาคใต้ของประเทศไทย ทำให้เกิดการโค่นล้มของต้นยางและน้ำท่วมขัง สร้างความเสียหายให้แก่พื้นที่สวนยางพาราเป็นบริเวณกว้าง คิดเป็นมูลค่าความเสียหายให้แก่เกษตรกรชาวสวนยางพาราสูงปีละหลายล้านบาท

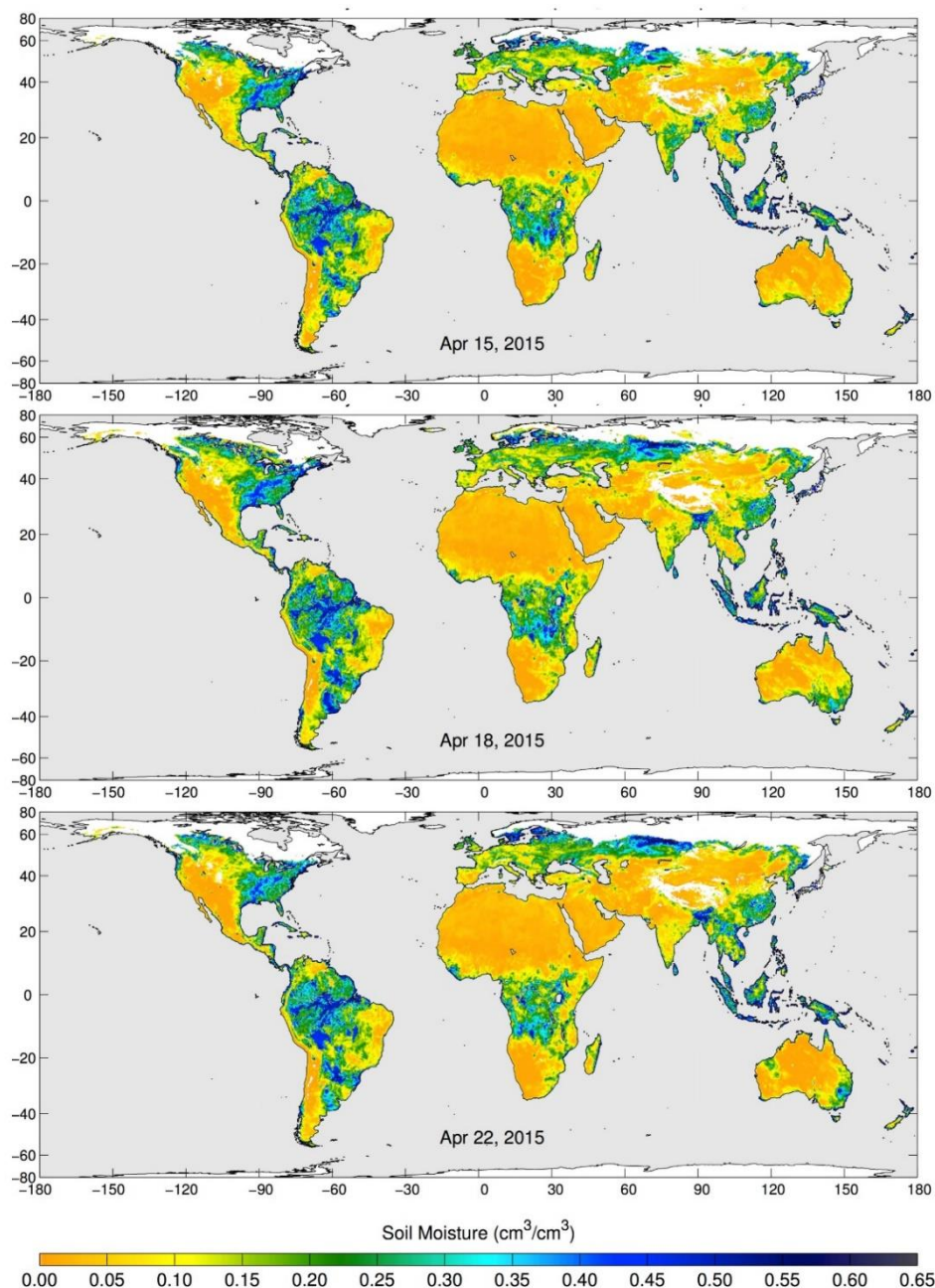
2.6 ข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม Soil Moisture Active Passive (SMAP)

ข้อมูลปริมาณน้ำหรือความชื้นในดินสามารถใช้ในการบริหารจัดการน้ำได้ การคาดการณ์ปริมาณผลผลิต การทำนายความเครียดในพืชอันเนื่องมาจากการขาดน้ำ หรือแม้แต่การทำนายการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่การเกษตรได้ เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการทำเกษตร ตามปกติแล้วความชื้นในดินมีการผันแปรอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศและการนำไปใช้โดยพืช ปัจจุบันมีดาวเทียมจำนวนหนึ่งที่ใช้ปฏิบัติหน้าที่เพื่อการตรวจสอบปริมาณความชื้นในดินโดยเฉพาะ อาทิ เช่น ดาวเทียม SMAP (Soil Moisture Active Passive) ของ NASA

ดาวเทียมตรวจวัดความชื้นของดิน (Soil Moisture Active Passive: SMAP) มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความเข้าใจของกระบวนการแลกเปลี่ยนวัฏจักรน้ำ พลังงาน และคาร์บอน เพื่อเพิ่มความถูกต้องของการทำนายสภาพอากาศและภูมิอากาศโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ข้อมูลจาก SMAP สามารถใช้คำนวณปริมาณการแลกเปลี่ยนคาร์บอน ความชื้นของดิน คาร์บอนที่ดินดูดซับและปล่อยออกมา ซึ่งดาวเทียม SMAP จะช่วยให้เข้าใจวัฏจักรคาร์บอนได้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำนายและการตรวจสอบความแห้งแล้งในอนาคต SMAP ทำการตรวจวัดปริมาณน้ำที่อยู่เหนือพื้นดิน และจำแนกว่าพื้นดินมีน้ำแข็งปกคลุมหรือน้ำแข็งละลาย ในกรณีที่พื้นดินไม่มีน้ำแข็งปกคลุม SMAP จะตรวจวัดปริมาณน้ำที่พบในแร่ธาตุ หิน และอินทรีย์สารในดินทั่วโลก รวมทั้งดาวเทียมสามารถตรวจวัดความชื้นในดินได้บริเวณกว้างและครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกและมีระยะเวลายาวนาน ดังที่แสดงในภาพที่ 2.9 ซึ่งเป็นภาพข้อมูลความชื้นของดินในแต่ละพื้นที่ครอบคลุมทั้งโลก ระดับสีในภาพที่แตกต่างกันแสดงถึงปริมาณน้ำในดินของแต่ละพื้นที่ที่แตกต่างกัน โดยปัจจุบันได้มีการนำข้อมูล SMAP ไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร

ข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP ถูกนำไปใช้เพื่อติดตามความแห้งแล้งในพื้นที่ทุ่งหญ้าบริเวณที่ราบสูงของสหรัฐอเมริกา โดยได้มีการเปรียบเทียบข้อมูลความชื้นในดินที่รวบรวมจากดาวเทียม SMAP กับข้อมูลการตรวจวัดความชื้นของดินภาคสนามจำนวน ทั้งหมด 8 สถานี ระยะเวลา 9 เดือนตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนธันวาคม ปี 2558 ผลจากการศึกษา พบว่าข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP มีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับข้อมูลความชื้นที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนาม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ในช่วง 0.53 - 0.95 ในขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลความแห้งแล้งแต่ละพื้นที่ของ US Drought Monitor (USDM) กับข้อมูลภาพ SMAP พบว่า ภาพความแห้งแล้งที่ได้จากทั้งสองแหล่งได้แสดงพื้นที่ที่มีความแห้งแล้งสอดคล้องกัน (Velpuri et al., 2016) ต่อมา มีการนำข้อมูล SMAP มาใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินที่ส่งผลต่อความแห้งแล้งของพื้นที่ที่เชื่อมต่อกันในอเมริกา และเปรียบเทียบกับข้อมูลความแห้งแล้งแต่ละพื้นที่ของ USDM และดัชนีปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน (Standardized Precipitation Index; SPI) ผลจากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลความชื้นในดินที่ได้จากดาวเทียม SMAP ในช่วง 26 สัปดาห์มีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับระดับความแห้งแล้งของแต่ละพื้นที่ (Eswar et al., 2018) ดังนั้นจึงมีการพัฒนาข้อมูลความชื้นในดินและการเตือนภัยแล้ง ด้วยการใช้ข้อมูลจากดาวเทียม SMAP แล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสำรวจภาคสนามของ Soil Climate Analysis Network (SCAN) ซึ่งผลที่ได้พบว่าความถูกต้องของข้อมูลจาก SMAP ในการติดตามความชื้นในดินสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามของ SCAN (Xu et al., 2018)

ข้อมูลความชื้นในดินที่ได้จาก SMAP ยังสามารถนำมาใช้ในการศึกษาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพราะความชื้นในดินจะส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างพื้นดินและบรรยากาศ เพราะการระเหย น้ำจากดินต้องใช้พลังงานมากและมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในพื้นที่นั้น ๆ นอกจากนี้แล้วยังสามารถนำมาเป็นข้อมูลสนับสนุนการแจ้งเตือนพิภพธรกรล่วงหน้าเกี่ยวกับแนวโน้มปัญหาของน้ำต่อภาคการเกษตร และอื่นๆ อีกมากมาย



ภาพที่ 2.9 ภาพความชื้นในดินครอบคลุมทั่วโลกจากดาวเทียม SMAP

ที่มา: <https://smap.jpl.nasa.gov/resources/87/smeps-radiometer-captures-views-of-global-soil-moisture/>

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แนวคิดและกรอบการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิจัยภายใต้โครงการนี้ อาศัยการเก็บข้อมูลสภาพอากาศและข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ ในระบบนิเวศเกษตรของยางพารา ซึ่งข้อมูลภาคสนามจากพื้นที่ที่สามารถนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรสภาพอากาศ ที่มีผลต่อระบบการแลกเปลี่ยนพลังงานที่เกิดขึ้นภายใต้ระบบนิเวศดังกล่าว ทั้งในประเด็นของการแลกเปลี่ยนพลังงานและน้ำ ซึ่งแหล่งพลังงานหลักในการขับเคลื่อนระบบนิเวศมาจากดวงอาทิตย์ ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนพลังงานและน้ำในระบบนิเวศเกษตรดังกล่าวยังมีอยู่จำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ภาคใต้ซึ่งเป็นแหล่งผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดในประเทศ ข้อมูลความสัมพันธ์สภาพอากาศและปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่ได้สามารถนำมาสร้างเป็นดัชนีบ่งชี้สถานะที่สามารถใช้เป็นสัญญาณเบื้องต้นของการเกิดความแห้งแล้งได้ โดยความแปรปรวนของตัวแปรภูมิอากาศ สามารถส่งผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตยางพาราและกิจกรรมการเกษตรของเกษตรกรได้ จากนั้นก็ประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากดาวเทียมที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาและใกล้เคียง ซึ่งข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลสามารถครอบคลุมสเกลของพื้นที่ได้กว้างกว่าข้อมูลการตรวจวัด ข้อมูลจากภาคสนามสามารถใช้เป็นข้อมูลหลักในการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลการสำรวจระยะไกล เพื่อหาค่าคงที่ในการปรับใช้สำหรับระบบนิเวศเกษตรของยางพารา ที่สามารถนำไปประยุกต์ในพื้นที่อื่นๆ เนื่องจากปัจจุบันข้อมูลการสำรวจระยะไกลมีให้สามารถเข้าใช้ประโยชน์ได้มากมาย แต่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับข้อมูลภาคสนามที่จะนำมาสอบเทียบหรือปรับค่าความถูกต้องให้ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

ทั้งนี้ ขอบเขตและกรอบแนวคิดในภาพรวมของการวิจัย จึงมุ่งเน้นศึกษาการใช้ข้อมูลการตรวจวัดจุลอุตุนิยมวิทยา (microclimate) ของสภาพอากาศเฉพาะที่ นำมาสามารถสร้างเป็นดัชนีบ่งชี้สถานะของการเกิดความแห้งแล้ง ซึ่งสภาพอากาศในช่วงเวลาดังกล่าวสามารถส่งผลกระทบต่อสรีรวิทยาและผลผลิตของยางพารารวมทั้งกิจกรรมทางการเกษตรของเกษตรกรในพื้นที่ได้ โดยการดำเนินงาน ประกอบด้วย 3 กิจกรรมหลัก ดังนี้

กิจกรรมที่ 1 การติดตั้งเครื่องมือเก็บข้อมูลภาคสนาม ดำเนินการติดตั้งชุดตรวจวัดปริมาณความชื้นและอุณหภูมิในดิน เก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของดิน เช่น เนื้อดิน โครงสร้างของดิน ช่องว่างในดิน ความหนาแน่นจำเพาะรวมของดิน พร้อมทั้งร่วมดำเนินการติดตั้งเครื่องมือและขอสนับสนุนและใช้ข้อมูลสมดุลพลังงานและน้ำจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาสมดุลคาร์บอนและความต้องการใช้น้ำของยางพารา ภายใต้ชุดโครงการวิจัยสรีรวิทยาการผลิตยางพารา: การศึกษาระดับแปลงใหญ่ (Physiology of Rubber Production : Plantation Scale Study) รหัสแผนงานวิจัย พ-ท (ข) 3.55 ซึ่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ติดตั้งชุดอุปกรณ์ Eddy Covariance และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศบนหอคอย (Tower) ในพื้นที่สวนยางพารา ณ อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช

กิจกรรมที่ 2 เก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพและทางเคมี เช่น เนื้อดิน โครงสร้างของดิน อุณหภูมิดิน และปริมาณน้ำในดินของดินในแปลงยางพารา และข้อมูลอัตราการเคลื่อนแลกเปลี่ยนพลังงานและน้ำในแปลงยางพารา

กิจกรรมที่ 3 ซ่อมแซมและตรวจสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ที่ได้ติดตั้งในแปลงยางพารา

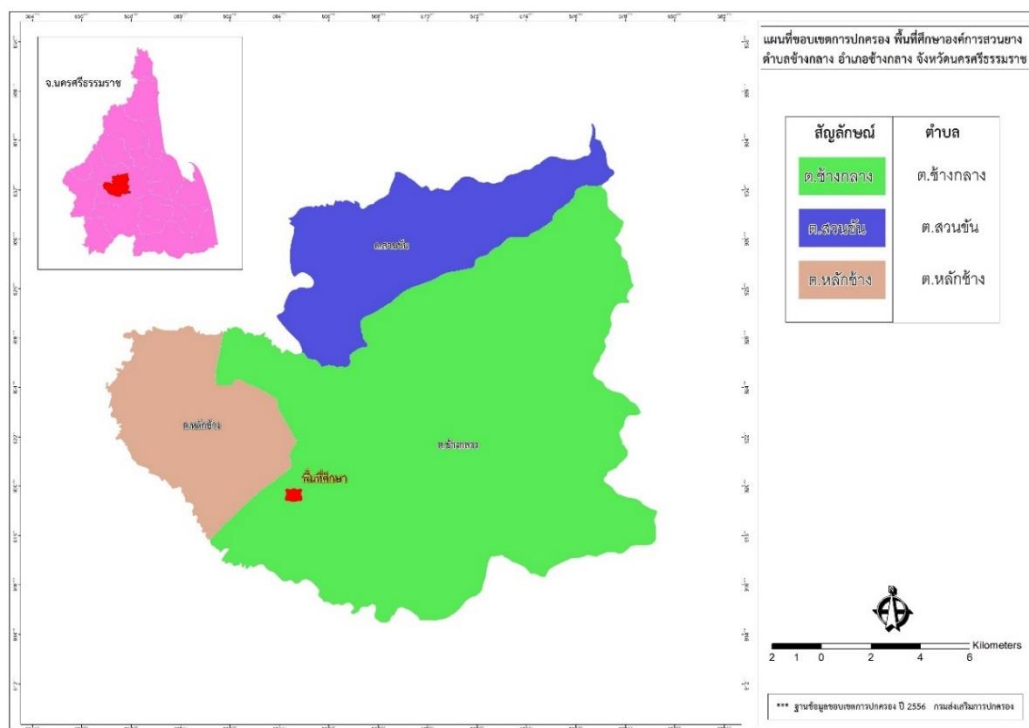
กิจกรรมที่ 4 การวิเคราะห์สมดุลพลังงานที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศเกษตรยางพารา จากข้อมูลการตรวจวัด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศ ดินและปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

กิจกรรมที่ 5 ศึกษาดัชนีภัยแล้งที่ใช้ในการศึกษา และนำเอาค่าที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามไปใส่ในแบบจำลองแทนการคำนวณจากโมเดลทางคณิตศาสตร์

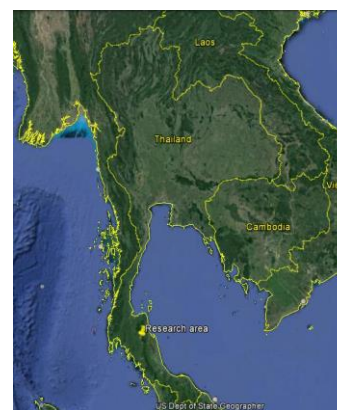
กิจกรรมที่ 6 ศึกษาข้อมูลดาวเทียม SMAP การเลือกพื้นที่ข้อมูลที่ต้องการ ตลอดจนการดึงเฉพาะค่าที่อยู่ในพิกัดเดียวกันกับพื้นที่ศึกษามาใช้เพื่อการเปรียบเทียบกับค่าการตรวจวัดจริงในภาคสนาม

3.2 พื้นที่ศึกษา

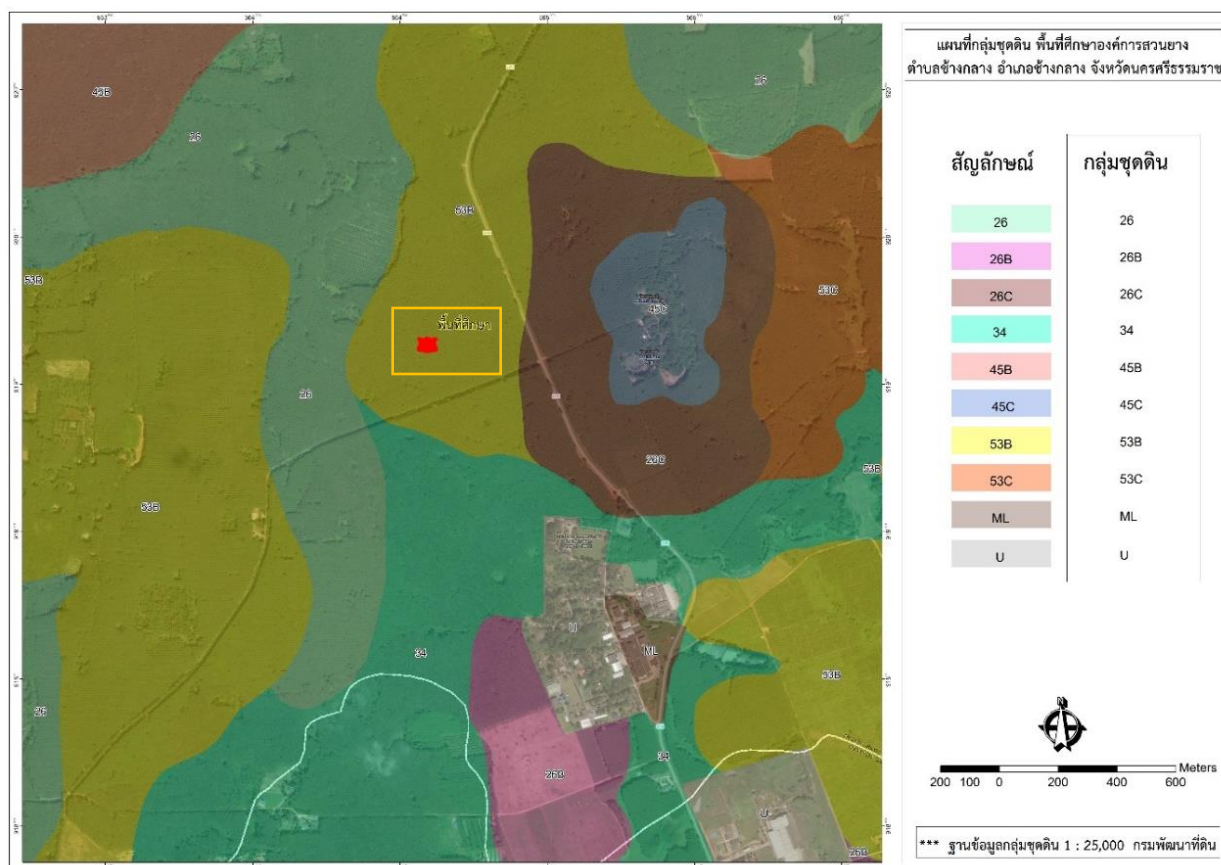
การดำเนินการศึกษาในครั้งนี้ได้เลือกพื้นที่ศึกษาระบบนิเวศเกษตรสวนยางพาราซึ่งเป็นแปลงปลูกยางพาราที่อยู่ในความดูแลขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยตั้งอยู่ที่ละติจูด $8^{\circ} 19' 9''$ N ลองติจูด $99^{\circ} 35' 12''$ E (ภาพที่ 3.1) มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 50 เมตร มีเนื้อที่ประมาณ 100 ไร่ เป็นพื้นที่ปลูกยางพาราที่อาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ มีการปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกอายุต้นยาง 17 ปี (ปี พ.ศ. 2560) ระยะปลูก 3×7 เมตร และเปิดกรีดยางไปแล้วเป็นระยะเวลามากกว่า 10 ปี (ภาพที่ 3.2) ในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยางจัดอยู่ในกลุ่มชุดดิน 53 โดยมีลักษณะเด่นของดินคือเป็นกลุ่มดินเหนียวลึกปานกลาง ถึงชั้นหินพื้นลูกรังหรือเศษหิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดการระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เป็นกลุ่มชุดดินที่พบในเขตฝนตกชุก เกิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วถูกเคลื่อนย้ายมาทับถมในระยะทางไม่ไกลนักของวัสดุเนื้อละเอียดที่มาจากพวกหินตะกอนหรือหินแปร (ภาพที่ 3.3) พบบริเวณพื้นที่ตอนที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงเป็นเนินเขา เป็นดินลึกปานกลาง มีการระบายน้ำดี เนื้อดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนดินเหนียวที่บอบบนดินเหนียว ส่วนดินล่างในระดับความลึกระหว่าง 50-100 ซม. เป็นดินเหนียวปนลูกรัง หรือดินปนเศษหินผุสีดินเป็นสีน้ำตาลอ่อนสีเหลืองหรือสีแดง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดจัด จากข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดินได้รายงานค่าวิเคราะห์ดินพื้นฐานของชุดดิน 53 ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ (ตารางที่ 3.1) ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (Available water content; AWC) มีค่าระหว่าง 17.09-20.69 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเฉลี่ย 19.18 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักภายในความลึก 120 เซนติเมตรจากผิวหน้าดิน (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2548)



ภาพที่ 3.1 ขอบเขตการปกครองในระดับตำบลของพื้นที่ศึกษา ณ องค์การสวนยาง ตำบลช้างกลาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครราชสีมา



ภาพที่ 3.2 ภาพแปลงยางพาราจากดาวเทียม Google Earth ภายในพื้นที่รับผิดชอบขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครราชสีมา จุดสีเหลืองแสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด



ภาพที่ 3.3 แผนที่กลุ่มชุดดินที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 3.1 ค่าวิเคราะห์คุณสมบัติดินพื้นฐานดินกลุ่มชุดดิน 53

ตัวแปรที่ทำการศึกษา	ดินบน	ดินล่าง
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%)	2.9	2.3
ฟอสฟอรัส (มก./กก.)	2.5	2.4
โพแทสเซียม (มก./กก.)	64.6	49.5
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	5.0-5.5	5.0-5.5

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน (2548)

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ได้ทำการรวบรวมสำหรับใช้ในการศึกษารังสีจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ประกอบด้วย (1) ข้อมูลที่ดำเนินการเก็บรวบรวมภาคสนามในแปลงยางพารา (2) ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลจากดาวเทียม SMAP ซึ่งรายละเอียดการเก็บรวบรวมข้อมูลในแต่ละประเภทมีดังต่อไปนี้

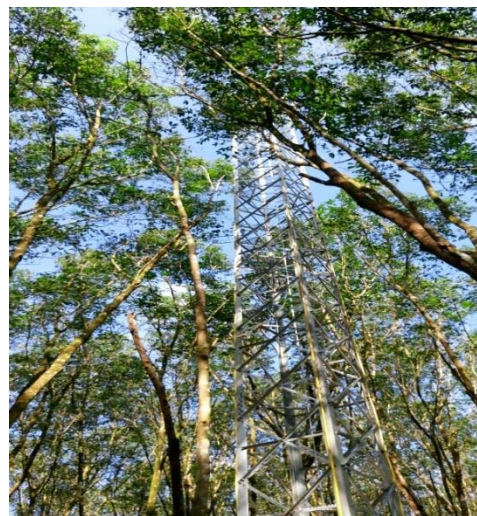
3.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลตรวจวัดจุลอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorology) ด้วยชุดอุปกรณ์ Eddy Covariance

การศึกษากการตรวจวัด และการติดตามการแลกเปลี่ยนพลังงาน (heat flux) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flux) และไอน้ำ (H_2O vapor flux) ระหว่างบรรยากาศ (atmosphere) กับระบบนิเวศภาคพื้นดิน (terrestrial ecosystem) ด้วยวิธีความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวน (eddy covariance method) เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับว่า ความแม่นยำและให้ผลการตรวจวัดที่น่าเชื่อถือ (Burba, 2010) โดยเฉพาะการติดตามผลการตรวจวัดระบบนิเวศภาคพื้นดินในระดับจุลภาค (micro scale) เพื่อเชื่อมต่อกับระดับมหภาค (global scale) ประกอบกับแปลงยางพาราในพื้นที่องค์การสวนยางมีลักษณะเป็นแปลงที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้เทคนิค Eddy covariance ศึกษาการแลกเปลี่ยนพลังงาน เนื่องจากเป็นแปลงที่ดินยางที่มีสภาพสมบูรณ์ ความลาดชันของพื้นที่ต่ำ พื้นที่เรียบตลอดทั้งแปลง มีความสม่ำเสมอของเรือนยอดยางพารา สามารถใช้เป็นตัวแทนของยางพาราในพื้นที่ปลูกยางเดิมในภาคใต้ได้

การติดตั้งเครื่องมือวัดการหมุนเวียนอากาศ โดยเทคนิคความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวน (Eddy Covariance Technique) มีการสร้างหอคอยสูง 25 เมตร และเครื่องมือจะถูกติดตั้งไว้ที่บนหอคอย (ภาพที่ 3.4) ซึ่งอุปกรณ์หลักของระบบนี้ประกอบไปด้วย เครื่องวัดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ระบบเปิด (Open path infrared gas analyzer) รุ่น LI-7500 เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม แบบ 3 มิติ (ความเร็วลมในทิศทาง x, y, z) (3D sonic anemometer) รุ่น CSAT2 (Campbell Scientific Inc., USA) เครื่องควบคุมและบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ (Data logger) รุ่น CR1000 (Campbell Scientific Inc., USA) โดยมีรายละเอียดของรายการอุปกรณ์และเครื่องมือดังแสดงในตารางที่ 3.2

วิธี Eddy Covariance มีองค์ประกอบแบบ 3 มิติ รวมการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้ง เทคนิคนี้จะถูกนำมาใช้สำหรับการตรวจวัดก๊าซ ความร้อน น้ำ และอื่น ๆ เหนือพื้นที่ที่สนใจ หลักการทั่วไปของการตรวจวัด Eddy Covariance คือ ตรวจวัดปริมาณของสิ่งที่สนใจซึ่งเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวปิดต่อหน่วยเวลา หรือตรวจวัดความแปรปรวนร่วมระหว่างความเข้มข้นของสิ่งที่สนใจกับความเร็วของลมในแนวตั้ง หรือเรียกว่า Flux

ความถี่ในการวัดค่าและการบันทึกค่าที่วัดได้ของชุดอุปกรณ์ Eddy Covariance จะถูกโปรแกรมในเครื่องควบคุมและบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ คือ จะบันทึกข้อมูลด้วยความถี่ 10 Hz หรือ 10 ครั้งต่อวินาที ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง ข้อมูลที่วัดได้จะถูกบันทึกลงในการ์ดบันทึกข้อมูลขนาดความจุ 2 GB (Compact flash) ซึ่งติดตั้งอยู่ในเครื่องควบคุมและบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ ข้อมูลสามารถดาวน์โหลดจากเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติและใช้โปรแกรม LoggerNet ในการถ่ายโอนข้อมูล ข้อมูลที่ได้จะถูกเก็บไว้ในรูปของ ASCII



ภาพที่ 3.4 ชุดอุปกรณ์ Eddy Covariance แบบถาวรบนหอคอย ณ แปลงยางพารา ภายในพื้นที่รับผิดชอบขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช
ภาพถ่ายโดย ชมพูนุช ฉายาเวช

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดเครื่องมือและการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

เครื่องมือ (Instrument)	พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	ความสูง/ความลึกที่ติดตั้ง
LI-7500, CO ₂ /H ₂ O Analyzer (Open path infrared gas analyzer)	ความเข้มข้นของ CO ₂ และ Water vapor	25 เมตร
CSAT2 (Campbell Scientific Inc., USA) 3D Sonic anemometer	ความเร็วและทิศทางลม 3 มิติ	25 เมตร
HMP115 (Campbell Scientific Inc., USA)	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	25 เมตร
TE525 6" Rain Gage	ปริมาณน้ำฝน	25 เมตร
Data logger model CR1000 (Campbell Scientific Inc., USA)	เก็บบันทึกข้อมูล	-
Pyranometer รุ่น LI-200SA จากบริษัท Li-COR Inc.,	ความเข้มของแสงอาทิตย์	25 เมตร
Quantum Sensor รุ่น LI190SA) จากบริษัท Li-COR Inc.,	ช่วงแสงที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง (Photosynthetically Active Radiation)	25 เมตร
CS616, Soil volumetric water content	ปริมาณน้ำในดิน	10, 30, 50, 70, 100 เซนติเมตร
Thermocouples type T	อุณหภูมิดิน	2, 4, 6, 16, 32, 64, 100 เซนติเมตร
ECH ₂ O EC-5 (Meter Group, Inc.)	ปริมาณน้ำในดิน	30 เซนติเมตร

3.3.2 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศอัตโนมัติ (Automatic weather station)

ชุดตรวจวัดสภาพอากาศอัตโนมัติ ถูกติดตั้งไว้ที่ระดับความสูง 25 เมตรบนหอคอยเช่นเดียวกับชุด Eddy covariance เป็นระบบที่เก็บข้อมูลสภาพอากาศแบบอัตโนมัติ โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) รุ่น CR1000 (Campbell CR1000, USA) ข้อมูลที่จัดเก็บประกอบด้วย (1) อุณหภูมิของอากาศ (2) ความชื้นสัมพัทธ์ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ รุ่น HMP115 จากบริษัท Campbell Scientific (3) ปริมาณน้ำฝน ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน รุ่น TE525 6" Rain Gage จากบริษัท Campbell Scientific (4) ทิศทางและความเร็วลม ด้วยเครื่องวัดทิศทางและความเร็วลมรุ่น Wind Sentry Anemometer จากบริษัท Campbell (5) ความเข้มของแสงอาทิตย์แบบต่างๆ ดังนั้นคือ Pyranometer รุ่น LI-200SA จากบริษัท Li-COR Inc. และ Quantum Sensor รุ่น LI190SA จากบริษัท Li-COR Inc., (ตารางที่ 3.2) ข้อมูลจุลอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากอุปกรณ์ดังกล่าวข้างต้นจะถูกเชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ และทำการบันทึกข้อมูลเก็บไว้ทุก 30 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง (ภาพที่ 3.5)



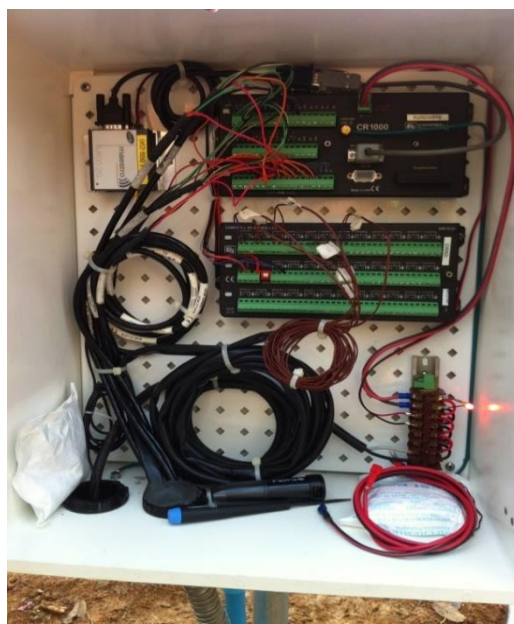
ภาพที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอุตุนิยมวิทยาเฉพาะพื้นที่ที่ถูกติดตั้งบนหอคอย พร้อมระบบบันทึกข้อมูล (Data logger) ณ. องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช
ภาพถ่ายโดย ชมพูนุช ฉายาเวช

3.3.3 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลปริมาณน้ำในดิน (Soil water content, SWC) และอุณหภูมิดิน (Soil Temperature, ST)

ข้อมูลปริมาณน้ำในดินและอุณหภูมิดินในแปลงพื้นที่ศึกษา มีการดำเนินการติดตั้งเพื่อให้ครอบคลุมตัวแทนข้อมูลดินในพื้นที่แปลงยางพารา ซึ่งข้อมูลดังกล่าว มีการใช้อุปกรณ์วัดที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ข้อมูลปริมาณน้ำในดินด้วยหัววัด Time domain reflectometry (TDR)

ข้อมูลการวัดปริมาณน้ำในดินด้วยชุดอุปกรณ์วัดความชื้นของดิน รุ่น CS616 จากบริษัท Campbell Scientific ซึ่งเป็นระบบที่เก็บข้อมูลอัตโนมัติ โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) รุ่น CR1000 จากบริษัท Campbell Scientific โดยเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดความชื้นของดินแบบ Time domain reflectometry (TDR) ติดตั้งที่ 5 ระดับความลึก คือ 10, 30, 50, 70, และ 100 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน และติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิดินด้วย Thermocouples type T ที่ 7 ระดับความลึก คือ 2, 4, 6, 16, 32, 64, 100 เซนติเมตรจากผิวน้ำดิน เครื่องวัดต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาจะถูกเชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล และทำการบันทึกข้อมูลเก็บไว้ทุก 30 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 3.6 เครื่องมือวัดปริมาณน้ำในดิน และอุณหภูมิดิน โดยชุดอุปกรณ์ดังกล่าว ได้ติดตั้งใกล้เคียงกับหอคอยถาวร



ภาพที่ 3.6 ชุดตรวจวัดปริมาณน้ำในดินและอุณหภูมิดิน พร้อมระบบบันทึกข้อมูล (Data logger)

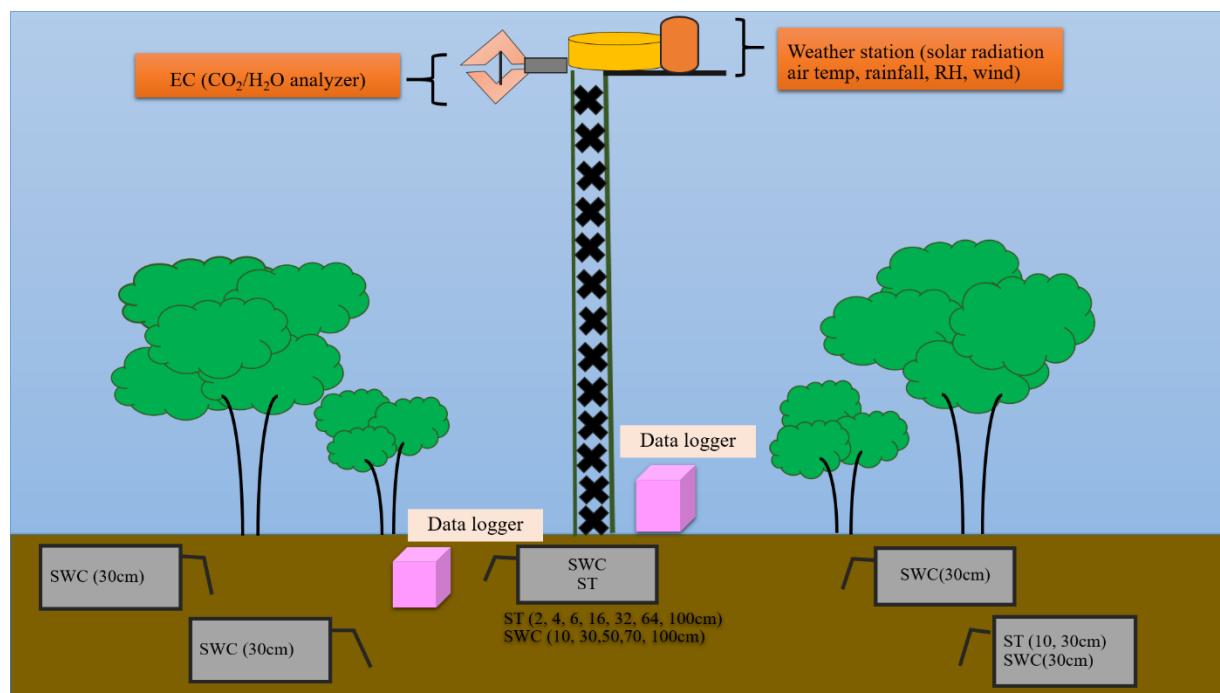
ภาพถ่ายโดย คุณชมพูนุช ฉายาเวช

2) ข้อมูลปริมาณน้ำในดินด้วยหัววัดแบบ Dielectric constant

การติดตั้งชุดอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำในดินด้วยหัววัดแบบ Dielectric constant รุ่น ECH₂O EC-5 จากบริษัท Meter Group, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นระบบที่เก็บข้อมูลปริมาณน้ำในดินอัตโนมัติ โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลรุ่น HOBO Micro station จากบริษัท Onsetcomputer corporation ในแปลงยางพาราขนาดใหญ่ จำนวน 4 จุดที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ซึ่งติดตั้งห่างจากจุดตรวจวัดปริมาณน้ำในดินและชุดอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลศูนย์มหาวิทยาลัยบริเวณหอคอยถาวรออกไปทั้งสี่ทิศทาง (ทิศเหนือ ได้ ตะวันออก และตะวันตก) โดยมีระยะห่างจากบริเวณสถานีติดตั้งหอคอยถาวร 50 เมตร (ภาพที่ 3.7) เพื่อเพิ่มจำนวนจุดเก็บข้อมูลปริมาณน้ำในดินของแปลงยางพารา และมีชุดตรวจวัดอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร จำนวน 1 จุดที่ตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันตก ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์บนหอคอยถาวร การติดตั้งอุปกรณ์ในระดับภาคพื้นดิน ดำเนินงานตามไดอะแกรมดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.7 ชุดตรวจวัดปริมาณน้ำในดินเพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลปริมาณน้ำในดินในพื้นที่แปลงศึกษา พร้อมระบบบันทึกข้อมูล



ภาพที่ 3.8 ไดอะแกรมในการติดตั้งเครื่องมือบนหอคอยถาวร และบริเวณภาคพื้นดิน (ST=soil temperature, SWC=soil water content)

3) การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีบางประการของดินในพื้นที่สวนยาง

ทำการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราจำนวนทั้งสิ้น 4 จุด จุดละ 3 ซ้ำ โดยใช้กระบอกลูกเต๋าดำ (core) แบ่งเก็บเป็น 3 ช่วงระดับความลึก คือ 0-5 เซนติเมตร 20-25 เซนติเมตร และ 30-35 เซนติเมตร โดยนำดินแต่ละจุดและแต่ละชั้นความลึกมารวมกันในถังผสมดิน คลุกเคล้าดินให้เข้ากัน จากนั้นทำดินให้เป็นกองแล้วแบ่งออกเป็น 4 ส่วน แล้วแยก 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามกันมาคลุกเคล้ากันอีกครั้ง ทำซ้ำๆ จนเหลือดินประมาณ 0.5 กิโลกรัม จากนั้นนำดินใส่ถุงที่เตรียมไว้ เขียนรายละเอียดข้างถุง สำหรับนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย เนื้อดิน (soil texture) ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินที่อิ่มตัว (saturated hydraulic conductivity) ความหนาแน่นรวม (bulk density) ความจุในการอุ้มน้ำของดิน (water holding capacity; WHC) ทั้งความจุความชื้นภาคสนาม (field capacity; FC) รวมถึงความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (wilting point; WP) และความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ (available water capacity; AWP)

การเตรียมตัวอย่าง และการวิเคราะห์ดินทางกายภาพและเคมี

3.1) นำตัวอย่างดินที่ถูกรบกวามาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นเตรียมตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์โดยร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 2 mm นำไปวิเคราะห์ พีเอช (soil pH) โดยใช้น้ำในอัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 (จำเป็นและจักรกฤษณ์, 2555) การกระจายของอนุภาคดิน (particle size distribution) โดยวิธี Hydrometer method (Bouacose, 1951) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจง ประเภทของดิน (soil textural class) โดยการเปรียบเทียบกับชนิดดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (Soil Survey Staff, 2006) และความหนาแน่นอนุภาค (particle density) (Blake and Hartge, 1986b)

