



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการการประยุกต์ใช้ดัชนีชี้วัดทางด้านการผลิตตามแนวทางของ
Global Reporting Initiative กับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษในประเทศไทย
*Application of the production performance indicators in accordance with
Global Reporting Initiative to Thai pulp and paper industries*

โดย

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย

กันยายน 2546

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RDG3/31/2543

ชื่อโครงการ : การประยุกต์ใช้ดัชนีชี้วัดทางด้านการผลิตตามแนวทางของ Global Reporting Initiative กับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษในประเทศไทย

ชื่อนักวิจัย : สมพร กมลศิริพิชัยพร¹, วิทย์ สุนทรนันท์¹, แสงชัย วิริยะอำไพวงศ์², ประกอบ พิกุลกานตเลิศ², เอียด สุนทรอารมณ์², มณีพร ศิริไชยพงษ์เทพ², จิตรกร ธนภูมิชัย², วิสันต์ บันยารชุน², อุดม ชะชัย², ธเนศ สมบูรณ์², พงษ์สุรย์ รุจาคม², อลงกรณ์ ปิติชัยชาญ²

¹ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² สมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย

Email address : Somporn.K@chula.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : สิงหาคม 2543 – ตุลาคม 2544

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาดัชนีชี้วัดผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษตามแนวทางของ Global Reporting Initiative (GRI) และครอบคลุมการพัฒนาแบบและแนวทางในการจัดเก็บข้อมูลเพื่อการทำ Benchmarking โดยดำเนินการศึกษาและสำรวจกระบวนการผลิตของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทยรวมทั้งสิ้น 16 แห่ง การศึกษาแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มอุตสาหกรรมย่อยตามประเภทของผลิตภัณฑ์อันประกอบด้วย เยื่อกระดาษ กระดาษพิมพ์เขียน กระดาษแข็ง กระดาษอุตสาหกรรม กระดาษหนังสือพิมพ์ และกระดาษอนามัย เพื่อให้ได้ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์กลุ่มดัชนีชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องบนพื้นฐานการพิจารณาตามรูปแบบของ GRI ซึ่งอาศัยความ พร้อมของข้อมูล ความน่าเชื่อถือของข้อมูล รวมทั้งประโยชน์ในการใช้งานของดัชนีดังกล่าวในด้านต่างๆ ทั้งนี้ได้ทำ การเปรียบเทียบดัชนีจากผลการศึกษา กับข้อมูลของผู้ผลิตในต่างประเทศที่มีการเปิดเผยต่อสาธารณชน เพื่อทดสอบ นิยสำคัญของรูปแบบและค่าดัชนีที่ศึกษา ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทยอยู่ในระดับเดียวกันกับผู้ประกอบการในประเทศที่พัฒนาแล้ว นอกจากนี้ การนำเสนอ ในรูปของ ปริมาณต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ไม่ได้บ่งชี้ถึงระดับผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่แท้จริงจากการผลิตเสมอไป จึงควรใช้ข้อมูลเชิงปริมาณรวมประกอบด้วย เมื่อรายงานในลักษณะดังกล่าว อุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทยจัด อยู่ในกลุ่มที่ก่อผลกระทบในระดับต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ประกอบการในต่างประเทศ

ในอีกมุมมองหนึ่ง โครงการวิจัยนี้ได้แสดงถึงความสำเร็จในการประสานความร่วมมือทางวิชาการ ระหว่างภาคการศึกษาและภาคอุตสาหกรรม ผลจากการศึกษานี้ได้ก่อให้เกิดความตระหนักถึงความสำคัญของประสิทธิผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม และศักยภาพในการนำมาใช้รายงานด้านสิ่งแวดล้อม ผลที่ได้ยังเป็นประโยชน์ต่อ ผู้ประกอบการในด้านการประเมินและบริหารจัดการการผลิต ทั้งยังได้ชี้ให้เห็นถึงแนวทางในการพัฒนาระบบการ จัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลในอนาคต

คำหลัก: ดัชนีชี้วัดผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม, Global Reporting Initiative, อุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

Abstract

Project code: RDG3/31/2543

Project title: Applications of Operational Performance Indicators in Accordance with Global Reporting Initiative Guideline for Pulp and Paper Industry in Thailand

Investigators: Kamolsiripichaiporn S.¹, Soontaranun W.¹, Wiriyaumpaiwong S.², Ruchakhom P.², Sirichaipongthep M.², Pikulkarntalerd P.², Thanapoomchai J.², Soonthornarrom O.², Punyarachun W.², Chachai U.², Somboon T.², and Pitichaichan A.²
¹ Chulalongkorn University
² Thai Pulp and Paper Industries Association

Email address: Somporn.K@chula.ac.th

Project duration: August 2000 – October 2001

With the objectives to develop appropriate environmental performance indicators in the production process of the pulp and paper industry sector, this study was undertaken following the Global Reporting Initiative guidelines. The format and methodology of data collection was established, also for the purpose of benchmarking.

The study and survey of the production process covered 16 factories of 6 sub-sectors, namely, pulp, printing paper, paperboard, industrial paper, newsprint and hygienic product. Based on the GRI guidelines, data collected were converted and analyzed for the suitability and appropriateness to constitute the key environmental performance indicator set. Criteria of analysis were the availability, completeness, accuracy and reliability of the data including the advantages and disadvantages of such indicators in various aspects. The environmental performance was compared to data of foreign manufacturers that were publicly disclosed in order to determine the significance of reporting items and formats. Results showed that environmental performance of Thai pulp and paper industry is comparable to other pulp and paper manufacturers in the western world. More importantly, reporting of only intensity (tons of discharge per unit production) does not directly indicate the total discharge, a significant parameter reflecting environmental impact contributed by industrial processes. If such indicators are to be reported, the Thai pulp and paper industry would be considered a less polluter as compared to other manufacturers in western countries.

In essence, this study was one of the kinds that showed a successful collaboration between research community and industrial sector. Through this study, industries are more aware of the importance of environment performance and its potential use in environmental reporting. The results obtained were useful for the company's evaluation in terms of cost effectiveness and the operational management. The indicator set also provides an insight to the improvement of data collecting system and analytical tools.

Key words: environmental performance indicator, Global Reporting Initiative, pulp and paper industry

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ii
Abstract	iii
สารบัญ	iv
สารบัญรูป	vi
สารบัญตาราง	xx
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	xxiii
Executive Summary	xxxvii
1. บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.1.1 ที่มาและความสำคัญของการรายงานผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม	1
1.1.2 ที่มาและแนวคิดของการรายงานตามรูปแบบของ Global Reporting Initiative (GRI)	1
1.1.3 ความสำคัญของการรายงานด้านสิ่งแวดล้อมต่ออุตสาหกรรมเชื้อและกระดาษในประเทศไทย	3
1.1.4 แนวทางการรายงานดัชนีด้านการผลิตตามแนวทางของ GRI	4
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	6
1.3 ระเบียบวิธีวิจัย	6
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	7
2. ข้อมูลจากการสำรวจกระบวนการผลิตเชื้อกระดาษของประเทศไทย	8
2.1 กระบวนการผลิตเชื้อกระดาษ	8
2.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตเชื้อกระดาษ	13
3. ดัชนีชี้วัดทางด้านการผลิตตามกรอบการนำเสนอของ GRI สำหรับอุตสาหกรรมเชื้อกระดาษ	24
3.1 ดัชนีที่นำเสนอในหมวดต่างๆ	24
3.2 ความพร้อมของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเชื้อกระดาษไทยในการนำเสนอดัชนี	30
3.3 ดัชนีและภาพรวมของอุตสาหกรรมเชื้อกระดาษไทย	37
3.4 การเปรียบเทียบดัชนีกับอุตสาหกรรมเชื้อกระดาษในต่างประเทศ	59
3.5 วิเคราะห์ความเหมาะสมของการนำเสนอดัชนีตามกรอบ GRI	84
3.6 สรุปดัชนีที่เหมาะสมต่อการนำเสนอตามกรอบของ GRI ของอุตสาหกรรมเชื้อกระดาษไทย	94
4. ข้อมูลจากการสำรวจกระบวนการผลิตกระดาษของประเทศไทย	97
4.1 กระบวนการผลิตกระดาษ	97
4.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตกระดาษ	102
5. ดัชนีชี้วัดทางด้านการผลิตตามกรอบการนำเสนอของ GRI สำหรับอุตสาหกรรมกระดาษ	109
5.1 ดัชนีที่นำเสนอในหมวดต่างๆ	109
5.2 ความพร้อมของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมกระดาษไทยในการนำเสนอดัชนี	114

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 คำนีและภาพรวมของอุตสาหกรรมกระดาษไทย	117
5.4 การเปรียบเทียบคำนีกับอุตสาหกรรมกระดาษในต่างประเทศ	201
5.5 วิเคราะห์ความเหมาะสมของการนำเสนอคำนีตามกรอบ GRI	273
5.6 บทสรุปคำนีที่เหมาะสมต่อการรายงานของอุตสาหกรรมกระดาษไทย	280
6. ประโยชน์จากการรายงานด้านสิ่งแวดล้อม	283
7. บทสรุป ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะ	297
ภาคผนวก ก	ก-1
ภาคผนวก ข	ข-1
ภาคผนวก ค	ค-1

สารบัญรูป

	หน้า
<u>บทที่ 1</u>	
รูปที่ 1-1 ปริมาณการนำเข้าและส่งออกผลิตภัณฑ์กระดาศของประเทศไทยในช่วง 10 ปี	4
<u>บทที่ 2</u>	
รูปที่ 2-1 ขั้นตอนหลักของการผลิตเยื่อกระดาษด้วยวิธีการทางเคมีและกึ่งเคมี	8
<u>บทที่ 3</u>	
รูปที่ 3-1 สัดส่วนของวัตถุดิบเส้นใยประเภทต่างๆสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษาในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	38
รูปที่ 3-2 ร้อยละผลผลิตเฉลี่ยของการผลิตเยื่อกระดาษชนิดต่างๆของกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	39
รูปที่ 3-3 ปริมาณการชดเชยปูนขาวต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษแต่ละรายในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	40
รูปที่ 3-4 ปริมาณการชดเชยสารเคมีต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษแต่ละรายในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	41
รูปที่ 3-5 ปริมาณการชดเชยสารเคมีต่อหน่วยผลิตภัณฑ์จำแนกตามลักษณะการใช้งานสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	41
รูปที่ 3-6 ปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	42
รูปที่ 3-7 ปริมาณการใช้พลังงานรวมของโรงผลิตเยื่อกระดาษในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	43
รูปที่ 3-8 สัดส่วนของเชื้อเพลิงประเภทชีวมวลต่อฟอสซิล (ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างสำหรับช่วงหกเดือนแรกของปี 2543)	43
รูปที่ 3-9 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเชื้อเพลิงประเภทชีวมวลและฟอสซิลสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	44
รูปที่ 3-10 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	44
รูปที่ 3-11 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพเชิงความร้อนสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	45
รูปที่ 3-12 พลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้เปรียบเทียบกับพลังงานที่ใช้ในการผลิตสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	45
รูปที่ 3-13 ปริมาณการใช้น้ำของโรงผลิตเยื่อกระดาษในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	46
รูปที่ 3-14 อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของโรงผลิตเยื่อกระดาษในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	47
รูปที่ 3-15 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	48

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3-16 ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	49
รูปที่ 3-17 ปริมาณอนุพลของซัลเฟอร์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	49
รูปที่ 3-18 ปริมาณฝุ่นต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	50
รูปที่ 3-19 ปริมาณน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วเปรียบเทียบกับน้ำใช้สำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษเฉลี่ยสำหรับช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	51
รูปที่ 3-20 ปริมาณบีโอดีสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษเฉลี่ยสำหรับช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	52
รูปที่ 3-21 ปริมาณซีโอดีสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษเฉลี่ยสำหรับช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	53
รูปที่ 3-22 ปริมาณของแข็งแขวนลอยสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษเฉลี่ยสำหรับช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	53
รูปที่ 3-23 ปริมาณทีดีเอสต่อหน่วยผลิตภัณฑ์สำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษเฉลี่ยสำหรับช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	54
รูปที่ 3-24 ค่าเฉลี่ยปริมาณการก่อกวนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์แยกประเภทต่างๆสำหรับโรงผลิตเยื่อกระดาษสำหรับช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	55
รูปที่ 3-25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตเยื่อกระดาษในต่างประเทศ	59
รูปที่ 3-26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมเฉลี่ยต่อเดือนของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตเยื่อกระดาษในต่างประเทศ	60
รูปที่ 3-27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตเยื่อกระดาษในต่างประเทศ	61
รูปที่ 3-28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงต่อเดือนของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตเยื่อกระดาษในต่างประเทศ	61
รูปที่ 3-29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนเชื้อเพลิงประเภทชีวมวลต่อฟอสซิลของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตเยื่อกระดาษในต่างประเทศ	62
รูปที่ 3-30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนไฟฟ้าที่ผลิตได้เองต่อไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตเยื่อกระดาษในต่างประเทศ	63
รูปที่ 3-31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตเยื่อกระดาษในต่างประเทศ	64
รูปที่ 3-32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยต่อเดือนของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตเยื่อกระดาษในต่างประเทศ	65

สารบัญรูป (ต่อ)

[illegible]

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3-49 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณเอโอเอ็กซ์ของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตเอือกระดาษ ในต่างประเทศ	79
รูปที่ 3-50 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณเอโอเอ็กซ์เฉลี่ยต่อเดือนของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิต เอือกระดาษในต่างประเทศ	80
รูปที่ 3-51 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณกากอุตสาหกรรมอันตรายของผู้ประกอบการไทยกับผู้ ผลิตเอือกระดาษในต่างประเทศ	81
รูปที่ 3-52 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณกากอุตสาหกรรมอันตรายเฉลี่ยต่อเดือนของผู้ประกอบ การไทยกับผู้ผลิตเอือกระดาษในต่างประเทศ	81
รูปที่ 3-53 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการฝังกลบของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิต เอือกระดาษในต่างประเทศ	82
รูปที่ 3-54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการฝังกลบเฉลี่ยต่อเดือนของผู้ประกอบการ ไทยกับผู้ผลิตเอือกระดาษในต่างประเทศ	83
 บทที่ 4	
รูปที่ 4-1 ขั้นตอนหลักของการผลิตกระดาษ	97
 บทที่ 5	
รูปที่ 5-1 ร้อยละของประเภทกระดาษที่ผลิตในประเทศไทยในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	117
รูปที่ 5-2 ปริมาณสารเคมีที่ใส่ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับสำหรับโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียน ในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	119
รูปที่ 5-3 ปริมาณสารเคมีที่ใส่ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียน จำแนก ตามความเป็นอันตรายในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	120
รูปที่ 5-4 ปริมาณสารเคมีที่ใส่ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียน จำแนกเป็น ที่ใช้ในกระบวนการผลิตและที่ใช้ในระบบสาธารณูปโภคในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	120
รูปที่ 5-5 ปริมาณการใช้พลังงานรวมเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียนในช่วงหกเดือนแรก ของปี 2543	121
รูปที่ 5-6 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เปรียบเทียบกับพลังงานที่ใช้ในการผลิตสำหรับโรงผลิตกระดาษ พิมพ์เขียนช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	123
รูปที่ 5-7 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเชื้อเพลิงประเภทชีวมวลและฟอสซิลสำหรับโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียน ช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	124
รูปที่ 5-8 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดสำหรับโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียน ช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	125
รูปที่ 5-9 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงประเภทชีวมวลและฟอสซิลสำหรับโรงผลิต กระดาษพิมพ์เขียนช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	126

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5-10 ปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียนในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	127
รูปที่ 5-11 ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียนในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543 แยกเป็นน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตกับใช้ในระบบสาธารณูปโภค	128
รูปที่ 5-12 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยของโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียนช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	129
รูปที่ 5-13 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียนช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	130
รูปที่ 5-14 ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนสำหรับโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียนช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	131
รูปที่ 5-15 ปริมาณฝุ่นสำหรับโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียนช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	131
รูปที่ 5-16 ปริมาณน้ำทิ้งเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียนในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	132
รูปที่ 5-17 ปริมาณบีโอดีเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียนในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	133
รูปที่ 5-18 ปริมาณซีโอดีเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียนในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	134
รูปที่ 5-19 ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียนในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	135
รูปที่ 5-20 ร้อยละของผลผลิตเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	139
รูปที่ 5-21 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	140
รูปที่ 5-22 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งจำแนกตามความเป็นอันตรายในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	141
รูปที่ 5-23 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็ง จำแนกเป็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตและที่ใช้ในสาธารณูปโภคในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	141
รูปที่ 5-24 ร้อยละของวัตถุดิบประเภทเส้นใยที่ผ่านการนำกลับใช้ใหม่เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งจำแนกตามความเป็นอันตรายในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	142
รูปที่ 5-25 ปริมาณการใช้พลังงานรวมสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนของปี 2543	143
รูปที่ 5-26 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	144
รูปที่ 5-27 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเชื้อเพลิงประเภทชีวมวลและฟอสซิลสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	144
รูปที่ 5-28 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	145
รูปที่ 5-29 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงประเภทชีวมวลและฟอสซิลสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	146

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5-30 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพเชิงความร้อนสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	147
รูปที่ 5-31 ปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	148
รูปที่ 5-32 ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ แยกประเภทน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตกับใช้ในระบบสาธารณูปโภค สำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	148
รูปที่ 5-33 ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ แยกประเภทน้ำจากภายนอกและน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว สำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	149
รูปที่ 5-34 ร้อยละปริมาณน้ำทิ้งที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	149
รูปที่ 5-35 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	150
รูปที่ 5-36 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	151
รูปที่ 5-37 ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	151
รูปที่ 5-38 ปริมาณฝุ่นสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	152
รูปที่ 5-39 ปริมาณน้ำทิ้งเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	152
รูปที่ 5-40 ปริมาณบีโอดีเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	153
รูปที่ 5-41 ปริมาณซีโอดีเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	154
รูปที่ 5-42 ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	155
รูปที่ 5-43 ปริมาณทีดีเอสเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	155
รูปที่ 5-44 ค่าเฉลี่ยปริมาณกากอุตสาหกรรมแยกประเภทต่างๆสำหรับโรงผลิตกระดาษแข็งในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	156
รูปที่ 5-45 ร้อยละของผลผลิตเฉลี่ยสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	159
รูปที่ 5-46 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์สำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	160
รูปที่ 5-47 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์สำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	161
รูปที่ 5-48 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	161
รูปที่ 5-49 ร้อยละของวัตถุดิบประเภทเส้นใยที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่เฉลี่ยสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	162
รูปที่ 5-50 ปริมาณการใช้พลังงานรวมเฉลี่ยสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	163

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5-51 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เปรียบเทียบกับพลังงานที่ใช้ในการผลิตสำหรับโรงงานกระดาษ อุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	164
รูปที่ 5-52 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเชื้อเพลิงประเภทชีวมวลและฟอสซิลสำหรับโรงงานกระดาษ อุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	164
รูปที่ 5-53 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดสำหรับโรงงานกระดาษ อุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	165
รูปที่ 5-54 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของพลังงานจากชีวมวลสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วง หกเดือนแรกของปี 2543	166
รูปที่ 5-55 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพเชิงความร้อนสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วง หกเดือนแรกของปี 2543	166
รูปที่ 5-56 ปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	167
รูปที่ 5-57 ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหก เดือนแรกของปี 2543 จำแนกเป็นน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตกับใช้ในระบบสาธารณูปโภค	168
รูปที่ 5-58 ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหก เดือนแรกของปี 2543 จำแนกเป็นน้ำจากภายนอกกับน้ำที่ผ่านการใช้งานแล้ว	169
รูปที่ 5-59 ร้อยละปริมาณน้ำทิ้งที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดเฉลี่ยสำหรับโรงงาน กระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	170
รูปที่ 5-60 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรก ของปี 2543	170
รูปที่ 5-61 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรก ของปี 2543	171
รูปที่ 5-62 ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือน แรกของปี 2543	172
รูปที่ 5-63 ปริมาณฝุ่นสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	172
รูปที่ 5-64 ปริมาณน้ำทิ้งเฉลี่ยสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	173
รูปที่ 5-65 ปริมาณบีโอดีเฉลี่ยสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	174
รูปที่ 5-66 ปริมาณซีโอดีเฉลี่ยสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	175
รูปที่ 5-67 ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรก ของปี 2543	176
รูปที่ 5-68 ปริมาณทีดีเอสเฉลี่ยสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	176
รูปที่ 5-69 ค่าเฉลี่ยปริมาณกากอุตสาหกรรมต่อหน่วยผลิตภัณฑ์แยกประเภทต่างๆสำหรับโรงงาน กระดาษอุตสาหกรรมในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	177

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5-70 ค่าเฉลี่ยปริมาณกากอุตสาหกรรมฝังกลบสำหรับโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมในช่วง หกเดือนแรกของปี 2543	177
รูปที่ 5-71 ร้อยละของผลผลิตเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษอนามัยในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	188
รูปที่ 5-72 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษอนามัย จำแนกตาม ความเป็นอันตราย ในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	189
รูปที่ 5-73 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษอนามัย จำแนกเป็นสาร เคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตกับที่ใช้ในระบบสาธารณูปโภคในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	190
รูปที่ 5-74 ร้อยละของวัตถุดิบประเภทเส้นใยที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่เฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษ อนามัยในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	191
รูปที่ 5-75 ปริมาณการใช้พลังงานรวมเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษอนามัยในช่วงหกเดือนแรกของ ปี 2543	191
รูปที่ 5-76 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับโรงผลิตกระดาษอนามัยในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	192
รูปที่ 5-77 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพเชิงความร้อนสำหรับโรงผลิตกระดาษอนามัยในช่วงหกเดือนแรก ของปี 2543	193
รูปที่ 5-78 ปริมาณการใช้น้ำรวมเฉลี่ยสำหรับโรงผลิตกระดาษอนามัยในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	194
รูปที่ 5-79 ร้อยละปริมาณน้ำทิ้งที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดเฉลี่ย สำหรับโรงผลิตกระดาษอนามัยในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	195
รูปที่ 5-80 ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ แยกประเภทน้ำจากภายนอกและน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว สำหรับโรงผลิตกระดาษอนามัยในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	195
รูปที่ 5-81 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับโรงผลิตกระดาษอนามัยในช่วงหกเดือนแรกของ ปี 2543	196
รูปที่ 5-82 ค่าเฉลี่ยปริมาณกากอุตสาหกรรมแยกประเภทต่างๆสำหรับโรงผลิตกระดาษอนามัยในช่วง หกเดือนแรกของปี 2543	199
รูปที่ 5-83 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการไทย กับผู้ผลิตกระดาษพิมพ์เขียนในต่างประเทศ	201
รูปที่ 5-84 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมต่อเดือนของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิต กระดาษพิมพ์เขียนในต่างประเทศ	202
รูปที่ 5-85 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการไทย กับผู้ผลิตกระดาษพิมพ์เขียนในต่างประเทศ	203
รูปที่ 5-86 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงต่อเดือนของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิต กระดาษพิมพ์เขียนในต่างประเทศ	204
รูปที่ 5-87 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของการใช้เชื้อเพลิงประเภทชีวมวลของผู้ประกอบการ ไทยกับผู้ผลิตกระดาษพิมพ์เขียนในต่างประเทศ	205

สารบัญรูป (ต่อ)

[illegible]

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5-104 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณซีโอดีต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษแข็งในต่างประเทศ	219
รูปที่ 5-105 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณซีโอดีต่อเดือนของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษแข็งในต่างประเทศ	220
รูปที่ 5-106 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณกากอุตสาหกรรมที่ทำการฝังกลบต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษแข็งในต่างประเทศ	221
รูปที่ 5-107 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษอุตสาหกรรมในต่างประเทศ	222
รูปที่ 5-108 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมต่อเดือนของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษอุตสาหกรรมในต่างประเทศ	223
รูปที่ 5-109 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษอุตสาหกรรมในต่างประเทศ	224
รูปที่ 5-110 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงต่อเดือนของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษอุตสาหกรรมในต่างประเทศ	224
รูปที่ 5-111 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของการใช้เชื้อเพลิงประเภทชีวมวลของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษอุตสาหกรรมในต่างประเทศ	225
รูปที่ 5-112 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสัดส่วนไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษอุตสาหกรรมในต่างประเทศ	226
รูปที่ 5-113 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษอุตสาหกรรมในต่างประเทศ	227
รูปที่ 5-114 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเดือนของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษอุตสาหกรรมในต่างประเทศ	228
รูปที่ 5-115 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษอุตสาหกรรมในต่างประเทศ	229
รูปที่ 5-116 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อเดือนของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษอุตสาหกรรมในต่างประเทศ	229
รูปที่ 5-117 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษอุตสาหกรรมในต่างประเทศ	230
รูปที่ 5-118 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนต่อเดือนของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษอุตสาหกรรมในต่างประเทศ	231
รูปที่ 5-119 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษอุตสาหกรรมในต่างประเทศ	232

สารบัญรูป (ต่อ)

[illegible]

สารบัญรูป (ต่อ)

[illegible]

สารบัญรูป (ต่อ)

[illegible]

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5-168 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณกากอุตสาหกรรมที่นำไปฝังกลบต่อเดือนของผู้ประกอบการไทยกับผู้ผลิตกระดาษอนามัยในต่างประเทศ	272
บทที่ 6	
รูปที่ 6-1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของโรงผลิตกระดาษอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง	284
รูปที่ 6-2 ปริมาณการก่อกำเนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษแยกตามกลุ่มย่อย	289
รูปที่ 6-3 ปริมาณการก่อกำเนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของกลุ่มผู้ผลิตเยื่อกระดาษไทยแยกตามรายผู้ประกอบการ	289

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ดัชนีด้านการผลิตทั่วไปตามกรอบของ GRI สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย	xxx
Table 1 Production performance indicators for Thai pulp and paper classified according to GRI as generally applicable	xliii
บทที่ 1	
ตารางที่ 1-1 กรอบการรายงานดัชนีชี้วัดทางด้านการผลิตที่กำหนดโดย GRI	5
บทที่ 2	
ตารางที่ 2-1 รายละเอียดขั้นตอนการผลิตของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษที่ร่วมวิจัย	9
ตารางที่ 2-2 สรุปการใช้ทรัพยากรและมลสารจากการผลิตเยื่อกระดาษด้วยกระบวนการแบบต่างๆ	14
ตารางที่ 2-3 รายชื่อสารเคมีอันตรายที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษและการจำแนกกลุ่ม	16
ตารางที่ 2-4 แสดงตัวอย่างค่ามาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษของประเทศในเอเชีย	22
บทที่ 3	
ตารางที่ 3-1 รายการแสดงความพร้อมของข้อมูลสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษไทย	30
ตารางที่ 3-2 รายการแสดงข้อมูลที่มีการรายงานของผู้ประกอบการเยื่อกระดาษในต่างประเทศ	33
ตารางที่ 3-3 กำลังการผลิตในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543 ของโรงงานเยื่อกระดาษที่ร่วมวิจัย	37
ตารางที่ 3-4 เกณฑ์เฉลี่ยของร้อยละผลผลิตของการผลิตเยื่อกระดาษชนิดต่างๆ	39
ตารางที่ 3-5 ค่าดัชนีในหมวดต่างๆสำหรับโรงเยื่อกระดาษ	56
ตารางที่ 3-6 รายการดัชนีที่เหมาะสมและผู้ประกอบการไทยมีความพร้อมต่อการรายงาน	94
ตารางที่ 3-7 รายการดัชนีที่ควรรายงาน แต่ควรกำหนดเกณฑ์การจัดเก็บข้อมูลและการคำนวณดัชนีสำหรับผู้ประกอบการไทยก่อน	95
ตารางที่ 3-8 รายการดัชนีที่ควรรายงาน แต่ผู้ประกอบการไทยยัง ไม่มีความพร้อมต่อการรายงาน	96
ตารางที่ 3-9 รายการดัชนีที่ไม่เหมาะสมหรือไม่มีความสำคัญ	96
บทที่ 4	
ตารางที่ 4-1 รายละเอียดขั้นตอนการผลิตของโรงงานกระดาษที่เข้าร่วมโครงการ	98
ตารางที่ 4-2 สรุปผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตกระดาษ	103
ตารางที่ 4-3 ปริมาณการใช้ การนำเข้า และการส่งออกเยื่อและเศษกระดาษในปี พ.ศ.2542 และ 2543	104
ตารางที่ 4-4 รายชื่อสารเคมีอันตรายที่ใช้ในการผลิตกระดาษและการจำแนกกลุ่ม	105
บทที่ 5	
ตารางที่ 5-1 แสดงความพร้อมของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมกระดาษไทยในการนำเสนอข้อมูลตามกรอบของ GRI	114
ตารางที่ 5-2 กำลังการผลิตในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543 ของโรงงานกระดาษที่ร่วมทำการวิจัย	117
ตารางที่ 5-3 สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่เป็นกระดาษเคลือบของโรงงานผลิตกระดาษพิมพ์เขียนที่ศึกษา	119
ตารางที่ 5-4 ค่าเฉลี่ยการใช้น้ำจากภายนอกในส่วนต่างๆของการผลิตกระดาษพิมพ์เขียน	128

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 5-5 ค่าดัชนีในหมวดต่างๆสำหรับโรงงานผลิตกระดาษพิมพ์เขียนในช่วงหกเดือนแรกของปี 2543	137
ตารางที่ 5-6 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์สำหรับการผลิตกระดาษประเภทต่างๆ	147
ตารางที่ 5-7 แสดงค่าดัชนีในหมวดต่างๆสำหรับโรงงานผลิตกระดาษแข็ง	157
ตารางที่ 5-8 แสดงค่าดัชนีในหมวดต่างๆสำหรับโรงงานผลิตกระดาษอุตสาหกรรม	179
ตารางที่ 5-9 ปริมาณการใช้สารเคมีในกระบวนการกำจัดหมึกตาม <i>Best Available Technology Report</i>	182
ตารางที่ 5-10 ปริมาณและคุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีการใช้เทคโนโลยีการผลิตและการบำบัดของเสียที่เหมาะสม	184
ตารางที่ 5-11 องค์ประกอบโดยทั่วไปของกากตะกอนจากระบบกำจัดหมึก	185
ตารางที่ 5-12 ค่าที่กำหนดสำหรับองค์ประกอบต่างๆในน้ำสกัดของกากตะกอนที่จัดเป็นสิ่งปฏิกูลอันตรายและผลการทดสอบกากตะกอนจากการกำจัดหมึกของโรงงาน M	186
ตารางที่ 5-13 แสดงค่าดัชนีในหมวดต่างๆสำหรับโรงงานผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์	186
ตารางที่ 5-14 ตัวอย่างสารเติมแต่งหลักที่ใช้ในการผลิตกระดาษอนามัย	190
ตารางที่ 5-15 ปริมาณมลสารในน้ำทิ้งของโรงงานกระดาษอนามัยในยุโรปที่มีการใช้ <i>Best Available Technique</i>	197
ตารางที่ 5-16 แสดงค่าดัชนีในหมวดต่างๆสำหรับโรงงานผลิตกระดาษอนามัย	199
ตารางที่ 5-17 กำลังการผลิตของโรงผลิตกระดาษพิมพ์เขียนต่างๆที่ทำการเปรียบเทียบ	203
ตารางที่ 5-18 กำลังการผลิตของโรงงานกระดาษอุตสาหกรรมต่างๆที่ทำการเปรียบเทียบ	223
ตารางที่ 5-19 รายการดัชนีที่เหมาะสมและผู้ประกอบการไทยมีความพร้อมต่อการรายงาน	280
ตารางที่ 5-20 รายการดัชนีที่ควรรายงาน แต่ควรกำหนดเกณฑ์การเก็บข้อมูลและการคำนวณดัชนีสำหรับผู้ประกอบการไทยก่อน	281
ตารางที่ 5-21 รายการดัชนีที่ควรรายงาน แต่ผู้ประกอบการไทยยังไม่มีความพร้อมต่อการรายงาน	282
ตารางที่ 5-22 รายการดัชนีที่ไม่เหมาะสมหรือไม่มีความสำคัญต่อการรายงาน	282

บทที่ 7

ตารางที่ 7-1 ดัชนีด้านการผลิตทั่วไปตามกรอบของGRI สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย	297
--	-----

ภาคผนวก ก

ตาราง ก-1 ตัวแปลงหน่วยเป็นค่าความร้อนสำหรับพลังงานรูปแบบต่างๆ	ก-1
ตาราง ก-2 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและไฟฟ้าที่ผลิตได้ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในปี 2543	ก-4
ตาราง ก-3 อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับพลังงานรูปแบบต่างๆ	ก-5

ภาคผนวก ค

ตาราง ค-1 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ Holman ในปี 2000	ค-1
--	-----

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตาราง ค-2 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ Norske Skog ในปี 2000	ค-2
ตาราง ค-3 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ Mead ในปี 2000	ค-3
ตาราง ค-4 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ SCA	ค-3
ตาราง ค-5 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ Nexfor	ค-5
ตาราง ค-6 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ Canfor	ค-5
ตาราง ค-7 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ Boise Cadcade ในปี 2000	ค-6
ตาราง ค-8 รายละเอียดกำลังการผลิตของ Kornas Industrial Operations ในปี 1999	ค-6
ตาราง ค-9 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ M-real Corporation. ในปี 2000	ค-7
ตาราง ค-10 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ Zanders	ค-8
ตาราง ค-11 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ Stora Enso ในปี 2000	ค-9
ตาราง ค-12 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ UPM-Kymmene Printing Papers ในปี 2000	ค-12
ตาราง ค-13 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ Haindl	ค-13
ตาราง ค-14 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ Georgia-Pacific Corporation	ค-13
ตาราง ค-15 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ Myllykoski Paper	ค-14
ตาราง ค-16 รายละเอียดบริษัทย่อยในเครือ Kiani Kertas	ค-14