3.2) นำตัวอย่างดินสภาพธรรมชาติมาศึกษา ความหนาแน่นรวม (bulk density) โดยวิธี core method (Blake and Hartge, 1986a) และความชื้นในดินโดยวิเคราะห์ความจุการอุ้มน้ำของดิน (water holding capacity) โดยวัดค่าแรงดึงน้ำในดินภายใต้แรงดันที่ 0 บรรยากาศ และวิเคราะห์ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ (available water capacity) โดยวัดค่าแรงดึงน้ำในดินภายใต้แรงดันที่ 1/3 บรรยากาศ (ความจุความชื้นสนาม) และที่ 15 บรรยากาศ (จุดเหี่ยวถาวร) โดยใช้การประมาณการตามวิธีการของ (van den Berg et al., 1997)

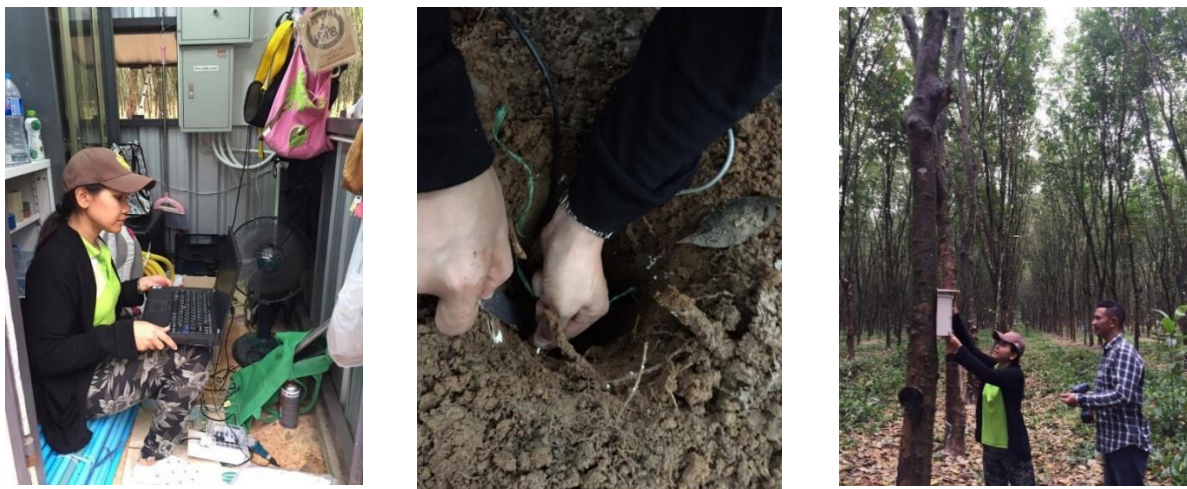
สูตรการคำนวณความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

$$\text{Bulk density} = \frac{\text{น้ำหนักดินแห้ง}}{\text{ปริมาตรดิน}} \quad (3.1)$$

วิธีการคำนวณหาความจุในการอุ้มน้ำของดิน มีดังต่อไปนี้

$$\text{WHC} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างดิน} - \text{น้ำหนักดินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักดินอบแห้ง}} \times 100 \quad (3.2)$$

นอกจากนี้มีการเก็บข้อมูลประกอบอื่นๆ เช่น Leaf area index ในแต่ละเดือน โดยใช้เครื่องมือ LI-COR รุ่น LAI-2200 Plant Canopy Analyzer ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์ความร่วมมือทางวิชาการไทย-ฝรั่งเศส (DORAS Center) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยในภาพที่ 3.9 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดปัจจัยต่างๆ ในพื้นที่วิจัย



ภาพที่ 3.9 การติดตั้งชุดตรวจวัดปัจจัยต่างๆ ในพื้นที่แปลงยางพาราขนาดใหญ่ ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช

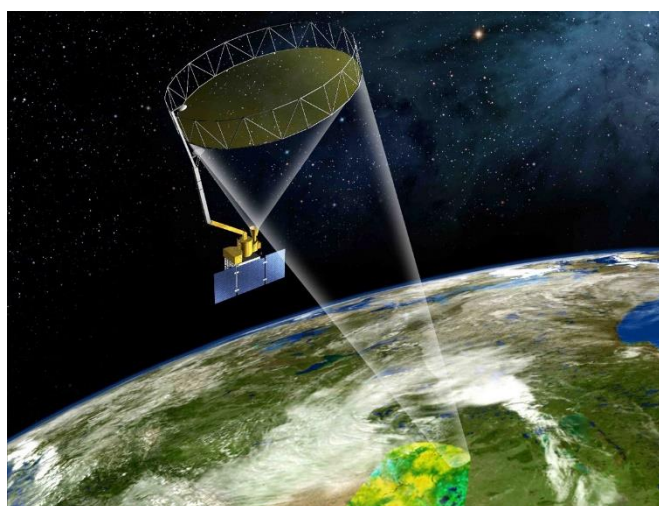
ภายหลังติดตั้งชุดเครื่องมือและอุปกรณ์ตรวจวัดปัจจัยต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยมีการตรวจสอบการทำงานของชุดเครื่องมือและข้อมูลที่เก็บบันทึกจากภาคสนาม เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือทุกอย่างมีการทำงานอย่างปกติ และได้เก็บบันทึกข้อมูลที่ต้องการ ซึ่งภายหลังที่ทุกอย่างเรียบร้อย ผู้วิจัยก็จะเข้าไปในพื้นที่เพื่อทำการดาวน์โหลดข้อมูลต่างๆ ที่ถูกเก็บบันทึกโดยชุดอุปกรณ์ต่างๆ ตรวจสอบดูความถูกต้องของข้อมูล ตรวจสอบสภาพของเครื่องมือภายหลังที่ได้ทำงานไประยะหนึ่ง ซึ่งหลายครั้งจะพบว่าต้องมีการเปลี่ยนแบตเตอรี่ซึ่งจะต้องดูแลบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ

3.3.4 การรวบรวมข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม Soil Moisture Active Passive (SMAP)

SMAP เป็นดาวเทียมที่อยู่ภายใต้การควบคุมดูแลขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติของสหรัฐ (NASA) และสหรัฐอเมริกาจะส่งขึ้นไปยังอวกาศในเดือนมกราคม ปี 2558 (ภาพที่ 3.10) และเริ่มทำงานเก็บข้อมูลเดือนเมษายนในปีเดียวกัน ดาวเทียม SMAP เก็บข้อมูลโดยใช้วิธีการสองแบบ แบบแรก คือ การเก็บข้อมูลคลื่นไมโครเวฟที่สะท้อนมาจากผิวโลก (radiometer) ส่วนแบบที่สองทำงานเหมือนเรดาร์ (radar) ที่ใช้ตรวจจับเครื่องบินคือการปล่อยคลื่นไมโครเวฟจากตัวดาวเทียมและทำการรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมา (surface emission and backscatter) ซึ่งจะสามารถตรวจจับสภาพของดินได้แก่ ความชื้นของดินสำหรับการติดตามความแห้งแล้งในสเกลพื้นที่ที่กว้างขึ้นและครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ขึ้น และระยะการแข็งและการละลายของน้ำแข็งบนพื้นดินได้ในพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมดินไม่หนาแน่นมาก

การโคจรของดาวเทียม SMAP จะเก็บข้อมูลความชื้นในดินที่ครอบคลุมทั้งโลก ตั้งแต่ละติจูดเหนือ (N) 85.044 ถึง ละติจูดใต้ (S) -85.044 และลองจิจูดตะวันออก(E) 180 ถึง ลองจิจูดตะวันตก (W) -180 มีวงโคจรที่ระดับความสูง 685 กิโลเมตร และจะโคจรซ้ำตำแหน่งเดิมทุกๆ 8 วัน ครอบคลุม 3 วัน ที่ตำแหน่งศูนย์สูตร และ 2

วัน ตำแหน่ง ละติจูดเหนือบริเวณภูมิอากาศแบบป่าสน (Boreal Forest) โดยข้อมูลจากดาวเทียม SMAP ที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้เป็นข้อมูลระดับ 3 (L3_Soil Moisture Radiometer) ข้อมูลที่ได้มีความละเอียดของข้อมูลในระดับ 36x36 km โดยครอบคลุมช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาดังแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2561 ทำการรวบรวมข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP จากฐานข้อมูลของ NASA ที่ครอบคลุมพื้นที่ตำแหน่งของพื้นที่แปลงปลูกยางพาราที่ทำการศึกษา แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าความชื้นที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนาม โดยรายละเอียดการเข้าถึงข้อมูลสามารถดูได้ในภาคผนวก ก



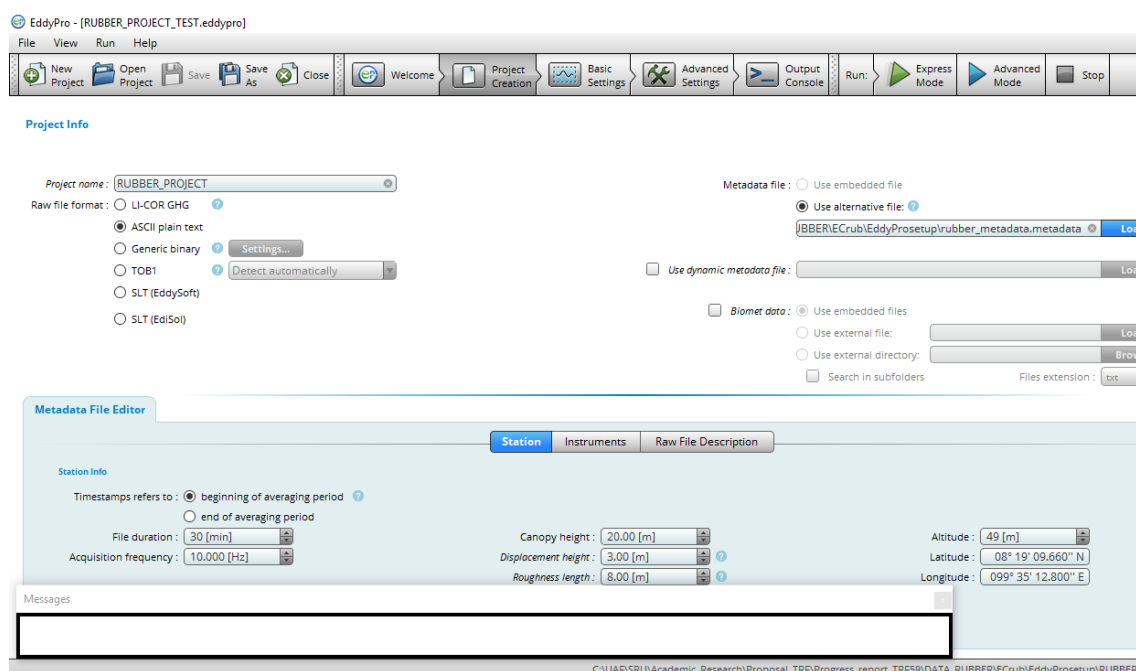
ภาพที่ 3.10 ดาวเทียม SMAP ที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูลความชื้นในดินบนพื้นโลก

ที่มา: <https://smap.jpl.nasa.gov/resources/59/smap-taking-data-from-orbit/>

3.4 หลักการทำงานของส่วนควบคุมในการติดตามข้อมูลตรวจวัดจากเทคนิค Eddy Covariance

วิธีการคำนวณค่าอัตราการแลกเปลี่ยนพลังงานและน้ำด้วยเทคนิค Eddy Covariance (Goulden et al., 1996) เป็นการคำนวณจาก Covariance ระหว่างความแปรปรวนความเร็วลมในแนวตั้ง (w') และความเข้มข้นของพลังงานหรือน้ำ ขั้นตอนวิธีการคำนวณจะดำเนินการตามวิธีมาตรฐานของ EUROFLUX (Aubinet et al., 2000) ซึ่งข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์สมดุลพลังงานจะต้องนำข้อมูลผ่านโปรแกรม EddyPro เวอร์ชัน 5.1.1 (ภาพที่ 3.11) ที่มีการพัฒนาโดยบริษัท Li-Cor, Inc., U.S.A ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ให้บริการฟรี และสามารถดาวโหลดใช้งานได้จากเว็บไซต์ http://www.licor.com/env/products/eddy_covariance/software.html โดยโปรแกรมหังกล่าวได้ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยในการจัดการคุณภาพของข้อมูลให้มีความถูกต้องและเป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสำหรับการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิค Eddy Covariance ในการคำนวณหาฟลักซ์ (Flux) ของไอน้ำ (evapotranspiration), CO_2 , CH_4 และ ก๊าซอื่น ๆ รวมถึง พลังงาน (LE , H) ด้วยวิธีการความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวนพลังงาน โดยข้อมูลที่น่าเข้าโปรแกรม EddyPro จะต้องเป็นข้อมูลที่ตรวจวัดด้วยความถี่ 10 Hz มาเฉลี่ยให้เป็นรายครึ่งชั่วโมงเพื่อที่ง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจาก CO₂, H₂O vapor, ความเร็วลม 3 ทิศทาง เก็บข้อมูลด้วยความถี่ 10 Hz (10 ค่าต่อวินาที) อุปกรณ์ทุกชนิดจะเก็บข้อมูลแบบ Real time บันทึกและควบคุมระบบด้วย Data logger (model CR1000 Campbell Scientific, Inc.) สามารถ Down load ข้อมูลโดยตรงโดยใช้ Computer PC และแปลงรูปแบบข้อมูลเป็น ASCII ไฟล์ด้วยโปรแกรม LoggerNet และนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Matlab โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือน กรกฎาคม 2559 ถึง มิถุนายน 2561 รายละเอียดในการจัดการกับข้อมูล EC ปรากฏอยู่ในภาคผนวก ข



ภาพที่ 3.11 โปรแกรม EddyPro สำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิค Eddy Covariance

3.5 การคำนวณสมดุลพลังงานโดยวิธี Eddy Covariance

สมดุลพลังงานในระบบนิเวศเกษตรสวนยาง หมายถึง พลังงานที่เข้ามาและสะท้อนออกไปในลักษณะรังสีคลื่นสั้น และรังสีคลื่นยาวจากระบบนิเวศ รังสีส่วนเกินที่พื้นผิวโลกพลังงานจะถูกใช้ในการระเหยของน้ำและเผาอากาศ โดยองค์ประกอบหลักของสมดุลพลังงานคือ รังสีสุทธิ (Rn) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ สมดุลพลังงานในระบบนิเวศจะมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงฤดูกาล ในช่วงฤดูฝนการคายน้ำพืชเป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้ระบบนิเวศเย็นลง เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้ต้นไม้ร้อนขึ้น การคายน้ำของพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับรังสีดวงอาทิตย์ ความชื้นในดิน และคุณสมบัติทางสรีระของต้นไม้ นอกจากนี้ยังพบว่าสมดุลพลังงานมีส่วนเกี่ยวข้องทางตรงและทางอ้อมต่อผลผลิตคาร์บอนสุทธิเช่นกัน โดยความสัมพันธ์ระหว่างสมดุลพลังงานกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO₂ ซึ่งความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (Latent heat flux; LE) และพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเผาอากาศ

(Sensible heat flux; H) มีแนวโน้มที่จะส่งผลทำให้การแลกเปลี่ยนคาร์บอนในระบบนิเวศเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

สมดุลพลังงานหรืออีกนัยคือการแลกเปลี่ยนพลังงานสามารถคำนวณได้ตรงโดยใช้เทคนิค Eddy covariance (EC) ซึ่งเทคนิค EC ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะคำนวณค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (latent heat; LE) และความร้อนที่ใช้ในการเผาไหม้อากาศ (sensible heat; H) ได้โดยตรง และสามารถคำนวณค่า H และ LE ได้จากสมการที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ ส่วนปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สุทธิ (Net radiation; R_n) ได้จากการประมาณการ เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจวัดจุลอุตุนิยมวิทยาไม่มีเครื่องมือวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สุทธิ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้มีการใช้วิธีการประเมินปริมาณรังสีสุทธิโดยใช้วิธีการของ An et al. (2017) ซึ่งเป็นการใช้ข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดอากาศอัตโนมัติที่มีข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation; R_s) อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลมและข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการคำนวณที่อาศัยแนวทางหลักของ Allen et al. (1994 a, b) และการประยุกต์ใช้สมการของ Jensen et al. (1990) และ Duffie และ Beckman (1991) ในการประมาณค่าของปริมาณรังสีสุทธิในสเกลของข้อมูล 30 นาที และความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (Soil heat flux; G_s) ซึ่งในการศึกษานี้ คำนวณจากข้อมูลอุณหภูมิดินเฉลี่ยที่แต่ละระดับความลึกบริเวณพื้นผิว ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาสมดุลพลังงาน (Energy balance) ในระบบนิเวศเกษตรสวนยางพารา ได้ดังสมการนี้ (Kaimal et al., 1994; Bonan, 2002; Forken, 2008)

$$R_n - G_s = H + LE \quad (3.3)$$

โดย R_n คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สุทธิ (Wm^{-2})

G_s คือ ความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (Wm^{-2})

H คือ ความร้อนที่ใช้ในการเผาไหม้อากาศ (Wm^{-2})

LE คือ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (Wm^{-2})

จากสมการสมดุลพลังงานข้างต้นสามารถคำนวณค่า LE และ H ได้โดยตรงโดยใช้เทคนิค Eddy covariance ซึ่งความสัมพันธ์ของสมดุลพลังงาน ทั้งสองสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$LE = \lambda v (\overline{f'vU'z}) \quad (3.4)$$

LE = Latent heat flux ความร้อนที่ใช้ในการระเหยของน้ำ (Wm^{-2})

λv = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (2.45 MJ/Kg) (Kar and Kumar, 2007)

$f'v$ = ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของไอน้ำ ณ ช่วงที่เราสนใจ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าเฉลี่ยเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที (Kg/m^3)

$U'z$ = ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเร็วลมในแนวดิ่ง ณ ช่วงที่เราสนใจซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าเฉลี่ยเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที (m/s)

$$H = \rho_a C_p (\overline{T'U'z}) \quad (3.5)$$

H = Sensible heat flux ความร้อนที่ใช้ในการเผาอากาศ (Wm^{-2})

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ (1.225 Kg/m^3)

C_p = ความจุความร้อน ณ ความดันคงที่ (1004.67 J/KgK) (Soegaard, 1999)

T' = ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเฉลี่ย ณ ช่วงที่เราสนใจ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าเฉลี่ยเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที (K)

$U'z$ = ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเร็วในแนวดิ่ง ณ ช่วงที่เราสนใจ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าเฉลี่ย เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที (m/s)

สำหรับการคำนวณหาความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (Soil heat flux; G_s) มีการคำนวณโดยอาศัยความแตกต่างข้อมูลอุณหภูมิดินที่ความลึกต่างๆ ของหน้าตัดดิน ดังแสดงในสมการที่ 3.6

$$G_s = -k \int_0^{z_s} \frac{\partial T_s}{\partial t} \quad (3.6)$$

เมื่อ k เป็นค่าสภาพการนำความร้อนของดิน (thermal conductivity), t คือเวลา, T_s เป็นอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก z_s ต่างๆ (หน่วยเป็นเซนติเมตร)

โดยค่า k ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในดิน อุณหภูมิ ความหนาแน่นรวมของดิน และเปอร์เซ็นต์ของดินเหนียว ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ ได้นำข้อมูลดังกล่าวที่ได้จากการตรวจวัด มาคำนวณหาค่า k โดยใช้สมการดังนี้

$$k = \frac{k_w \theta \lambda_w + k_g \phi_g \lambda_g + k_s \phi_s \lambda_s}{k_w \theta + k_g \phi_g + k_s \phi_s} \quad (3.7)$$

เมื่อ k_w, k_g, k_s คือ ค่า weighting factor ของน้ำ อากาศ และของแข็งตามลำดับ

$\lambda_w, \lambda_g, \lambda_s$ คือ สภาพการนำความร้อนของน้ำ แก๊ส และของแข็งตามลำดับ

θ คือ ปริมาณความชื้นในดิน

ϕ_g คือ ช่องว่างในดินสัดส่วนที่เป็นอากาศในดิน

ϕ_s คือ สัดส่วนที่เป็นของแข็ง

3.6 การวิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้งในระบบนิเวศเกษตรยางพารา

3.6.1 ดัชนีความชื้นในดิน (Soil Moisture Index, SMI)

สำหรับการศึกษานี้ได้เลือกดัชนีความชื้นของดิน (Soil moisture index; SMI) สำหรับการศึกษาดัชนีความแห้งแล้งในพื้นที่สวนยางพารา โดยค่า SMI คำนวณจาก soil characteristics and soil moisture conditions และสถานะความชื้นของดิน ซึ่งประกอบไปด้วยความจุความชื้นภาคสนาม (FC) ความชื้นที่จุดเหี่ยว (WP) และความชื้นของดิน (SM) ดังสมการต่อไปนี้

$$SMI = \left[\frac{5(SM - WP)}{(FC - WP)} - 5 \right] \quad (3.8)$$

เมื่อ SM คือ ค่าความชื้นในดิน

WP คือ ค่าจุดแห้งเหี่ยว

FC คือ ค่าความชื้นที่ความจุสนาม

โดยข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้งในพื้นที่ได้มาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนามเพื่อนำเข้าไปในสมการสำหรับการวิเคราะห์ระดับความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นในพื้นที่ในช่วงระยะเวลาต่างๆ ในรอบปี จากนั้นนำผลการคำนวณค่าดัชนีความชื้นในดินชนิดข้อมูลจุด (Point Data) ที่ได้มาแปลงเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) โดยใช้วิธีการแทรกค่า (Interpolation Methods) จากนั้นจัดทำแผนที่แสดงค่าดัชนีความชื้นในดินด้วยโปรแกรม ArcMap Ver. 10.3

3.6.2 ดัชนีความแห้งแล้งจากข้อมูลการคายระเหยน้ำ

ความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นนอกจากมีการพิจารณาปริมาณน้ำฝนและข้อมูลความชื้นในดินแล้ว ข้อมูลการคายระเหยน้ำก็เป็นอีกข้อมูลที่สำคัญสำหรับการติดตามการเกิดภัยแล้งในพื้นที่ต่างๆ โดยเฉพาะภัยแล้งทางด้านการเกษตร เนื่องจากมีพืชจะเป็นตัวกลางหลักที่สำคัญในกระบวนการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างบรรยากาศกับพื้นดิน ในการศึกษาดัชนีความแห้งแล้งจึงได้สนใจใช้ข้อมูลการคายระเหยน้ำที่ได้จากการตรวจวัดจริงและค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิง สำหรับใช้เป็นแนวทางในการสร้างดัชนีความแห้งแล้งจากข้อมูลดังกล่าว โดยพัฒนาจากดัชนีการขาดดุลการคายระเหยที่ต่างจากเกณฑ์ปกติ (Standardized Evapotranspiration Deficit Drought Index; SEDI) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ศึกษาความแห้งแล้งในพื้นที่แปลงปลูกยางพารา

โดย SEDI ในการศึกษานี้ได้กำหนดให้เป็นค่าความแตกต่างจากค่าปกติระหว่างค่าการระเหยน้ำจริงกับการระเหยอ้างอิง ตามวิธีการของ Zhang et.al (2019) ดังสมการที่ 3.9

$$SEDI = \frac{D - D_{ave}}{D_{stu}} \quad (3.9)$$

โดยที่ D คือ ค่าความต่างระหว่างอัตราการคายระเหยน้ำจริง (mm) กับอัตราการคายระเหยน้ำอ้างอิง (mm) ซึ่งหาได้จาก สมการที่ 3.10

$$D = AET - ET_0 \quad (3.10)$$

D_{ave} คือ ข้อมูลค่าเฉลี่ยของ D ในช่วงเวลาหลายปี ซึ่งในการศึกษาจะเป็นข้อมูลในปี 2560

D_{stu} คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของ D ในช่วงเวลาหลายปี ซึ่งในการศึกษาจะเป็นข้อมูลในปี 2560

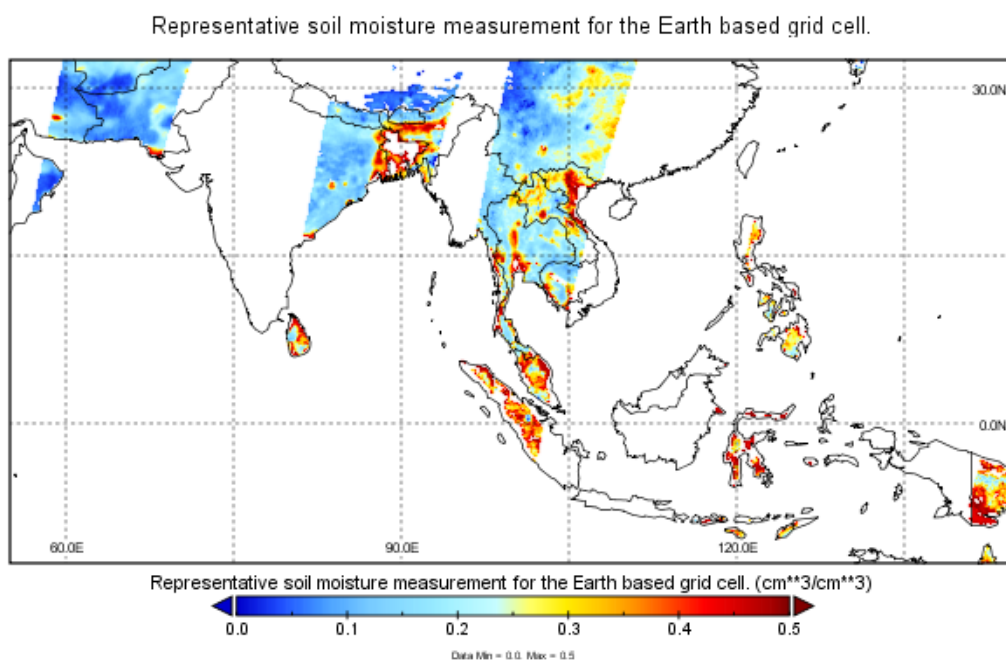
ตารางที่ 3.3 เกณฑ์การพิจารณาค่าดัชนีความแห้งแล้ง SEDI

ค่าดัชนี SEDI	เกณฑ์ที่ใช้วัดความแห้งแล้ง
≤ -0.8	ภัยแล้งรุนแรงมาก (Extreme)
-0.8 to -0.63	ภัยแล้งรุนแรง (Severe)
-0.63 to -0.42	ภัยแล้งปานกลาง (Moderate)
-0.42 to -0.26	ภัยแล้งเล็กน้อย (Slightly)
-0.26 เป็นต้นไป	ปกติหรือไม่มีภัยแล้ง (Normal)

ที่มา: ปรับปรุงจาก Zhang et.al (2019)

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลความชื้นในดินและแสดงผลข้อมูลจากดาวเทียม SMAP

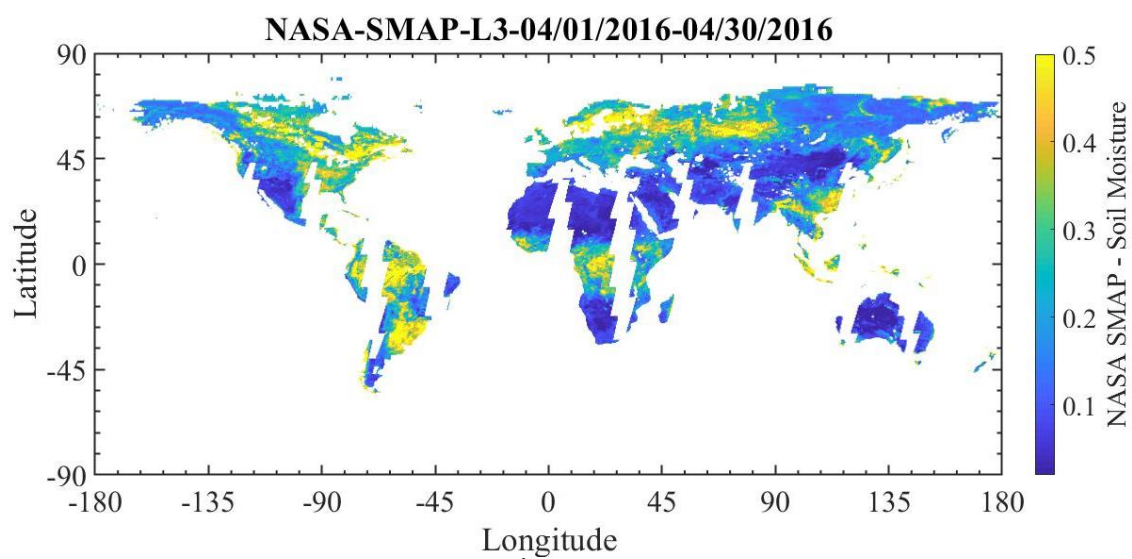
ข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP สามารถทำการแสดงผลข้อมูลด้วยโปรแกรม Panoply โดยโปรแกรมดังกล่าวเราสามารถแสดงข้อมูลความชื้นในดินที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ซึ่งจากภาพด้านล่างเป็นตัวอย่างข้อมูลจากดาวเทียม SMAP ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2561 สเกลสีที่แสดงในแผนที่คือระดับความชื้นในดินของแต่ละบริเวณ (ภาคผนวก ค)



ภาพที่ 3.12 การแสดงผลภาพข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP ด้วยโปรแกรม Panoply วันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2561

โดยในการวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม SMAP และการเปรียบเทียบข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP กับความชื้นที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนาม ทำโดยใช้โปรแกรม Matlab อ่านค่าความชื้นในพิกัดตำแหน่งของพื้นที่ศึกษา แล้วนำค่าที่ได้จากการอ่านดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมและข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในระดับ large scale ต่อไป

โดยตัวอย่างการอ่านข้อมูลดาวเทียม SMAP ด้วยโปรแกรม Matlab แสดงดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 3.13 การแสดงภาพข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP ตลอดเดือนเมษายน พ.ศ. 2559
วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Matlab

บทที่ 4 ผลการศึกษา

สภาวะความแห้งแล้งเป็นสาเหตุอันดับต้น ๆ อย่างหนึ่งที่จะก่อให้เกิดผลกระทบอย่างรุนแรงต่อผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยแทบทุกปี จึงจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการสภาวะแล้งอย่างเหมาะสม การจัดทำดัชนีความแห้งแล้งโดยใช้ข้อมูลความชื้นของดินและการคายระเหยของน้ำในระบบนิเวศการเกษตรโดยเฉพาะยางพาราในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกยางดั้งเดิมทางภาคใต้ของประเทศไทย จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้สำหรับการติดตามสถานการณ์และลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นได้ โดยศึกษาถึงปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ ในระบบนิเวศการเกษตรยางพาราที่จะเป็นตัวบ่งชี้หรือบอกสภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่อาจจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตยาง ติดตามการเกิดความแห้งแล้ง ศึกษาสมดุลพลังงานและน้ำในระบบนิเวศการเกษตรยางพารา และศึกษาดัชนีชี้วัดความแห้งแล้งจากข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามและเปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดระยะไกลจากดาวเทียมที่สามารถให้ข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยผลจากการศึกษามีดังต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการตรวจวัด

4.1.1 ประเภทของข้อมูลและช่วงเวลาที่มีข้อมูล

การวิเคราะห์สมดุลพลังงานที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศการเกษตรยางพารา และการจัดทำดัชนีความแห้งแล้ง จำเป็นต้องทำการตรวจวัดข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จำเป็นสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อม การแลกเปลี่ยนพลังงานและสมดุลพลังงาน โดยผลจากการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการใช้ในการศึกษาของแต่ละปัจจัย ทั้งการตรวจวัดในภาคสนามและการรวบรวมจากแหล่งอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ประเภทของข้อมูลและช่วงเวลาที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ประเภทของข้อมูล	ช่วงเวลาที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูล	หมายเหตุ
ข้อมูลจากชุดตรวจวัด Eddy covariance	กรกฎาคม 2559 - มิถุนายน 2561	ข้อมูลมีการขาดหายไปในช่วงเนื่องจากเครื่องมือขัดข้อง
ข้อมูลจุลอุตุนิยมวิทยา	มกราคม 2559-กันยายน 2561	
ข้อมูลปริมาณน้ำในดิน	มกราคม 2559-กันยายน 2561	ข้อมูลมีการขาดหายไปในช่วงเนื่องจากเครื่องมือขัดข้อง
ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SMAP	มกราคม 2559-ธันวาคม 2561	

4.1.2 สมบัติทั่วไปของดินในแปลงปลูกยางพารา

ผลการศึกษาสมบัติทั่วไปทางกายภาพและเคมีบางประการของดินในพื้นที่ปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง ตำบลช้างกลาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ระดับความลึก คือ 0-5 เซนติเมตร 20-25 เซนติเมตร และ 30-35 เซนติเมตร พบว่า ดินปลูกยางพาราส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มดินร่วนที่มีเนื้อละเอียด และมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแบ่งในชั้นดินบน จัดอยู่ในประเภทดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam) และดินชั้นล่างเป็นดินร่วน (loam) เมื่อพิจารณาปริมาณการแจกกระจายของอนุภาคดิน พบว่าดินมีการกระจายของกลุ่มอนุภาคขนาดทรายแป้งเป็นลักษณะเด่น มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 57-73 (ตารางที่ 4.2) กลุ่มอนุภาคขนาดทรายมีค่าไม่สม่ำเสมอ เช่นเดียวกับกลุ่มอนุภาคขนาดดินหน้าตัดดิน แต่กลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามความลึก

ความหนาแน่นอนุภาคดิน (Particle density) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันในทุกะดับความลึกของหน้าตัดดินที่ทำการศึกษา คือ 3.24 g cm^{-3} (ตารางที่ 4.2) ในขณะที่ความหนาแน่นรวมเฉลี่ย (Bulk density) ของชั้นดินในแปลงปลูกยางพารามีค่าเท่ากันในทุกะดับความลึกจากผิวดิน คือ 0.99 g cm^{-3} ซึ่งจัดอยู่ในระดับปกติของดินสำหรับการเพาะปลูก นอกจากนี้ความพรุนรวมของดินในแปลงปลูกยางพารามีความพรุนรวมในทุกะดับชั้นความลึกคิดเป็น 43% สำหรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินในแปลงยางพารา พบว่ามี สภาพเป็นกรดจัดมาก มี pH อยู่ในช่วง 4.12-4.17 (ตารางที่ 4.2)

ตาราง 4.2 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินในแปลงปลูกยาง

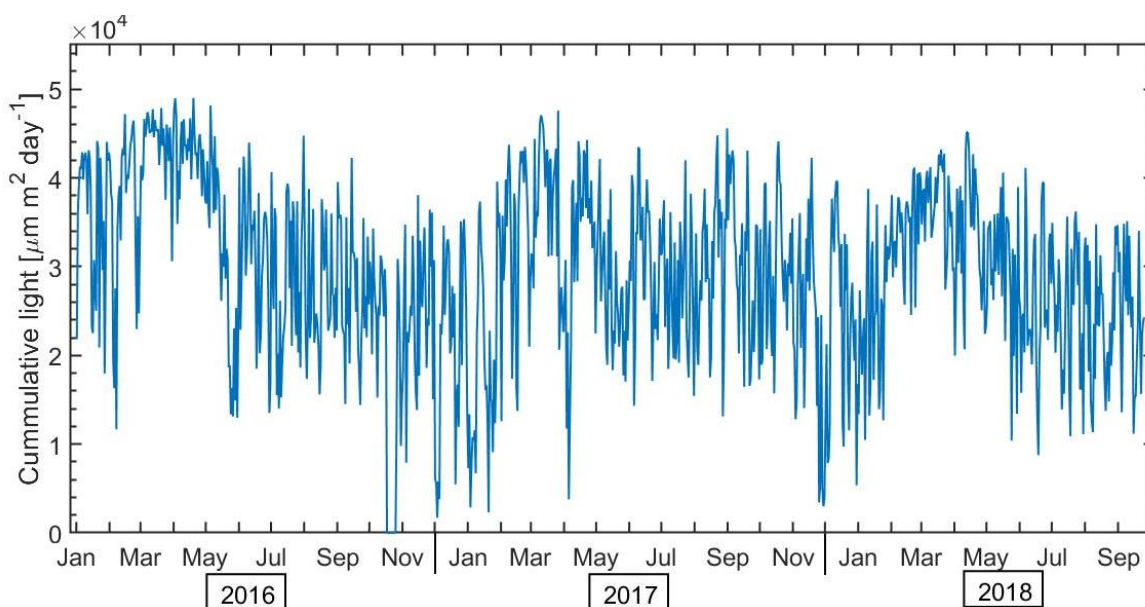
ตัวแปร	ความลึกจากผิวดิน (เซนติเมตร)		
	0-5	20-25	30-35
pH	4.17	4.14	4.12
Particle density (g cm^{-3})	2.34	2.34	2.34
Bulk density (g cm^{-3})	0.99	0.99	0.99
Porosity (%)	43	43	43
Soil moisture content at FC (%)	27	33	32
Sand (%)	25	16	33
Silt (%)	64	72	47
Clay (%)	11	11	20
Textural class	Silt loam	Silt loam	Loam

4.1.3 ข้อมูลจุลอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorological data)

ข้อมูลจุลอุตุนิยมวิทยาในระบบนิเวศเกษตรยางพารา ในพื้นที่ขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัด นครศรีธรรมราช ที่ได้ดำเนินการตรวจวัด ได้แก่ ความเข้มแสงสะสม อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Global solar radiation) และปริมาณรังสีสุทธิ (Net radiation) ซึ่งมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1) ความเข้มแสงสะสม

ความเข้มแสงสะสมรายวันในช่วงระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2559 ถึงวันที่ 26 กันยายน พ.ศ. 2561 ณ แปลงปลูกยางพารา ที่ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Quantum sensor) รุ่น LI-190SA ของบริษัท Licor, Inc., U.S.A และคำนวณค่าเป็นความเข้มแสงสะสมต่อวัน โดยจากการศึกษาพบว่าความเข้มแสงสะสมในพื้นที่แปลงยางพาราภายในองค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช มีความเข้มแสงสะสมอยู่ในช่วง $950\text{--}49,007\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{day}^{-1}$ โดยความเข้มแสงสะสมต่อวันสูงสุดและต่ำสุดปรากฏในวันที่ วันที่ 19 เดือน เมษายน พ.ศ. 2559 และ วันที่ 3 ธันวาคม 2559 ตามลำดับ ซึ่งความเข้มแสงสะสมเฉลี่ยในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ $16,868\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{day}^{-1}$ (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 ความเข้มแสงสะสม (Cumulative light, $\mu\text{mol m}^{-2}\text{day}^{-1}$) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2561

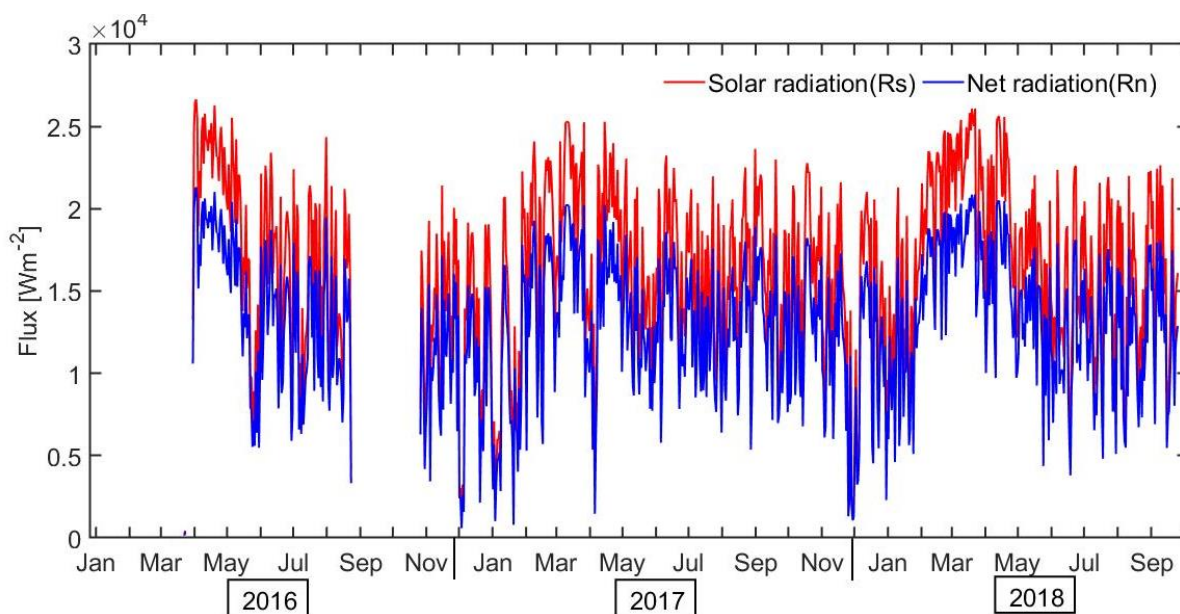
2) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation, Rs)

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) ณ แปลงปลูกยางพาราภายในพื้นที่องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ เดือนมีนาคม 2559 ถึงเดือน กันยายน 2562 โดยทำการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation sensor) Pyranometer รุ่น LI-200SA และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเป็นปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวมต่อวัน จากการศึกษาคพบ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวมต่อวันอยู่ในช่วง $36 - 14,800 \text{ W m}^{-2}$ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวมต่อวันต่ำสุดและสูงสุดปรากฏในวันที่ 22 มีนาคม 2559 และ 13 เมษายน พ.ศ. 2561 ตามลำดับ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รวมต่อวันเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา มีค่าเท่ากับ $13,769 \text{ W m}^{-2}$ (ภาพที่ 4.2)

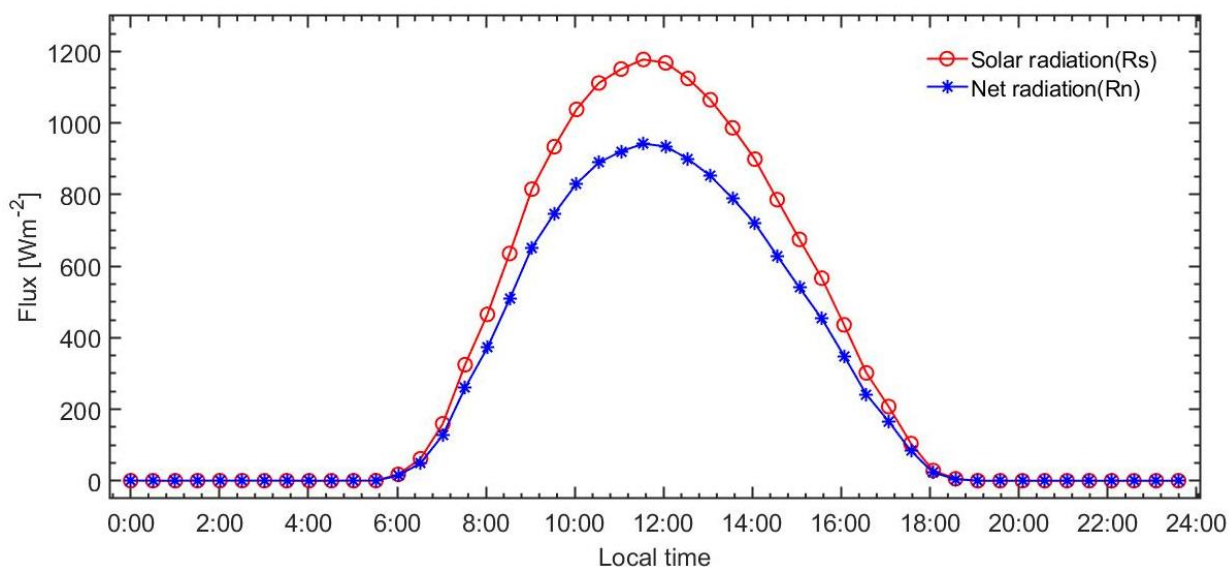
3) ปริมาณรังสีสุทธิ (Net radiation; Rn)

ปริมาณรังสีสุทธิ (Rn) ณ แปลงปลูกยางพาราเป็นการประมาณค่าโดยการคำนวณโดยใช้วิธีการของ An et al. (2017) ปริมาณการได้รับปริมาณรังสีสุทธิโดยใช้ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมทั้งปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์และอื่นๆ โดยผลการประมาณปริมาณรังสีสุทธิรวมต่อวัน จากการศึกษาคพบว่า มีปริมาณรังสีสุทธิรวมต่อวันอยู่ในช่วง $50 \pm 26,644 \text{ W m}^{-2}$ ปริมาณรังสีสุทธิรวมต่อวันต่ำสุดและสูงสุดปรากฏในวันที่ 3 สิงหาคม 2559 และวันที่ 2 มีนาคม 2559 ตามลำดับ ปริมาณรังสีสุทธิรวมต่อวันเฉลี่ยในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ $16,145 \text{ W m}^{-2}$ (ภาพที่ 4.2)

เมื่อพิจารณารูปแบบการแลกเปลี่ยนพลังงานในรอบวัน (diurnal cycle) ของรังสีดวงอาทิตย์และรังสีสุทธิ โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยราย 30 นาที ในรอบวันระหว่างช่วงเดือนมีนาคม 2559 ถึง เดือนกันยายน 2561 ซึ่งมีข้อมูลทั้งสิ้นจำนวน 20,597 จุด พบว่าระบบนิเวศยางพาราได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ในตอนเช้าเฉลี่ยที่เวลา 7.00 น. ปริมาณแสงที่ได้จากดวงอาทิตย์ค่อยๆ มีปริมาณสูงเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป และมีค่าสูงสุดของรังสีจากดวงอาทิตย์เฉลี่ย 1178 W m^{-2} ในช่วงเวลาเที่ยงวัน (12:00 น.) หลังจากนั้นจะพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์จะลดลงในช่วงตอนบ่ายจนกระทั่งน้อยลงจนเกือบจะเป็นศูนย์เฉลี่ยที่เวลา 18.00 น. ซึ่งการเปลี่ยนแปลงรังสีสุทธิก็จะเป็นไปตามรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ โดยมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงวัน เฉลี่ยอยู่ที่ 942 W m^{-2} ดังภาพที่ 4.3



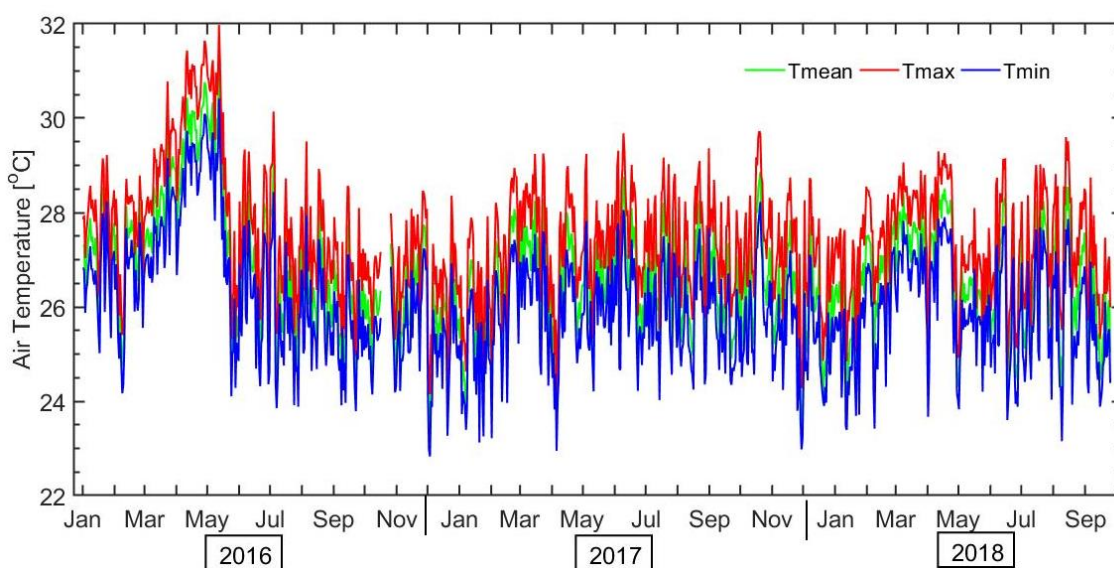
ภาพที่ 4.2 ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) และปริมาณรังสีสุทธิ (net radiation) รวมต่อวัน บริเวณแปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่เดือนเมษายน 2559 ถึงเดือน กันยายน พ.ศ. 2561 (ช่วงที่ไม่มีข้อมูลเป็นช่วงที่อุปกรณ์เสียหาย)



ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงในรอบวันของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Rs) และรังสีสุทธิ (Rn) รายวัน ตั้งแต่เดือน มีนาคม 2559 ถึง เดือนกันยายน 2561

4) อุณหภูมิอากาศ

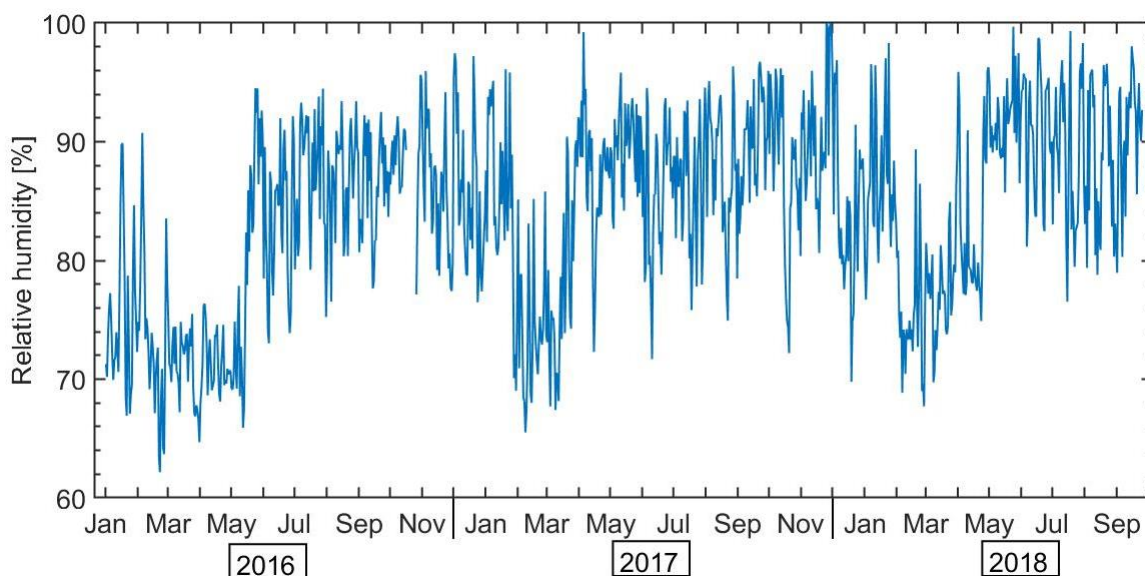
อุณหภูมิอากาศในแปลงปลูกยางพาราที่ทำการศึกษซึ่งทำการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Temperature and Relative Humidity Probe) รุ่น HMP45C ของบริษัท Vaisala Inc., U.S.A และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวัน โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราชมีค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยต่อวันอยู่ในช่วง 23.30 - 32.00 °C อุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันต่ำสุดและสูงสุดปรากฏในวันที่ 22 มกราคม 2560 และวันที่ 12 เมษายน 2559 ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 26.80 ± 1.28 °C (ภาพที่ 4.4)



ภาพที่ 4.4 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (Tmean) อุณหภูมิอากาศสูงสุด (Tmax)- ต่ำสุด (Tmin) ในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคมพ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 25 เดือนกันยายน 2561

5) ความชื้นสัมพัทธ์

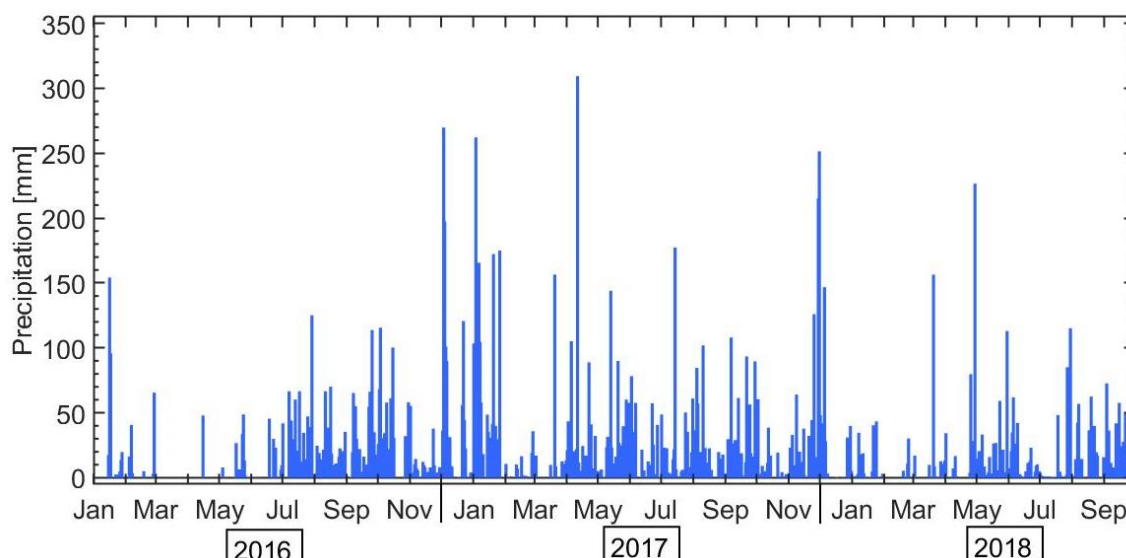
ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ปลูกยางพารา วัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Temperature and Relative Humidity Probe) รุ่น HMP45C ของบริษัท Vaisala Inc., U.S.A. และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวัน จากการศึกษพบว่า ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวันของแปลงปลูกยางพาราอยู่ในช่วง 62.16 – 99.99% โดยความชื้นสัมพัทธ์ที่ 99.99% คิดเป็น 13.70% ของจำนวนข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่ตรวจวัดทั้งหมด ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวันต่ำสุดและสูงสุดปรากฏในวันที่ 2 มีนาคม 2559 และวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2561 โดยความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 84.10% (ภาพที่ 4.5)



ภาพที่ 4.5 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัด นครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 25 เดือนกันยายน 2561

6) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนต่อวันในพื้นที่ปลูกยางพารา วัดด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน RainGauges รุ่น TE525 TIPPING BUCKET Rain Gage ของบริษัท Campbell Scientific, U.S.A. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเป็นปริมาณน้ำฝน รวมต่อวัน จากการศึกษพบว่าปริมาณน้ำฝนรวมต่อวันอยู่ในช่วง 0.25 – 309.30 mm ปริมาณน้ำฝนต่อวันสูงสุด ปรากฏในวันที่ 11 เมษายน 2560 (ภาพที่ 4.6) ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา พบว่าในปี พ.ศ. 2559 มีจำนวนวันฝน ตกทั้งสิ้น 185 วัน มีปริมาณน้ำฝน 4,418.26 mm ปี พ.ศ. 2560 มีจำนวนวันที่ฝนตก 247 ปริมาณน้ำฝนรวม 6,960.55 mm และปี พ.ศ. 2561 ซึ่งเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนกันยายน มีจำนวนวันฝนตกทั้งสิ้น 168 วัน ปริมาณน้ำฝนรวมทั้งหมด 445.25 mm รวมตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษามีจำนวนวันฝนตกทั้งสิ้น 600 วัน (คิด เป็น 60%) ของจำนวนวันทั้งหมดที่ทำการศึกษา โดยมีปริมาณน้ำฝนรวมทั้งสิ้น 11,824.4 mm ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนในช่วงปี 2553-2558 จากการรวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยา สถานี 55201 อำเภอนาบอน จังหวัด นครศรีธรรมราช ซึ่งมีค่าปริมาณฝนเฉลี่ยต่อปีเพียง 1,464 มิลลิเมตร (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2560)

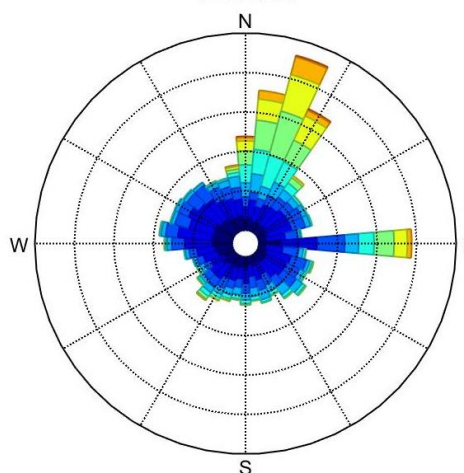


ภาพที่ 4.6 ปริมาณน้ำฝนรวมรายวันในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัด นครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2560

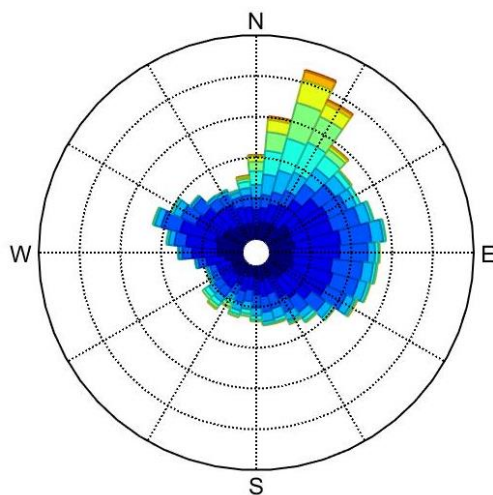
7) ความเร็วและทิศทางของลม

ข้อมูลทิศทางและความเร็วของลมในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคมพ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2561 พบว่าทิศทางหลักของลมในพื้นที่ มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (North East; NE) คิดเป็น 38% และทิศ ตะวันออกเฉียงใต้(South East; SE) (25.42%) ความเร็วเฉลี่ยและความเร็วลมสูงสุดของทั้ง 3 ปีมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมี ความเร็วลมเฉลี่ย $1.21 \pm 0.48 \text{ m.s}^{-1}$ และมีความเร็วลมสูงสุดอยู่ที่ 4.95 ms^{-1} (ภาพที่ 4.7)

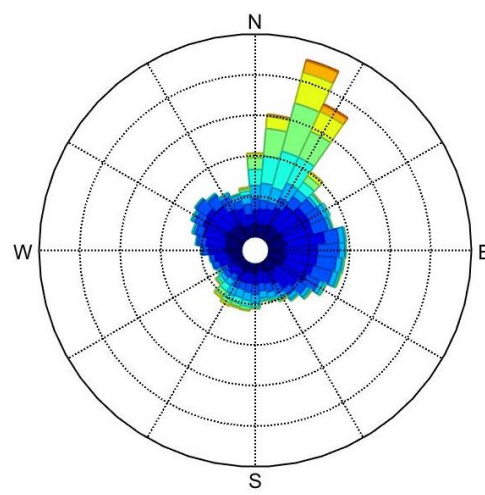
(ก)



(ข)



(ค)

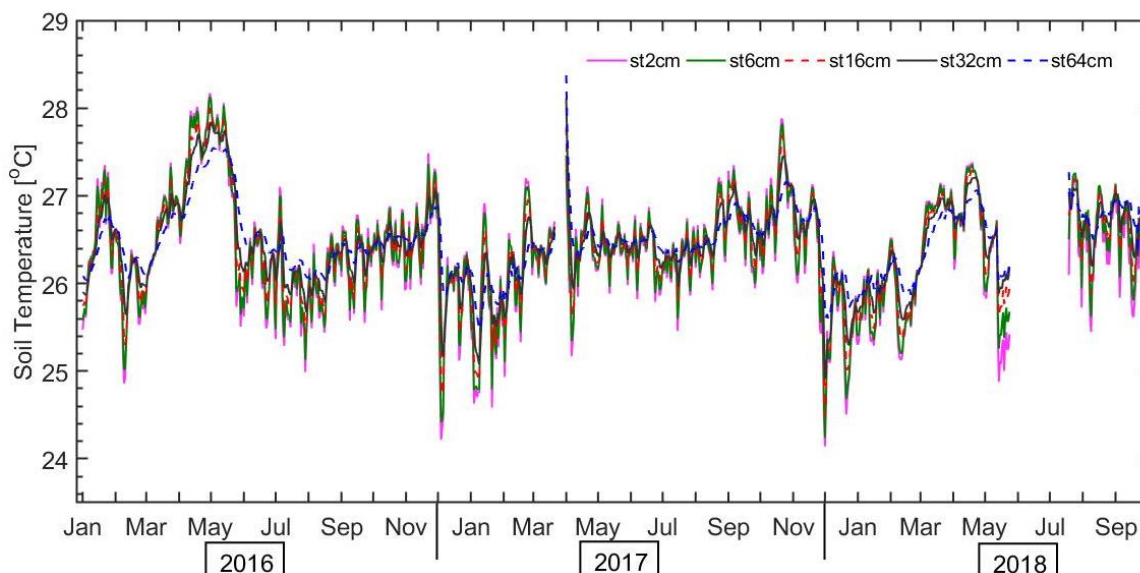


ภาพที่ 4.7 ทิศทางลมและความเร็วลมในพื้นที่แปลงปลูกยางพารา ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัด นครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคมพ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 25 กันยายนพ.ศ. 2561; (ก) พังลมแสดงความเร็วและทิศทางลม ปี 2559; (ข) พังลมแสดงความเร็วและทิศทางลม ปี 2560; และ (ค) พังลมแสดงความเร็วและทิศทางลม ปี 2561

4.1.4 อุณหภูมิดิน Soil heat flux และปริมาณน้ำในดิน

1) อุณหภูมิดิน และ Soil heat flux

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 2, 6, 16, 32, และ 64 เซนติเมตร ในแปลงยางพารา ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า อุณหภูมิที่ระดับความลึกต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยข้อมูลอุณหภูมิดินทุกช่วงความลึกมีค่าอยู่ในช่วง 24.00-28.00 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิดินเฉลี่ย 26.35 ± 0.65 องศาเซลเซียส อุณหภูมิดินจะเพิ่มสูงสุดในช่วงเดือนเมษายน - พฤษภาคม ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิดินจะมีค่าต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคม (ภาพที่ 4.8) ค่าอุณหภูมิมีความผันแปร สอดคล้องกับค่าอุณหภูมิอากาศดังที่ได้แสดงในภาพที่ 4.4 ข้างต้น

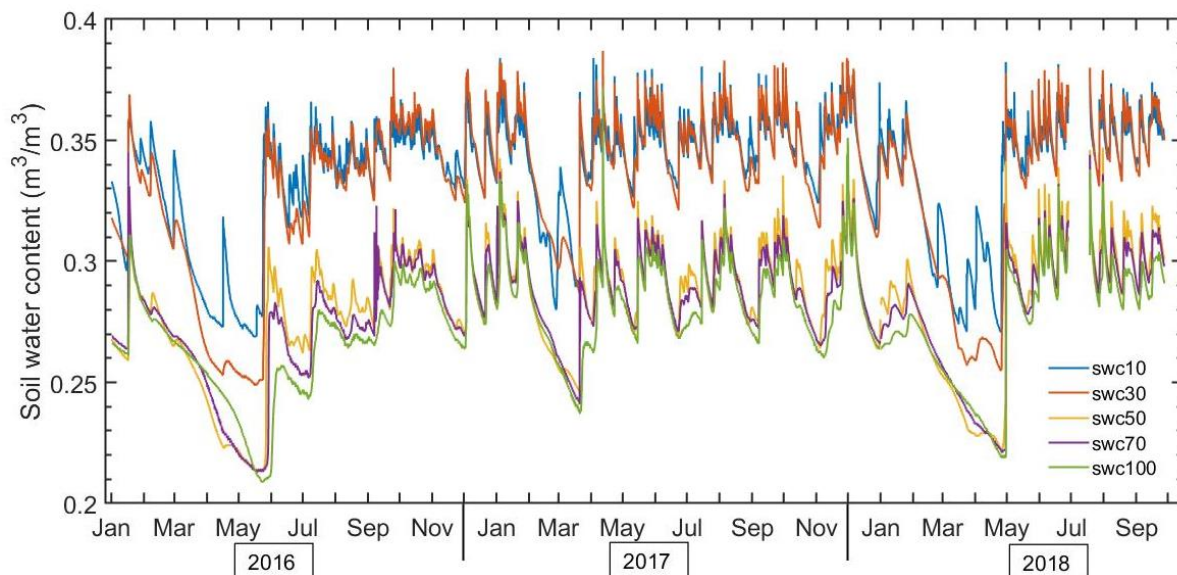


ภาพที่ 4.8 ข้อมูลอุณหภูมิดินจากการตรวจวัดในพื้นที่แปลงยางพารา ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 เดือนมกราคม 2559 ถึงวันที่ 25 เดือนกันยายน 2561 (ช่วงที่ไม่มีข้อมูลเป็นช่วงที่อุปกรณ์เสียหาย)

2) ปริมาณน้ำในดิน (Soil water content, SWC)

ค่าปริมาณน้ำในดินหรือความชื้นในดินแสดงในหน่วย $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ซึ่งได้ทำการตรวจวัดที่ระดับความลึกจากพื้นผิวดิน 10, 30, 50, 70 และ 100 เซนติเมตร บันทึกข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคมพ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2561 โดยพบว่า ปริมาณน้ำในดินที่ระดับความลึก 10 และ 30 เซนติเมตรมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอยู่ระหว่าง 0.27–0.37 และ 0.25–0.38 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ตามลำดับ ตามลำดับ ในขณะที่ชั้นดินที่ระดับความลึก 50, 70, 100 เซนติเมตร มีปริมาณน้ำในดินใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 0.21–0.34 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ปริมาณน้ำในดินเฉลี่ย 0.28 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ โดยที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร จะมีปริมาณน้ำในดินสูงสุด รองลงมาได้แก่ 10 เซนติเมตรและ 50 เซนติเมตร

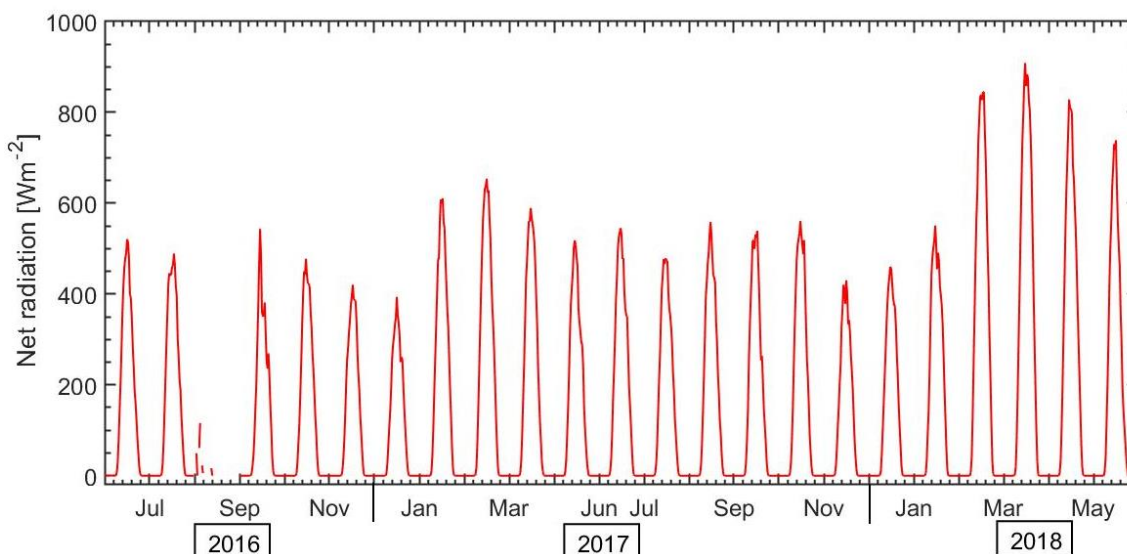
จากการศึกษา พบว่า ฝนซึ่งตกในเดือนมกราคมจนถึงเดือนกุมภาพันธ์มีผลทำให้ความชื้นในดินมีค่าสูงในช่วงต้น แล้วปริมาณน้ำในดินเริ่มลดลงตั้งแต่เดือนมีนาคมไปจนถึงปลายเดือนพฤษภาคมในปี 2559 ซึ่งช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำในดินลดลงมากเป็นช่วงเวลาที่ฝนทิ้งช่วงซึ่งอยู่ในเดือนมีนาคมจนถึงเดือนเมษายน ในขณะที่ปี 2560 ปริมาณน้ำในดินเริ่มลดลงตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงปลายเดือนมีนาคม 2560 และในปี 2561 ปริมาณน้ำในดินลดลงตั้งแต่เดือนมีนาคม จนถึงเดือนพฤษภาคม (ภาพที่ 4.9) การลดหรือเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำในดินในทุกระดับความลึกมีความสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำฝนที่ตกลงมา โดยช่วงที่ฝนทิ้งช่วงจะเห็นแนวโน้มการลดลงของปริมาณน้ำในดิน และภาพรวมจะเห็นว่าปริมาณน้ำในดินที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตรใต้ผิวดินมีค่ามากที่สุด ในขณะที่ชั้นดินที่ระดับความลึก 100 เซนติเมตร มีปริมาณน้ำในดินน้อยที่สุด และชั้นดินที่ระดับความลึก 10 และ 30 เซนติเมตร มีการตอบสนองต่อปริมาณน้ำฝนที่ได้รับมากกว่าชั้นดินที่ระดับความลึก 50, 70 และ 100 เซนติเมตร มีการเปลี่ยนแปลงหลังได้รับปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า



ภาพที่ 4.9 ข้อมูลปริมาณน้ำในดิน จากการตรวจวัดในพื้นที่แปลงยางพารา ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 เดือนมกราคม 2559 ถึงวันที่ 25 เดือนกันยายน 2561

4.2 สมดุลพลังงานในระบบนิเวศเกษตรยางพารา

สมดุลพลังงานในระบบนิเวศมีองค์ประกอบเหมือนกันคือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ส่วนใหญ่จะมีรังสีคลื่นสั้น ซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับออกไปนอกชั้นบรรยากาศหรือที่เรียกว่า albedo พลังงานที่หักค่าการสะท้อนออกไปแล้ว เรียกว่า รังสีสุทธิหรือ Net radiation (R_n) ซึ่งจะเป็นพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ (Latent heat, LE) ความร้อนที่ใช้ในการเผาอากาศ (Sensible heat, H) และความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (Soil heat flux, G) ผลการศึกษาสมดุลพลังงาน พบว่า ปริมาณรังสีสุทธิผันแปรตามฤดูกาล โดยจะลดต่ำลงในช่วงฤดูฝน และเพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูร้อน โดยจากการศึกษา พบว่าค่าเฉลี่ย R_n ตลอดทั้งปีเท่ากับ $368.15 \pm 188.76 \text{ W m}^{-2}$ สูงสุดพบใน เดือนเมษายน (620.2 W m^{-2}) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.10 อย่างไรก็ตามปริมาณรังสีสุทธินอกจากจะผันแปรตามฤดูกาลแล้วยังมีอิทธิพลมาจากปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น จำนวนวันที่ฝนตก และปริมาณเมฆปกคลุม โดยในช่วงที่ทำการศึกษานี้ปี 2560 ปริมาณรังสีสุทธิในช่วงเดือนมกราคมมีปริมาณ R_n ลดต่ำลงมากกว่าช่วงอื่นในรอบปีและต่ำกว่าเดือนมกราคมในปี 2561 ซึ่งมีสาเหตุสำคัญมาจากจำนวนวันฝนตก ซึ่งมีถึง 25 วัน และมีปริมาณน้ำฝนรวมเดือนดังกล่าวถึง 1,611 mm ซึ่งสูงกว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปีในช่วงระยะเวลา 30 ปีของประเทศไทย

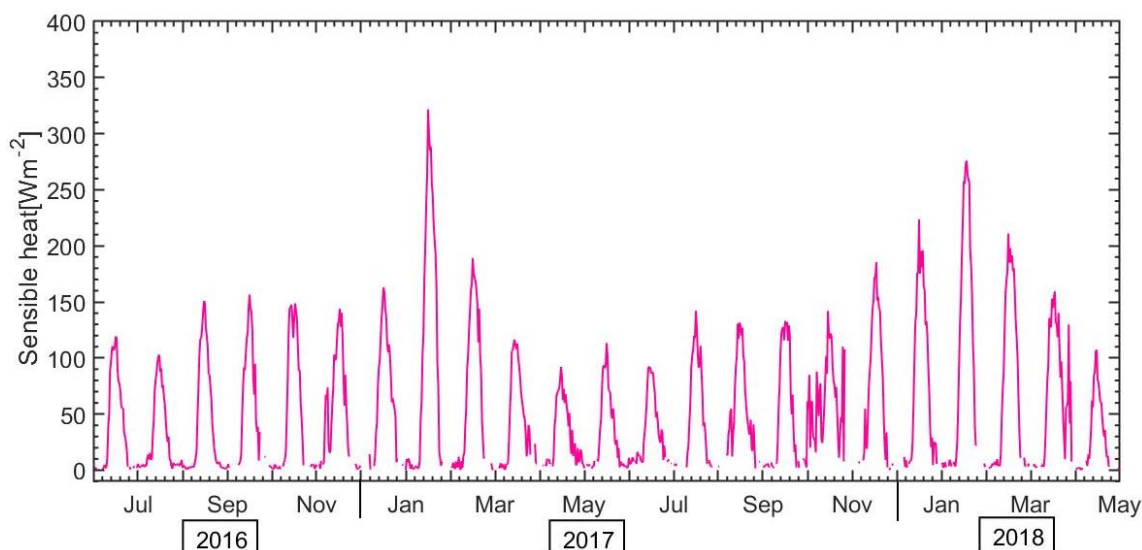


ภาพที่ 4.10 ความผันแปรของ Net radiation (Rn) เฉลี่ยรายชั่วโมงในรอบเดือน บริเวณพื้นที่แปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561

เมื่อพิจารณารูปแบบการแลกเปลี่ยนพลังงาน 24 ชั่วโมง สำหรับรังสีสุทธิ (Rn) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (LE) ความร้อนที่ใช้ในการเผาอากาศ (H) ความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (G) ความร้อนที่สะสมในชีวมวล (Storage) ทั้งหมดนี้สามารถคำนวณได้จากสมการสมดุลพลังงานยกเว้น Storage ที่ได้จากการประเมินพลังงานที่หายไป ซึ่งมีการใช้ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 18 กรกฎาคม 2559 ถึงวันที่ 25 มิถุนายน 2561 เพื่อให้ได้ข้อมูลซึ่งเป็นตัวแทนของการแลกเปลี่ยนพลังงานในระบบนิเวศเกษตร ซึ่งมีรายละเอียดของสมดุลพลังงานในระบบนิเวศเกษตรยางพาราในช่วงที่ทำการศึกษามีดังต่อไปนี้

1) ความร้อนที่ใช้ในการเผาอากาศ (Sensible Heat Flux; H)

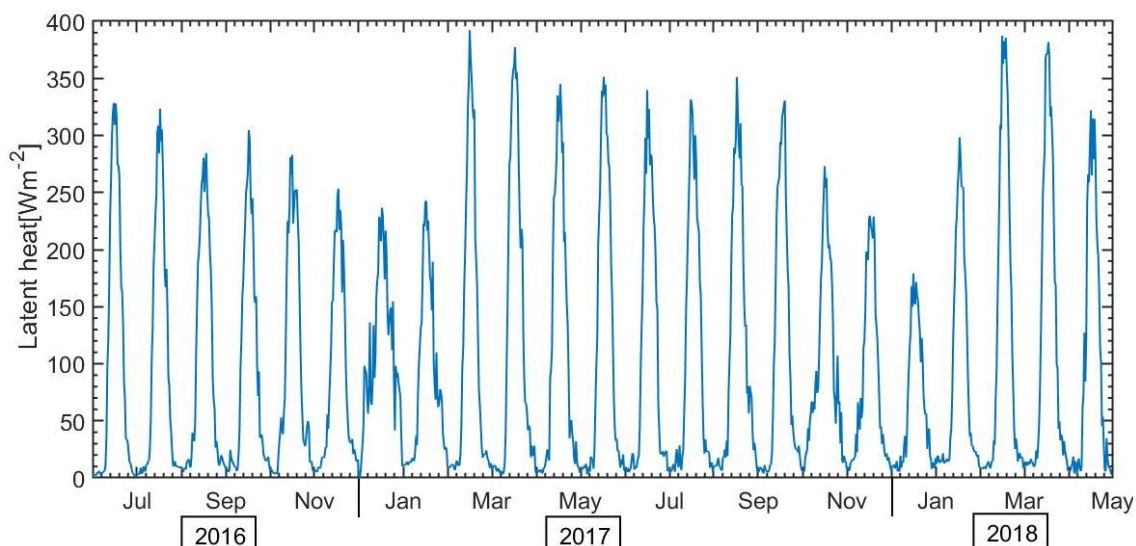
ข้อมูลการเพิ่มความร้อนให้กับบรรยากาศในรูปของ Sensible heat Flux (H) ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 18 กรกฎาคม 2559 จนถึง วันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2561 พิจารณาช่วงเวลาตั้งแต่ 07:00น. ไปจนถึงเวลา 17:00 น. ของแต่ละวันในแต่ละเดือน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 5-321. Wm⁻² และมีค่าเฉลี่ยตลอดช่วงที่ทำการศึกษาเท่ากับ 95.11±58.22 Wm⁻² ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเผาอากาศจะมีค่าสูงในช่วงต้นปี โดยเฉพาะช่วงเดือนกุมภาพันธ์ จนถึงเดือนเมษายน (ตารางที่ 4.3) โดยเดือนที่พบปริมาณ H สูงสุดคือเดือนกุมภาพันธ์ของปี 2561 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูการทิ้งใบของยางพาราซึ่งอยู่ในช่วงต้นของฤดูแล้งของพื้นที่ศึกษา ในทางตรงกันข้ามค่าของ H จะมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่เดือนพฤษภาคมเป็นต้นไป เนื่องจากในช่วงระยะเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงเริ่มต้นของหน้าฝนในภาคใต้ โดยค่าต่ำสุดพบในเดือนพฤษภาคม 2560 (ตารางที่ 4.3 ; ภาพที่ 4.11)



ภาพที่ 4.11 ความผันแปรเชิงฤดูกาลของ Sensible heat (H) เฉลี่ยรายชั่วโมงในรอบเดือน บริเวณพื้นที่แปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมพ.ศ. 2559 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561

2) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (Latent Heat Flux; LE)

ภาพรวมการแลกเปลี่ยนพลังงานในระบบนิเวศเกษตรยางพารา พลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปในกระบวนการระเหยน้ำ (LE) มีค่าอยู่ในช่วง $0.3\text{--}392.29\text{ Wm}^{-2}$ และมีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการศึกษาเท่ากับ $203.7 \pm 88.61\text{ Wm}^{-2}$ (ตารางที่ 4.3) รูปแบบการผันแปรของ LE จะมีลักษณะที่ตรงข้ามกับ H โดยมีค่าต่ำสุดในช่วงต้นปีตั้งแต่ เดือนมกราคมจนถึงเดือนมีนาคมซึ่งปรากฏอยู่ทั้งในปี 2560 และ 2561 และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนมกราคมปี 2561 เท่ากับ 119.15 Wm^{-2} ซึ่งอยู่ในช่วงระยะเดียวกันกับฤดูการทิ้งใบของยางพาราและเริ่มเข้าสู่ช่วงต้นของฤดูแล้งในพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ค่า LE จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่เดือนมีนาคม ไปจนถึงตุลาคม เนื่องจากการได้รับปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้นเพราะอยู่ในช่วงฤดูฝนทำให้ความชื้นในดินสูง ประกอบกับยางพารามีการสร้างใบสมบูรณ์จะค่อยลดต่ำลงอีกครั้งในเดือนพฤศจิกายนไปจนถึงเดือนมกราคมปีถัดไป โดยจากการศึกษา พบว่า LE มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเดือนเมษายนในปี 2560 เท่ากับ 256.70 Wm^{-2} และ เดือนพฤษภาคมในปี 2561 เท่ากับ 246.26 Wm^{-2} ปริมาณ LE (ภาพที่ 4.12)



ภาพที่ 4.12 ความผันแปรของ Latent heat (LE) เฉลี่ยรายชั่วโมงในรอบเดือนบริเวณพื้นที่แปลงปลูกยางพาราขององค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561

ตารางที่ 4.3 สมดุลพลังงานในแต่ละเดือนของระบบนิเวศเกษตรยางพารา

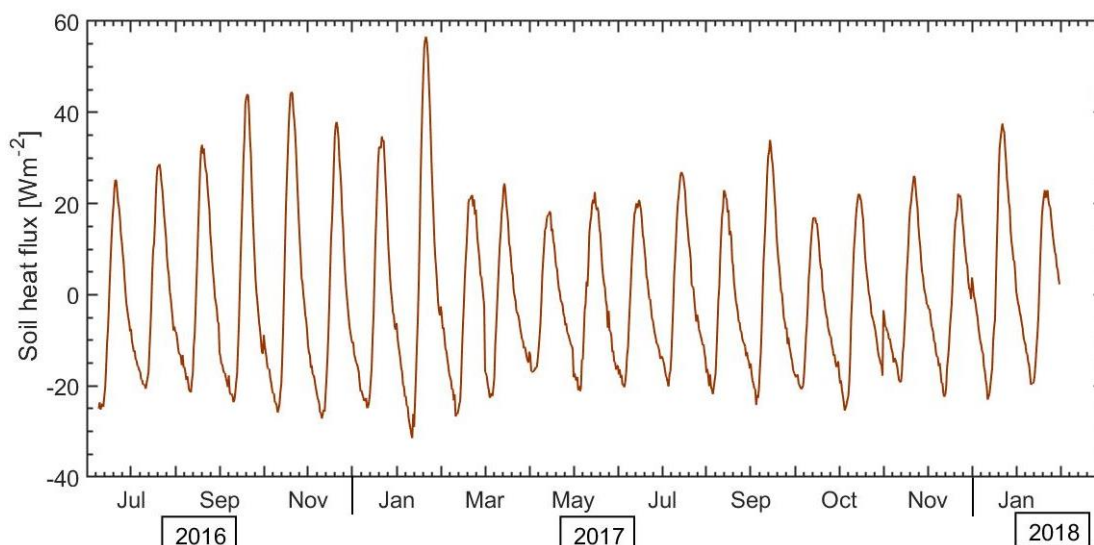
เดือน	สมดุลพลังงานในระบบนิเวศเกษตรยางพารา									
	W m ⁻²					ร้อยละ				
	Rn	H	LE	G	Storage	Rn	H	LE	G	Storage
มกราคม	366.34	129.28	119.15	1.72	116.19	100	35.29	32.52	0.47	31.72
กุมภาพันธ์	392.88	188.90	119.152	11.68	73.148	100	48.08	30.33	2.97	18.62
มีนาคม	579.73	168.36	180.14	16.08	234.40	100	29.04	31.07	2.77	37.11
เมษายน	620.20	134.38	244.54	2.61	238.67	100	21.67	39.43	0.42	38.48
พฤษภาคม	539.33	108.19	246.26	0.77	184.11	100	12.45	47.64	8.43	41.74
มิถุนายน	441.05	54.92	210.13	0.33	175.67	100	17.69	66.29	3.88	53.85
กรกฎาคม	326.24	57.72	216.28	12.65	39.59	100	17.69	66.29	3.88	12.14
สิงหาคม	354.26	80.88	216.31	16.46	40.61	100	22.83	61.06	4.65	11.46
กันยายน	347.35	79.52	219.63	11.57	36.63	100	22.89	63.23	3.33	10.55
ตุลาคม	365.41	87.86	213.52	18.40	45.63	100	24.04	58.43	5.04	12.49
พฤศจิกายน	365.41	87.86	213.52	18.40	45.63	100	24.04	58.43	5.04	12.49
ธันวาคม	268.00	75.24	175.51	8.32	8.93	100	28.07	65.49	3.10	3.33
เฉลี่ย	368.15	95.11	203.7	9.40	59.94	100	25.83	55.33	2.55	16.28
±SD	188.76	58.22	88.61	6.85	22.08		30.84	46.94	3.63	17.70