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

ความเป็นมา

โครงการวิจัยการประยุกต์ใช้ดัชนีชี้วัดทางด้านการผลิตตามแนวทางของ Global Reporting Initiative (GRI) กับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษในประเทศไทยเป็นโครงการที่ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย เพื่อการศึกษาความเหมาะสมของการนำระบบการรายงานผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมตามรูปแบบที่กำหนดโดย GRI มาใช้กับผู้ประกอบการไทย โดยเลือกอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษเป็นกรณีศึกษา ทั้งนี้เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมของไทย ในการพัฒนาศักยภาพที่จะรับมือกับนวัตกรรมใหม่ของการจัดการสิ่งแวดล้อม ตามแนวคิดของการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยได้ทำการแบ่งการศึกษาออกเป็น 6 กลุ่มอุตสาหกรรมย่อยตามประเภทของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เยื่อกระดาษ กระดาษพิมพ์เขียน กระดาษแข็ง กระดาษอุตสาหกรรม กระดาษหนังสือพิมพ์ และกระดาษอนามัย

ผลการศึกษา

ก. อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ

ดัชนีด้านการใช้วัตถุดิบและทรัพยากร

ร้อยละของผลผลิต (% yield)

อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษไทยทำการผลิตเยื่อใยสัณจากวัตถุดิบในประเทศอันประกอบด้วยไม้ยูคาลิปตัส ชานอ้อย ไม้ และปอ โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่คือเยื่อฟอก จึงมีการใช้กระบวนการแบบกราฟท์เป็นหลัก และกระบวนการแบบโซดาและกึ่งเคมีในอันดับรองลงไป ร้อยละของผลผลิตสำหรับผู้ประกอบการแต่ละรายจึงมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามพบว่าร้อยละผลผลิตของผู้ประกอบการไทยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเมื่อพิจารณาชนิดของวัตถุดิบและกระบวนการที่ใช้ และเมื่อวิเคราะห์ในมุมมองของความจำเป็นในการรายงาน ดัชนีดังกล่าวจัดอยู่ในข่ายที่มีความสำคัญสูง เนื่องจากเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม อีกทั้งผู้ประกอบการไทยมีข้อมูลพร้อมสำหรับการรายงาน

ปริมาณการชดเชยปูนขาวและหินปูน (Lime/limestone make-up)

โดยทั่วไป สารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อจะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยนำไปผ่านระบบนำสารเคมีกลับคืน ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการเผา การละลาย smelt (ผลิตภัณฑ์จากการเผา) และปรับสภาพสารเคมีโดยใช้ปูนขาว ซึ่งปูนขาวที่ถูกใช้แล้วจะเปลี่ยนเป็นหินปูน (หรือกากปูนขาว) และสามารถนำไปเผาเพื่อเปลี่ยนรูปกลับเป็นปูนขาวเพื่อใช้งานได้ อีก แต่ด้วยข้อจำกัดทางด้านสิ่งแวดล้อมในระบบที่เกิดจากการใช้วัตถุดิบบางประเภทและขนาดกำลังการผลิต ทำให้ผู้ประกอบการส่วนหนึ่งไม่ได้ทำการเผากากปูนขาว แต่ทำการกำจัดด้วยการฝังกลบแทน ผลการศึกษาจึงพบว่า ปริมาณการชดเชยปูนขาวในระบบนำสารเคมีกลับคืนจะมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่าง ผู้ประกอบการที่มีระบบเผากากปูนขาวเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และผู้ประกอบการที่ไม่มีระบบดังกล่าว โดยมีตัวเลขที่แตกต่างกันมากถึงเกือบสิบเท่า ซึ่งชี้ให้เห็นถึงผลกระทบในด้านการใช้ทรัพยากร และความเสี่ยงในการบริหารการผลิตและการจัดการของเสีย ดัชนีดังกล่าวจึงจัดเป็นข้อมูลที่สำคัญและควรทำการรายงาน และเพื่อให้เกิดความชัดเจนยิ่งขึ้น จึงเสนอให้เพิ่มเติมข้อมูลปริมาณสารเคมีที่นำกลับคืนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย

ปริมาณการหดยสารเคมี และจำแนกความเป็นอันตราย (Chemical make-up and their hazard identification)

ผู้ประกอบการไทยทุกรายมีระบบนำสารเคมีกลับคืน ซึ่งความจำเป็นในการใช้สารเคมีเพิ่มเติมเพื่อหดยส่วนที่สูญเสียไปในกระบวนการผลิตจึงไม่แตกต่างกันมากนัก การรายงานดัชนีดังกล่าวจะช่วยเสริมมุมมองในด้านศักยภาพในการลดการสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยผู้ประกอบการไทยมีความพร้อมต่อการรายงานสูง อย่างไรก็ตาม สำหรับการจำแนกความเป็นอันตราย ถึงแม้ว่าสารเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่สามารถจำแนกได้และจัดเป็นสารเคมีอันตราย ยังคงมีสารเคมีส่วนหนึ่งที่ไม่สามารถจำแนกได้ ดังนั้นการจำแนกความเป็นอันตรายจึงจัดเป็นดัชนีที่มีประโยชน์ในการรายงาน และจะเกิดประโยชน์อย่างแท้จริง หากมีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานในระดับสากลก่อน

ปริมาณบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ (Use of packaging)

เมื่อพิจารณาข้อมูลการใช้บรรจุภัณฑ์พบว่า ปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์เป็นสัดส่วนไม่ถึงร้อยละ 0.1 เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ส่วนหนึ่งถูกส่งต่อไปยังโรงงานกระดาศในบริเวณใกล้เคียงในรูปของน้ำเยื่อ และอีกส่วนหนึ่งในรูปของมัดเยื่อซึ่งใช้การมัดด้วยลวด นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์ทั้งหมดที่ใช้ยังสามารถทำการใช้ซ้ำหรือหมุนเวียนได้ จึงมีนัยทางสิ่งแวดล้อมที่ต่ำ และไม่มีนัยต่อการรายงานเช่นกัน

ร้อยละของวัตถุดิบที่เป็นวัสดุเหลือทางการเกษตรต่อวัตถุดิบที่เป็นไม้ปลูก (Percent agricultural residue based raw material)

ถึงแม้ว่ามีเพียงผู้ประกอบการรายเดียวในประเทศที่มีการใช้วัสดุเหลือทางการเกษตร (ขานอ้อย) และมีแนวโน้มการใช้ที่ลดลง การคงดัชนีดังกล่าวในรายงาน GRI จะแสดงจุดยืนของประเทศในการมุ่งพัฒนาการใช้ทรัพยากรหมุนเวียนภายในประเทศเพื่อสิ่งแวดล้อม

ดัชนีด้านการใช้พลังงาน

ปริมาณพลังงานรวมที่ใช้ (Total energy consumption)

พลังงานรวมในการผลิตเป็นการพิจารณาผลรวมของพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกันสำหรับผู้ประกอบการแต่ละราย อันเป็นผลจากขั้นตอนและหน่วยการผลิตที่แตกต่างกัน เช่น การอบแห้งเยื่อกระดาศ การผลิตสารเคมี เป็นต้น ประเด็นการใช้พลังงานรวมเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญต่อการวิเคราะห์ผลกระทบจากการผลิต หากแต่ประโยชน์ที่ได้รับต่อการพัฒนาการผลิตจะเด่นชัดมากขึ้นหากประกอบเข้ากับข้อมูลสัดส่วน การใช้พลังงานความร้อนต่อไฟฟ้า

ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (Fuel consumption)

การรายงานปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้นั้นไม่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาศ เนื่องจากก่อให้เกิดความเข้าใจที่ผิดพลาด ทั้งนี้ ผู้ประกอบการส่วนใหญ่ทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนเอง โดยพลังงานส่วนหนึ่งได้จากกระบวนการนำสารเคมีกลับคืน ขณะที่ส่วนที่ยังขาดอยู่จะติดตั้งหน่วยผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม มีเพียงส่วนน้อยที่ทำการรับไฟฟ้าจากภายนอก ดังนั้น การพิจารณาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จะไม่ได้แสดงประสิทธิภาพของการจัดการทรัพยากรด้านพลังงานอย่างแท้จริง โดยเฉพาะเมื่อนำไปใช้เพื่อการเปรียบเทียบระหว่างสถานประกอบการ

ร้อยละของไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (Percent self-generated electricity)

ดัชนีนี้เป็นประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์ความมั่นคงด้านพลังงานของผู้ประกอบการ โดยโรงงานที่มีร้อยละของไฟฟ้าที่ผลิตได้เองสูง มีความจำเป็นในการพึ่งพาแหล่งพลังงานภายนอกที่ต่ำ และมีความอ่อนไหวต่อผลกระทบ

ทบจากภายนอกที่ต่ำ จึงเป็นดัชนีที่ควรทำการรายงาน สำหรับผู้ประกอบการไทย สัดส่วนไฟฟ้าที่ผลิตได้เองจะอยู่ในระดับที่สูงกว่าร้อยละ 74

สัดส่วนชีวมวลต่อฟอสซิล (Percent energy from biomass)

ผู้ประกอบการไทยส่วนใหญ่มีสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงประเภทชีวมวลในระดับสูง (ประมาณร้อยละ 90) ทั้งนี้เนื่องจากแหล่งพลังงานหลักได้จากการเผาของเหลวค้ำในระบบนำสารเคมีกลับคืน ซึ่งจัดเป็นชีวมวล แต่จะมีหนึ่งโรงงานที่มีสัดส่วนชีวมวลที่ต่ำกว่า เนื่องจากพลังงานที่ได้จากระบบนำสารเคมีกลับคืนจะต่ำ อันเป็นผลจากการใช้กระบวนการผลิตแบบกึ่งเคมี สำหรับผู้ประกอบการในต่างประเทศต่างก็ให้ความสำคัญในประเด็นนี้ค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นประเด็นที่เชื่อมโยงไปถึงการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ทั้งนี้การคำนวณดัชนีนี้พิจารณาบนพื้นฐานของพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงเท่านั้น (ไม่รวมไฟฟ้าที่รับจากภายนอก)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของพลังงานที่ใช้ (Thermal efficiency of total energy usage)

ดัชนีนี้ถูกนำเสนอเพื่อทดแทนปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมต่อการพิจารณาผลกระทบที่แท้จริงของการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเอือกระดาช (ทั้งในประเทศและต่างประเทศ) โดยทำการคำนวณค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นแหล่งพลังงานของทั้งไฟฟ้าและความร้อนที่ใช้ในการผลิต ซึ่งผู้ประกอบการจะต้องทราบโครงสร้างของการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานที่ตนเองใช้ รวมไปถึงไฟฟ้าที่รับจากภายนอกด้วย ดังนั้นเมื่อพิจารณาความพร้อมของผู้ประกอบการไทยในการรายงานแล้ว ความสำเร็จของการรายงานจึงจัดอยู่ในข่ายที่ควรรายงานแต่ต้องใช้เวลาเตรียมการสำหรับผู้ประกอบการ สำหรับผู้ประกอบการที่พร้อมรายงานพบว่ามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกันมาก และอยู่ในระดับที่สูงกว่าร้อยละ 70

ดัชนีด้านการใช้น้ำ

ปริมาณน้ำใช้ (Water consumption)

ประสิทธิภาพการใช้น้ำของแต่ละสถานประกอบการจะขึ้นกับเทคนิคที่ใช้ในการผลิตเป็นสำคัญ ปริมาณน้ำใช้เป็นข้อมูลประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ผลกระทบอันอาจเกิดขึ้นต่อแหล่งน้ำ จึงจัดเป็นดัชนีที่มีนัยสำคัญต่อการรายงาน และผู้ประกอบการมีความพร้อมสูง นอกจากนี้ยังเห็นควรให้มีการรายงานในรูปของปริมาณต่อช่วงเวลาด้วยเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ระดับของผลกระทบ

ผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติที่เป็นแหล่งที่มาของน้ำใช้ (Impact on the source of water)

จากการศึกษาพบว่าผลกระทบต่อแหล่งที่มาของน้ำอันเกิดจากการใช้น้ำเพื่อการผลิตเป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อน จำเป็นต้องใช้ข้อมูลประกอบที่นอกเหนือจากข้อมูลของผู้ประกอบการ การรายงานในประเด็นดังกล่าวจึงควรชะลอไว้ก่อน จนกว่าจะได้มีการกำหนดรูปแบบการรายงานที่เป็นมาตรฐานสากล

ดัชนีด้านมลพิษทางอากาศ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide emission)

โดยการคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากปริมาณการใช้พลังงาน (พิจารณาเฉพาะพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงานประเภทฟอสซิล) พบว่าผู้ประกอบการที่ใช้กระบวนการทางเคมีจะมีค่าโดยเฉลี่ยในเกณฑ์ต่ำ (ประมาณ 200 กิโลกรัมต่อตันผลิตภัณฑ์) ในขณะที่ผู้ประกอบการที่ใช้กระบวนการกึ่งเคมีจะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยสูงกว่า เนื่องจากพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวลในระบบนำสารเคมีกลับคืนจะน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ประกอบการในต่างประเทศพบว่า อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผู้ประกอบการไทยอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผลกระทบจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะขึ้น

กับปริมาณเป็นสำคัญ ข้อมูลปริมาณการปลดปล่อยต่อช่วงเวลา (เช่นต่อเดือน) จึงเป็นสิ่งสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และฝุ่นละออง (Sulfur dioxide, oxides of nitrogen, and dust emission)

ดัชนีทั้งสามถูกจัดในกลุ่มเดียวกันเนื่องจากเป็นดัชนีที่จำเป็นต้องรายงาน แต่การคำนวณดัชนีจากข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันของผู้ประกอบการไทยส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากข้อมูลที่มีอยู่ได้จากการตรวจวัดเป็นครั้งคราว เมื่อนำมาคำนวณเป็นปริมาณจึงต้องอาศัยการประมาณโดยยึดค่าตรวจวัดเป็นค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาระหว่างการตรวจวัดแต่ละครั้ง นอกจากนี้ยังเห็นว่าการรายงานในรูปของปริมาณที่ปลดปล่อยทั้งหมดมักเป็นประโยชน์มากกว่า เนื่องจากลักษณะของผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะเพิ่มขึ้นกับปริมาณเป็นสำคัญ

อนุพลของซัลเฟอร์ (Total reduced sulfur emission)

ปริมาณการปลดปล่อยอนุพลของซัลเฟอร์มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับสวัสดิภาพและชุมชนสัมพันธ์ เนื่องจากอนุพลของซัลเฟอร์เป็นก๊าซที่มีกลิ่นฉุนและรบกวนประสาท ความพร้อมของข้อมูลเพื่อการรายงานของผู้ประกอบการไทยยังน้อยอยู่ เพราะไม่ได้มีการกำหนดการรายงานดัชนีดังกล่าวไว้ในกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ผู้ประกอบการส่วนหนึ่งได้ใช้กระบวนการดัดแปรแบบโซดาซึ่งก่อให้เกิดปัญหาของอนุพลซัลเฟอร์ที่ต่ำกว่ากระบวนการแบบคราฟท์มาก จึงไม่ได้มีการตรวจวัดหรือรายงานไว้ แต่เห็นควรให้มีการรายงานเพื่อชี้ให้เห็นถึงการบริหารจัดการด้านสิ่งแวดล้อมของแต่ละสถานประกอบการ อย่างไรก็ตามปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้แก่ ความน่าเชื่อถือของดัชนีอันเป็นผลจากความถี่ในการตรวจวัด และค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดจะเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการรายงานดัชนีดังกล่าวนี้

ไอระเหยของสารประกอบคลอรีนและไดออกซิน (Emission of chlorine compound and dioxin)

ดัชนีทั้งสองนี้เป็นประเด็นทางด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งแม้ในต่างประเทศยังปรากฏรายงานที่เกี่ยวข้องในจำนวนที่จำกัดมาก ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของการก่อกำเนิดที่ไม่ปรากฏแหล่งกำเนิดที่ชัดเจน (non-point source) สำหรับไอระเหยของสารประกอบคลอรีน และข้อจำกัดด้านค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดและจำนวนห้องปฏิบัติการที่สามารถให้บริการตรวจวัดสำหรับไดออกซิน จึงเห็นควรให้จัดดัชนีทั้งสองอยู่ในกลุ่มที่ยังไม่เหมาะสมต่อการรายงาน

ดัชนีด้านน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว

ปริมาณน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว (Total discharge of treated effluent)

ปริมาณน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นดัชนีที่แสดงถึงผลกระทบอันอาจเกิดจากกิจกรรมการผลิตที่แพร่กระจายผ่านทางแหล่งน้ำหรือแหล่งรองรับน้ำทิ้ง โดยจากข้อมูลของผู้ประกอบการในประเทศพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน และจะอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าผู้ประกอบการในต่างประเทศส่วนใหญ่ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพหรือเทคนิคในการลดการใช้น้ำของผู้ประกอบการไทย

สัดส่วนน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Percent recycling of treated effluent)

สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ สัดส่วนน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ไม่จัดว่ามีนัยสำคัญ เนื่องจากตามหลักปฏิบัติทั่วไปจะไม่มีการนำน้ำที่กลับมาใช้ใหม่เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบอันอาจเกิดต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และทีดีเอส (BOD, COD, SS, and TDS)

ดัชนีที่เกี่ยวข้องกับมลสารในน้ำทิ้งทั้งสี่ตัวมีความสำคัญต่อการรายงาน และแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เหนือกว่าผู้ประกอบการในต่างประเทศในด้านการจัดการน้ำทิ้ง ไม่ว่าจะเป็นในรูปของปริมาณมลสารต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

หรือปริมาณรวมก็ตาม ส่วนหนึ่งเป็นผลจากข้อกำหนดทางกฎหมายสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดของไทยในส่วนของน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ถึงแม้ว่าผู้ประกอบการส่วนใหญ่มีความพร้อมในการรายงาน แต่ผู้ประกอบการส่วนหนึ่งมีข้อจำกัดในการคำนวณ โดยเฉพาะกรณีที่ใช้หน่วยบำบัดน้ำเสียร่วมกัน

เอ โอเอ็กซ์ (Absorbable organic halogens/AOX)

เอ โอเอ็กซ์เป็นดัชนีที่ผู้ผลิตเยื่อกระดาษในต่างประเทศให้ความสำคัญในการรายงานมากและมีความพร้อมสูง ต่างจากผู้ประกอบการในประเทศซึ่งมีข้อจำกัดในการรายงานมาก จึงเสนอว่าให้ชะลอการรายงานในประเด็นดังกล่าว อย่างไรก็ตาม คัดว่าดัชนีดังกล่าวนี้จะถูกบรรจุเข้าเป็นมาตรฐานสากลในอนาคตอันใกล้ จึงเป็นเรื่องที่ผู้ประกอบการไทยจะต้องตระหนักและเตรียมความพร้อมด้วยเช่นกัน

ดัชนีด้านกากอุตสาหกรรม

กากอุตสาหกรรมอันตราย (Hazardous waste)

การนำเสนอดัชนีเกี่ยวกับกากอุตสาหกรรมอันตรายเป็นสิ่งสำคัญ หากแต่ผู้ประกอบการยังขาดความพร้อม ด้วยข้อจำกัดด้วยมาตรฐานการคำนวณและการจัดเก็บข้อมูล ประเด็นดังกล่าวจำเป็นต้องกำหนดขึ้นเป็นข้อตกลงร่วมกันในระดับสากลจึงทำให้การรายงานดัชนีดังกล่าวเกิดประโยชน์อย่างแท้จริง

กากอุตสาหกรรมที่ทำการฝังกลบ (Waste to landfill)

ประเด็นด้านการฝังกลบได้รับการจัดให้มีความสำคัญสูงสำหรับผู้ประกอบการต่างประเทศ (โดยเฉพาะในสหภาพยุโรป) การรายงานในประเด็นดังกล่าวคงไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ เมื่อพิจารณาความพร้อมของผู้ประกอบการไทย พบว่า ผู้ประกอบการที่ไม่มีระบบการหมุนเวียนกากปูนขาวจะปรากฏตัวเลขการฝังกลบที่สูงมาก ซึ่งเป็นประเด็นที่เป็นความจำเป็นต้องจัดการโดยด่วน ในอีกด้านหนึ่ง ระบบการจัดเก็บข้อมูลกากอุตสาหกรรมยังต้องได้รับการพัฒนาอีกมาก โดยเฉพาะมาตรฐานในการคำนวณน้ำหนักและปริมาณ และการรายงานควรกระทำทั้งในรูปของปริมาณต่อหน่วยผลิตภัณฑ์และปริมาณรวม

กากอุตสาหกรรมที่ทำการเผา (Waste to incinerate)

ถึงแม้ว่าการเผากากอุตสาหกรรมจะค่อนข้างลดบทบาทลง เนื่องจากเทคโนโลยีในการนำความร้อนจากการเผากากอุตสาหกรรมไปใช้ประโยชน์ (ทำให้เปลี่ยนหมวดกากอุตสาหกรรมที่ทำการเผาเป็นใช้ประโยชน์) การคงดัชนีนี้ไว้จึงเป็นประโยชน์ในการสื่อให้เห็นถึงแนวทางปฏิบัติและพัฒนาการสำหรับการจัดการกากอุตสาหกรรมของผู้ประกอบการไทย

กากอุตสาหกรรมที่ใช้ประโยชน์ (Waste utilization)

การนำเสนอดัชนีในหมวดนี้มีความสำคัญ เนื่องจากชี้ให้เห็นประสิทธิภาพและความมุ่งมั่นในการจัดการปัญหากากอุตสาหกรรม หากแต่มีข้อมูลพร้อมสำหรับการรายงานเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ทั้งนี้เป็นผลจากระบบการจัดเก็บข้อมูลซึ่งไม่ครบถ้วน (ทั้งปัญหาในด้านหน่วยของดัชนีและการคำนวณน้ำหนักที่แท้จริง) การนำเสนอให้แสดงทั้งรูปของปริมาณต่อหน่วยผลิตภัณฑ์และปริมาณรวม

ข. อุตสาหกรรมกระดาษ

โครงสร้างของผลิตภัณฑ์กระดาษในประเทศไทย แบ่งออกเป็นการผลิตกระดาษอุตสาหกรรมประมาณกึ่งหนึ่ง รองลงมาเป็นกระดาษพิมพ์เขียน (ร้อยละ 34) จากนั้นเป็นกระดาษแข็ง กระดาษหนังสือพิมพ์ และกระดาษอนามัย (น้อยกว่าร้อยละ 10 สำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์)

ดัชนีด้านการใช้วัตถุดิบและทรัพยากร

ร้อยละของผลผลิต (% yield)

การคำนวณร้อยละของผลผลิตสำหรับการผลิตกระดาษจะนำน้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์หารด้วยผลรวมของน้ำหนักแห้งวัตถุดิบประเภทเส้นใยและสารเติมเต็ม ซึ่งดัชนีที่ได้จะบ่งชี้ถึงปริมาณการสูญเสียวัตถุดิบในระหว่างการผลิต สำหรับอุตสาหกรรมกระดาษในประเทศพบว่าผลผลิตจะมีค่าร้อยละ 80 ขึ้นไป ความแตกต่างที่พบเป็นผลจากชนิดของวัตถุดิบประเภทเส้นใยที่ใช้ ปริมาณสิ่งเจือปนในวัตถุดิบ และประสิทธิภาพของเครื่องจักรเป็นสำคัญ

ปริมาณสารเติมเต็ม (Fillers)

สารเติมเต็มที่ใช้ในการผลิตกระดาษจะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดระหว่างผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท ตั้งแต่กระดาษพิมพ์เขียน (ใช้สารเติมเต็มมากที่สุด) จนถึงกระดาษอุตสาหกรรม (ไม่ใช้สารเติมเต็มเลย) และสำหรับแต่ละสถานประกอบการที่ผลิตกระดาษประเภทเดียวกันก็มีปริมาณการใช้สารเติมเต็มที่แตกต่างกันมาก เนื่องจากคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เช่น ความหนากระดาษ ลักษณะพิเศษอื่นๆ อาทิ เคลือบหรือไม่เคลือบ ดัชนีนี้จัดเป็นข้อมูลประกอบที่สำคัญโดยใช้ร่วมกับร้อยละของผลผลิตในการวิเคราะห์ผลกระทบจากการใช้ทรัพยากร ทั้งนี้ เพราะวัตถุดิบประเภทเส้นใยและสารเติมเต็มมีผลกระทบที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

ปริมาณการใช้สารเคมี และจำแนกความเป็นอันตราย (Chemical consumption and their hazard identification)

สารเคมีที่ใช้ในที่นี้เป็นสารเคมีที่ใช้เพื่อช่วยในการผลิต (ไม่รวมสารเติมเต็ม) และที่ใช้ในระบบสาธารณูปโภค โดยบ่งชี้ถึงโอกาสปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมในรูปน้ำทิ้ง โดยทั่วไปสัดส่วนของสารเคมีที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์จะไม่สูงมากนัก (ต่ำกว่าร้อยละ 30) แต่จะมีผลิตภัณฑ์บางประเภทที่มีการใช้สารเคมีในปริมาณสูง เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ (มากถึงกว่าร้อยละ 70) เนื่องจากมีขั้นตอนพิเศษ เช่น การฟอกสี เป็นต้น ในส่วนของการจำแนกความเป็นอันตรายนั้นจะกลับกันกับการผลิตเยื่อกระดาษ โดยสารเคมีส่วนใหญ่จะไม่อาจจำแนกความเป็นอันตรายได้ด้วยข้อกำหนดทางวิชาการ

วัตถุดิบประเภทเส้นใยที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่ (Percent recovered fibrous raw materials)

สัดส่วนของวัตถุดิบประเภทเส้นใยที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่หรือเศษกระดาษขึ้นกับประเภทของผลิตภัณฑ์ โดยโรงงานกระดาษพิมพ์เขียนจะไม่มีการใช้เศษกระดาษเป็นวัตถุดิบเลย และจะมีการใช้บ้างสำหรับกระดาษอนามัย โดยมีสัดส่วนที่เพิ่มมากขึ้นสำหรับกระดาษแข็งและกระดาษอุตสาหกรรมตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัตถุดิบประเภทเศษกระดาษทั้งหมดคือกระดาษหนังสือพิมพ์ ในประเภทผลิตภัณฑ์เดียวกัน ยังมีความแตกต่างกันของ สัดส่วนเศษกระดาษที่ใช้เนื่องจากสามารถจำแนกออกเป็นผลิตภัณฑ์ย่อยได้อีกหลายหลาก ซึ่งให้เห็นถึงโอกาสหรือแนวทางการจัดการทรัพยากรโดยการบริหารการตลาดและการออกแบบผลิตภัณฑ์

ดัชนีด้านการใช้พลังงาน

ปริมาณพลังงานรวมที่ใช้ (Total energy consumption)

พลังงานรวมที่ใช้จะไม่แตกต่างกันมากนักสำหรับผลิตภัณฑ์กระดาษแต่ละประเภทโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 7 ถึง 16 กิโลจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ ซึ่งการใช้พลังงานเกือบทั้งหมดเกิดขึ้นที่เครื่องผลิตกระดาษ และโดยทั่วไป พลังงานที่ใช้จะเพิ่มขึ้นตามความหนาของกระดาษที่ผลิต เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ประกอบการในต่างประเทศพบว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของผู้ประกอบการไทยอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ย

ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (Fuel consumption)

เช่นเดียวกับการอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ การรายงานปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จากก่อให้เกิดความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิง จึงพิจารณาว่าเป็นดัชนีที่ไม่เหมาะสมต่อการรายงานสำหรับอุตสาหกรรมกระดาษ

ร้อยละของไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (Percent self-generated electricity)

ผู้ประกอบการที่สามารถผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองนั้น ส่วนใหญ่จะมีกำลังการผลิตที่สูง หรือตั้งอยู่ในบริเวณเดียวกันกับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่อื่นๆที่สามารถใช้ประโยชน์จากหน่วยผลิตไฟฟ้าร่วมกันได้ ดังนั้นดัชนีนี้จึงเพียงชี้ให้เห็นถึงเสถียรภาพของการผลิตของโรงงานใดโรงงานหนึ่งเท่านั้น มิได้มีความหมายในการใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพลังงานแต่อย่างใด จากผลการศึกษาพบว่าร้อยละของไฟฟ้าที่ผลิตได้มีตั้งแต่ 0 (คือไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าในโรงงาน) จนถึงมากกว่า 99 (ผลิตไฟฟ้าใช้เองเกือบทั้งหมด)

สัดส่วนชีวมวลต่อฟอสซิล (Percent energy from biomass)

ในที่นี้จะตรงกันข้ามกับการผลิตเยื่อกระดาษ ผู้ประกอบการผลิตกระดาษส่วนใหญ่มีสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงประเภทชีวมวลที่ต่ำ จะมียกเว้นเพียงบางโรงงานที่ใช้หน่วยผลิตพลังงานร่วมกับโรงเยื่อกระดาษ หรือใช้วัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงานจากวัสดุเหลือจากการเกษตร ซึ่งทำให้มีสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงประเภทชีวมวลที่สูง เมื่อพิจารณาข้อมูลที่รายงานโดยผู้ประกอบการในต่างประเทศก็จะพบความหลากหลายของตัวเลขเช่นเดียวกัน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของพลังงานที่ใช้ (Thermal efficiency of total energy usage)

สำหรับโรงงานที่มีหน่วยผลิตพลังงานความร้อนเพียงอย่างเดียว ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะถูกกำหนดจาก ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและระบบการจ่ายไอน้ำเป็นหลัก ซึ่งจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 50 ขึ้นไป ส่วนโรงงาน ที่มีหน่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนร่วมกัน ประสิทธิภาพเชิงความร้อนอาจสูงถึงกว่าร้อยละ 70

ดัชนีด้านการใช้น้ำ

ปริมาณน้ำใช้ (Water consumption)

ประสิทธิภาพการใช้น้ำของแต่ละสถานประกอบการจะขึ้นกับเทคนิคที่ใช้ในการผลิตเป็นสำคัญ ความทันสมัยของเครื่องจักรและการบำรุงรักษาที่ดีเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดปริมาณน้ำใช้ เพื่อให้ได้ผลกระทบที่แท้จริง จำเป็นต้องใช้ข้อมูลเชิงปริมาณต่อช่วงเวลาประกอบกับข้อมูลสัดส่วนน้ำทิ้งที่นำกลับมาใช้ใหม่ดังที่จะกล่าวถึงต่อไป

ผลกระทบที่มีต่อแหล่งน้ำธรรมชาติที่เป็นแหล่งที่มาของน้ำใช้ (Impact on the source of water)

เช่นเดียวกับการผลิตเยื่อกระดาษ การรายงานในประเด็นนี้ควรชะลอไว้ก่อน จนกว่าจะได้มีการกำหนดรูปแบบการรายงานที่เป็นมาตรฐานสากล

สัดส่วนน้ำทิ้งที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Percent recycling of treated effluent)

การรายงานเพียงปริมาณน้ำใช้ไม่สามารถแสดงถึงผลกระทบที่แท้จริงต่อการใช้น้ำและความมุ่งมั่นของผู้ประกอบการในการจัดการทรัพยากรน้ำได้ จึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลสัดส่วนน้ำทิ้งที่นำกลับมาใช้ใหม่ประกอบด้วย เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าปริมาณน้ำที่ถูกดึงจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาใช้งานแท้จริงเป็นเท่าใด โดยผู้ผลิตกระดาษในประเทศแต่ละรายมีศักยภาพหรือข้อจำกัดในการหมุนเวียนใช้น้ำที่บำบัดแล้วไม่เหมือนกัน ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต ฯลฯ

ดัชนีด้านมลพิษทางอากาศ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide emission)

เมื่อเปรียบเทียบกับโรงงานเยื่อกระดาษ ผู้ผลิตกระดาษจะมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ในเกณฑ์สูง (ในระดับ 1,000 กก.ต่อตัน) และเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ประกอบการในต่างประเทศพบว่าอยู่ในเกณฑ์สูงเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นเร่งด่วนจากภาครัฐในการจัดการ โครงสร้างการผลิตพลังงานของการไฟฟ้า และการพัฒนาการผลิตพลังงานความร้อนจากชีวมวล หากประเด็นด้านก๊าซเรือนกระจกเป็นสิ่งที่ประเทศไทยจะต้องดำเนินการภายใต้กฎบัตรตามสนธิสัญญาเกียวโต

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และฝุ่นละออง (Sulfurdioxide, oxides of nitrogen, and dust emission)

เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ดัชนีทั้งสามถูกจัดในกลุ่มเดียวกันเนื่องจากเป็นดัชนีที่จำเป็นต้องรายงาน แต่การคำนวณดัชนีจากข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันของผู้ประกอบการไทยส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากข้อมูลที่มีอยู่ได้จากการตรวจวัดเป็นครั้งคราว นอกจากนี้ ในกรณีของสถานประกอบการขนาดเล็กที่ใช้หม้อไอน้ำในการผลิตพลังงานความร้อนจะไม่มีการตรวจวัดและจัดเก็บข้อมูลด้านมลสารในอากาศอย่างต่อเนื่อง ทำให้ไม่สามารถคำนวณหาปริมาณที่แท้จริงของมลสารดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตาม ดัชนีทั้งสามเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากมลพิษทางอากาศเป็นอย่างยิ่ง จึงเห็นควรให้มีการรายงาน และให้นำเสนอดัชนีในรูปของปริมาณต่อช่วงเวลาด้วย

ดัชนีด้านน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว

ปริมาณน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว (Total discharge of treated effluent)

ปริมาณน้ำทิ้งของผู้ประกอบการไทยโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับ 10 ถึง 25 ลบ.ม.ต่อตันผลิตภัณฑ์ จะมีเพียงผลิตภัณฑ์กระดาษอนามัยที่มีปริมาณน้ำทิ้งที่ต่ำ เนื่องจากศักยภาพในการหมุนเวียนน้ำที่บำบัดแล้วไปใช้ได้สูง ทำให้เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ประกอบการต่างประเทศ โรงงานผลิตกระดาษอนามัยของไทยจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพสูง ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นพบว่า ปริมาณน้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง

บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และทีดีเอส (BOD, COD, SS, and TDS)

ด้วยเป็นผลต่อเนื่องจากปริมาณน้ำทิ้งที่สูง มลสารในน้ำทิ้งที่พบจึงมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับผู้ประกอบการในต่างประเทศ (ยกเว้นผู้ผลิตกระดาษอนามัย) และถึงแม้ว่าผู้ประกอบการส่วนใหญ่มีความพร้อมในการรายงาน แต่ผู้ประกอบการส่วนหนึ่งมีข้อจำกัดในการคำนวณให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง โดยเฉพาะกรณีที่ใช้น้ำบำบัดน้ำเสียร่วมกัน