หมายเหตุ: ใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายชั่วโมงในรอบเดือนของปี 2560 และ 2561

Storage คำนวณได้จากการประเมินพลังงานที่หายไป

3) ความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (Ground Heat Flux; G)

ค่าความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (Soil heat flux; G) ในภาพที่ 4.13 แสดงถึงสมดุลพลังงานในดินที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่าอุณหภูมิดินเฉลี่ยที่ 5 ระดับความลึก คือ ระดับความลึกที่ 2, 4, 6, 16, และ 32 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยการผันแปรของ G จะมีความสอดคล้องการเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิดิน ค่าที่เป็นบวกของ G แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของพลังงานในดินและจะพบได้ในเวลากลางวัน ส่วนค่าที่เป็นลบจะพบได้ในเวลากลางคืนและแสดงถึงการสูญเสียพลังงานไปจากดิน จากการศึกษา พบว่าค่า G เฉลี่ยในรอบเดือนระหว่างเดือนกรกฎาคม 2559 ถึง กุมภาพันธ์ 2561 มีค่าอยู่ในช่วง -31.46 ถึง 56.59 W m^{-2} และมีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษานี้เท่ากับ $9.40 \pm 6.85 \text{ W m}^{-2}$ (ตารางที่ 4.3) โดยค่าเฉลี่ยของ G สูงสุด (56.59 W m^{-2}) จะพบ ในเดือนเมษายนปี 2560



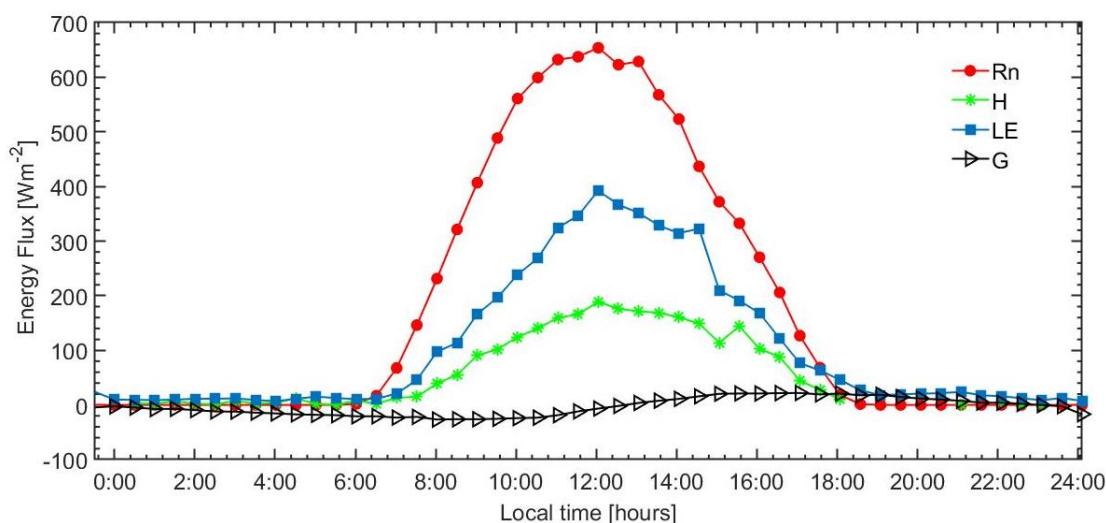
ภาพที่ 4.13 ความผันแปรของความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (Soil heat flux; G) เฉลี่ยรายชั่วโมงในรอบเดือน บริเวณพื้นที่แปลงยางพารา ตั้งแต่วันที่ 1 เดือนกรกฎาคม 2559 ถึงวันที่ 25 เดือนกุมภาพันธ์ 2561

โดยภาพรวมพลังงานที่ใช้ในการเผาอากาศ (H) จะเกิดมากในช่วงฤดูแล้งและฤดูการทิ้งใบของยางพาราซึ่งเป็นช่วงต้นปีของทุกปี ซึ่งตรงข้ามกับ LE ที่ใช้ในการเผาไม้ที่จะเกิดเกือบทุกช่วงของปีและจะมีค่าสูงในช่วงฤดูฝน ในขณะที่ G ค่อนข้างคงที่ตลอดการตรวจวัดเนื่องจากมีสิ่งปกคลุมโดยพืชมากทำให้พลังงานส่วนใหญ่ถูกเก็บไว้ในชีวมวล ค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาในการศึกษานี้ของ R_n , H, LE, G และ storage เท่ากับ 368.15, 95.11, 203.7, 9.40, 59.94 W m^{-2} ตามลำดับ

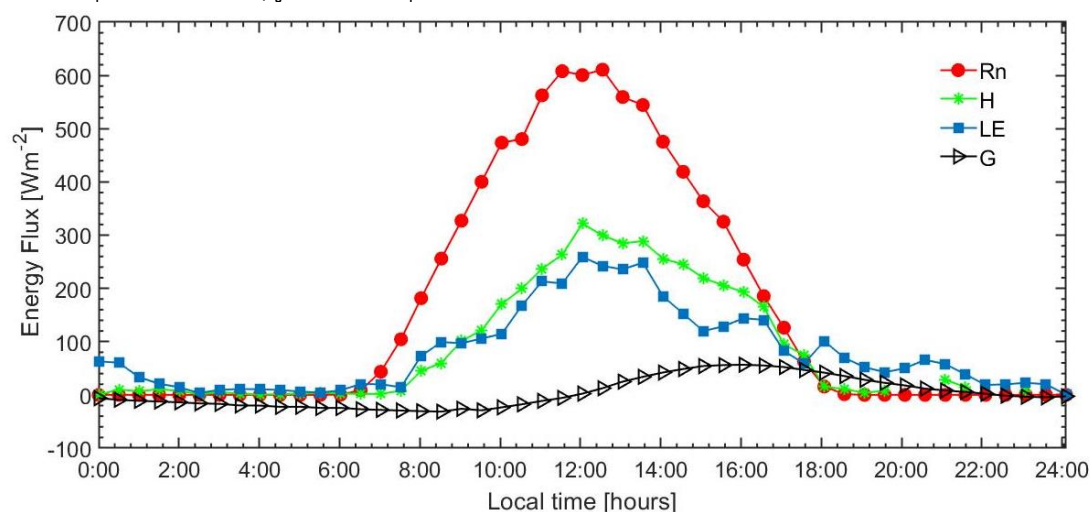
รูปแบบการเปลี่ยนแปลงพลังงานของ R_n , LE, H, G ในรอบวันจะมีลักษณะเป็นไปตามรังสีดวงอาทิตย์ ค่าสมดุลพลังงานมีความผันแปรตลอดปี ซึ่งการใช้พลังงานส่วนใหญ่ของระบบนิเวศเกษตรยางพารา เป็นการใช้พลังงานเพื่อการระเหยของน้ำ เป็นลักษณะเด่นของสมดุลพลังงานในฤดูฝน และเป็นช่วงที่ต้นยางมีการสร้างใบอย่างสมบูรณ์ มีสัดส่วนประมาณ 30.33- 66.29% และมีสัดส่วนถึง 46.94% ตัวอย่างสมดุลพลังงานในช่วงฤดูฝน เช่น เดือนมิถุนายน จะพบว่าค่า LE มีสัดส่วนสูงถึง 66.29% ของพลังงานสุทธิ (ภาพที่ 4.14ก; ตารางที่ 4.3) ในขณะที่

ที่ใช้พลังงานเพื่อเผาอากาศ เป็นลักษณะเด่นของสมดุลพลังงานที่เกิดขึ้นในฤดูทิ้งใบของยางพาราซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูแล้ง คิดเป็น 35-48% ของพลังงานสุทธิทั้งหมด โดยมีสัดส่วนเฉลี่ยทั้งปี เท่ากับ 30.84% (ตารางที่ 4.3) ตัวอย่างสมดุลพลังงานในเดือนกุมภาพันธ์ จะพบว่า พลังงานส่วนที่ใช้ในการเผาอากาศคิดเป็น 48.08% ของพลังงานสุทธิที่ได้รับในระบบนิเวศเกษตร (ภาพที่ 4.14ข) ส่วนพลังงานที่เก็บไว้ในดินคิดเป็นสัดส่วนที่น้อย ซึ่งค่าจะผันแปรอยู่ในช่วง 0.42 ถึง 8.43 %

(ก) สมดุลพลังงานช่วงฤดูฝน เดือนมิถุนายน ปี 2560



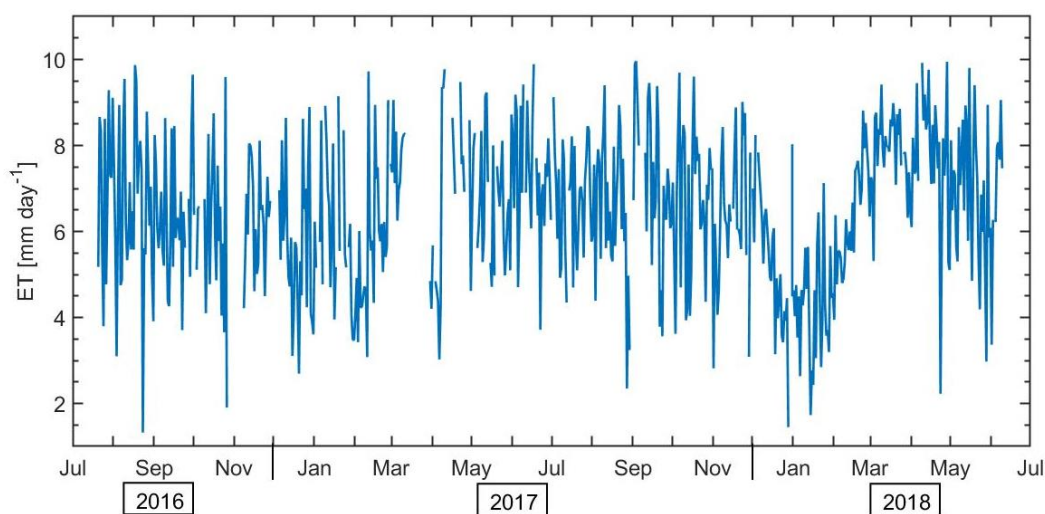
(ข) สมดุลพลังงานช่วงฤดูแล้ง เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2560



ภาพที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบสมดุลพลังงานในรอบวันของระบบนิเวศเกษตรยางพารา เปรียบเทียบระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน; (ก) สมดุลพลังงานช่วงฤดูฝน เดือนมิถุนายน ปี 2560 และ (ข) สมดุลพลังงานช่วงฤดูแล้งของเดือนกุมภาพันธ์ ปี 2560

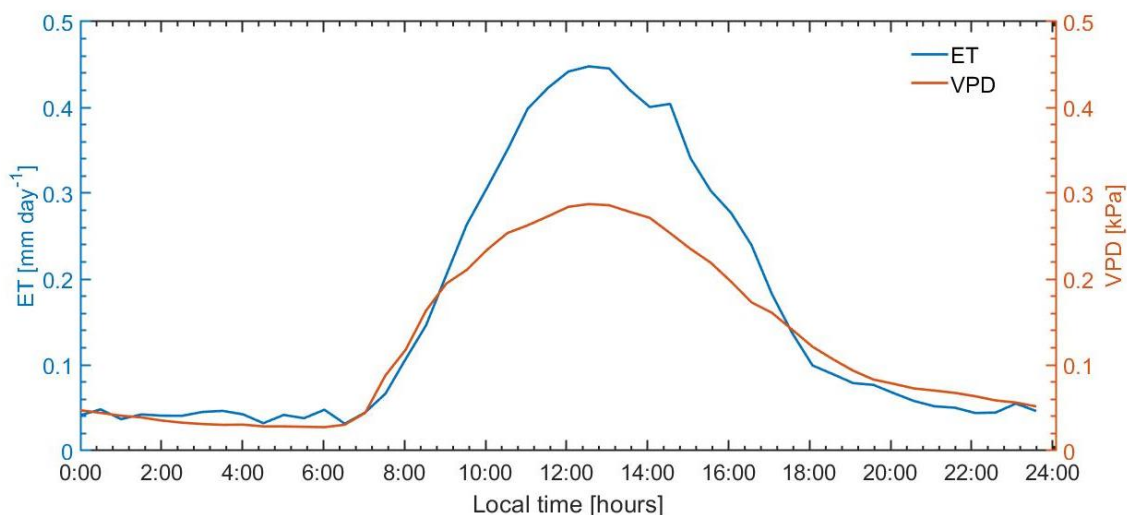
4.3 อัตราการคายระเหยของน้ำในระบบนิเวศเกษตรยางพารา

จากการศึกษาอัตราการคายระเหยน้ำของระบบนิเวศเกษตรยางพาราตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2559 ถึง เดือนมิถุนายน 2561 พบว่า มีอัตราการคายระเหยน้ำอยู่ในช่วง 1.32 ถึง 9.96 mm day⁻¹ มีอัตราการคายระเหยน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 6.72 ± 2.17 มิลลิเมตรต่อวัน อัตราการคายระเหยน้ำต่ำสุดและสูงสุดปรากฏในวันที่ 2 กันยายน 2560 และวันที่ 14 ตุลาคม 2560 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.15)



ภาพที่ 4.15 อัตราการคายระเหยของน้ำรายวันในระบบนิเวศเกษตรยางพาราตั้งแต่วันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2561 (ช่วงที่ไม่มีข้อมูลเป็นช่วงที่อุปกรณ์เสียหาย)

การคายระเหยน้ำมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (24 ชั่วโมง) ที่คล้ายคลึงกัน คือ มีค่าต่ำในเวลา กลางคืน แต่จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้าตามการเพิ่มขึ้นของค่าปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (Vapor pressure deficit; VPD) จนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 12.00 – 13.00 น. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.45 mm และค่า VPD มีค่าเท่ากับ 0.29 kPa และจะมีค่าลดลงตามการลดลงของค่า VPD ในรอบวัน (ภาพที่ 4.16)

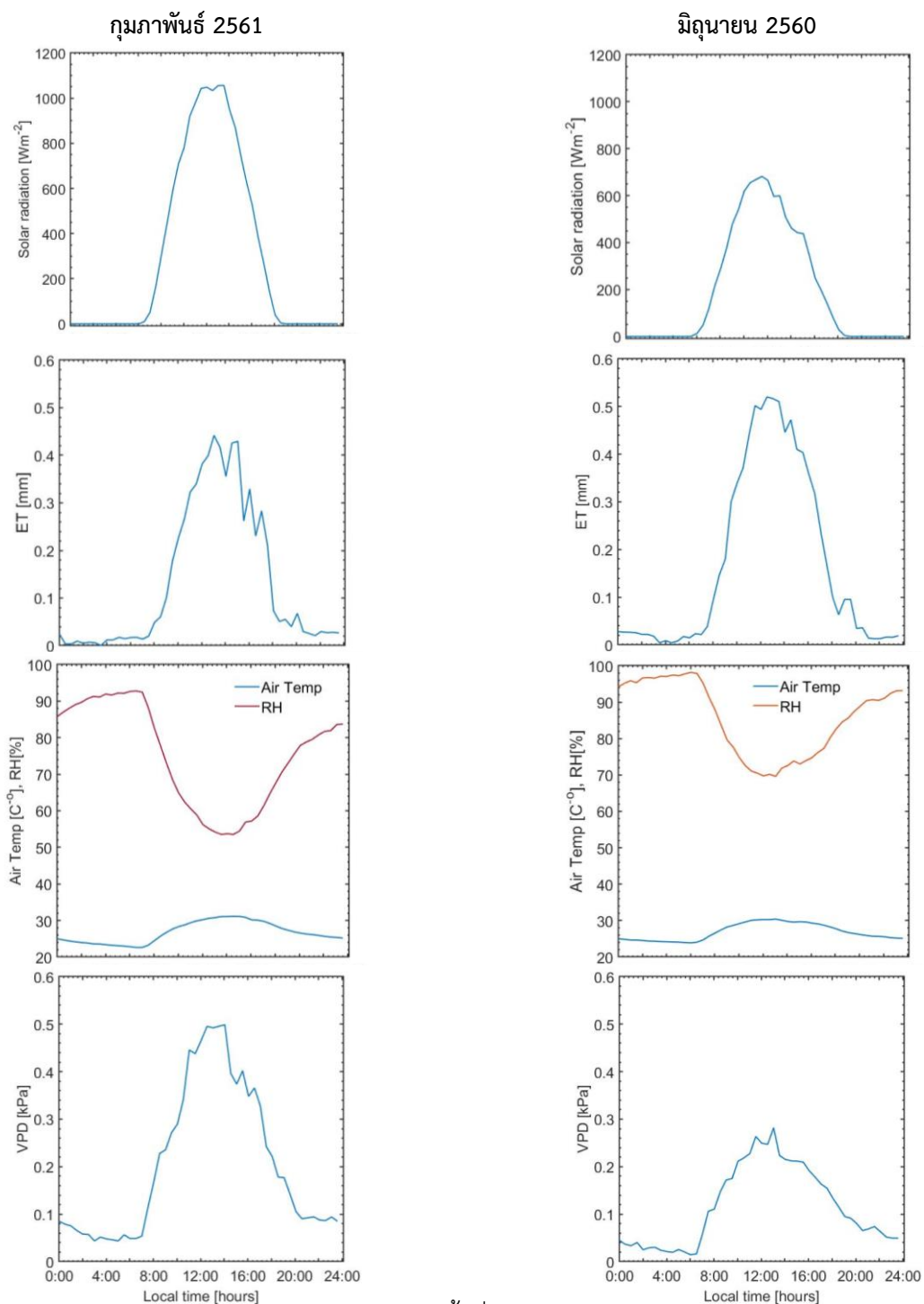


ภาพที่ 4.16 ความแปรปรวนของการคายระเหยของน้ำในรอบวัน (ET) และค่าปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (VPD) ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2561

อัตราการคายระเหยของน้ำ (ET) ในรอบวัน ณ ช่วงเวลาที่แตกต่างกันในรอบปี ได้แก่ ในช่วงฤดูแล้งซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาที่พืชทิ้งใบ (ตั้งแต่วันที่ 1-28 กุมภาพันธ์ 2561) และฤดูฝน (วันที่ 1-30 มิถุนายน 2560) พบว่าค่า ET ในช่วงฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.19 \pm 0.11 \text{ mm hr}^{-1}$ และฤดูฝนมีค่าเท่ากับ $0.30 \pm 0.18 \text{ mm hr}^{-1}$ ในรอบวัน แม้ว่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานหลักให้กับระบบนิเวศในฤดูฝนจะมีค่าน้อยกว่าช่วงหน้าแล้ง แต่ช่วงหน้าฝนมีปริมาณน้ำที่อยู่บนพื้นผิวสำหรับการคายระเหยมากกว่าในช่วงหน้าแล้ง ทำให้ค่า ET ในช่วงฤดูฝนสูงกว่าในฤดูแล้ง ในขณะที่ช่วงหน้าแล้งปริมาณน้ำบนพื้นผิวสำหรับการคายระเหยมีน้อยกว่า แต่ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์สูง ความชื้นสัมพัทธ์น้อย และค่า ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้สูง ทำให้ค่าเฉลี่ย ET มีค่าใกล้เคียงกับหน้าฝน โดยจากภาพที่ 4.17 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่า ET มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับรังสีดวงอาทิตย์ ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (VPD) ในรอบวัน ซึ่งปรากฏค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงวัน และมีค่าน้อยที่สุดในช่วงเช้าและเย็น

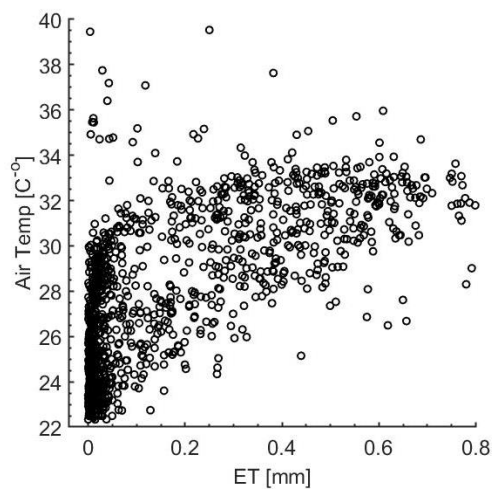
ความแปรปรวนของสมดุลน้ำในพื้นที่ปลูกยางพารานั้นเป็นผลอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาของต้นยางพารา และสภาพจุลอุตุนิยมวิทยา ซึ่งได้แก่ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Global solar radiation, R_s) อุณหภูมิอากาศ (air temperature, air temp) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, RH) และปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (Vapor pressure deficit, VPD) แล้วทำการพิจารณาความสัมพันธ์รายคู่ด้วยแผนภาพการกระจาย (Scatter Plot) ดังภาพที่ 4.18 ระหว่างการคายระเหยน้ำกับตัวแปรจุลอุตุนิยมวิทยาที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ทางสถิติ โดยใช้ข้อมูลของเดือนเมษายน ปี 2561

จากการวิเคราะห์สถิติ Spearman Correlation Coefficient ระหว่างค่าการคายระเหยน้ำที่วัดได้จริงด้วยเทคนิค Eddy Covariance (ET) กับจุลอุตุนิยมวิทยาของระบบนิเวศยางพารา (ตารางที่ 4.4) พบว่า ค่าการคายระเหยน้ำในช่วงเวลาที่ศึกษา ณ องค์การสวนยางมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ ($r=0.700$; $p<0.01$) (ภาพที่ 4.18 ก) มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ ($r=-0.708$; $p<0.01$) (ภาพที่ 4.18 ข), ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ($r=0.799$; $p<0.01$) (ภาพที่ 4.18 ค), และ VPD ($r=0.708$; $p<0.01$) (ภาพที่ 4.18 ง) โดยจากตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์มีความสัมพันธ์สูงสุดกับการคายระเหยน้ำ รองลงมาคือ ความชื้นสัมพัทธ์และ VPD ในขณะที่อุณหภูมิอากาศมีความสัมพันธ์น้อยสุดเมื่อเทียบกับตัวแปรอื่นๆ แต่ทุกตัวแปรมีความสัมพันธ์กับการระเหยน้ำในระดับสูง นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของตัวแปรเกือบทุกตัวไปในทิศทางเดียวกับการคายระเหยน้ำ ยกเว้น ความชื้นสัมพัทธ์ที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับการคายระเหยน้ำ

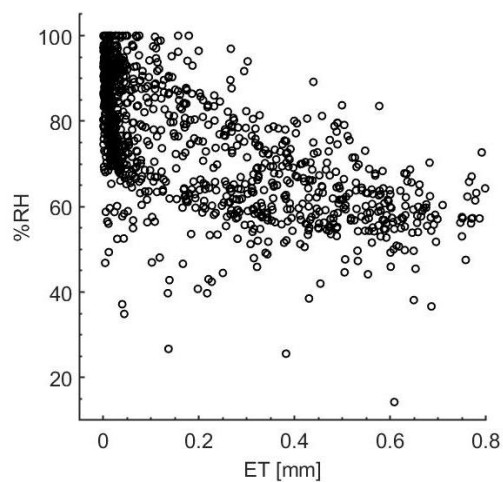


ภาพที่ 4.17 ความแปรปรวนของการคายระเหยของน้ำที่วัดได้ในรอบวัน (ET) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (R_s) อุณหภูมิอากาศ (Air Temp) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (VPD) ในรอบวันและในฤดูแล้งและฤดูฝน ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช

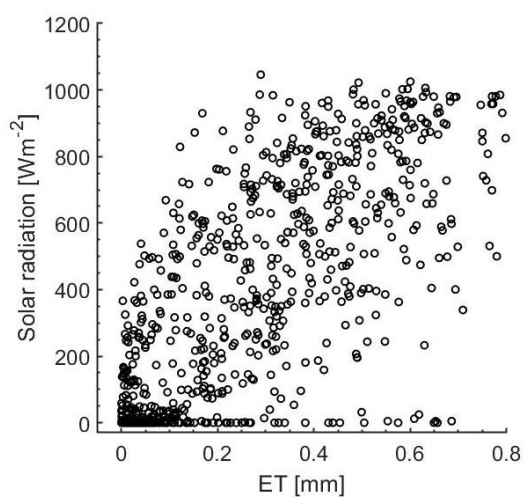
(ก)



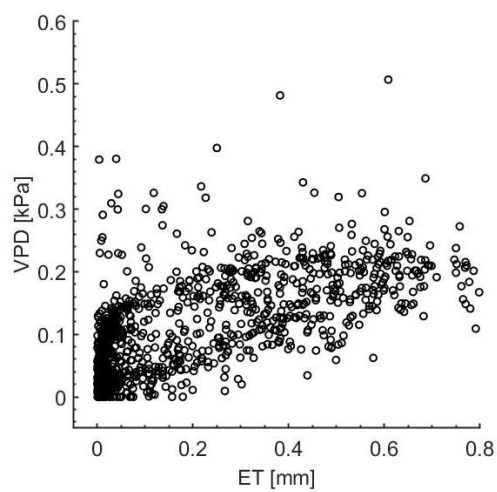
(ข)



(ค)



(ง)



ภาพที่ 4.18 แผนภาพการกระจาย (scatter plot) ระหว่างการระเหยน้ำกับตัวแปรอุตุนิยมวิทยา

(ก) อุณหภูมิอากาศ (air temp)

(ข) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH)

(ค) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (Rn)

(ง) ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (VPD)

ตารางที่ 4.4 ตารางผลการวิเคราะห์ข้อมูล Spearman Correlation Coefficient ของค่าการระเหยน้ำ (ET) อุณหภูมิอากาศ (air temp) ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) รังสีดวงอาทิตย์ (Rn) และ VPD

			ET	air temp	%RH	Rn	VPD
Spearman's rho	ET	Correlation Coefficient	1.000	.700**	-.708**	.799**	.708**
		Sig. (2-tailed)	.	.000	.000	.000	.000
		N	1104	1104	1104	1104	1104
	air temp	Correlation Coefficient	.700**	1.000	-.927**	.487**	.952**
		Sig. (2-tailed)	.000	.	.000	.000	.000
		N	1104	1339	1339	1339	1339
	%RH	Correlation Coefficient	-.708**	-.927**	1.000	-.450**	-.996**
		Sig. (2-tailed)	.000	.000	.	.000	.000
		N	1104	1339	1339	1339	1339
	Rn	Correlation Coefficient	.799**	.487**	-.450**	1.000	.462**
		Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.	.000
		N	1104	1339	1339	1392	1339
	VPD	Correlation Coefficient	.708**	.952**	-.996**	.462**	1.000
		Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.
		N	1104	1339	1339	1339	1339

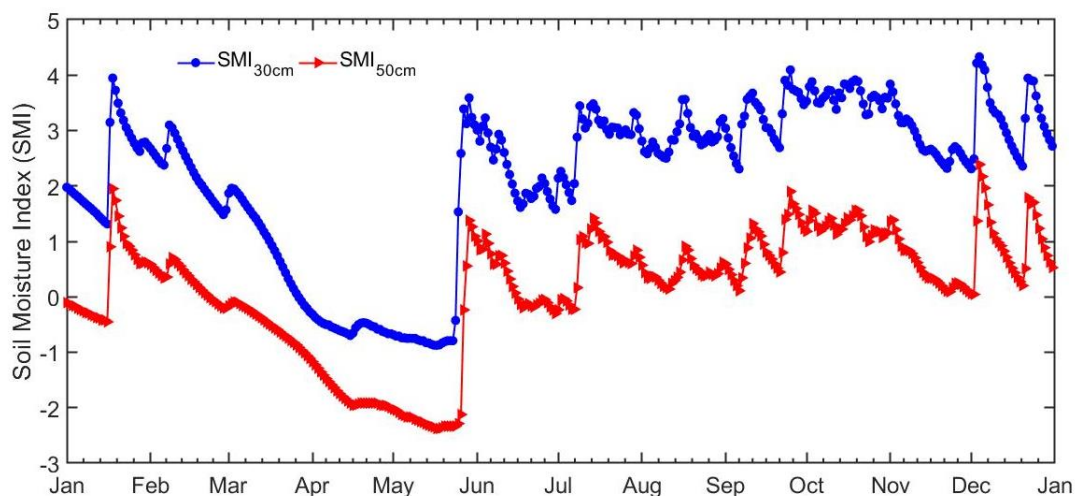
** . หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 เมื่อทดสอบด้วยสถิติ t-Test

4.4 ดัชนีบ่งชี้การเกิดความแห้งแล้งจากข้อมูลความชื้นของดิน

ความชื้นในดินมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการใช้น้ำของพืช หรือน้ำในดินที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตได้ (available water, AW) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างค่าความชื้นที่ความจุสนาม (Field Capacity; FC) และค่าจุดแห้งเหี่ยว (wilting point; WP) แต่ถ้าความชื้นในดินลดลงไปเรื่อยๆ จะเกิดความลำบากในการดูดน้ำไปใช้ของพืช (water stress) พืชจะเริ่มเครียด และสูญเสียผลผลิต เมื่อความชื้นในดินลดลงประมาณ 50 % ของน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (AW) การหาค่าดัชนีการเกิดความแห้งแล้งในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้ข้อมูลปี 2559 มาหาค่าดัชนีความแห้งแล้งในพื้นที่ เนื่องจากข้อมูลในปี 2560 มีจำนวนวันฝนตกและปริมาณน้ำฝนรวมตลอดปีสูงกว่าค่าปกติ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้จึงนำเสนอเฉพาะดัชนีความแห้งแล้งในปี 2559 และข้อมูลในปี 2561 มีการนำเสนอข้อมูลแผนที่ดัชนีความแห้งแล้งไว้ในภาคผนวก ค

จากข้อมูลความชื้นในดินที่ได้จากการตรวจวัดในแปลงปลูกยางพารา ที่ระดับความลึก 10, 30, 50 และ 70 เซนติเมตร พบว่าความชื้นในดินที่ระดับ 10 กับ 30 เซนติเมตร และ ที่ระดับความลึก 50 กับ 70 เซนติเมตร มีค่าใกล้เคียงกัน ในการศึกษาดัชนีความแห้งแล้งจึงเลือกเฉพาะความชื้นในดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร และ 50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับความลึกที่รากของยางพาราส่วนใหญ่สามารถดูดน้ำใช้ประโยชน์ นำมาคำนวณหาค่าดัชนีความชื้นในดิน (soil moisture index; SMI) โดย SMI หาได้จากองค์ประกอบและชนิดของดิน และเงื่อนไขความชื้นในดิน ได้แก่ ความชื้นในดินที่มีอยู่จริง ที่ความจุสนาม (FC) และ WP ตามการกำหนดของ V. Sridhar และคณะ (2008) ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่า FC ของดินในแปลงยางพารา พบว่ามี ค่าความชื้นที่ความจุสนาม (FC) เฉลี่ย $0.27 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ ค่าจุดแห้งเหี่ยว (WP) เฉลี่ย เท่ากับ $0.15 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ และ ความชื้นในดินที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (AW) มีค่าเท่ากับ $0.12 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$

ค่าดัชนีความชื้นในดิน (SMI) ที่เกิดขึ้นในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราของ องค์การสวนยาง ตำบลช้างกลาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช แสดงดังภาพที่ 4.19 จากภาพจะพบว่าในพื้นที่ศึกษาในปี 2559 มีความแห้งแล้งเกิดขึ้นในพื้นที่ โดยที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร จะพบภัยแล้งเล็กน้อย (less intense) เกิดขึ้นตั้งแต่วันที่ 27 มีนาคม 2559 เป็นต้นไป แต่ไม่เกิดภัยแล้งปานกลาง (moderate dry) และภัยแล้งสูง โดยมีจำนวนวันที่มีภัยแล้งเล็กน้อยทั้งสิ้น 59 วัน ในขณะที่ในระดับความลึก 50 เซนติเมตร จะพบภัยแล้งเล็กน้อยปรากฏให้เห็นตั้งแต่ 23 กุมภาพันธ์ 2559 จนถึงวันที่ 28 มีนาคม 2559 และพบทั้งสิ้นจำนวน 74 วัน ภัยแล้งปานกลางเริ่มพบตั้งแต่วันที่ 29 มีนาคม 2559 จนถึงวันที่ 30 มีนาคม 2559 และ มีจำนวนวันที่มีภัยแล้งปานกลางเท่ากับ 33 วัน ในขณะที่ภัยแล้งสูง (high intense) พบตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2559 เป็นต้นไปจนถึงวันที่ 26 พฤษภาคม 2559 และมีภัยแล้งสูงจำนวน 26 วัน (ตารางที่ 4.5) โดยสรุป ในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราทั้งสองระดับความลึก มีภัยแล้งเล็กน้อย ภัยแล้งปานกลาง และภัยแล้งรุนแรง เท่ากับ 74, 33, และ 26 วัน ตามลำดับ



ภาพที่ 4.19 ดัชนีความชื้นในดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร และ 50 เซนติเมตร ในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราระหว่างวันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2559

ตารางที่ 4.5 จำนวนวันที่พบภัยแล้งในพื้นที่แปลงปลูกยางพารา ในปี 2559 ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช

ค่าดัชนี SMI	จำนวนวัน		เกณฑ์ที่ใช้วัดความแห้งแล้ง
	ความลึก 30 เซนติเมตร	ความลึก 50 เซนติเมตร	
-1 หรือมากกว่า	59	74	ภัยแล้งเล็กน้อย (Less intense)
-2 ถึง < -1	0	33	ภัยแล้งปานกลาง (Moderate dry)
-3 ถึง < -2	0	26	ภัยแล้งสูง (High intense)

เมื่อนำค่า SMI ที่ได้ไปจัดทำเป็นแผนที่ดัชนีความชื้นในดิน (SMI) ที่ระดับความลึก 30 และ 50 เซนติเมตร โดยแบ่งระดับความแห้งทางการเกษตรออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับปกติ (normal) แล้งเล็กน้อย (less Intense) แล้งปานกลาง (moderate) และแล้งสูง (severe) ตัวอย่างแผนที่แสดงดังภาพที่ 4.20 และภาพที่ 4.21 ซึ่งพื้นที่ ระดับปกติ (normal) และ แล้งเล็กน้อย (less intense) เป็นบริเวณที่มีความชื้นในดินเพียงพอสำหรับการเกษตรในช่วงเวลาดังกล่าว ส่วนในพื้นที่ที่มีภัยแล้งปานกลาง (moderate) และภัยแล้งสูง (severe) เป็นพื้นที่ซึ่งความชื้นในดินลดลงน้อยกว่า 50% ของความชื้นที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ (AW) ซึ่งเป็นจุดวิกฤตที่ทำให้เกิดภาวะแห้งแล้งทางการเกษตรในพื้นที่ ดังนั้นในการที่จะกำหนดช่วงเวลาในการให้น้ำของพืช จากการศึกษาของอภิชาติ และคณะ (2524) ได้ระบุกำหนดช่วงเวลาในการให้น้ำของพืช ควรให้น้ำในขณะที่ความชื้นในดินมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลืออยู่ 65 – 70% เพื่อคงไว้ซึ่งการเจริญเติบโตที่เป็นปกติของ

พืช ซึ่งจากภาพแผนที่ดัชนีความชื้นในดินที่แสดง สามารถนำไปพิจารณาการเริ่มให้น้ำแก่พื้นที่เพาะปลูกที่อยู่ในพื้นที่ moderate ได้

Map of soil moisture index in location points, year 2016 [depth 30 cm]

(Chang Klang Sub-district, Chang Klang District, Nakhon Si Thammarat)

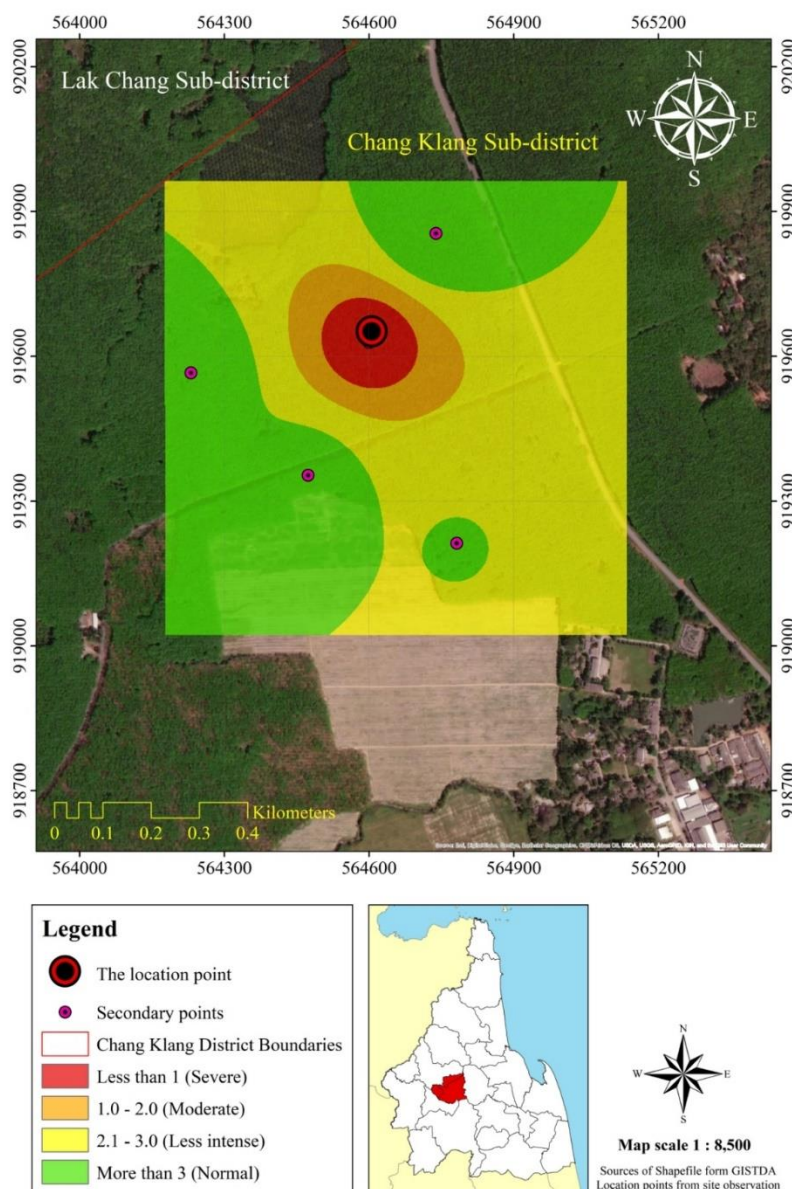


ภาพที่ 4.20 แผนที่แสดงดัชนีความชื้นในดินเฉลี่ยรายปีที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร บริเวณพื้นที่แปลงปลูกยางพารา ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ระหว่างวันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2559

จากภาพที่ 4.20 เป็นแผนที่แสดงดัชนีความชื้นในดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรของปี 2559 ซึ่งพบว่าในปีดังกล่าวพื้นที่แปลงปลูกยางพารา ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน โดยภาพรวมพื้นที่อยู่ในสภาวะปกติจนถึงมีภัยแล้งเล็กน้อย ในขณะที่พื้นที่ใกล้เคียงด้านนอกพื้นที่ศึกษามีสภาวะภัยแล้งปานกลางถึงภัยแล้งสูงปรากฏอยู่ แต่ในทางตรงกันข้ามดัชนีความชื้นในดินที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร แสดงให้เห็นชัดเจนว่า ในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราเกิดภาวะภัยแล้งปานกลางถึงภัยแล้งสูง แต่พื้นที่รอบข้างใกล้เคียงซึ่งอยู่ถัดออกมามีระดับสภาวะภัยแล้งเล็กน้อยจนถึงระดับปกติคือไม่มีภัยแล้งเกิดขึ้น (ภาพที่ 4.21)

Map of soil moisture index in location points, year 2016 [depth 50 cm]

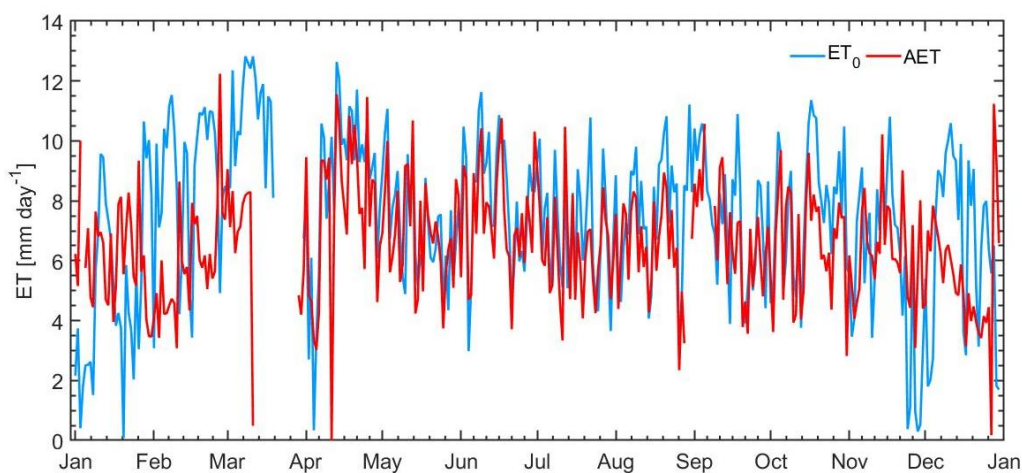
(Chang Klang Sub-district, Chang Klang District, Nakhon Si Thammarat)



ภาพที่ 4.21 แผนที่แสดงดัชนีความชื้นในดินเฉลี่ยรายปีที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร บริเวณพื้นที่แปลงปลูกยางพารา ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช ระหว่างวันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2559

4.5 ดัชนีความแห้งแล้งจากข้อมูลการคายระเหยน้ำ

เนื่องจากข้อมูลการตรวจวัดค่าการคายระเหยน้ำ (ET) ด้วยเทคนิค Eddy Covariance ได้มีการติดตามตั้งแต่วันที่ 18 กรกฎาคม ปีพ.ศ. 2559 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน และฝนได้ตกต่อเนื่องไปจนถึงต้นปีของปีถัดไปคือ อยู่ในช่วงตั้งแต่เดือนมกราคม ไปจนถึงเดือนเมษายน ปีพ.ศ. 2560 ซึ่งเป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนสูงสุดในปีดังกล่าว ดังนั้นข้อมูลสำหรับศึกษาดัชนีความแห้งแล้งจากข้อมูลการคายระเหยน้ำจึงใช้ข้อมูลการคายระเหยน้ำตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนพฤษภาคมปีพ.ศ. 2561 สำหรับศึกษาดัชนีชี้วัดการเกิดความแห้งแล้งในพื้นที่แปลงปลูกยางพารา ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการประเมินความแห้งแล้งโดยมีการพัฒนาดัชนีความแห้งแล้งการขาดดุลการคายระเหยน้ำที่ต่างจากเกณฑ์ปกติ (Standardized Evapotranspiration Deficit Drought Index; SEDI) ซึ่งดัชนีดังกล่าวเป็นดัชนีที่พิจารณาถึงพฤติกรรมทางด้านชีววิทยาของพืชร่วมด้วย จึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลการคายระเหยน้ำที่มีการเก็บรวบรวมก่อนหน้าสำหรับใช้เป็นค่าเฉลี่ยของการคายระเหยน้ำมาตรฐาน แต่ทว่าในพื้นที่ที่ทำการศึกษาศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียงไม่มีฐานข้อมูลการคายระเหยน้ำ ทำให้ข้อมูลค่ามาตรฐานของการคายระเหยน้ำในพื้นที่มีปรับไปใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายวันการคายระเหยน้ำจริง (actual evapotranspiration; AET) ที่วัดจากเทคนิค Eddy covariance และการคายระเหยน้ำอ้างอิง (reference evapotranspiration; ET_0) ในปีก่อนหน้าที่ได้คำนวณโดยใช้วิธีการของ Penman Monteith (1998) ซึ่งผลการวิเคราะห์หาค่า อัตราการคายระเหยจริง AET ที่มีอัตราการคายระเหยน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 6.54 ± 1.94 มิลลิเมตรต่อวัน และมีค่าอัตราการคายระเหยน้ำรวมตลอดทั้งปีเท่ากับ 2,237.9 มิลลิเมตรต่อปี ในขณะที่ ET_0 ของปี 2559 มีค่าเฉลี่ยการคายระเหยน้ำอยู่ที่ 7.44 ± 2.69 มิลลิเมตรต่อวัน และมีปริมาณอัตราการคายระเหยน้ำทั้งปีอยู่ที่ 2,635.6 มิลลิเมตรต่อปี (ภาพที่ 4.22)

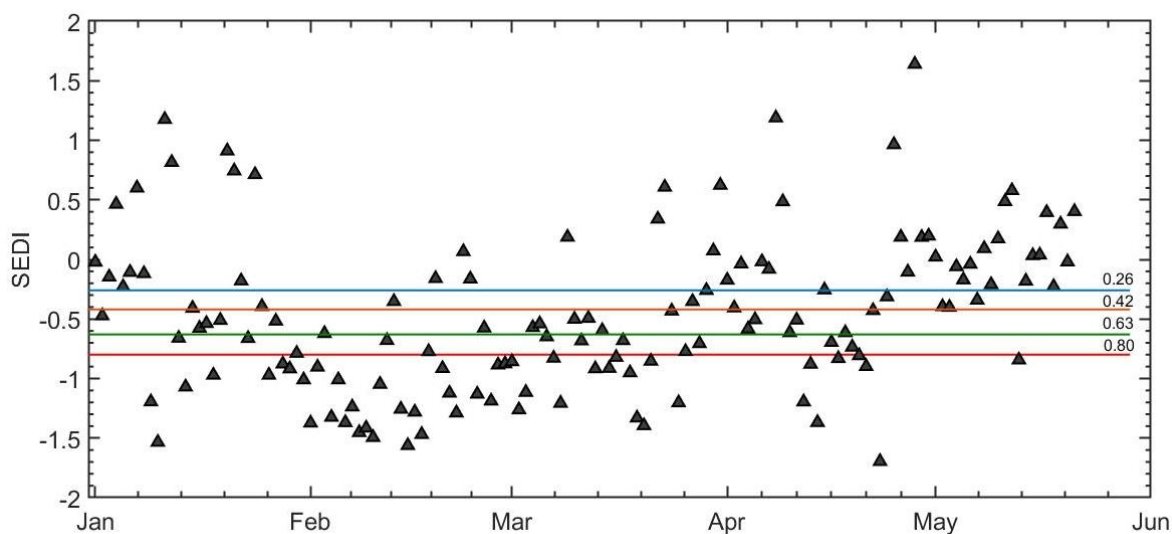


ภาพที่ 4.22 ข้อมูลการคายระเหยน้ำจริง (actual evapotranspiration; AET) และการคายระเหยน้ำอ้างอิง (reference evapotranspiration; ET_0) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 31 ธันวาคม ปีพ.ศ. 2560

ผลการวิเคราะห์ดัชนีการขาดดุลการคายระเหยที่ต่างจากเกณฑ์ปกติ (Standardized Evapotranspiration Deficit Drought Index; SEDI) ในแปลงปลูกยางพาราตั้งแต่วันที่ 1 มกราคมถึงวันที่ 22 พฤษภาคม ปี พ.ศ. 2561 พบว่า มีการเกิดความแห้งแล้งทุกระดับในพื้นที่ศึกษา โดยจากภาพที่ 4.23 เส้นตรงที่ต่างสีกัน แบ่งระดับภัยแล้งที่เกิดขึ้นในพื้นที่ จากภาพถ้าค่าดัชนี SEDI อยู่ต่ำกว่าเส้นสีแดงลงมาเป็นระดับภัยแล้งรุนแรงมาก ระหว่างเส้นแดงกับสีเขียวแสดงถึงระดับภัยแล้งรุนแรง ระหว่างเส้นสีเขียวถึงเส้นสีน้ำตาลแสดงถึงระดับภัยแล้งปานกลาง และเหนือเส้นสีน้ำเงินเป็นสภาวะปกติไม่มีภัยแล้ง

จากการศึกษาพบว่าภัยแล้งรุนแรงมาก ($SEDI \leq 0.8$) เริ่มปรากฏตั้งแต่วันที่ 9 มกราคมเป็นต้นไป และมีจำนวนถึง 50 วัน (คิดเป็น 35.21%) ภัยแล้งรุนแรง (SEDI มีค่าอยู่ระหว่าง -0.8 ถึง -0.63) พบ 12 วัน (คิดเป็น 8.45%) สำหรับภัยแล้งปานกลาง รุนแรง (SEDI มีค่าอยู่ระหว่าง -0.63 ถึง -0.42) มี 19 วัน (คิดเป็น 13.38%) ภัยแล้งเล็กน้อย รุนแรง (SEDI มีค่าอยู่ระหว่าง -0.42 ถึง -0.26) มี 10 วัน (คิดเป็น 7.04%) ในขณะที่จำนวนวันที่ไม่ปรากฏความแห้งแล้งและอยู่ในสภาวะปกติ รุนแรง (SEDI มีค่ามากกว่า -0.26 เป็นต้นไป) มีทั้งสิ้น 51 วัน (คิดเป็น 35.91%) (ภาพที่ 4.23) ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่วงระยะเวลาที่เกิดความแห้งแล้งนั้น สอดคล้องกับฤดูกาลทิ้งใบของต้นยางพารา และเป็นช่วงที่น้ำปริมาณความชื้นในดินก็มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในภาพที่ 4. 9

ดังนั้นดัชนี SEDI ที่พัฒนาจากข้อมูลการตรวจวัดในครั้งนี้สามารถใช้เป็นดัชนีในการติดตามความแห้งแล้งของพื้นที่ได้ และเป็นดัชนีความแห้งแล้งที่มีความเหมาะสมและใช้ได้ดีมากกว่าดัชนีปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิในการจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของระบบนิเวศอันเนื่องมาจากสภาวะความแห้งแล้ง (Zhang et. al, 2019) ดัชนีดังกล่าวสามารถพัฒนาต่อด้วยการใช้ข้อมูลหลาย ๆ ปี เพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการติดตามสภาวะภัยแล้งในพื้นที่ระบบนิเวศการเกษตร อย่างก็ตามผลการศึกษาที่ได้ในการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการติดตามสภาวะความแห้งแล้งในระดับหนึ่งและสามารถต่อยอดในการเปรียบเทียบกับข้อมูลระยะไกลจากดาวเทียมต่อไป อีกทั้งเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับพืชเกษตรอื่นๆ ได้

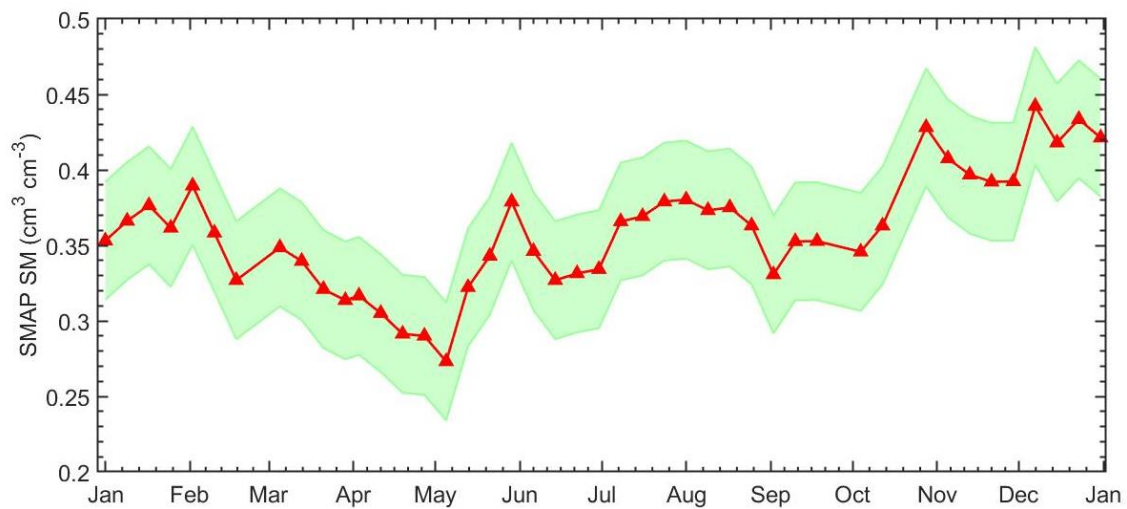


ภาพที่ 4.23 ดัชนีการขาดดุลการคายระเหยที่ต่างจากเกณฑ์ปกติ (Standardized Evapotranspiration Deficit Drought Index; SEDI) ในแปลงปลูกยางพาราตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 22 พฤษภาคม ปี พ.ศ. 2561

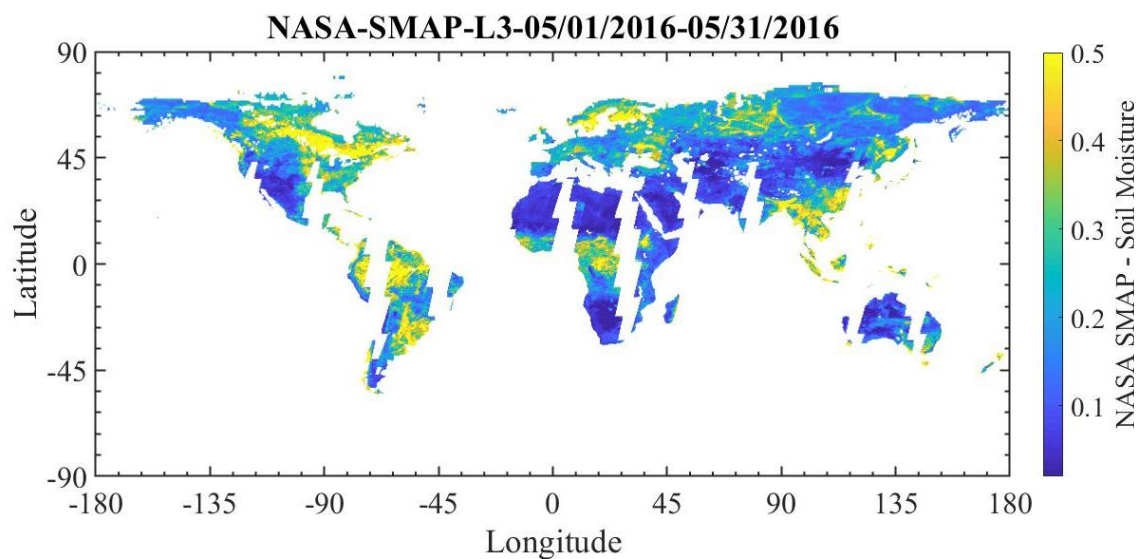
4.6 ความชื้นในดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกล

4.6.1 ความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียม

การวิเคราะห์ค่าความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP ตั้งแต่ช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2559 พื้นที่ศึกษาแปลงยางพารา ซึ่งข้อมูลจากดาวเทียม SMAP จะมีการบันทึกข้อมูลความชื้นของดินที่ตำแหน่งเดิมทุกๆ 8 วัน ทำให้แต่ละเดือนจะมีข้อมูลความชื้นในดิน 3-4 ครั้ง ทำให้ตลอดทั้งปีมีข้อมูลความชื้นของดินทั้งหมด 44 ครั้งจากข้อมูลดาวเทียม SMAP ในปี 2559 และพบว่าค่าความชื้นในดินโดยเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่าเท่ากับ $0.3590 \pm 0.0390 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ $0.4422 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ ซึ่งพบในวันที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2559 และค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ $0.2731 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ ซึ่งพบในวันที่ 5 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 (ภาพที่ 4.24) โดยค่าความชื้นในดินมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมีนาคมไปจนถึงเดือนพฤษภาคม และเพิ่มสูงขึ้นไปจนถึงเดือนมิถุนายน ตัวอย่างข้อมูลความชื้นในดินที่ได้จากดาวเทียม SMAP ในเดือนที่มีความชื้นต่ำสุด แสดงในภาพที่ 4.25 โดยกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเดือนธันวาคม โดยในช่วงเดือนธันวาคม จะมีค่าเฉลี่ยของความชื้นในดิน เท่ากับ $0.4287 \pm 0.0112 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$



ภาพที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยความชื้นในดิน $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากข้อมูลดาวเทียม SMAP ในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม ปี พ.ศ. 2559 เส้นทึบสีแดงแสดงถึงค่าความชื้นในดินจากข้อมูลดาวเทียม และแถบสีเขียวอ่อนแสดงถึงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\pm$ SD) ค่าความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียม



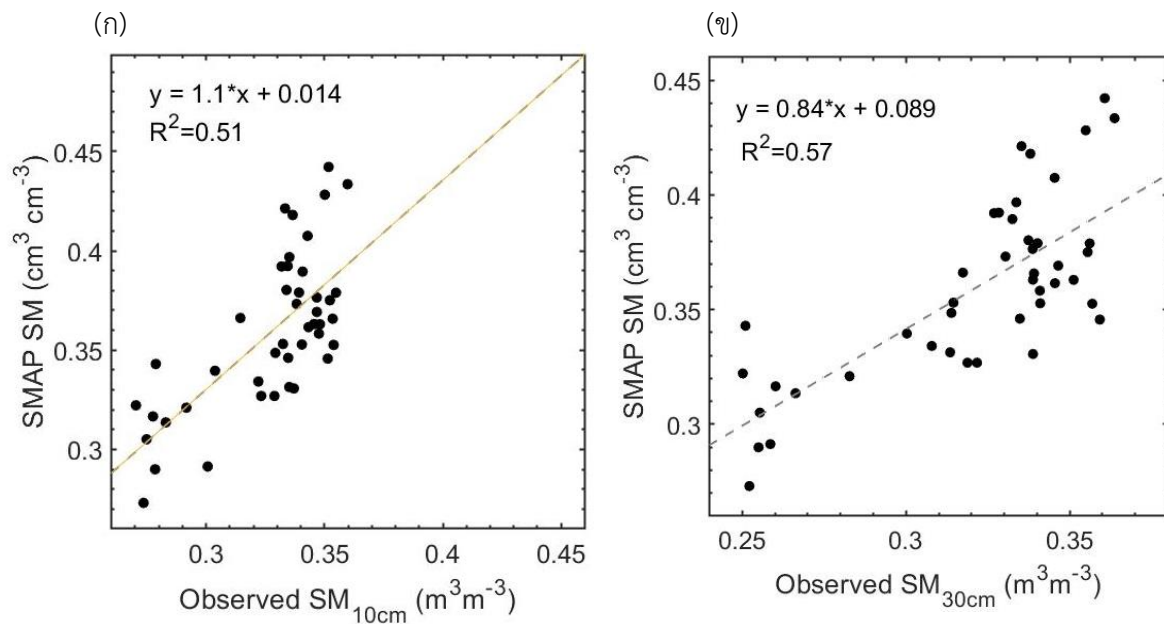
ภาพที่ 4.25 ข้อมูลความชื้นในดินที่ได้จากดาวเทียม SMAP เดือนพฤษภาคมปี พ.ศ. 2559

4.6.2 การเปรียบเทียบข้อมูลตรวจวัดภาคสนามกับข้อมูลความชื้นในดินจากการสำรวจระยะไกล

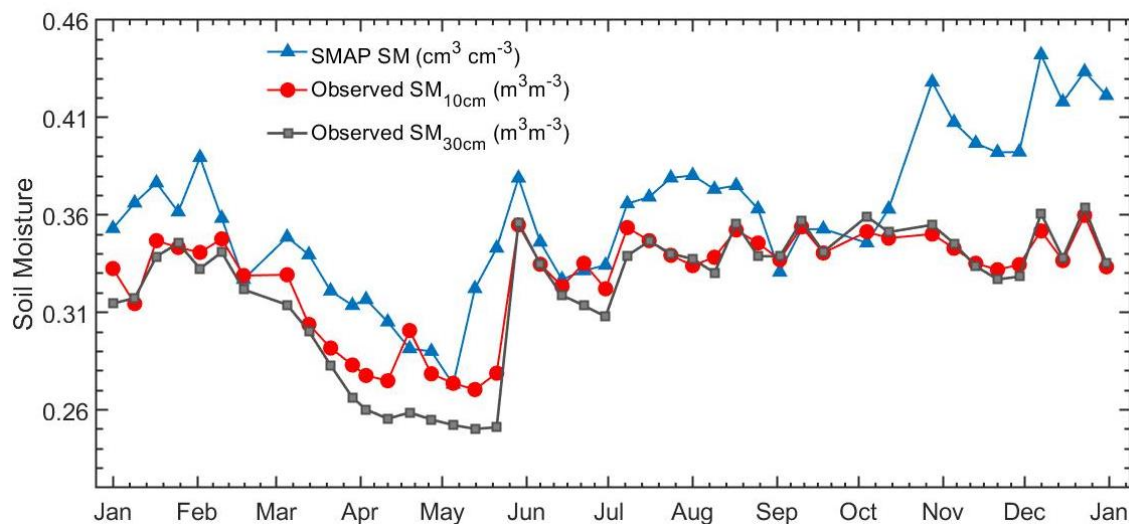
ข้อมูลความชื้นในดินจากการสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม SMAP ซึ่งใช้เครื่องวัดพลังงานรังสีในการวัดความชื้นของดินในระยะความลึก 0-5 เซนติเมตรจากพื้นดินและสามารถเก็บข้อมูลได้ครอบคลุมพื้นที่กว้าง สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดภาคสนาม สำหรับใช้เป็นตัวแทนข้อมูลความชื้นของดินที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาได้กว้างมากขึ้น โดยในการเปรียบเทียบข้อมูลความชื้นในดินภาคสนามได้เลือกวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลความชื้นของดินที่ระดับความลึก 10 และ 30 เซนติเมตรจากพื้นผิวดินลงไป เนื่องจากที่ระดับความลึกดังกล่าวสามารถพบเห็นการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นที่กับปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นได้ดีกว่าที่ระดับความลึกที่ลึกลงไปชั้นดิน ดังที่ได้นำเสนอภาพที่ 4.9 ก่อนหน้า

จากการเปรียบเทียบกับข้อมูลความชื้นในดินภาคสนามกับข้อมูลความชื้นจากภาพถ่ายดาวเทียม SMAT พบว่า ค่าความชื้นในดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SMAP มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับข้อมูลความชื้นในดินจากการตรวจวัดภาคสนามที่ทั้งสองระดับความลึก และเมื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าความชื้นในดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SMAP และค่าความชื้นในดินจากภาคสนาม ด้วยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่า ความชื้นในดินที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร (Observed SM_{10cm}) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.51 (ภาพที่ 4.26 ก) และที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร (Observed SM_{30cm}) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.57 (ภาพที่ 4.26 ข) ซึ่งแสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงเส้นของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามอยู่ในระดับปานกลางถึงมาก โดยข้อมูลความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียม SMAP กับข้อมูลความชื้นที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่าที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตรเล็กน้อย ทำให้เห็นว่าข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม SMAP ที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าความชื้นในดินสำหรับพื้นที่ระบบนิเวศเกษตรยางพาราได้ โดยใช้สมการเส้นตรงที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลดังแสดงในภาพ 4.26 ก และ 4.26 ข ไปประยุกต์หาความชื้นในพื้นที่แปลงยางพาราบริเวณอื่นๆ ได้

เมื่อพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์ของกราฟความชื้นในดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SMAP กับความชื้นของดินภาคสนามแสดงดังภาพที่ 4.27 ซึ่งเห็นได้ว่ากราฟของค่าความชื้นในดินที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SMAP สอดคล้องกับความชื้นในดินภาคสนาม และในช่วงที่ความชื้นของดินลดลงที่สามารถเห็นได้ตั้งแต่เดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม จะพบว่าเส้นกราฟของข้อมูลทั้งสองแหล่งมีแนวโน้มของค่าความชื้นในดินลดลงเหมือนกันอย่างชัดเจน แต่ในช่วงที่มีฝน เช่น ช่วงเดือนกรกฎาคม ถึงกันยายน และช่วงพฤศจิกายนถึงธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดฝนตกในพื้นที่จะเห็นว่าเส้นกราฟของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SMAP และข้อมูลความชื้นจากการตรวจวัดภาคสนามมีทิศทางที่ตรงข้ามกัน โดยค่าความชื้นที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสูงกว่าค่าตรวจวัดภาคสนาม น่าจะมีสาเหตุมาจากในช่วงฝนตก ความชื้นที่ได้รับส่วนใหญ่อาจจะยังลงไม่ถึงพื้นดินเนื่องจากเรือนยอดของยางพาราที่จะเป็นตัวกั้นน้ำฝน (Interception) ทำให้ดาวเทียมอ่านข้อมูลได้คลาดเคลื่อนจากความจริง



ภาพที่ 4.26 แผนภาพการกระจายเปรียบเทียบข้อมูลความชื้นในดินจากข้อมูลดาวเทียม SMAP (SMAP SM) กับ ข้อมูลความชื้นในดินจากการตรวจวัดในแปลงปลูกยางพารา; (ก) ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร (Observed SM_{10cm}) และ (ข) ที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร (Observed SM_{30cm}) ตั้งแต่เดือน มกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559

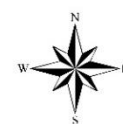
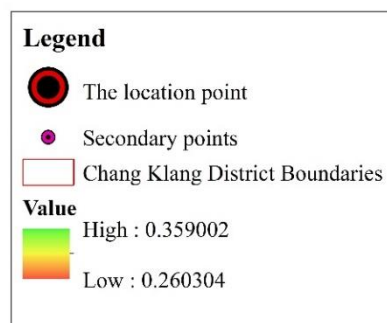
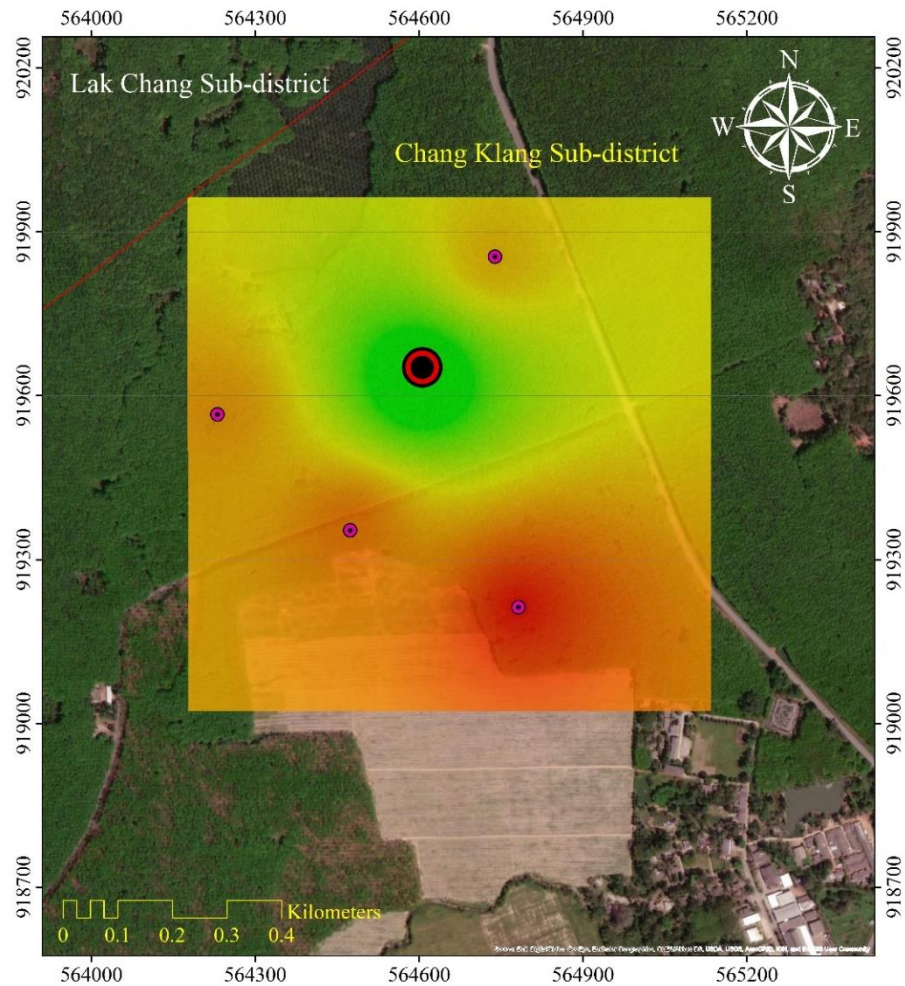


ภาพที่ 4. 27 การเปรียบเทียบความชื้นในดินจากข้อมูลภาพดาวเทียม SMAP (SMAP SM) กับข้อมูลความชื้นจากการตรวจวัดในแปลงปลูกยางพารา ระดับความลึก 10 เซนติเมตร (Observed SM_{10cm}) และ 30 เซนติเมตร (Observed SM_{30cm})

จากการศึกษาข้างต้นที่พบว่าข้อมูลความชื้นในดินจากภาพถ่ายดาวเทียม SMAP มีความสัมพันธ์กับความชื้นภาคสนามที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ดังนั้นข้อมูลความชื้นที่ระดับความลึกดังกล่าวจึงถูกนำไปสร้างเป็นแผนที่ความชื้นในดินของแปลงปลูกยางพารา เปรียบเทียบกับแผนที่ความชื้นในดินจากข้อมูลดาวเทียม SMAP โดยใช้โปรแกรม Arc GIS 10.3 และใช้เทคนิควิธีการแทรกค่า (Interpolation method) จัดทำแผนที่ความชื้นในดินสำหรับแปลงปลูกยางพารา แสดงดังภาพที่ 4.28 และภาพที่ 4.29 ซึ่งจากภาพจะ พบว่า ค่าเฉลี่ยความชื้นในดินรายปีจากข้อมูลดาวเทียม SMAP (ภาพที่ 4.28) กับค่าเฉลี่ยความชื้นในดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร (ภาพที่ 4.29) ให้ภาพแผนที่ที่มีค่าของความชื้นในดินที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP สามารถนำมาใช้ในการติดตามความชื้นในดินของแปลงปลูกยางพาราได้จากข้อมูลการศึกษาครั้งนี้ให้เห็นได้ชัดเจนว่า ข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตามความแห้งแล้งสำหรับพื้นที่แปลงปลูกยางพาราได้ และสามารถครอบคลุมพื้นที่ในระดับ large scale นอกจากนี้จะสามารถนำไปใช้เพื่อติดตามความชื้นในดินสำหรับพื้นที่การเกษตรอื่นๆ ได้เช่นเดียวกัน

Map of soil moisture values around location points in year 2016 [ref. SMAP]

(Chang Klang Sub-district, Chang Klang District, Nakhon Si Thammarat)



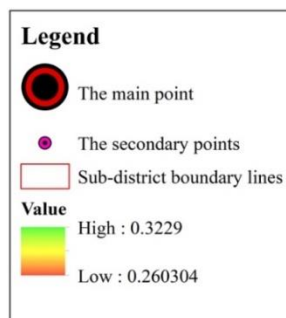
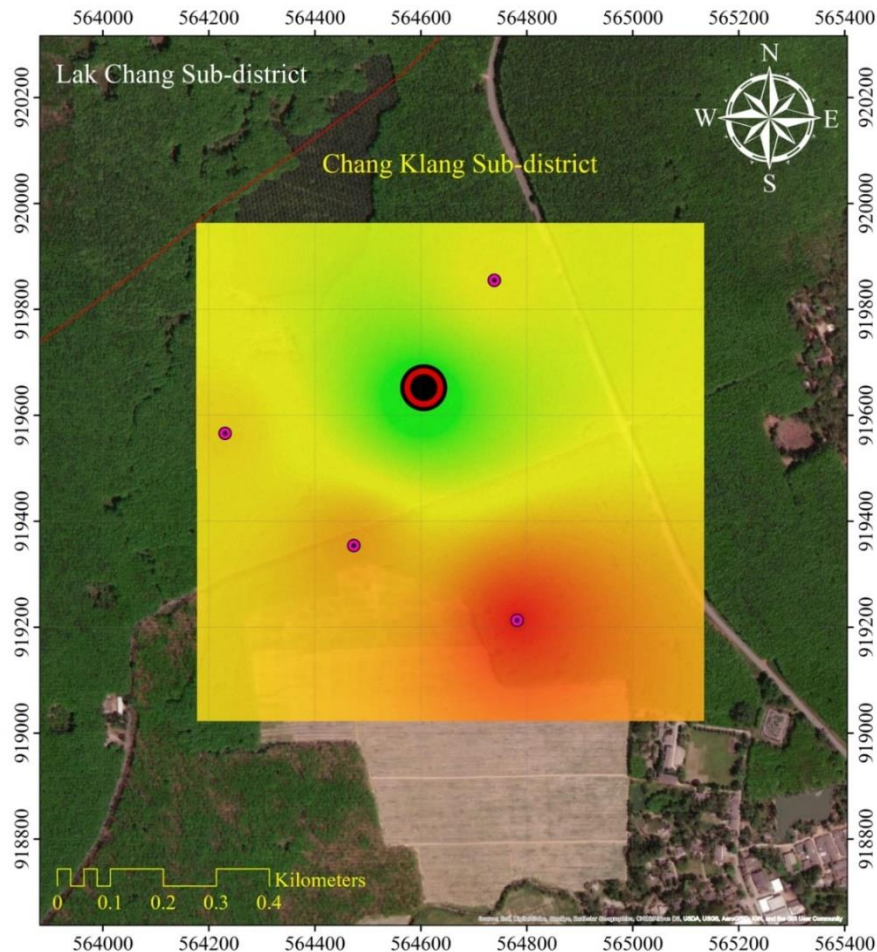
Map scale 1 : 8,500

Sources of Shapefile from GISTDA
Location points from site observation

ภาพที่ 4.28 ค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปีที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม SMAP ระหว่างวันที่ 1 มกราคม- วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2559

Map of soil moisture values around location points in year 2016 [depth 30 cm]

(Chang Klang Sub-district, Chang Klang District, Nakhon Si Thammarat)



ภาพที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปีที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ระหว่างวันที่ 1 มกราคม- วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2559 จากการตรวจวัดภาคสนามในแปลงปลูกยางพารา อำเภอนาบอน จังหวัด นครศรีธรรมราช

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา

พื้นที่ภาคใต้ถือเป็นแหล่งผลิตและส่งออกยางพาราที่สำคัญของประเทศ ที่สร้างรายได้เข้าสู่ประเทศปีละหลายล้านบาท แต่ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลกและการแปรปรวนของสภาพอากาศและปัจจัยสภาพแวดล้อม สามารถส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตชีวิตและระบบการผลิตทางการเกษตรที่ต้องพึ่งพิงลมฟ้าอากาศและน้ำฝนเป็นหลัก โดยเฉพาะยางพาราที่นับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศอย่างหนึ่ง และเป็นพืชที่ปลูกโดยอาศัยน้ำฝนจากธรรมชาติ การเจริญเติบโตรวมทั้งผลผลิตจึงขึ้นอยู่กับสภาพของลมฟ้าอากาศเป็นหลัก ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นทั้งประเด็นการเกิดภัยแล้งและฝนตกต่อเนื่องยาวนาน ย่อมส่งผลกระทบต่อผลผลิตยางลดลง และกิจกรรมทางการเกษตรของชาวสวนยางถูกจำกัด สร้างความเดือดร้อนให้แก่เกษตรกร ชาดรายได้มาเลี้ยงดูครอบครัว อีกทั้งส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังความยั่งยืนของระบบเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องของยางพารา การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมในระบบนิเวศเกษตรยางพาราอาจจะช่วยให้เข้าใจการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบนิเวศนี้ได้ ภายใต้สภาพการเปลี่ยนแปลงและความแปรปรวนของภูมิอากาศในอนาคต ซึ่งที่ผ่านมายังไม่ค่อยมีการศึกษาเกี่ยวกับดัชนีความแห้งแล้งในระบบนิเวศเกษตรยางพาราในภาคใต้ เพราะถือว่าภาคใต้เป็นพื้นที่ได้รับฝนตลอดทั้งปี แต่อย่างไรก็ตามในช่วงระยะหลายปีที่ผ่านมา พบว่า หลายพื้นที่ของภาคใต้ประสบภัยแล้ง เนื่องมาจากสภาพอากาศปัจจุบันที่มีรูปแบบและความแปรปรวน ทำให้ช่วงระยะเวลาในการเกิดฝนมีรูปแบบที่แตกต่างไปจากอดีต การมีระบบติดตามภัยแล้งในพื้นที่ระบบนิเวศเกษตรยางพาราจึงควรมีไว้สำหรับเตรียมพร้อมรับมือกับความแปรปรวนทางสภาพอากาศที่เกิดขึ้นทั้งในปัจจุบันและในอนาคต

การศึกษาค้นคว้านี้ดำเนินการศึกษาตั้งแต่เดือนมกราคม 2559 ถึงเดือน มิถุนายน 2561 และได้ศึกษาสมมูลพลังงานด้วยเทคนิค Eddy covariance ที่อัตราการ sampling rate 10Hz ที่ระดับความสูง 25 เมตรเหนือเรือนยอดของยางพารา ทำการตรวจวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ความเข้มแสง ปริมาณน้ำฝน ความดันบรรยากาศ ความชื้นในดิน เป็นต้น การหาดัชนีภัยแล้งในพื้นที่จากข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม และใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลในการเปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดภาคสนาม ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1). ผลการศึกษาสมมูลพลังงานในระบบนิเวศเกษตรยางพารา พบว่า รูปแบบการเปลี่ยนแปลงพลังงานของ R_n , LE , H , G ในระบบนิเวศเกษตรยางพาราในรอบวันจะมีลักษณะเป็นไปตามปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ โดยค่าสมมูลพลังงานมีความผันแปรตลอดปี พลังงานส่วนใหญ่ที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ ถูกใช้ไปเพื่อการระเหยของน้ำ (LE) ซึ่งถือเป็นลักษณะเด่นของสมมูลพลังงานในระบบนิเวศ และจะมีสัดส่วนสูงในช่วงหน้าฝน ในขณะที่พลังงานที่ใช้ในการเผาอากาศ (H) จะเกิดมากในช่วงฤดูแล้งและฤดูการทิ้งใบของยางพารา ส่วนความร้อนที่เก็บไว้ในดิน (G) ค่อนข้างคงที่ตลอดการตรวจวัดเนื่องจากมีสิ่งปกคลุมโดยพืชมากทำให้พลังงานส่วนใหญ่ถูกเก็บไว้ในชีวมวล ค่าเฉลี่ย R_n , H , LE , G และ storage ในระบบนิเวศเกษตรยางพารา เท่ากับ 368.15, 95.11, 203.7, 9.40, 59.94 $W m^{-2}$ ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นสัดส่วน และมีสัดส่วนประมาณ 46.94, 30.84, 3.63% ที่เหลือ 11.70% คาดว่าเป็นพลังงานที่กักเก็บไว้ในระบบนิเวศ ซึ่งสัดส่วนของพลังงานสุทธิที่ใช้สำหรับการระเหยน้ำในระบบนิเวศเกษตรจากการศึกษาค้นคว้านี้มีสัดส่วนน้อยกว่าการศึกษาของ Giambelluca et.al (2016) ซึ่งได้ทำการศึกษาในระบบนิเวศยางพาราพื้นที่บึงกาฬ ทางภาคเหนือของประเทศไทยและในประเทศกัมพูชา

2) อัตราการคายระเหยน้ำของระบบนิเวศเกษตรยางพารา มีอัตราการคายระเหยน้ำอยู่ในช่วง 1.32 ถึง 9.96 mm day^{-1} โดยค่า ET เฉลี่ยในรอบวันช่วงฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.19 \pm 0.11 \text{ mm}$ และฤดูฝนมีค่าเท่ากับ $0.30 \pm 0.18 \text{ mm}$ ค่าการคายระเหยน้ำมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ และ ปริมาณไอน้ำที่อากาศรับเพิ่มได้ (VPD) ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าการคายระเหยที่ได้จากแปลงปลูกยางพาราครั้งนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของพูนพิภพ เกษมทรัพย์ และคณะ (2557)

3) ดัชนีความชื้นในดินจากข้อมูลความชื้นภาคสนามที่ระดับความลึก 30 และ 50 เซนติเมตร สามารถนำไปใช้ในการติดตามภัยแล้งในพื้นที่ได้ โดยพบว่าในปี 2559 พื้นที่แปลงปลูกยางพาราพบความแห้งแล้งเกิดขึ้นตั้งแต่วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2559 ซึ่งเป็นภัยแล้งเล็กน้อย และพบว่ามีภัยแล้งรุนแรงตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม ไปจนถึงวันที่ 26 พฤษภาคม 2559 โดยสรุปในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราของปี 2559 มีความแห้งเกิดขึ้น 3 ระดับ คือ มีภัยแล้งเล็กน้อย ภัยแล้งปานกลาง และภัยแล้งรุนแรง เท่ากับ 133, 33, และ 26 วันตามลำดับ

4) ดัชนี SEDI สำหรับการบ่งชี้ความแห้งแล้งระหว่างวันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 22 พฤษภาคม ปี 2561 พบภัยแล้งรุนแรงมาก ภัยแล้งรุนแรง ภัยแล้งปานกลาง ภัยแล้งเล็กน้อย เท่ากับ 50, 12, 19, และ 10 วัน ตามลำดับ คิดเป็นสัดส่วน 35.2, 8.45, 13.38, และ 7.04 % ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลนี้วิเคราะห์ได้สอดคล้องช่วงฤดูกาลทิ้งใบของต้นยางพาราและการลดลงของปริมาณน้ำในดิน

5) ค่าความชื้นในดินจากข้อมูลดาวเทียม SMAP และข้อมูลความชื้นในดินภาคสนามที่ระดับความลึก 10 และ 30 เซนติเมตร มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันโดย ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.51 และที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.57

6) แผนที่ความชื้นในดินของแปลงปลูกยางพาราเปรียบเทียบกับแผนที่ความชื้นในดินจากข้อมูลดาวเทียม SMAP แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยความชื้นของดินรายปีจากข้อมูลดาวเทียม SMAP กับค่าเฉลี่ยความชื้นในดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าข้อมูลความชื้นในดินจากดาวเทียม SMAP สามารถนำมาใช้ในการติดตามความชื้นในดินของแปลงปลูกยางพาราได้ และสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างกว่าการตรวจวัดภาคสนาม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์สร้างเป็นดัชนีความแห้งแล้งจากข้อมูลระยะไกลต่อไปได้

อย่างไรก็ตามในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษ สภาพจุลอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่บางปีเป็นช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำฝนมากกว่าช่วงเวลาปกติสูงมาก โดยเฉพาะในปี 2560 ที่มีจำนวนวันฝนตกทั้งสิ้น 247 วัน และมีปริมาณน้ำฝนรวมทั้งสิ้น 11,824.4 มิลลิเมตร ทำให้ข้อมูลในปีดังกล่าวเป็นข้อจำกัดในการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนพลังงานด้วยเทคนิค Eddy covariance และส่งผลให้ปีดังกล่าวปริมาณความชื้นในดินอยู่ในระดับสูงตลอดทั้งปี จึงไม่นำข้อมูลในปีดังกล่าวมาใช้ในการติดตามดัชนีความแห้งแล้งในพื้นที่ของการศึกษาครั้งนี้ นอกจากนี้ผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องของข้อมูลระยะไกลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ติดตามการเกิดสภาวะภัยแล้งในระบบนิเวศเกษตรยางพาราได้ แม้ว่าจะเป็นระบบนิเวศที่มีลักษณะต้นไม้สูงปรากฏอยู่เป็นลักษณะเด่น ดังนั้น ผลการศึกษานี้จึงมีแนวทางที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบนิเวศที่มีพื้นที่ลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน หรือขยายผลไปยังระบบนิเวศอื่นๆ ทั้งระบบนิเวศการเกษตร หรือระบบนิเวศในธรรมชาติต่อไปได้

บรรณานุกรม

- กรรณิการ์ ชีระวัฒนสุข และ นภาพรณ เลขะวิวัฒน์. 2554. “สถาบันวิจัยยาง 408” พันธุ์ยางใหม่ของสถาบันวิจัยยาง. วารสารยางพารา 3: 2-17.
- กรรณิกา ศรีธันโท และ นพกร พรหมรักษา. 2557. การประเมินความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชรโดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. มหาวิทยาลัยนเรศวร, คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. Retrieved 17 กรกฎาคม 2561.
http://www.agi.nu.ac.th/nred/Document/is-PDF/2556/geo_2556_02_FullPaper.pdf.
- กรมชลประทาน. 2547. การบริหารจัดการชลประทานโดยเกษตรกรรมมีส่วนร่วมด้านการสงน้ำและบำรุงรักษา. กลุ่มงานพัฒนาการบริหารจัดการน้ำ สำนักกอกวิทยาและบริหารน้ำ.
- กรมทรัพยากรน้ำ. 2559. Retrieved วันที่ 26 ธันวาคม 2561.
<https://www.thaiwater.net/current/2016/drought59/drought59.html>.
- กรมทรัพยากรน้ำ. 2556. ภัยแล้งภาคใต้ตอนบนกับการแก้ไขปัญหา. Retrieved 2 ตุลาคม 2562.
https://www.dwr.go.th/contents/files/article/article_th-20032013-143816-786935.pdf
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2551. สถานการณ์สิ่งแวดล้อมในประเทศไทย. 6.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2533. คู่มือเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร เรื่อง ยางพารา. กรุงเทพฯ: กลุ่มยางพารา กองส่งเสริมพืชพันธุ์ กรมส่งเสริมการเกษตร.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2554). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. Retrieved 17 ธันวาคม 2561.
<http://climate.tmd.go.th/content/article/9>
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2560. <http://www.climate.tmd.go.th/>. Retrieved 20 พฤศจิกายน 2561.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2557). ภัยแล้ง. Retrieved 20 พฤศจิกายน 2561.
<https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=71>
- เกษม จันทรแก้ว. 2551. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กุลวดี บุญบุตร และ ยุพเรศ ภูง. 2554. การประเมินรูปแบบความแห้งแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra-MODIS. Retrieved 18 มีนาคม 2560.
<http://202.28.94.47/Project/2554/G12/Report12.pdf>.
- กุลวดี แก่นสันติสุขมงคล และคณะ. 2556. แนวทางการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับชุมชน: สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.
- แคสส มงคลสวัสดิ์ และชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. 2552. แนวทางการใช้ดัชนีพืชพรรณและความชื้นของข้อมูลดาวเทียมหลายช่วงเวลาเพื่อติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งจากสภาวะซีฟลักซ์ของป่ามรสุมเขตร้อน. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย 10(2): 33-53.
- ชลาลัย แจ่มผล. 2547. ความรุนแรงของความแห้งแล้งในประเทศไทย. กลุ่มภูมิอากาศ. สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. กรมอุตุนิยมวิทยา.