ดัชนีด้านกากอุตสาหกรรม

กากอุตสาหกรรมอันตราย (Hazardous waste)

เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ผู้ประกอบการไทยยังขาดความพร้อมในการจัดเก็บและคำนวณดัชนี อีกทั้งข้อตกลงร่วมกันสำหรับวิธีการจัดเก็บข้อมูลและการคำนวณยังเป็นสิ่งสำคัญต่อประโยชน์ที่จะได้จากการเปรียบเทียบดัชนีดังกล่าว

กากอุตสาหกรรมที่ทำการฝังกลบ (Waste to landfill)

สิ่งเจือปนที่ถูกกำจัดออกจากวัตถุดิบจัดเป็นส่วนประกอบหลักของกากอุตสาหกรรมที่ทำการฝังกลบ และในกรณีที่ผู้ประกอบการไม่มีหน่วยผลิตพลังงานจากกากตะกอน กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจะเป็นองค์ประกอบ

หลัก ทำให้ตัวเลขของผู้ประกอบการแต่ละรายมีความแตกต่างกันมาก นอกจากนี้ ระบบการจัดเก็บข้อมูลของ ผู้ผลิตกระดาษจำเป็นต้องได้รับการพัฒนา โดยเฉพาะมาตรฐานในการตรวจวัด จัดเก็บ และการคำนวณ และการรายงานควรกระทำทั้งในรูปของ ปริมาณต่อหน่วยผลิตภัณฑ์และปริมาณรวม

กากอุตสาหกรรมที่ทำการเผา (Waste to incinerate)

ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีการกำจัดของเสียด้วยการเผาในปัจจุบันจะได้รับการพัฒนาให้สามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนจากการเผาไหม้ จากการศึกษายังคงพบผู้ประกอบการที่ใช้เทคนิคการเผากากของเสียแบบเดิมอยู่ อย่างไรก็ตาม การปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายประการ ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องอื่นๆอาจมีส่วนร่วมในประเด็นดังกล่าวได้ อาทิเช่น สถาบันการเงิน ภาครัฐ เป็นต้น

กากอุตสาหกรรมที่ใช้ประโยชน์ (Waste utilization)

จากการศึกษาพบว่าทุกสถานประกอบการมีการใช้ประโยชน์จากกากอุตสาหกรรม แต่โดยเฉลี่ยจะมีปริมาณที่ต่ำกว่าการฝังกลบ แสดงให้เห็นถึงช่องทางการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากกากอุตสาหกรรมให้มากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ เพื่อให้ทัดเทียมกับมาตรฐานการจัดการกากอุตสาหกรรมในประเทศที่พัฒนาแล้ว

สรุปและข้อเสนอแนะ

ก. ความเหมาะสมของการประยุกต์ใช้ดัชนีด้านการผลิตตามกรอบของ GRI

GRI ได้วางกรอบของการนำเสนอดัชนีทางการผลิตโดยพิจารณาความสอดคล้องกับมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อมสากล ซึ่งสิ่งที่พิจารณาประกอบด้วย (1) การใช้ทรัพยากรและผลกระทบที่เกี่ยวข้อง (2) ผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมการผลิต/บริการ (3) ความครอบคลุมวงจรชีวิตของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ (Life cycle) รวมไปถึงสายโซ่การผลิตและจัดจำหน่าย (Supply chain) จะเห็นได้ว่า แนวทางการนำเสนอดัชนีของ GRI ถูกกำหนดไว้ค่อนข้างกว้างและครอบคลุมแทบทุกประเด็นที่สำคัญของการพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อม ซึ่งไม่ว่าผู้รายงานจะทำการนำเสนอดัชนีในรูปแบบใดก็จะยังคงอยู่ในกรอบดังกล่าว อย่างไรก็ตาม GRI ได้กำหนดขอบเขตของการนำเสนอดัชนีที่แคบลง โดยแบ่งกลุ่มดัชนีออกเป็นดัชนีทั่วไปที่ประยุกต์ใช้กับการผลิตทุกรูปแบบ และดัชนีจำเพาะสำหรับการผลิตหนึ่งๆ จากการศึกษาพบว่าสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย กลุ่มดัชนีทั่วไปที่กำหนดไว้โดย GRI สามารถใช้ได้กับทุกสถานประกอบการ และมีศักยภาพในการนำเสนอสูงสุด (ยกเว้นปริมาณของเสียที่ต้องกำจัด เนื่องจากมีปัญหาด้านการนิยามและวิเคราะห์) โดยมีรายละเอียดดังแสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ดัชนีด้านการผลิตทั่วไปตามกรอบของ GRI สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย

หมวดของดัชนี	ดัชนี	หน่วยที่นำเสนอ
พลังงาน	พลังงานรวม	กิกะจูลต่อตัน
	ปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อ/ผลิตเอง	ร้อยละ (ของไฟฟ้าที่ผลิตเอง)
วัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมด	ร้อยละ (ผลผลิต)
น้ำ	ปริมาณน้ำใช้ทั้งหมด	ลูกบาศก์เมตรต่อตัน
มลสาร	ก๊าซเรือนกระจก	กิโลกรัมต่อตัน
	ปริมาณของเสียที่ต้องกำจัด	กิโลกรัมต่อตัน

สำหรับดัชนีจำเพาะสำหรับอุตสาหกรรมเชื้อและกระดาษ จะต้องแบ่งออกตามลักษณะของการผลิตและผลกระทบที่แตกต่างกันออกเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ อุตสาหกรรมเชื้อ และอุตสาหกรรมกระดาษ อย่างไรก็ตาม GRI ไม่ได้กำหนดขอบเขตที่ชัดเจนในกรณีที่ผลกระทบเกิดจากการผลิตหรือกิจกรรมของหน่วยงานย่อยที่เกี่ยวข้องเพียงบางส่วนกับองค์หลัก ซึ่งอาจเป็นบริษัทย่อย บริษัทร่วม หรือแม้กระทั่งองค์กรอื่นๆที่มีการใช้ประโยชน์จากหน่วยการผลิต บางอย่างร่วมกัน ผู้จัดทำรายงานจำเป็นต้องใช้วิจารณญาณในการกำหนดขอบเขตของการพิจารณาเอง ดังนั้น ใน รายงานดัชนีชี้วัดทุกตัวควรมีหมายเหตุประกอบทุกครั้งไป (ในลักษณะเดียวกันกับหมายเหตุประกอบงบการเงิน)

ข. ความพร้อมโดยรวมของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเชื้อและกระดาษไทย

ผลสรุปจากการศึกษาพบว่า เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว ผู้ประกอบการไทยมีความพร้อมสำหรับการรายงานดัชนีชี้วัดด้านการผลิตในเกณฑ์ที่ดี จะมีเพียงสองประเด็นคือ ผลกระทบต่อแหล่งที่มาของน้ำใช้ และปริมาณเอโอเอ็กซ์ (สำหรับผู้ประกอบการเชื้อกระดาษ) และผลกระทบต่อแหล่งที่มาของน้ำใช้ (สำหรับผู้ประกอบการกระดาษ) ที่เป็นข้อจำกัดในการรายงาน นอกนั้นผู้ประกอบการทั้งหมดมีความพร้อมหรืออาจจำเป็นต้องกำหนดมาตรฐานในการวิเคราะห์เพื่อให้เกิดความเหมาะสมของตัวเลขที่ได้มากขึ้นเท่านั้น แต่ทั้งนี้และทั้งนั้น ความจำเป็นในการกำหนดมาตรฐานในการวิเคราะห์จะแตกต่างกันออกไปสำหรับแต่ละสถานประกอบการ กล่าวคือ ผู้ประกอบการที่มีระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและการจัดเก็บข้อมูลที่ดีจะมีปัญหาในด้านข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์ที่น้อยกว่าสถานประกอบการที่มีระบบซึ่งด้อยกว่า (โดยมากเป็นผู้ประกอบการขนาดเล็ก) นอกจากนี้ ความพร้อมในการจัดทำรายงานของผู้ประกอบการขนาดใหญ่จะมีมากกว่า เนื่องจากการจัดสรรบุคลากรในการดูแลระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมขึ้นโดยตรง

ค. การใช้ประโยชน์จากดัชนี

เมื่อทำการเปรียบเทียบดัชนีที่ได้จากการศึกษากลุ่มตัวอย่างในประเทศไทย กับข้อมูลที่ปรากฏในรายงานผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมของผู้ประกอบการต่างประเทศพบว่า การระบุวิธีการและเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณดัชนีเป็นสิ่งที่น่าสนใจ มิฉะนั้น การเปรียบเทียบโดยปราศจากข้อมูลประกอบดังกล่าวสามารถนำไปสู่การแปลความหมายที่ผิดพลาด ทั้งนี้เนื่องจากความเชื่อมโยงกันของปัจจัยต่างๆในกิจกรรมการผลิตที่มีผลต่อค่าดัชนี ถึงกระนั้นแล้วก็ตาม ผู้อ่านยังจำเป็นต้องใช้วิจารณญาณเพิ่มเติม เนื่องจากนอกจากปัจจัยทางด้านการผลิตแล้ว สิ่งอื่นๆเช่น สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ ปัจจัยทางสังคม ข้อกำหนดทางกฎหมาย ฯลฯ ต่างก็ส่งผลต่อค่าดัชนีเช่นกันแต่อาจเป็นในระดับที่ต่างกันไป แต่ประโยชน์ที่แน่ชัดประการหนึ่งของดัชนีที่พัฒนาขึ้นนี้คือ การใช้เพื่อเปรียบเทียบภายใน ซึ่งเป็นประโยชน์ในการประเมินประสิทธิภาพการดำเนินการขององค์กรหนึ่งๆ โดยเปรียบเทียบ ณ เวลาต่างๆ และจากการได้มาซึ่งดัชนีที่เป็นภาพรวมของอุตสาหกรรม ประโยชน์ที่จะได้รับ ตามมาในส่วนอื่นๆได้แก่ การนำไปใช้ประกอบการกำหนดนโยบายของหน่วยงานภาครัฐ ไม่ว่าจะเป็นนโยบาย ทางด้านสิ่งแวดล้อม นโยบายทางด้านเศรษฐกิจและการคลัง นโยบายการพาณิชย์ นโยบายส่งเสริมอุตสาหกรรม นโยบายการค้าต่างประเทศ ฯลฯ การนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบของนักลงทุน สถาบันการเงิน และลูกค้า นอกจากนี้ ภาคการศึกษายังสามารถใช้ประโยชน์ในด้านการเรียนการสอน และการพัฒนางานวิจัยอีกด้วย

ง. ข้อเสนอแนะ

1 ผู้ประกอบการอุตสาหกรรม

การรายงานผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมกำลังเข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้น ในการจัดการสิ่งแวดล้อมยุคปัจจุบัน การเตรียมพร้อมสำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมในการจัดทำรายงานเป็นสิ่งที่ดูเหมือนว่าจะไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ สำหรับอุตสาหกรรมเชื้อและกระดาษไทย สิ่งที่เราควรได้เตรียมการประกอบด้วย

➢ **การกำหนดนโยบาย**

เนื่องด้วยการทำรายงานต้องอาศัยความร่วมมือของบุคลากรในทุกระดับขององค์กร การกำหนดนโยบายโดยผู้บริหารที่เน้นความสำคัญกับการจัดทำรายงานสิ่งแวดล้อมเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญอย่างยิ่งต่อพัฒนาการในการจัดทำรายงาน

➢ **การอบรมเพื่อให้ความรู้แก่บุคลากรในการจัดทำรายงาน**

การอบรมมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันในเป้าหมายของการจัดทำรายงานเพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการได้มาซึ่งข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง และการวิเคราะห์ที่คลาดเคลื่อน

➢ **การจัดเตรียมบุคลากรที่รับผิดชอบงานด้านการรายงาน**

การจัดทำรายงานด้านสิ่งแวดล้อมเป็นงานที่ละเอียดอ่อนและต้องประสานงานกับฝ่ายต่างๆ โดยลักษณะงานประกอบด้วย (1) การตรวจประเมินกิจกรรมการผลิตและค้นหาประเด็นที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นทางด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐศาสตร์ และสังคม (2) ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ ความถูกต้องและการได้มาซึ่งข้อมูล (3) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการนำเสนอ ดังนั้น การจัดบุคลากร ที่เข้ามารับผิดชอบงานดังกล่าว เป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการบรรลุเป้าประสงค์ของการจัดทำ รายงาน

2 หน่วยงานราชการที่กำกับดูแลนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม

ถึงแม้ว่าการจัดทำรายงานด้านสิ่งแวดล้อมเป็นแนวทางในการจัดการสิ่งแวดล้อมซึ่งควรริเริ่มโดยภาคเอกชนหรือผู้ประกอบการ ภาครัฐในฐานะของผู้กำกับดูแลและส่งเสริมการรักษาสิ่งแวดล้อมสามารถเข้ามามีส่วนในการส่งเสริมให้การรายงานเกิดประโยชน์สูงสุดต่อทุกฝ่าย โดยแบ่งลักษณะงานออกเป็น

➢ **การกำหนดมาตรฐานของการรายงาน**

มาตรฐานการรายงานถือเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการใช้ประโยชน์ของข้อมูลที่น่าเสนอในรายงาน เพื่อการเปรียบเทียบ ในฐานะของผู้กำกับดูแล ภาครัฐสามารถแสดงบทบาทในการเป็นคนกลางในการกำหนดมาตรฐานการรายงานได้ดีที่สุด

➢ **การกำหนดระบบตรวจสอบรายงาน (Verification)**

เช่นเดียวกับรายงานงบการเงิน รายงานผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อเป็นการประกันความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่น่าเสนอในรายงาน ซึ่ง GRI ได้กล่าวถึงองค์ประกอบสำหรับกระบวนการตรวจสอบรายงานไว้ดังนี้คือ

- 1) ระบบตรวจสอบภายในและ
- 2) การตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญอิสระ

➤ **การสนับสนุนทางเทคนิค**

ในหลายๆกรณี ข้อมูลที่นำเสนอจำเป็นต้องทำการตรวจวัดโดยอาศัยเครื่องมือหรือวิธีการพิเศษ ซึ่งอาจไม่คุ้มค่าใช้จ่ายหากภาคเอกชนจะต้องติดตั้งเพื่อใช้งานภายในเพียงอย่างเดียว หน่วยงานภาครัฐสามารถมีบทบาทในการอำนวยความสะดวกในเรื่องดังกล่าว โดยอาจจัดตั้งเป็นศูนย์บริการทางเทคนิคในการตรวจวัดข้อมูล ซึ่งจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่า ตัวอย่างของข้อมูลในกรณีดังกล่าวได้แก่ เอโอเอกซ์ เป็นต้น

➤ **การให้แรงจูงใจ (Incentive)**

การสร้างระบบแรงจูงใจจะเป็นการช่วยเร่งให้การพัฒนาการรายงานผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นอย่างทั่วถึงมากขึ้น ดังที่กล่าวแล้วว่าหากจำนวนฐานของการรายงานในแต่ละอุตสาหกรรมครบถ้วน การบริหารจัดการข้อมูลของภาครัฐจะสามารถกระทำได้อย่างถูกต้องและประหยัดงบประมาณ

Executive Summary

Background

Application of the production performance indicators in accordance with Global Reporting Initiative (GRI) to Thai pulp and paper industries is a project supported by the Thailand Research Fund (TRF) and Thai Pulp and Paper Association (TPPA) with the aim to explore the appropriateness of environmental reporting on the framework given by GRI to Thai entrepreneurs. The pulp and paper industries have been chosen as the case study. It is expected that the outcome of this study would initiate the awareness of Thai entrepreneurs for the upcoming environmental management system coupled with sustainability concept. Detailed studies have been performed upon considering 6 sub-sectors namely pulp, printing paper, paperboard, industrial paper, newsprint, and hygienic product (tissue). It should be noted that the scope of this study does not cover the economic and social aspects which must be included in the full GRI report.

Results

A. Pulp industry

Raw materials and resource consumption

Percent yield

Short fiber pulps are produced from local raw materials comprising eucalyptus, bagasse, bamboo, and kenaf. As the products are mostly bleached pulp, the pulping techniques employed are Kraft, Soda, and Chemi-Thermo-Mechanical processes respectively. This results in a significant difference between the productivity or percent yield of each plant. However, in comparison to average yield reported worldwide for specific type of raw material and pulping technique, the percent yields of production in Thailand are more or less within practically achievable range. This indicator can be considered as necessary information required for environmental impact assessment.

Lime/limestone make-up

Conventionally, the pulping chemicals can be recovered by pyrolysis of black liquor to obtain smelt which is then dissolved, and re-causticized. In the re-causticizing step, lime is converted into limestone (or lime mud) which can be calcined to generate lime for reuse once again. Nevertheless, impurities contained in some type of raw materials and the production capacity make the calcinations infeasible. In this case, the resulted lime mud is normally disposed by landfill and large amount of lime make-up is required. It is thus found that, among five pulp factories studied, the amount of lime make-up varies by a factor of 10. This indicates the impact of natural resource depletion and foreseeable risk and reliability for entrepreneur that has poor management of lime mud. It is also recommended that the amount of chemical recovered should be added to make the impact analysis in this category more comprehensible.

Chemical make-up and their hazard identification

All pulp manufacturers studied have a chemical recovery system installed. Chemical make-up is thus needed only for compensating losses of chemicals in the process. The reporting of this indicator can compliment the analysis of the process efficiency in term of resource consumption. From the study, it is found that the amount of chemical make-up for each plant is roughly the same, and the information is readily available. The difficulty arises in an attempt to perform their hazard identification. Although most chemicals used may be classified as hazardous, there remains some unidentifiable. Besides, there has not yet been a consensus on the classification of hazardous materials. It is therefore recommended that, for the reporting of hazard identification of chemical make-up to be truly beneficial, an international standard for hazard classification must firstly be developed.

Use of packaging

The use of packaging in pulping industry is found to be less than 0.1 percent of the product. In addition, all of the used packaging can be reused or recycled. In term of an environmental impact, the use of packaging appears to be insignificant and can be neglected.

Percent agricultural residue based raw material

There is only a single pulp manufacturer in Thailand that uses agricultural residue such as bagasse as raw material. Despite its usage tends to become diminishing in the future, this matter is still considered worth-reporting as it strengthens the standpoint of Thailand, as an agricultural based country, in attempting to utilize its agricultural residue for the sake of environment.

Use of energy

Total energy consumption

Total energy consumption is determined as the sum of electricity and thermal energy usage in the production. It is found to alter from one entrepreneur to the others due to the variation in energy efficiency in the process itself and the difference in the techniques and unit operations employed. The use of total energy consumption in assessing environmental performance can be more explicit when coupling with the ratio of electricity to thermal energy used.

Fuel consumption

The report on fuel consumption for pulp industry does not give a precise indication of energy management. This is because each entrepreneur has different capability of producing energy for its own uses. Thus, the amount of fuel consumed does not always correspond to the amount of energy required. It is therefore recommended that this indicator be excluded for pulp industry.

Percent self-generated electricity

This indicator is useful for analyzing the steadiness of energy supply. The firm having high percentage of self-generated electricity is less vulnerable to any alteration in external electricity supply. On average, self-generated electricity of all Thai pulp manufacturers are above 74%.

Percent energy from biomass

It seems to be an usual practice for chemical pulp processing to obtain almost sufficient energy from chemical recovery system installed within. As the source of such energy is considered as biomass, it is not surprising why most Thai pulp manufacturers perform very well in opting high biomass utilization (approx. 90%). There is though the exception for the firms (in Thailand and elsewhere) that employ a semi-chemical process since the energy gained from the chemical recovery is not self-sufficient. Additional energy must be acquired by purchasing and/or producing. It is quite customarily in Thailand that the majority of additional energy is obtained through the combustion of fossil fuel. In such case, the percentage of energy from biomass will be lower. As this indicator has been linked to global warming (as it closely relates to the emission of carbon dioxide), the reporting seems inevitably.

Thermal efficiency of total energy usage

Thermal efficiency is proposed for the replacement of fuel consumption in order to enable true impact analysis of energy usage. As the thermal efficiency is calculated from heating values of all energy sources for both electricity and heat (thermal energy), the reporters must know the structure of fuel used by themselves and by suppliers. This imposes difficulties for the reporting of such indicator for some entrepreneurs as the information from the supply chain is not available.

Use of water

Water consumption

The amount of water usage of each firm greatly depends on the production techniques. This indicator is valuable for analyzing the impact to the water source. It should therefore be included in reporting and stated as amount per unit production as well as amount per unit time.

Impact on the source of water

The assessment of an impact of water usage on water sources is complicated as it requires additional information that may not be obtained by entrepreneurs. Such information are, for example, agricultural and industrial activities within the same water source, etc. The reporting of this indicator should therefore be considered when a clearer report format guideline is available.

Air emission

Carbon dioxide emission

Upon calculating from the energy usage (considered solely fossil fuel), the carbon dioxide emission from chemical processes is considerably low (approx. 200 kg/ton) whereas that of semi-chemical processes is far higher. This is due to less energy is gained from chemical recovery system in the case of semi-chemical processes. When compared to other pulp manufacturers abroad, the average emission of Thai pulp industry is in the upper range, indicating the room for improvement on energy production and usage management. For the impact assessment of carbon dioxide emission, it is suggested that the total load (total amount of emission per unit time) should be reported together with the specific emission (amount per unit production).

Sulfur dioxide, oxides of nitrogen, and dust emission

These three indicators are classified in the same group as they are subjected to the reporting by regulation. However, the reporting is done on the periodic concentration basis. Upon converting the existing information to load basis, the problem concerning the reliability of reporting indicators is imminent. The issue of improving monitoring system should be considered. It is further suggested that the reporting is carried out both as pollution loading (kg of pollutant per unit production) and total amount within certain period of time.

Total reduced sulfur emission

The emission of reduced sulfur is relevant to public health and community relation issues because the compounds released are odorous and nuisance. The data concerned is however not readily available as the report of such indicator is not compulsory by regulation. Besides, the effect from an emission of reduced sulfur may not be significant for the firms which do not opt for the Kraft process.

Emission of chlorine compound and dioxin

Even in developed countries, these two indicators are scarcely reported. This is because chlorine compounds escape the process from non-point sources while the assessment of dioxin has not been practically available yet. It is therefore obvious that the emission of chlorine compound and dioxin be excluded from reporting for the time being.

Effluent

Total discharge of treated effluent

The amount of treated effluent discharge can aid considering the distribution of pollutants through receiving watercourse. It is found from the study that the discharge amounts (per unit product) from all firms are quite similar and are smaller than most of those reported elsewhere. This seems to indicate the state of the art in minimizing the use of water in the production of Thai pulp industry as a whole.

Percent recycling of treated effluent

For pulp industry, the recycling of treated effluent is not a normal practice because pulp qualities and process efficiency can easily be affected by impurities in process water. Consequently, this indicator is somewhat irrelevant.

BOD, COD, SS, and TDS

Reporting of all these four indicators to the relevant authorities is enforced by regulation in Thailand. It is thus not a surprise that all firms are capable of producing satisfactory databases concerning such indicators. There is though some limitation for the firms that share common wastewater treatment facility with other factories. In this case, the information regarding the quality of influent must be monitored so that the contribution of pollution load from each firm can be correctly identified. The results show that the management of wastewater for Thai pulp industry is very competitive in comparison to others in developed countries such as those in Europe and North America. The benchmarking is conducted both in terms of load (kg pollutant per unit product) and

amount (kg pollution per year). This is believed to be due to the stringent regulation imposed by Thai authority in order to maintain water quality in watercourses for agricultural uses and social functions.

AOX (Absorbable organic halogens)

Absorbable organic halogens (AOX) is an aspect of concern of the pulp manufactures in developed countries. For some firms, this parameter has been well documented for years. Therefore the report of AOX is vastly available in contrast to Thai manufacturers in which the information is scarcely obtainable. However, it is expected that this particular indicator will be introduced into a reporting system in near future. As a result, Thai pulp industry should not overlook this matter and be prepared for its reporting.

Solid waste

Hazardous waste

Reporting of hazardous waste should be compulsory as it indicates direct environmental risk to most living creatures. It is discovered that most Thai firms do not have a proper database which can readily be employed for reporting. The difficulties arise from improper data collecting system and lack of standard analysis procedure.

Waste to landfill

Landfill in many developed countries (especially European Union) has become costly as a result of limited land area and a discovery of its long-term environmental impact. This indicator can then be set as very high priority for reporting. However, upon considering the availability and the reliability of landfill data among pulp manufacturers in Thailand, it can be seen that data collection system should be improved and the reporting should be carried out both in term of load (amount per unit production) and quantity (amount per unit time).

Waste to incinerate

Nowadays, the disposal of solid waste by sole incineration is being shifted towards the recovery of heat generated during incineration. As a result, the incinerated waste of the latter case is accounted as waste utilization rather than waste to incinerate. Nevertheless, the reporting of this indicator is still worthwhile since it can be used as a tool for communicating with other stakeholders on the practice and development of solid waste management among Thai manufacturers.

Waste utilization

Reporting of waste utilization indicates the effectiveness of solid waste management. Nevertheless, not every entrepreneur is well prepared for reporting as the reliability of the indicator depends on the completion of data collection and the calculation procedure.

B. Paper industry

The type of paper that accounts for more than half of the production capacity of Thai paper industry is the industrial paper. Printing/writing papers come second with the market share of 34%. The rest are paperboard, newsprint, and tissue paper, each of which is manufactured with the capacity less than 10% of the total production.

Raw materials and resource consumption

Percent yield

Percent yield is calculated from the ratio of the products and the sum of fibrous raw materials and fillers on a dry weight basis. This indicator is useful for monitoring the loss of raw materials within the production processes. For Thai paper industry, percent yields of all products are found to be higher than 80% with some variation from one product to the others. The differences between the percent yield of each product arise from the dissimilarities of fibrous materials used, impurities present in raw materials, and the efficiency of the material preparation system and the paper machine.

Fillers

The type and amount of fillers used in paper industry varies with product type quite remarkably. At one extreme, printing papers may comprise fillers up to 37% while industrial papers do not contain fillers at all. Even within the same category of product, the amount of filler content can vary according to different product specifications, for instance, basis weight, and some other special features such as coated or uncoated. This indicator can be used in conjunction with percent yield in performing an impact assessment on resource consumption.

Chemical consumption and their hazard identification

The amount of chemical usage is determined from processing aid chemicals (excl. fillers) and chemicals used in utility systems. It is employed as an indication of the potential for water pollution as these chemicals are mostly found in forms of liquid and/or solution. Although, the amount of chemicals used in general when expressed per unit production is less than 30%, in some cases, the use of chemicals can be as high as 70% (e.g. newsprint). This is due to extraordinary or special processing steps such as bleaching in the preparation of raw material for newsprint. The hazard identification of each chemical can be highly problematic because most chemicals are unidentifiable as they are known solely by their trade names.

Percent recovered fibrous raw materials

The amount of recovered fiber used as raw material depends greatly on the type of paper products. It is found that none of recovered fibrous material is used in all printing paper manufacturers in this study. Some small fraction is employed for the production of hygienic products and increasing portions for paperboard and industrial paper respectively. One hundred percent recovered fiber is used in newsprint facility. Within the same product category, the percent recovered fibrous raw materials may vary due to a variety of product specifications. This indicator is best used as a guideline for resource management via product design and market manipulation.

Use of energy

Total energy consumption

Total energy consumption does not vary much for each product category. The values from this study are in between 7 and 16 GJ/ton product. Nearly all energy is consumed by paper production (paper machine and raw material preparation system). Thus, the firms opting newer technology and

having better housekeeping and maintenance tend to achieve lower specific energy consumption. When compared to paper production facilities elsewhere, it is found that the performance of Thai paper manufacturers is on an average scale.

Fuel consumption

The same as pulp industry, the report on fuel consumption not only gives an unreliable indication of energy management, it can also lead to confusion upon benchmarking between firms. It is thus suggested that this indicator is not appropriate for including in the sustainability reporting.

Percent self-generated electricity

The paper manufacturers with their own electricity generating systems must either have large production capacity enough to achieve the economies of scale, or be part of the industrial complex whose members can share utility. As a result, this indicator can only be used for demonstrating the energy steadiness in the production of one facility, and should not be employed for benchmarking the energy efficiency. It is found from the study that the percent self-generated electricity varies from 0 (all electricity acquired from external supplier) to 99 (nearly all electricity is self-generated).

Percent energy from biomass

In contrast to pulp industry, most paper manufacturers have low percentage of energy from biomass. There is an exception for some firms that share energy production facility with pulp manufacturers or use biomass as feed for energy production. When considering the indicators reported elsewhere, the percent energy from biomass also varies greatly.

Thermal efficiency of total energy usage

For the firms having only thermal energy production unit, their thermal efficiency is specified by the efficiency of boiler and steam transportation system, and accounted to approximately 50%. In the case of co-generation system, the best achievable thermal efficiency can be as high as 70%.

Use of water

Water consumption

The effectiveness in managing water consumption in paper processing depends greatly on the production techniques. Updated technology for paper machine and material preparation systems, and proper maintenance are the keys to success in minimizing the use of water.

Impact on the source of water

The same as pulp industry, the impact on the source of water should not be included in the reporting system for paper industry for the time being as standard methodology and tool for assessing the impact has not yet been well defined.

Percent recycling of treated effluent

Knowing only the amount of water consumed does not enable one to evaluate real impact on the environment from the use of water. This is because many paper manufacturers can manage to recycle their treated effluent for production purposes. Therefore, the actual amount of water acquired from natural water resource may not necessarily be the same as the amount consumed. This indicator is thus highly recommended for reporting.

Air emission

Carbon dioxide emission

Upon comparing to pulp industry, paper manufacturers, on average, tend to produce carbon dioxide emission on much higher scale (approx. 1,000 kg CO₂/ton product). This is also true when compared to paper manufacturers abroad. This clearly indicates the need of governmental action to restructure the energy sector and move forwards the strategy for maximizing the use of biomass in response to Kyoto protocol.

Sulfur dioxide, oxides of nitrogen, and dust emission

As for pulp industry, sulfur dioxide, oxides of nitrogen, and dust emission can be grouped together as these indicators are subjected to reporting by Thai environmental regulations. However, it must be noted that the values do not offer much confidence since they are obtained from monitoring procedure carried out once in a while. In addition, in some small facilities, the information may not be complete enough to yield genuine representatives of these pollutant loadings. It is recommended that these indicators be included in the reporting but the remarks concerning frequency of data acquisition and standard method of calculation should be provided. The report content should include specific loading as well as total amount of pollutant.

Effluent

Total discharge of treated effluent

The amount of treated effluent discharge for Thai paper industry is in between 10 to 25 m³/ton product. It is further found that hygienic paper manufacturers are capable of achieving remarkably low effluent discharge and are among the top paper manufacturers in the world for their achievement in minimizing the discharge. The performance of the rest of Thai entrepreneurs is nevertheless rather low compared to elsewhere.

BOD, COD, SS, and TDS

As a consequence of high effluent discharge, the pollutant loadings such as BOD, COD, SS, and TDS, for Thai paper industry as a whole, are not in line with the paper manufacturers abroad. Although these indicators are readily reported by most paper firms, there are little problems with some firms regarding the reliability of calculated data especially for the ones opting shared wastewater treatment facility.

Solid waste

Hazardous waste

The same as pulp industry, paper manufacturers in Thailand are not capable of collecting data and performing proper data analysis to achieve a reliable hazardous waste indicator at the moment. It might be beneficial if the Government or other related parties work out the standard procedure for data collection and analysis.

Waste to landfill

Waste to landfill is derived mainly from rejects from raw material preparation system and sludge from wastewater treatment. This indicator is low for the entrepreneur that uses sludge for energy production or other purposes. Prior to reporting of this indicator, the reporter should ensure that a standard data collection and analysis are met. It is also recommended that both specific amount and total amount be reported at the same time.

Waste to incinerate

Although current solid waste management technologies enable the recovery of energy from incineration of waste, some entrepreneurs in Thailand still opt the incineration without energy recovery. Nevertheless, it is understood that change of such technology requires a lot of capital investment. With the recent economic situation, the improvement may not be achieved without assistance from related stakeholders, such as financial institution and government sector.

Waste utilization

From the study, every firms are capable of utilizing their solid waste. However, the amount of waste utilized is still lower than that for landfill. This indicates the opportunity for improving further the use of waste in order to be in line with the manufacturers in developed countries.

Conclusion and recommendation

A. Appropriateness of production performance indicators in accordance with GRI

Global Reporting Initiative has set the guideline for reporting production performance indicators by considering in synergy with standard environmental management systems. The considerations include (1) resource consumptions and their impacts, (2) impacts generated as a result of production and service activities, and (3) life cycle assessment together with supply chain. It is obvious that the report aspect is rather broad and covers most important environmental aspects. However, GRI has suggested a more specific aspect of reporting namely the generally applicable and organization-specific indicators. For Thai pulp and paper industry, reporting potential for generally applicable group of indicators (see Table 1 for details) is quite high. There is only exception for the amount of waste for disposal because of unclear definition and analysis procedure.

For organization-specific indicators, those for pulp industry and paper industry are considered separately. As GRI has not yet given a rigid boundary for what should be reported and how the analysis should be done (such as criteria for impact sharing between subsidiaries and joint-ventures), the reporter must carefully set up his/her own criteria and a note should be provided for every indicator selected (in the same manner as notes to financial statement).

Table 1 *Production performance indicators for Thai pulp and paper classified according to GRI as 'generally applicable'*

Category	Indicator	Unit
Energy	Total energy consumption	GJ/ton product
	Amount of energy purchased/self-generated	% (Self-generated electricity)
Raw material	Total materials used	% (Yield)
Water	Total water consumption	m ³ /ton product
Emission, effluent, waste	Greenhouse gas emission	kg/ton product
	Waste for disposal	kg/ton product

B. Readiness of Thai pulp and paper industry

It can be concluded from the study that the ability of Thai pulp and paper industry in reporting production performance is rather satisfactory as a whole. There are only a couple of aspects that are genuinely problematic such as impacts on the water source and AOX. For the rest, there may be some additional requirements in order to achieve data or indicators of greater reliability. Nevertheless, such requirements vary from firm to firm. It is fair to say that the firm with better management system (usually large enterprise) tends to have less trouble in data collection and analysis. Furthermore, large enterprises are more flexible for report preparation as supporting personnel are more readily available.