- ณกร วัฒนกิจ, (2551) การตรวจวัดความแห้งแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ด้วยดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลา /. มหาวิทยาลัยขอนแก่น,:ม.ป.ท.
- ธีระพงศ์ ทองคำ, วิชัย พันธนะหิรัญ, และชาลี นาวานุเคราะห์. 2554. การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งในจังหวัดอุทัยธานี. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. Retrieved 26 กรกฎาคม 2562. <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/JOS/article/view/2134>.
- นิรมล แสงจันทา, สุภัทร อิศรางกูร ณ อยุธยา, สมยศ มีท่า, พชริน สงศรี, และเกริก ปั่นแห่งเพ็ชร. 2557. ผลของภูมิอากาศต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. แก่นเกษตร. 42: 160-165.
- นิพนธ์ ตั้งธรรม, ทรงธรรม สุขสว่าง, และสำเร็จปานอุทัย. 2547. สมดุลพลังงานในระบบนิเวศป่าเขตร้อน. ใน “การจัดการระบบนิเวศป่าเขตร้อนแบบผสมผสาน: ประสบการณ์จากสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง, บุญวงศ์ ไทยอุดส่าห์ และ ลดาวัลย์ พวงจิตร (บรรณาธิการ). สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 268 หน้า.
- บัญชา สมบูรณ์, สมยศ หุ่นหว้า, กนกพร ภาชีรัตน์, ไชยยะ คงมณี, และ Benedicte Chambon. 2554. ผลการปรับปรุงระบบกริดต่อเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกรชาวสวนยางขนาดเล็ก. รายวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประวิทย์ จันทรแห่ง. 2553. การวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งในพื้นที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐมโดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- พัฒนา วิจิตรพงษ์สกุล, จรูญ สารินทร์, พันธิพิย กล่อมเจ็ก, และสมบัติ ชื่นชุกกลิ่น. 2016. การวิเคราะห์ระดับความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำสะแกกรังด้วยดัชนีน้ำฝนมาตรฐาน และดัชนีความแห้งแล้งทางอุตุนิยมวิทยา. Naresuan University Journal: Science and Technology 24(3): 123-135.
- พูนพิภพ เกษมทรัพย์, ดวงรัตน์ ศตคุณ, เจษฎา ภัทรเลอพงศ์, เชษฐ สาทรกิจ, อารังรัตน์ มุ่งเจริญ, ชมภูษณา เวช, ทิพา พาโคกหม, อรุมา ดั่งงาม, ดอกแก้ว จุระ, หาญพล พิงค์ศรี, ไพรัช อุดมรัตน์, กฤษดา สังข์สิงห์, และ พิสมัย จันทมา. 2557. โครงการ “การศึกษาสมดุลคาร์บอนและน้ำเพื่อใช้เป็นข้อมูลทำคาร์บอนฟุตพริ้นต์และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของสวนยางพารา”.
- รายงานผลการสำรวจยางพารา. 2560. <https://www.opsmoac.go.th/satun-dwl-files-411291791855>. (สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2562)
- วศิน สดศรี และ ประภาพรรณ ชื้อสัตย์. 2561. การใช้ค่าดัชนีความชื้นในดิน SMI เพื่อติดตามสภาวะแห้งแล้งทางการเกษตร กรณีศึกษา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากระเสียว จังหวัดสุพรรณบุรี. 11th THAICID NATIONAL SYMPOSIUM 20 มิถุนายน 2561 ณ โรงแรมริชมอนด์ จังหวัดนนทบุรี 194-202.

- วิรัช วรานุจิตรต์, จิราภรณ์ จุฑากรณ์, สมาน ปราการรัตน์, ประเมศร์ อมาตยกุล, เทวินทร์ โจมทา, สกฤตรัตน์ ศุภรัตน์พันธ์, อภิชัย ฤทธิพันธ์, อนันต์ ศฤงคารภาสิต, อติสร สมหวัง, มนูญ ปางพรหม, ฤทัยกาญจน์ บัวเผียน, ปรีชา กาเพชร, และชิตชนก ผลโคก. 2554. ดรรชนีความแห้งแล้งสำหรับประเทศไทย. กรมอุตุนิยมวิทยา. เอกสารวิชาการเลขที่ 551.38-1-2554 Retrieved 30 เมษายน 2561. http://www.arcims.tmd.go.th/Research_files/ดรรชนีความแห้งแล้งสำหรับประเทศไทย.pdf.
- ศรปราชญ์ ธันยวรยางค์กูร, พูนพิภพ เกษมทรัพย์ และกฤษฎา สังข์สิงห์. 2544. ลักษณะเรือนพุ่มกับการรับแสง กระบวนการสร้างและสลายสารประกอบคาร์บอนของยางพารา. นครปฐม: รายงานวิจัย สรีรวิทยาการผลิตยางพารา ปีงบประมาณ 2543 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศศิธร เพียนเลิศ ปิยพงษ์ ทองดินนอก นฤมล แก้วจำปา. 2561. การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งโดยใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลและข้อมูลอุตุนิยมวิทยา บริเวณลุ่มน้ำสาขาเชิง. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 18(3): 67-83.
- ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. Retrieved 15 ตุลาคม 2562. <http://climate.tmd.go.th/content/file/435>.
- ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย. 2558. สารสัมพันธ์. ปีที่ 7 (2). หน้า 1-31.
- สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2548. มหัศจรรย์พันธุ์ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ
- สถาบันวิจัยยาง. 2546ก. คาแนะนาพันธุ์ยางปี 2546. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สถาบันวิจัยยาง. 2546ข. พันธุ์ยางเนื้อไม้สูงปี 2545. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สถาบันวิจัยยาง. 2561. Retrieved 22 ตุลาคม 2562. http://www.raot.co.th/download/technical_data_of_rubber_61.pdf.
- สุทัศน์ ด้านสกุลผล. 2543. ลักษณะประจำพันธุ์ยาง (ตอน 2). วารสารยางพารา 20: 87-108.
- สุประพล วัตตะสิริชัย. 2542. การคาดคะเนอัตราการระเหยจากผิวดินการระเหยแบบ เอ และการวิเคราะห์ค่าการระเหยของน้ำจากอ่างเก็บน้ำ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์/กรุงเทพฯ.
- สมเจตน์ ประทุมมิตร, จานงค์ คงศิลป์, van Ranst, E. และ Verplancke, H. 3656. การประยุกต์ใช้ระบบภูมิสารสนเทศ และแบบจำลองการผลิตจัดหาแผนที่ศักยภาพการผลิตยางพารา กรณีศึกษา: จังหวัดจันทบุรี. วารสารเทคโนโลยีอากาศและภูมิสารสนเทศ 1: 67-77.
- สมเจตน์ ประทุมมิตร, ประสาท เกศวิทย์ และประพาส ร่มเย็น. 3657. แผนที่ศักยภาพการผลิตยางพาราเพื่อการขยายพื้นที่ปลูกยางปี พ.ศ. 3658-3657 ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สมพิศ นิธิยานันท์. 2546. การวิเคราะห์ภัยแล้งและพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งในจังหวัดนครราชสีมา. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). มหาวิทยาลัยรามคำแหง, คณะศึกษาศาสตร์, ภาควิชาภูมิศาสตร์.

- สถาบันวิจัยยาง. 2561. ข้อมูลวิชาการยางพารา 2561. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สายัณห์ สดุดี. 2534. สภาพแวดล้อมในการผลิตพืช. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- สายัณห์ สดุดี, อัศมน ลิ่มสกุล และ วุฒิชัย แพงแก้ว. 2557. ความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในภาคใต้ของประเทศไทยที่มีผลต่อการผลิตยางพารา. สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. ยางพารา: เนื้อที่กรีดยางได้ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2557 – 2559. Retrieved 24 ธันวาคม 2561.
<http://www.oae.go.th/download/prcai/farmcrop/rubber.pdf>
- เสาวนีย์ ก่อวุฒิกรังสี. 2546. การตรวจสอบปริมาณและผลกระทบของ *Ammonium Laurate* ในน้ำยางธรรมชาติ. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อัศมน ลิ่มสกุล, แสงจันทร์ ลิ่มจิรากาล, ธชณัฐ ภัทรสถาพรกุล, นิตยา นักระนาด มิลน์และบุญชอบ สุทมนัสวงศ์. 2553. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฝนช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในประเทศไทย. รายงานการประชุมวิชาการนานาชาติ เรื่อง ประเทศไทยกับภูมิอากาศ ครั้งที่ 1 ความเสี่ยงและโอกาสท้าทายในกลไกการจัดการสภาพภูมิอากาศโลก ณ ศูนย์ประชุมอิมแพ็ค เมืองทองธานี จังหวัด นนทบุรี. 19-21 สิงหาคม 2553.
- อัศมน ลิ่มสกุล และแสงจันทร์ ลิ่มจิรากาล. 2554. ข้อมูลการตรวจวัดที่ผิวพื้นและในบรรยากาศ ใน: รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานการณ์องค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1: องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. คณะทำงานกลุ่มที่ 1 สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย [อัศมน ลิ่มสกุล, อาณาจ ชิดไธสง และกัณทิพย์ บุญประกอบ (บรรณาธิการ)].
- อัศมน ลิ่มสกุล, สายัณห์ สดุดี และวุฒิชัย แพงแก้ว. 2556. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและแนวโน้มผลกระทบต่อยางพาราในภาคใต้ของประเทศไทย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.
- อนรรตน์ ศฤงคารภาจิต, วิรัช วรรณจิตต์ และมนูญ ปางพรหม. 2554. ประเมินการใช้ค่าดัชนีความชื้นในดินแบบสมมูลน้ำที่จังหวัดขอนแก่น. เอกสารผลงานอดุณิคมวิทยา กรมอดุณิคมวิทยากระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กรุงเทพฯ.
- เอกรัฐ สีขาว, ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, และ รัชมี สุวรรณวีระกำธร. 2556. การใช้ดัชนีพืชพรรณมาตรฐานเพื่อประเมินพื้นที่ความแห้งแล้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. การประชุมวิชาการ เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2556 25-27 ธันวาคม 2556 ณ อิมแพ็ค ฟอรั่ม เมืองทองธานี
- อภิวัฒน์ ก้อนทอง และ ปานวิทย์ ชูะนุติ. 2015. ค่าดัชนีที่ใช้ในการตรวจจับพื้นที่ภัยแล้ง. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศลาดกระบัง 4 (1). Retrieved 19 กันยายน 2561.
http://www.it.kmitl.ac.th/~journal/index.php/main_journal/article/view/45/33.
- อภิรัฐ ปิ่นทอง และบัญชา ขวัญยืน. 2016. การติดตามความแห้งแล้งด้วยดัชนีความแห้งแล้งรวม. Research Journal-Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 15(2): 45-53.

อรรคเดช ศรีบุตตะ และพัชรี แสนจันทร์. 2545. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกและแนวโน้มในอนาคต. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 12: 59-64.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper No.56: p.300.

Asaeda, T., Hai, D. N., Manatunge, J., Williams, D. and Roberts, J. 2005. Latitudinal characteristics of below-and above-ground biomass of *Typha*: A modelling approach. *Annals of Botany* 96: 299-312.

Blake, G. R. and Hartge, K. H. 1986a. Bulk density. In *Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. (ed. A. Klute) pp. 363-375. Wisconsin: American Society of Agronomy, Inc.

Blake, G. R. and Hartge, K. H. 1986b. Particle density. In *Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. (ed. A. Klute) pp. 377-382. Wisconsin: American Society of Agronomy, Inc.

Bonan, G.B. 2002. *Ecological Climatology: Concepts and applications*. Cambridge University Press, Cambridge. 678 pp.

Bouyoucos, G.J. 1951. A Recalibration of the Hydrometer for Making Mechanical Analysis of Soils. *Agronomy Journal*. 43: 434-438.

Chen, D., Huang, J. and Jackson, T. J. 2005. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands. *Remote Sensing of Environment* 98: 225-236.

Caccamo, G., Chisholm, L. A., Bradstock, R. A. and Puotinen, M. L. 2011. Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 115 (10), 2626-2639.

Duffie, J.A. and W.A. Beckman. 1991. *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley and Sons : 250-329.

Eswar, R., Das, N. N., Poulsen, C., Behrangi, A., Swigart, J., Svoboda, M., Entekhabi, D., Yueh, S., Doorn, B. and Entin, J. 2018. SMAP Soil Moisture Change as an Indicator of Drought Conditions. *Remote Sense*, 10(5): 788.

Forken, T. 2008. *Micrometeorology*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 306 pp.

Giambelluca, T.W., Mudd, R.G., Liu, W., Ziegler, A.D., Kobayashi, N., Kumagai, T., Miyazawa, M., Lim, T.K., Huang, M., Fox, F., Yin, S., Mak, S.V. and Kasemsap, P. 2016. Evapotranspiration

- of rubber (*Hevea brasiliensis*) cultivated at two plantation sites in Southeast Asia. *Water Resources Research*, 52, 660-679. doi: 10.1002/2015WR017755
- Hunt, E.D., Hubbard, K. G., Wilhite, D. A., Arkebauer, T. J., and Dutcher, A. L. 2008. The development and evaluation of a soil moisture index. *Int. J. Climato.* 29: 747 –759.
- Isarangkool Na Ayuuthaya, S., Do, F.C., Pannengetch, K., Junjittakarn, J., Maeght, J.-L., Rocheteau, A. and Chochard, H. 2011. Water loss regulation in mature *Hevea brasiliensis*: effects of intermittent drought in the rainy season and hydrolic regulation. *Tree Physiol.* 31: 751-762.
- Jaenicke, J., Enghart, S. and F. Siegert. 2011. Monitoring the effect of restoration measure in Indonesian peatlands by radar satellite imagery. *Journal of Environmental Management* 92, (March): 630-638.
- Jensen, M.E., Burman, R.D. and Allen, R.G. (eds). 1990. *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*, Am. Soc. Civ. Engr. Manuals and Repts. on Eng. Practice No. 70, ISBN 0-87262-763-2, 360 p
- Justus, J. R. and Fletcher, S. R. 2006. Global climate change In: CRS issue brief for congress. Congressional Research Service. The Library of Congress.
- Kaimal, J.C., and Finnigan, J.J. 1994. *Atmospheric Boundary Layer Flow: Their structure and measurement*, Oxford University Press, New York, 289 pp.
- Kar, G. and Kumar, A. 2007. Surface energy fluxes and Crop water stress index in groundnut under irrigated ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology* 146. 94-106.
- Moraes, V.H.F., Alvim, P. de T. and Kozłowski, T. 1977. Rubber. In: *Ecophysiology of Tropical Crop*. Academic Press, New York, pp. 315-331.
- Mckee T.B. Doesken, N.J. and J. Kleist. 1993. The Relationship of Drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 17-22, 1993 Anaheim CA, pp 179-186.
- Palmer W. C. 1965. *Meteorological Drought*. Research Paper No.45. Office of Climatology, U.S. Weather Bureau, Washington, D.C.
- Petsri, S., Chidthaisong, A., Pumijumnong, N., Wachrinrat, C., 2013. Greenhouse gas emissions and carbon stock changes in rubber tree plantations in Thailand from 1990 to 2004. *J. Clean. Prod.* 52, 61-70.
- Pratummintra, S., van Ranst, E., Verplancke, H., Shamshuddin, J., Zauyah, S. and Yew, F. K. 2002. The maximum production potential model for rubber in East Thailand. *Malaysian Society of Soil Science* 664: 413-427.

- Rao, G. G., Rao, P. S., Rajagopal, R., Devakumar, A. S., Vijayakumar, K. R. and Sethuraj, M. R. 1990. Influence of soil, plant and meteorological factors on water relations and yield *Hevea brasiliensis*. *International Journal of Biometeorology* 34: 175-180.
- Rao, P.S., Saraswathyamma, C.K. and Sethuraj, M.R. 1998. Studies on the relationship between yield and meteorological parameters of para rubber (*Hevea Brasiliensis*). *Agri. For. Met.* 90: 235-245.
- Richardson, A. D., Keenan, T. F., Migliavacca, M., Ryu, Y., Sonnentag, O. and Toomey, M. 2013. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology* 169, 156-173.
- Raj, S., Satheesh, P.R., and Jacob, J. 2011. Evidence for climate warming in some natural rubber growing regions of south India. *Natural Rubber Research*, 24 (1), pp. 10-17.
- Saengruksowong, C., Dansagoonpan, S. and Thammarat, C. 1983. Rubber planting in the North Eastern and Northern regions of Thailand. Paper presented at the International Rubber Research Development Board Symposium, Beijing, China, 12-14 May 1983.
- Satheesh, P. R. and Jacob, J. 2011. Impact of climate warming on natural rubber productivity in different agro-climatic regions of India. *Natural Rubber Research* 24: 1-9.
- Sethuraj, M.R. and Raghavendra, A.S. 1987. Tree Crop Physiology. In *Rubber* (eds M.R. Sethuraj and A.S. Raghavendra), pp. 193-223. Elsevier, New York.
- Simmonds, N. W. 1989. Rubber breeding. In: *Rubber* (eds. C. C., Webster and W. J., Baulkwill) New York, Longman Scientific and Technical. pp. 85-124.
- Soegaard H. 1999. Fluxes of carbon dioxide, water vapour and sensible heat in a boreal agricultural area of Sweden-scaled from canopy to landscape level. *Agricultural and Forest Meteorology* 146: 463-478.
- Sohrabi, M.M., Asce, J.H.R.M, Abatzoglou, J. and Tracy, J. 2015. Development of soil moisture drought index to characterize droughts. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20 (11): 04015025.
- Sridhar, V., Hubbard, K. G., You, J. and Hunt, E. D. 2008. Development of the Soil Moisture Index to Quantify Agricultural Drought and Its "User Friendliness" in Severity-Area-Duration Assessment. *Journal of hydrometeorology*, 9: 660-676.
- Takeuchi, W., Hirano, T., Anggraini, N. and Roswintiarti, O. 2010. Estimation of ground water table at forested peatland in Kalimantan using drought index towards wildfire control. *Proceeding of the International Symposium on Asian Conference on Remote Sensing*

- (ACRS2010).Thang Long-Hanoi, Vietnam, 1-5 November 2010. http://jica-jst.lapanrs.com/~wataru/GWT/pdf/acrs2010_paper.pdf. (accessed October 25, 2017).
- Thornley, J. H. M. 1996. Modelling water in crops and plant ecosystems. *Annals of Botany* 77: 261-275.
- United States Department of Agriculture. 1996. Indicators for Soil Quality Evalution. Available: http://urbanext.illinois.edu/soil/sq_info/sq_eval.pdf . (accessed March 31, 2016)
- van den Berg, M, Klamt, E, van Reeuwijk, L. P., Sombroek, W. G. 1997. Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferralsols and related soils. *Geoderma*. 78: 161–180.
- Vijayakumar, K.R.,S. K. Dey, T .R., Chandrasekhar, A. S., Davarkumar, T., Mohankrishna, P., Rao, S. and Sethuraj, M.R. 1998. Irrigation requirement of rubber trees (*Hevea brasiliensis*) in the subhumid tropics. *Agricultural Water Management*, 35: 245-259.
- Velupuri, N.M, Senay ,G.B., Singh, R.K., Bohms, S., Verdin, J.P. 2016. A comprehensive evaluation of two MODIS evapotranspiration products over the conterminous United States: Using point and gridded FLUXNET and water balance ET. 1-47.
- Volcani, A., Karnieli. A. and Svoray, T. 2005. The use of remote sensing and GIS for spatio-temporal analysis of the physiological state of a semiarid forest with respect to drought years. *Forest Ecology and Management*, 215: 239-250.
- Watson, G. A. 1989. Climate and soil. In: Rubber (eds. C. C., Webster and W. J., Baulkwill) pp. 125-164. New York, Longman Scientific and Technical.
- Zhang, Z., Li, M., Ma, Z., Yang, Q., Lv, M. and Clark, R. 2019. Assessment of an evapotranspiration deficit drought index in relation to impacts on ecosystem. *Advances in atmospheric science* 36: 1273-1287.

ภาคผนวก ก

การดาวโหลดข้อมูลดาวเทียม SMAP

วิธีการดาวน์โหลดข้อมูลดาวเทียม SMAP

การดาวน์โหลดข้อมูลดาวเทียม SMAP จะมีคลังข้อมูลที่ให้บริการซึ่งสามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้แต่จำเป็นต้องมีการลงทะเบียนสมัครสมาชิกก่อนการดาวน์โหลด ซึ่งการดาวน์โหลดข้อมูลสามารถทำได้โดยเข้าสู่หน้า <https://nsidc.org/data/SPL3SMP/versions/6> ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ของ Firefox ซึ่งถ้ายังไม่ได้ติดตั้งในเครื่อง จำเป็นต้องทำการดาวน์โหลดโปรแกรมและทำการติดตั้งให้เรียบร้อย

กรณีโหลดผ่านหน้าเว็บโดยตรง รายละเอียดวิธีการดาวน์โหลดข้อมูล มีดังนี้

(1) ให้ระบุช่วงเวลาที่ต้องการข้อมูล พร้อมตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ หรือสามารถสร้าง polygon ที่ครอบคลุมพิกัดทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ศึกษา ข้อมูลในช่วงระยะเวลาดังกล่าวก็จะปรากฏขึ้นในตารางด้านขวา ดังแสดงในภาพที่ 1

File Name	Size (mb)	Start Time	End Time
SMAP_L3_SM_P_20181029_R16510_001.h5	28.5	2018-10-29 00:00:00	2018-10-29 23:59:59
SMAP_L3_SM_P_20181028_R16510_001.h5	28.6	2018-10-28 00:00:00	2018-10-28 23:59:59
SMAP_L3_SM_P_20181027_R16510_001.h5	28.8	2018-10-27 00:00:00	2018-10-27 23:59:59
SMAP_L3_SM_P_20181026_R16510_001.h5	28.6	2018-10-26 00:00:00	2018-10-26 23:59:59
SMAP_L3_SM_P_20181025_R16510_001.h5	28.3	2018-10-25 00:00:00	2018-10-25 23:59:59
SMAP_L3_SM_P_20181024_R16510_001.h5	28.8	2018-10-24 00:00:00	2018-10-24 23:59:59
SMAP_L3_SM_P_20181023_R16510_001.h5	28.6	2018-10-23 00:00:00	2018-10-23 23:59:59

ภาพที่ 1 การสร้าง polygon ครอบคลุมตำแหน่งพื้นที่แปลงยางพาราและข้อมูลความชื้นในดินของดาวเทียม SMAP สำหรับการดาวน์โหลด

(2) จากนั้นเลื่อนลงมาด้านล่าง แล้วคลิกเลือก Large/custom order จะปรากฏหน้าต่าง ที่เราต้องยืนยันในการ order ข้อมูล

SMAP_L3_SM_P_20170404_R16510_001.h5	28.7	2017-04-04 00:00:00	2017-04-04 23:59:59
SMAP_L3_SM_P_20170403_R16510_001.h5	28.5	2017-04-03 00:00:00	2017-04-03 23:59:59
SMAP_L3_SM_P_20170402_R16510_001.h5	28.5	2017-04-02 00:00:00	2017-04-02 23:59:59
SMAP_L3_SM_P_20170401_R16510_001.h5	27.8	2017-04-01 00:00:00	2017-04-01 23:59:59

91 files selected (~2.5 GB).

Download Script

Order Files



Large/Custom Order

ภาพที่ 2 หน้าต่างการดาวน์โหลดข้อมูล

Your order will be redirected

Because your order is larger than 2000 files, or you would like to apply customizations such as subsetting or reformatting, you will be redirected to Earthdata Search for fulfillment (see illustration). Your current order will be transferred intact.

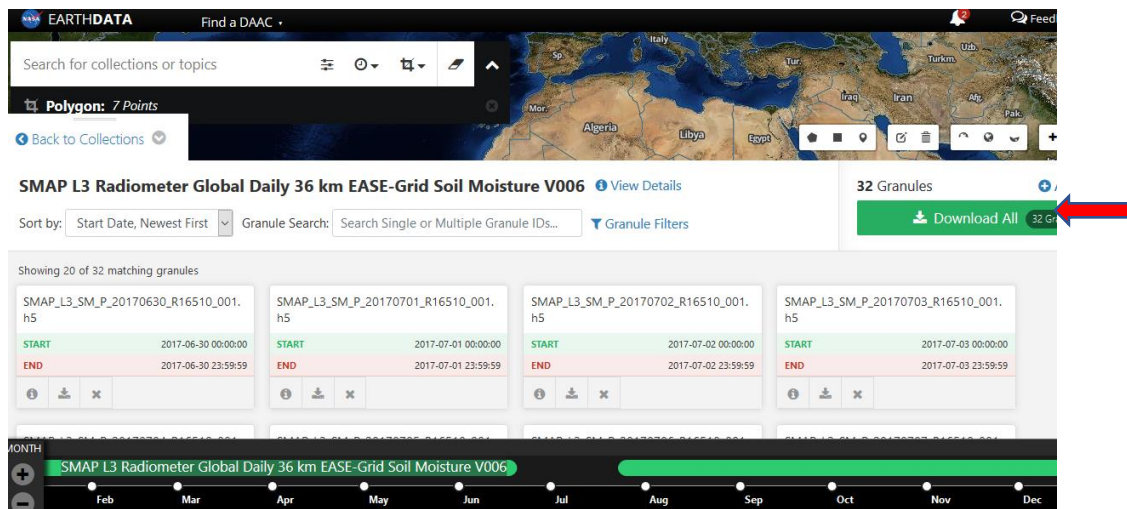
Alternatively, you can [download a Python script](#), which has no file limits, to retrieve your files.



Earthdata Search interface

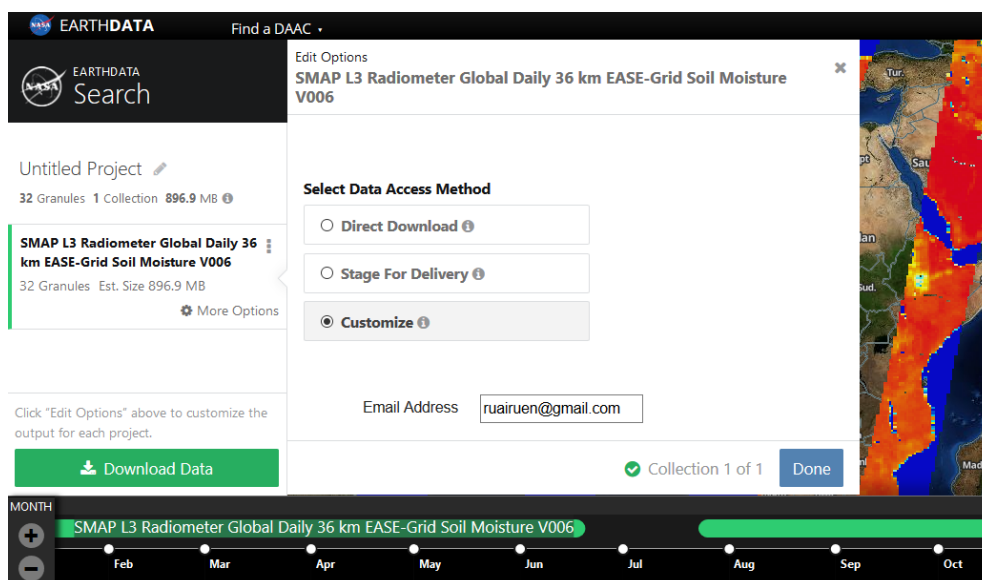
ภาพที่ 3 หน้าต่างสำหรับการยืนยันในการ Order ข้อมูล

(3) ภายหลังจากการ order ข้อมูล จะปรากฏหน้าต่าง รายละเอียดของข้อมูลในช่วงระยะเวลาที่ได้รับไว้ตั้งแต่เริ่มต้น ถัดจากนั้นให้เลือก Download All (ภาพที่ 3.14)



ภาพที่ 4 หน้าต่างสำหรับเลือกข้อมูล SMAP

(4) ทำการเลือกวิธีที่จะเข้าถึงข้อมูล โดยในขั้นนี้แนะนำให้เลือก Customize (ภาพที่ 3.15) แล้วระบุอีเมลสำหรับการตอบกลับจากผู้ให้บริการข้อมูล ซึ่งจะใช้เวลาไม่เกิน 5 นาที



ภาพที่ 5 หน้าต่างวิธีที่การจะเข้าถึงข้อมูล SMAP ซึ่งจะถูกส่งไปยังผู้ให้บริการข้อมูลดำเนินการตอบกลับ

(5) ผู้ให้บริการข้อมูลจะทำการส่งข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบและยอมให้นำไปใช้งานไปทางอีเมลที่ผู้ร้องขอระบุไว้ หลังจากนั้นก็สามารถดาวน์โหลดข้อมูลมาใช้สำหรับโครงการวิจัยต่างๆ ต่อไป

Output files for request id: 5000000447703

Click on the following link for a Request Summary:

[requestSummary.txt](#)

Retrieve list of files as a text listing (no html):

[5000000447703.txt](#)

Download all files in a single Zip file:

[5000000447703.zip](#)

Click on the following links for generated output files:

For Input Granule: 164938199

[SMAP L3 SM P 20170406 R16510 001 HEGOUTH5](#) (32.27 MB, SCIENCE, content/unknown)

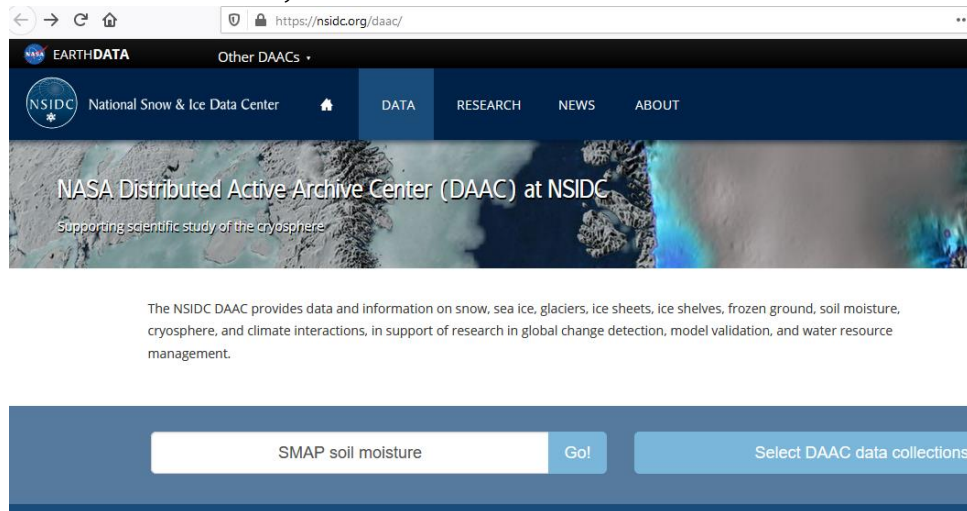
For Input Granule: 164938206

[SMAP L3 SM P 20170405 R16510 001 HEGOUTH5](#) (31.70 MB, SCIENCE, content/unknown)

ภาพที่ 6 หน้าต่างข้อมูลสำหรับการดาวน์โหลดภายหลังจากที่ผู้ให้บริการข้อมูลได้ตรวจสอบและอนุญาตให้ใช้งาน

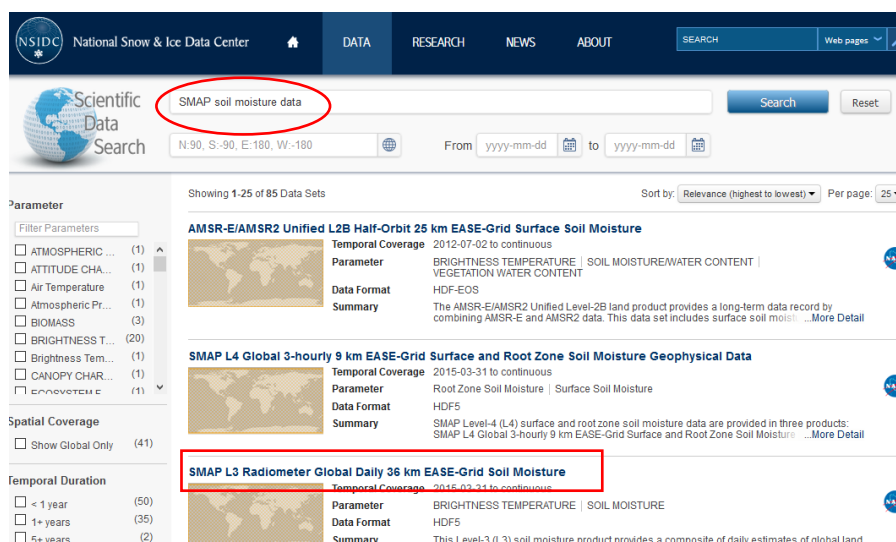
กรณีการเข้าถึงข้อมูลผ่านหน้า <https://nsidc.org/daac/> ให้ดำเนินการดังนี้

- (1) ให้พิมพ์ค้นหาโดยใช้คำว่า SMAP soil moisture ลงในช่อง search (ภาพที่ 7) ก็จะปรากฏหน้าต่างให้เลือกคลิกไปสู่นำหน้าเว็บที่มีข้อมูล โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาในกรณีนี้ให้เลือก SMAP L3 Radiometer Global Daily 36 km EASE-Grid Soil moisture



ภาพที่ 7 หน้าต่างสำหรับการค้นหาข้อมูลดาวเทียม SMAP

- (2) คลิกเลือก SMAP L3 Radiometer Global Daily 36 km EASE-Grid Soil moisture (ภาพที่ 8) สำหรับการคลิกไปสู่นำหน้าเว็บของข้อมูล SMAP แล้วดำเนินการตามกระบวนการดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นเพื่อนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ต่อไป



ภาพที่ 8 หน้าต่างสำหรับการคลิกไปสู่นำหน้าเว็บของข้อมูล SMAP

ภาคผนวก ข

กระบวนการจัดการกับข้อมูล Eddy Covariance

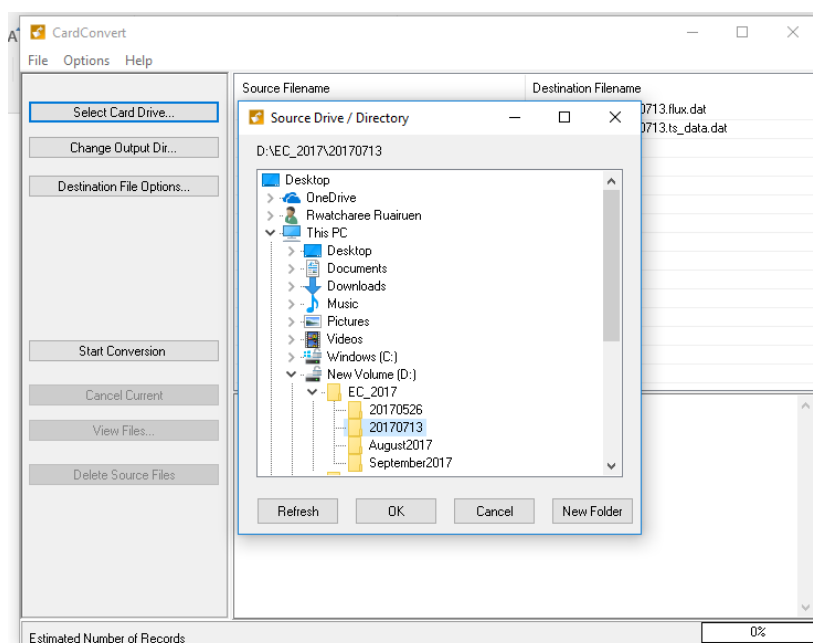
กระบวนการจัดการกับข้อมูล Eddy Covariance

1. การใช้โปรแกรม LoggerNet สำหรับการแปลงข้อมูลที่ไหลมาจาก Data logger ให้อยู่ในรูปข้อมูลราย 30 นาที โดยมีกระบวนการดังต่อไปนี้

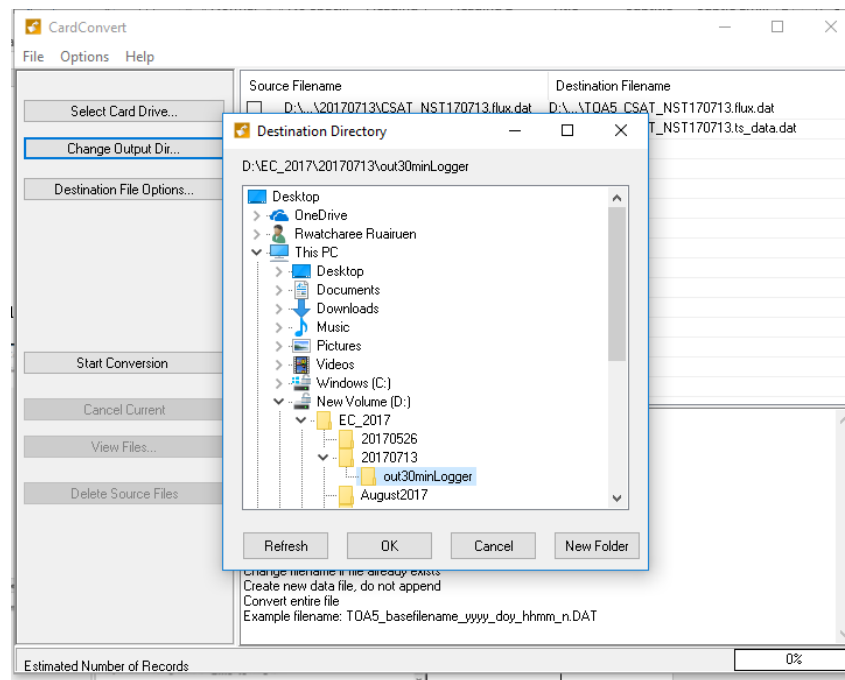
ขั้นที่ 1 เปิดโปรแกรมขึ้นมา



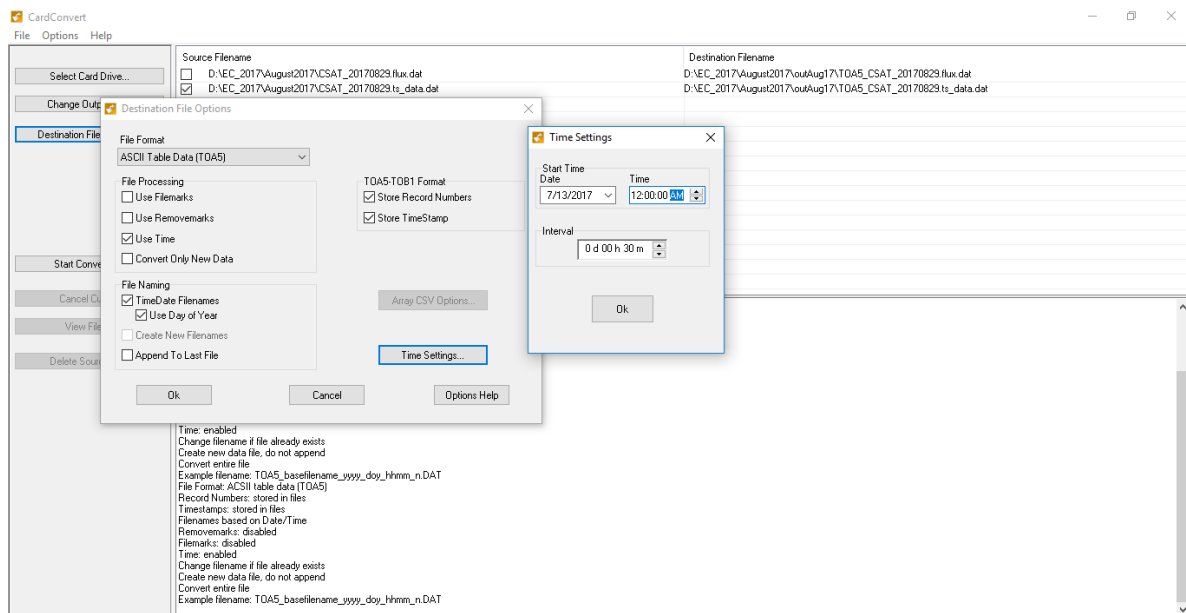
ขั้นที่ 2 ไปที่ CardConvert , แล้วก็เลือก “Card Drive” ซึ่งเป็นโฟลเดอร์ที่เก็บข้อมูลดิบของข้อมูล Eddy covariance



ขั้นที่ 3 Change Output Drive



ขั้นที่ 4 ทำการตั้งค่าโพลเดอร์ที่จะให้เก็บข้อมูลภายหลังที่ทำการแปลงข้อมูลเรียบร้อยแล้ว Set “Destination File option”



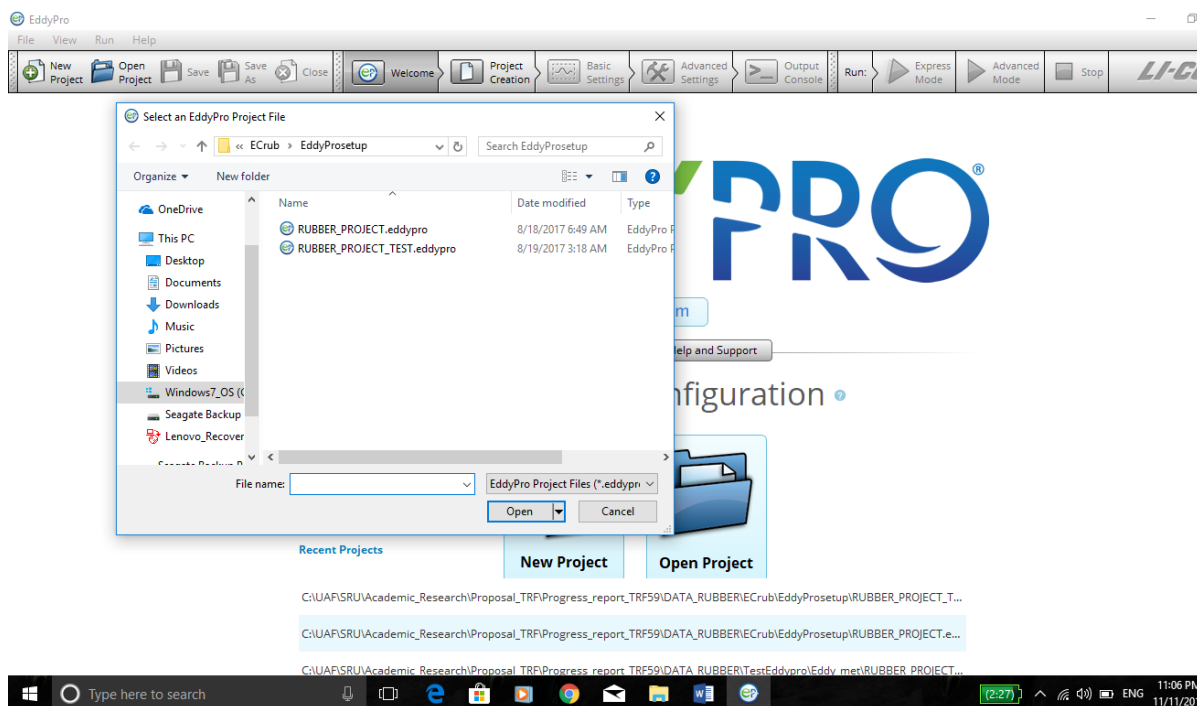
ขั้นที่ 5 คลิกเลือก Start Conversion เพื่อทำข้อมูลให้อยู่ในรูปราย 30 นาที

2. การจัดกระทำกับข้อมูลราย 30 นาที โดยใช้โปรแกรม Eddy Pro

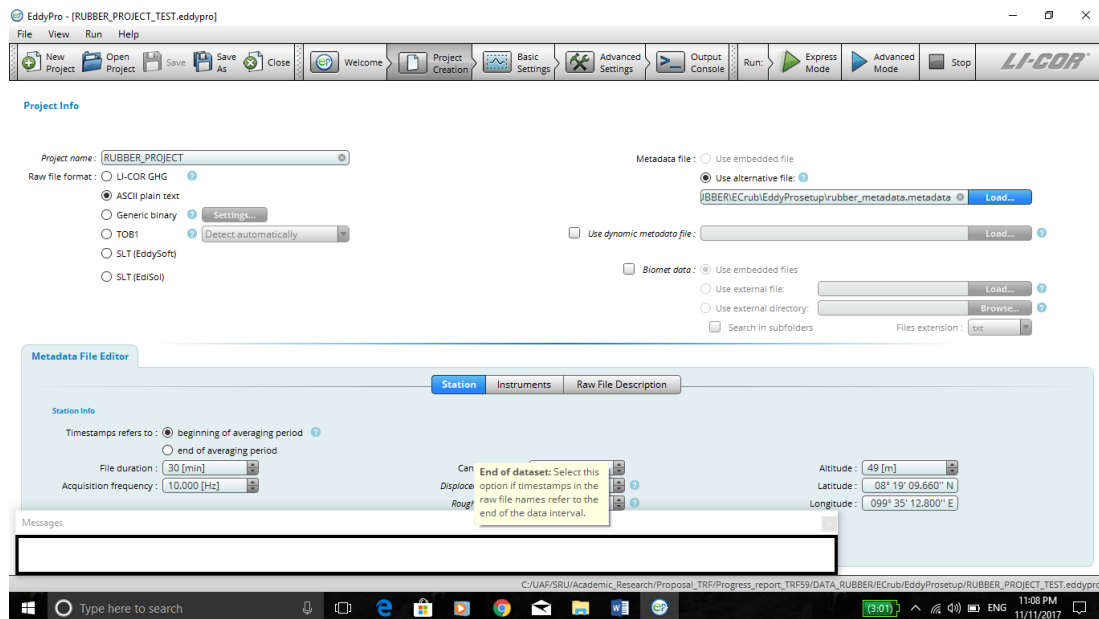
ขั้นที่ 1 คลิกโปรแกรม Eddypro 5.1.1



ขั้นที่ 2 Select -----> open project



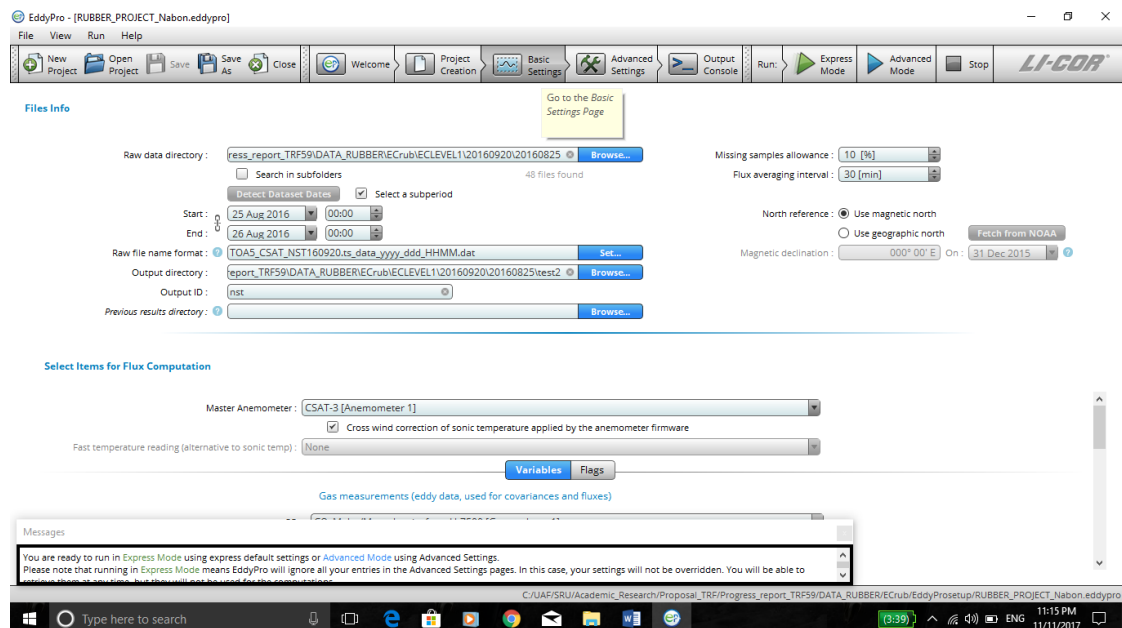
ขั้นที่ 3 Choose File name RUBBER_PROJECT_TEST.eddpro



ให้สังเกตว่าตรง Metadata file (อยู่ทางด้านซ้าย) มีช่องว่างๆ หรือไม่ ถ้ามี ให้คลิกที่ Use alternative file ส่วนในช่อง Load ให้ไปแนบไฟล์ที่ ชื่อว่า rubber_metadata.metadata ในช่อง **Metadata File Editor**: ให้เช็คคอลัมน์กลาง ดู Canopy height (h) = 20 m, Displacement height = h คูณ 0.67 ซึ่งก็คือ $20 \times 0.67 = 13.40$, Roughness length = $0.15 \times h$ ซึ่งคือค่า $0.15 \times 20 = 3$ ในส่วนที่เป็น Instrument Nor off-set = 158 , and Northward separation n= -0.6

Note: ควรมีการแยกข้อมูลให้อยู่ในรูปราย 30 นาที (ซึ่งจะได้ภายหลังจากที่ดำเนินการผ่านโปรแกรม Loggernet) แยกให้อยู่ในโฟลเดอร์ย่อยๆ โดยให้มีข้อมูล 2-3 วันอยู่ในโฟลเดอร์ดังกล่าว ก่อนประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม Eddy Pro เนื่องจากเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละรุ่นมีสมรรถนะที่แตกต่างกัน โดยยึดเอาวันที่ตาม Julian day ดังนั้นในโฟลเดอร์ย่อย Raw data directory ต้องมีการสร้างโฟลเดอร์ย่อยๆ สำหรับแต่ละ 3 วัน ของข้อมูลก่อนทำการประมวลผลข้อมูล ขณะเดียวกัน Output file ก็ต้องสร้างโฟลเดอร์ย่อยๆ สำหรับผลของการประมวลผลที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว เช่นเดียวกัน

ขั้นที่ 4 Basic Setting เพื่อเซตค่าในการประมวลผลข้อมูล



การเปลี่ยนค่าต้องมีการเปลี่ยนค่าต่างๆ ดังนี้

Raw data directory: Browse Folder that contain the raw EC data

Change Detect dataset date: start first date and End date such as your raw data start from May 26, 2017 (Check file name of Julian date (JD146-148), if your JD is 146 that mean your normal date is May 26, 2017). Put 26 May into **Start** and 29 May 2017 for **the End**. (End date will become the first date for the next running in the different period)

Raw file name format: you have to check the format of your raw file name and change this follow by that format.

Output directory: Select your output file into specific directory.

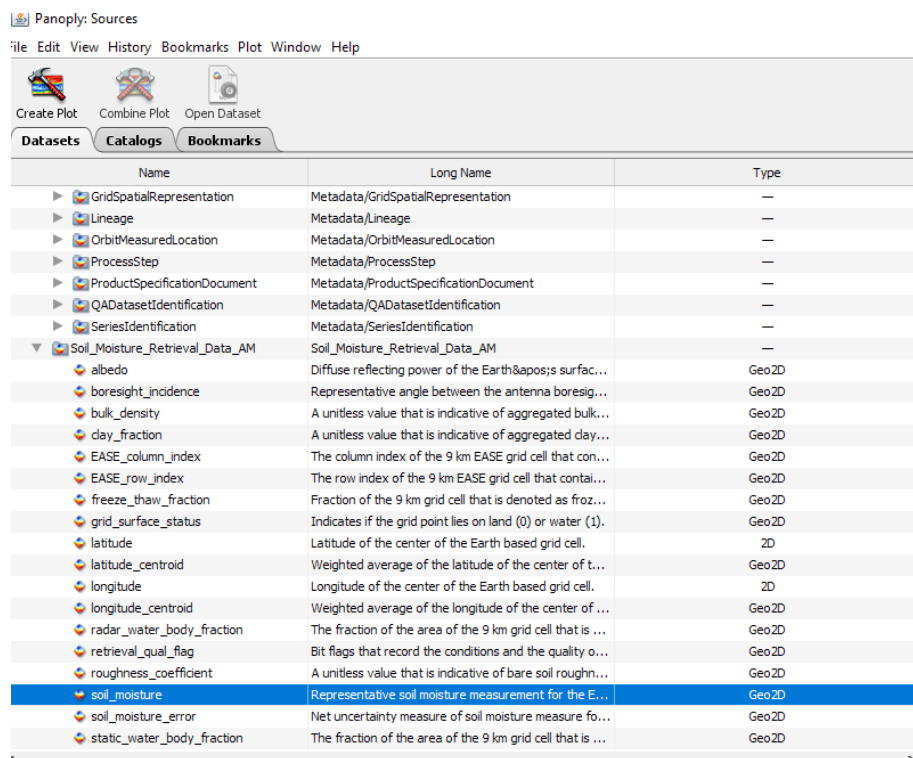
ขั้นที่ 5 Hit Express mode or Advance to run the EC data

ภาคผนวก ค

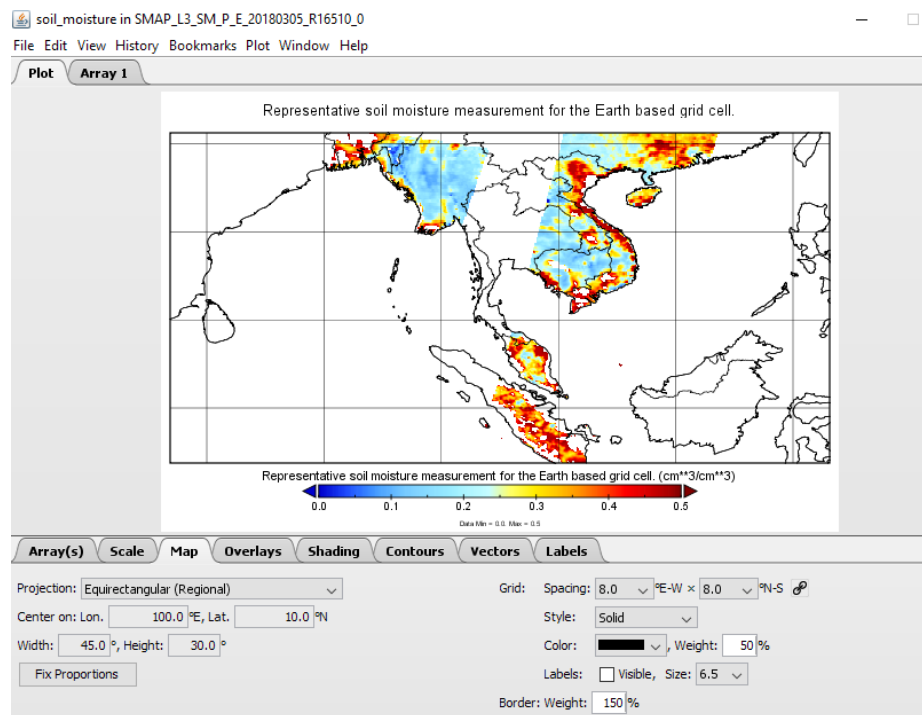
ข้อมูลความชื้นของดินจากดาวเทียม SMAP

การแสดงผลแผนที่ความชื้นของดินจากดาวเทียม SMAP ด้วยโปรแกรม Panoply

ขั้นที่ 1 เปิดโปรแกรม Panoply แล้วเลือกไฟล์ ที่ต้องการเปิด จากนั้นจะได้หน้าต่างข้างล่าง



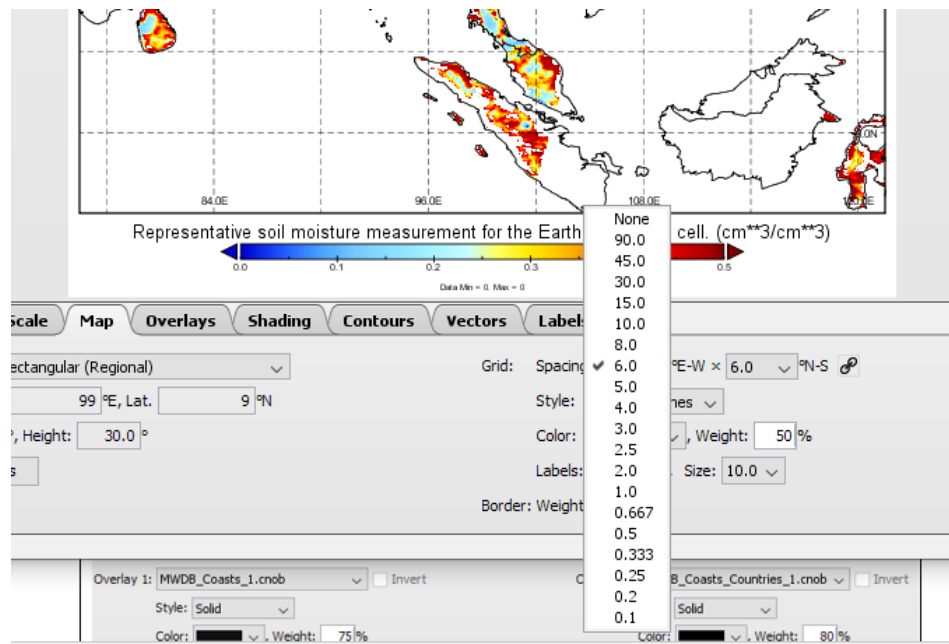
ขั้นที่ 2 ปรับขนาดของภาพโดยเน้นพื้นที่ที่เราสนใจด้วยการเลือก center on: Lon. Lat. ดังแสดงในภาพ



ขั้นที่ 3 การจัดแต่งภาพที่ overlays บนแผนที่

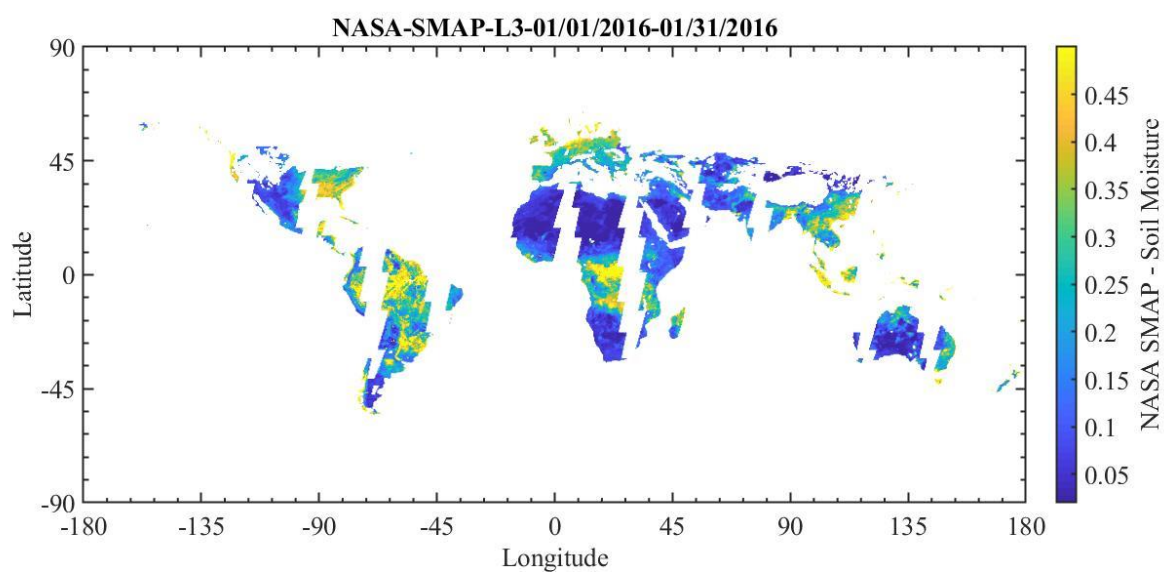


ขั้นที่ 4 การเลือกกริดของแผนที่ อยู่ที่ Map แล้วเลือกเปลี่ยนกริด

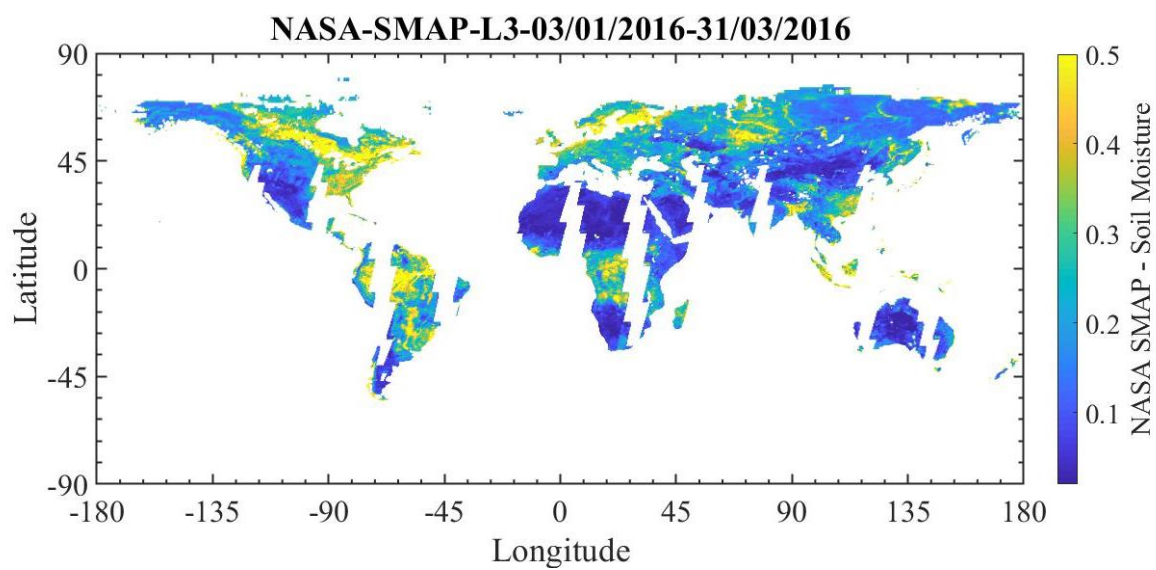


การแสดงผลข้อมูลความชื้นในดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SMAP ด้วยโปรแกรม Matlab

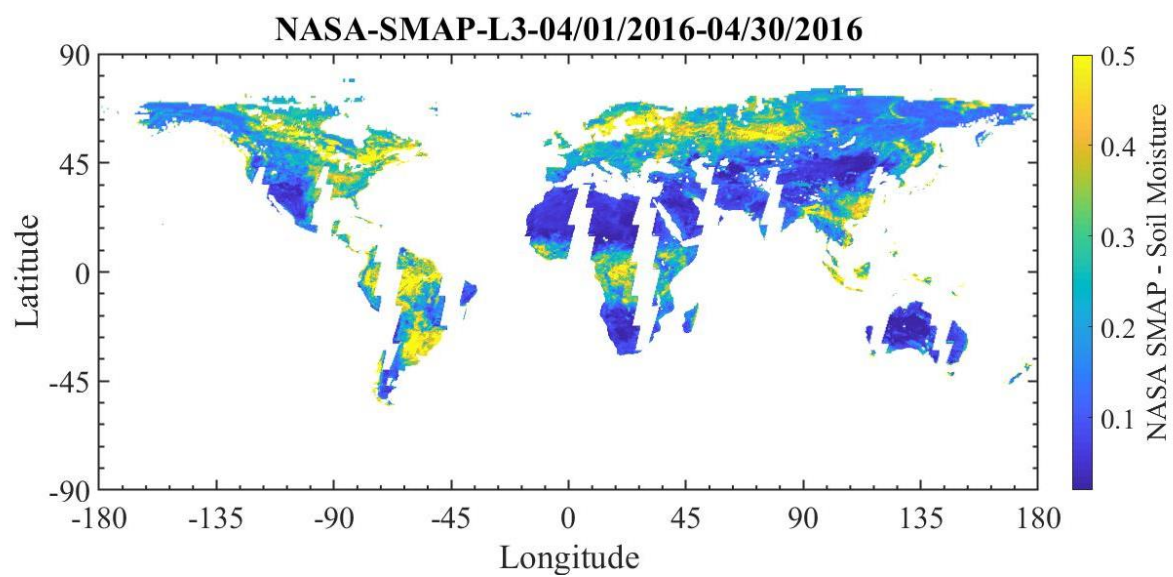
ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-มิถุนายน พ.ศ.2559



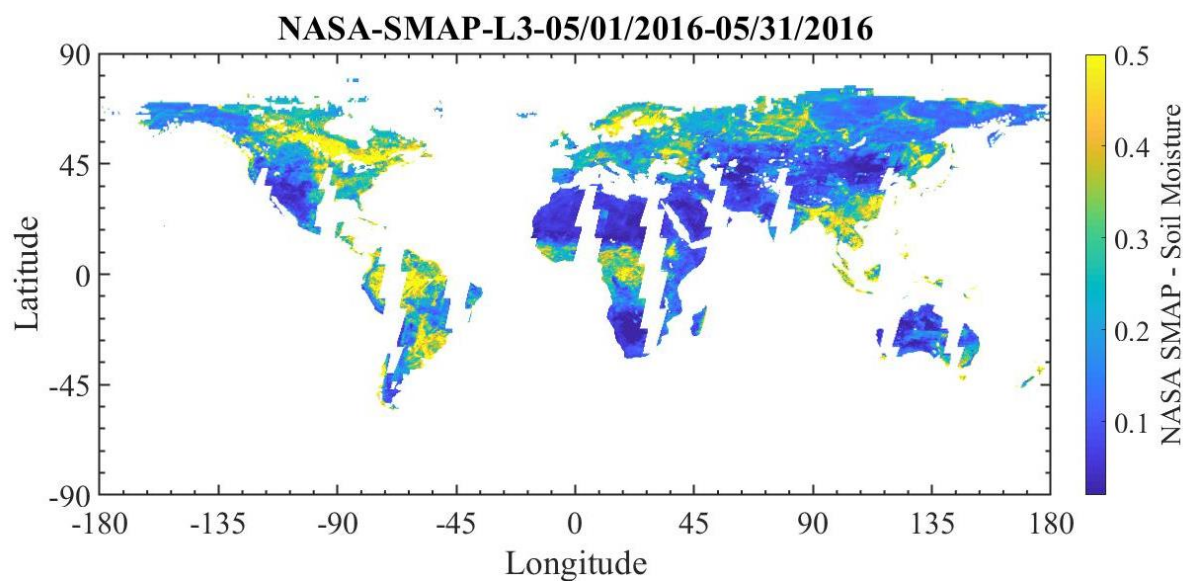
ภาพที่ 1 แผนที่ความชื้นในดินในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559



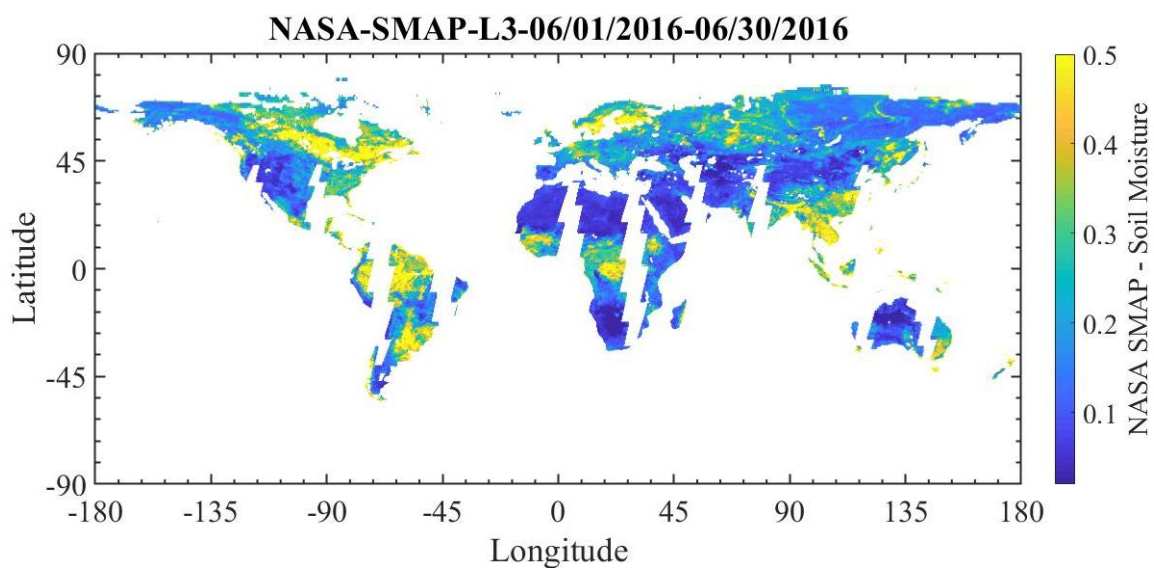
ภาพที่ 2 แผนที่ความชื้นในดินในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559



ภาพที่ 3 แผนที่ความชื้นในดินในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559



ภาพที่ 4 แผนที่ความชื้นในดินในเดือนเมษายน พ.ศ. 2559



ภาพที่ 5 แผนที่ความชื้นในดินในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559

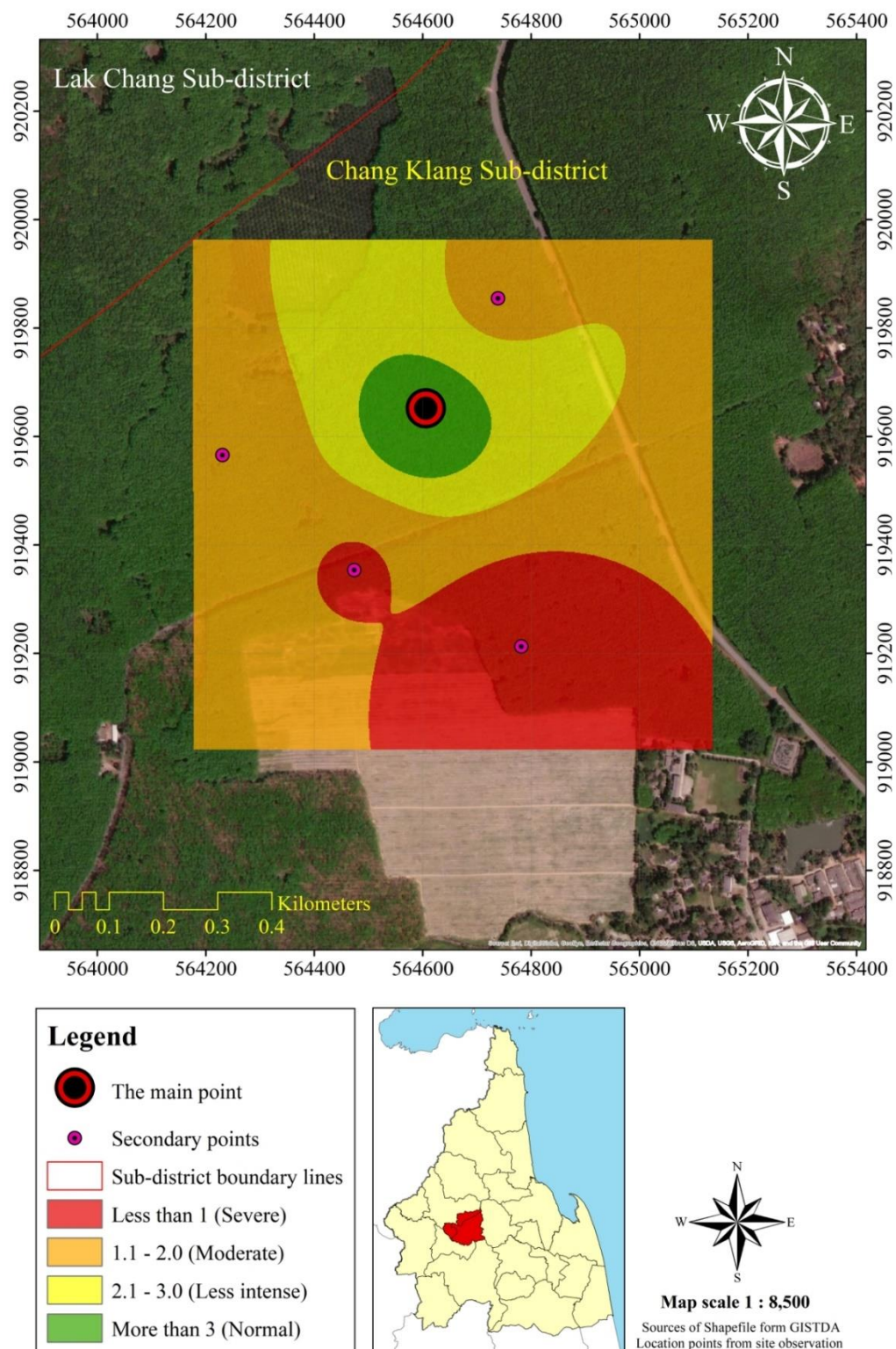
ภาคผนวก ง

แผนที่ดัชนีความชื้นของดินในช่วงเดือนมกราคม – พฤษภาคม

ปี พ.ศ. 2561

Map of soil moisture index in location points, year 2018 [depth 10 cm]

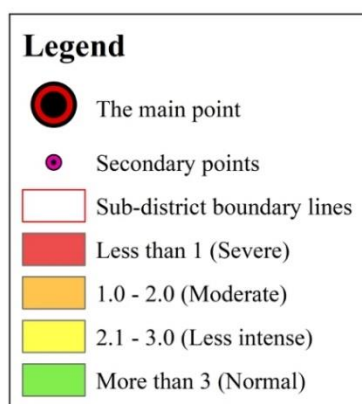
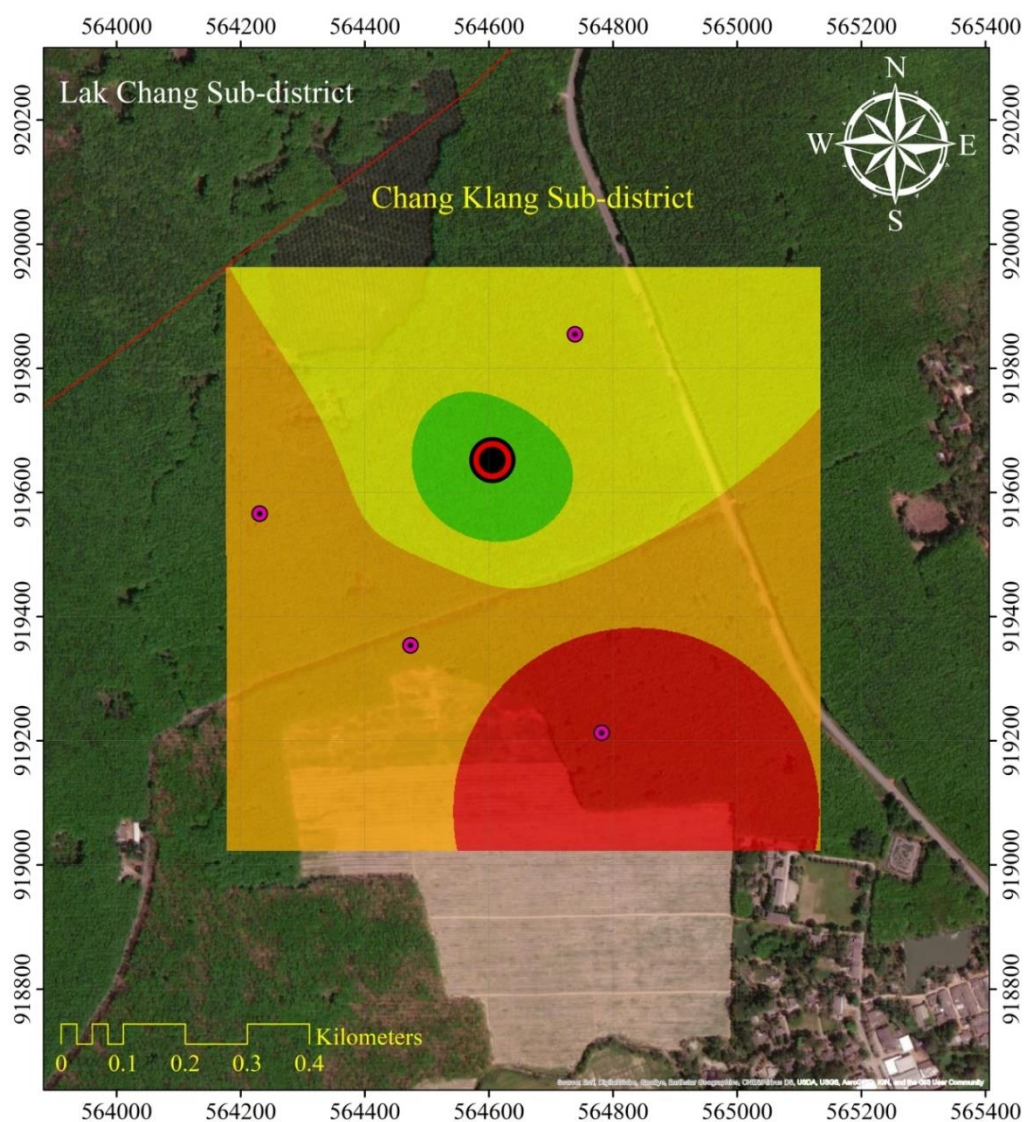
(Chang Klang Sub-district, Chang Klang District, Nakhon Si Thammarat)



ภาพที่ 1 ดัชนีความชื้นของดินที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร

Map of soil moisture index in location points, year 2018 [depth 30 cm]

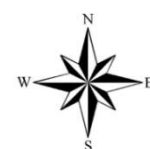
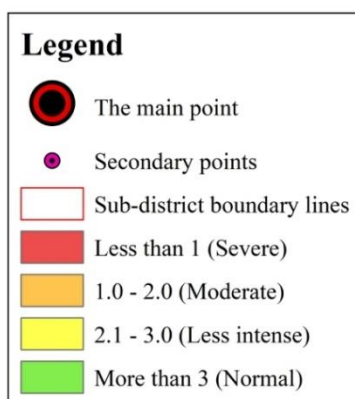
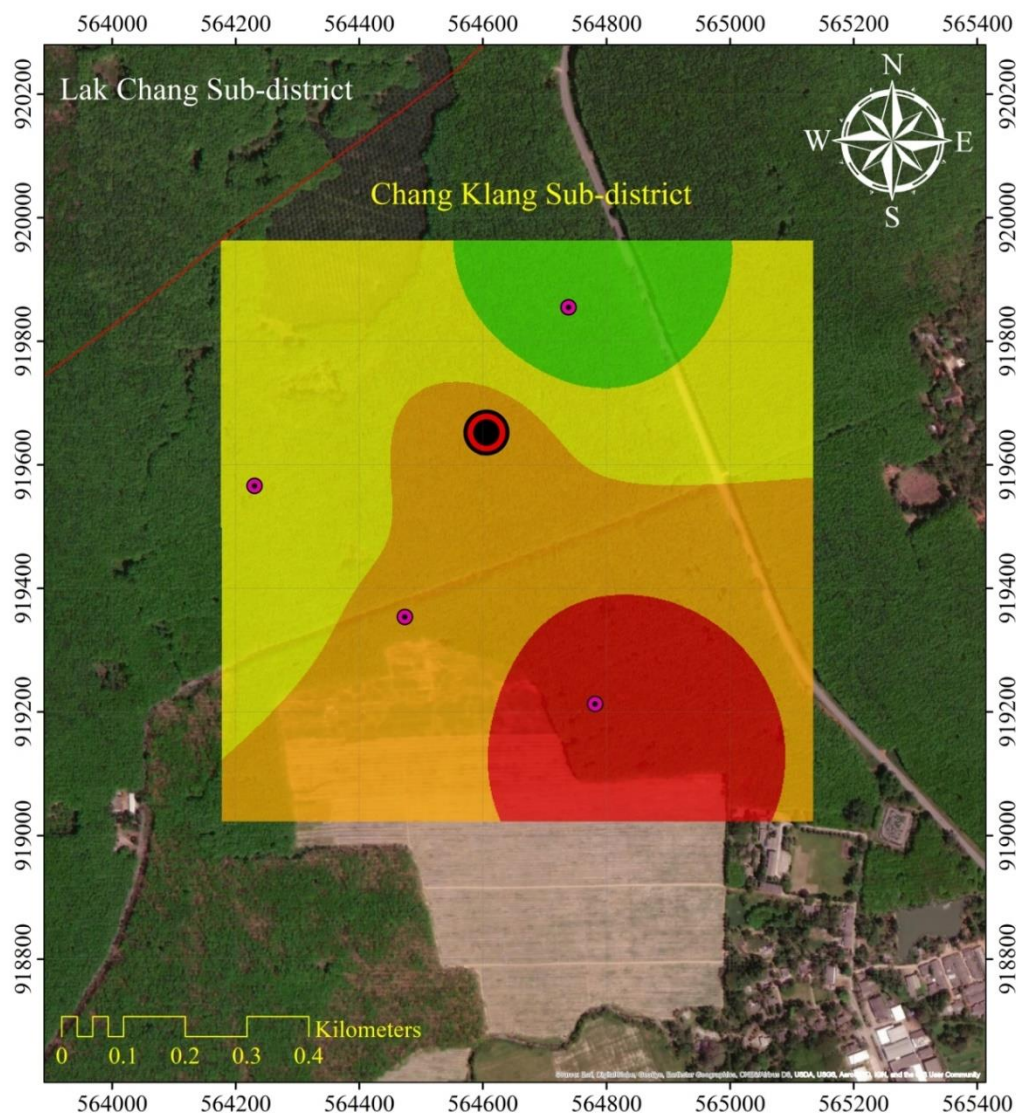
(Chang Klang Sub-district, Chang Klang District, Nakhon Si Thammarat)



ภาพที่ 2 ดัชนีความชื้นของดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร

Map of soil moisture index in location points, year 2018 [depth 50 cm]

(Chang klang Sub-district, Chang Klang District, Nakhon Si Thammarat)



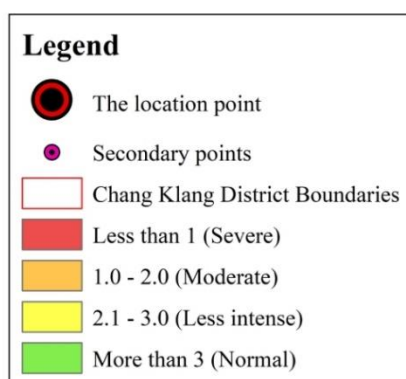
Map scale 1 : 8,500

Sources of Shapefile form GISTDA
Location points from site observation

ภาพที่ 3 ดัชนีความชื้นของดินที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร

Map of soil moisture index in location points, year 2018 [depth 70 cm]

(Chang Klang Sub-district, Chang Klang District, Nakhon Si Thammarat)



Map scale 1 : 8,500

Sources of Shapefile from GISTDA
Location points from site observation

ภาพที่ 4 ดัชนีความชื้นของดินที่ระดับความลึก 70 เซนติเมตร

ภาคผนวก จ

ผลงานที่กำลังจะเผยแพร่ในวารสาร

อีเมลยืนยันและข้อความยืนยันจากวารสารที่ตอบรับและแจ้งช่วงระยะเวลาสำหรับการตีพิมพ์



[WJST] New notification from Walailak Journal of Science and Technology (WJST)

Inbox x



Walailak Journal of Science and Technology <journal.wu@gmail.com>

Sat, Mar 7, 10:19 PM



to me ▾

You have a new notification from Walailak Journal of Science and Technology (WJST):

You have been added to a discussion titled "[WJST] Accepted Manuscript ID 6541 to be published in Walailak Journal of Science and Technology" regarding the submission "Energy Fluxes and Evapotranspiration in a Rubber Agroecosystem of the Southern Thailand".