C. Use of indicators

Upon comparing the indicators obtained from this study with those published (internationally) elsewhere, it can be noted that, due to a complex nature of production process, standard procedures for data collection and analysis are needed to enable meaningful benchmarking. In addition to the production related factors, there are various other parameters influencing the indicators developed. These include geographical factors, social factors, laws and regulations, and etc. In spite of the mentioned obstacles for the use of indicators for benchmarking externally (between corporate), the report of indicators has already proven itself very useful for comparison within the corporate (internal benchmarking) in order to timely monitor the efficiency and the effectiveness of operations. Investors also gain helpful information for reviewing their investments. Financial institutions and suppliers can secure risk of credits through the assessment on the basis of reported indicators. Moreover, the usefulness of indicators is more pronounced as the reported information from every individual firm is added up to yield the indicators reflecting the performance of the industry as a whole. The government can directly benefit by employing such macro-level information for policy planning concerning environment, commerce, finance, economics, industrial support, international

negotiation, etc. At last, the reported information is valuable for academics in developing up-to-date and technological based learning contents and as a guideline for research focuses.

D. Recommendations

1 Entrepreneur

As the importance of environmental reporting has become more realized in nowadays environmental management, it seems inevitable for entrepreneurs to be prepared for reporting the performance of their operations. From this study, the suggestions for Thai pulp and paper industry are as follows.

- ***Policy making***

The most important key for the success of reporting is the vision of top management that reflects on the corporate policy. In the other words, the reporting has to be initiated from the head of a company.

- ***Training***

Another key for reporting success is the common understanding among involved persons. This is required to ensure the completeness and reliability of data.

- ***Assigning proper personnel***

There has been misunderstanding about the importance of report preparation work as most firms customarily assign this job to low-key personnel. In fact, the responsible person has to be analytic and good at integrating as his/her jobs are to (1) assess all production related activities and determine all aspects concerning environment, economic and social, (2) gather data and information and ensure their suitability and comprehensiveness, and (3) analyze all acquired information and compute reporting indicators.

2 Government agency

Although environmental reporting is initiated by corporate, government agencies can play a supporting role in ensuring maximum exploitation of the report for all stakeholders by

- ***Standardizing reporting procedure***

Reporting standard is considered as a crucial factor in strengthening the use of indicators presented. By considering Thai social structure at present, government agencies seem to be the most appropriate party, amongst all stakeholders, in setting and keeping up the standard.

- ***Setting up a verification system***

As for financial statement, the environmental report is required to be verified in order to ensure that all information reported are correct, complete, and reliable. GRI has suggested that verification may be carried out in two levels: verification internally and by independent expert.

➤ ***Providing necessary technical supports***

In many cases, data collection can only be achieved using a special device or technique that may not be economical for individual use. The government should set up a technical center to provide necessary supports in terms of both know-how and equipment.

➤ ***Providing incentives***

As the government becomes aware of the benefit obtained from the reported information (correct assessment of environmental situation with minimum or optimum budget), incentives provided from the government will be best in catalyzing the development of reporting system.

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย เรื่อง “ผลกระทบจากการจำกัดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว
ต่อการปลูกข้าวและผลผลิตข้าวของประเทศไทย”

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความหมาย

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ให้ความสำคัญในการพัฒนาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย โดยกำหนดชุดโครงการวิจัย Climate Change ให้เป็นการรวมพลังระดับชาติ มีเป้าหมายเพื่อจัดทำข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดหรือการขยายพื้นที่แหล่งกักเก็บก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) ผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง และมาตรการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งกำเนิด เพื่อเสนอและใช้เป็นข้อมูลเจรจาต่อรองในการประชุมของสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The United Nations Framework Convention on Climate Change : UNFCCC) ในฐานะประเทศภาคีสัญญาฯ หลังจากลงนามเมื่อ 12 มิถุนายน พ.ศ. 2535 และมีผลบังคับใช้ตั้งแต่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2538

นาข้าวถูกระบุว่าเป็นแหล่งใหญ่ที่สุดแหล่งหนึ่งของกิจกรรมมนุษย์ ที่มีการผลิตและปล่อยก๊าซมีเทน (Methane : CH_4) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมโลก ดังนั้นการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวจึงอาจกลายเป็นข้อจำกัดของการปลูกข้าวในอนาคต ซึ่งควรเตรียมพร้อมเพื่อรองรับกับมาตรการต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์โลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องพิสูจน์ถึงความเป็นไปได้ในการนำวิธีการที่ได้กำหนดเป็นมาตรการลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวมาใช้ในประเทศไทย โดยคำนึงถึง ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในนาข้าว ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อการปลูกข้าวและผลผลิตข้าว รวมทั้งการยอมรับของชาวนาไทย

- การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก

รายงานทางวิทยาศาสตร์ด้านภูมิอากาศ (The Science of Climate) จากการประชุมสมัยที่ 8 ของ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) เมื่อ 17-24 มกราคม 2544 ณ เมืองเซี่ยงไฮ้ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนจีน สรุปได้ว่า ในศตวรรษที่ 20 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ 1.51 ± 0.05 °C ระดับน้ำทะเลโดยเฉลี่ยสูงขึ้น 0.1-0.2 เมตร อุณหภูมิของน้ำในมหาสมุทรก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย อีกทั้ง IPCC ยังได้คาดการณ์ล่วงหน้าว่า อุณหภูมิของโลกจะเพิ่มขึ้น 1.4-5.8 °C

นอกจากนี้การคาดการณ์ล่วงหน้าของ IPCC (1992) ต่อสถานการณ์ของอุณหภูมิอากาศโลก ด้วย IS-92a, IS-92d ได้ข้อสรุปตรงกันและพอจะยืนยันได้ว่า เมื่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโลกเพิ่มเป็น 2 เท่า อุณหภูมิของโลกจะเพิ่มขึ้น 1.5-4.5 °C อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลง เกิดความแห้งแล้งในอนาคตด้วยสภาวะขาดน้ำ (Drought stress) ต้นข้าวทนต่อโรคและแมลงน้อยลง ส่วน ORYZA (1994) ได้ทำนายผลด้วยโมเดลที่พัฒนาจากการศึกษาวิจัยในภาคสนามร่วมกับการทำนายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศสำหรับ ค.ศ. 2020 ของ GCM (Global Circulation Models for the year 2020) ด้วยข้อสรุปถึงความเป็นไปได้ที่อุณหภูมิโลกสูงขึ้น 1 °C และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เพิ่มขึ้น 50 ppm ทั้งนี้หากเพิ่มขึ้นเฉพาะอุณหภูมิ พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจของต้นข้าวจะเปลี่ยนไป ส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลงร้อยละ 9 และหากเพิ่มขึ้นเฉพาะปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่ามีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงเท่านั้น ส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลงร้อยละ 3 นอกจากนี้ USAID (1994) กำลังพัฒนาพันธุ์ข้าวพันธุ์ใหม่ที่สามารถลดการผลิตก๊าซมีเทนตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของต้นข้าว

การคาดคะเนผลกระทบที่เกิดขึ้นแล้วและอาจจะเกิดขึ้น เช่น ระบบนิเวศเปลี่ยนแปลง ชนิดของพันธุ์พืชและผลผลิตเปลี่ยนแปลง พืชมีความสามารถในการต้านทานโรคและแมลงลดลง หรือขาดความสามารถในการปรับตัวซึ่งอาจจะทำให้พืชชนิดนั้นสูญพันธุ์ได้ ผลกระทบที่ติดตามมา เช่น การเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติมีความถี่และความรุนแรงมากขึ้น วิธีการดำเนินชีวิตต้องปรับและเปลี่ยนแปลง การเรียกร้องและการเจรจาต่อรองระหว่างประเทศเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาโลกร้อน รวมทั้งผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น จึงต้องมีการเตรียมการทั้งระดับ บุคคล องค์กร รัฐบาล ภูมิภาค และระดับโลก

กล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมโลก รวมทั้งข้อผูกพันตามอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในฐานะประเทศภาคีอนุสัญญาฯ ที่ต้องมีส่วนร่วมจำกัดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธีการที่ได้กำหนดเป็นมาตรการต่าง ๆ นั้น สัดส่วนที่ประเทศไทยได้รับผลกระทบทางลบ น่าจะมากกว่าสัดส่วนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมโลกเนื่องจากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศของประเทศไทย

● ก๊าซมีเทนกับการปลูกข้าว

ก๊าซมีเทน (CH₄) มีลักษณะสมบัติที่สามารถดูดกลืน (Absorption) รังสีอินฟราเรด (Infrared) เป็นสัดส่วนกับรากที่สองของปริมาณหรือความเข้มข้นก๊าซมีเทนในบรรยากาศโลกชั้นโทรโปสเฟียร์ (Troposphere) (Badr *et al.*, 1991) ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในบรรยากาศได้เพิ่มมากขึ้นเป็น 2 เท่าในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา หลังจากที่มีความเข้มข้นคงตัวอยู่ประมาณ 10,000 ปี (USAID, 1994) ทั้งนี้ IPCC (1992) กำหนดให้ก๊าซมีเทนมีศักยภาพทำให้โลกร้อน

(Global Warming Potential : GWP) เท่ากับ 24 [เมื่อกำหนดให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มี $\text{GWP} = 1$] ในปัจจุบันถูกปรับลดมาเป็น 21

ในสภาพดินที่มีน้ำท่วมขัง รัญพืชชนิดอื่นไม่สามารถมีชีวิตรอดได้ แต่ต้นข้าวกลับเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ เนื่องจากลักษณะทางสัณฐานภายในแตกต่างจากรัญพืชอื่น คือ มีช่องอากาศ (Aerenchyma) ในลำต้นข้าวทำหน้าที่เป็นทางผ่านของก๊าซออกซิเจนจากอากาศไปสู่รากซึ่งอยู่ในดินได้ ทำให้ต้นข้าวสามารถมีชีวิตรอด กระบวนการผลิตและการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวเกิดในสภาพน้ำท่วมขัง ดินในนาจึงมีสภาพขาดก๊าซออกซิเจน จุลินทรีย์ชนิดไม่ต้องการก๊าซออกซิเจน (Strictly anaerobes) จะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการหายใจ จึงทำให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้น (Takei *et al.*, 1970; Ponnampetuma, 1972; Yagi and Minami, 1990; Badr *et al.*, 1991; IRRI, 1991; Sharkey *et al.*, 1991; Neue, 1993) เส้นทางหนึ่งของการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศคือผ่านช่องอากาศในลำต้นข้าว (อรรพรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2541; Cicerone *et al.*, 1981; Seiler *et al.*, 1984; IRRI, 1991; Kimura and Minami, 1995; Siriratpiriya *et al.*, 1995) ซึ่งพื้นที่ปลูกข้าวมากกว่า 90% ในประเทศไทยทำนาชนิดนาสวนที่มีการขังน้ำในนาไว้ลึกประมาณ 20-50 ซม.ตลอดฤดูปลูก

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตข้าว (Grist, 1965; Moomaw and Vergara, 1965) เพราะน้ำทำหน้าที่ในขบวนการทางสรีระและชีวเคมีภายในต้นข้าว และปลดปล่อยธาตุอาหารหรือดูดดึงธาตุอาหารจากดิน การขังน้ำในแปลงนาทำให้ธาตุอาหารในดินเปลี่ยนเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อต้นข้าวมากยิ่งขึ้น (Ponnampetuma, 1964; Ponnampetuma, 1965; Shama *et al.*, 1975) การขาดน้ำทำให้ต้นข้าวชะงักการเจริญเติบโตและผลผลิตลด (Matsushima, 1962; Chang, 1965; Yamada, 1965; IRRI, 1970; Sugimoto, 1971; De Datta, 1972; De Datta *et al.*, 1973; Williams and Joseph, 1973; De Datta, 1975; Kung, 1976)

ในขณะเดียวกัน เมื่อดินนามีน้ำขัง การสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดินจะมากขึ้น แต่การแพร่กระจาย (Diffusion) ผ่านชั้นน้ำที่ขังอยู่เหนือผิวดินจะเป็นไปได้ช้าและยากกว่าสภาวะดินแห้งถึง 10,000 เท่า (Armstrong, 1979) การสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดินในปริมาณมากจะเป็นพิษต่อต้นข้าว ทำให้ต้นข้าวดูดซึมน้ำและดูดดึงธาตุอาหารได้ยากลำบาก (Chang and Loomis, 1945) ดังนั้น ระบบนิเวศนาข้าว จึงเกี่ยวข้องกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศซึ่งใช้ในการสังเคราะห์แสงของต้นข้าว การหายใจของต้นข้าว กิจกรรมจุลินทรีย์ดิน รวมทั้งการสูญเสียและการสะสมของคาร์บอนในดินซึ่งเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพ และความสามารถของดินที่จะดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญสำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสง (Moya *et al.*, 1998) โดยในสภาพอากาศที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาก ต้นข้าวมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าในสภาพอากาศที่มีความเข้มข้นของก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์น้อย สายพันธุ์ของข้าวและสภาพแวดล้อมที่ปลูกข้าวก็มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวอย่างมาก (Ziska and Teramura, 1992b) อัตราการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวผันแปรอยู่ในช่วง 10-65 mg.CO₂/dm.²/hr. เช่น IRRI (1968) รายงานอัตราการสังเคราะห์แสงของต้นข้าว 50 ชนิด ว่ามีค่า 34.5-62.1 mg.CO₂/dm.²/hr. ในขณะที่ Murata (1961) และ Osada (1964) เสนอค่า 10-20 mg.CO₂/dm.²/hr. ส่วน Akita และคณะ (1968) และ Takani และ Tsunoda (1971) เสนอค่า 40-50 mg.CO₂/dm.²/hr

การเจริญเติบโตของต้นข้าวนั้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง อาจกล่าวได้ว่าตลอดระยะเวลาที่ปลูกข้าว พื้นที่นาเป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แหล่งใหญ่ การเจริญเติบโตของต้นข้าวต้องการธาตุอาหารในปริมาณมาก หากให้ธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ก็จะมีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนมากขึ้น ส่วนปุ๋ยเคมีมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอีกชนิดหนึ่ง คือ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ซึ่งมีศักยภาพทำให้โลกร้อน (GWP) เท่ากับ 270 (U.S. EPA, 1994) การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพื่อการเกษตรทั่วโลกจะปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ประมาณ 10-30 % ของปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากแหล่งที่มนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง (Ronen, 1988) ก๊าซไนตรัสออกไซด์มีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอล (Photochemical reaction) ในบรรยากาศโลกชั้นโทรโปสเฟียร์ (Troposphere) และ ชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere) เมื่อพิจารณาบนพื้นฐานการประเมินด้วยมวลสาร (Mass basis) ก๊าซไนตรัสออกไซด์มีความไวต่อการแผ่รังสี (Radiative active) มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 300 เท่า (Rodhe, 1990) มีการประมาณการว่า ก๊าซไนตรัสออกไซด์ในบรรยากาศโลกจะเพิ่มขึ้น 3.7 Tg N/ปี (Duxbury *et al.*, 1993)

ในอดีตเป็นที่ยอมรับกันว่า การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากดินในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification process) เป็นการสูญเสียไนโตรเจนจากดินในสภาพน้ำขัง (Shioiri, 1942) การใช้ปุ๋ยเคมีในดินนาน้ำขังจะเกิดการสูญเสียไนโตรเจนในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน 20-50 % (Hauck, 1971) แต่การปลูกข้าวในสภาพน้ำขัง รากข้าวเป็นช่องทางที่ให้ก๊าซออกซิเจนแก่ดินจึงช่วยลดอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน (Kai *et al.*, 1983) การใส่อินทรียสาร (ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด) เป็นเวลานานติดต่อกันจะก่อให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีหรือไม่ใส่อะไรเลย (Yoshida and Uehara, 1983) วิธีการปลูกข้าวแบบปักดำจะปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์สู่บรรยากาศมากกว่าวิธีการหว่าน (Buresh *et al.*, 1993)

ก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจนสามารถเข้าไปสู่รากข้าวได้โดยผ่านช่องอากาศ (Air space) บริเวณกาบใบ (Leaf sheath) ของต้นข้าว เนื่องจากมีรูพรุนเล็กๆ (Micropore) จำนวนมากที่บริเวณนี้ ดังนั้น บริเวณรากข้าว (Rhizosphere) จึงมีทั้งก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ ซึ่งก่อให้เกิดสภาวะออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and Reduction) นอกจากนี้ บริเวณรากข้าวจะสามารถตรึงไนโตรเจนเหมือนดินชั้นบน ประสิทธิภาพ

ในการตรึงไนโตรเจนจะดีเมื่อก๊าซออกซิเจนบริเวณรากมีน้อย เพราะเอนไซม์ของรากที่จะตรึงไนโตรเจนมีความไวต่อการทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน นั่นหมายถึงดินในสภาพน้ำขังจะมีการตรึงไนโตรเจนสูงกว่าดินไม่มีน้ำขัง โดยมีต้นข้าวและอินทรีย์วัตถุจากวัชพืชเป็นปัจจัยเสริม (De Datta, 1981)

ดังนั้น ก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์ใกล้ชิดกับการปลูกข้าว คือ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนตรัสออกไซด์ กล่าวคือ นาข้าวจะเป็นแหล่งปล่อยก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Source : CH_4 , N_2O) ในขณะเดียวกันต้นข้าวก็จะเป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Sink : CO_2) ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงในสภาพนาข้าว

● มาตรการลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

อนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก มีวัตถุประสงค์ที่จะลดปริมาณการปล่อยและเพิ่มแหล่งกักเก็บก๊าซเรือนกระจก การบรรลุเป้าหมายที่จะแสวงหาแนวทางป้องกันและลดความรุนแรงของผลกระทบจากก๊าซเรือนกระจก จึงเป็นความพยายามที่จะทำให้เกิดการควบคุมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทุกชนิดสู่บรรยากาศในระดับโลก แม้ว่าจะยังมีการโต้แย้งทางความคิดและความเชื่อ เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมโลกเนื่องจากก๊าซเรือนกระจก ว่าเป็นเพียงวัฏจักรหรือปรากฏการณ์ตามธรรมชาติเท่านั้น

วิธีการหรือเทคนิคในการจัดการเพื่อลดปริมาณก๊าซมีเทนจากนาข้าว ซึ่งเป็นมาตรการระดับนานาชาติ และของประเทศไทย ซึ่งปรับและสรุปทางเลือกจากข้อเสนอระดับนานาชาติของ IRRI สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เยอรมัน และอิตาลี (TEI, 1997) ได้แก่

1) การจัดการน้ำด้วยการระบายน้ำออกจากนาข้าว เพราะการผลิตและปล่อยก๊าซมีเทนเกิดขึ้นในสภาพนาข้าวขังน้ำ (Sass *et al.*, 1992; Yagi *et al.*, 1996)

2) การใส่ปุ๋ย เช่น ปุ๋ยไนโตรเจนที่มีโซเดียมซัลเฟตเป็นองค์ประกอบจะลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้ดีกว่าปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (Lindau *et al.*, 1990, 1994; Kimura *et al.*, 1992) หรือการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทำให้มีการปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าปุ๋ยเคมี (IRRI, 1994; Minami, 1994; Nouchi *et al.*, 1994) การให้ปุ๋ยด้วยการหว่านจะมีผลทำให้มีการปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าการใส่ปุ๋ยรองพื้น (Minami, 1994)

3) พันธุ์ข้าว ลักษณะของพันธุ์ข้าวที่มีลำต้นเตี้ยและมีมวลชีวภาพน้อย จะปล่อยก๊าซมีเทนน้อย (Schutz *et al.*, 1989; Sharkey *et al.*, 1991; Siriratpiriya *et al.*, 1995)

4) วิธีการปลูกข้าว การไถบดดินเมื่อมีการปลูกข้าว เช่น ลดการไถพรวน ทำให้มีการปล่อยก๊าซมีเทนน้อยลง (IRRI, 1994)

5) การใส่สารยับยั้งการผลิตก๊าซมีเทน (IRRI, 1994)

กรณีของประเทศไทย การจัดการน้ำด้วยการระบายน้ำออกจากนาข้าวน่าจะเป็นทางออกของการแก้ปัญหาหรือบรรเทาปัญหาการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ประกอบกับในอนาคตอันใกล้นี้ ปัญหาการขาดแคลนน้ำจะมีความรุนแรงมากขึ้น การจัดการน้ำด้วยการลดหรืองดการให้น้ำในบางช่วงของการเจริญเติบโตของต้นข้าว โดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของข้าว น่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสม ในสภาพเช่นนี้การปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4 emission) จะลดลง แม้ว่ากระบวนการเกิดก๊าซมีเทน (CH_4 production) จะยังคงมีอยู่บ้าง แต่ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O emission) จะยังคงถูกปล่อยออกมาจากแปลงนาเช่นเดิม ในขณะที่เดียวกัน การจัดการน้ำก็เป็นวิธีการควบคุมวัชพืชในนาที่ดีวิธีหนึ่ง

● ความต้องการน้ำในการปลูกข้าว

ข้าวต้องการน้ำเพื่อการเจริญเติบโต ปริมาณน้ำที่ใช้ในการปลูกข้าวมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับโอกาสของการสูญเสียน้ำจากนาข้าวในรูปการคายระเหย (Evapotranspiration) การซึมลึก (Percolation) และการซึมผ่านด้านข้าง (Seepage) ของน้ำในดินนั้น การสูญเสียน้ำทั้ง 3 ลักษณะเพิ่มขึ้นตามความลึกของระดับน้ำในนา (ดิเรก ทองอร่าม, 2524) การทำนาตามปกติต้องการใช้น้ำประมาณไร่ละ 1,500 ลูกบาศก์เมตรในฤดูฝน และ 2,000 ลูกบาศก์เมตรในฤดูแล้ง สูงกว่าการปลูกพืชอื่นประมาณไร่ละ 50-55 (ดิเรก ทองอร่าม, 2529) ปริมาณน้ำที่ขังไว้ในแปลงนาแตกต่างกันไปตามลักษณะพื้นที่ โดยชาวนามักจะขังน้ำในนาข้าวสูงกว่าระดับที่ควรจะเป็น ทั้งๆที่ต้นข้าวไม่ต้องการน้ำตลอดฤดูปลูก และมักไม่ยอมระบายน้ำออกจากแปลงนา เพราะไม่มั่นใจว่าจะได้รับน้ำชลประทานหรือน้ำฝนตามเวลาที่ต้องการ ในขณะที่การขังน้ำในแปลงนาก็ช่วยควบคุมวัชพืชในนาด้วย

การขังน้ำมีความสำคัญในการควบคุมวัชพืชซึ่งเป็นศัตรูที่สำคัญของข้าว วัชพืชส่วนใหญ่จัดอยู่ในประเภทพืช C4 สามารถใช้แสงแดดในการสร้างสารอาหารได้ดีกว่าข้าวซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพืช C3 วัชพืชจึงเจริญเติบโตได้ดีกว่าข้าว เป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของต้นข้าว ทำให้ผลผลิตข้าวลดลง (Vergara *et al.*, 1975) เป็นแหล่งอาศัยของโรคและแมลงศัตรูข้าวบางชนิด เช่น โรคใบหิวก (ดารา เจตนะจิตร และคณะ, 2535) ชนิดของวัชพืชในนาข้าวมักแตกต่างกันตามลักษณะพื้นที่ สภาพความชื้นของดินและระดับน้ำในแปลงนา (ประสาน วงศาโรจน์, 2540; Yamada, 1965) การรักษาระดับน้ำในแปลงนาเพียงเล็กน้อยประมาณ 1-2 ซม. ก็สามารถควบคุมประชากรวัชพืชบางชนิดได้ (Moody, 1977)

ปริมาณน้ำในนาที่มากเกินไปทำให้ผลผลิตข้าวลดลง เพราะไปยับยั้งการแตกกอของต้นข้าว การพัฒนาหน่อข้าว (Tiller) ไปเป็นรวงจึงลดลง (De Datta, 1981; Borell *et al.*, 1997; Mishra *et al.*, 1997; Ramasamy *et al.*, 1997) ในขณะเดียวกัน การขาดน้ำในระยะการสืบพันธุ์ (Reproductive phase) ซึ่งเป็นช่วงหยุดการเจริญเติบโตทางต้นและใบ แต่จะสร้างรวงอ่อนพัฒนาช่อดอก ตั้งท้อง และผสมเกสร การขาดน้ำในระยะนี้จะทำให้ผลผลิตข้าวลดลง

ระดับน้ำที่เหมาะสมกับการปลูกข้าวนาสวนในแต่ละประเทศนั้นมีความผันแปรอยู่ในช่วง 0-25 ซม. เช่น ในประเทศฟิลิปปินส์ (Bulanadi *et al.*, 1959) 0-25 ซม. ประเทศมาเลเซีย (Sugimoto, 1971) 0-20 ซม. และที่สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) ประเทศฟิลิปปินส์ (Wickham, 1973) 0-15 ซม. ทั้งนี้ การปลูกข้าวไม่มีความจำเป็นต้องขังน้ำไว้ในนาตลอดฤดูปลูก (ดิเรก ทองอร่าม, 2524; อรรถวุฒิ ทศนสองชั้น, 2527) สภาพดินอิ่มน้ำ (Soil saturation) ก็เพียงพอที่จะคงไว้ซึ่งปริมาณและคุณภาพข้าว (Borell *et al.*, 1997) การรักษาระดับน้ำไว้ประมาณ 20 ซม. ตลอดฤดูปลูกก็เพียงพอกับการเจริญเติบโตโดยได้รับผลผลิตข้าวไม่น้อยกว่าเดิม (เพียงใจ วงษ์เชษฐา, 2529) แต่การรักษากระดับน้ำไว้ที่ 0-15 ซม. สำหรับการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กลับให้ผลผลิตข้าวที่มีปริมาณและคุณภาพสูงกว่าการรักษากระดับน้ำไว้ที่ 20 ซม. (Wannasai *et al.*, 1991)

● วิถีชีวิตและพฤติกรรมการปลูกข้าวของชาวนาไทย

แผ่นดินไทยกับการปลูกข้าวเป็นสิ่งที่คู่กันมาช้านาน และยึดโยงกับวิถีชีวิตคนไทยมานานกว่า 5,000 ปี ด้วยหลักฐานการพบเมล็ดข้าวอายุประมาณ 8,000-9,000 ปี บริเวณถ้ำผีแมน (ชาญวิทย์ เกษตรศิริ, 2531) อีกทั้ง พบหลักฐานเมล็ดข้าวที่อาจบอกได้ว่าเป็นข้าวปลูก (Cultivated farm) (Childe, 1952 อ้างถึงใน ศรีศักร วัลลิโภดม, 2531) พฤติกรรมการปลูกข้าวในสมัยแรกๆ ไม่ได้อยู่ในข่ายเป็นสินค้าแลกเปลี่ยนที่จะสร้างความมั่งคั่งให้แก่ชุมชนและสัมพันธ์กับชุมชน แต่น่าจะมีลักษณะการทำนาไว้เลี้ยงนอยในที่ดินแล้วขยายพื้นที่ทำกินลงสู่พื้นที่ที่มีน้ำหลังจากพบว่าการใช้น้ำปริมาณมากให้ประโยชน์กับการเพาะปลูก แล้วแพร่หลายมาถึงบริเวณที่ดินเหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวได้แก่ นครสวรรค์ ชัยนาท และลพบุรี ในระหว่างพุทธศตวรรษที่ 12-17 ด้วยการปลูกหรือหว่านข้าวลงในที่ลุ่มมีน้ำท่วมถึงพอสมควร (Flooded rice) อาจมีการระบายน้ำหรือท่อน้ำบางในภูมิประเทศซึ่งมีระดับน้ำที่ไม่เหมาะสม ยืนยันได้จากรอยของบั้งนา (ทาดาโย วาดานาเบ้ อ้างถึงใน ชาญวิทย์ เกษตรศิริ, 2531; ศรีศักร วัลลิโภดม และคณะ, 2531)

การปลูกข้าวแต่เดิมมีลักษณะง่าย ๆ และไม่ต้องการเทคโนโลยีที่สลับซับซ้อน มีการปลูกกระจัดกระจายทั่วไป ทั้งนี้เพื่อนำผลผลิตมาเลี้ยงตัวเอง จนถึงสิ้นสมัยรัชกาลที่ 4 แห่งกรุงรัตนโกสินทร์ (ธิดา สาระยา, 2531) ได้มีจุดเริ่มต้นของการปลูกข้าวเพื่อส่งออกเมื่อมีสนธิสัญญาเบาริง พ.ศ. 2398 และเมื่อประเทศไทยเป็นสมาชิกองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) จึงมีการส่งเสริมให้ชาวนาใช้ปุ๋ยและพันธุ์ข้าวส่งเสริม (อัจฉรา เล็กวานิช, 2534) ทั้งนี้พฤติกรรมหลายอย่างของชาวนาก็ยังเป็นไปตามวัฒนธรรมของท้องถิ่น เช่น การทำบุญที่วัดในวันนักษัตรฤกษ์ การทำพิธีรับขวัญข้าวหรือพิธีกรรมอื่นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาและความเชื่อในท้องถิ่นนั้น (งามพิศ สัตย์สงวน, 2539)

อาจจะกล่าวได้ว่า พฤติกรรมการปลูกข้าวของชาวนามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นเรื่องของการใช้เทคโนโลยีหรืออุปกรณ์การปลูกข้าวมากกว่าวิธีการปลูกข้าว ส่วนวิถีชีวิตของชาวนาไทยมีการปรับเปลี่ยนตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติที่ส่งเสริมให้มีการปลูกข้าวเพื่อขายและส่งออกเพิ่มขึ้นจากสภาพการปลูกข้าวเพื่อยังชีพ

● พันธุ์ข้าวและวิธีการปลูกข้าว

พันธุ์ข้าวดี ได้มาจากหลายวิธีการ คือ (1) พันธุ์ข้าวที่ได้มาจากพันธุ์พื้นเมือง เช่น พันธุ์ขาวโป่งไคร้ หรือคัดเลือกจากพันธุ์พื้นเมืองเดิม เช่น พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ105 (2) พันธุ์ข้าวที่ได้มาจากการผสมพันธุ์ข้าว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมลักษณะที่ดีต่างๆเข้าไว้ในต้นเดียวกัน แล้วคัดเลือกหาต้นที่มีลักษณะที่ต้องการ พันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงจำนวนมากได้มาจากวิธีการนี้ (3) พันธุ์ข้าวที่ได้มาจากการนำเอาเมล็ดพันธุ์ข้าวไปอาบรังสี โดยมีวัตถุประสงค์ให้เกิดการกลายพันธุ์ จากนั้นก็คัดเลือก ปรับปรุง และขยายพันธุ์ เช่น พันธุ์ข้าว กข6 กข15 (4) พันธุ์ข้าวดีที่ได้มาจากต่างประเทศโดยไม่ได้ทำการคัดเลือกอีก เช่น พันธุ์ข้าวญี่ปุ่น

พันธุ์ข้าวที่เกษตรกรไทยใช้ปลูกอยู่ในปัจจุบัน (ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, 2539) มีทั้งพันธุ์ข้าวพื้นเมืองซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ต้นสูง และพันธุ์ของทางราชการ (พันธุ์ส่งเสริม) ซึ่งมักเป็นข้าวพันธุ์ต้นเตี้ยที่ผ่านการรับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตร ว่ามีศักยภาพการให้ผลผลิตสูง ด้านทานโรคและแมลงศัตรูข้าว ตอบสนองต่อปุ๋ยดี คุณภาพเมล็ดดีทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และทางการเกษตร ทั้งนี้ การแบ่งชนิดของพันธุ์ข้าวที่ปลูก มีหลายรูปแบบ คือ (1) การแบ่งพันธุ์ข้าวตามสภาพของน้ำในพื้นที่ซึ่งใช้ปลูกข้าว แบ่งออกเป็น ข้าวไร่ ข้าวนาสวน ข้าวขึ้นน้ำหรือข้าวนาเมือง (2) การแบ่งพันธุ์ข้าวตามลักษณะการตอบสนองต่อช่วงแสง แบ่งออกเป็นพันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง และพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง (3) การแบ่งพันธุ์ข้าวตามลักษณะสมบัติทางเคมีในเมล็ด แบ่งออกเป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียว (4) การแบ่งพันธุ์ข้าวตามอายุการเก็บเกี่ยว แบ่งออกเป็นข้าวเบา ข้าวกลาง ข้าวหนัก (5) การแบ่งพันธุ์ข้าวตามรูปร่างของเมล็ดข้าวสาร แบ่งออกเป็นข้าวเมล็ดสั้น ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง ข้าวเมล็ดยาว และข้าวเมล็ดยาวมาก (6) การแบ่งพันธุ์ข้าวตามฤดูปลูก แบ่งออกเป็นข้าวนาปีหรือข้าวหน้าน้ำฝนที่ปลูกในฤดูฝน และข้าวนาปรังที่ปลูกในฤดูแล้งในพื้นที่มีระบบชลประทาน

วิธีการปลูกข้าว หรือการทำนา (ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, 2539) มี 3 วิธี คือ (1) การทำนาดำ เป็นวิธีการทำนามีการนำเมล็ดข้าวไปเพาะในหังอกเป็นต้นกล้าแล้วนำต้นกล้าไปปักดำในแปลงนา (2) การทำนาหว่าน เป็นการปลูกข้าวโดยการหว่านเมล็ดลงไปแปลงนาโดยตรง ซึ่งอาจเป็นการหว่านข้าวแห้ง หรือหว่านข้าวแฉก (หว่านน้ำตม) ด้วยเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการเพาะให้มีรากงอกประมาณ 1-2 มม. และ (3) การทำนาหยอด เป็นการหยอดเมล็ดข้าวแห้งลงไปบนดินเป็นหลุมๆ หรือโรยเป็นแถว แล้วฝังกลบเมล็ดข้าว

● เหตุผลและความจำเป็นในการศึกษาวิจัย

ภาวะการณ์ที่ต้องเผชิญในอนาคตอันใกล้คือ การเพิ่มผลผลิตข้าวจากแรงผลักดันของความต้องการบริโภคและส่งออก ในขณะที่พื้นที่ปลูกข้าวลดลง และทรัพยากรน้ำมีอยู่จำกัด ร่วมกับข้อจำกัดลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ระบบการค้าระดับโลก การเมืองระหว่างประเทศ สภาพเศรษฐกิจสังคมและการเมืองภายใน ประกอบกับข้อตกลงการค้าโลก (GATT) ตามข้อผูกพันขององค์การการค้าโลก (WTO) ที่เปิดตลาดสินค้าเกษตรเสรี ตั้งแต่ พ.ศ. 2538 รวมทั้งการเจรจาการค้าเสรีอาเซียน (AFTA) ที่จะลดหย่อนอัตราภาษีศุลกากรสินค้าการเกษตรที่ไม่แปรรูป เช่น ข้าว

จากสถานการณ์ที่กล่าวมาข้างต้น รวมทั้งข้อผูกพันตามอนุสัญญาที่จะต้องดำเนินการด้วยมาตรการต่างๆ เพื่อลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ล้วนเป็นข้อจำกัดในการผลิตข้าวของประเทศไทย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเนื่องถึงวิธีการปลูกข้าว การจัดการน้ำ การจัดการพื้นที่ เทคโนโลยีการปลูกข้าว พฤติกรรมการปลูกข้าว รวมถึงวิถีชีวิตของชาวนา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกข้าวเพื่อขายและส่งออก น่าจะได้รับผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมให้สอดคล้องกับข้อจำกัดของการปลูกข้าวเพื่อลดการปล่อยก๊าซมีเทน ทั้งนี้การตัดสินใจปรับเปลี่ยนวิธีการปลูกข้าวหรือเทคโนโลยีการปลูกข้าว จำเป็นอย่างยิ่งต้องคำนึงถึงภูมิปัญญาท้องถิ่นของชาวไทย รวมทั้งต้นทุนทางสังคมที่ประเทศไทยต้องลงทุนในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการปลูกข้าวของชาวนาด้วย สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงอย่างมาก คือ ภูมิปัญญาท้องถิ่น การปรับเจตคติและการจัดเตรียมรูปแบบตลอดจนวิธีการให้ความรู้ไว้รองรับการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิตข้าวในอนาคต

ดังนั้น ถ้าจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบหรือวิธีการปลูกข้าว ซึ่งมีความหมายมากกว่าการผลิตสินค้าชนิดหนึ่งแล้วสิ้นสุดในตัวเองนั้น ผลกระทบต่อประเทศไทยย่อมมีต่อเนื่องและรุนแรง รวมทั้งมีผลต่อเนื่องกับสภาพเศรษฐกิจและสังคมโดยรวม เพราะรายได้หลักของประเทศมาจากการส่งออกข้าวประมาณ 5 ล้านตันข้าวสารออกสู่ตลาดโลกเป็นอันดับหนึ่งของโลก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2539) ใช้พื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 60 ล้านไร่ นับเป็นลำดับที่ห้าของโลก รองลงมาจาก อินเดีย จีน บังคลาเทศ และอินโดนีเซีย (FAO, 1997) ทั้งนี้ประเทศไทยมีมาตรการปรับโครงสร้างการผลิตข้าว ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 7 และ 8 คือ กำหนดพื้นที่การปลูกข้าวที่เหมาะสมไว้ที่ 55 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2539) สำหรับแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 9 มีนโยบายการจัดทำแผนพัฒนาการเกษตรที่เน้น 2 กลุ่มพื้นที่เป้าหมาย คือ กลุ่มที่มีขีดความสามารถในการแข่งขัน ซึ่งอยู่ในเขตชลประทานและพื้นที่เศรษฐกิจจำเพาะเพื่อพัฒนาผลผลิตการเกษตร และกลุ่มที่ไม่มีขีดความสามารถเพียงพอในการแข่งขัน จะใช้นโยบายเศรษฐกิจพอเพียงและใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน

ประเทศไทยมีความจำเป็นต้องกำหนดนโยบายในลักษณะการสร้างสมดุลและความชอบธรรม ระหว่างนาข้าวซึ่งเป็นแหล่งอาหารของโลกกับเป็นแหล่งปล่อยก๊าซมีเทนที่มีส่วนทำให้สภาพภูมิอากาศโลกเปลี่ยนแปลง ด้วยนโยบายเชิงกลยุทธ์ (Strategic policy) โดยมีข้อมูลวิชาการจากการศึกษาวิจัยเชิงลึก (In-depth research) ภายใต้สภาพแวดล้อมของประเทศไทย มาสนับสนุนการปรับเปลี่ยนที่เหมาะสมและเป็นไปได้ในอนาคต รวมทั้งกำหนดทางเลือกแผนปฏิบัติการระยะสั้นและระยะยาว ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลง ด้วยเทคนิควิธีทางวิชาการจากผลงานวิจัย หรือกำหนดแนวทางการศึกษาวิจัยที่แน่ชัด

โครงการวิจัยเรื่อง “ผลกระทบจากการจำกัดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวต่อการปลูกข้าวและผลผลิตข้าวของประเทศไทย” จึงมุ่งเน้นศึกษาวิจัยถึงทางเลือกในการปลูกข้าวภายใต้ข้อจำกัดลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว บนพื้นฐานการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ และประเมินผลกระทบต่อการปลูกข้าวและผลผลิตข้าวของประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

การดำเนินงานโครงการศึกษาวิจัย เรื่อง ผลกระทบจากการจำกัดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวต่อการปลูกข้าวและผลผลิตข้าวของประเทศไทย มีวัตถุประสงค์ดังนี้

- 1) ศึกษาหาแนวทางและวิธีการปลูกข้าวในทางปฏิบัติที่สามารถจำกัดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว
- 2) ประเมินผลกระทบจากการจำกัดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวต่อการปลูกข้าวและผลผลิตข้าว

1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

1) การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มุ่งเน้นการพิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์เฉพาะวิธีจัดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวด้วยการจัดการน้ำ โดยการรักษาระดับน้ำตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของต้นข้าว และการระบายน้ำในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว

2) พื้นที่ศึกษาวิจัย ก) จังหวัดชัยนาท เป็นพื้นที่ตัวแทนในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่มีการพัฒนาระบบชลประทาน การเกษตร การใช้ที่ดิน และเป็นแหล่งปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ร่วมกับการเป็นที่ตั้งของเขื่อนเจ้าพระยาและสถานีทดลองข้าวชัยนาท ข) จังหวัดสุรินทร์ เป็นพื้นที่ตัวแทนในการเป็นแหล่งปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวหอมที่อยู่ในความนิยมของการบริโภค มีการส่งออกและนำเงินตราเข้าประเทศมากที่สุด และเป็นที่ตั้งสถานีทดลองข้าวสุรินทร์

3) การศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์ เป็นการศึกษาวิจัยแบบทดลอง (Experimental research) ดำเนินการศึกษาวิจัยภาคสนามที่สถานีทดลองข้าวชัยนาท จังหวัดชัยนาท ส่วนการศึกษาวิจัยในกระถางในเรือนเพาะชำดำเนินการศึกษาวิจัยที่เรือนเพาะชำสถานีทดลองข้าวชัยนาท จังหวัดชัยนาท และที่เรือนเพาะชำกลุ่มงานวิทยาการวิจัย กองพฤกษศาสตร์และวิจัย กรมวิชาการเกษตร บางเขน กรุงเทพฯ

- การกำหนดพันธุ์ข้าว ยึดรูปทรงต้นข้าว (Plant type) เป็นเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อกำหนดชนิดของพันธุ์ข้าวในการศึกษาวิจัย เพราะหากพันธุ์ข้าวมีการเปลี่ยนแปลงตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีและสภาพแวดล้อมในนาข้าว ก็ยังสามารถใช้พันธุ์ข้าวมาแทนที่ตามการจำแนกรูปทรงต้นข้าวซึ่งมี 2 รูปทรง คือ รูปทรงต้นข้าวแบบพันธุ์พื้นเมือง (Traditional plant type) และรูปทรงต้นข้าวแบบพันธุ์ปรับปรุง (Improved plant type)

พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ ขาวดอกมะลิ105 (Traditional plant type) ชัยนาท1 (Improved plant type) ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี (Improved plant type) สุพรรณบุรี1 (Improved plant type) และ กข6 (Improved plant type)

- วิธีการปลูกข้าว 2 วิธี คือ วิธีปักดำ และวิธีหว่านน้ำตม
- ดินที่ใช้ในการทดลองปลูกข้าว 2 ชุดดิน คือ ชุดดินนครปฐมจากจังหวัดชัยนาท และชุดดินร้อยเอ็ดจากจังหวัดสุรินทร์

- ระดับน้ำที่ใช้ในการศึกษาทดลอง 3 ระดับ คือ 0 10 และ 20 ซม. โดยมีการระบายน้ำจากระดับน้ำ 20 ซม. หลังปักดำ 3 รูปแบบ คือ ช่วง 30 วัน ช่วง 60 วัน และช่วง 30กับ60 วัน เนื่องด้วยน้ำเป็นปัจจัยจำกัด (Limiting factor) ของการปลูกข้าวในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาในภาคกลาง การกำหนดระดับน้ำในการดำเนินการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ยึดถือสภาพที่

เหมาะสมกับการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยระดับน้ำที่ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวเป็นเกณฑ์ ระดับน้ำที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ 0–20 ซม.

- การศึกษาวิจัย อยู่ในห้วงฤดูการทำนาปี 2542 (พฤษภาคม 2542–ตุลาคม 2542)

- ศึกษาก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ด้วยเทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบตู้ครอบ (Chamber) แล้วตรวจวัดด้วย Gas Chromatography

- ศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยเครื่องวัดการสังเคราะห์แสง Portable Photosynthesis System ร่วมกับ Parkinson Chamber

- ศึกษาชนิดและปริมาณของวัชพืช ด้วยการศึกษารายแบบสำรวจในภาคสนามที่จังหวัดชัยนาทและจังหวัดสุรินทร์ และศึกษาในกระถางถึงผลของการจัดการน้ำต่อวัชพืช

4) การศึกษาวิจัยทางสังคมศาสตร์และทางพฤติกรรมศาสตร์ ประชากรวิจัยคือชาวนาในจังหวัดชัยนาทและจังหวัดสุรินทร์ กลุ่มตัวอย่างเป็นชาวนา 100 คน จากจังหวัดละ 50 คน การคัดเลือกใช้วิธีสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจังหวัดละ 2 หมู่บ้าน หมู่บ้านละ 25 คน ด้วยเกณฑ์การปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เป็นพันธุ์หลักของหมู่บ้านที่มีลักษณะและวิธีการทำนาเป็นตัวแทนชาวนาของจังหวัด

บทที่ 2 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

2.1 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์

การศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์ เป็นการศึกษาวิจัยแบบทดลอง (Experimental research) มุ่งเน้นความสามารถในการควบคุมสภาพและเงื่อนไขของการศึกษาตลอดฤดูปลูก รวมถึงระยะเก็บเกี่ยว เพราะผลผลิตข้าวคือสิ่งบ่งชี้สำคัญที่สุดต่อการประเมินความรุนแรงของผลกระทบ พื้นที่ศึกษาวิจัย คือพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาในภาคกลาง โดยมีจังหวัดชัยนาทเป็นตัวแทน และพื้นที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ซึ่งมีจังหวัดสุรินทร์เป็นตัวแทน

วิธีการปลูกข้าวภายใต้ข้อจำกัดลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มุ่งเน้นการจัดการน้ำสองลักษณะ คือการรักษาระดับน้ำตลอดระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว และการระบายน้ำในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว ทำการศึกษาทั้งในกระถางในเรือนเพาะชำและในแปลงนาในภาคสนาม ออกแบบการศึกษาวิจัยให้มีปัจจัยหลักเชื่อมโยงกันระหว่างการศึกษาวิจัยในกระถางกับในแปลงนา (รูปที่ 2.1-1) เนื่องจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ดำเนินการในห้วงฤดูการทำนาปี (ทำน่าน้ำฝน) การจัดการน้ำด้วยการระบายน้ำในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว ต้องศึกษาเฉพาะในกระถาง เพื่อให้การควบคุมระดับน้ำและการระบายน้ำทำได้สะดวก อีกทั้งการปลูกข้าวในประเทศไทยโดยทั่วไปไม่มีการระบายน้ำออกจากแปลงนาในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว

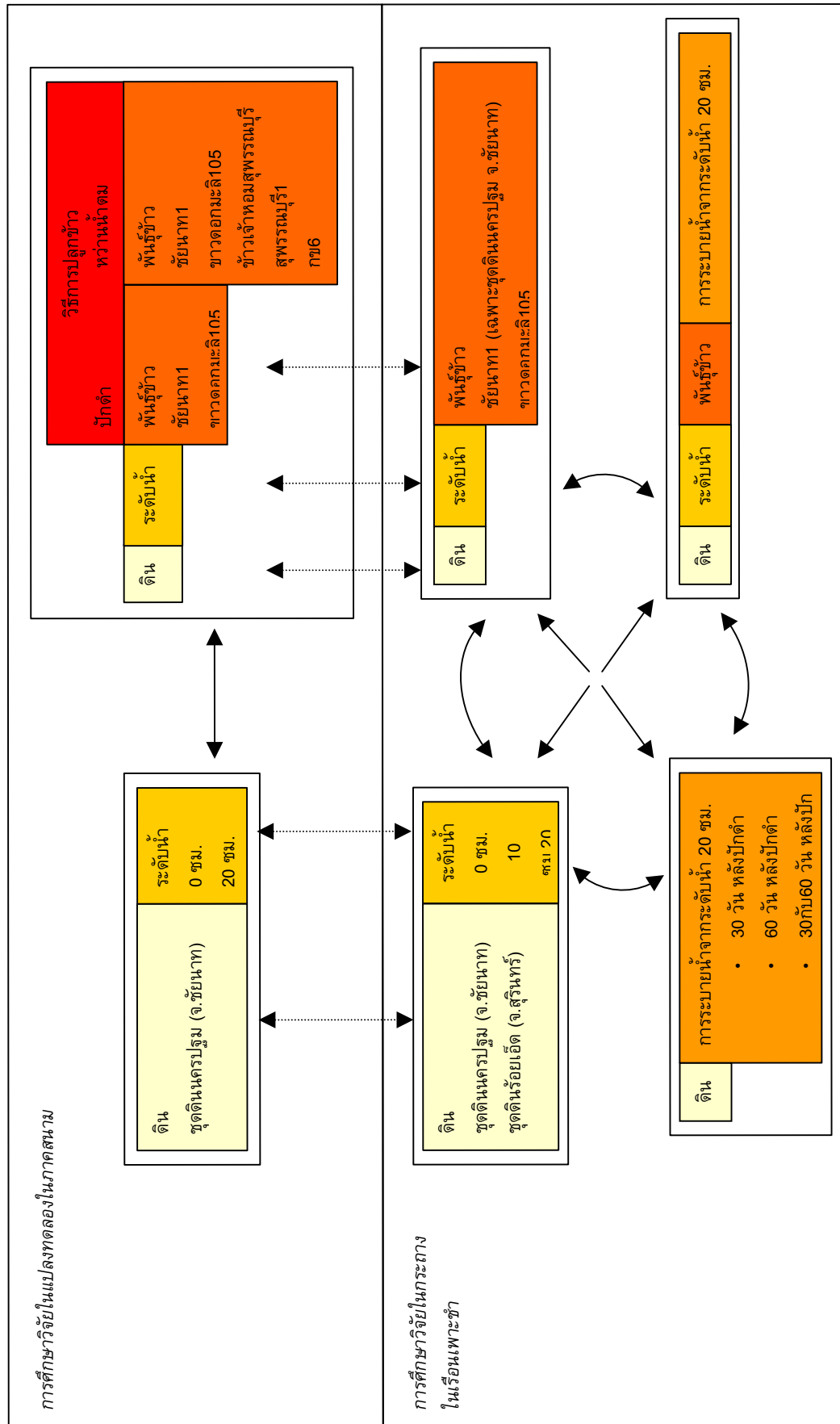
แผนปฏิบัติงานวิจัยสหสาขาวิชาทางวิทยาศาสตร์ (ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ พันธุ์ข้าว การสังเคราะห์แสง การจัดการน้ำ และวัชพืช) ยึดระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวเป็นเกณฑ์ในการเก็บตัวอย่างทั้งจากกระถางและแปลงทดลอง สำหรับการกำหนดวันเริ่มต้นเพาะปลูกข้าวทุกพันธุ์ ยึดอายุของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เป็นเกณฑ์การตัดสินใจ เพราะเป็นข้าวพันธุ์หนักที่เก็บเกี่ยวหลังสุด มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 125 วัน

การศึกษาวิจัยเรื่องวัชพืชนั้น ได้สำรวจภาคสนามในพื้นที่เดียวกันกับการศึกษาวิจัยด้านสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์ ส่วนการศึกษาวิจัยในกระถางได้ดำเนินการในพื้นที่เดียวกันกับการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์

2.1.1 การวางแผนการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์

● การศึกษาวิจัยในกระถางในเรือนเพาะชำ

พื้นที่ดำเนินการศึกษาวิจัย คือ เรือนเพาะชำกองพิษศาสตร์และวัชพืช กรมวิชาการเกษตร บางเขน กรุงเทพฯ และเรือนเพาะชำสถานีทดลองข้าวชัยนาท อำเภอเมือง จังหวัดชัยนาท วิธีการปลูกข้าวคือวิธีปักดำ มีการระบายน้ำออกจากกระถางก่อนการเก็บเกี่ยว 10 วัน



รูปที่ 2.1-1 : ความเชื่อมโยงของปัจจัยที่เป็นตัวแปรร่วมระหว่างการศึกษาวิจัยในกระถางในเรือนเพาะชำกับแปลงทดลองภาคสนาม

ปัจจัยหลักในการศึกษาวิจัย

- 1) ดิน 2 ชุดดิน (ชุดดินนครปฐมจากจังหวัดชัยนาท และชุดดินร้อยเอ็ดจากจังหวัดสุรินทร์)
- 2) ระดับน้ำ 3 ระดับ (0 10 และ 20 ซม.)
- 3) การระบายน้ำจากระดับน้ำ 20 ซม. ในช่วงเวลาหลังปักดำ 3 รูปแบบ (ช่วง 30 วัน ช่วง 60 วัน และช่วง 30กับ60 วัน)
- 4) พันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ (ชัยนาท1 และ ขาวดอกมะลิ105)

การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลองในกระถางในเรือนเพาะชำ เป็นแบบ 2 Factors Factorial in Randomize Complete Block Design ดำเนินการศึกษาวิจัยที่กรุงเทพฯ 2 ชำ และที่จังหวัดชัยนาท 1 ชำ รวมเป็น 3 ชำ (Replication) การศึกษาวิจัยครั้งนี้จัดแบ่งออกเป็น 3 หน่วยศึกษาวิจัยย่อยตามปัจจัยหลักในการศึกษาวิจัย มีตำรับทดลอง (Treatment) ทั้งหมด 30 ตำรับทดลอง (ตารางที่ 2.1-1 2.1-2 และ 2.1-3) มีจำนวนหน่วยทดลอง 90 หน่วย หนึ่งหน่วยทดลอง คือ กระถางขนาด 0.6x0.6x0.6 ม.

หน่วยศึกษาวิจัยย่อยที่ 1 : การปลูกข้าวในดินชุดดินนครปฐม ที่มีการขังน้ำตลอดระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว ตัวแปรร่วม คือ พันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ (ชัยนาท1 และ ขาวดอกมะลิ 105) และระดับน้ำ 3 ระดับ (0 10 และ 20 ซม.)

ตารางที่ 2.1-1 : ตำรับทดลองการศึกษาวิจัยในกระถางในเรือนเพาะชำ ของการปลูกข้าว 2 พันธุ์ในดินชุดดินนครปฐม ด้วยการขังน้ำ 3 ระดับ

ตำรับทดลอง	สิ่งทดลอง
1	ดินไม่ปลูกข้าวที่มีการขังน้ำ 0 ซม. (ควบคุม)
2	ดินไม่ปลูกข้าวที่มีการขังน้ำ 10 ซม. (ควบคุม)
3	ดินไม่ปลูกข้าวที่มีการขังน้ำ 20 ซม. (ควบคุม)
4	ดินปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่มีการขังน้ำ 0 ซม.
5	ดินปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่มีการขังน้ำ 10 ซม.
6	ดินปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่มีการขังน้ำ 20 ซม.
7	ดินปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีการขังน้ำ 0 ซม.
8	ดินปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีการขังน้ำ 10 ซม.
9	ดินปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีการขังน้ำ 20 ซม.

หน่วยศึกษาวิจัยย่อยที่ 2 : การปลูกข้าวในดินชุดดินนครปฐม ที่มีการขังน้ำแล้วระบายน้ำออกในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว ตัวแปรร่วม คือ พันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ (ชัยนาท1 และ ขาวดอกมะลิ105) และการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกช่วงเวลาหลังปักดำ 3 รูปแบบ (ช่วง 30 วัน ช่วง 60 วัน และช่วง 30กับ60 วัน หลังปักดำ)

ตารางที่ 2.1-2 : ดำรับทดลองการศึกษาวิจัยในกระถางในเรือนเพาะชำ ของการปลูกข้าว 2 พันธุ์ในดินชุดดินนครปฐมที่มีการขังน้ำแล้วระบายน้ำออกในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว 3 รูปแบบ

ดำรับทดลอง	สิ่งทดลอง
1	ดินไม่ปลูกข้าว ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วงเวลาเทียบเท่าหลังจากปักดำ 30 วัน (ควบคุม)
2	ดินไม่ปลูกข้าว ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วงเวลาเทียบเท่าหลังจากปักดำ 60 วัน (ควบคุม)
3	ดินไม่ปลูกข้าว ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วงเวลาเทียบเท่าหลังจากปักดำ 30กับ60 วัน (ควบคุม)
4	ดินปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วง 30 วัน หลังปักดำ
5	ดินปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วง 60 วัน หลังปักดำ
6	ดินปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วง 30กับ60 วัน หลังปักดำ
7	ดินปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วง 30 วัน หลังปักดำ
8	ดินปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วง 60 วัน หลังปักดำ
9	ดินปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วง 30กับ60 วัน หลังปักดำ

หน่วยศึกษาวิจัยย่อยที่ 3 : การปลูกข้าวในดินชุดดินร้อยเอ็ด ที่มีการขังน้ำตลอดระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว และการขังน้ำแล้วระบายน้ำออกในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว ตัวแปรร่วม คือ พันธุ์ข้าว 1 พันธุ์ (ขาวดอกมะลิ105) ระดับน้ำ3 ระดับ (0 10 และ 20 ซม.) และการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกช่วงเวลาหลังปักดำ 3 รูปแบบ (ช่วง 30 วัน ช่วง 60 วัน และช่วง 30กับ60 วัน หลังปักดำ)

ตารางที่ 2.1-3 : ดำรับทดลองการศึกษาวิจัยในกระถางในเรือนเพาะชำ ของการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ในดินชุดดินร้อยเอ็ด ที่มีการขังน้ำ 3 ระดับ และมีการขังน้ำแล้วระบายน้ำออกในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว 3 รูปแบบ

ดำรับทดลอง	สิ่งทดลอง
1	ดินไม่ปลูกข้าว ที่มีการขังน้ำ 0 ซม. (ควบคุม)
2	ดินไม่ปลูกข้าว ที่มีการขังน้ำ 10 ซม. (ควบคุม)
3	ดินไม่ปลูกข้าว ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. (ควบคุม)
4	ดินไม่ปลูกข้าว ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วงเวลาเทียบเท่าหลังจากปักดำ 30 วัน (ควบคุม)
5	ดินไม่ปลูกข้าว ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วงเวลาเทียบเท่าหลังจากปักดำ 60 วัน (ควบคุม)
6	ดินไม่ปลูกข้าว ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วงเวลาเทียบเท่าหลังจากปักดำ 30กับ60 วัน (ควบคุม)
7	ดินปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีการขังน้ำ 0 ซม.
8	ดินปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีการขังน้ำ 10 ซม.
9	ดินปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีการขังน้ำ 20 ซม.
10	ดินปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วง 30 วัน หลังปักดำ
11	ดินปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วง 60 วัน หลังปักดำ
12	ดินปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. แล้วระบายน้ำออกในช่วง 30กับ60 วัน หลังปักดำ

● การศึกษาวิจัยในแปลงทดลองในภาคสนาม พื้นที่ดำเนินการศึกษาวิจัย คือ แปลงทดลองในสถานีทดลองข้าวชัยนาท อำเภอเมือง จังหวัดชัยนาท วิธีการปลูกข้าวมี 2 วิธี คือ วิธีปักดำ และวิธีหว่านน้ำตม มีการระบายน้ำออกจากแปลงก่อนการเก็บเกี่ยว 10 วัน

ปัจจัยหลักในการศึกษาวิจัย

- 1) ดิน 1 ชุดดิน (ชุดดินนครปฐม ในสถานีทดลองข้าวชัยนาท จังหวัดชัยนาท)
- 2) ระดับน้ำ 2 ระดับ (0 และ 20 ซม.)
- 3) วิธีการปลูกข้าว 2 วิธี (ปักดำ และหว่านน้ำตม)
- 4) พันธุ์ข้าว 5 พันธุ์ (ชัยนาท1 ขาวดอกมะลิ105 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี สุพรรณบุรี1 และกข6)

การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลองในภาคสนาม เป็นแบบ 3 Factors Factorial in Randomize Complete Block Design ทำ 3 ซ้ำ (Replication) โดยยึดถือปัจจัยหลักในการศึกษาวิจัย มี 6 ดำรับทดลอง (ตารางที่ 2.1-4) หนึ่งหน่วยทดลอง คือ แปลงทดลองขนาด 3x6 ม.

ตารางที่ 2.1-4 : ดำรับทดลองการศึกษาวิจัยในแปลงทดลองในภาคสนามของการปลูกข้าว 5 พันธุ์ ในดินชุดดินนครปฐม ด้วยวิธีปลูก 2 วิธี มีการขังน้ำ 2 ระดับ

ดำรับทดลอง	สิ่งทดลอง
1	ดินไม่ปลูกข้าว ที่มีการขังน้ำ 0 ซม. (ควบคุม)
2	ดินไม่ปลูกข้าว ที่มีการขังน้ำ 20 ซม. (ควบคุม)
3	ดินปลูกข้าวด้วยวิธีปักดำ ที่มีการขังน้ำ 0 ซม.
4	ดินปลูกข้าวด้วยวิธีปักดำ ที่มีการขังน้ำ 20 ซม.
5	ดินปลูกข้าวด้วยวิธีหว่านน้ำตม ที่มีการขังน้ำ 0 ซม.
6	ดินปลูกข้าวด้วยวิธีหว่านน้ำตม ที่มีการขังน้ำ 20 ซม.

ดำรับทดลองที่ 1 และ 2 เป็นหน่วยทดลองควบคุม ทำ 3 ซ้ำ ($2 \times 3 = 6$ หน่วยทดลอง)

ดำรับทดลองที่ 3 และ 4 ทดลองกับข้าว 2 พันธุ์ (ชัยนาท1 และขาวดอกมะลิ105) ทำ 3 ซ้ำ ($2 \times 2 \times 3 = 12$ หน่วยทดลอง)

ดำรับทดลองที่ 5 และ 6 ทดลองกับข้าว 5 พันธุ์ (ชัยนาท1 ขาวดอกมะลิ105 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี สุพรรณบุรี1 และกข6) ทำ 3 ซ้ำ ($2 \times 5 \times 3 = 30$ หน่วยทดลอง)

ดังนั้น การศึกษาวิจัยในแปลงทดลองในภาคสนาม มีหน่วยทดลองทั้งสิ้น 48 หน่วย ($6+12+30 = 48$ หน่วยทดลอง)

2.1.2 การเก็บตัวอย่างดิน น้ำ อากาศ วัชพืช และผลผลิตข้าว รวมทั้งการวัดการสังเคราะห์แสง

• การเก็บตัวอย่างดินและการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของดิน

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ทำการเก็บตัวอย่างดิน 3 ช่วงระยะเวลา คือ

1) ช่วงระยะเวลาก่อนการเพาะปลูก เก็บตัวอย่างดินโดยสุ่มจากหลายจุดให้ทั่วแปลงทดลอง ที่ระดับความลึก 1-15 ซม. จากนั้นทำตัวอย่างดินรวม (Composite sample) ของแปลงทดลอง ผึ่งดินให้แห้ง (Air dry) แล้ววิเคราะห์ลักษณะสมบัติดินตามพารามิเตอร์ ที่กำหนดในตารางที่ 2.1-5

ตารางที่ 2.1-5 : พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์และวิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของดิน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
เนื้อดิน (Soil texture)	Hydrometer
รีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh)	Ion analyzer
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	pH meter (ดิน : น้ำ = 1:1)
อุณหภูมิ (°C)	Thermometer
อินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon)	Walkley and Black method
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)	Kjeldahl method
ก๊าซมีเทน (Methane : CH ₄) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide : CO ₂) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Nitrous oxide : N ₂ O)	Gas Chromatography

2) ช่วงระยะเวลาระหว่างการเพาะปลูก เก็บตัวอย่างดินพร้อมกับการวัดอุณหภูมิดิน ในช่วงเวลาเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างน้ำพร้อมกับการวัดอุณหภูมิน้ำ และเก็บตัวอย่างอากาศในตู้ครอบ (Chamber) จากแปลงทดลองตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว (ตารางที่ 2.1-6) จากนั้นนำตัวอย่างอากาศจากตู้ครอบ ตัวอย่างก๊าซที่ได้จากการสกัดตัวอย่างดิน และตัวอย่างก๊าซที่ได้จากการสกัดตัวอย่างน้ำ วิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ด้วย Gas Chromatography

3) ช่วงระยะเวลาหลังการเพาะปลูก เก็บตัวอย่างดินจากแปลงทดลองทุกแปลง ทำตัวอย่างดินรวม (Composite sample) ของแต่ละแปลงทดลอง ผึ่งดินให้แห้ง (Air dry) แล้ววิเคราะห์ลักษณะสมบัติของดินตามพารามิเตอร์ที่กำหนดในตารางที่ 2.1-5

ตารางที่ 2.1-6 : ช่วงเวลาเก็บตัวอย่างตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว

ระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว	ช่วงเวลา
0. ระยะเมล็ดข้าวงอก (Germination)	19 ก.ค. – 22 ก.ค. 2542
1. ระยะต้นกล้า (Seedling)	22 ก.ค. – 17 ส.ค. 2542
2. ระยะต้นข้าวแตกกอ (Tillering) *	17 ส.ค. – 15 ก.ย. 2542
3. ระยะต้นข้าวสร้างรวงอ่อน (Panicle initiation)	15 ก.ย. – 20 ก.ย. 2542
4. ระยะต้นข้าวตั้งท้อง (Booting) *	20 ก.ย. – 15 ต.ค. 2542
5. ระยะต้นข้าวออกกรวง (Flowering)	15 ต.ค. – 20 ต.ค. 2542
6. ระยะต้นข้าวบานดอก (Anthesis)	20 ต.ค. – 25 ต.ค. 2542
7. ระยะเมล็ดข้าวน้ำนม (Milk grain) *	25 ต.ค. – 5 พ.ย. 2542
8. ระยะเมล็ดข้าวแป้ง (Dough grain)	5 พ.ย. – 15 พ.ย. 2542
9. ระยะเมล็ดข้าวสุกแก่ (Mature grain) *	15 พ.ย. – 20 พ.ย. 2542

หมายเหตุ * ระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวที่ทำการเก็บตัวอย่าง

● การเก็บตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำตามการเจริญเติบโตของต้นข้าวในช่วงระยะเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างดินและตัวอย่างอากาศในตู้ครอบ ขณะเก็บตัวอย่างน้ำจะวัดอุณหภูมิของน้ำในแต่ละแปลง ทดลอง จากนั้นสกัดก๊าซจากตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนตรัสออกไซด์ ด้วย Gas Chromatography

● การเก็บตัวอย่างอากาศในตู้ครอบ (Chamber)

1) เก็บตัวอย่างอากาศตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว (ตารางที่ 2.1-6) ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวตั้งท้อง ระยะเมล็ดข้าวน้ำนม และระยะเมล็ดข้าวสุกแก่ โดยใช้ตู้ครอบขนาด 0.6x0.6x0.6 ม. ซึ่งสามารถนำมาต่อกันเป็นชั้นๆ ในระดับที่สอดคล้องกับความสูงของต้นข้าวในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

2) ในรอบ 1 วัน เก็บตัวอย่างอากาศในตู้ครอบ ด้วยหลอดฉีดยา (Glass type syringe) ในช่วงเวลา 10.00-11.00 น. และอ่านอุณหภูมิภายในตู้ครอบ ขณะที่เก็บตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างอากาศไปตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนตรัสออกไซด์ ด้วย Gas Chromatography

● การวัดการสังเคราะห์แสงของต้นข้าว

1) วัดการสังเคราะห์แสงของต้นข้าว ตามระยะการเจริญเติบโต ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวตั้งท้อง ระยะเมล็ดข้าวนํ้านม และระยะเมล็ดข้าวสุกแก่ (ตารางที่ 2.1-6) ในช่วงเวลา 9.00-12.00 น.

2) การสังเคราะห์แสงของต้นข้าว วัดด้วย Portable Photosynthetic System รุ่น LCA3 เป็นระบบเปิด (Open system) ร่วมกับ Parkinson chamber สำหรับพืชใบแคบ ซึ่งมีขนาด 1.87x6.00 ซม. เลือกวัดจากใบที่เจริญเต็มที่และได้รับแสงสม่ำเสมอตลอดวัน โดยใช้ Parkinson chamber หนีบใบที่เลือกไว้ และติดตั้งเซนเซอร์ (Sensor) วัดอุณหภูมิบริเวณผิวใบ ตั้งโปรแกรมบันทึกข้อมูลอัตโนมัติทุก 2 นาที บันทึกข้อมูลการสังเคราะห์แสงและข้อมูลที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสง ได้แก่ อุณหภูมิที่ผิวใบและอุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}\text{C}$) การคายน้ำ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ปริมาณแสงที่ตกกระทบผิวใบ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รอบปากใบ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

● การสำรวจและการศึกษาชนิดหรือปริมาณวัชพืชเมื่อมีการจัดการน้ำ

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับวัชพืชครั้งนี้ เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างวัชพืชกับดินตามชุดดิน การจัดการน้ำ วิธีการปลูกข้าว และพันธุ์ข้าว ประกอบด้วย

1) การสำรวจการระบาดของวัชพืชในพื้นที่ศึกษาวิจัย ที่จังหวัดชัยนาท และจังหวัดสุรินทร์ ดำเนินการพร้อมกับการศึกษาวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์

2) การสำรวจชนิดและปริมาณวัชพืชในแปลงทดลอง ซึ่งมีการปลูกข้าว 5 พันธุ์ ด้วยวิธีปักดำและหว่านน้ำตม ที่ระดับน้ำ 0 และ 20 ซม. ตรวจนับวัชพืชด้วยการแบ่งพื้นที่แต่ละแปลงออกเป็นแปลงย่อยขนาด 1x1 ม. แล้วสุ่มนับในพื้นที่ 0.5x0.5 ม.

3) การศึกษาชนิดและปริมาณวัชพืชในดินชุดดินนครปฐมจากจังหวัดชัยนาท และดินชุดดินร้อยเอ็ดจากจังหวัดสุรินทร์

4) การศึกษาชนิดและปริมาณวัชพืชในกระถางที่ปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1และพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ในดินชุดดินนครปฐมจากจังหวัดชัยนาท และดินชุดดินร้อยเอ็ดจากจังหวัดสุรินทร์

5) การศึกษาเบื้องต้นถึงชนิดและปริมาณวัชพืชเมื่อมีการจัดการน้ำในกระถาง

● การเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว

เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว (พันธุ์ชัยนาท1 พันธุ์ขาวดอกมะลิ105 พันธุ์ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี พันธุ์สุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข6) ในแปลงทดลองในภาคสนาม ด้วยพื้นที่เก็บเกี่ยว

ขนาด 2x5 ม. และเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว (พันธุ์ชัยนาท1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ105) ในกระถาง
ในเรือนเพาะชำ ทั้งกระถาง

- **การวิเคราะห์ข้อมูล**

1) วิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพและทางเคมี ของตัวอย่างดิน ตัวอย่างน้ำ และตัวอย่าง
อากาศในห้องปฏิบัติการ ที่สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และที่ศูนย์
เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) วิเคราะห์ข้อมูลการสังเคราะห์แสง ด้วยการถ่ายข้อมูลที่เก็บจากแปลงทดลองใน
ภาคสนาม และจากกระถางในเรือนเพาะชำ ลงสู่เครื่องคอมพิวเตอร์โปรแกรม rxlca4 เพื่อ
ประมวลผลการสังเคราะห์แสงของต้นข้าว 2 ลักษณะ คือ ความสามารถในการสังเคราะห์แสง
(การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) ตลอดระยะเวลาเจริญเติบโตของต้นข้าว และประสิทธิภาพ
การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carboxylation efficiency, %)

3) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ใช้ Analysis of Variance เพื่อหา F-value และใช้
Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล

การดำเนินการศึกษาวิจัยในกระถางในเรือนเพาะชำ



1	2
3	5 6
4	

- 1 การหล่อกระถางขนาด 0.6x0.6x0.6 ม.
- 2 การปักดำต้นกล้าในกระถาง
- 3 การเก็บตัวอย่างดิน
- 4 การเก็บตัวอย่างน้ำ
- 5 การระบายน้ำออกจากกระถางในช่วง 30 วันหลังปักดำ
- 6 การเก็บตัวอย่างอากาศเมื่อมีการระบายน้ำออกจากกระถางในช่วง 60 วันหลังปักดำ

การดำเนินการศึกษาวิจัยในภาคสนาม : การเตรียมแปลงทดลอง



1

1 สภาพพื้นที่และการเตรียมแปลงทดลองขนาด 3x6 ม. ที่สถานีทดลองข้าวชัยนาท จังหวัดชัยนาท

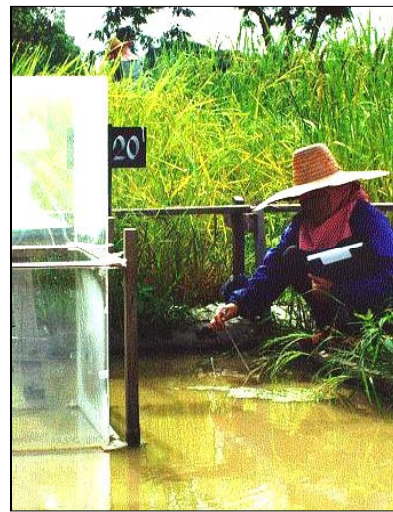
2

2 การเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าว และสภาพแปลงตกข้าวกล้าของวิธีการปลูกข้าวแบบปักดำ

3

3 ลักษณะเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการห่มข้าว แล้วนำไปหว่านในแปลงทดลองของวิธีการปลูกข้าวแบบหว่านน้ำตม

การดำเนินการศึกษาวิจัยในภาคสนาม : ก๊าซเรือนกระจก
(มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนตรัสออกไซด์)



1	5
2	6
3	7
4	



- 1 ทางเดินในแปลงทดลอง และ ไม้หลักระบุจุดเก็บตัวอย่างอากาศ
- 2-3 การวางตุ้ครอบ และการเก็บตัวอย่างอากาศในพื้นที่เก็บตัวอย่างขนาด 0.6x0.6 ม. ณ จุดที่กำหนดด้วยไม้หลัก
- 4 การระบายน้ำออกจากแปลงทดลองเพื่อควบคุมระดับน้ำ
- 5 ลักษณะการวางตุ้ครอบ ณ จุดเก็บตัวอย่างในแปลงทดลองที่กำหนดด้วยไม้หลัก
- 5-7 การวัดอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิดิน รวมทั้งการเก็บตัวอย่างน้ำและตัวอย่างดิน

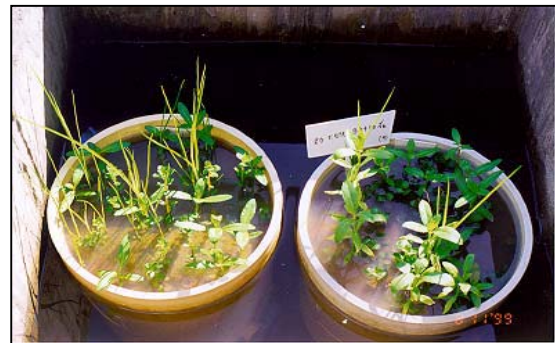
การดำเนินการศึกษาวิจัยในภาคสนาม : การสังเคราะห์แสง



1	2
3	4

- 1 Parkinson Chamber สำหรับพืชใบแคบขนาด 1.87 x 6.0 ซม.
- 2 การวัดการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวในกระถางในเรือนเพาะชำ
- 3 การวัดการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวในภาคสนาม
- 4 การเก็บตัวอย่างต้นข้าวจากแปลงทดลองสำหรับการคำนวณหาพื้นที่ใบ (Leaf Area Index)

การดำเนินการศึกษาวิจัยในกระถางและภาคสนาม : วัชพืช



1	2
3	4

- 1 การสำรวจชนิดวัชพืชที่ระบาดในพื้นที่ศึกษาวิจัย
- 2 การศึกษาชนิดและจำนวนวัชพืชในดินทดลองที่ใช้ปลูกข้าว
- 3 การศึกษาผลของระดับน้ำต่อชนิดวัชพืช
- 4 การศึกษาผลของระดับน้ำ และการระบายน้ำต่อชนิดวัชพืช

2.2 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์

ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าว คือ วิธีการทำนาของชาวนาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดิน การขังน้ำไว้ในแปลงนา ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่ชาวนาได้ประพฤติปฏิบัติมาตั้งแต่อดีต โดยมีเป้าหมายอยู่ที่การเพิ่มผลผลิต

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมโลก และการระบุนาข้าวเป็นแหล่งผลิตและปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศโลก หรือผลกระทบย้อนกลับจากการเปลี่ยนแปลงต่อวิธีการปลูกข้าวหรือผลผลิตข้าวนั้น ยังห่างไกลจากการรับรู้ของชาวนาไทยในปัจจุบัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกเป็นเรื่องใหม่ของทั้งโลก อีกทั้งชาวนายังไม่มีโอกาสได้รับรู้ข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับผลกระทบจากการทำนาในลักษณะดั้งเดิมต่อการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศโลกนั่นเอง

ดังนั้นหากประเทศไทยจำเป็นต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไข หรือจำเป็นต้องลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว รวมทั้งจำเป็นต้องมีการจัดการทรัพยากรน้ำในการปลูกข้าวอย่างมีประสิทธิภาพ การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการทำนาของชาวนาไทยเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมให้เกิดประสิทธิผลนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรู้ถึงภูมิปัญญาในการทำนา ความเชื่อและเจตคติต่อการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำนา พฤติกรรมการทำนา และวิถีชีวิตของชาวนา เพื่อป้องกันการชักนำไปสู่การต่อต้าน เพราะเกิดความอึดอัด คับข้องใจ เกิดความขัดแย้งกับพฤติกรรมและความเชื่อดั้งเดิมมากเกินไป

การศึกษาวิจัยทางด้านสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์ ดำเนินการศึกษาวิจัยในกลุ่มประชากรเดียวกัน เพื่อรวบรวมข้อมูลพื้นฐานสำหรับลักษณะของชาวนาในองค์รวม ที่มีความสมบูรณ์ทั้งด้านร่างกายและจิตใจ ทำให้เกิดความเข้าใจอย่างถ่องแท้และเป็นการประหยัด โดยศึกษาวิจัยทางสังคมศาสตร์เกี่ยวกับภูมิปัญญาในการทำนาของชาวนา ความเชื่อและเจตคติต่อการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำนา และศึกษาวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์เกี่ยวกับพฤติกรรมการทำนา และวิถีชีวิตของชาวนา

• ขอบเขตและคำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยทางสังคมศาสตร์ในครั้งนี้ เป็นการกล่าวถึงตัวบุคคลที่เกี่ยวข้องกับความเชื่อ เจตคติหรือแรงจูงใจ ซึ่งส่งผลต่อการปฏิบัติของชาวนาในการปลูกข้าว และการใช้ชีวิตประจำวันในช่วงฤดูการทำนา ตั้งแต่เริ่มเตรียมการจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว โดยที่การแสดงออกของชาวนาเป็นการวิจัยด้านพฤติกรรมศาสตร์

ภูมิปัญญาท้องถิ่น หมายถึง ความคิดหรือแนวทางในการดำเนินชีวิต ตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่างๆ ของชาวนาในท้องถิ่น

ความเชื่อและเจตคติต่อการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำนา หมายถึง ความเชื่อ พิธีกรรม และวิธีการที่เกี่ยวข้องกับการทำนา ซึ่งชาวนานำมาประยุกต์เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวและคุณภาพชีวิต

วิธีการทำนา หมายถึง วิธีการหรือขั้นตอนที่ชาวนาปฏิบัติในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการทำนาตั้งแต่เริ่มเตรียมการจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว

พฤติกรรมการทำนา หมายถึง พฤติกรรมที่ชาวนากระทำหรือแสดงออกในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการทำนา ตั้งแต่เริ่มเตรียมการจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว

วิถีชีวิตของชาวนา หมายถึง พฤติกรรมที่ชาวนากระทำหรือแสดงออกในชีวิตประจำวัน ตั้งแต่ตื่นนอนจนถึงเข้านอนในช่วงฤดูการทำนา ทั้งนี้ไม่รวมถึงพฤติกรรมการทำนา

• วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างในครั้งนี้ ขึ้นอยู่กับการกำหนดพื้นที่ศึกษาวิจัยที่เป็นตัวแทนพื้นที่ปลูกข้าวของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา และการตัดสินใจเลือกตัวแทนพันธุ์ข้าวของการวิจัยทางวิทยาศาสตร์เป็นหลัก เมื่อจังหวัดชัยนาทซึ่งเป็นตัวแทนพื้นที่ปลูกข้าวของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 เป็นพันธุ์หลัก ส่วนพันธุ์ข้าวที่เป็นตัวแทนของการวิจัย คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ105 นั้น ตามสภาพทางภูมิศาสตร์ของแหล่งปลูกมากที่สุด พบว่า จังหวัดสุรินทร์มีการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เป็นพันธุ์หลัก ดังนั้นประชากรวิจัยของการศึกษาวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์ คือชาวนาในจังหวัดชัยนาทและจังหวัดสุรินทร์

กลุ่มตัวอย่าง เป็นชาวนาจำนวน 100 คน จากจังหวัดชัยนาท 50 คน และจังหวัดสุรินทร์ 50 คน คัดเลือกโดยใช้วิธีสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จังหวัดละ 2 หมู่บ้าน ในแต่ละหมู่บ้านสุ่มตัวอย่างชาวนาหมู่บ้านละ 25 คน เพื่อเป็นกลุ่มตัวอย่างวิจัย

เกณฑ์ในการคัดเลือกหมู่บ้าน คือ

- 1) ต้องเป็นหมู่บ้านที่ปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 หรือพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เป็นพันธุ์หลัก
- 2) ต้องเป็นหมู่บ้านที่สถานีทดลองข้าวของจังหวัดนั้น ให้ความเห็นว่ารูปแบบการทำนาของชาวนาในหมู่บ้านเป็นตัวแทนของชาวนาในจังหวัด

ด้วยเกณฑ์ดังกล่าวหมู่บ้านที่เป็นตัวแทนของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ หมู่บ้านท่าชัย หมู่บ้านนางลือ จังหวัดชัยนาท และหมู่บ้านพันสี หมู่บ้านสำโรง จังหวัดสุรินทร์

• เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือในการวิจัยทางด้านสังคมศาสตร์ประกอบด้วยแบบสัมภาษณ์ชนิดกึ่งโครงสร้าง (Semi-structure) 2 ชุด คือแบบสัมภาษณ์เกี่ยวกับข้อมูลประวัติความเป็นมาของหมู่บ้าน และแบบสัมภาษณ์เกี่ยวกับความเชื่อและพิธีกรรมในการทำนา และแบบสอบถาม 1 ชุด เกี่ยวกับวิธีการทำนาและเจตคติต่อการเปลี่ยนแปลงวิถีการทำนา

เครื่องมือในการวิจัยทางด้านพฤติกรรมศาสตร์ ประกอบด้วยแบบสัมภาษณ์ชนิดกึ่งโครงสร้าง (Semi-structure) 2 ชุด คือแบบสัมภาษณ์พฤติกรรมการทำนาตั้งแต่ช่วงเตรียมการจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิต และแบบสัมภาษณ์วิถีชีวิตของชาวนาในฤดูกาลทำนาตั้งแต่ต้นนอนจนถึงเข้านอน และแบบสังเกต 2 ชุด คือแบบสังเกตพฤติกรรมการทำนาตั้งแต่ช่วงเตรียมการจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิต และแบบสังเกตวิถีชีวิตของชาวนาในฤดูกาลทำนาตั้งแต่ต้นนอนจนถึงเข้านอน

• การดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนเตรียมการ

1.1 การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยทางด้านสังคมศาสตร์ เครื่องมือวิจัยพัฒนามาจากข้อมูลทุติยภูมิที่เป็นเอกสารวิชาการและงานวิจัยซึ่งเกี่ยวข้องกับภูมิปัญญาท้องถิ่นในการทำนา ความเชื่อและเจตคติต่อการเปลี่ยนแปลงของชาวนา และวิธีการทำนา ร่วมกับข้อมูลปฐมภูมิจากการสัมภาษณ์ชาวนาจังหวัดชัยนาทและจังหวัดสุรินทร์ ในระหว่างการสำรวจพื้นที่ศึกษาวิจัยในภาคสนาม วันที่ 23-25 พฤษภาคม 2542

แบบสัมภาษณ์เกี่ยวกับข้อมูลประวัติความเป็นมาของหมู่บ้านแบ่งเป็น 2 ส่วน

- 1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้สัมภาษณ์
- 2) ข้อมูลเกี่ยวกับประวัติความเป็นมาของหมู่บ้าน ซึ่งประกอบด้วยประวัติหมู่บ้าน ลักษณะภูมิศาสตร์ อาชีพภายในหมู่บ้าน ความสัมพันธ์ในหมู่บ้าน ประชากรและคุณภาพของประชากร การคมนาคมและการเปลี่ยนแปลงอันเกิดจากการคมนาคม

แบบสัมภาษณ์เกี่ยวกับความเชื่อ และพิธีกรรมในการทำนาแบ่งเป็น 2 ส่วน

- 1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้สัมภาษณ์
- 2) ข้อมูลเกี่ยวกับความเชื่อ และพิธีกรรมในการทำนา

แบบสอบถามเกี่ยวกับวิธีการทำนาและเจตคติต่อการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำนาแบ่งเป็น 2 ส่วน

- 1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้สัมภาษณ์
- 2) ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการทำนาตามขั้นตอนต่างๆ ค่าใช้จ่ายในการทำนา การแก้ปัญหาในการทำนา และเจตคติต่อการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำนา

การวิจัยทางด้านพฤติกรรมศาสตร์ เครื่องมือวิจัยพัฒนามาจากข้อมูลทุติยภูมิที่เป็นเอกสารวิชาการและงานวิจัย ซึ่งเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการทำนาและวิถีชีวิตของชาวนา ร่วมกับข้อมูลปฐมภูมิจากการสัมภาษณ์ชาวนาจังหวัดชัยนาทและจังหวัดสุรินทร์ ในระหว่างการสำรวจพื้นที่ศึกษาวิจัยในภาคสนาม วันที่ 23-25 พฤษภาคม 2542

แบบสัมภาษณ์พฤติกรรมการทำนาของชาวนาแบ่งเป็น 2 ส่วน

- 1) ข้อกระทงคำถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไป ได้แก่ ข้อมูลส่วนตัว ข้อมูลเกี่ยวกับการทำนา และข้อมูลเกี่ยวกับเศรษฐกิจฐานะ
- 2) ข้อกระทงคำถามเกี่ยวกับพฤติกรรมการทำนา ซึ่งครอบคลุมพฤติกรรมการทำนา ตั้งแต่ช่วงเตรียมการ ช่วงดำเนินการปลูกข้าว ช่วงดูแลรักษาต้นข้าว และช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว

แบบสัมภาษณ์วิถีชีวิตของชาวนาจะมีข้อกระทงคำถาม 3 ประเด็นหลัก คือ

- 1) ชาวนากระทำการพฤติกรรมใดบ้างตั้งแต่ตื่นนอนจนถึงการออกจากบ้านเพื่อไปทำนา
- 2) ชาวนากระทำการพฤติกรรมใดบ้างเมื่อกลับมาจากการทำนาจนถึงเข้านอน
- 3) ชาวนาทำอะไรบ้างในวันที่ไม่ไปทำนา

แบบสังเกตพฤติกรรมการทำนาและวิถีชีวิตของชาวนา มีประเด็นการสังเกต ดังนี้

- 1) เวลาที่กระทำการพฤติกรรม
- 2) ลักษณะของพฤติกรรมที่แสดงออก
- 3) สภาพของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

แบบสัมภาษณ์ แบบสอบถาม และแบบสังเกตที่สร้างเสร็จแล้ว นำไปวิเคราะห์ความตรงตามเนื้อหาของข้อกระทงคำถามที่ครอบคลุมประเด็นการวิจัย จากนั้นนำแบบสัมภาษณ์และแบบสอบถามซึ่งวิเคราะห์แล้ว ไปทดลองใช้จริงกับชาวนาในจังหวัดอ่างทองจำนวน 5 คน เพื่อทดสอบความตรงของข้อกระทงคำถาม ความเข้าใจของชาวนา และประมวลประเด็นปัญหาต่างๆในระหว่างการสัมภาษณ์ แล้วจึงนำข้อสรุปที่ได้รับจากการทดลองใช้ทั้งหมด มาปรับปรุงแบบสัมภาษณ์และแบบสอบถาม ให้มีความตรงต่อประเด็นการศึกษาวิจัยที่สามารถสื่อสารและเป็นที่ยอมรับได้

1.2 การฝึกอบรมผู้รวบรวมข้อมูล

การฝึกอบรมให้ผู้รวบรวมข้อมูลสามารถสัมภาษณ์และสังเกตได้อย่างถูกต้อง มีขั้นตอนของวิธีการฝึกอบรมดังต่อไปนี้

- 1) ให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเทคนิคการสัมภาษณ์ และการสังเกตพฤติกรรม
- 2) สาธิตวิธีการสัมภาษณ์ตามแบบสัมภาษณ์และแบบสอบถาม และสาธิตวิธีการสังเกตตามแบบสังเกต รวมทั้งให้ประเด็นการสังเกตในระหว่างการสาธิต
- 3) ทดลองฝึกสัมภาษณ์และสังเกตซึ่งกันและกัน
- 4) อภิปรายถึงปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการสัมภาษณ์และการสังเกตตลอดจนแนวทางแก้ไข
- 5) ให้ผู้รวบรวมข้อมูลแต่ละคนสาธิตวิธีการสัมภาษณ์และการสังเกต โดยมีขั้นตอนและเกณฑ์การประเมินการดำเนินการถูกต้องตามหลักการ ด้วยการให้ข้อมูลป้อนกลับและอภิปรายร่วมกัน เพื่อแก้ไขจนเป็นที่ยอมรับได้ทางวิชาการ

2. ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการใน 2 ลักษณะ ได้แก่

- 1) รวบรวมข้อมูลจากเอกสารต่างๆ ได้แก่ งานวิจัย ตำรา และบทความทางวิชาการ ที่เกี่ยวข้องกับภูมิปัญญาท้องถิ่น ความเชื่อและเจตคติต่อการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำนา วิธีการทำนา พฤติกรรมการทำนา และวิถีชีวิตของชาวนา
- 2) รวบรวมข้อมูลในภาคสนาม ได้แก่ การสัมภาษณ์ชาวนาตามแบบสัมภาษณ์และแบบสอบถาม และการสังเกตชาวนาตามแบบสังเกต โดยมีวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้

● การสัมภาษณ์

ผู้รวบรวมข้อมูลสัมภาษณ์ชาวนาที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง หมู่บ้านละ 25 คน โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างเป็นระบบ ในหมู่บ้านท่าชัยและหมู่บ้านนางลือ จังหวัดชัยนาท และในหมู่บ้านพนัษีและหมู่บ้านสำโรง จังหวัดสุรินทร์ ผู้รวบรวมข้อมูล 2 คนสัมภาษณ์ชาวนา 1 คน การเก็บข้อมูลที่จังหวัดชัยนาทและจังหวัดสุรินทร์ ทำพร้อมกันในระหว่างวันที่ 21-25 สิงหาคม 2542 จากนั้นตรวจสอบความเที่ยงของการสัมภาษณ์ โดยใช้วิธีการสุ่มสัมภาษณ์ซ้ำหมู่บ้านละ 5 คน

● การสังเกต

ผู้รวบรวมข้อมูลเมื่อทำการสัมภาษณ์ชาวนาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างแล้ว จึงทำการสังเกตพฤติกรรมการทำนาและวิถีชีวิตของชาวนา โดยสังเกตแบบมีส่วนร่วม กล่าวคือ ผู้รวบรวมข้อมูลเข้าไปอาศัยอยู่ในบ้านของชาวนากลุ่มตัวอย่างหมู่บ้านละ 8 คน คนละ 3 วัน ในขณะเดียวกัน

ผู้รวบรวมข้อมูลอีกคนหนึ่งไปสุ่มสังเกตชาวนาพร้อมกับผู้รวบรวมข้อมูลหลัก โดยสุ่มวันละคน ดังนั้น ผู้รวบรวมข้อมูลนอกจากสังเกตวิถีชีวิตของชาวนาแต่ละคนติดต่อกันเป็นเวลา 3 วันแล้ว ต้องสังเกตพฤติกรรมการทำงานของชาวนาอีกครั้งละ 1 วัน จำนวน 4 ครั้ง เป็นอย่างน้อย การเก็บข้อมูลจังหวัดชัยนาทอยู่ระหว่างวันที่ 1-6 ตุลาคม 2542 ส่วนจังหวัดสุรินทร์อยู่ระหว่างวันที่ 8-13 ตุลาคม 2542 จากนั้นตรวจสอบความเที่ยงของการสังเกต ด้วยการหาความเที่ยงระหว่างผู้สังเกตหลักและผู้สังเกตร่วม

ข้อมูลการสัมภาษณ์ในหมู่บ้านที่กำหนดเป็นพื้นที่ศึกษาวิจัย (หมู่บ้านท่าชัย หมู่บ้านนางลือ หมู่บ้านพันชี และหมู่บ้านสำโรง) มีค่าความสอดคล้องหรือค่าความเที่ยงของการสัมภาษณ์ดังนี้ หมู่บ้านท่าชัยและหมู่บ้านนางลือ จังหวัดชัยนาทมีค่าเท่ากับ 0.83 ส่วนหมู่บ้านพันชีและหมู่บ้านสำโรง จังหวัดสุรินทร์มีค่าเท่ากับ 0.80 ค่าความเที่ยงของการสัมภาษณ์ทั้งหมดเมื่อรวมทั้งสองจังหวัดเท่ากับ 0.81 แสดงว่า ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เป็นข้อมูลที่ยอมรับได้

ส่วนข้อมูลการสังเกตในหมู่บ้านที่กำหนดเป็นพื้นที่ศึกษาวิจัย พบว่า ค่าความเที่ยงระหว่างผู้สังเกตทั้งสองจังหวัดมีค่าเท่ากับ 1 เท่ากัน แสดงว่าผู้สังเกตพฤติกรรมทั้งคู่สังเกตเห็นพฤติกรรมในลักษณะเดียวกันนั่นเอง และเมื่อตรวจสอบข้อมูลการสังเกตในสภาพการณ์จริงกับข้อมูลการสัมภาษณ์ก็พบว่ามีความสอดคล้องกัน

รวบรวมข้อมูลทั้งหมดจากภาคสนาม แล้ววิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) เป็นหลัก นอกจากนี้ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนา (Descriptive statistics) และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลแยกเป็นรายหมู่บ้านและรายจังหวัด เพื่อให้เห็นภาพย่อยและภาพรวม ความเหมือนและความต่างในการทำงานของชาวนาระหว่างภาคกลาง (จังหวัดชัยนาท) และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (จังหวัดสุรินทร์)

การดำเนินการศึกษาวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์



1	2
3	4
5	6

- 1 การฝึกอบรมเทคนิคการสัมภาษณ์และการสังเกตพฤติกรรม ที่จังหวัดชัยนาท
- 2 การฝึกอบรมเทคนิคการสัมภาษณ์และการสังเกตพฤติกรรม ที่จังหวัดสุรินทร์
- 3-4 การสัมภาษณ์และการสังเกตพฤติกรรมของชาวนา ที่จังหวัดชัยนาท
- 5 การสัมภาษณ์และการสังเกตพฤติกรรมของชาวนา ที่จังหวัดสุรินทร์
- 6 ตัวอย่างการแสดงออกซึ่งความเชื่อในการทำนา

2.3 การบูรณาการโครงการ

โครงการศึกษาวิจัย เรื่อง “ผลกระทบจากการจำกัดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวต่อการปลูกข้าวและผลผลิตข้าวของประเทศไทย” เป็นการแสวงหาทางเลือกในการปลูกข้าวภายใต้ข้อจำกัดลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว บนพื้นฐานการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ และประเมินผลกระทบต่อการปลูกข้าวและผลผลิตข้าวของประเทศไทย

การดำเนินการศึกษาวิจัยจึงประกอบด้วย 1) การพิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์ ที่ต้องศึกษาหาแนวทางและวิธีการปลูกข้าวภายใต้ข้อจำกัดลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว บนพื้นฐานการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ และ 2) องค์ความรู้เกี่ยวกับการทำนาของชาวนาไทย เพื่อประเมินผลกระทบของวิธีการปลูกข้าวภายใต้ข้อจำกัดลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว เมื่อมีการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ต่อการปลูกข้าวและผลผลิตข้าวของประเทศไทย

• การบูรณาการงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์

การพิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์ ที่ต้องศึกษาหาแนวทางและวิธีการปลูกข้าวภายใต้ข้อจำกัดลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว บนพื้นฐานการจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง คือ ก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องกับนาข้าว (ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนตรัสออกไซด์) การสังเคราะห์แสง พันธุ์ข้าว การจัดการน้ำ และวัชพืช

การบูรณาการงานวิจัยสหสาขาวิชาทางวิทยาศาสตร์ ด้วยการศึกษารูปแบบทดลอง (Experimental research) อยู่บนพื้นฐานการปฏิบัติงานและเก็บข้อมูลตามความรับผิดชอบของแต่ละศาสตร์ โดยยึดระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวเป็นเกณฑ์ ประกอบด้วย ระยะเมล็ดข้าวงอก (Germination) ระยะต้นกล้า (Seedling) ระยะต้นข้าวแตกกอ (Tillering) ระยะต้นข้าวสร้างรวงอ่อน (Panicle initiation) ระยะต้นข้าวตั้งท้อง (Booting) ระยะต้นข้าวออกรวง (Flowering) ระยะต้นข้าวบานดอก (Anthesis) ระยะเมล็ดข้าวน้ำนม (Milk grain) ระยะเมล็ดข้าวแป้ง (Dough grain) และระยะเมล็ดข้าวสุกแก่ (Mature grain) นอกจากนี้ กำหนดวันเริ่มต้นปลูกข้าวทั้ง 5 พันธุ์ (ชัยนาท1 ขาวดอกมะลิ105 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี สุพรรณบุรี1 และกข6) โดยยึดอายุของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เป็นเกณฑ์การตัดสินใจ เพราะเป็นข้าวพันธุ์หนักที่เก็บเกี่ยวหลังสุด มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 125 วัน

การศึกษารูปแบบทดลองระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวจนถึงระยะเก็บเกี่ยว เป็นการศึกษารูปแบบทดลองขนาด 3x6 ม. ในภาคสนาม ควบคู่ไปกับการศึกษาในกระถางขนาด 0.6x0.6x0.6 ม. ที่มุ่งเน้นการควบคุมเงื่อนไขการศึกษา เพื่อพิสูจน์ถึงความสามารถในการจำกัดหรือลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวด้วยวิธีการจัดการน้ำสองลักษณะ คือ การรักษาระดับน้ำตลอดระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว และการระบายน้ำในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว

● การบูรณาการงานวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมโลก การระบุนาข้าวเป็นแหล่งผลิตและปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศโลก และผลกระทบย้อนกลับต่อวิธีการปลูกข้าวหรือผลผลิตข้าวนั้นยังห่างไกลจากการรับรู้ของชาวนาไทยในปัจจุบัน หากประเทศไทยจำเป็นต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการทำนาของชาวนาไทยเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมให้เกิดประสิทธิผล จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการองค์ความรู้เกี่ยวกับการทำนาของชาวนาไทยในเรื่อง ภูมิปัญญาในการทำนา ความเชื่อและเจตคติต่อการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำนา วิธีการทำนา พฤติกรรมการทำนา และวิถีชีวิตของชาวนา เพื่อช่วยป้องกันการชักนำไปสู่การต่อต้านเพราะเกิดความอึดอัด คับข้องใจ เกิดความขัดแย้งกับพฤติกรรมและความเชื่อดั้งเดิมมากเกินไป นั่นหมายถึง องค์ความรู้เกี่ยวกับการทำนาเป็นฐานของสภาพปัจจุบัน นำไปสู่การประเมินผลกระทบของวิธีการปลูกข้าวภายใต้ข้อจำกัดลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวต่อการปลูกข้าวและผลผลิตข้าวของประเทศไทย ซึ่งเป็นวิธีการปลูกข้าวที่ได้พิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์ด้วยการศึกษาวิจัยแบบทดลองแล้ว

การบูรณาการงานวิจัยทางสังคมศาสตร์ (ภูมิปัญญาท้องถิ่น ความเชื่อ และเจตคติของชาวนา) และพฤติกรรมศาสตร์ (พฤติกรรมการทำนา และวิถีชีวิตของชาวนา) โดยการสัมภาษณ์และสังเกตประชากรวิจัยที่เป็นกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน ในพื้นที่ศึกษาวิจัยเดียวกัน คือ หมู่บ้านทำชัยและหมู่บ้านนางลือ จังหวัดชัยนาท และหมู่บ้านพันสีและหมู่บ้านสำโรง จังหวัดสุรินทร์ เพื่อรวบรวมข้อมูลพื้นฐานการทำนาของชาวนาในองค์รวม

● การบูรณาการเพื่อการประเมินผลกระทบ

การบูรณาการสหสาขาวิชาทางวิทยาศาสตร์ สังคมศาสตร์ และพฤติกรรมศาสตร์ ของโครงการ เพื่อประเมินผลกระทบจากการจำกัดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวต่อการปลูกข้าวและผลผลิตข้าวของประเทศไทย กลไกการทำงาน เริ่มต้นด้วยการประชุมระดมความคิดจากองค์ความรู้และประสบการณ์ของนักวิจัยหลักทุกศาสตร์ กำหนดกรอบความคิด กำหนดแนวทางการศึกษาวิจัย กำหนดระยะเวลาปฏิบัติงาน ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ ออกภาคสนามสำรวจพื้นที่จังหวัดชัยนาทและจังหวัดสุรินทร์พร้อมกันทุกศาสตร์ สัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง เช่น ชาวนา นักวิชาการเกษตร ข้อมูลจากภาคสนามเป็นพื้นฐานในการกำหนดพื้นที่ศึกษาวิจัย ออกแบบการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์ และพัฒนาเครื่องมือวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์ เพื่อดำเนินงาน และกำหนดข้อตกลงการทำงาน

ประเมินผลกระทบตามแนวทางการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยใช้เทคนิคการประชุมระดมความคิดจากประสบการณ์ตรงในการปฏิบัติงานในพื้นที่ศึกษาวิจัยร่วมกับผลการศึกษาวิจัยของทุกศาสตร์

บทที่ 3 ผลการศึกษาวิจัย

3.1 ผลของการจัดการน้ำต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวและผลผลิตข้าว

ในปัจจุบันมีข้อสรุปที่ตรงกันว่า นาข้าวในสภาพน้ำท่วมขัง เป็นแหล่งปล่อยก๊าซมีเทนอันเนื่องมาจากกิจกรรมมนุษย์ที่ใหญ่ที่สุดแหล่งหนึ่ง การจำกัดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวเป็นความพยายามที่จะจัดการปรับหรือเปลี่ยนสภาพที่เอื้อต่อการผลิตและปล่อยก๊าซมีเทน ด้วยวิธีการที่กำหนดเป็นมาตรการในระดับนานาชาติและในประเทศไทย (TEI, 1977) ดังปรากฏรายละเอียดในบทนำ (หน้า 1-5) เพื่อหยุดยั้งหรือลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว หรือมีปริมาณการปล่อยอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ว่าจะไม่สร้างปัญหาหรือส่งผลกระทบต่อเนื่อง สำหรับวิธีการที่น่าสนใจศึกษารายละเอียดเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับประเทศไทยในสภาวะที่มีปัญหาในเรื่องปริมาณและคุณภาพน้ำ คือการจัดการน้ำบนพื้นฐานการใช้ทรัพยากรน้ำในการปลูกข้าวอย่างมีประสิทธิภาพ ร่วมกับการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตข้าวอย่างเหมาะสม

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาทั้งในกระถางในเรือนเพาะชำและในแปลงทดลองในภาคสนาม โดยศึกษาถึงวิธีจำกัดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวด้วยการจัดการน้ำในสองลักษณะ คือ การรักษาระดับน้ำตลอดระยะเวลาเจริญเติบโตของต้นข้าว และการระบายน้ำในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว สำหรับการระบายน้ำนั้นดำเนินการศึกษาเฉพาะในกระถางในเรือนเพาะชำ เนื่องจาก การปลูกข้าวในประเทศไทยโดยทั่วไปจะไม่ระบายน้ำออกจากนาข้าวในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว ประกอบกับการศึกษาวิจัยครั้งนี้กระทำในห้วงฤดูการทำนาปี (น่าน้ำฝน) การรักษาระดับน้ำแล้วระบายน้ำจึงสามารถควบคุมได้เฉพาะในกระถาง

ปัจจัยหลักในการศึกษาวิจัยในกระถาง คือ ดิน 2 ชุดดิน (ชุดดินนครปฐมจากจังหวัดชัยนาท และชุดดินร้อยเอ็ดจากจังหวัดสุรินทร์) ระดับน้ำ 3 ระดับ (0 10 และ 20 ซม.) การระบายน้ำจากระดับน้ำ 20 ซม. ในช่วงเวลาหลังปักดำ 3 รูปแบบ (ช่วง 30 วัน ช่วง 60 วัน และช่วง 30กับ60 วัน หลังปักดำ) และพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ (ชัยนาท1 และขาวดอกมะลิ105) ส่วนปัจจัยหลักในการศึกษาวิจัยในภาคสนาม คือ ดิน 1 ชุดดิน (ชุดดินนครปฐม ในสถานีทดลองข้าวชัยนาท จังหวัดชัยนาท) ระดับน้ำ 2 ระดับ (0 และ 20 ซม.) วิธีการปลูกข้าว 2 วิธี (ปักดำ และหว่านน้ำตม) และพันธุ์ข้าว 5 พันธุ์ (ชัยนาท1 ขาวดอกมะลิ105 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรีสุพรรณบุรี1 และกข6) ปัจจัยที่เป็นตัวแปรร่วมเชื่อมโยงการศึกษาวิจัยในกระถางกับภาคสนามเพื่อการปรับประยุกต์ผลการศึกษาวิจัยดังปรากฏในรูปที่ 2.1-1 (หน้า 2-2)

ผลการศึกษาจากกระถางในเรือนเพาะชำบ่งบอกถึงค่าสัมพัทธ์ (Relative value) ส่วนผลการศึกษาจากภาคสนามเป็นค่าตัวเลขประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ซึ่งสามารถนำเสนอในรายการบัญชีแห่งชาติ (National inventory) ได้

3.1.1 ผลของการรักษาระดับน้ำต่อการปล่อยก๊าซมีเทนและผลผลิตข้าว

การปลูกข้าวของชาวนาไทยในปัจจุบัน จะรักษาระดับน้ำไว้ตลอดฤดูปลูกโดยขังน้ำไว้ประมาณ 20-50 ซม. แล้วระบายน้ำออกก่อนการเก็บเกี่ยวประมาณ 10 วัน ร่วมกับแนวคิดการกำหนดให้น้ำเป็นปัจจัยจำกัด (Limiting factor) ในการปลูกข้าว โดยใช้น้ำให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การขังน้ำที่ระดับ 0-20 ซม.กับการปล่อยก๊าซมีเทน จึงเป็นประเด็นหลักของการศึกษาวิจัยครั้งนี้

- **การปล่อยก๊าซมีเทนเมื่อมีการรักษาระดับน้ำ**

การรักษาระดับน้ำที่ 0 10 และ 20 ซม. ตลอดระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวที่ปลูกในดินชุดดินนครปฐมของการศึกษาวิจัยในกระถาง (รูปที่ 3.1-1) พบว่า การปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 ด้วยการขังน้ำไว้ที่ระดับ 20 ซม. มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (มก./ตร.ม.-ซม.) มากกว่าการขังน้ำไว้ที่ระดับ 10 และ 0 ซม. ตามลำดับ และเมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตมากขึ้น โดยเฉพาะระยะเมล็ดข้าวสุก (70-80 วันหลังปักดำ) ความลึกของระดับน้ำก็ยิ่งส่งผลให้การปล่อยก๊าซมีเทนเกิดความแตกต่างชัดเจน เนื่องจากว่าเมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตมากขึ้นจะมีความหนาแน่นของระบบรากและช่องอากาศ (Aerenchyma) ซึ่งเป็นเส้นทางผ่านก๊าซเพิ่มมากขึ้น (Schutz *et al.*, 1989; Sharkey *et al.*, 1991; Kimura *et al.*, 1992; Kimura and Minami, 1995) ประกอบกับสภาพขาดออกซิเจนของดินขังน้ำที่ส่งเสริมให้มีการผลิตก๊าซมีเทนมีระยะเวลายาวนานมากขึ้น ดินปลูกข้าวแบบขังน้ำจนถึงระยะเมล็ดข้าวสุกจะมีการสะสมก๊าซมีเทนอย่างต่อเนื่องแล้วส่งผ่านขึ้นมาตามลำต้นข้าวได้มากขึ้น

อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว ทั้งพันธุ์ชัยนาท1 และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 ไม่มีความต่างทางสถิติ เมื่อปลูกข้าวแบบขังน้ำไว้ที่ระดับ 0 10 และ 20 ซม. (ตารางที่ 3.1-1 และ 3.1-2) นับสำคัญทางสถิติที่เกิดขึ้นกลับเป็นผลจากสถานที่ทดลอง (สถานที่ปลูกข้าว) และปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของสถานที่ปลูกข้าวกับตำรับทดลอง (พันธุ์ข้าว ระดับน้ำ) นั้นหมายถึง ปัจจัยแวดล้อมอื่นของพื้นที่สามารถส่งผลให้เกิดความผันแปรของอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนได้ ดังนั้น การใช้ค่าตัวเลขอัตราหรือปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากพื้นที่ศึกษาวิจัยหนึ่งไปปรับประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่น ต้องพิจารณาเงื่อนไขอื่น ๆ ในการปลูกข้าวประกอบอย่างรอบคอบด้วย

การรักษาระดับน้ำที่ 0 10 และ 20 ซม. ของดินชุดดินนครปฐมนั้น ดินขังน้ำมีการปล่อยก๊าซมีเทนในลักษณะเดียวกันกับดินปลูกข้าวแบบขังน้ำในระยะต้นข้าวแตกกอจนถึงระยะเมล็ดข้าวสุกแก่ โดยที่ดินอมน้ำ (ระดับน้ำที่ 0 ซม.) ในช่วงเวลาเท่ากับระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวตั้งแต่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีแนวโน้มปล่อยก๊าซมีเทนด้วยอัตราที่มากกว่าดินปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 0 ซม. (รูปที่ 3.1-1 ตารางที่ 3.1-1 และ

3.1-2) และเมื่อระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นเป็น 10 ซม. ดินขังน้ำยังคงมีอัตราเฉลี่ยการปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าดินปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ในขณะที่ดินขังน้ำ 10 และ 20 ซม. กลับมีอัตราเฉลี่ยการปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่าดินปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ระดับน้ำเดียวกัน อย่างไรก็ตามการระบายน้ำก่อนเก็บเกี่ยวกลับมีผลทำให้ดินขังน้ำปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าดินปลูกข้าวแบบขังน้ำ โดยเฉพาะการขังน้ำที่ระดับ 20 ซม. ดินขังน้ำมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (17.69 มก./ตร.ม.-ซม.) มากกว่าดินปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 (2.17 มก./ตร.ม.-ซม.) และพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (1.21 มก./ตร.ม.-ซม.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3.1-1 และ 3.1-2)

ความแตกต่างระหว่างอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากดินปลูกข้าวแบบขังน้ำ กับดินขังน้ำ น่าจะเป็นผลสืบเนื่องมาจากการและเส้นทางการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ กล่าวคือ ก๊าซมีเทนที่ปล่อยสู่บรรยากาศผ่านทางลำต้นข้าวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในสัดส่วนที่สัมพันธ์กับปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกผลิตขึ้นในดินปลูกข้าวแบบขังน้ำ (อรรธรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2541; Watanabe *et al.*, 1994) ส่วนการเคลื่อนที่ของก๊าซมีเทนจากดินขังน้ำสู่บรรยากาศโดยผ่านการออกซิไดซ์ในช่วงต่อระหว่างดินและน้ำที่มีออกซิเจนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย เพราะการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างอากาศในดินและบรรยากาศถูกยับยั้งอย่างรุนแรง (Armstrong, 1979; Wang *et al.*, 1995) ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในดินขังน้ำ จึงยังคงถูกกักเก็บไว้ใต้ผิวดิน การระบายน้ำออกก่อนเก็บเกี่ยวจึงเป็นช่วงเวลาที่ก๊าซมีเทนซึ่งสะสมอยู่ในดินสามารถปล่อยสู่บรรยากาศโดยการแพร่ผ่านผิวดินเป็นเส้นทางหลัก (Neue, 1993) นอกจากนั้น ช่วงเวลาที่ผิวดินเริ่มแห้ง ก๊าซมีเทนบางส่วนจะถูกออกซิไดส์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Denier van der Gon *et al.*, 1996) ดังนั้น การปล่อยก๊าซมีเทนในแต่ละช่วงเวลา จึงน่าจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับความลึกของระดับน้ำ ระยะเวลาที่ยาวนานในการขังน้ำ จังหวะและช่วงเวลาการระบายน้ำ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพตามวงจรชีวิตของต้นข้าว

สรุปได้ว่า ความลึกของระดับน้ำ มีอิทธิพลอย่างมากต่อการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ ของดินที่ปลูกข้าวและดินที่ไม่ปลูกข้าว เนื่องจากสัดส่วนของการผลิตและการปล่อยก๊าซมีเทนแตกต่างกัน

● ผลผลิตข้าวเมื่อมีการรักษาระดับน้ำ

การปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 0 10 และ 20 ซม. พบว่าผลผลิตไม่มีความต่างทางสถิติ โดยระดับน้ำที่ 0 10 และ 20 ซม. ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ให้ผลผลิต 226 209 และ 202 กรัม/กระถาง และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ให้ผลผลิต 180 184 และ 155 กรัม/กระถาง ตามลำดับ (รูปที่ 3.1-1)

ผลผลิตข้าวขึ้นกับองค์ประกอบที่สำคัญ 4 องค์ประกอบ คือ จำนวนรวงต่อหน่วยพื้นที่ จำนวนเมล็ดต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนักของ 1,000 เมล็ด พบว่า ข้าวพันธุ์ชัยนาท1

มีจำนวนรวง (112 รวง/กระถาง) มากกว่าพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 (85 รวง/กระถาง) ประมาณร้อยละ 32 แต่ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 มีจำนวนเมล็ดต่อรวง (99 เมล็ด) น้อยกว่าพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 (103 เมล็ด) ประมาณร้อยละ 4 ความแตกต่างที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นผลของลักษณะประจำพันธุ์ข้าว กล่าวคือ ข้าวพันธุ์ผลผลิตสูง (พันธุ์ชัยนาท1) โดยทั่วไปจัดเป็น Panicle number type variety มักมีจำนวนรวงต่อหน่วยพื้นที่มากกว่าแต่มีขนาดของรวงหรือจำนวนเมล็ดต่อรวงน้อยกว่าข้าวพันธุ์พื้นเมือง (พันธุ์ข้าวดอกมะลิ105) ซึ่งจัดเป็น Panicle weight type variety นอกจากนี้แล้ว ข้าวพันธุ์ชัยนาท1 มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี 75 % และมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด 24.17 กรัม ส่วนพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี 77 % และมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด 24.08 กรัม จึงอาจกล่าวได้ว่าองค์ประกอบผลผลิตข้าวซึ่งเป็นข้อมูลยืนยันศักยภาพผลผลิต และเป็นลักษณะประจำพันธุ์ ที่ขึ้นอยู่กับวิธีการเขตกรรมและการจัดการ บ่งชี้ว่าไม่มีความต่างทางสถิติของผลผลิตข้าวพันธุ์ชัยนาท1 และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105

แสดงว่า การปลูกข้าวต่างพันธุ์ตามรูปทรงต้นข้าวด้วยวิธีการปลูกเดียวกันคือวิธีปักดำในดินชุดดินนครปฐมในกระถางนั้น การควบคุมน้ำไว้ตลอดฤดูปลูก 3 ระดับ คือ 0 10 และ 20 ซม. ไม่น่าจะมีผลที่ถือได้ว่าเป็นปัจจัยการลดผลผลิตข้าวที่มีนัยสำคัญ

● การปรับประยุกต์ผลการศึกษาวิจัยในกระถางกับในภาคสนาม

ปัจจัยที่เป็นตัวแปรร่วมเชื่อมโยงการศึกษาวิจัยในกระถางกับภาคสนาม คือ การปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1และข้าวดอกมะลิ105 ด้วยวิธีปักดำในดินชุดดินนครปฐม ที่ระดับน้ำ 0 และ 20 ซม. ผลการศึกษาวิจัยที่ได้รับจากการศึกษาวิจัยที่สามารถดำเนินการได้เฉพาะในกระถาง น่าจะเป็นแนวทางการปรับประยุกต์ไปสู่ความน่าจะเป็นในภาคสนามได้ในทำนองเดียวกัน

การปล่อยก๊าซมีเทนของข้าวพันธุ์ชัยนาท1 และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 เมื่อปลูกด้วยวิธีปักดำในดินชุดดินนครปฐมที่ระดับน้ำ 0 และ 20 ซม. (รูปที่ 3.1-2) พบว่า อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของต้นข้าวทั้งในกระถางและภาคสนาม ทั้งนี้ อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุดมีความสอดคล้องกันทั้งในกระถางและในภาคสนาม กล่าวคือการปลูกข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 0 ซม. มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุดในระยะต้นข้าวตั้งท้อง แต่การปลูกที่ระดับน้ำ 20 ซม. มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุดในระยะเมล็ดข้าวสุก สำหรับพันธุ์ชัยนาท1 นั้น อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุดเกิดขึ้นในระยะเมล็ดข้าวสุกเมื่อปลูกข้าวในกระถางทั้ง 2 ระดับน้ำ ในขณะที่การปลูกข้าวในภาคสนามทั้ง 2 ระดับน้ำ มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุดในระยะต้นข้าวตั้งท้อง แต่อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนในระยะต้นข้าวตั้งท้องไม่ต่างทางสถิติกับระยะเมล็ดข้าวสุก (ตารางที่ 3.1-1 3.1-2 และ 3.1-4) ทั้งนี้ อิทธิพลของต้นข้าวต่อการเป็นเส้นทางปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูก เห็นได้ไม่ชัดเจนจากการศึกษาวิจัยในกระถาง ในขณะที่การศึกษาวิจัยในภาคสนามเห็นได้อย่างชัดเจน กล่าวคือ ดินปลูกข้าวแบบขังน้ำปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าดินขังน้ำ (ตารางที่ 3.1-1 3.1-2 3.1-3 และ 3.1-4)

การระบายน้ำก่อนการเก็บเกี่ยว จากระดับน้ำ 20 ซม. มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าระดับน้ำ 0 ซม. ทั้งในกระถางและภาคสนาม (รูปที่ 3.1-1 3.1-2 และตารางที่ 3.1-1 3.1-2 3.1-4) จึงเป็นไปได้ว่า ระดับน้ำ 20 ซม.ได้รับอิทธิพลของสภาพขาดออกซิเจนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาดินถึงขั้นการหมัก (Fermentation) จนเกิดก๊าซมีเทนสะสมอยู่ในดิน แล้วปล่อยสู่บรรยากาศโดยแทรกผ่านช่องระหว่างเม็ดดิน (Micropore) ในสภาพดินแห้งภายหลังการระบายน้ำ นอกจากนี้อัตราการแพร่ก๊าซมีเทนผ่านอากาศเร็วกว่าผ่านน้ำประมาณ 4 เท่า (Denier van der gon *et al.*, 1996)

การปลูกข้าวที่ระดับน้ำ 0 และ 20 ซม. ล้วนแต่ไม่มีผลทำให้ผลผลิตข้าวพันธุ์ชัยนาท1 และข้าวดอกมะลิ105 มีความต่างทางสถิติ ซึ่งเป็นข้อสรุปที่ตรงกันทั้งการศึกษาวิจัยในกระถางและภาคสนาม (รูปที่ 3.1-2)

ผลการศึกษาวิจัยในกระถางและในภาคสนาม ทำให้กล่าวโดยสรุปได้ว่า วิธีการลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวโดยการจัดการน้ำด้วยการรักษาระดับน้ำตั้งแต่ 0 ซม. (น้ำเรี่ยผิวดินหรือดินอมน้ำ) จนถึง 20 ซม. ตลอดระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว ไม่ทำให้อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวหรือผลผลิตข้าวมีความต่างทางสถิติ ด้วยข้อสรุปของนัยสำคัญทางสถิติในเรื่องเดียวกันนี้เอง จึงมั่นใจได้ว่าผลการศึกษาวิจัยในกระถางในเรื่องเฉพาะข้อนี้ น่าจะเป็นคำตอบ และแนวทางการปรับประยุกต์ใช้กับการศึกษาวิจัยในภาคสนามได้

3.1.2 ผลของการระบายน้ำต่อการปล่อยก๊าซมีเทนและผลผลิตข้าว

การปลูกข้าวของประเทศไทย โดยทั่วไปจะไม่ระบายน้ำออกจากนาข้าวในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว การระบายน้ำจะกระทำเฉพาะช่วงเวลาก่อนเก็บเกี่ยวประมาณ 10 วัน อย่างไรก็ตาม ข้าวเป็นพืชที่ไม่ทนต่อการขาดน้ำ โดยเฉพาะในช่วงต้นข้าวตั้งท้องจนถึงระยะต้นข้าวออกรวง (Reproductive phase) การขาดน้ำในช่วงนี้มีผลทำให้รวงข้าวไม่สมบูรณ์ ผลผลิตลดลง (ดิเรก ทองอร่าม, 2524; De Datta, 1981) ประกอบกับการศึกษาวิจัยครั้งนี้อยู่ในห้วงฤดูการทำนาปี (นาหน้าฝน) การจัดการน้ำด้วยการระบายน้ำในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว จึงต้องศึกษาวิจัยเฉพาะในกระถางในเรื่องเฉพาะข้อเท่านั้น

● การปล่อยก๊าซมีเทนเมื่อมีการระบายน้ำ

การระบายน้ำในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว เมื่อรักษาระดับน้ำไว้ที่ 20 ซม. แล้วระบายออกในช่วง 30 วัน ช่วง 60 วัน และช่วง 30กับ60 วัน หลังปักดำ (รูปที่ 3.1-3) พบว่าการระบายน้ำทั้ง 3 รูปแบบ มีผลทำให้อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนลดลงในภาพรวมตลอดระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว ทั้งนี้ในขณะที่มีการระบายน้ำ อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มสูงมาก

ขึ้นในระยะแรก แล้วค่อยๆ ลดลงเมื่อสิ้นสุดการระบายน้ำ และยังคงผลต่อเนื่องให้อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนลดลงในระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวในระยะต่อมาอีกด้วย เฉพาะช่วงระยะเวลาที่มีการระบายน้ำออก 7 วัน พบว่า อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนอยู่ในลักษณะเพิ่มขึ้นแล้วลดลงอย่างรวดเร็ว โดยวันที่ 4 ของการระบายน้ำมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุด จากนั้นจึงลดลง การไหลทะลักของก๊าซมีเทนเมื่อมีการระบายน้ำเกิดขึ้นกับดินขังน้ำทั้งที่ปลูกข้าวและไม่ได้ปลูกข้าว แสดงว่า ในขณะที่มีการระบายน้ำ ลำต้นข้าวมิได้มีบทบาทเป็นทางผ่านหลักของก๊าซมีเทนจากดินสู่อากาศ สำหรับการปล่อยก๊าซมีเทนที่ลดลงหลังจากการระบายน้ำนั้น อาจเป็นผลจากดินได้รับก๊าซออกซิเจนจากอากาศมากขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาดินจนถึงขั้นการหมัก (Fermentation) แล้วเกิดก๊าซมีเทนจึงน้อยลง ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของ Yagi *et al.* (1996) และ Denier van der gon *et al.* (1996)

เมื่อมีการระบายน้ำในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนของพันธุ์ชัยนาท1 มีแนวโน้มลดลงชัดเจนมากกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 อย่างไรก็ตามการลดลงของอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเมื่อมีการระบายน้ำทั้ง 3 รูปแบบ (ช่วง 30 วัน ช่วง 60 วัน และช่วง 30กับ60 วัน หลังปักดำ) ก็ไม่มีความต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกข้าวแบบขังน้ำไว้ที่ระดับ 20 ซม. (ตารางที่ 3.1-5)

● ผลผลิตข้าวเมื่อมีการระบายน้ำ

การระบายน้ำในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว เมื่อรักษาระดับน้ำไว้ที่ 20 ซม. แล้วระบายออกในช่วง 30 วัน ช่วง 60 วัน และช่วง 30กับ60 วัน หลังปักดำ พบว่าการระบายน้ำทั้ง 3 รูปแบบ ไม่ส่งผลให้เกิดความต่างทางสถิติของผลผลิตข้าวพันธุ์ชัยนาท1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกข้าวแบบขังน้ำตลอดการเจริญเติบโตของต้นข้าว (รูปที่ 3.1-3) กล่าวคือ ผลผลิตข้าวพันธุ์ชัยนาท1 จะอยู่ในช่วง 184-202 กรัม/กระถาง และ 149-155 กรัม/กระถาง สำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 นอกจากนี้ การระบายน้ำ 3 รูปแบบ (ช่วง 30 วัน ช่วง 60 วัน และช่วง 30กับ60 วัน หลังปักดำ) ไม่ทำให้เกิดความต่างทางสถิติขององค์ประกอบผลผลิตทั้งในพันธุ์ชัยนาท1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ปลูกในดินชุดดินนครปฐม

นั่นหมายถึง การระบายน้ำในช่วงระยะเวลาที่ต้นข้าวกำลังเจริญเติบโต ไม่น่าจะเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการลดลงของผลผลิตข้าว อีกทั้งไม่มีผลต่อการลดลงของการปล่อยก๊าซมีเทนอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกข้าวแบบขังน้ำที่ระดับ 20 ซม.

3.1.3 การปล่อยก๊าซมีเทนและผลผลิตข้าวตามชุดดิน

ดินปลูกข้าวในประเทศไทยมีลักษณะสมบัติของดินแตกต่างกัน กรมพัฒนาที่ดินได้จำแนกที่ดินตามความเหมาะสมในการปลูกข้าว (Soil suitability groups for paddy) บนพื้นฐาน

ของปัจจัยจำกัดเกี่ยวกับลักษณะสมบัติดิน การขาดแคลนน้ำ น้ำท่วม สภาพความสูงต่ำของพื้นที่ ปริมาณเกลือหรือความเป็นด่างของดิน และความเป็นกรดจัดของดิน (เนลียว แจ้งไพโร, 2533) ซึ่งชุดดิน (Soil series) สามารถนำมาพิจารณาวินิจฉัยคุณภาพของดินตามความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ได้ โดยชุดดินบ่งชี้ถึงความเหมือนกันของลักษณะทางสัณฐานของดิน (Soil morphology) ได้แก่ ชนิดและการเรียงตัวของชั้นดิน สีของดิน เนื้อดิน โครงสร้างของดิน ปฏิกริยาของดิน ลักษณะสมบัติทางเคมี รวมทั้งวัตถุต้นกำเนิดดิน (เนลียว แจ้งไพโร, 2530) สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเฉพาะในกระถาง โดยเลือกชุดดินให้สอดคล้องกับพันธุ์ข้าวและพื้นที่ปลูกข้าว คือ ชุดดินนครปฐมจากจังหวัดชัยนาท และชุดดินร้อยเอ็ดจากจังหวัดสุรินทร์

● การปล่อยก๊าซมีเทนตามชุดดิน

ดินชุดดินนครปฐมมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุดในระยะเมล็ดข้าวงอก ในขณะที่ดินชุดดินร้อยเอ็ดมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุดในระยะต้นข้าวตั้งท้อง เมื่อปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันของการควบคุมระดับน้ำที่ 0 10 และ 20 ซม. (รูปที่ 3.1-4) อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ปลูกในดินชุดดินนครปฐมและชุดดินร้อยเอ็ดนั้น ไม่มีความต่างทางสถิติ (ตารางที่ 3.1-2 และ 3.1-3) นับสำคัญยิ่งทางสถิติเกิดขึ้นจากสถานที่ตั้งการทดลอง (สถานที่ปลูกข้าว) และปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของสถานที่ปลูกข้าวกับตำรับทดลอง (พันธุ์ข้าว ระดับน้ำ)

สภาพดินที่เหมาะสมสำหรับการเกิดและปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ ประกอบด้วยสภาวะความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสม มีคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่เชื่อมต่อกับเมทาโนเจนิกแบคทีเรียในการผลิตก๊าซมีเทน และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นคาร์บอนที่ง่ายต่อการย่อยสลายอย่างเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ดิน (Yagi and Minami, 1990) จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ดินชุดดินนครปฐมที่มีความอุดมสมบูรณ์และอัตราการย่อยสลายสูงกว่าดินชุดดินร้อยเอ็ด (ตารางที่ 3.1-7) มีการผลิตและการปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าได้ เนื่องจากสภาพรีดักชันของดินตามเงื่อนไขของการควบคุมระดับน้ำเดียวกัน ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์กว่าด้วยปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ชุดดินนครปฐม) น่าจะมีกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินเกิดขึ้นได้มากกว่าดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (ชุดดินร้อยเอ็ด) เพราะอินทรีย์วัตถุทำหน้าที่ให้ประจุแก่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในดินและเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งมีผลต่อความต้องการออกซิเจนของกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน (Kludze and Delaune, 1995) ดังนั้น ความอุดมสมบูรณ์ของดินจึงน่าจะมีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนในดินและเวลาของการเกิดก๊าซมีเทนขึ้นแทนที่ (Turnover time)

ดินชุดดินนครปฐม เมื่อขังน้ำที่ระดับ 0 10 และ 20 ซม. ยาวนานเท่ากับช่วงระยะเวลาการปลูกข้าวหนึ่งฤดูปลูก มีการปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าดินชุดดินร้อยเอ็ด (รูปที่ 3.1-4 และ ตารางที่ 3.1-2 และ 3.1-3) และเมื่อระบายน้ำออกจากดินทั้ง 2 ชุดดิน พบว่า การปล่อยก๊าซ

มีเทนหลังระบายน้ำลดลงเมื่อเทียบกับก่อนระบายน้ำ โดยที่ดินชุดดินร้อยเอ็ดลดการปล่อยก๊าซมีเทนลงมากถึง 3 เท่าเมื่อมีการระบายน้ำช่วง 30กับ60 วันหลังปักดำ ในขณะที่ ดินชุดดินนครปฐมลดการปล่อยก๊าซมีเทนลงเพียง 1 เท่า แต่อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนที่ลดลงภายหลังการระบายน้ำก็ไม่ต่างทางสถิติกับก่อนการระบายน้ำ (ตารางที่ 3.1-5 และ 3.1-6) สอดคล้องกับ Sigren *et al.* (1997) ที่พบว่า หลังจากที่เราระบายน้ำและปล่อยน้ำกลับเข้าสู่แปลงนาแล้ว อัตราการผลิตและการปล่อยก๊าซมีเทนลดลงโดยประมาณ 60-65 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าดังกล่าวก่อนระบายน้ำ และเมื่อเติมน้ำกลับเข้าสู่แปลงนาได้หนึ่งสัปดาห์อัตราการผลิตและการปล่อยก๊าซมีเทนก็ไม่มี ความแตกต่างกับเมื่อก่อนระบายน้ำ

อย่างไรก็ตาม อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนที่ลดลงหลังจากการระบายน้ำนั้น ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเป็นผลเนื่องจากการลดการผลิตก๊าซมีเทนในดินหรือการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาออกซิเดชันในดิน ทั้งนี้ข้อมูลการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาได้สรุปไว้เพียงว่า อากาศในช่องระหว่างเม็ดดินจะช่วยให้เกิดการออกซิไดซ์ขึ้นในดิน มีผลให้การปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงต่อมาน้อยลง

● ผลผลิตข้าวตามชุดดิน

ผลผลิตข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 จากการปลูกทั้งในดินชุดดินนครปฐมและชุดดินร้อยเอ็ด ไม่พบความต่างทางสถิติ (รูปที่ 3.1-4) และเช่นกันที่พันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ปลูกในดินชุดเดียวกันด้วยเงื่อนไขการจัดการน้ำต่างกันก็ไม่พบว่ามี ความต่างทางสถิติของปริมาณผลผลิต

กล่าวโดยสรุปได้ว่า ลักษณะสมบัติของดินที่แตกต่างกันตามชุดดิน ไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติในการปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดระยะเวลาเจริญเติบโตของต้นข้าวและผลผลิตรวมทั้งองค์ประกอบผลผลิตข้าว เมื่อมีการจัดการน้ำด้วยการรักษาระดับน้ำที่ 0 10 และ 20 ซม. และระบายน้ำช่วง 30 วัน ช่วง 60 วัน และช่วง 30กับ60 วัน หลังปักดำ

3.1.4 ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนและผลผลิตข้าวตามรูปทรงต้นข้าว และวิธีการปลูกข้าว

พันธุ์ข้าวในประเทศไทยมีประมาณ 1,000 พันธุ์ และ Neue *et al.*, (1997) ได้นำเสนอให้มีการปรับปรุงและคัดเลือกพันธุ์ข้าวเพื่อให้มีการปล่อยก๊าซมีเทนน้อยโดยผลผลิตไม่ลดลง แต่พันธุ์ข้าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความนิยมและเทคโนโลยี ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงยึดรูปทรงต้นข้าวซึ่งมีความคงที่เป็นหลักในการพิจารณาเลือกพันธุ์ข้าว และกำหนดวันปลูกข้าวที่ส่งผลให้พันธุ์ข้าวมีอายุการเจริญเติบโตนับจากปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว ประมาณ 120 วัน แม้ว่ารูปทรงต้นข้าวและอายุการเจริญเติบโตของพันธุ์ข้าวแตกต่างกันตามความไวต่อช่วงแสง

วิธีการปลูกข้าวที่นิยมในประเทศไทย คือ วิธีปักดำและหว่านน้ำตม การรบกวนดินของทั้งสองวิธีการปลูกแตกต่างกัน การรบกวนดินมากมีผลทำให้การปล่อยก๊าซมีเทนมีมากกว่า

(Neue, 1993; Peng *et al.*, 1995) ดังนั้นการศึกษาวิจัยถึงปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนและผลผลิตข้าวในครั้งนี้ จึงมุ่งเน้นถึงอิทธิพลของพันธุ์ข้าวตามรูปทรงต้นข้าว ที่มีการปลูกโดยวิธีปักดำและหว่านน้ำตม เมื่อน้ำขังในแปลงนาที่ระดับ 0 และ 20 ซม.

● การปล่อยก๊าซมีเทนตามรูปทรงต้นข้าว

ความแตกต่างของรูปทรงต้นข้าว (Plant type) ของพันธุ์ข้าว ต่ออัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวเมื่อปลูกข้าวด้วยวิธีปักดำ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างรูปทรงต้นข้าวแบบพันธุ์พื้นเมือง (Traditional plant type) คือพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 และรูปทรงต้นข้าวแบบพันธุ์ปรับปรุง (Improved plant type) คือพันธุ์ชัยนาท1 (ตารางที่ 3.1-8 และ 3.1-9) สำหรับวิธีหว่านน้ำตมนั้น ยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนนัก (รูปที่ 3.1-5) แม้ว่าจะปรากฏความแตกต่างก็ตาม กล่าวคือ ข้าวพันธุ์ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรีมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าวสูงสุด และแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์ข้าวที่มีรูปทรงต้นข้าวแบบพันธุ์พื้นเมือง คือพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 รวมทั้งกับพันธุ์ข้าวที่มีรูปทรงต้นข้าวแบบพันธุ์ปรับปรุงเดียวกัน คือ พันธุ์ชัยนาท1 สุพรรณบุรี1 และกข6 ทั้ง 2 ระดับน้ำ (ตารางที่ 3.1-8 และ 3.1-9) ความแตกต่างของอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นนี้ น่าจะเป็นผลของความแตกต่างตามมวลชีวภาพ (Biomass) ของข้าวแต่ละพันธุ์มากกว่ารูปทรงต้นข้าว (Plant type) โดยตรง เพราะปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนผันแปรตามมวลชีวภาพของต้นข้าว (Chanton *et al.*, 1996; Chanton, 1997) ส่วนรูปทรงต้นข้าวบ่งบอกถึงลักษณะทางสรีรวิทยาของต้นข้าว ที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนต้นต่อพื้นที่ และความสูงของข้าว (บริบูรณ์ สมฤทธิ์, 2537) ซึ่งเกี่ยวข้องกับจำนวนและขนาดของช่องอากาศ (Aerenchyma) ในแต่ละส่วนของต้นข้าวที่มีผลตรงต่อการทำหน้าที่ลำเลียงก๊าซของต้นข้าว (สถาบันวิจัยข้าว, 2543; Schutz *et al.*, 1989; Sharkey *et al.*, 1991; Neue, 1993; Neue *et al.*, 1997)

ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว เป็นการคำนวณจากอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนร่วมกับระยะเวลาที่ต้นข้าวเจริญเติบโตตลอดฤดูปลูก โดยจำนวนวันในหนึ่งฤดูปลูกของข้าวแต่ละพันธุ์ซึ่งนำมาใช้ในการคำนวณขึ้นตรงกับระยะเวลาที่น้ำขังในแปลงนา

ตลอดฤดูปลูกของพันธุ์ข้าวที่มีรูปทรงต้นข้าวต่างกัน เมื่อปลูกด้วยวิธีปักดำและวิธีหว่านน้ำตม (ตารางที่ 3.1-10) พบว่า ที่ระดับน้ำ 0 ซม.ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนของดินไม่ปลูกข้าวไม่ต่างทางสถิติกับการปลูกข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ยกเว้นพันธุ์ข้าวที่มีรูปทรงต้นข้าวแบบพันธุ์ปรับปรุง (พันธุ์ชัยนาท1) ซึ่งปลูกด้วยวิธีปักดำ แต่การขังน้ำไว้ในแปลงนาเพิ่มขึ้นเป็น 20 ซม. กลับมีผลทำให้การปลูกข้าวมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าการไม่ปลูกข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการปลูกข้าวพันธุ์ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี ที่ระดับน้ำ 20 ซม. แม้ว่าจะมีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ แต่มีจำนวนวันในหนึ่งฤดูปลูกของพันธุ์ข้าวสั้นกว่า ดังนั้น เมื่อประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูกจึงไม่พบความแตกต่างทางสถิติของ

การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในระหว่างพันธุ์ข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่มีรูปทรงต้นข้าวแบบพันธุ์พื้นเมือง คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ105 และพันธุ์ข้าวที่มีรูปทรงต้นข้าวแบบพันธุ์ปรับปรุงเดียวกัน คือ พันธุ์ชัยนาท1 สุพรรณบุรี1 และกข6

- การปล่อยก๊าซมีเทนตามวิธีการปลูกข้าว

ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของต้นข้าว เมื่อปลูกด้วยวิธีปักดำไม่มีความต่างทางสถิติระหว่างพันธุ์ข้าวและระดับน้ำ ส่วนการปลูกด้วยวิธีหว่านน้ำตมมีเฉพาะพันธุ์สุพรรณบุรี1 เท่านั้น ที่การเพิ่มระดับความลึกของน้ำในแปลงนาจาก 0 ซม. เป็น 20 ซม. ส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ เพิ่มจาก 15.17 ก./ตร.ม. เป็น 24.55 ก./ตร.ม. (ตารางที่ 3.1-10)

ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของต้นข้าว ที่ปลูกด้วยวิธีปักดำมีดังนี้ ที่ระดับน้ำ 0 ซม. พันธุ์ชัยนาท1 (26.44 ก./ตร.ม.) ปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (18.84 ก./ตร.ม.) ที่ระดับน้ำ 20 ซม. พันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (25.91 ก./ตร.ม.) กลับปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าพันธุ์ชัยนาท1 (20.68 ก./ตร.ม.) สำหรับการปลูกด้วยวิธีหว่านน้ำตมข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีลำดับการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของต้นข้าวจากมากไปหาน้อย ดังนี้ การปลูกข้าวที่ระดับน้ำ 0 ซม. ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี (24.34 ก./ตร.ม.) ขาวดอกมะลิ105 (23.77 ก./ตร.ม.) ชัยนาท1 (19.31 ก./ตร.ม.) กข6 (18.80 ก./ตร.ม.) และสุพรรณบุรี1 (15.17 ก./ตร.ม.) ส่วนการปลูกข้าวที่ระดับน้ำ 20 ซม. ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี (28.03 ก./ตร.ม.) กข6 (26.07 ก./ตร.ม.) สุพรรณบุรี1 (24.55 ก./ตร.ม.) ขาวดอกมะลิ105 (22.49 ก./ตร.ม.) และชัยนาท1 (19.45 ก./ตร.ม.) (ตารางที่ 3.1-10)

พันธุ์ข้าวที่นำมาศึกษาวิจัยครั้งนี้ เมื่อปลูกข้าวด้วยวิธีหว่านน้ำตม ในระดับน้ำเดียวกัน ยังคงมีความสูงต้นข้าวที่ลดหลั่นกันไปตามลักษณะประจำพันธุ์ กล่าวคือ ข้าวพันธุ์กข6 มีความสูงมากที่สุด รองลงมา คือ ขาวดอกมะลิ105 สุพรรณบุรี1 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี และชัยนาท1 ตามลำดับ ซึ่งเป็นความสูงดังที่เอกสงวน ชูวิสิฐกุล (2542) ได้รายงานไว้ว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี และสุพรรณบุรี1 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่มีรูปทรงต้นข้าวแบบพันธุ์ปรับปรุงที่ให้ผลผลิตสูง (High yielding variety) มีความสูงในระยะเก็บเกี่ยวประมาณ 120 126 และ 125 ซม. ตามลำดับ ส่วน กข6 ซึ่งเป็นข้าวเหนียวรูปทรงต้นข้าวแบบพันธุ์ปรับปรุงมีความสูงประมาณ 150 ซม. (สถาบันวิจัยข้าว, 2533) สำหรับขาวดอกมะลิ105 ซึ่งมีรูปทรงต้นข้าวแบบพันธุ์พื้นเมือง มีความสูงประมาณ 140 ซม.

โดยทั่วไปต้นข้าวที่ปลูกในแปลงนาลึกจะมีความสูงมากกว่าต้นข้าวที่ปลูกในแปลงน้ำตื้น (กัลยา คุปต์กาญจนากุล, 2542; Matsushima, 1962; Sugimoto, 1971; De Datta and Abilay, 1975; Kupkanchanakul *et al.*, 1977; Kupkanchanakul and Vergara, 1980;

Kupkanchanakul, 1981; Kupkanchanakul and Kupkanchanakul, 1994) เพราะต้นข้าวที่ปลูกในสภาพน้ำลึกมีการยืดต้นมากกว่าต้นข้าวที่ปลูกในสภาพน้ำตื้น อย่างไรก็ตามในการศึกษาวิจัยครั้งนี้แม้ว่าต้นข้าวเกือบทุกพันธุ์ที่ปลูกในแปลงนาน้ำลึก 20 ซม. มีความสูงมากกว่าต้นข้าวที่ปลูกในแปลงนาระดับน้ำ 0 ซม. แต่ความต่างทางสถิติปรากฏเฉพาะพันธุ์ชัยนาท1 ด้วยความสูงที่แตกต่างกัน 11 ซม. เมื่อความลึกของระดับน้ำต่างกันประมาณ 20 ซม.

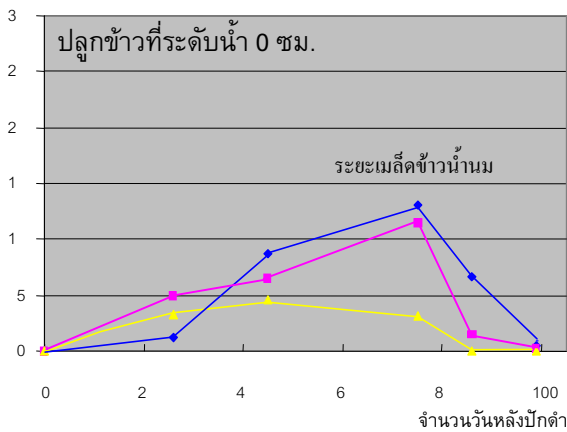
ส่วนความสามารถในการแตกกอของต้นข้าวนั้น ตรงกันข้ามกับความสูง โดยจำนวนต้นต่อพื้นที่ของต้นข้าวที่ปลูกในแปลงนาระดับน้ำลึกมักจะมีค่าน้อยกว่าต้นข้าวที่ปลูกในแปลงนาระดับน้ำตื้น (กัลยา คุปต์กาญจนากุล, 2542; De Datta and Abilay, 1975; Kupkanchanakul *et al.*, 1977; Kupkanchanakul and Vergara, 1980; Kupkanchanakul, 1981; Kupkanchanakul and Kupkanchanakul, 1994) เพราะน้ำลึกทำให้การแตกกอของต้นข้าวชะงัก และหน่อข้าวที่เกิดขึ้นใหม่ไม่สามารถพัฒนาการได้สมบูรณ์และตายในสภาพน้ำลึก ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แม้จะพอเห็นเป็นแนวโน้มได้ว่าข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีความสามารถในการแตกกอแตกต่างกันแต่ค่าดังกล่าวไม่มีความต่างทางสถิติ ยกเว้นพันธุ์ชัยนาท1 ซึ่งมีจำนวนต้นต่อตารางเมตรในแปลงนาระดับน้ำลึก 20 ซม. (400 ต้น/ตร.ม.) น้อยกว่าในแปลงนาระดับน้ำ 0 ซม. (460 ต้น/ตร.ม.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

● ผลผลิตข้าวตามรูปทรงต้นข้าวและวิธีการปลูกข้าว

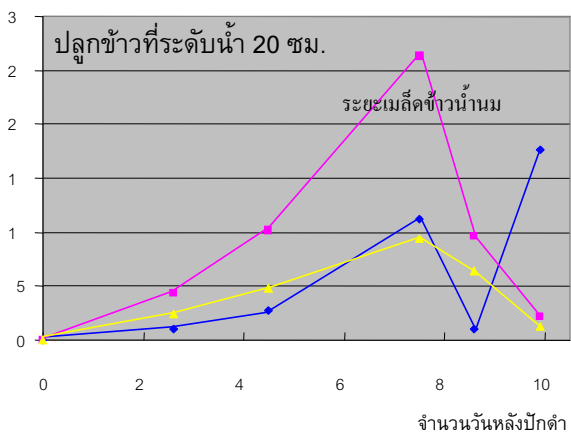
ข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีศักยภาพในการให้ผลผลิตแตกต่างกัน เป็นผลของลักษณะประจำพันธุ์ เอกสงวน ชูวิสิฐกุล (2542) รายงานผลผลิตของข้าวพันธุ์ ชัยนาท1 ขาวดอกมะลิ105 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี สุพรรณบุรี1 และกข6 มีประมาณ 725-754 515 582-673 806 และ 670 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่า ข้าวทั้ง 5 พันธุ์ เมื่อปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตมในแปลงที่รักษาระดับน้ำ 0 ซม. พันธุ์สุพรรณบุรี1 ให้ผลผลิตสูงที่สุด 485 กิโลกรัม/ไร่ รองลงมา คือ กข6 ขาวดอกมะลิ105 ชัยนาท1 และข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี ซึ่งให้ผลผลิต 403 380 349 และ 329 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ส่วนแปลงนาซึ่งรักษาระดับน้ำ 20 ซม. พันธุ์สุพรรณบุรี1 ให้ผลผลิตสูงที่สุดเช่นกันคือ 503 กิโลกรัม/ไร่ รองลงมา คือ ชัยนาท1 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี กข6 และขาวดอกมะลิ105 ซึ่งให้ผลผลิต 431 380 318 และ 282 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ (รูปที่ 3.1-5) นั้นหมายถึง ระดับน้ำในแปลงนาที่ลึกมากขึ้นส่งเสริมให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี และพันธุ์กข6 เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นนี้ยังไม่มี ความต่างทางสถิติ

กล่าวได้ว่า ระดับน้ำในแปลงนาตั้งแต่ระดับเรี่ยผิวดิน (0 ซม.) จนถึงระดับน้ำลึก 20 ซม. วิธีการปลูกข้าว (ปักดำหรือหว่านน้ำตม) และรูปทรงต้นข้าว (แบบพันธุ์พื้นเมือง หรือแบบพันธุ์ปรับปรุง) ไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูก ส่วนความแตกต่างของผลผลิตระหว่างพันธุ์ (ชัยนาท1 ขาวดอกมะลิ105 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี สุพรรณบุรี1 และกข6) เป็นผลมาจากลักษณะประจำพันธุ์นั้นๆ

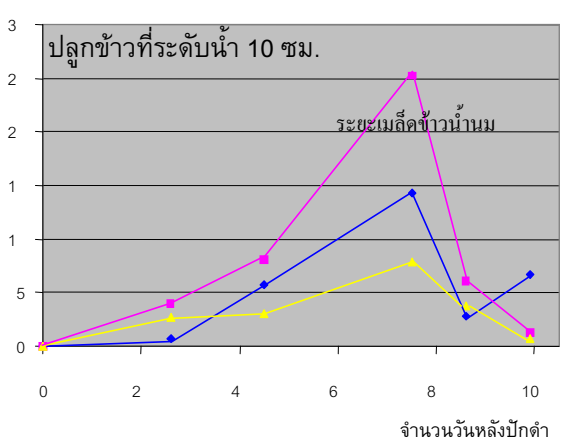
อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (มก./ตร.ม.-ชม.)



อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (มก./ตร.ม.-ชม.)



อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (มก./ตร.ม.-ชม.)



- ◆— ไม่ปลูกข้าว (ชุดควบคุม)
- ชัณนาท1
- ▲— ข้าวดอกมะลิ105

ตำรับ	ผลผลิตข้าว (กรัม/กระถาง)
ชัณนาท1 ที่ระดับน้ำ 0 ซม.	226
ชัณนาท1 ที่ระดับน้ำ 10 ซม.	209
ชัณนาท1 ที่ระดับน้ำ 20 ซม.	202
ข้าวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 0 ซม.	180
ข้าวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 10 ซม.	184
ข้าวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 20 ซม.	155
ความแตกต่างตามตำรับทดลอง	$P > 0.05$
ความแตกต่างตามสถานที่ปลูกข้าว	$P > 0.05$
ความแตกต่างตามตำรับทดลองและสถานที่ปลูกข้าว	$P > 0.05$

รูปที่ 3.1-1 : อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนและผลผลิตข้าวพันธุ์ชัณนาท1 และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 ในดินชุดดินนครปฐม ที่ระดับน้ำ 0 10 และ 20 ซม.

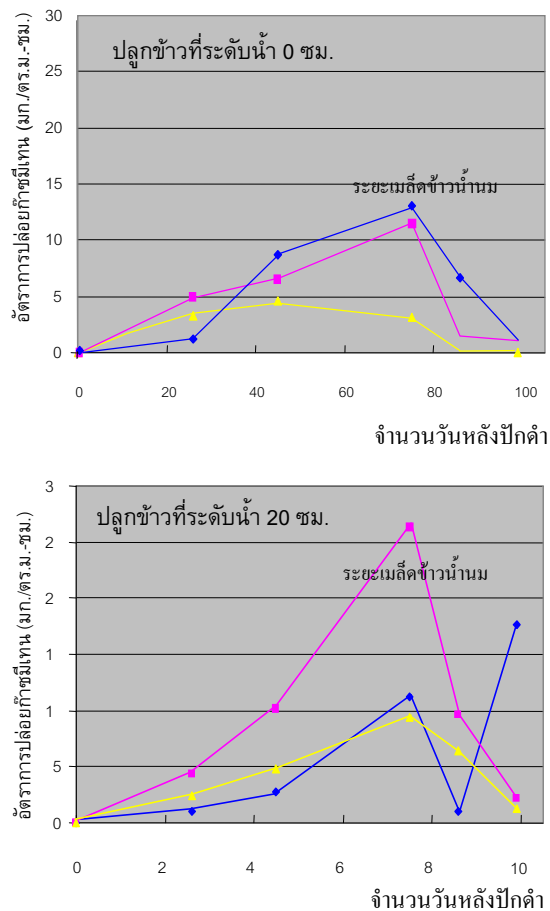
ตัวรับทดลอง

◆ ไม่ปลูกข้าว (ชุดควบคุม)

■ ชัยนาท 1

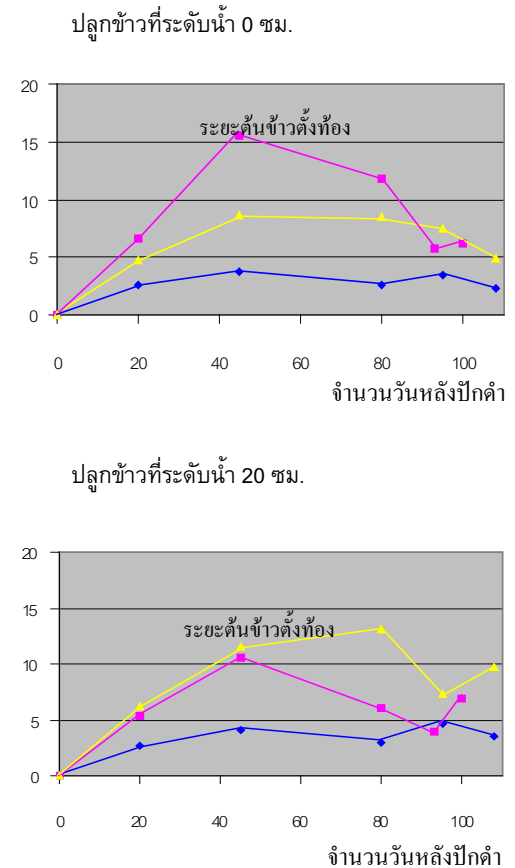
▲ ขาวดอกมะลิ 105

การศึกษาวิจัยในกระถางในเรือนเพาะชำ



ตัวรับทดลอง	ผลผลิตข้าว (กรัม/กระถาง)
ชัยนาท 1 ที่ระดับน้ำ 0 ซม.	226
ชัยนาท 1 ที่ระดับน้ำ 20 ซม.	202
ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับน้ำ 0 ซม.	180
ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับน้ำ 20 ซม.	155
ความแตกต่างตามตัวรับทดลอง	P > 0.05

การศึกษาวิจัยในภาคสนาม

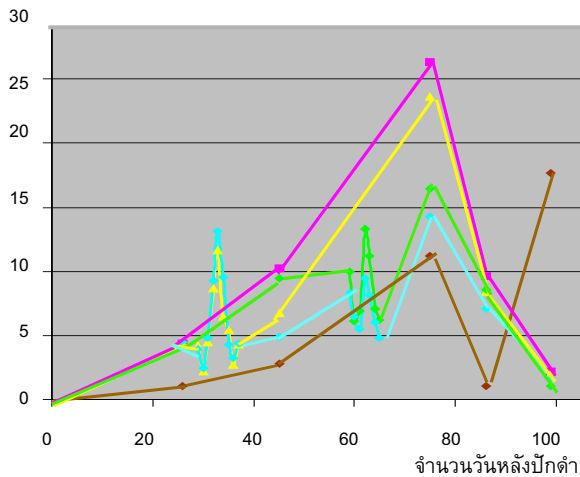


ตัวรับทดลอง	ผลผลิตข้าว (กิโลกรัม/ไร่)
ชัยนาท 1 ที่ระดับน้ำ 0 ซม.	1353
ชัยนาท 1 ที่ระดับน้ำ 20 ซม.	1523
ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับน้ำ 0 ซม.	1453
ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับน้ำ 20 ซม.	1211
ความแตกต่างตามตัวรับทดลอง	P > 0.05

รูปที่ 3.1-2 : อัตราการผลิตก๊าซมีเทนและผลผลิตข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ปลูกด้วยวิธีปักดำ

พันธุ์ชัยนาท 1

อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (มก./ตร.ม.-ชม.)

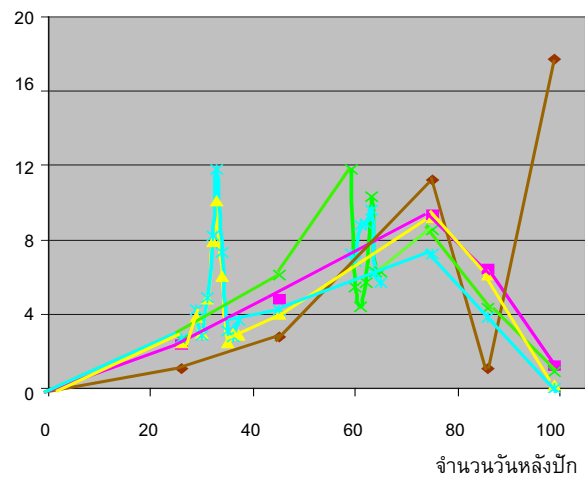


- ไม่ปลูกข้าว (ชุดควบคุม)
- ชัยนาท1
- ▲— ชัยนาท1 ระบายน้ำ 30 วัน หลังปักดำ
- ×— ชัยนาท1 ระบายน้ำ 60 วัน หลังปักดำ
- *— ชัยนาท1 ระบายน้ำ 30,60 วัน หลังปักดำ

ตำรับทดลอง	ผลผลิตข้าว (กรัม/กระถาง)
ชัยนาท1 ที่ระดับน้ำ 20 ซม.	202
ชัยนาท1 ที่ระบายน้ำ 30 วัน หลังปักดำ	205
ชัยนาท1 ที่ระบายน้ำ 60 วัน หลังปักดำ	196
ชัยนาท1 ที่ระบายน้ำ 30,60 วัน หลังปักดำ	184
ความแตกต่างตามตำรับทดลอง	$P > 0.05$
ความแตกต่างตามสถานที่ปลูกข้าว	$P > 0.05$
ความแตกต่างตามตำรับทดลองและสถานที่ปลูกข้าว	$P > 0.05$

พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (มก./ตร.ม.-ชม.)

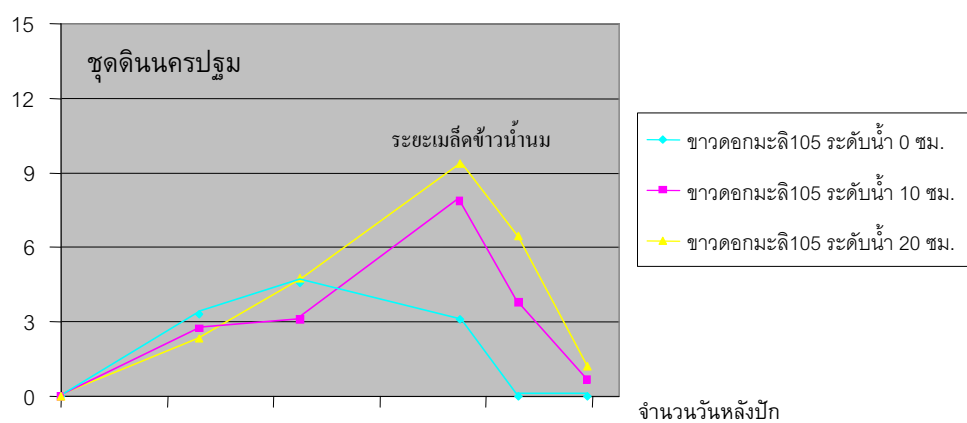


- ไม่ปลูกข้าว (ชุดควบคุม)
- ขาวดอกมะลิ105 ระดับน้ำ 20 ซม.
- ▲— ขาวดอกมะลิ105 ระบายน้ำ 30 วัน หลังปักดำ
- ×— ขาวดอกมะลิ105 ระบายน้ำ 60 วัน หลังปักดำ
- *— ขาวดอกมะลิ105 ระบายน้ำ 30,60 วัน หลังปักดำ

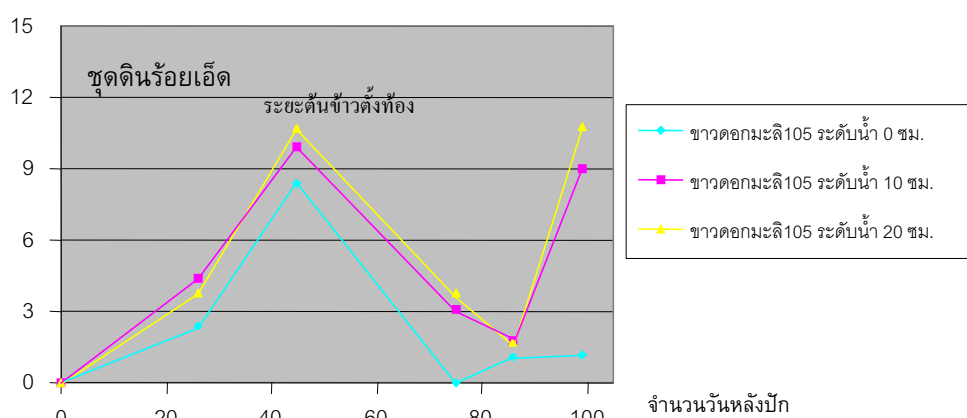
ตำรับทดลอง	ผลผลิตข้าว (กรัม/กระถาง)
ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 20 ซม.	155
ขาวดอกมะลิ105 ที่ระบายน้ำ 30 วัน หลังปักดำ	156
ขาวดอกมะลิ105 ที่ระบายน้ำ 60 วัน หลังปักดำ	142
ขาวดอกมะลิ105 ที่ระบายน้ำ 30,60 วัน หลังปักดำ	149
ความแตกต่างตามตำรับทดลอง	$P > 0.05$
ความแตกต่างตามสถานที่ปลูกข้าว	$P > 0.05$
ความแตกต่างตามตำรับทดลองและสถานที่ปลูกข้าว	$P > 0.05$

รูปที่ 3.1-3 : อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนและผลผลิตข้าวพันธุ์ชัยนาท1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ในดินชุดดินนครปฐมที่มีการระบายน้ำจากระดับน้ำ 20 ซม. ในระหว่างการเจริญเติบโตของต้นข้าว

อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (มก./ตร.ม.-ชม.)

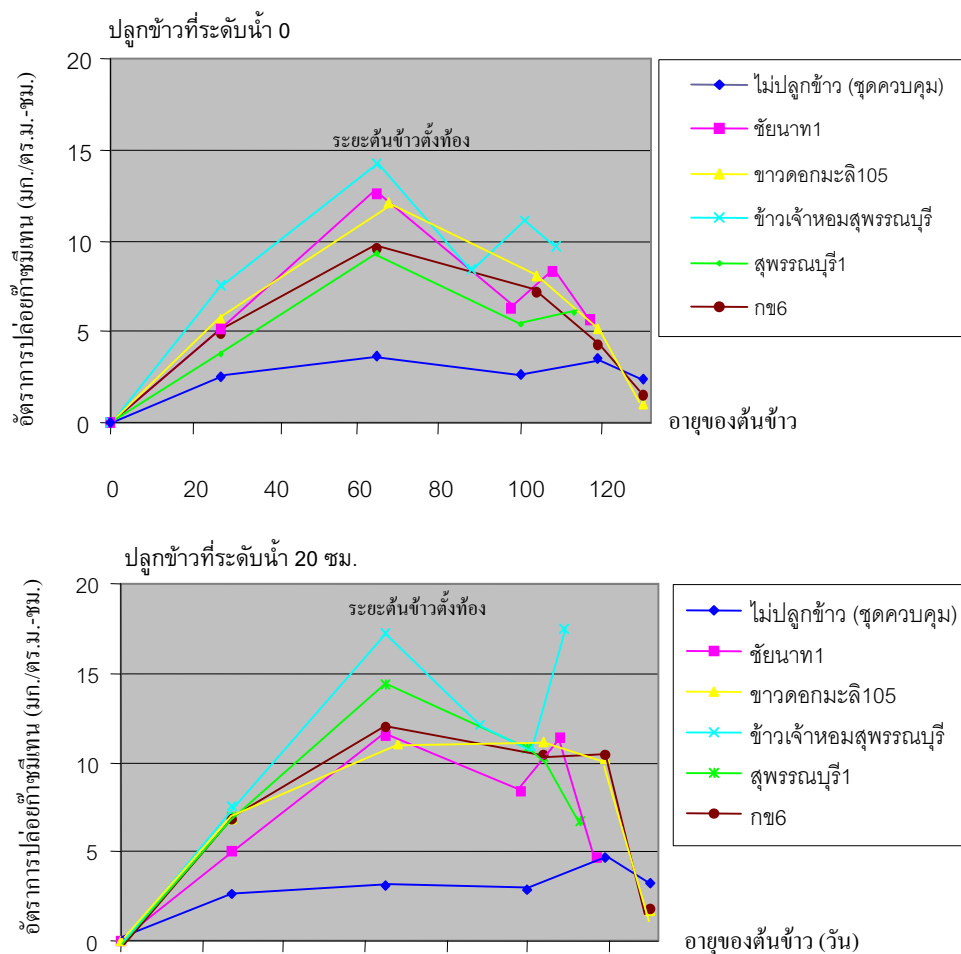


อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (มก./ตร.ม.-ชม.)



ตำรับทดลอง	ผลผลิตข้าว (กรัม/กระถาง)
ชุดดินนครปฐม	
ข้าวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 0 ซม.	180
ข้าวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 10 ซม.	184
ข้าวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 20 ซม.	185
ชุดดินร้อยเอ็ด	
ข้าวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 0 ซม.	191
ข้าวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 10 ซม.	193
ข้าวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 20 ซม.	181
ความแตกต่างตามตำรับทดลอง	$P > 0.05$
ความแตกต่างตามสถานที่ปลูกข้าว	$P > 0.05$
ความแตกต่างตามตำรับทดลองและสถานที่ปลูกข้าว	$P > 0.05$

รูปที่ 3.1-4 : อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนและผลผลิตข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 0 10 และ 20 ซม. ในดินชุดดินนครปฐม และดินชุดดินร้อยเอ็ด



พันธุ์ข้าว	ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่) ในแปลงนาที่มีระดับน้ำ		ความแตกต่าง ตามระดับน้ำ
	0 ซม.	20 ซม.	
ชัยนาท1	^A 349	^B 431	P > 0.05
ขาวดอกมะลิ105	^{AB} 380	^A 282	P > 0.05
ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี	^A 329	^{AB} 380	P > 0.05
สุพรรณบุรี1	^A 485	^C 503	P > 0.05
กข6	^{AB} 403	^{AB} 318	P > 0.05
ความแตกต่างตามพันธุ์ข้าว	P < 0.05	P < 0.01	

ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายความว่า มีความแตกต่างกันตามพันธุ์ข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

รูปที่ 3.1-5 : อัตราการผลิตก๊าซมีเทนและผลผลิตข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ขาวดอกมะลิ105 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี สุพรรณบุรี1 และกข6 ปลูกด้วยวิธีหว่านน้ำตาม

ตารางที่ 3.1-1 : อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ระดับน้ำ 0 10 และ 20 ซม.ในดินชุดดินนครปฐม

ตัวแปรทดลอง	อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (มก./ตร.ม.-ซม.) ตามการเจริญเติบโตของต้นข้าวในระยะ					ค่าเฉลี่ยตาม	F-value ตาม
	แตกกอ	ตั้งท้อง	เมล็ด น้ำนม	เมล็ดสุกแก่ ก่อน ระบายน้ำ	เมล็ดสุกแก่ หลัง ระบายน้ำ	ระยะการ เจริญเติบโต	ระยะการ เจริญเติบโต
ไม่ปลูกข้าว ที่ระดับน้ำ 0 ซม.	1.15	8.73	13.01	6.70	^A 0.49	7.29	0.94 ^{NS}
ไม่ปลูกข้าว ที่ระดับน้ำ 10 ซม.	0.69	5.75	14.31	2.86	^A 6.68	6.47	0.94 ^{NS}
ไม่ปลูกข้าว ที่ระดับน้ำ 20 ซม.	1.02 ^a	2.80 ^a	11.21 ^{ab}	1.02 ^a	^B 17.69 ^b	5.12	3.93*
ปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ระดับน้ำ 0 ซม.	5.02	6.55	11.49	1.43	^A 0.25	6.35	2.00 ^{NS}
ปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ระดับน้ำ 10 ซม.	4.04 ^a	8.10 ^a	25.24 ^b	6.15 ^a	^A 1.32 ^a	11.56	7.34**
ปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ที่ระดับน้ำ 20 ซม.	4.36 ^{ab}	10.21 ^{ab}	26.36 ^b	9.59 ^{ab}	^A 2.17 ^a	13.12	3.79*
F-value ตามตัวแปรทดลอง	2.26 ^{NS}	0.97 ^{NS}	1.61 ^{NS}	0.60 ^{NS}	7.45**	1.74 ^{NS}	-
F-value ตามสถานที่ปลูกข้าว	9.24**	0.21 ^{NS}	5.05*	1.30 ^{NS}	1.52 ^{NS}	8.65**	-
F-value ตามตัวแปรทดลองและ สถานที่ปลูกข้าว	1.09 ^{NS}	0.75 ^{NS}	2.24 ^{NS}	0.80 ^{NS}	5.76**	3.72*	-

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงมีความแตกต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงมีความแตกต่างกันตามตัวแปรทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

* และ ** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% และ 99% ตามลำดับ

NS หมายถึง ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

ตารางที่ 3.1-2 : อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 0 10 และ 20 ซม.ในดินชุดดินนครปฐม

ตำรับทดลอง	อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (มก./ตร.ม.-ซม.) ตามการเจริญเติบโตของข้าวในระยะ					ค่าเฉลี่ยตาม ระยะการ เจริญเติบโต	F-value ตาม ระยะการ เจริญเติบโต
	แตกกอ	ตั้งท้อง	เมล็ด นํ้านม	เมล็ดสุกแก่ ก่อน ระบายน้ำ	เมล็ดสุกแก่ หลัง ระบายน้ำ		
ไม่ปลูกข้าว ที่ระดับน้ำ 0 ซม.	1.15	8.73	13.01	6.70	^A 0.49	7.29	0.94 ^{NS}
ไม่ปลูกข้าว ที่ระดับน้ำ 10 ซม.	0.69	5.75	14.31	1.86	^A 6.68	6.47	0.94 ^{NS}
ไม่ปลูกข้าว ที่ระดับน้ำ 20 ซม.	1.02 ^a	2.80 ^a	11.21 ^{ab}	1.02 ^a	^B 17.69 ^b	5.12	3.93*
ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 0 ซม.	3.31	4.55	3.13	0.01	^A 0.01	2.60	2.48 ^{NS}
ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 10 ซม.	2.72	3.10	7.87	3.78	^A 0.67	4.40	0.94 ^{NS}
ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับน้ำ 20 ซม.	2.35	4.77	9.39	6.44	^A 1.21	5.73	1.27 ^{NS}
F-value ตามตำรับทดลอง	1.92 ^{NS}	1.38 ^{NS}	1.11 ^{NS}	0.65 ^{NS}	7.87**	1.71 ^{NS}	-
F-value ตามสถานที่ปลูกข้าว	29.20**	0.38 ^{NS}	14.90**	1.24 ^{NS}	1.51 ^{NS}	27.13**	-
F-value ตามตำรับทดลอง และสถานที่ปลูกข้าว	0.34 ^{NS}	1.09 ^{NS}	0.69 ^{NS}	0.82 ^{NS}	6.06**	8.97**	-

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน หมายความว่า มีความแตกต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวนอน หมายความว่า มีความแตกต่างกันตามตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญ
ทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

* และ ** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% และ 99% ตามลำดับ

NS หมายถึง ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%