Link: <http://wjst.wu.ac.th/index.php/wjst/authorDashboard/submission/6541>

Editor of Walailak J Sci & Tech

Walailak Journal of Science and Technology (WJST)

<http://wjst.wu.ac.th>

[WJST] Accepted Manuscript ID 6541 to be published in Walailak Journal of Science and Technology



Participants

Walailak Journal of Science and Technology (admin)

watcharee Ruairuen (ruairuen)

Messages

Note

From

Dear Authors;

Based on your revision completed with point-by-point explanation, I am pleased to inform that your manuscript is accepted and scheduled to publish in Walailak Journal of Science and Technology in Volume 18, 2021.

Regards,

Managing Editor

Walailak Journal of Science and Technology

admin

2020-03-07 10:18

PM

Add Message

Energy Fluxes and Evapotranspiration in a Rubber Agroecosystem of the Southern Thailand

Watcharee RUAIUEN^{1*}, Gilberto J. FOCHESSATTO², Poonpipope KASEMSAP^{3, 4} and Chompunut CHAYAWAT⁴

¹Environmental Science and technology program, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Surat Thani 84100, Thailand

²Department of Atmospheric Sciences, Geophysical Institute and College of Natural Science and Mathematics, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, Alaska 99775, USA

³Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

⁴DORAS Centre, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

(*Corresponding author's e-mail: watcharee.rua@sru.ac.th, ruairuen@gmail.com)

Received: xxx, Revised: xxx, Accepted: xxx (Times New Roman, 10 pt, *Italic*)

Running title

Energy Fluxes and Evapotranspiration in a Rubber Agroecosystem of the Southern Thailand

Abstract

Evapotranspiration (ET) plays an important role of land surface atmosphere interaction and significantly drives hydrological cycle, vegetation functioning and resulting agricultural production. In this study, observations of energy fluxes, energy partitioning and evapotranspiration (ET) were conducted in 2017 above a monoclonal stand of rubber trees (*Hevea brasiliensis*) plot (clone RRIM 600). The forestry population was 17 years old and had been tapped continuously over 10 years for latex harvesting at the Rubber Estate Organization station in Na Bon district, Nakhon Si Thammarat province in Thailand. The ET rate and associated energy fluxes were determined by means of eddy covariance (EC) method and complemented by micrometeorological measurements at 25 m tall tower. Tree stands are spaced on plots of 3.0 m × 7.0 m with mean canopy height of 22 m. Data were collected during January 1 to September 27, 2017. Results found that the energy balance closure of the rubber agroecosystem was approximately 78%. Overall, the latent heat (*LE*) flux was the main term of energy exchange (58%-60%) due to its dominance across the growing season. The ratios of the latent heat (*LE*) and sensible heat (*H*) to net radiation were 0.58 and 0.24 throughout the period of study, respectively. Moreover, the daily mean of evapotranspiration (ET) was 7.16 mm.d⁻¹ over the whole period of this study. However, a slightly higher rate of daily mean ET (7.35 mm.d⁻¹) was indicated during the foliage period than during the leaf senescence period due to sufficient soil moisture associated with high rate of seasonal precipitation. It is concluded, that ET is an extremely sensitive variable to understand in energy flow in this ecosystems as well as a precursor for presetting condition for droughts prognosis (forecast) in a rubber ecosystem.

Keywords: Evapotranspiration, energy fluxes, rubber agroecosystem, eddy covariance, Southern Thailand

Introduction

Thailand is the world's largest producer and exporter of natural rubber, accounting for about one-third of world's supply [1]. The major producing regions are in southern Thailand where climatic conditions and land use are favorable habitat for rubber forests, particularly in Nakhon Si Thammarat province (latitudes 8°-9° N). In fact, this region has forestry production based on mono-cultivars that covers more than 267,795 ha with a production of approximately 442,790 tons according to the Office of Agricultural Economics [2]. This significant expansion of forest production across non-traditional regions especially in mountainous mainland has converted primary and secondary original forests into rubber plantations. As a result, a large region of potential changes in ecological and environmental regimes have been initiated by decreasing biodiversity, altering hydrological regimes, reducing total carbon biomass, and accelerating surface erosion and water runoff [3-5] and carbon storage [6-7]. A larger area of rubber forest is also creating a microclimate with large water availability for evapotranspiration (ET), which in turn increases the atmospheric specific humidity near the surface having a far more reaching influence on the weather and climate at regional scales. Nevertheless, the observational datasets for energy flux partitioning and evapotranspiration of rubber forests are not yet long enough to establish a clear trend with high confidence on the regional scale influences in weather and climate. The objectives of this research are as follows: to study the characteristics of turbulent fluxes and energy exchanges in different periods of a rubber forest in the Southern Region of Thailand and to determine the contribution of ET and sensible (H) heat fluxes to the available energy of the rubber forest in 2017.

Materials and Methods

Field experiments were carried out in a micrometeorological site as part of the Rubber State Organization (8° 19' 9" N, 99° 35' 12" E, 50 m elevation), Nakhon Si Thammarat province in the southern region of Thailand (Figure 1). The observations were conducted on a monoclonal stand of rubber trees (*Hevea brasiliensis*) plot (clone RRIM 600). The forestry population is 17 years old where the land was relatively regular and had been tapped for over ten years for latex harvesting. Forest has an average tree diameter of about 20.5 cm at 1.7 m height above the ground with the mean canopy height of 22 m. At this site, the soil was slightly acidic (pH 5.5), with bulk density and soil organic carbon contents of 1.0 g cm⁻³ and 2.9%, respectively. The texture of the surface layer (0-30 cm) of soil samples were silt loam. Fluxes of energy and water between the rubber tree plantation and the atmosphere were measured in the period from January 1 (day of year; DOY1) to September 27 (DOY270), 2017, using the eddy covariance (EC) method. The instruments included a three-dimensional sonic anemometer (CSAT3, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA) to measure high resolution, high frequency three-dimensional wind speed components and air temperature. A collocated IRGA 7500 Licor sensor was used to measure water vapor at 10 Hz. Solar radiation was measured at 25 m above the ground by Pyranometer (LI-200SA, LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA). In addition, air temperature, air pressure, and relative humidity were also measured at the same height. As part of the energy budget, net radiation (R_n) was estimated based on direct solar radiation measurement. All these meteorological data and turbulence fluxes were recorded by a CR1000 (Campbell Scientific, Logan, UT, USA) at a 10 Hz sampling frequency, and 30-minute block average fluxes were determined. Soil heat flux (G) was estimated based on soil thermistors at 2, 4, 6, 16, and 32 cm depths below surface.

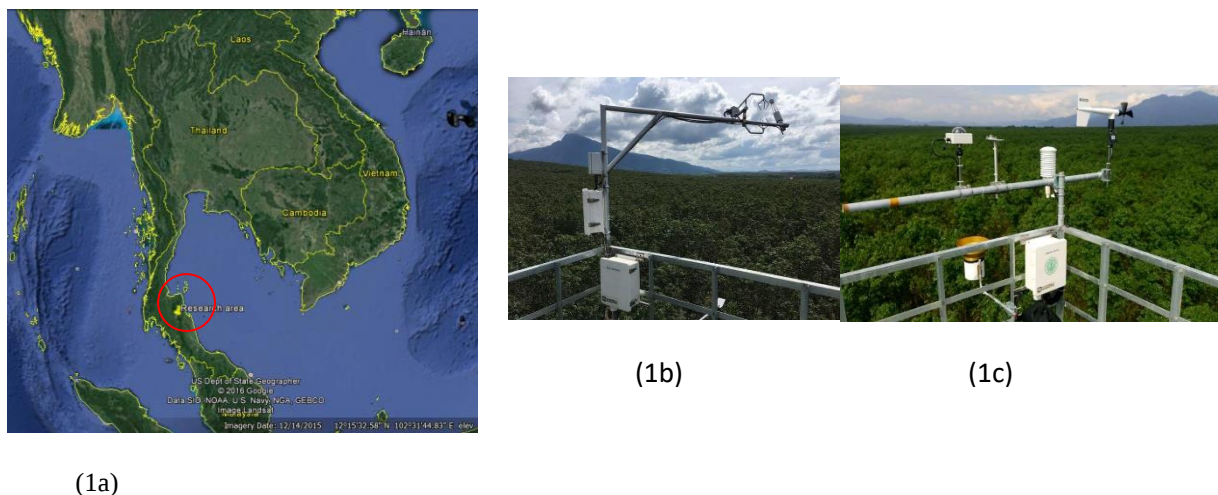


Figure 1. Location and photograph of observation site. Panel on the left illustrate Google map area from Thailand and the region for the field experiment (1a). Central and right panel are instrumentation and Rubber forest canopy site. Central panel (1b) depicts the eddy-covariance system at 25 m and panel on the right (1c) is the meteorological and radiation instrumentation. The instruments are installed in a scaffolding tower for easy access and control.

Data Processing

For the retrieval of sensible (H) and latent heat (LE) we used the LoggerNet (Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA) software in order to transform 10 Hz raw data into 30 min binaries. Afterwards, the half-hour H and LE fluxes were calculated by EddyPro version 5.5.1 software following the standard quality control procedures including despiking [8], 2D coordinate rotation, time lag removal, frequency response correction using model spectra and transfer functions [9], and air density correction [10]. Methodology and signal processing software setup followed similar processing as developed for complex heterogeneous forest [11-12]. The study was divided in two sequences: (a) the leaf senescence period including coloration and defoliation stages (January 1, 2017-February 27, 2017; DOY 30-58) and (b) leaf expansion and foliage (March 31, 2017-September 27, 2017; DOY 90-270). In the south of Thailand, usually leaf senescence starts at the end of December, massive leaf shedding occurs between the end of January and the beginning of February. Therefore, weekly observation of leaves coloring at five sub-observation sites began from the second week of December in 2016. Leaf senescence and defoliation period was defined when leave coloring appeared more than 50% over all sub-observation sites. On the other hand, leaf expansion and foliage period were also monitored at the same sites by using densitometer for taking measurement of canopy cover. The leaf expansion and foliage stages were determined when more than 40% of the canopy cover was reached.

Results and Discussion

Meteorological Conditions

The minimum and maximum air temperature (T_a) at 25 m above the ground were 23.31 °C (DOY95; April 5th) and 28.76 °C (DOY160; June 9th), respectively (Figure 2a). Mean T_a for the whole period of this study was 26.50 °C with an average approximately of 27 °C during the leaf senescence and foliage periods (Table 1). The seasonal variation of soil temperature (T_s) at 2, and 6 cm depths was similar to that of T_a . The minimum and maximum daily soil temperature at 6 cm were 24.23 and 28.33 °C, respectively with an average of 26.38°C (Figure 2b). The total accumulated precipitation during the period of study was 5,296.10 mm, and most of the precipitation was concentrated in January (1,611 mm) during the early period of leaf senescence of rubber tree.

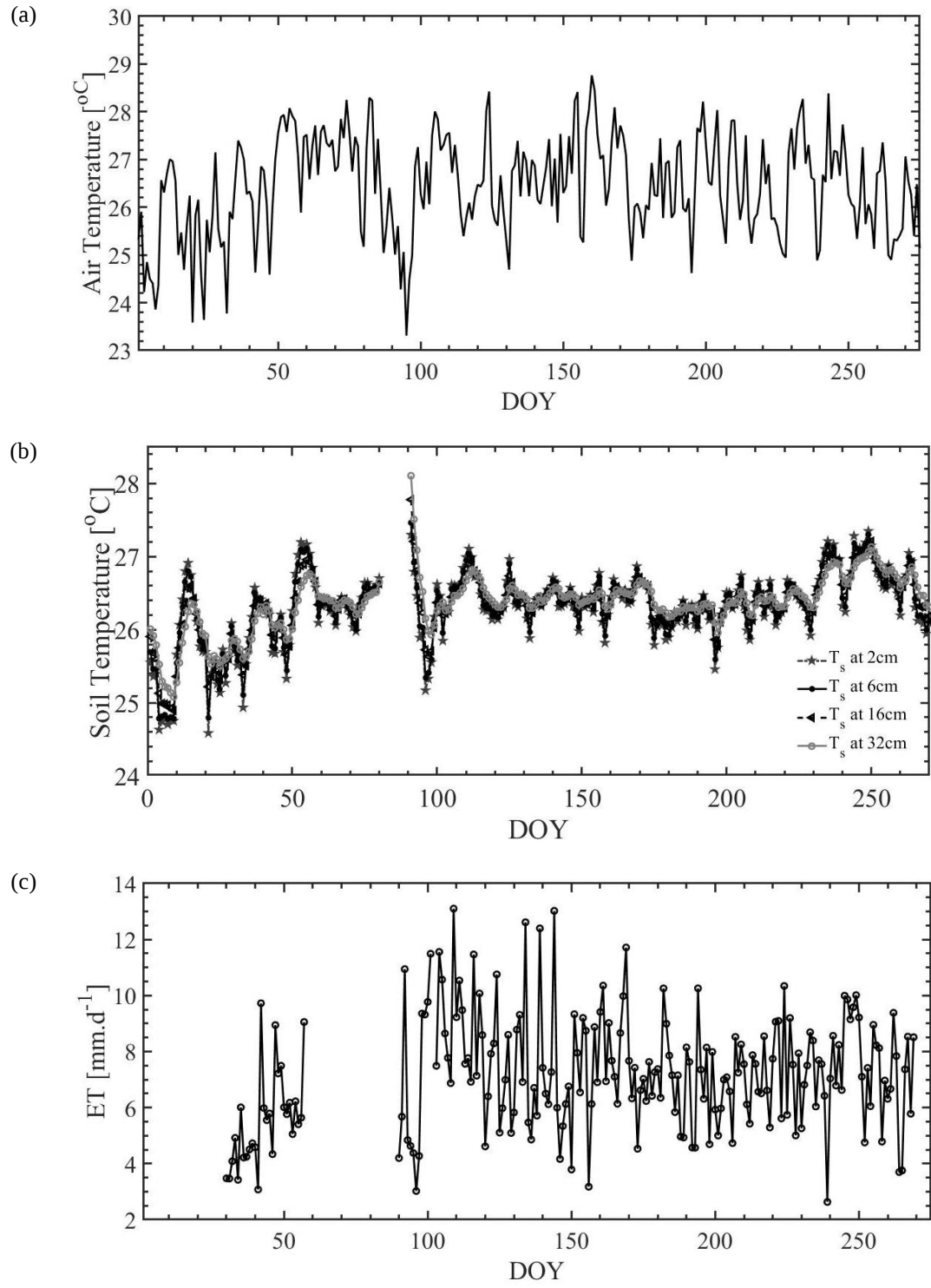


Figure 2. (a) Daily average air temperature (T_a), (b) daily average soil temperature (T_s) and (c) daily accumulated evapotranspiration (ET) during January 1 (DOY1) - September 27 (DOY270), 2017.

Diurnal Patterns in Energy Balance Components

Because of the distinct differences found in the energy partitioning pattern and plant phenology, we divided the study period into two sequences: (a) the leaf senescence period including coloration and defoliation stages (DOY 30-58); (b) leaf expansion and foliage (DOY 90-270). A total of 1,344, 8,640 and 12,912 half-hourly periods were used in the leaf senescence, leaf expansion and foliage and whole period (DOY 1-270), respectively. The values of energy balance components and environmental variables were distinct for the different periods (Table 1).

Table 1: Daily Cumulative Sums of the energy balance components and major biometeorological factors.

	(a) leaf senescence and defoliation stage (DOY 30-58) (n=1,344)	(b) leaf expansion and foliage stage (DOY 90-270) (n= 8,640)	Whole period (DOY1-270) (n=12,912)
T_a (°C)	27.11	26.89	26.50
T_s (°C)	20.03	26.30	26.32
RH (%)	71.20	87.80	71.00
Precipitation (mm) (sum.)	70.35	3,348.41	3,418.76
Rn ($W \cdot m^{-2}$)	355.65	223.26	294.00
H ($W \cdot m^{-2}$)	180	62.16	73.48
LE ($W \cdot m^{-2}$)	103	136	180.88
G ($W \cdot m^{-2}$)	-7.00	-1.59	-1.61
H/Rn	0.51	0.26	0.24
LE/Rn	0.28	0.60	0.58
G/Rn	-0.03	-0.01	-0.01
ET (mm)	5.53	7.35	7.16

To quantify the partitioning of H , LE , and G over Rn , we only used the data from 0600 to 1800 Thailand Standard Time (THA) during each period (Table 1). This period is chosen because the atmospheric surface layer is in the unstable phase with positive average net radiation (Rn), providing more robust data. Figure 3 shows the diurnal variation in the ensemble half-hourly means of Rn , LE , H , and G during each period at the study site. The daily maximum of Rn during each period was $620.35 W \cdot m^{-2}$, and $537.44 W \cdot m^{-2}$ for the leaf senescence period and leaf expansion and foliage stages, respectively. LE showed variations at each period with values ranging from 0.05 to $240.87 W \cdot m^{-2}$, and 8.04 to $335.93 W \cdot m^{-2}$ in the leaf senescence period, and foliage periods, respectively. The magnitude and scope of variation of LE were distinct in each period. In the foliage periods, LE was the main form of energy exchange and accounted for about 60% of total energy exchange via heat fluxes (Table 1). In addition, the magnitude and range of H were the largest in the leaf senescence period (H , 51%), and the value of H ranged from 0.37 to $341.52 W \cdot m^{-2}$. While, the value of H ranged from 8.86 to $104.46 W \cdot m^{-2}$ during the leaf expansion and foliage period.

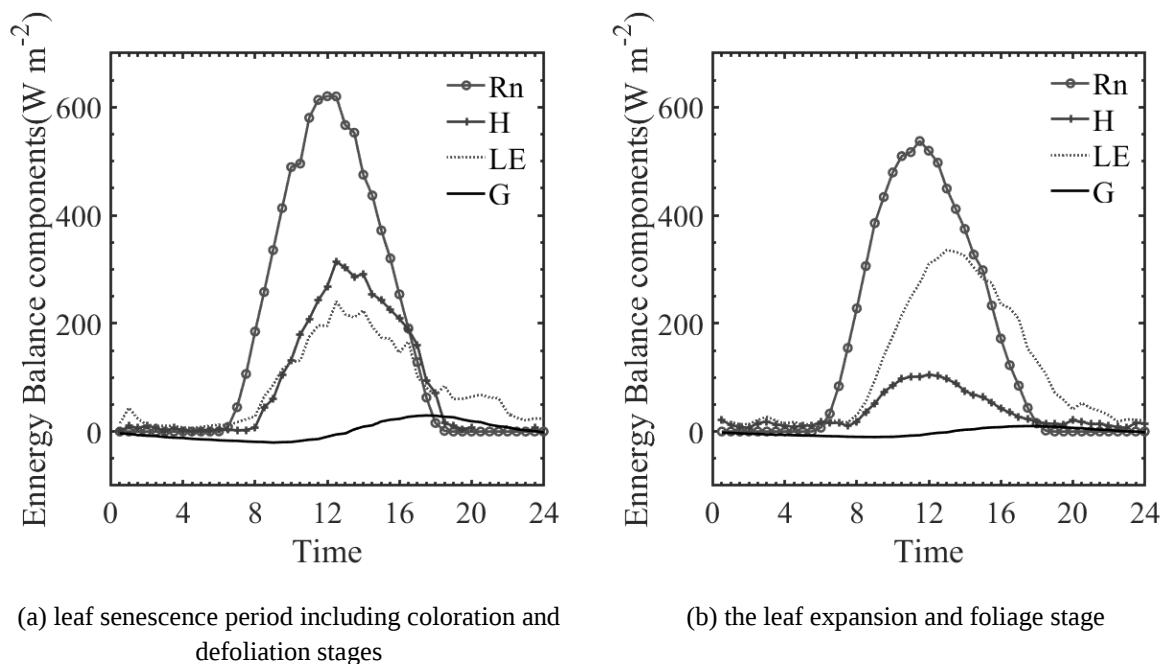


Figure 3. Averaged diurnal variations of net radiation flux (R_n), latent heat flux (LE), sensible heat flux (H) evaluated from sonic anemometer data, and soil heat flux (G) in the following periods: (a) the leaf senescence period including coloration and defoliation stages (DOY 30-58); and (b) the leaf expansion and foliage stage (DOY 90-270).

Energy Balance and Evapotranspiration

The result of energy balance closure was determined by a linear regression method using 30 min averaged fluxes. The energy closure of the ecosystem was approximately 78% ($H + LE = 0.78 * (R_n - G) + 101$, $R^2 = 0.62$, and $n = 12,912$) over the entire study period. The energy balance closure in this study (78%) which agrees well within in the range of values achieved at 22 FLUXNET sites: slope: 0.55–0.99; r^2 : 0.64–0.96 [13], riparian forest in the western US (75%) [14] and Northwest China (72%) [15]. The value of energy balance closure in the present study also show reasonable agreement with the results found by Stoy et al. [16] in short canopy ecosystem such as crops, deciduous broadleaf forests, mixed forests, and wetlands (70-78%). On the other hand, the obtained value is lower than similar observations in rubber forest in northeast Thailand and Central Cambodia, which were 83% and 84%, respectively [4] and relatively low when compared to that reported in young secondary dry dipterocarp forest in western Thailand (83-87%) [20], boreal forests (94%) [21], evergreen broadleaf forests and savannas (91-94%) [19], and high latitude agroecosystem (95%) [22-23]. The issue of a general lack of the energy balance closure has been topic of much discussion during the past few decades [16, 19, 24-26]. The larger closure found in these studies can be explained due to the incorporation of the energy storage terms, which we neglected in the present study. Some studies have shown that incorporating the canopy, photosynthesis energy, and respiration among other energy balance components lead to an increase in closure values [27-29]. Change in the heat storage in tree trunks can be estimated peaked at $\sim 60 \text{ W m}^{-2}$ in a 40 m tall evergreen forest at Tumbarumba [30] and subtraction of this term from the net radiation improved the hourly energy balance closure from 90% to larger 100% [31]. In addition, including the change in biomass in the heat storage component was shown to significantly improve half-hour energy balance closure for a Scandinavian forest [32]. On the other hand, we assumed that the effect of surface heterogeneity during the leaf senescence and expansion period may be partly affecting the energy balance closure. Hence, further investigations and comparisons among differences on leaf stages are needed in order to further assess the extent of this variability.

The daily ET over the rubber forest exhibited distinct variation at different stage of growth as indicated in Figure 2c. There was no ET data in January because the system failure. The mean daily ET was $7.35 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ over rubber forest during the foliage period and a lower rate of ET was found during the leaf senescence period ($5.53 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$). The rate of ET in this study was higher compared to results in the northeast Thailand and central Cambodia, with mean value of 4.1 and $4.8 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ [5]. Sangwangsri et al. [20] indicated a positive correlation of ET with precipitation, soil water content and vapor pressure deficit in the dry dipterocarp forest, Western Thailand. Much higher rate of ET in this study is related to the high amount of precipitation that have been collected in 2017. This increases water storage in the soil profile and canopy intercept driving a higher than normal rate of ET during both periods in the rubber forest under study.

Conclusions

Energy balance partitioning and evapotranspiration of rubber forest in southern region were analyzed using EC method. Energy exchanges between this forest and the atmosphere were dominated by sensible heat fluxes during the leaf senescence period and latent heat fluxes during the leaf expansion and foliage period. The energy balance closure was approximately 78% over entire period. The ratio of the latent heat (LE), sensible heat (H), and soil (G) heat fluxes to net radiation were 0.58, 0.24, and -0.01, respectively. In terms of global energy exchanges, results shown that Rn was mostly converted into H in the leaf senescence period. The energy balance closure of rubber forest was in the lower range compared to that reported for other forest types. On the other hand, the evapotranspiration in rubber forest was high throughout the entire period. A significant increase in ET roughly 50% was found when comparing the leaf expansion period to the defoliation period in the rubber forest. Therefore, achieving a better understanding on the fluxes and energy ratios through forest vegetative pattern help tracking the amount of water released through ET and needed by the forest to sustain an acceptable rubber quality.

Acknowledgements

This work was financially supported by Thailand Research Fund (Grand No MRG5980199). The authors also acknowledge Surat Thani Rajabhat University, and DORAS Centre, Kasetsart University for providing sharing instrument and data collection. Special thanks to the Rubber State Organization, Nabon district, Nakhon Si Thammarat Province for the support of facilities for conducting research.

References

- [1] D Workman. Natural Rubber Exports by Country. World's top export, Available at: <http://www.worldstopexports.com/natural-rubber-exports-country/3354/>, accessed January, 2019.
- [2] Thailand Foreign Agricultural Trade Statistics 2017. Office of Agriculture Economics, Available at: <http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/journal/2561/thailandtradestat2560.pdf>, accessed February 2019.
- [3] ZL Wu, HM Liu, and LY Liu. Rubber cultivation and sustainable development in Xishuangbanna, China. *Int. J. Sust. Dev. World.* 2011; **8**, 337–345.
- [4] Z Tan, Y Zhang, Q Song, W Liu, X Deng, J Tang, Y Den, W Zhou, L Yang, G Yu, X Sun and N Liang. Rubber plantations act as water pumps in tropical China. *Geophys. Res. Lett.* 2011, DOI: 10.1029/2011GL050006.
- [5] TW Giambelluca, RG Mudd, W. Liu, AD Ziegler, N Kobayashi, T Kumagai, M Miyazawa, TK Lim, M Huang, F Fox, S Yin, SV Mak and P Kasemsap. Evapotranspiration of rubber (*Hevea brasiliensis*) cultivated at two plantation sites in Southeast Asia. *Water Resour. Res.* 2016; **52**, 660-679.
- [6] AD Ziegler, J Phelps, QY Jia, EL Webb, D Lawrence, JM Fox, TB Bruun, SJ Leisz, CM Ryan, W Dressler, O Mertz, U Pascual, C Padoch and LP Koh. Carbon outcomes of major land-cover transitions in SE Asia: great uncertainties and REDD+ policy implications. *Global Change Biol.* 2012; **18**, 3087– 3099.

- [7] J Fox. Through the Technology Lens: The Expansion of Rubber and its Implications in Montane Mainland Southeast Asia. *Conserv. Soc.* 2014; **12**(4), 418–424.
- [8] SO Chung, R Horton, Soil heat and water flow with a partial surface mulch. *Water Resour. Res.* 1987; **23**(12), 2175–2186.
- [9] HJH Franssen, R Stöckli, I Lehner, E Rotenberg and SI Seneviratne. Energy balance closure of eddy-covariance data: a multisite analysis for European FLUXNET stations. *Agric. For. Meteorol.* 2010; **150**, 1553–1567.
- [10] R McGloin, L Šigut, K Havránková, J Dušek, M Pavelka, P Sedlák. Energy balance closure at a variety of ecosystems in Central Europe with contrasting topographies. *Agric. For. Meteorol.* 2018; **248**, 418–431.
- [11] D Starkenburg, S Metzger, GJ Fochesatto, J Alfieri, R Gens, A Prakash, J Cristobal and D Kane. Assessment of de-spiking methods for turbulent flux computations in high latitude forest canopies using sonic anemometers. *J. Atmos. Ocean. Technol.* 2016; **33**, 2001–2013.
- [12] CJ Moore. Frequency response corrections for eddy correlation systems. *Boundary-Layer Meteorol.* 1986; **37**(1):17–35.
- [13] GG Burba, A Schmidt, RL Scott, T Nakai, J Kathilankal, G Fratini, C Hanson, BE Law, DK McDermitt, R Eckles, M Furtaw and M Velgersdyk. Calculating CO₂ and H₂O eddy covariance fluxes from an enclosed gas analyzer using an instantaneous mixing ratio. *Global Change Biolo.* 2012; **18**, 385–399.
- [14] D Starkenburg, GJ Fochesatto, A Prakash, J Cristóbal, R Gens and DL Kane. The role of coherent flow structures in the sensible heat fluxes of an Alaskan boreal forest. *J. Geophys. Res. Atmos.* 2013; **118**, 8140–8155.
- [15] D Starkenburg, GJ Fochesatto, J Cristóbal, A Prakash, R Gens, JG Alfieri, H Nagano, Y Harazono, H Iwata and DL Kane. Temperature regimes and turbulent heat fluxes across a heterogeneous canopy in an Alaskan boreal forest. *J. Geophys. Res. Atmos.* 2015; **120**, 1348–1360.
- [16] K Wilson, A Goldstein, E Falge, M Aubinet, D Baldocchi, P Berbigier, C Bernhofer, R Ceulemans, H Dolman, C Field, A Grelle, A Ibrom, BE Law, A Kowalski, T Meyers, J Moncrieff, R Monson, W Oechel, J Tenhunen, R Valentini and S Verma. Energy balance closure at FLUXNET sites. *Agric For Meteorol.* 2002; **113**, 223–243.
- [17] J Kochendorfer, EG Castillo, E Haas, WC Oechel and UKT Paw. Net ecosystem exchange, evapotranspiration and canopy conductance in a riparian forest. *Agric For Meteorol.* 2011; **151**(5), 544–553.
- [18] X Ma, Q Feng, Y Su, T Yu and H Jin. Forest Evapotranspiration and Energy Flux Partitioning Based on Eddy Covariance Methods in an Arid Desert Region of Northwest China. *Adv. Meteorol.* 2017, DOI.org/10.1155/2017/1619047.
- [19] PC Stoy, M Mauder, T Foken, B Marcolla, E Boegh, A Ibrom, MA Arain, A Arneth, M Aurela, C Bernhofer, A Cescatti, E Dellwik, P Duce, D Gianelle, EV Gorsel, G Kiely, A Knohl, H Margolis and A Varlagin. A data-driven analysis of energy balance closure across FLUXNET research site: The role of landscape scale heterogeneity. *Agric For Meteorol.* 2013; **152**, 137–152.
- [20] M Sanwangsri, P Hanpattanakit and A Chidthaisong. Variations of Energy Fluxes and Ecosystem Evapotranspiration in a Young Secondary Dry Dipterocarp Forest in Western Thailand. *Atmosphere.* 2017, DOI:10.3390/atmos8080152.
- [21] JM Sánchez, V Caselles and EM Rubio. Analysis of the energy balance closure over a FLUXNET boreal forest in Finland. *Hydrol. Earth Syst. Sc.* 2010; **14**, 1487–1497.

- [22] W Ruairuen, GJ Fochesatto, M Bitelli, EB Sparrow, W Schnable, M Zhang and Y Kim. Evapotranspiration Cycles in a High Latitude Agroecosystem: Potential Warming Role. *Plos One*. 2015, DOI:10.1371/journal.pone.0137209.
- [23] W Ruairuen, GJ Fochesatto, M Bitelli, EB Sparrow, W Schnable and M Zhang. Evapotranspiration in Northern Agro-Ecosystems: Numerical Simulation and Experimental Comparison. In Bucur, Daniel (ed), IntechOpen, Current Perspective to Predict Actual Evapotranspiration, 2017, p. 65-84.
- [24] D Charuchittipan, W Babel, M Mauder, J-P Leps and T Foken. Extension of the averaging time in eddy-covariance measurements and its effect on the energy balance closure. *Bound-Layer Meteorol*. 2014; **152**, 303–327.
- [25] F Eder, F De Roo, K Kohnert, RL Desjardins, HP Schmid and M Mauder. Evaluation of two energy balance closure parametrizations. *Boud. Layer Meteorol*. 2014; 151, 195–219.
- [26] Z Gao, H Liu, GG Katul and T Foken. Non-closure of the surface energy balance explained by phase difference between vertical velocity and scalars of large atmospheric eddies. *Environ. Res. Lett*. 2017; 12 (3).
- [27] M Zeri, LDA Sá, AO Manzi, AC Araujo, RC Aguiar, C von Randow, G Sampaio, FL Cardoso and CA Nobre. Variability of carbon and water fluxes following climate extremes over a tropical forest in Southwestern Amazonia. *PLoS One*, 2014; 9(2)e88130.
- [28] R Eshonkulov, A Poyda, J Ingwersen, A Pulatov and T Streck. Improving the energy balance closure over a winter wheat field by account for minor storage terms. *Agric. For. Meteorol*. 2019; **264**, 283-296.
- [29] S Kutikoff, X Lin, S Evett, P Gowda, J Moorhead, G Marek, P Colaizzi, R Aiken and D Brauer. Heat storage and its effect on the surface energy balance closure under advective conditions. *Agric. For. Meteorol*. 2019; 265, 56–69.
- [30] R Leuning, HA Cleugh, S Zegelin and D Hughes. Carbon and water fluxes over a temperate Eucalyptus forest and a tropical wet/dry savanna in Australia: measurements and comparison with MODIS remote sensing estimates. *Agric. For. Meteorol*. 2005; **129**, 151–173.
- [31] V Haverd, M Cuntz, R Leuning and H Keith. Air and biomass heat storage fluxes in a forest canopy: calculation within a soil vegetation atmosphere transfer model. *Agric. For. Meteorol*. 2007; **147**, 125–139.
- [32] A Lindroth, M Molder and F Lagergren. Heat storage in forest biomass improves energy balance closure. *Biogeosciences*. 2010; **7**, 301–313.

ภาคผนวก ฉ

การนำเสนอผลงานในระดับชาติและระดับนานาชาติ



Energy Fluxes and Evapotranspiration in a Rubber Agroecosystem of the Southern Thailand

Watcharee RUAIUEN^{1*}, Javier G. FOCESATTO², Poonpipope KASEMSAP^{3,4} and Chompunut CHAYAWAT⁴

¹Environmental Science program, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Surat Thani 84100, Thailand

²Department of Atmospheric Sciences, Geophysical Institute and College of Natural Science and Mathematics, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, Alaska 99775, USA

³Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

⁴DORAS Centre, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author : ruairuen@gmail.com

Abstract

Evapotranspiration (ET) is an important role of land surface flux that significantly drives hydrological cycle, vegetation functioning and resulting agricultural production. In this study, observations of energy fluxes, energy partitioning and evapotranspiration (ET) were conducted in 2017 above a monoclonal stand of rubber trees (*Hevea brasiliensis*) plot (clone RRIM 600). The forestry population was 17 years old and had been tapped continuously over 10 years for latex harvesting at the Rubber Estate Organization station in Na Bon district, Nakhon Si Thammarat province. The ET rate and associated energy fluxes were determined, by means of eddy covariance (EC) and complemented by micrometeorological measurements at 25 m tall tower. Tree stands are spaced on plots of 3.0 m × 7.0 m with mean canopy height of 22 m. Data were collected during January 1 to September 27, 2017. Results found that the energy balance closure of the rubber agroecosystem was approximately 78%. Overall, the latent heat (*LE*) flux was the main term of energy consumption (58%-60%) due to its dominance across the growing season. The ratios of the latent heat (*LE*) and sensible heat (*H*) to net radiation were 0.58 and 0.24 throughout the period of study, respectively. Moreover, the daily mean of evapotranspiration (ET) was 7.16 mm.d⁻¹ over the whole period of this study. However, a slightly higher rate of daily mean ET (7.35 mm.d⁻¹) was indicated during the foliage period than leaf senescence period due to sufficient soil moisture associated with high rate of precipitation. On the basis of historical records of energy partitioning and ET through several large-scale synoptic meteorological processes a more reliable set of observations can be further used as a presetting condition for an improved drought prognosis for the rubber ecosystem.

Keywords: evapotranspiration, energy fluxes, rubber agroecosystem, southern Thailand



The 11th Walailak Research National Conference
การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 11

ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอากาศกับอัตราการคายระเหยน้ำของยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุ 17 ปี

Relationship between Weather and Evapotranspiration rate of 17 years old rubber tree clone RRIM600

สุจารี จันทร์หนู¹, ยุวดี ราชสังข์¹ และวัชรีย์ รวยรื่น^{1*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ตำบลขุนทะเล อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

(*Corresponding author's e-mail: ruairuen@gmail.com)

บทคัดย่อ (Abstract)

ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการให้ผลผลิตของยางพาราทั้งน้ำยาและเนื้อไม้ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอากาศกับอัตราการคายระเหยน้ำของยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุ 17 ปีในระบบนิเวศเกษตรยางพารา ซึ่งทำการวัดปริมาณการคายน้ำโดยเทคนิค Eddy Covariance (EC) ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาที และเก็บข้อมูลสภาพอากาศ ด้วยสถานีตรวจอากาศที่ติดตั้งอยู่บริเวณแปลงทดลอง ดำเนินงานทดลองในเดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือน กันยายน พ.ศ. 2561 ณ องค์การสวนยาง อำเภอนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการคายน้ำของยางพาราในสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า สภาพอากาศในพื้นที่ศึกษามีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุด 1,135 W/m² อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยมีค่า 26.44 ± 2.88 องศาเซลเซียส อัตราการคายระเหยน้ำของยางพารามีอัตราการคายน้ำ 1 – 7.33 mm/day ซึ่งอัตราการคายน้ำขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน โดยอัตราการคายน้ำมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิและปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ แต่อัตราการคายน้ำของยางพารามีความสัมพันธ์เชิงลบกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และการเปรียบเทียบวันที่ท้องฟ้าโปร่ง (sunny day) และวันที่ท้องฟ้ามีเมฆ (cloudy day) พบว่า ในวันที่ท้องฟ้าโปร่งยางพารามีอัตราการคายน้ำสูงกว่าในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆ ซึ่งข้อมูลการคายระเหยน้ำนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการจัดการน้ำให้เหมาะสมตามความต้องการของยางพาราในภาคใต้ต่อไปได้

คำสำคัญ (Keywords) :

ยางพารา, รังสีดวงอาทิตย์, อัตราการคายระเหยน้ำ, สภาพอากาศ

แหล่งทุน (Funding Agency)

สกว. โครงการสนับสนุนทุนวิจัยอาจารย์รุ่นใหม่รหัสโครงการMRG5980199 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี