

การพัฒนาเทคนิคการสำรวจระยะไกลภาคพื้นดินเพื่อประเมินและติดตามผลผลิตของข้าวนาปี



นางสาววรรณภา สุวรรณรัตน์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF GROUND-BASED REMOTE SENSING TECHNIQUE FOR PRODUCT  
ASSESSMENT AND MONITORING OF IN-SEASON RICE FIELD

Miss Wannapa Suwannarat



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University



วรรณภา สุวรรณรัตน์: การพัฒนาเทคนิคการสำรวจระยะไกลภาคพื้นดินเพื่อประเมินและติดตามผลผลิตของข้าวนาปี(DEVELOPMENT OF GROUND-BASED REMOTE SENSING TECHNIQUE FOR PRODUCT ASSESSMENT AND MONITORING OF IN-SEASON RICE FIELD) อ.ที่ปรึกษา: อ.ดร. สุภิชัย ตั้งใจตรง, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ดร.วิวาราช พรแก้ว, 104 หน้า

การพัฒนาเทคนิคการสำรวจระยะไกลภาคพื้นดินโดยใช้กล้องถ่ายภาพแบบเลนส์เดี่ยว ด้วยฟิล์มอินฟราเรดขาวดำและใช้ฟิลเตอร์สีแดง (wratten no.25) เพื่อประเมินและติดตามผลผลิตของข้าวนาปี โดยทำการตรวจวัดเทียบกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ โดยใช้ดัชนี NDVI (normalized difference vegetation index) ซึ่งเป็นผลจากการหาสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นแสงสีแดง (RED) กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) ดังสมการ  $(NIR-RED)/(NIR+RED)$  และมีประเด็นที่ต้องทำการทดสอบ 2 ประเด็น ประเด็นพื้นที่รับภาพหรือพื้นที่รับสัญญาณ จากการคำนวณพบว่า พื้นที่ที่ครอบคลุมภาพของกล้องถ่ายภาพมีขนาดเป็น 20 เท่า ของกรอบรับสัญญาณของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ทำให้ต้องตัดภาพให้มีขนาดใกล้เคียงกับพื้นที่รับสัญญาณมากที่สุดก่อนนำไปคำนวณหาค่า NDVI และประเด็นการแยกค่า DN ที่เกิดจาก RED และ NIR โดยมีการทดสอบการสร้างภาพของฟิล์ม 3 ชนิด ได้แก่ ฟิล์มสไลด์สี ฟิล์มขาวดำ และฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ รวมถึงทดสอบการส่องผ่านของฟิลเตอร์และการแสดงผลของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณค่า NDVI เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่า สามารถจำแนกภาพที่เกิดจาก RED และ NIR ออกจากกันได้จริง โดยใช้ทฤษฎีการผสมแสงสีและคุณลักษณะของภาพถ่ายอินฟราเรดใกล้เป็นตัวช่วยในการอธิบาย ซึ่งพืชที่ใช้ในการศึกษาคือ ข้าวนาปี ปลูกในพื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำลำพะยังตอนบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จ.กาฬสินธุ์ โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่เข้าร่วมโครงการชุดสระเก็บกักน้ำตามทฤษฎีใหม่ (เกษตรอินทรีย์) 3 แปลง และกลุ่มที่ไม่เข้าร่วมโครงการฯ (ใช้ปุ๋ยเคมี) 3 แปลง เก็บตัวอย่างในช่วงเดือน ก.ย. ถึง พ.ย. 2549 ซึ่งตรงกับระยะข้าวแตกกอเต็มที่ (60-63 วัน) ระยะสร้างช่อดอก (87-90 วัน) ระยะสร้างเมล็ด (110-113 วัน) และระยะเมล็ดสุกพร้อมเก็บเกี่ยว (120 วัน) โดยให้ค่า NDVI\_Sp (spectrometer) และ NDVI\_Im (image) ดังนี้ (1) ข้าวอายุ 60-63 วัน ให้ค่า NDVI\_Sp เท่ากับ 0.538-0.796 และ NDVI\_Im เท่ากับ 0.513-0.888 (2) ข้าวอายุ 87-90 วัน ให้ค่า NDVI\_Sp เท่ากับ 0.688-0.809 และ NDVI\_Im เท่ากับ 0.658-0.849 (3) ข้าวอายุ 110-113 วัน ให้ค่า NDVI\_Sp เท่ากับ 0.470-0.747 และ NDVI\_Im เท่ากับ 0.327-0.591 (4) ข้าวอายุ 120 วัน ให้ค่า NDVI\_Sp เท่ากับ 0.197-0.469 และ NDVI\_Im เท่ากับ 0.348-0.425 เมื่อพิจารณาค่า NDVI\_Sp และค่า NDVI\_Im ของทั้ง 2 กลุ่ม โดยกำหนดช่วงของความถูกต้องที่ยอมรับได้ของ NDVI\_Im ให้มีค่าเท่ากับ  $\pm 0.1$  ของค่า NDVI\_Sp พบว่า ค่า NDVI\_Im ของกลุ่มเกษตรอินทรีย์ อยู่ในช่วงความถูกต้องที่ยอมรับได้ คิดเป็น 25 ถึง 75% ส่วนค่า NDVI\_Im ของกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยเคมี อยู่ในช่วงความถูกต้องที่ยอมรับได้ คิดเป็น 66.67% ทั้ง 3 แปลง ซึ่งความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มลักษณะเดียวกันทั้งหมด จึงสรุปได้ว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำเทคนิควิธีที่พัฒนาขึ้น มาใช้แทนเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ซึ่งมีราคาสูงกว่ามากได้

สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....  
ปีการศึกษา..... 2550..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4889130520: MAJOR OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: REMOTE SENSING/ GROUND BASE REMOTE SENSING/ NDVI/ CAMERA/  
SPECTROMETER

WANNAPA SUWANNARAT: DEVELOPMENT OF GROUND-BASED REMOTE SENSING  
TECHNIQUE FOR PRODUCT ASSESSMENT AND MONITORING OF IN-SEASON RICE  
FIELD. THESIS ADVISOR: SUPICHAJ TANGJAITRONG, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR:  
VIVARAD PHONEKEO, Ph.D., 104 pp.

In the development of ground-based remote sensing technique with the SLR camera, HIE film and red filter (wratten no.25) were used for assessing and monitoring in-season rice field. The results, were compared with spectrometer data. Prior to the development, the study had to overcome two technical problems. Firstly, the calculation of image area and IFOV (Instantaneous field of view) area of the spectrometer. The result of test found that one of image area was bigger than IFOV area about 20 times. Before the NDVI calculation process, the image must be subset has its area equal to the IFOV area. Secondly, three methods for separating RED and NIR from an image had been conducted; i.e., comparing images developed from color slide, panchromatic and NIR films; deter viewing the transmitted wavelength from blue and red filters; using a computer routine to separate scanned pixel to RGB value. The study used additive light model and the characteristics of NIR image to confirm the result from separation and explain that process. Consequently, the study divided in-season rice field from the Royal-initiated Lam Phayang River Basin (Upper Part) Development Project, Kalasin Province into 2 groups; (1) organic agricultural group which had 3 samples in the Royal-initiated Pond Excavation Project According to the New Theory Farming Practice and (2) inorganic agricultural group which had 3 samples out of that project. The period of study, from July to November 2006, covered 4 growth stages of rice; the tillering stage on 60-63 days, the reproductive growth stage (87-90 days), the grain development stage (110-113 days), and the harvest maturity stage (120 days). The results of NDVI\_Sp (spectrometer) and NDVI\_Im (image) as calculated for the 4 stages were; (1) the NDVI\_Sp and NDVI\_Im of rice (60-63 days) were ranged of 0.538-0.796 and 0.513-0.888, respectively; (2) the NDVI\_Sp and NDVI\_Im of rice (87-90 days) were ranged of 0.688-0.809 and 0.658-0.849, respectively; (3) the NDVI\_Sp and NDVI\_Im of rice (110-113 days) were 0.470-0.747 and 0.327-0.591, respectively; (4) the NDVI\_Sp and NDVI\_Im of rice (120 days) were 0.197-0.469 and were 0.348-0.425. The comparison between NDVI\_Sp and NDVI\_Im of 2 groups were studied by assuming limit of acceptance of NDVI\_Im as  $\pm 0.1$  NDVI\_Sp. It was found that, 25 to 75% of the NDVI\_Im from organic agricultural group are in the acceptance limit. And NDVI\_Im of inorganic agricultural group are in the acceptance limit about 66.67%. By the way all relationship of sample had the same trend. Therefore, it is possible to use this technique instead of using a costly spectrometer.

Field of study Environmental Science..... Student's signature Wannapa Suwannarat  
Academic year 2007..... Advisor's signature Supichai Tangjaitrong  
Co-advisor's signature Vivarad Phonekeo

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณาของผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อ.ดร.ศุภิชัย ตั้งใจตรง ที่ให้คำปรึกษา อบรมสั่งสอน ในสิ่งที่ดีงามและขัดเกลาให้ผู้เขียนมีความคิดที่เป็นระบบและมีมุมมองในการดำเนินชีวิตที่กว้างขึ้น ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อ.ดร.วิวิธราช พรแก้ว ที่ถ่ายทอดวิธีการใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ตลอดจนเทคนิคต่างๆ ในงานสำรวจระยะไกล ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์ รศ.ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี และรศ.ดร. ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล ที่กรุณาตลอดเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนคำชี้แนะอันเป็นประโยชน์ยิ่งในการปรับปรุงแก้ไข จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณคุณสมศักดิ์ ชมพูพงษ์ และคุณศรีเข็มเพชร ชมพูพงษ์ เจ้าหน้าที่โครงการ อ่างเก็บกักน้ำลำพะยังตอนบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านที่พัก ติดต่อเจ้าของแปลงตัวอย่าง และให้ความสะดวกในการเดินทางเพื่อเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา

ขอขอบพระคุณคุณลุงประชิด ศรีเสน คุณลุงชม สุนทรชะ คุณลุงมา บาลเพชร คุณลุงมิน บาลเพชร คุณพี่ณิรัตน์ จิตรจักร และคุณพี่สังัด หาศิริ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวางแผนแปลงตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ Prof. Satsuki Matsumura ที่ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อขอยืมเครื่องสเปกโตรมิเตอร์จาก AIT รวมถึงให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับการศึกษาวิจัยด้านการสำรวจระยะไกล

ขอขอบพระคุณคุณสุพจน์ ปันทรัพย์ เจ้าหน้าที่สถานีอุตุนิคมกาฬสินธุ์ ที่เอื้อเพื่อข้อมูลอุตุนิคมวิทยา และขอขอบพระคุณคุณวัธนา พัฒนถาวร เจ้าหน้าที่ศูนย์สารสนเทศ กรมพัฒนาที่ดิน ที่อำนวยความสะดวกในการขอความอนุเคราะห์ข้อมูลและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับโปรแกรม AgZone

ขอขอบพระคุณคุณสุเทพ กฤษณาวารินทร์ ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์วัดแสงและให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา และขอขอบคุณพี่ๆ ตากล้องทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการถ่ายภาพ ตั้งแต่เริ่มหัดถ่าย โดยเฉพาะ คุณกฤตรัช เหลืองวิวัฒนากุล

ขอขอบคุณคุณอนงนาฏ ศรีประโชติ และคุณกนกทัสน์ ยลปราโมทย์ ที่สละเวลาและร่างกายในการออกพื้นที่เก็บตัวอย่าง ขอขอบคุณคุณสุรชญา ช้างชายวงศ์ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการเขียนรูปเล่มวิทยานิพนธ์ และขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่คอยให้กำลังใจ

สุดท้ายขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และน้องชาย ที่หยิบยื่นสิ่งดีๆ ให้กับชีวิตผู้เขียน และอยู่เคียงข้างเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้.....	2
2. สํารวจเอกสาร.....	3
2.1 ความสำคัญของน้ำต่อการเจริญเติบโตของพืช.....	3
2.2 สรีรวิทยาของข้าว.....	6
2.3 วิธีการติดตามและประเมินผลผลิตข้าว.....	10
2.4 การสำรวจระยะไกลภาคพื้นดิน.....	15
3. พื้นที่ศึกษา.....	23
3.1 โครงการพระราชดำรินในพื้นที่ศึกษา.....	23
3.2 จุดเก็บตัวอย่าง.....	27
3.3 ลักษณะภูมิอากาศ ภูมิศาสตร์ และสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	29
4. วิธีการศึกษา.....	40
4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....	40
4.2 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือ.....	41
4.3 การคำนวณหากรอบรับสัญญาณของเครื่องสเปคโตรมิเตอร์.....	42
4.4 การคำนวณหากรอบรับภาพของกล้องถ่ายภาพ.....	44
4.5 การทดสอบคุณสมบัติของฟิลเตอร์และฟิล์ม.....	47
4.6 คุณสมบัติของระบบสแกนสามารถบันทึกภาพที่เกิดจากแต่ละช่วงคลื่น ด้วยหลักการเดียวกันกับการบันทึกภาพของฟิล์ม.....	54

4.7	วิธีการคำนวณหาค่า NDVI จากภาพถ่าย.....	63
4.8	วิธีการคำนวณหาค่า NDVI จากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์.....	64
4.9	หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับผลผลิต.....	68
5.	ผลการศึกษา.....	69
5.1	ผลการตรวจวัดพฤติกรรมการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากต้นข้าวด้วย เครื่องสเปคโตรมิเตอร์และกล้องถ่ายภาพ.....	69
5.2	เปรียบเทียบค่า NDVI จากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์กับค่า NDVI จากภาพถ่าย.....	72
5.3	ผลการวิเคราะห์ภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นแสงสีแดง ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เพื่อคำนวณหาค่า NDVI และตรวจสอบความถูกต้องด้วยการผสมสีแบบ false color composite.....	73
5.4	เปรียบเทียบพฤติกรรมการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละระยะ การเจริญเติบโตของข้าว.....	80
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI (จากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์และภาพถ่าย) กับผลผลิต.....	82
6.	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	86
6.1	สรุปผลการศึกษา.....	86
6.2	ข้อเสนอแนะ.....	88
	รายการอ้างอิง.....	92
	ภาคผนวก.....	94
	ภาคผนวก ก.....	95
	ภาคผนวก ข.....	102
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	104



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่	
2.1 ความสัมพันธ์ของน้ำต่อระยะเวลาการสุกแก่ของพืช.....	5
3.1 ปฏิทินการปลูกพืชในพื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำลำพะยังตอนบนที่เข้าร่วมโครงการ จุดสระเก็บกักน้ำตามทฤษฎีใหม่.....	27
3.2 จุดเก็บตัวอย่าง.....	27
4.1 ค่าความสูงที่ใช้ในการคำนวณหากรอบรับภาพของเครื่องสเปคโตรมิเตอร์.....	43
4.2 ค่าความยาวแกนเอกและแกนโทของกรอบรับสัญญาณของเครื่องสเปคโตรมิเตอร์.....	44
4.3 พื้นที่รับสัญญาณของเครื่องสเปคโตรมิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ.....	44
4.4 ค่าความสูงที่ใช้ในการคำนวณหากรอบรับภาพของกล้องถ่ายภาพ.....	46
4.5 ความสูงและความกว้างของกรอบรับภาพของกล้องถ่ายภาพ.....	46
4.6 พื้นที่รับภาพของกล้องถ่ายภาพที่ได้จากการคำนวณ.....	47
4.7 ความไวแสงของฟิล์มแต่ละชนิดและช่วงคลื่นที่ยอมให้ส่องผ่านฟิลเตอร์.....	48
4.8 การออกแบบวิธีการถ่ายภาพสำหรับการทดสอบคุณสมบัติของฟิลเตอร์และฟิล์ม.....	49
4.9 การนำแผ่น color chart หรือ color referent สำหรับใช้ในการเปรียบเทียบการให้ค่าสี ของฟิล์มสไลด์และฟิล์มขาวดำ.....	50
4.10 ผลการทดสอบฟิล์มสไลด์สีและฟิลเตอร์.....	51
4.11 ผลการทดสอบฟิล์มขาวดำและฟิลเตอร์.....	52
4.12 ผลการทดสอบฟิล์มอินฟราเรดขาวดำและฟิลเตอร์.....	53
4.13 เปรียบเทียบการแสดงผลภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นต่างๆ ที่ส่องผ่านฟิลเตอร์แต่ละประเภท กรณีถ่ายโดยใช้ฟิล์มสไลด์สี.....	55
4.14 เปรียบเทียบผลการแสดงผลภาพแบบ Histogram จากโปรแกรม ENVI ของภาพที่ถ่าย โดยใช้ฟิลเตอร์และไม่ใช้ฟิลเตอร์ กรณีถ่ายด้วยฟิล์มขาวดำ.....	57
4.15 เปรียบเทียบผลการแสดงผลภาพแบบ Histogram จากโปรแกรม ENVI ของภาพที่ถ่าย โดยใช้ฟิลเตอร์และไม่ใช้ฟิลเตอร์ กรณีถ่ายด้วยฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ.....	58
4.16 เปรียบเทียบผลการแสดงผลภาพแบบ Histogram จากโปรแกรม ENVI ของภาพที่ถ่ายซึ่ง ประกอบด้วยท้องฟ้า ต้นไม้ และสระน้ำ (ถ่ายโดยใช้ฟิลเตอร์สีแดง) เพื่อเปรียบเทียบ พฤติกรรมของวัตถุเป้าหมายแต่ละชนิด กรณีถ่ายด้วยฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ.....	59
5.1 ผลการตรวจวัดจากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์ ของจุดที่ 1 และจุดที่ 2.....	69
5.2 ผลการตรวจวัดจากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์ ของจุดที่ 3 และจุดที่ 4.....	69
5.3 ผลการตรวจวัดจากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์ ของจุดที่ 5 และจุดที่ 6.....	69

5.4	กลุ่มข้อมูล NDVI_Sp กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 โดยใช้อายุต้นข้าวเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง	70
5.5	การนับอายุต้นข้าว	71
5.6	กลุ่มข้อมูล NDVI_Im กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 โดยใช้อายุต้นข้าวเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง	72
5.7	ผลการตรวจวัดด้วยกล้องถ่ายภาพของจุดที่ 1	74
5.8	ผลการตรวจวัดด้วยกล้องถ่ายภาพของจุดที่ 2	75
5.9	ผลการตรวจวัดด้วยกล้องถ่ายภาพของจุดที่ 3	76
5.10	ผลการตรวจวัดด้วยกล้องถ่ายภาพของจุดที่ 4	77
5.11	ผลการตรวจวัดด้วยกล้องถ่ายภาพของจุดที่ 5	78
5.12	ผลการตรวจวัดด้วยกล้องถ่ายภาพของจุดที่ 6	79
5.13	ผลผลิตข้าวและมวลชีวภาพเหนือดินของแปลงตัวอย่างที่เข้าร่วมและไม่เข้าร่วม โครงการ ชุดสระกักเก็บน้ำตามทฤษฎีใหม่	82
5.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI_Im ที่อายุต่างๆ กับผลผลิต (กก.) ของจุดที่ 1, 2 และ 3	83
5.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI_Im ที่อายุต่างๆ กับผลผลิต (กก.) ของจุดที่ 3, 4 และ 6	84
ก-1	ปริมาณฝนรวมทั้งเดือน	95
ก-2	น้ำระเหยรายเดือน	96
ก-3	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย	97
ก-4	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย	98
ก-5	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย	99
ก-6	ความเร็วลม	100
ก-7	ความเข้มแสงอาทิตย์	101
ข-1	ฐานข้อมูลภาคสนาม	102

สารบัญญภาพ

	หน้า
ภาพที่	
2.1 การเจริญเติบโตของข้าวในแต่ละระยะ.....	7
2.2 ตัวอย่างโครงสร้างภายในของเซลล์พืช.....	11
2.3 พฤติกรรมการสะท้อนของช่วงคลื่นแสงสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอายุพืชและปริมาณน้ำ.....	12
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าว.....	14
2.5 แสดงการทำงานของเครื่องเรดิโอมิเตอร์ (a และ b) และอุปกรณ์สำหรับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และกล้องถ่ายภาพ (c).....	15
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับมวลชีวภาพเหนือดิน (a) และภาพถ่ายทางอากาศที่ผ่านการผสมสีแล้ว (b).....	16
2.7 ม่านเปิด (b) ปิด (a) ให้แสงผ่านเข้าสู่ฟิล์ม.....	17
2.8 เครื่องวัดแสงตกกระทบ (a) และกระดาศยสีเทากลาง (b).....	18
2.9 ตัวอย่างการแบ่งโซนให้แก่วัตถุภายในภาพ.....	18
2.10 ความแตกต่างของชั้นเคลือบฟิล์มเนกาตีฟที่สร้างภาพจากช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นและคลื่นอินฟราเรดใกล้.....	19
2.11 ชั้นเคลือบฟิล์มโพสิทีฟสไลด์ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (a) และการผสมสีของคลื่นแสงที่ตามองเห็นและสีภาพที่ได้เมื่อทำการล้างฟิล์มเรียบร้อยแล้ว (b).....	20
3.1 ขอบเขตพื้นที่เกษตรรับน้ำจากอ่างเก็บน้ำลำพะยังตอนบน (สีน้ำเงิน) พื้นที่ 4,600 ไร่ และพื้นที่รับน้ำจากอุโมงค์ผันน้ำห้วยไผ่ (สีชมพู) พื้นที่ 12,000 ไร่.....	24
3.2 สัดส่วนการแบ่งพื้นที่ตามแบบเกษตรทฤษฎีใหม่.....	25
3.3 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง พื้นที่ ตำบลคุ้มเก่า และตำบลสงเปลือย (a) และ (b).....	29
3.4 ปริมาณฝนรวมทั้งเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539-2549.....	30
3.5 น้ำระเหยรายเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539-2549 (ค่าน้ำระเหยรวมทั้งเดือน).....	31
3.6 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539-2549.....	31
3.7 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539-2549.....	32
3.8 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539-2549.....	32
3.9 ความเร็วลมเฉลี่ย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539-2549.....	33
3.10 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539-2549.....	33
3.11 แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง (ม.) ของพื้นที่ตำบลคุ้มเก่า และตำบลสงเปลือย.....	34
3.12 แผนที่แสดงเส้นทางน้ำและแหล่งน้ำในพื้นที่ตำบลคุ้มเก่า และตำบลสงเปลือย.....	35

3.13 แผนที่แสดงชุดดินในพื้นที่ตำบลคุ้มเก่า และตำบลสงเปลือย.....	36
3.14 แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2542 พื้นที่ตำบลคุ้มเก่า และตำบลสงเปลือย.....	37
3.15 แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2547 พื้นที่ตำบลคุ้มเก่า และตำบลสงเปลือย.....	38
3.16 แผนที่แสดงความเหมาะสมในการปลูกข้าวที่ประเมินจากโปรแกรม ArgZone.....	39
4.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม.....	41
4.2 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือ.....	41
4.3 กรอบรับภาพของเครื่องสเปคโตรมิเตอร์.....	42
4.4 กรอบรับภาพของกล้องถ่ายภาพ.....	45
4.5 (a) คือผลลัพธ์ที่ได้จากการผสมแสงสีของช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็น และ (b) คือฟิลเตอร์สีแดงและฟิลเตอร์สีน้ำเงิน.....	47
4.6 แผนภาพกระบวนการทดสอบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภาพ.....	62
4.7 แผนภาพกระบวนการสร้างภาพและแยก DN ที่เกิดจากแสงสีแดงและอินฟราเรดใกล้ ออกจากกันก่อนนำมาคำนวณหาค่า NDVI.....	62
4.8 การตัดข้อมูลดากรอบที่กำหนดโดยใช้โปรแกรม ENVI.....	63
4.9 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าทางสถิติของโปรแกรม ENVI.....	64
4.10 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการคำนวณหาร้อยละของค่าการสะท้อนช่วงคลื่นแสงสีแดงและ อินฟราเรดใกล้ (วันที่ 14/09/06).....	65
4.11 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการคำนวณหาร้อยละของค่าการสะท้อนช่วงคลื่นแสงสีแดงและ อินฟราเรดใกล้ (วันที่ 11/10/06).....	66
4.12 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการคำนวณหาร้อยละของค่าการสะท้อนช่วงคลื่นแสงสีแดงและ อินฟราเรดใกล้ (วันที่ 3/11/06).....	66
4.13 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการคำนวณหาร้อยละของค่าการสะท้อนช่วงคลื่นแสงสีแดงและ อินฟราเรดใกล้ (วันที่ 13/11/06).....	67
5.1 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่า NDVI จากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์และจากภาพถ่าย แบ่งกลุ่มข้อมูลตามอายุข้าว.....	73
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละระยะ การเจริญเติบโตของข้าวนาปี.....	80
6.1 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่า NDVI จากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์และจากภาพถ่าย.....	88
6.2 ความถูกต้องที่ยอมรับได้ของ NDVI <sub>Im</sub> กลุ่มที่ 1 (จุดที่ 1 จุดที่ 2 และจุดที่ 5).....	89
6.3 ความถูกต้องที่ยอมรับได้ของ NDVI <sub>Im</sub> กลุ่มที่ 2 (จุดที่ 3 จุดที่ 4 และจุดที่ 6).....	90

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี

ในสภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และความต้องการน้ำในการทำการเกษตรยังคงอยู่ การจัดหาแหล่งน้ำเพื่อสนองความต้องการจึงเกิดขึ้นในหลายรูปแบบ เช่น การผันน้ำข้ามลุ่ม การขุดลอกเส้นทางน้ำ หรือการสร้างอ่างกักเก็บน้ำ ซึ่งความพยายามเข้าไปเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศของพื้นที่หนึ่ง ย่อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อพื้นที่อื่นๆ หรือพื้นที่ใกล้เคียง ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยบางวิธีการไม่เพียงไม่สามารถแก้ปัญหาขาดแคลนน้ำได้ แต่กลับเป็นการสร้างปัญหาใหม่ขึ้นมาอีก ดังนั้น การศึกษาความต้องการน้ำของพืชที่สอดคล้องกับสภาวะภูมิอากาศโดยใช้เครื่องมือที่มีความรวดเร็วในการวิเคราะห์ผลและสามารถประเมินผลในภาพรวมได้อย่างเทคนิคการสำรวจระยะไกล โดยเฉพาะการสำรวจระยะไกลภาคพื้นดินที่สามารถเก็บข้อมูลภายใต้ข้อจำกัดที่เกิดขึ้นกับการสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียมในช่วงที่มีเมฆปกคลุมอย่างถูฝนได้ดี

ประกอบกับพืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำในการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน บางชนิดต้องการน้ำในระยะเริ่มต้นมากกว่าระยะอื่นๆ บางชนิดต้องการน้ำในปริมาณที่คงที่ตลอดระยะเวลาเจริญเติบโต จึงมีการศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของพืชในสภาวะของการได้รับน้ำที่แตกต่างกันในลักษณะต่างๆ โดยตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมิน ได้แก่ การหามวลชีวภาพเหนือดินและในดิน ถ้ามวลชีวภาพเหนือดินลดลงและมวลชีวภาพใต้ดินเพิ่มขึ้นแสดงว่าพืชกำลังอยู่ในภาวะขาดน้ำ หรือใช้การศึกษายุทธศาสตร์การสะท้อนในช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นและคลื่นแสงอินฟราเรดของพืชเนื่องจากแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินถูกคลอโรฟิลล์ในเซลล์พืชดูดกลืนไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และผนังเซลล์สะท้อนคลื่นแสงอินฟราเรดได้ดีในระยะที่พืชเจริญเติบโตเต็มที่

ในการศึกษาครั้งนี้ จึงทำการพัฒนาเทคนิคการสำรวจระยะไกลภาคพื้นดิน โดยใช้กล้องถ่ายภาพและใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์เป็นอุปกรณ์มาตรฐาน เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ว่า กล้องถ่ายภาพสามารถนำมาใช้ติดตามและประเมินผลผลิตทางการเกษตรได้หรือไม่ โดยใช้หลักการถ่ายภาพในช่วงคลื่นสีแดงและอินฟราเรดใกล้ที่สะท้อนจากข้าวในปี เริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ข้าวมีอายุ 60 วัน ในพื้นที่โครงการขุดสระเก็บกักน้ำ ตามทฤษฎีใหม่และโครงการอ่างเก็บน้ำลำพะยังตอนบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และใช้ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (normalized difference vegetation index; NDVI) เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงความสมบูรณ์ของข้าว

## 1.2 วัตถุประสงค์

พัฒนาเทคนิคการสำรวจระยะไกลภาคพื้นดินเพื่อประเมินและติดตามผลผลิตของข้าวนาปี

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) พื้นที่โครงการขุดสระเก็บกักน้ำ ตามทฤษฎีใหม่และโครงการอ่างเก็บน้ำลำพะยังตอนบน ต.สง-เปลือย อ.เขาวง จ.กาฬสินธุ์
- 2) ระยะเวลาในการศึกษา
  - เตรียมข้อมูล เดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2549
  - เก็บข้อมูลภาคสนาม ตรวจสอบความถูกต้อง และวิเคราะห์ข้อมูล ตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2549 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ.2550

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้

- 1) บ่งชี้ถึงความสมบูรณ์ของข้าวในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโตว่าอยู่ในสถานะใด อันเป็นผลจากการใช้ทรัพยากรดิน น้ำ
- 2) ประยุกต์ใช้กับการจัดการทรัพยากรสำหรับหน่วยงานในระดับพื้นที่ที่มีสภาพปัญหาแตกต่างกัน และใช้เป็นข้อมูลสำหรับประเมินผลผลิตในระดับภูมิภาค

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### สำรวจเอกสาร

รายการสำรวจเอกสารประกอบด้วยประเด็นที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะข้าว รวมทั้งวิธีการติดตามและประเมินผลผลิตข้าวแบบต่างๆ โดยเน้นวิธีการติดตามและประเมินผลผลิตด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกลภาคพื้นดินซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 2.1 ความสำคัญของน้ำต่อการเจริญเติบโตของพืช

การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของพืชเศรษฐกิจมีความสำคัญต่อประเทศเกษตรกรรม โดยเฉพาะความสำคัญของน้ำต่อการเจริญเติบโตของพืช จากการรวบรวมปรากฏการณ์เกี่ยวกับปัจจัยน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยสรุปมีดังนี้ (วิเชียร ฝอยสกล, 2548)

##### 1. สมดุลของน้ำในพืช

การดูดซึมและการคายน้ำออกสู่บรรยากาศของพืช เป็นกระบวนการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานรูปแบบหนึ่งของน้ำในพืช โดยพืชสามารถลดค่าพลังงานของน้ำให้ต่ำกว่าพลังงานของน้ำในดิน ทำให้พืชสามารถดูดซึมน้ำจากดินมาใช้ประโยชน์ได้ ในทางกลับกันอัตราการสูญเสียน้ำของพืชจากการเปิดปิดปากใบเพื่อปรับสมดุลน้ำภายในเซลล์พืชกับบรรยากาศรอบข้าง ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีรูปแบบในการปรับสมดุลน้ำที่แตกต่างกันตามสิ่งแวดล้อมนั้นๆ

##### 2. ความต้องการน้ำในการเจริญเติบโต และสภาวะเครียดของพืช

ถ้าอัตราการดูดซึมน้ำของรากพืชต่ำกว่าอัตราการคายน้ำของใบ จัดว่าพืชเริ่มเข้าสู่สภาวะขาดน้ำ หรือ สภาวะเครียด แม้ว่าขณะนั้นดินยังชื้นอยู่ก็ตาม ส่งผลให้ความเต่งของเซลล์ การแบ่งเซลล์ การเจริญเติบโตของพืชถูกจำกัด โดยเฉพาะช่วงกลางวันพืชสูญเสียน้ำมากกว่ากลางคืน การเจริญเติบโตช่วงกลางวันจึงต่ำกว่ากลางคืน การหายใจ การเคลื่อนย้ายไอออน การสังเคราะห์โปรตีนและผนังเซลล์ลดลง รวมทั้งลดการเปิดปิดปากใบ ระดับไซโตคินิน การกระตุ้นเอนไซม์ และการสังเคราะห์แสง แต่จะเพิ่มการผลิตเอทิลีน และฮอร์โมน ABA โดยอาการที่สามารถสังเกตเห็นได้คือ อาการเหี่ยวของพืช ใบร่วง การเจริญเติบโตของใบและยอดพืชชะงัก

### 3. การคายน้ำและการสังเคราะห์แสง

การสูญเสียน้ำของพืชอาจมีผลกระทบไม่มากนัก หากพืชสามารถดูดซึมน้ำจากดินได้เพียงพอ ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการคายน้ำ ได้แก่ ปริมาณแสงแดด และการสังเคราะห์แสง ถ้าอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำ การคายน้ำจะลดลงเร็วกว่ากรณีที่มีการสังเคราะห์แสงสูง โดยกระแสน้ำมีส่วนช่วยให้อัตราการคายน้ำของพืชเพิ่มขึ้น ส่วนการคายน้ำนั้นไม่มีผลต่อการเพิ่มการสังเคราะห์แสงแต่อย่างใด

### 4. การสร้างผลผลิตแปลงรูป

ปริมาณน้ำที่พืชดูดซึมจากดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตแปลงรูป (differential products) ตัวอย่างเช่น ยาง น้ำมัน กลิ่นระเหย อัลคาร์รอยด์ ฯลฯ ถ้าพืชขาดน้ำเพียงเล็กน้อย ผลผลิตแปลงรูปจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ถ้าพืชขาดน้ำมากผลผลิตแปลงรูปจะลดลงอย่างชัดเจน

### 5. สัดส่วนของส่วนเหนือดินกับส่วนใต้ดิน

ในสภาวะขาดน้ำ น้ำหนักส่วนใต้ดินของพืชซึ่งก็คือ ราก มีสัดส่วนสูงกว่าน้ำหนักเหนือดินของพืช เนื่องจากน้ำที่พืชดูดซึมได้จะถูกนำไปสร้างรากโดยเฉพาะรากแก้วเพื่อยืดรากออกไปหาน้ำ สำหรับน้ำหนักของส่วนเหนือดินจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่พืชได้รับ ซึ่งหลักการดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการเพิ่มผลผลิตให้กับพืชหัวได้

### 6. สัดส่วนของเมล็ดต่อฟาง

เมื่อปริมาณน้ำที่พืชได้รับเพิ่มขึ้น สัดส่วนของเมล็ดต่อฟางจะเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง หลังจากนั้นถ้าให้น้ำต่อไป สัดส่วนของเมล็ดต่อฟางจะลดลง

### 7. ระยะเวลาในการสุกแก่ของพืช

ปริมาณน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะเวลาการสุกแก่ของพืช ดังแสดงในตารางที่ 2.1



ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของน้ำต่อระยะเวลาการสุกแก่ของพืช

ระยะการเจริญเติบโต	ระยะออกดอกผสมเกสร	ระยะเมล็ดและเก็บเกี่ยว	ช่วงเวลาแก่
สูง	ต่ำ	ต่ำ	แก่เร็วที่สุด
สูง	สูง	ต่ำ	แก่เร็ว
สูง	สูง	สูง	แก่ช้าลง
ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	แก่ปานกลาง
ต่ำ	สูง	สูง	แก่ช้า
ต่ำ	ต่ำ	สูง	แก่ช้าที่สุด

ที่มา: วิเชียร ฝอยสกุล (2548)

#### 8. ความต้องการน้ำแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืช

ในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโต พืชต้องการน้ำในอัตราที่แตกต่างกัน สำหรับพืชล้มลุกต้องการน้ำปริมาณน้อยในระยะเริ่มตั้งต้นและระยะเก็บเกี่ยว ส่วนระยะที่พืชต้องการน้ำมากที่สุดคือ ระยะที่กำลังเพิ่มความยาวของข้อปล้อง และช่วงการผสมเกสรจนถึงช่วงออกดอก เพราะถ้าขาดน้ำในระยะนี้จะส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตพืช

#### 9. การเคลื่อนย้ายสารชะงักการเจริญเติบโต

น้ำเป็นตัวช่วยพาเกลือออกจากดินเค็มซึ่งเป็นสารชะงักการงอก หรือสารพิษจากไอออน หรือสารสังเคราะห์บางอย่างออกไปจากดิน ทำให้การงอกและการเจริญเติบโตของพืชดีขึ้น

#### 10. การงอกของเมล็ด

เมล็ดพืชสามารถงอกได้โดยต้องการน้ำเพียงเล็กน้อย แต่หลังจากนั้นต้องการน้ำจำนวนมาก จึงจะสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ

#### 11. การดึงธาตุอาหารจากดินไปใช้

น้ำมีความสำคัญต่อพืชในการดึงธาตุอาหารจากดินไปใช้ เนื่องจากพืชไม่สามารถดึงธาตุอาหารไปใช้โดยตรง ดังนั้นถ้าขาดน้ำในการทำละลายธาตุอาหารจากดินต่อให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพียงใด พืชก็ไม่สามารถดึงธาตุอาหารดังกล่าวไปใช้ได้

## 2.2 สรีรวิทยาของข้าว

เนื่องจากการปลูกข้าวต้องใช้น้ำในปริมาณมาก ตั้งแต่การเตรียมดินจนถึงการเจริญเติบโต ทุกระยะ สำหรับการปลูกข้าวนาปี จะทำการปลูกในช่วงฤดูฝน หนึ่งปีมีการปลูกเพียงครั้งเดียว ส่วนมากจะใช้พันธุ์ข้าวที่ไม่ไวแสง โดยแบ่งชนิดของพันธุ์ข้าวออกเป็น พันธุ์ข้าวหนัก ข้าวกลาง และข้าวเบา ตามอายุการเก็บเกี่ยว ดังนั้น ปริมาณน้ำ และลักษณะดิน จึงเป็นตัวแปรสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าว และจากการรวบรวมข้อมูลด้านสรีรวิทยาของข้าวทำให้ทราบถึงหลักในการจำแนกระยะการเจริญเติบโตของข้าวดังนี้ (สงขลานครินทร์, มหาวิทยาลัย, 2549)

### 2.2.1 การเจริญเติบโตของข้าว โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็นระยะต่าง ๆ ได้ดังนี้

#### 1. การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth) ประกอบด้วย 2 ระยะคือ

##### - ระยะต้นกล้า (seedling stage)

เป็นระยะจากข้าวงอกจนกระทั่งข้าวแตกกอ ใช้ระยะเวลาประมาณ 20 วัน (ขึ้นอยู่กับพันธุ์) สิ้นสุดระยะนี้ต้นข้าวจะมีใบประมาณ 5-6 ใบ

##### - ระยะแตกกอ (tillering stage)

นับจากข้าวเริ่มแตกกอดังกล่าวจนถึงข้าวเริ่มสร้างช่อดอกอ่อน (panicle initiation) ใช้เวลาประมาณ 30-50 หลังจากระยะต้นกล้าขึ้นอยู่กับสภาพแสงของพันธุ์ข้าว

#### 2. การเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (reproductive growth) ใช้เวลาประมาณ 30-35 วัน ประกอบด้วย 3 ระยะคือ

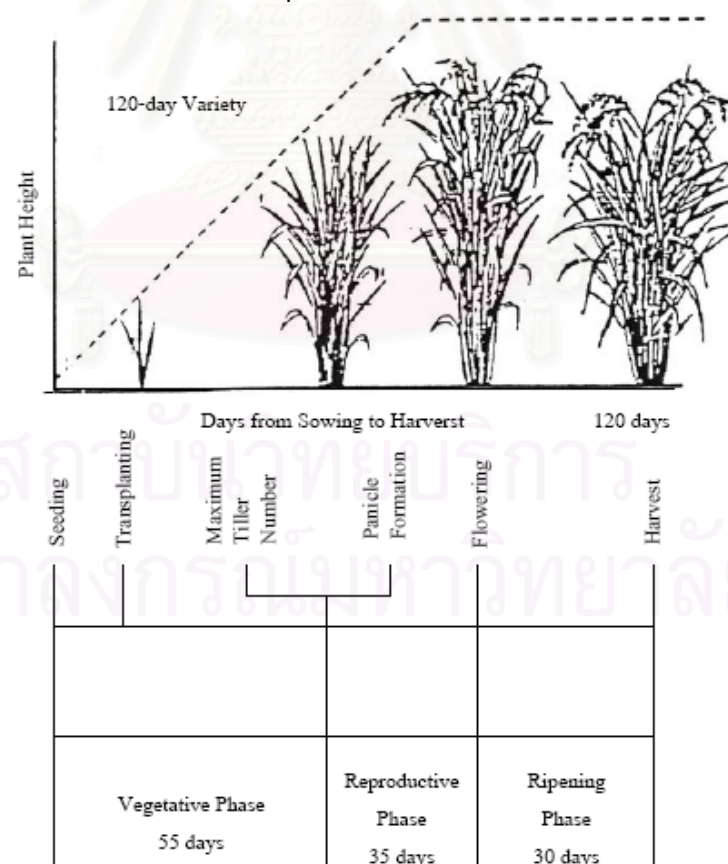
##### - ระยะเริ่มสร้างช่อดอกอ่อน

หลังจากแตกกอเต็มที่แล้วก็จะเข้าสู่ระยะสร้างช่อดอกอ่อน (พันธุ์ที่ไวแสงจะต้องได้รับช่วงแสงที่เหมาะสมก่อน จึงจะก่อให้เกิดระยะนี้ได้) ระยะนี้ต้นข้าวจะเปลี่ยนจากต้นที่มีลักษณะแบนเป็นต้นกลม และจะมีการยืดปล้อง (stem elongation) ในอัตรารวดเร็ว เมื่อลำต้นดูจะเห็นจุดกำเนิดช่อดอก (panicle primordium) ลักษณะเป็นสามเหลี่ยมมีสีเขียวปุยๆ และจะเจริญเติบโตเรื่อย ๆ เป็นช่อดอกที่มีดอกเรียกว่า spikelets

- **ระยะตั้งท้อง (booting stage)**  
เป็นระยะที่ดอกอ่อนของข้าวขยายตัวใหญ่ขึ้นจนเป็นช่อดอกที่สมบูรณ์ ตรงกาบใบธงจะอ้วนพองขึ้น
- **ระยะออกดอกและผสมเกสร**  
ระยะที่ช่อดอกโผล่จากกาบใบ (heading) ดอกข้าวบาน (flowering) และผสมเกสร (fertilization) ซึ่งจะเกิดพร้อมกันหรือเหลื่อมกันบางเพียงเล็กน้อย

### 3. การพัฒนาการของเมล็ด (grain development)

ภายหลังจากการผสมเกสร รังไข่ที่ได้รับการผสมจะเจริญเติบโต โดยอาหารที่ได้รับ การสังเคราะห์แสงจะถูกสะสมในเมล็ดเรียกกระษะนี้ว่า ระยะสะสมในเมล็ด (grain filling period) เริ่มจากระษะน้ำนม (milky) และเปลี่ยนมาเป็นแป้งอ่อน (dough) จนกระทั่งเมล็ดสุก (ripening) ซึ่งมีลักษณะเป็นแป้งแข็ง หรือระยะสุกแก่ พร้อมเก็บเกี่ยว (harvest maturity) รวมเวลาที่ใช้ในการพัฒนาเมล็ดประมาณ 25-30 วัน ดังนั้นเมื่อรวมระยะต่าง ๆ แล้ว ข้าวไม่ไวแสงจะมีอายุในระหว่าง 110-120 วัน และข้าวไวแสงมีอายุประมาณ 120-140 วัน



ภาพที่ 2.1 การเจริญเติบโตของข้าวในแต่ละระยะ

ที่มา: A.Berg (1981)

## 2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตข้าว

### 1. ความสูงของพื้นที่

ข้าวเจริญเติบโตได้ดีตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงที่สูง 2,500 ม. (ข้าวไร่) สำหรับนาข้าวในที่ลุ่มควรมีระดับน้ำขังตั้งแต่ 5 ซม. (ข้าวนาสวน) จนถึงหลายเมตร(ข้าวฟางลอย)

### 2. ดิน

ข้าวขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิดยกเว้นดินทราย ส่วนใหญ่ชอบขึ้นในดินเหนียวและดินเหนียวร่วน มีความเป็นกรดและด่าง (pH) ตั้งแต่ 3-10 โดยข้าวสามารถขึ้นได้แม้กระทั่งในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

### 3. ปริมาณน้ำ

ข้าวมีความต้องการน้ำตั้งแต่ 875 มม. (ข้าวไร่) จนถึง 2,000 มม. (ข้าวนาสวน) ต่อปี แต่ควรมีการกระจายฝนที่ดี ในพื้นที่ที่ไม่ได้รับน้ำชลประทานหรือที่เรียกขานาน้ำฝน ซึ่งส่วนใหญ่จะปลูกข้าวได้ในนาปีเท่านั้น และการตอบสนองต่อความต้องการน้ำยังขึ้นอยู่กับพันธุ์และช่วงของการเจริญเติบโต ในช่วงการเตรียมดินนั้นควรมีน้ำประมาณ 150-200 มม. ช่วงที่เป็นต้นกล้าจนถึงต้นกล้าอายุ 30-40 วัน ต้องการประมาณ 250-400 มม. ส่วนในช่วงปักดำจนกระทั่งเก็บเกี่ยวนั้นควรมีน้ำอยู่ในระหว่าง 800-1,200 มม.

### 4. แสงอาทิตย์

ปริมาณแสงมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตโดยที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และช่วงเวลาสั้นยาวของกลางวันกลางคืนยังมีผลต่อการเจริญทางสืบพันธุ์ของข้าวไวแสง ความเข้มของแสงในฤดูฝนซึ่งมีเมฆหมอกมากนั้นจะน้อยกว่าความเข้มแสงในฤดูร้อน ผลผลิตข้าวส่วนใหญ่จึงน้อยกว่าเมื่อปลูกในฤดูฝน เช่น จากรายงานพบว่าข้าวที่ปลูกในฤดูฝนจะให้ผลผลิตประมาณ 63 ถัง/ไร่ แต่ถ้านำพันธุ์เดียวกันไปปลูกในหน้าร้อนหรือหน้าแล้งจะได้ผลผลิตสูงถึง 73 ถัง/ไร่ (ใช้พันธุ์ กข.11, กข.7 และ กข.1) แสงแดดมีความจำเป็นมากในช่วงเริ่มสร้างดอกจนกระทั่ง 10 วันก่อนเมล็ดแก่

## 5. อุณหภูมิ

ได้มีการศึกษาพบว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าวและการให้ผลผลิตพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในระหว่าง 25 ถึง 33 °C อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป (ต่ำกว่า 15 °C สูงกว่า 35 °C) จะมีผลต่อการงอกของเมล็ด การยืดของใบ การแตกกอ การสร้างดอกอ่อน การผสมเกสร เป็นต้น เช่น พบว่าอุณหภูมิที่สูงเกินไปและต่ำเกินไปช่วงที่มีการออกดอกจะทำให้ดอกข้าวเป็นหมัน ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้ผลผลิตต่ำกว่าปกติ เป็นต้น

## 6. ความชื้นสัมพัทธ์

อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศต่อการเจริญเติบโตของข้าวนั้น มักจะไม่ชัดเจน เพราะจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิในเชิงที่กลับกันคือ เมื่อความเข้มของแสงมากและอุณหภูมิสูงมักทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อุณหภูมิเย็นในเวลากลางวันทำให้เกิดน้ำค้างสูง จะมีผลต่อการพัฒนาของเชื้อโรคของข้าวบางชนิด เช่น โรคใบไหม้ได้เหมาะสมยิ่งขึ้น เป็นต้น

## 7. ลม

ลมอ่อนที่พัดถ่ายเทอยู่ตลอดเวลา (ความเร็วประมาณ 0.75-2.25 ชม./วินาที) จะช่วยให้มีการถ่ายเทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ดี ทำให้พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้มากยิ่งขึ้น แต่ถ้าลมแรงจะมีผลโดยตรงทำให้ต้นข้าวหักล้ม เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตได้

## 2.3 วิธีการติดตามและประเมินผลผลิตข้าว

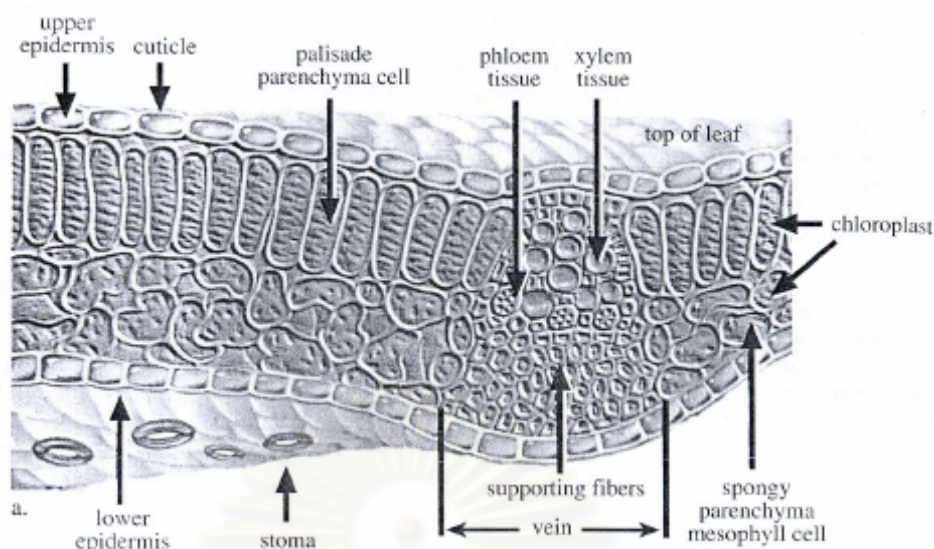
### 2.3.1 การติดตามและประเมินผลผลิตข้าวด้วยสายตา

เป็นการประเมินผลผลิตข้าวด้วยสายตาซึ่งเกิดขึ้นจากความเคยชินของเกษตรกร หรือนักวิจัยที่คลุกคลีกับการปลูกข้าว สามารถคาดคะเนผลผลิตข้าวจากขนาดของรวงข้าว แต่ไม่สามารถทราบถึงสัดส่วนของเมล็ดดีต่อเมล็ดเสีย หรือ เมล็ดลีบได้

### 2.3.2 การติดตามและประเมินผลผลิตข้าวด้วยการสำรวจระยะไกลจากดาวเทียม

การประเมินผลผลิตข้าวด้วยวิธีนี้ นิยมใช้สำหรับประเมินผลผลิตในระดับภูมิภาค เพื่อวางแผนเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร หรือการปลูกพืชเศรษฐกิจที่เหมาะสมกับสภาพดิน หรือใช้ประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นจากภัยธรรมชาติโดยการคำนวณพื้นที่การเกษตรที่ได้รับผลกระทบ คูณด้วยผลผลิตที่เคยได้รับในพื้นที่ดังกล่าวและคูณด้วยราคาผลผลิตต่อหน่วย ก็จะได้เป็นมูลค่าความเสียหาย ข้อดีของการสำรวจระยะไกลคือ สามารถทำการปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัยอยู่เสมอ เป็นฐานข้อมูลที่ดีสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลัง ข้อเสียคือ สัญญาณภาพที่ได้อาจไม่ครบถ้วนตามที่ต้องการ โดยเฉพาะในฤดูฝนซึ่งเป็นข้อจำกัดสำหรับดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่ใช้เครื่องรับสัญญาณช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นจนถึงคลื่นอินฟราเรด

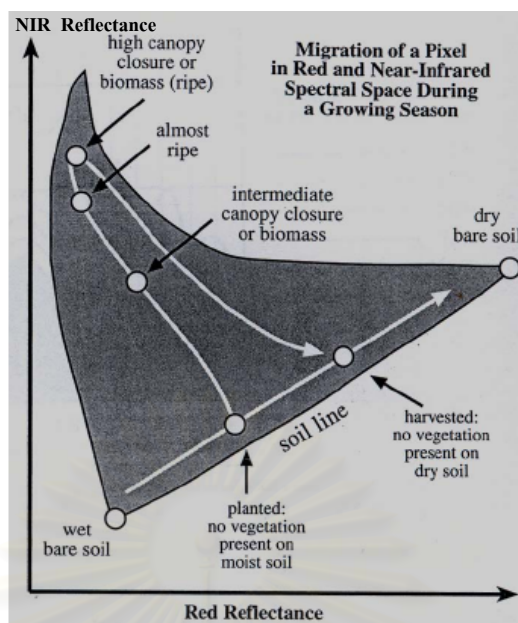
การสะท้อนช่วงคลื่นของพืช ดิน และน้ำ (สุรชัย รัตนเสริมพงศ์, 2536) พืชในช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นคลอโรฟิลล์ของใบพืชดูดกลืนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 450 nm. และ 650 nm. สะท้อนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 500 nm. ตาของมนุษย์มองเห็นใบพืชสีเขียว เพราะใบพืชดูดกลืนแสงสีน้ำเงินและสีแดง และสะท้อนสีเขียว หากว่าใบพืชมีอาการผิดปกติ เช่น แห้งเหี่ยว หรือปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงทำให้การสะท้อนที่คลื่นสีแดงสูงขึ้น ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (700-1,300 nm.) ใบพืชสะท้อนพลังงานสูงประมาณ 50% การสะท้อนพลังงานของพืชที่ความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรดใกล้ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของใบพืช (ภาพที่ 2.2) ที่แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ทำให้สามารถจำแนกชนิดของพืชได้ แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชในช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นจะใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างภายในของเซลล์พืช

ที่มา: R.Jensen (2000)

ในการทำงานเดียวกัน การสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ของพืชที่มีอาการผิดปกติทางใบจะแตกต่างไปจากการสะท้อนที่ความยาวคลื่นเดียวกันของพืชที่สมบูรณ์ ดังนั้นระบบการสำรวจ ข้อมูลระยะไกลที่บันทึกค่าสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้สามารถใช้สำรวจอาการผิดปกติของพืชได้ และในช่วงคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 130 nm. พลังงานส่วนใหญ่ถูกดูดกลืน หรือสะท้อน โดยใบพืชแทบจะไม่มี การทะลุทะลวง มักมีค่าต่ำลงที่ 140, 190 และ 270 nm. เพราะน้ำในใบพืชจะดูดกลืนความยาวคลื่นดังกล่าว เรียกว่า water absorption bands และค่าสูงขึ้นไปในช่วงความยาวคลื่น 160 และ 220 nm. ตลอดช่วงความยาวคลื่นสูงกว่า 130 nm. ค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชแปรผันกับปริมาณน้ำทั้งหมดในใบพืช สำหรับการสะท้อนของดิน มีความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนพลังงานของดินกับความยาวคลื่นมีความแปรปรวนน้อย การสะท้อนของดินนั้นไม่ขึ้นกับความยาวช่วงคลื่น แต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยบางอย่าง เช่น ความชื้นในดิน เนื้อดิน ความขรุขระของพื้นที่ ปริมาณเหล็กออกไซด์และอินทรีย์วัตถุในดิน ปัจจัยดังกล่าวมีความสลับซับซ้อนแปรผันง่าย และมีความเกี่ยวข้องกันเอง เช่น ความชื้นในดินสูง ความขรุขระและอินทรีย์วัตถุในดินสูง ตลอดจนการมีเหล็กออกไซด์ในดิน จะลดค่าการสะท้อนของดินลง เช่นที่ความยาวคลื่นที่ตามองเห็น



ภาพที่ 2.3 พฤติกรรมการสะท้อนของช่วงคลื่นแสงสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอายุพืชและปริมาณน้ำ

ที่มา: R.Jensen (2000)

ในส่วนของการสะท้อนพลังงานของน้ำมีลักษณะที่แตกต่างจากลักษณะของวัตถุอื่นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ สามารถเขียนเส้นขอบเขตของน้ำ (ภาพที่ 2.3) ได้ง่ายคาย น้ำที่ปรากฏบนผิวโลกมีหลายสภาพด้วยกัน เช่น น้ำขุ่น น้ำใส น้ำมีวัชพืชปะปน จะมีค่าแตกต่างกัน บางครั้งพื้นที่ที่รองรับน้ำอาจจะมีผลต่อการสะท้อนพลังงานของน้ำ น้ำใสดูดกลืนพลังงานเล็กน้อยในช่วงคลื่นต่ำกว่า  $0.6 \mu\text{m}$  การส่งผ่านพลังงานจะเกิดขึ้นสูงในช่วงแสงสีน้ำเงินและเขียว แต่น้ำที่มีตะกอนหรือสิ่งเจือปน การสะท้อนและการส่งผ่านพลังงานจะเปลี่ยนไป เช่น น้ำตะกอนดินแขวนลอยจะสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นมากกว่าน้ำใส ถ้ามีสารคลอโรฟิลล์ในน้ำมากขึ้น การสะท้อนช่วงคลื่นสีน้ำเงินจะลดลง และเพิ่มขึ้นในช่วงคลื่นสีเขียว

ตัวอย่างงานวิจัยของ Naikaset (2000) เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลร่วมกับสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการทำนายผลผลิตข้าวที่เกี่ยวเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนของข้าวกับลักษณะของดิน พื้นที่ศึกษารอบคลุมพื้นที่ตอนกลางของประเทศไทย ซึ่งเริ่มทำการปลูกข้าวในช่วงปลายเดือนมิถุนายนถึงปลายเดือนธันวาคม และทำการเกี่ยวเกี่ยวประมาณเดือนพฤศจิกายน มีการหาค่า NDVI จากภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อบ่งชี้ถึงพื้นที่ปลูกข้าวและทำการประมาณผลผลิตข้าวในภาพรวม พร้อมทั้งใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาจากความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear relationship) ในรูปแบบต่างๆ ในการทำนายผลผลิตข้าวในอนาคต



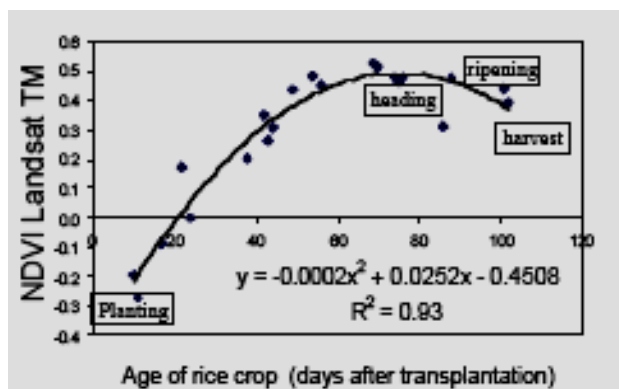
งานวิจัยที่ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียมในการติดตามการเจริญเติบโตของข้าว มักพบปัญหาเกี่ยวกับ ความละเอียดของภาพถ่ายจากดาวเทียมในระบบ active ที่มีความละเอียดค่อนข้างต่ำ เช่น ขนาด 30ม.\*30ม. ต่อหนึ่งจุดภาพ ทำให้เกิดข้อจำกัดในการจำแนกความแตกต่างของพฤติกรรมของข้าวกับวัตถุอื่นๆ ซึ่งไม่ต้องการ แต่ถูกนำมาคำนวณร่วมกับข้าวด้วย ดังนั้นค่าที่ออกมาจึงเป็นค่าเฉลี่ยของพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุทุกประเภทที่อยู่ในกรอบรับสัญญาณ

Y.Oguro และคณะ (2003) ได้ทำการออกแบบจำลองความสัมพันธ์ของพลังงานที่สะท้อนจากน้ำและดินซึ่งปะปนกันอยู่ โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-5 TM และ LANDSAT-7 ETM+ เพื่อจำแนกให้เห็นพฤติกรรมของวัตถุแต่ละประเภทในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าว ดังนี้

1. สมการแปลงค่า DN ของดาวเทียม LANDSAT-5 TM เป็นค่าความหนาแน่นรังสี (radiant flux density; L) ที่สะท้อนจากวัตถุเป้าหมาย  $L = \{(L_{max} - L_{min}) / 255 * DN + L_{min}\} / BW$  หน่วยเป็น  $[W / (m^2 * Sr * m)]$  เมื่อ BW คือช่วงความกว้างของแบนด์จากอุปกรณ์บันทึก (micro meter)  $L_{max}$  และ  $L_{min}$  คือ ค่าความยาวคลื่นสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละแบนด์ ในทางกลับกันสามารถแปลงค่า L เป็นค่า DN ได้เช่นกัน โดยใช้สมการ  $L = \{(L_{max} - L_{min}) / (255 - Q_{min}) * (DN - Q_{min}) + L_{min}\}$  เมื่อ  $Q_{min}$  คือ ค่าระดับความเทาต่ำสุด

2. สมการ mixture model for rice field ซึ่งได้จากภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-5 TM และ LANDSAT-7 ETM+ เพื่อจำแนกค่าการสะท้อนพลังงานกลุ่มวัตถุเป้าหมายแต่ละประเภทในนาข้าว กำหนดให้  $A=1.0$  และ  $B=0.0$  สำหรับก่อนระยะดอกข้าวบาน (flowering) ,  $A=0.5$  และ  $B=0.5$  หลังจากระยะดอกข้าวบาน,  $C=1.0$  และ  $D=0.0$  เมื่อพื้นหลังปกคลุมด้วยน้ำ,  $C=0.0$  และ  $D=1.0$  เมื่อพื้นหลังปกคลุมด้วยดินแห้ง,  $C=0.5$  และ  $D=0.5$  เมื่อพื้นหลังปกคลุมด้วยดินชื้น  $R(\lambda) = [A * R_b(\lambda) + B * R_e(\lambda)] * V_c + [C * R_w(\lambda) + D * R_s(\lambda)] * (V_c - 1)$  เมื่อกำหนดให้  $R_b(\lambda)$ ,  $R_e(\lambda)$ ,  $R_w(\lambda)$ ,  $R_s(\lambda)$  เป็นค่าการสะท้อนของใบข้าว รวงข้าว พื้นน้ำ และพื้นดิน ตามลำดับ และ  $V_c$  คือ สัดส่วนการครอบคลุมพื้นที่ของพืช ซึ่งได้จากการประมาณค่าจากภาพถ่ายที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิตอล

จากผลการศึกษาของ Honda และคณะ (2005) ผลการศึกษาทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงอายุการเจริญเติบโตของข้าว (นับวันหลังจากการปักดำ แทนด้วย x) และค่า NDVI ที่ได้จากภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT TM จากสูตร  $NDVI = (Band4 - Band3) / (Band4 + Band3)$  เมื่อ Band4 คือ NIR และ Band3 คือ RED



ภาพที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าว  
ที่มา: Honda และคณะ (2006)

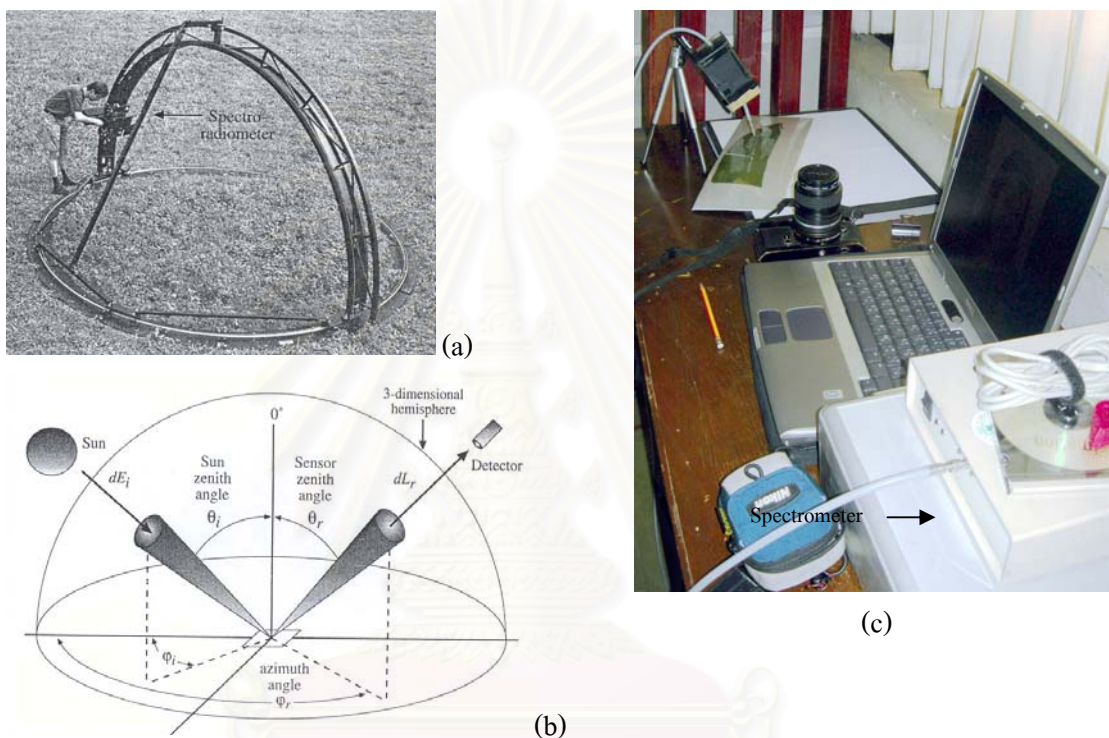
แทนค่าด้วย  $y$  ดังสมการ  $y = -0.0002x^2 + 0.0252x - 0.4508$  ให้ค่า  $R^2 = 0.93$  โดยมีการแบ่งช่วงการเจริญเติบโตออกเป็น 4 ส่วนคือ ระยะปักดำ (planting) ระยะที่ช่อดอกโผล่จากกาบใบ (heading) ระยะเมล็ดสุก (ripening) และระยะสุกแก่พร้อมเก็บเกี่ยว (harvest) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกพื้นที่ปลูกข้าวและพื้นที่ที่ไม่มีการปลูกข้าว โดยศึกษาความเปลี่ยนแปลงของค่า NDVI และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดช่วงการเจริญเติบโตของข้าว และนำค่าปริมาณน้ำฝนสูงสุดในช่วงเวลาของการปลูกข้าวเป็นจุดเริ่มต้นนับวันออกไป 50 วัน จะตรงกับช่วงที่มีการเก็บเกี่ยวเสร็จสิ้นแล้ว และก่อนช่วงปริมาณน้ำฝนสูงสุดประมาณ 30 วัน จะตรงกับระยะที่ช่อดอกโผล่จากกาบใบและเป็นช่วงที่ค่า NDVI ลดต่ำลงจากค่าสูงสุด

### 2.3.3 การติดตามและประเมินผลผลิตข้าวด้วยแบบจำลองทางภูมิศาสตร์

แบบจำลองทำให้เกิดความได้เปรียบในการวางแผนในเชิงเศรษฐกิจ (การส่งออกนำเข้า และราคา) การตั้งรับ หรือแก้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต การทำนายผลผลิตทางการเกษตรยังมีความสำคัญในระดับนานาชาติ ข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย 3 กลุ่มข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลจากการออกภาคสนาม ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล และ ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อใช้สร้างแบบจำลองสภาพแวดล้อมในพื้นที่เพาะปลูก ตัวอย่างแบบจำลองที่ใช้ทำนายผลผลิตข้าว “Simulation Model for Rice-Weather Relationships (SIMRIW)” โดย Horie และคณะ (1987) แบบจำลอง SIMRIW มีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ใช้สำหรับทำนายการเจริญเติบโตของพืชเกษตร และผลผลิต จากภูมิอากาศรายวัน ผ่านความสัมพันธ์อย่างง่าย ซึ่งแบบจำลองจะอธิบายถึงสภาพพื้นที่และความแตกต่างของผลผลิตข้าวเนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน

## 2.4 การสำรวจระยะไกลภาคพื้นดิน

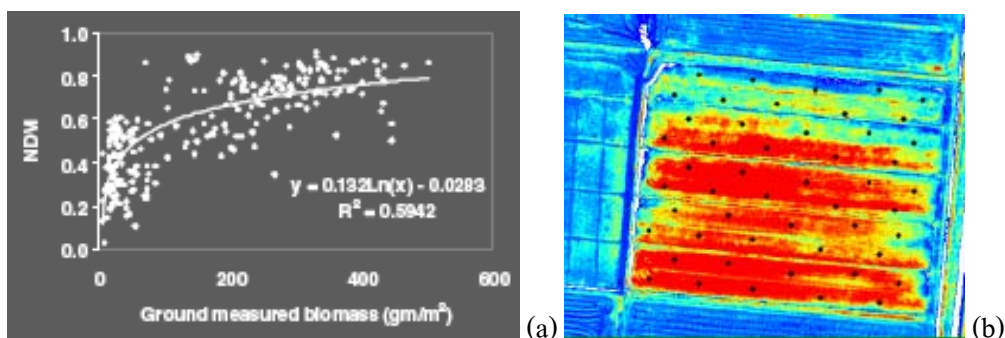
นอกจากการสำรวจระยะไกลจากดาวเทียมแล้วยังมีการสำรวจระยะไกลภาคพื้นดินซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุเป้าหมายมีหลายรูปแบบด้วยกันดังตัวอย่างในภาพที่ 2.4 ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถวัดค่าการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นได้ หรือจะประยุกต์ใช้กล้องถ่ายภาพบันทึกค่าการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 2.5 แสดงการทำงานของเครื่องเรดิโอมิเตอร์ (a และ b) และอุปกรณ์สำหรับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และกล้องถ่ายภาพ (c)

ที่มา: R.Jensen (2000)

Spackman (2006) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับมวลชีวภาพเหนือดิน (ground measured biomass ( $\text{gm}/\text{m}^2$ )) พบว่า ค่า NDVI มีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันกับค่ามวลชีวภาพเหนือดินของข้าว และได้นำเข้าค่ามวลชีวภาพที่ได้จากการประมาณโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศ และค่ามวลชีวภาพจากการแปลงทดลอง คำนวณในแบบจำลอง manage rice เพื่อทำนายผลผลิตของข้าว และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทำนายกับค่าผลผลิตจริงในพื้นที่ (ดังภาพที่ 2.6)



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับมวลชีวภาพเหนือดิน (a) และภาพถ่ายทางอากาศที่ผ่านการผสมสีแล้ว (b)

ที่มา: Spackman (2006)

### 2.4.1 หลักการถ่ายภาพ

การถ่ายภาพ คือการเปิดให้แสงเข้าสู่ฟิล์ม หรือการเปิดรับแสง (exposure) อย่างพอเหมาะพอดี หรือควบคุมให้ผ่านเข้าสู่ฟิล์มในระดับที่ต้องการ โดยใช้กลไกควบคุมปริมาณแสง 2 ชนิด ได้แก่ ช่องรับแสง (aperture) และความไวชัตเตอร์ (shutter speed) ซึ่งกลไกทั้งสองติดตั้งอยู่ในกล้องถ่ายภาพและเลนส์ที่เราใช้ (สุระเดช วงศ์สินหลั่ง, 2541)

### 2.4.2 กลไกสำคัญสำหรับถ่ายภาพ

#### 1. ช่องรับแสง (aperture)

ภายในกระบอกเลนส์บริเวณก่อนไปทางด้านท้ายของกระบอกด้านที่สวมกับกล้องจะมีม่านที่มีลักษณะเป็นกลีบโลหะหลายๆ กลีบ เปิดตัวเป็นรูปร่างกลมติดตั้งอยู่ เรียกม่านนี้ว่า diaphragm การปรับขนาดม่านของช่องรับแสงทำได้โดยการหมุนปรับวงแหวนบนกระบอกเลนส์ ซึ่งมีตัวเลขแสดงขนาดของช่องรับแสง หรือ f/stop หรือ f-numbers หรือใช้ตัวอักษร f หรือ F ก็ได้ ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของช่องรับแสงกับค่า f/stop

ขนาดของช่องรับแสงกว้าง	→	ช่องรับแสงแคบ
f/1...1.4...2...2.8...4...5.6...8...11...16...22...32...		

## 2. ความไวชัตเตอร์ (shutter speed)

ภายในกล้องถ่ายภาพแบบสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว (single lens reflex; SLR) มีกลไกในการเปิดให้แสงผ่านเข้าสู่ฟิล์มซึ่งอยู่ในห้องเก็บทางด้านหลังด้วยชัตเตอร์ ซึ่งสามารถเปิดปิดให้แสงผ่านเข้าสู่ฟิล์มได้ในเวลาที่กำหนด ชัตเตอร์ที่ใช้ในกล้อง SLR 35mm เป็นชัตเตอร์ที่ระนาบฟิล์ม (focal plane shutter) ม้วนเปิดปิดอาจทำจากผ้า หรือ โลหะประกอบกันหลายๆ ชิ้น



(a)



(b)

ภาพที่ 2.7 ม้วนเปิด (b) ปิด (a) ให้แสงผ่านเข้าสู่ฟิล์ม

ระยะเวลาการเปิดปิดม้วนมีหน่วยเป็นวินาที ทั้งจำนวนเต็มวินาทีและเศษส่วนของวินาที ตัวอย่างตัวเลขแสดงระยะเวลาการเปิดปิดม้วน ซึ่งแทนด้วยอักษร  $t$  ดังนี้

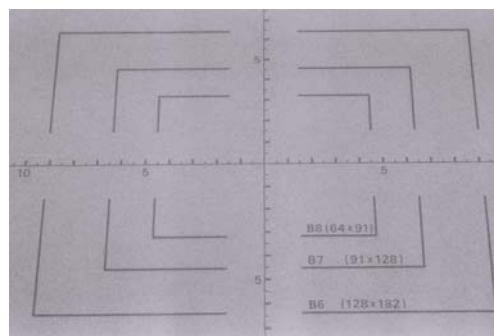
ความไวชัตเตอร์ต่ำ	→	ความไวชัตเตอร์สูง
$t$ 1..1/2..1/4..1/8..1/16..1/30..1/60..1/125..1/250..1/500..1/1000..1/2000		

### 2.4.3 ค่าแสง หรือ exposure value (EV)

ค่าแสงมีความสำคัญยิ่งในการถ่ายภาพเนื่องจากเป็นสิ่งแรกที่นักถ่ายภาพจำเป็นต้องทราบก่อนทำการปรับขนาดของช่องรับแสงและความไวชัตเตอร์ มีค่าตั้งแต่ EV-5 (แสงน้อย) ถึง EV21 (แสงมาก) อุปกรณ์วัดค่าแสงมี 2 ประเภทคือ เครื่องวัดแสงตกกระทบ และเครื่องวัดแสงสะท้อน สำหรับอุปกรณ์วัดแสงภายในตัวกล้องจะเป็นระบบวัดแสงสะท้อน ส่วนเครื่องวัดแสงตกกระทบเป็นอุปกรณ์เสริมแบบพกพา นอกจากนี้ยังมีกระดาศสีเทากลาง (18%) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยวัดแสงที่เครื่องวัดแสงภายในกล้องอ่านค่าแสงสะท้อนได้ 18% ทุกครั้ง กระดาศสีเทากลางเป็นสีเดียวที่เครื่องวัดแสงรู้จักและเป็นค่ามาตรฐานของแสงสะท้อนจากวัตถุทุกชนิด ทำให้ภาพที่ได้เหมือนกับที่ตาเห็นเมื่อถ่ายภาพด้วยค่าแสงที่วัดได้จากกระดาศสีเทากลาง



(a)



(b)

ภาพที่ 2.8 เครื่องวัดแสงตกกระทบ (a) และกระดาษสี่เทากลาง (b)

ทฤษฎีที่ใช้อธิบายหลักการวัดแสงคือ ระบบโซน ซึ่งผู้คิดทฤษฎีนี้ขึ้นมาก็คือ Ansel Adams ท่านได้กำหนดโซนของโทนสีเทาออกเป็น 11 โซน เริ่มตั้งแต่โซน 0 ถึงโซน 10 โดยโซน 5 ก็คือ ค่าสีเทากลาง ที่ใช้เป็นมาตรฐานในเครื่องวัดแสงทั่วไป ซึ่งค่าสีเทากลางนี้จะมีค่าการสะท้อนแสงเท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ ถ้ามีแสงมาตกกระทบเท่ากับ 100 หน่วย แสงจะถูกสะท้อนกลับออกมา 18 หน่วย โดยสีที่จัดอยู่ในโซน 5 ได้แก่ สีเขียวที่ไม่อ่อนหรือแก่จนเกินไป (สีเขียวของใบไม้ ทุ่งหญ้า) สีน้ำตาล (สีเปลือกไม้ ใบไม้แห้ง) สีแดง (สีแดงของดอกไม้ต่าง) สีฟ้า (ท้องฟ้าที่มีสีฟ้าเข้มๆ) จากหลักการดังกล่าวสามารถนำมาใช้สำหรับปรับรูรับแสงให้แคบลง เพื่อให้ได้ภาพที่มีตลงหรือมีสีเทาที่เข้มขึ้น หรือจะปรับรูรับแสงให้กว้างขึ้น เพื่อเพิ่มความสว่างให้กับภาพ นั่นคือเมื่อลดค่าแสงจากเครื่องวัดแสงลง 1 stop จะได้สีเทาที่จัดอยู่ในโซน 4 และถ้าเพิ่มค่าแสงขึ้น 1 stop ก็จะได้สีเทาที่อยู่ในโซน 6 เป็นต้น



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างการแบ่งโซนให้แก่วัตถุภายในภาพ

ที่มา: [www.thailandoutdoor.com/photography/zone/zone.html](http://www.thailandoutdoor.com/photography/zone/zone.html)

#### 2.4.4 วิธีการบันทึกภาพในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ด้วยฟิล์มอินฟราเรด

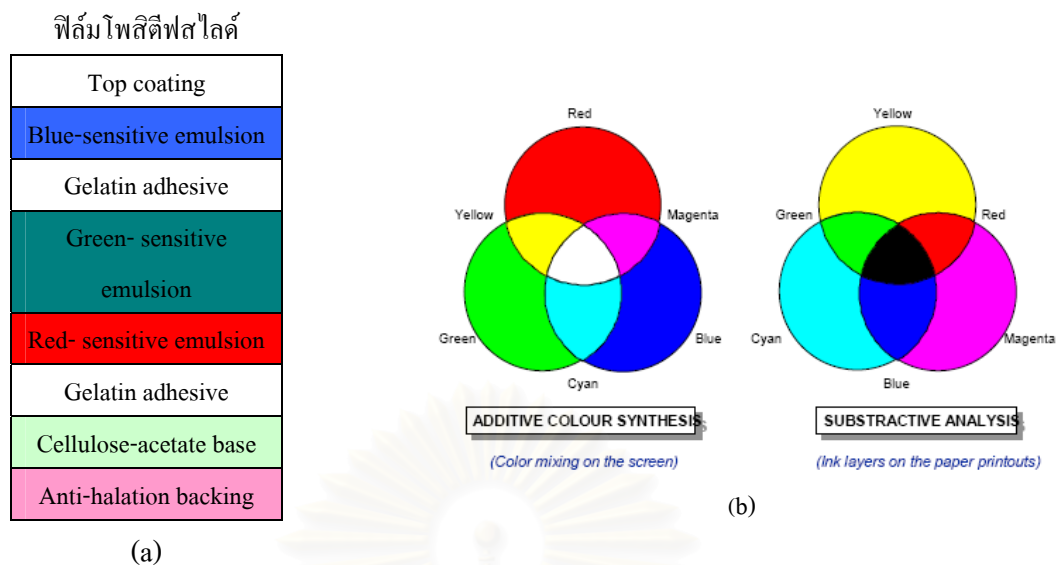
การถ่ายภาพอินฟราเรดใกล้โดยใช้กล้อง SLR ธรรมดา จำเป็นต้องอาศัยฟิล์มพิเศษที่ไวต่อคลื่นแสงที่ยาวกว่าคลื่นแสงที่ตามองเห็นคือ มีความยาวคลื่นมากกว่า 700 nm. ฟิล์มพิเศษนี้ยังไวต่อคลื่นแสงในช่วงอุลตราไวโอเล็ต (UV) ซึ่งมีความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 nm. ในกรณีของฟิล์มโกดัก HIE จะมีความไวแสงในช่วงอินฟราเรดใกล้ไปจนถึงความยาวคลื่นประมาณ 1000 nm. ฟิล์มชนิดนี้สามารถนำไปใช้ในการชันสูตร (forensic applications), การสำรวจป่าไม้และพืช โดยการถ่ายภาพทางอากาศ และการปรับปรุง หรือพิสูจน์ภาพวาด ตัวอย่างฟิล์มที่ใช้ในการถ่ายภาพอินฟราเรดใกล้ (สทอก., 2549) ได้แก่ Kodak high speed infrared (HIE) – black and white film (HIE 135-36), Konica infrared 750 black and white, Ilford SFX 200 – black and white film, Agfa agfapan APX 200S black and white, Kodak ektachrome infrared IE (colour infra-red slide film), Kodak ektachrome professional infrared IER (colour infrared slide film) และ MACO IR 820c - black and white (35mm, 120, 4"x5")

ความแตกต่างของชั้นเคลือบฟิล์มที่ไวต่อช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นและฟิล์มที่ไวต่อช่วงคลื่นอินฟราเรดทำให้เข้าใจถึงความลักษณะพิเศษของฟิล์มแต่ละชนิดดังนี้ (ณรงค์ สมพงษ์, 2545)

ฟิล์มขาวดำ	ฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ	ฟิล์มสี	ฟิล์มอินฟราเรดสี
RGB-sensitive emulsion	NIR-sensitive emulsion	Top coating	Top coating
Cellulose-acetate base	Cellulose-acetate base	Orange masking layer	Blue-sensitive emulsion
Anti-halation layer	Anti-halation layer	Blue-sensitive emulsion	Green- sensitive emulsion
		Green- sensitive emulsion	Red- sensitive emulsion
		Red- sensitive emulsion	Cellulose-acetate base
		Cellulose-acetate base	Anti-halation backing
		Anti-halation backing	

ภาพที่ 2.10 ความแตกต่างของชั้นเคลือบฟิล์มเนกาตีฟที่สร้างภาพจากช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นและคลื่นอินฟราเรดใกล้

ที่มา: นवलจันทร์ เถระพัฒน์ (2538)



ภาพที่ 2.11 ชั้นเคลือบฟิล์มโพลีดีฟสไลด์ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (a) และการผสมสีของคลื่นแสงที่ตามองเห็นและสีภาพที่ได้เมื่อทำการล้างฟิล์มเรียบร้อยแล้ว (b)

ที่มา : นวลจันทร์ เถระพัฒน์ (2538) และ vargasfranco (2007)

### 1. ฟิล์มสีเนกาตีฟ (negative color film)

ฟิล์มสีเนกาตีฟประกอบด้วยเยื่อไวแสง 3 ชั้น ซึ่งมีความไวต่อแสงสีขั้นพื้นฐาน 3 สี คือ ไวต่อแสงสีน้ำเงิน แสงสีเขียวและแสงสีแดง และมีชั้นของฟิลเตอร์สีส้มอยู่ด้านบนเพื่อช่วยแก้ไขสีให้ตรงกับความเป็นจริงมากขึ้น ดังนั้นเมื่อมองภาพบนฟิล์มสีจึงเห็นฐานของฟิล์มเป็นสีส้มตลอดทั้งม้วน ชั้นของเยื่อไวแสงทั้ง 3 ชั้นประกอบด้วย เจลาติน และสารไวแสง (light sensitive material) ได้แก่ เกลือเงินซิลเวอร์เฮไลด์ ในแต่ละชั้น มีความไวต่อแสงในช่วงคลื่นหนึ่งเท่านั้นและสารคู่ควบ (coupler) ซึ่งเป็นสารสีข้อมที่ทำให้เกิดสีในกระบวนการล้างฟิล์มอีกด้วย ตามภาพตัดขวางแสดงชั้นฟิล์มสีเนกาตีฟเมื่อผ่านกระบวนการล้างฟิล์มชั้นที่ไวต่อแสงสีน้ำเงินจะปรากฏเป็นสีตรงข้ามคือ สีเหลือง ชั้นที่มีความไวต่อแสงสีเขียวจะปรากฏเป็นสีตรงข้ามคือ สีม่วงแดง และชั้นที่มีความไวต่อแสงสีแดง จะปรากฏเป็นสีตรงข้ามคือ สีฟ้า ส่วนประกอบอื่นๆ มีส่วนคล้ายคลึงกับฟิล์มขาวดำคือ ชั้นบนสุดทำหน้าที่ป้องกันรอยขีดข่วนบนฟิล์ม ได้เยื่อไวแสงลงมาเป็นฐานฟิล์ม (cellulose acetate base) ทำหน้าที่รองรับเยื่อไวแสง ซึ่งมีความหนามากที่สุด และชั้นล่างสุดคือ anti-halation backing เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงเพื่อป้องกันแสงสะท้อนกลับไปยังเยื่อไวแสงที่อยู่ในชั้นบนอีก ในชั้นของฟิล์มแต่ละชนิดจะมีความหนาประมาณ 2-2.5 ไมครอน และทั้งหมดจะหนาประมาณ 5-10 ไมครอน การผลิตฟิล์มเนกาตีฟแต่ละบริษัทอาจมีความแตกต่างของส่วนประกอบในชั้นสีกันไปบ้าง แต่จะมีการเรียงลำดับชั้นสีทั้ง 3 สีเหมือนกันคือ เป็นเยื่อไวแสงที่ไวต่อสีน้ำเงิน เขียว และแดงตามลำดับ



## 2. फिल्मสีโพสิทีฟ (positive color film) หรือ รีเวอร์ซัลฟิล์ม (reversal color film)

ฟิล์มสีโพสิทีฟ เรียกกันโดยทั่วไปว่า ฟิล์มสไลด์ เป็นฟิล์มสีที่ให้ภาพตรงกับสีธรรมชาติ และภาพบนฟิล์มสามารถดูได้ด้วยการฉายภาพขยายใหญ่บนจอฉายภาพ ฟิล์มสีโพสิทีฟมีโครงสร้างที่ซับซ้อน ประกอบด้วยเยื่อไวแสง 3 ชั้น เช่นเดียวกับฟิล์มเนกาตีฟคือ ชั้นที่ไวต่อแสงสีน้ำเงิน แสงสีเขียว และแสงสีแดง การเกิดภาพในแต่ละชั้น สีที่ผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแล้ว ภาพแฝง (latent image) จะปรากฏเป็นสีตรงตามธรรมชาติเมื่อมองภาพผ่านชั้นสีทั้ง 3 ชั้นรวมกัน ส่วนประกอบของชั้นฟิล์มอื่นๆ ที่เพิ่มขึ้นมา ได้แก่ ชั้นที่เป็นฟิลเตอร์สีเหลืองอยู่ระหว่างชั้นที่ไวต่อแสงสีน้ำเงินและสีเขียว ทั้งนี้เพื่อทำหน้าที่กรองแสงสีน้ำเงินที่ผ่านจากชั้นที่ไวต่อแสงสีน้ำเงินลงมา ก่อนที่จะผ่านไปยังชั้นสีที่ไวต่อแสงสีเขียวต่อไป

### 2.4.5 วิธีการบันทึกภาพในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ด้วยกล้องดิจิทัล

ราคาของกล้องดิจิทัลในปัจจุบัน มีแนวโน้มที่จะลดลง ในขณะที่ฟังก์ชันและความละเอียดของภาพมีคุณภาพมากขึ้น กล้องดิจิทัลสามารถถ่ายภาพอินฟราเรดใกล้ได้ เนื่องจาก CCD (charge coupled devices) ของกล้องดิจิทัล มีความไวต่อช่วงความยาวคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้ CCD ในแต่ละรุ่น จะมีความไวต่อคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้ต่างกัน มีผลทำให้กล้องดิจิทัลมีความสามารถในการถ่ายภาพอินฟราเรดใกล้ต่างกันด้วย สำหรับกล้องดิจิทัลบางรุ่นที่ยังคงมีความไวต่อคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้ สามารถทำการถ่ายภาพในช่วงคลื่นนี้ได้โดยใช้ฟิลเตอร์เพื่อกันแสงช่วงคลื่นอื่นๆ ออก เช่นเดียวกับการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพแบบใช้ฟิล์ม ฟิลเตอร์นี้เรียกว่า “IR pass filter” เนื่องจากฟิลเตอร์ดังกล่าวจะปิดกั้นคลื่นแสงที่ตามองเห็น ไม่ให้ตกกระทบบน CCD ส่งผลให้ความเร็วชัตเตอร์ของการถ่ายภาพลดลงอย่างมาก ดังนั้นการถ่ายภาพอินฟราเรดใกล้ให้ออกมาชัดเจน จึงต้องเลือกสถานที่ และเวลา ที่มีแสงแดดมาก ซึ่งคุณภาพของภาพอินฟราเรดใกล้ที่ได้จากกล้องดิจิทัลขึ้นอยู่กับ ความเร็วของเลนส์ (lens speed), ความไวต่อคลื่นแสงอินฟราเรด (ถูกจำกัดโดย IIRCF: internal IR cut filter) และความสามารถของกล้องที่ถ่ายภาพ ณ ISO ที่ไวแสงสูง

### 2.4.6 อุปกรณ์เสริมในการถ่ายภาพอินฟราเรดใกล้

อุปกรณ์เสริมในการถ่ายภาพอินฟราเรดใกล้ ได้แก่ ฟิลเตอร์ ใช้สำหรับกันคลื่นแสงที่ไม่ต้องการผ่านเข้าสู่ตัวกล้อง โดยจะติดไว้ที่หน้าเลนส์ ในการศึกษาครั้งนี้ต้องการให้คลื่นแสงสีแดงและคลื่นอินฟราเรดใกล้ผ่าน จึงเลือกใช้ฟิลเตอร์ หมายเลข 25 ตามมาตรฐานของ written number ซึ่งเหมาะกับฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ ที่สามารถใช้ได้กับกล้อง SLR และสว่างพอที่จะ

โฟกัสผ่าน viewfinder ได้ อุปกรณ์เสริมอีกอย่างคือ ขาดั้งกล้อง ความเข้มแสงที่ผ่านเข้าสู่กล้องลดลงจากการกั้นคลื่นแสงของฟิลเตอร์ ทำให้ระยะโฟกัสสั้นลงจากการถ่ายภาพปกติ จึงต้องมีการชดเชยระยะโฟกัส รวมถึงการชดเชยแสงให้ over 2.5 ถึง 2.5 stop เปิดหน้าเลนส์กว้าง ถ่ายภาพในช่วงที่มีแสงแดดจัด และตั้งค่า ISO ให้มีความไวแสงต่ำ ประมาณ 50 ดังนั้นการถ่ายภาพอินฟราเรด จำเป็นต้องใช้ขาดั้งกล้องทุกครั้ง



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

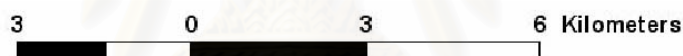
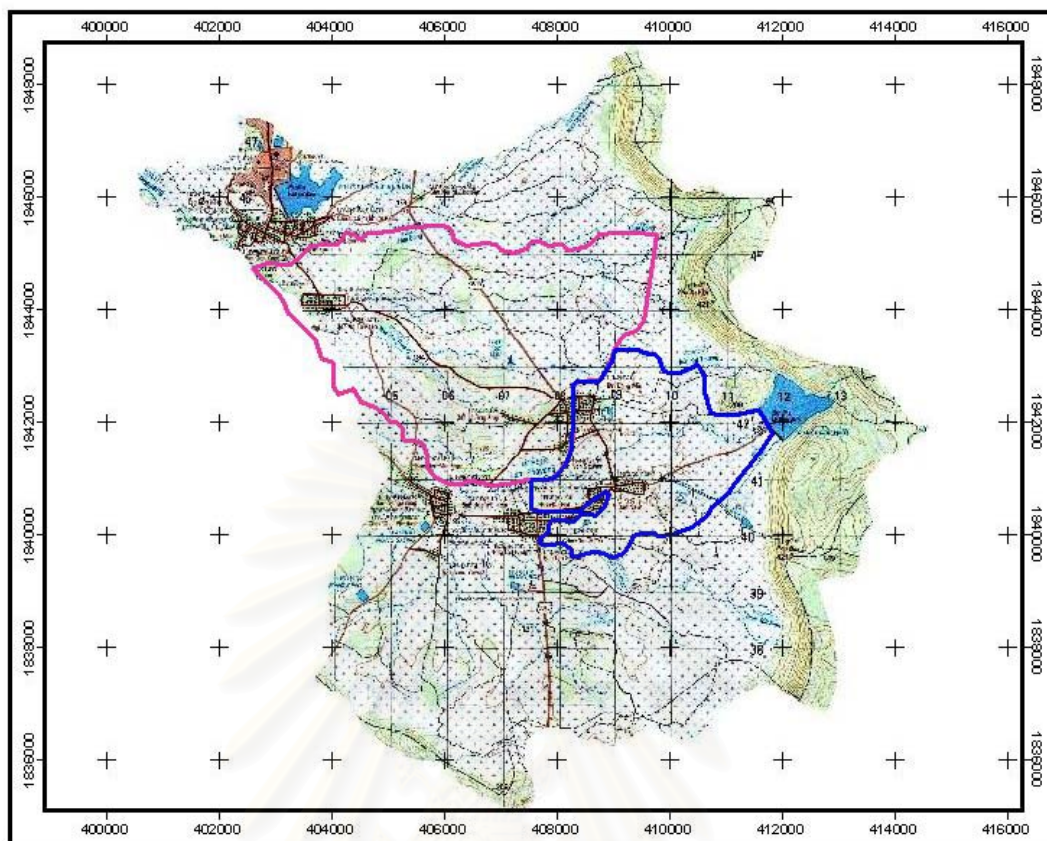
## บทที่ 3

### พื้นที่ศึกษา

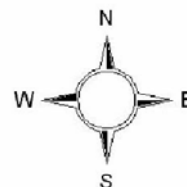
#### 3.1 โครงการพระราชดำรินในพื้นที่ศึกษา

ตำบลคุ้มเก่า และตำบลสงเปลือย อำเภอบางบาล จังหวัดกาฬสินธุ์ ประสบปัญหาขาดแคลนน้ำในการทำเกษตรในช่วงฤดูแล้ง ประกอบกับพื้นที่มีศักยภาพในการจัดสร้างอ่างเก็บน้ำ และการขุดสระกักเก็บน้ำในไร่นา ทำให้เกิดโครงการจากพระราชดำรินของกษัตริย์บาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว 2 โครงการ ได้แก่ โครงการอ่างเก็บน้ำลำพะยังตอนบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ แจกจ่ายน้ำให้เกษตรกรครอบคลุมพื้นที่ 4,600 ไร่ และโครงการขุดสระกักเก็บน้ำตามทฤษฎีใหม่ ที่น้อมนำหลักการเกษตรทฤษฎีใหม่มาปฏิบัติ ครอบคลุมพื้นที่ส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำลำพะยังตอนบน และพื้นที่เกษตรน้ำฝน ซึ่งมีเนื้อที่ประมาณ 12,000 ไร่ วัตถุประสงค์เพื่อความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นของเกษตรกร มีการขุดสระน้ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 ถึง พ.ศ. 2543 รวม 109 สระ โดย 37 สระ อยู่ในเขตพื้นที่รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำลำพะยังตอนบน และ 72 สระ อยู่ในพื้นที่เกษตรน้ำฝนซึ่งเป็นพื้นที่เตรียมรับน้ำจากอุโมงค์ผันน้ำจากอ่างเก็บน้ำห้วยไผ่ (กปร., 2542) ดังภาพที่ 3.1 และมีหลักในการคัดเลือกจุดเก็บตัวอย่างโดยประเมินจากระยะทางระหว่างจุดต้องไม่ห่างกันเกินไปเพื่อให้สามารถทำการเก็บข้อมูลได้ทันตามกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ (12.30 ถึง 14.00 น.) จุดเก็บตัวอย่างต้องประกอบด้วยพื้นที่ที่เข้าร่วมโครงการขุดสระกักเก็บน้ำตามทฤษฎีใหม่ และไม่เข้าร่วมโครงการขุดสระกักเก็บน้ำตามทฤษฎีใหม่ รวมถึงอยู่ในพื้นที่รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำลำพะยังตอนบน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้มีจำนวนจุดเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 6 จุด ดังอธิบายในหัวข้อ 3.2

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



- พื้นที่เกษตรรับน้ำจากอ่างเก็บกักน้ำลำพะยังตอนบน
- พื้นที่เกษตรรับน้ำจากอุโมงค์ผันน้ำห้วยไผ่



ภาพที่ 3.1 ขอบเขตพื้นที่เกษตรรับน้ำจากอ่างเก็บกักน้ำลำพะยังตอนบน (สีน้ำเงิน) พื้นที่ 4,600 ไร่ และพื้นที่รับน้ำจากอุโมงค์ผันน้ำห้วยไผ่ (สีชมพู) พื้นที่ 12,000 ไร่

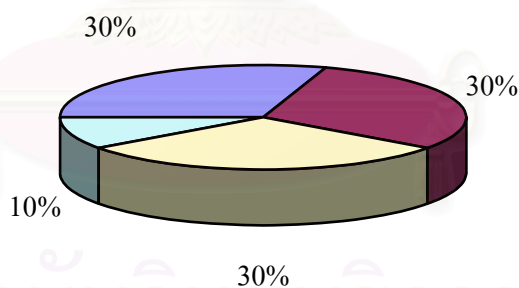
ที่มา: ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4 (2542)

### 3.1.1 โครงการขุดสระกักเก็บน้ำตามทฤษฎีใหม่

วัตถุประสงค์ของโครงการขุดสระกักเก็บน้ำตามทฤษฎีใหม่ เพื่อเป็นการเผยแพร่พระปรีชาสามารถของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ในการพัฒนาพื้นที่ทำการเกษตรที่แห้งแล้งและขาดแคลนน้ำ ให้มีน้ำสำหรับใช้ทำการเกษตรอย่างพอเพียงในเวลาที่ต้องการ โดยวิธีขุดสระกักเก็บน้ำฝนตามรูปแบบวิธีการ “ทฤษฎีใหม่” ที่พระองค์ได้ทรงทดลองที่วัดมงคลชัยพัฒนา อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี โดยหลักการในการทำเกษตรทฤษฎีใหม่คือ การแบ่งพื้นที่ของเกษตรกรที่มีขนาดเล็กออกตามประโยชน์ใช้สอย ทั้งนี้ เพื่อให้เกษตรกรรายย่อยสามารถเลี้ยงตัวเองได้ในระดับที่ประหยัด แต่ต้องมีความสามัคคีในท้องถิ่น ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ช่วยในการพัฒนาประเทศได้อีกทางหนึ่ง โดยมีรายละเอียด 3 ขั้นตอนดังนี้ (กปร., 2542)

#### 1. ทฤษฎีใหม่ขั้นแรก

ศึกษาสภาพภูมิประเทศและคุณสมบัติของดินให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ว่า ดินมีคุณสมบัติอย่างไร เก็บกักน้ำได้หรือไม่ เหมาะสมกับการปลูกพืชชนิดไหน จากนั้นทำการแบ่งพื้นที่ออกเป็นสวนๆ โดยมีหลักเกณฑ์ว่า จะต้องมิน้ำใช้อย่างเพียงพอตลอดปี โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นสัดส่วน 30:30:30:10 ในพื้นที่ประมาณ 15 ไร่



■ นาข้าว ■ พืชไร่และพืชสวน ■ สระน้ำ ■ ที่อยู่อาศัย

ภาพที่ 3.2 สัดส่วนการแบ่งพื้นที่ตามแบบเกษตรทฤษฎีใหม่

จะเห็นว่าพื้นที่ที่ต้องใช้น้ำอยู่ 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ นาข้าว ใช้พื้นที่ประมาณ 5 ไร่ และจากการศึกษาพบว่า จะต้องใช้น้ำประมาณ 5,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และส่วนที่ 2 สำหรับปลูกพืชไร่และพืชสวน ซึ่งใช้พื้นที่ประมาณ 5 ไร่ มีความต้องการน้ำประมาณ 5,000 ลูกบาศก์เมตร

จึงมีความจำเป็นจะต้องมีสระน้ำที่สามารถบรรจุน้ำได้ประมาณ 10,000 ลูกบาศก์เมตร จากการคำนวณพบว่า พื้นที่ประมาณ 3 ไร่ ขุดลึกประมาณ 4 เมตร เป็นปริมาตรประมาณ 19,000 ลูกบาศก์เมตร จะสามารถกักเก็บน้ำได้เพียงพอต่อความต้องการ สำหรับพื้นที่ตามสัดส่วนดังกล่าวมีเหตุผลและหลักการในการใช้ประโยชน์ต่อไปนี้

## 2. ทฤษฎีใหม่ขั้นที่สอง

เป็นการดำเนินการที่เน้นการร่วมมือกันของสมาชิกในชุมชน ซึ่งอาจอยู่ในรูปกลุ่มหรือสหกรณ์ ในขั้นตอนการผลิตและกิจกรรมต่างๆ ของชุมชน เช่น การจัดหาเมล็ดพันธุ์และปัจจัยการผลิตต่างๆ การใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการผลิตร่วมกัน การร่วมกันจัดหา และดูแลบริการพื้นฐานที่จำเป็นต่อการดำรงชีพ เช่น สาธารณสุข วัด โรงเรียน การมีกองทุนที่จะสามารถให้กู้ยืมแก่สมาชิกในชุมชนยาคูกเงินและเพื่อการศึกษาแก่บุตรหลานของสมาชิกในชุมชน โดยมุ่งให้ชุมชนเป็นสังคมที่อบอุ่น มีความรักความเอื้ออาทรต่อกันและกัน นอกจากนี้การรวมกลุ่มกันจะสามารถเพิ่มความสามารถในการต่อรองและลดต้นทุนในการผลิต

## 3. ทฤษฎีใหม่ขั้นที่สาม

การดำเนินการในขั้นนี้ให้ชุมชนเปิดตัวต่อสังคมภายนอก เพื่อเปิดโอกาสให้องค์กรอื่นๆ เช่น บริษัท และธนาคาร ได้เข้ามาให้ความช่วยเหลือด้านการเงินและการตลาดเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิต และให้องค์กรภายนอกได้มีโอกาสซื้อผลผลิตทางการเกษตรในราคาถูก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.1.2 ปฏิทินการปลูกพืช

ตารางที่ 3.1 ปฏิทินการปลูกพืชในพื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำลำพะยังตอนบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่เข้าร่วมโครงการขุดสระเก็บกักน้ำตามทฤษฎีใหม่

มีการขุดสระน้ำ	ปฏิทินการปลูกพืช											
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ข้าวนาปี(1)			●									●
ถั่วลิสง(2)												●
ข้าวโพดหวาน(3)												●
พืชผักรวม(4)		●										●
แตงกวา(5)	●				●							
ถั่วฝักยาว(6)					●				●			
คะน้า(7)									●			●
ไม้ผล(8) เช่น มะม่วง ก่อขวย ฝรั่ง	●	●										
บ่อปลา(9)	●											●

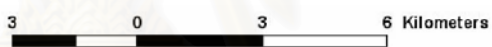
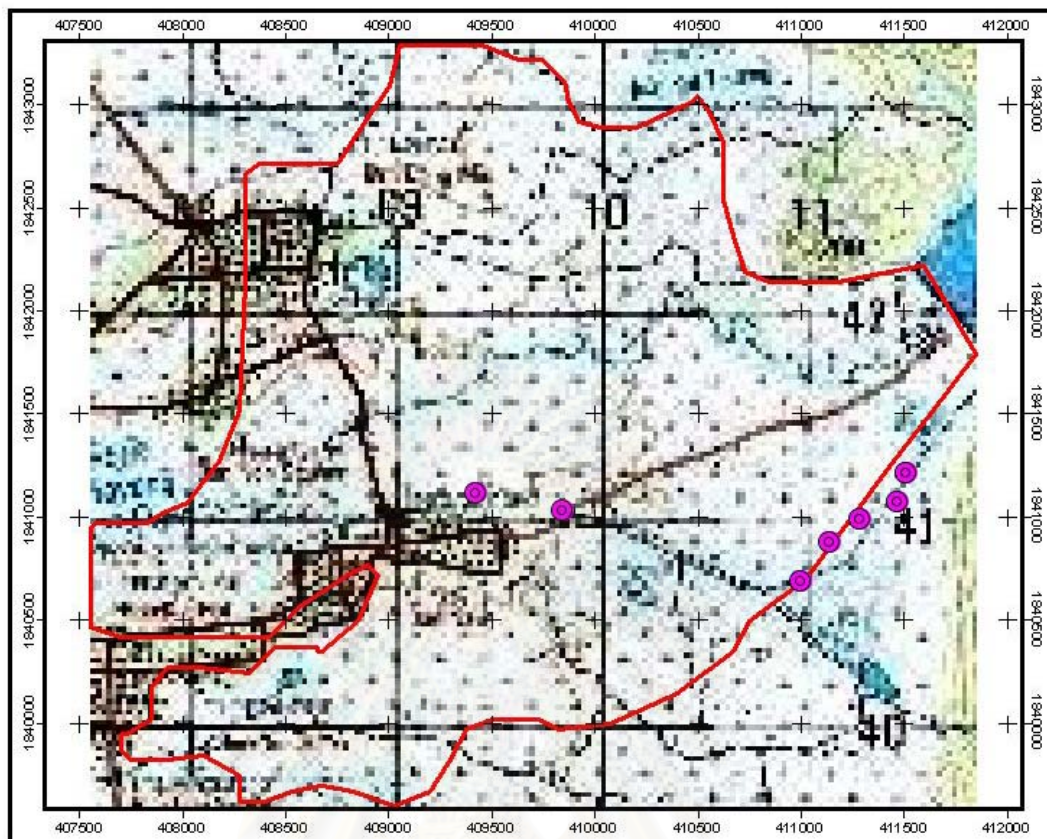
ที่มา: กรมชลประทาน (2545)

### 3.2 จุดเก็บตัวอย่าง

คัดเลือกพื้นที่ปลูกข้าวนาปีพันธุ์ กข.6 จำนวน 6 แปลง ในพื้นที่ ต.สงเปลือย อ.เขาวง สาเหตุที่ต้องระบุพันธุ์ข้าวเนื่องจากในพื้นที่มีการปลูกข้าวมากกว่าหนึ่งชนิด ซึ่งข้าวพันธุ์ กข.6 เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกมากที่สุด โดยแบ่งเป็นพื้นที่เข้าร่วมโครงการขุดสระเก็บกักน้ำตามทฤษฎีใหม่ จำนวน 3 แปลง และพื้นที่ปลูกข้าวนาปีพันธุ์เดียวกัน แต่ไม่เข้าร่วมโครงการจำนวน 3 แปลง ดังนี้

ตารางที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่าง

จุดเก็บตัวอย่าง	พิกัด (UTM)	เข้าร่วมโครงการฯ		พื้นที่ปลูกข้าว กข. (ไร่)	ลักษณะการทำเกษตร
		เข้าร่วม	ไม่เข้าร่วม		
1	48Q 0411464E 1841121N	/		4	เกษตรธรรมชาติ (100%)
2	48Q 0411306E 1844968N		/	2	ฟุ้งพายุอินทรีย์
3	48Q 0411298E 1840971N	/		9	เกษตรธรรมชาติ (50%)
4	48Q 0411122E 1840803N	/		10	เกษตรธรรมชาติ (10%)
5	48Q 0411008E 1840700N		/	4	ฟุ้งพายุอินทรีย์
6	48Q 0409845E 1841029N		/	5	ฟุ้งพายุอินทรีย์



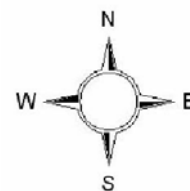
(a)



พื้นที่เกษตรรับน้ำจากอ่างเก็บกักน้ำลำพะยังตอนบน

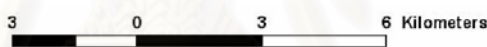
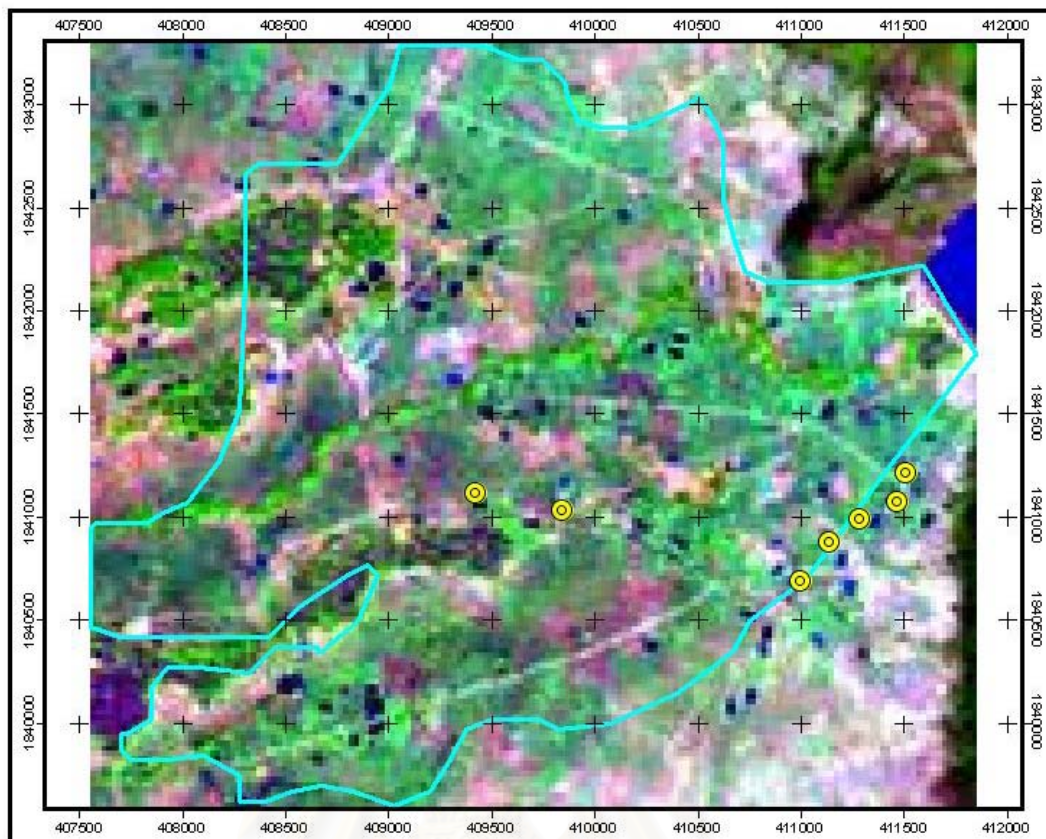


จุดเก็บตัวอย่าง



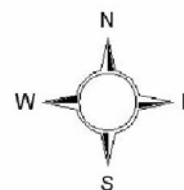
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





(b)

- พื้นที่เกษตรรับน้ำจากอ่างเก็บกักน้ำลำพะยังตอนบน
- จุดเก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 3.3 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง พื้นที่ ตำบลคุ้มเก่า และตำบลสงเปลือย (a) และ (b)   
 ที่มา: วิจัยสถานะแวดล้อม, สถาบัน (2550)

### 3.3 ลักษณะภูมิอากาศ ภูมิศาสตร์ และสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน

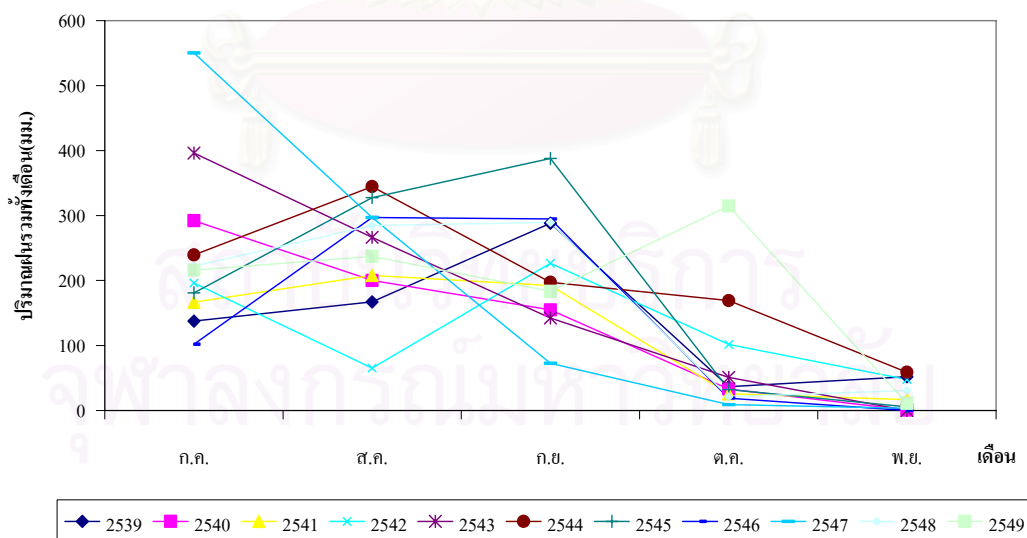
ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยามีความสำคัญต่อการติดตามและประเมินผลผลิตข้าว ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำข้อมูลปริมาณฝนรวมทั้งเดือน น้ำระเหยรายเดือน อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และความเร็วลม จากกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งเป็นข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่ปี พ.ศ.2539-2549 รวม 11 ปี รวมทั้งข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ (พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม และ ศิลปากร, มหาวิทยาลัย, 2542) ในการสร้างแบบจำลองค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากข้อมูล

ดาวเทียม GMS4 ใช้ข้อมูลรายเดือน เป็นเวลา 6 ปี คือ ตั้งแต่ช่วงเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2536 ถึงเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2538 เป็นข้อมูลที่เวลา 9.30, 10.30, 11.30, 12.00, 12.30, 13.30 และ 14.30 น. และ จากดาวเทียม GMS5 ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2536 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2538 และช่วงเดือน มกราคม พ.ศ. 2539 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2540 เป็นข้อมูลที่เวลา 9.30, 10.30, 11.30, 12.30, 13.30 และ 14.30 น. ความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลแต่ละ pixel มีค่าประมาณ 5x5 ตร.กม. แบบจำลองมี พื้นฐานมาจากแบบจำลองของ Nunez ซึ่งเป็นแบบจำลองทางฟิสิกส์ที่ประยุกต์ใช้ได้ทั่วไปโดยไม่ ขึ้นกับเวลาและพื้นที่

สำหรับสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่โครงการขุดสระน้ำตามทฤษฎีใหม่ ซึ่ง ดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ.2538 ถึงปีปัจจุบัน เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ ที่ดินโดยเฉพาะด้านการเกษตร จึงได้นำฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่แสดงแผนที่การใช้ ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ.2538 และแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ.2547 ซึ่งทำการแปลจาก ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat TM ทั้งนี้ได้นำเอาชั้นข้อมูลเส้นชั้นความสูงของพื้นที่ เส้นทางน้ำ และแหล่งน้ำ จากกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม มาร่วมพิจารณาด้วย

## 1. ปริมาณฝนรวมทั้งเดือน

ปริมาณฝนรวมทั้งเดือนในช่วงฤดูการปลูกข้าวในปี

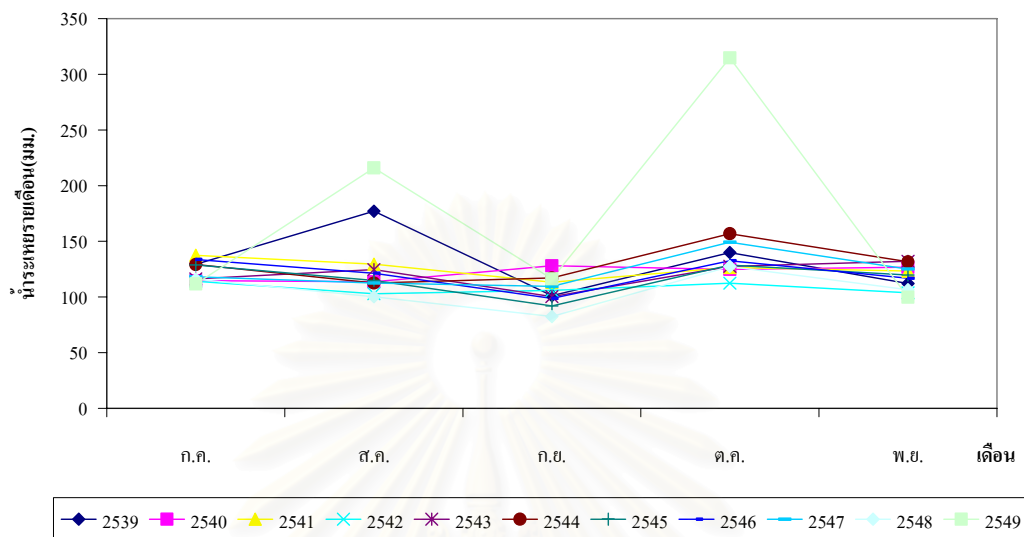


ภาพที่ 3.4 ปริมาณฝนรวมทั้งเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2539-2549

ที่มา: อุทยานวิทยากาฬสินธุ์ (2550)

## 2. นำ้ระเหยรายเดือน

นำ้ระเหยรายเดือนในช่วงฤดูกาลปลูกข้าวหน้าปี

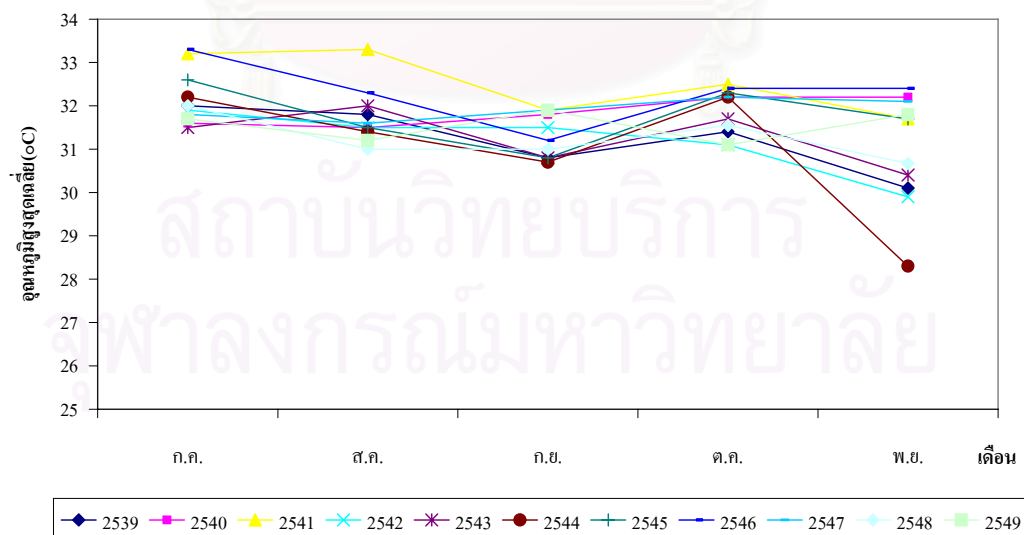


ภาพที่ 3.5 นำ้ระเหยรายเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2539-2549 (ค่านำ้ระเหยรวมทั้งเดือน)

ที่มา: อุทยานวิทยากาฬสินธุ์ (2550)

## 3. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย

อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในช่วงฤดูกาลปลูกข้าวหน้าปี

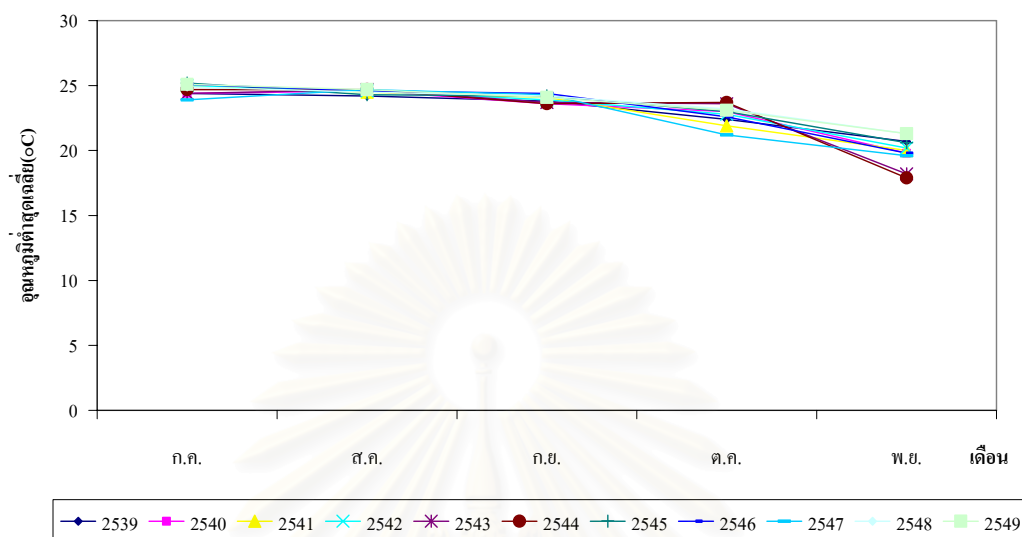


ภาพที่ 3.6 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ.2539-2549

ที่มา: อุทยานวิทยากาฬสินธุ์ (2550)

#### 4 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย

อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในช่วงฤดูกาลปลูกข้าวหน้าปี

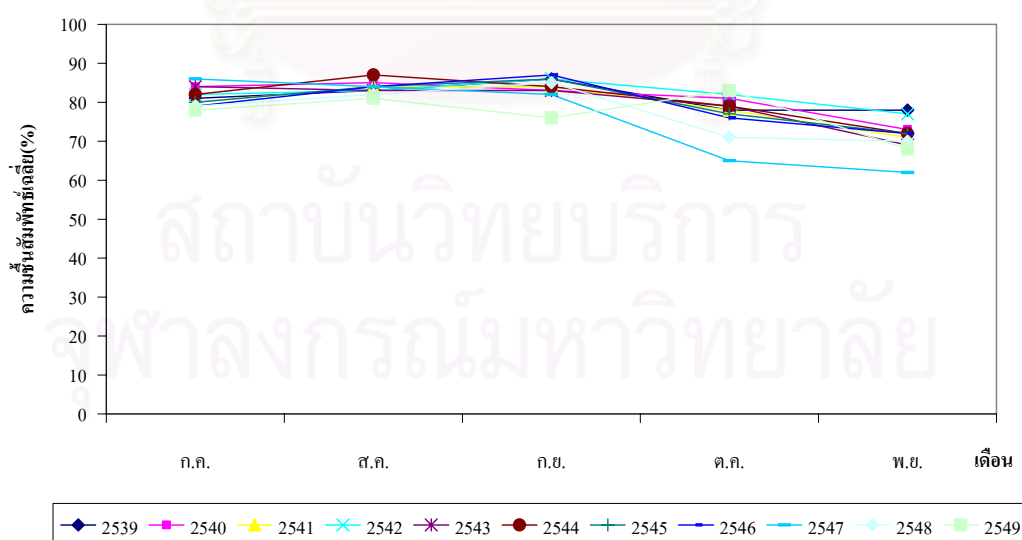


ภาพที่ 3.7 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ.2539-2549

ที่มา: อุทยานวิทยากาฬสินธุ์ (2550)

#### 5. ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย

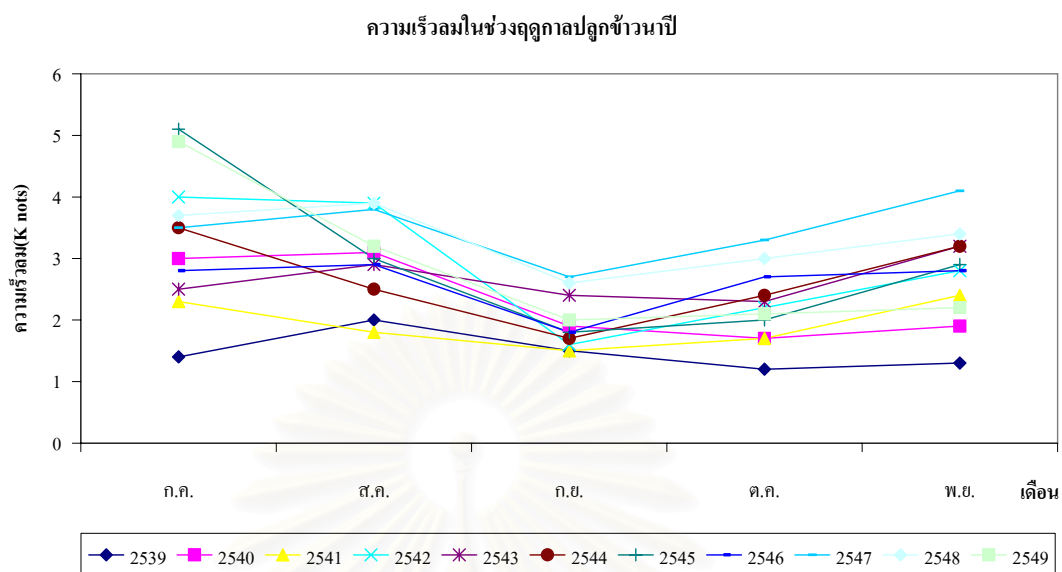
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในช่วงฤดูกาลปลูกข้าวหน้าปี



ภาพที่ 3.8 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ.2539-2549

ที่มา: อุทยานวิทยากาฬสินธุ์ (2550)

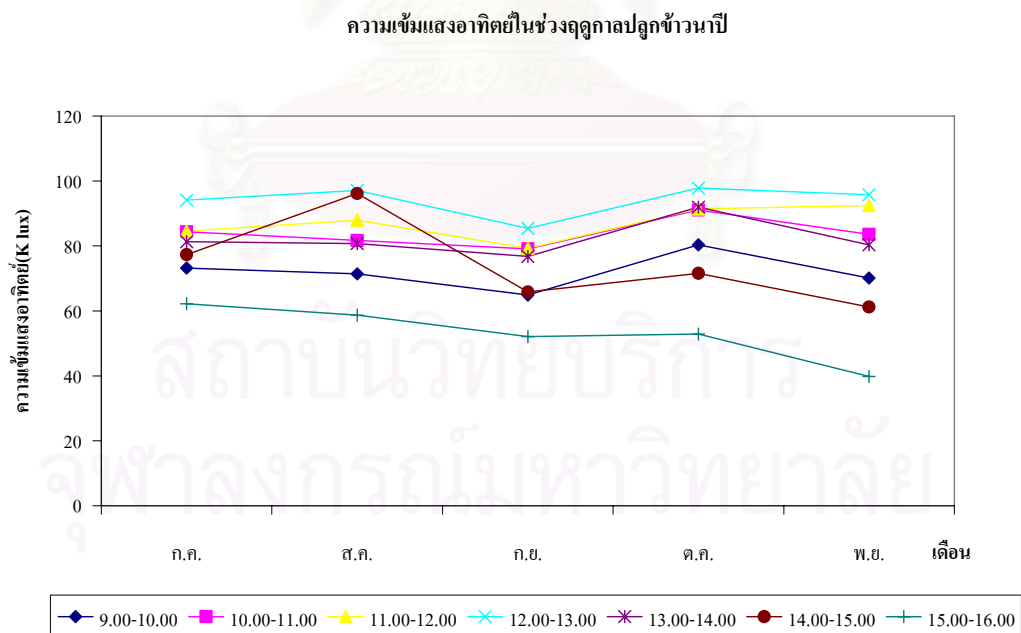
## 6. ความเร็วลม



ภาพที่ 3.9 ความเร็วลมเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ.2539-2549

ที่มา: อุตุวิทยวิทยา, กรม (2550)

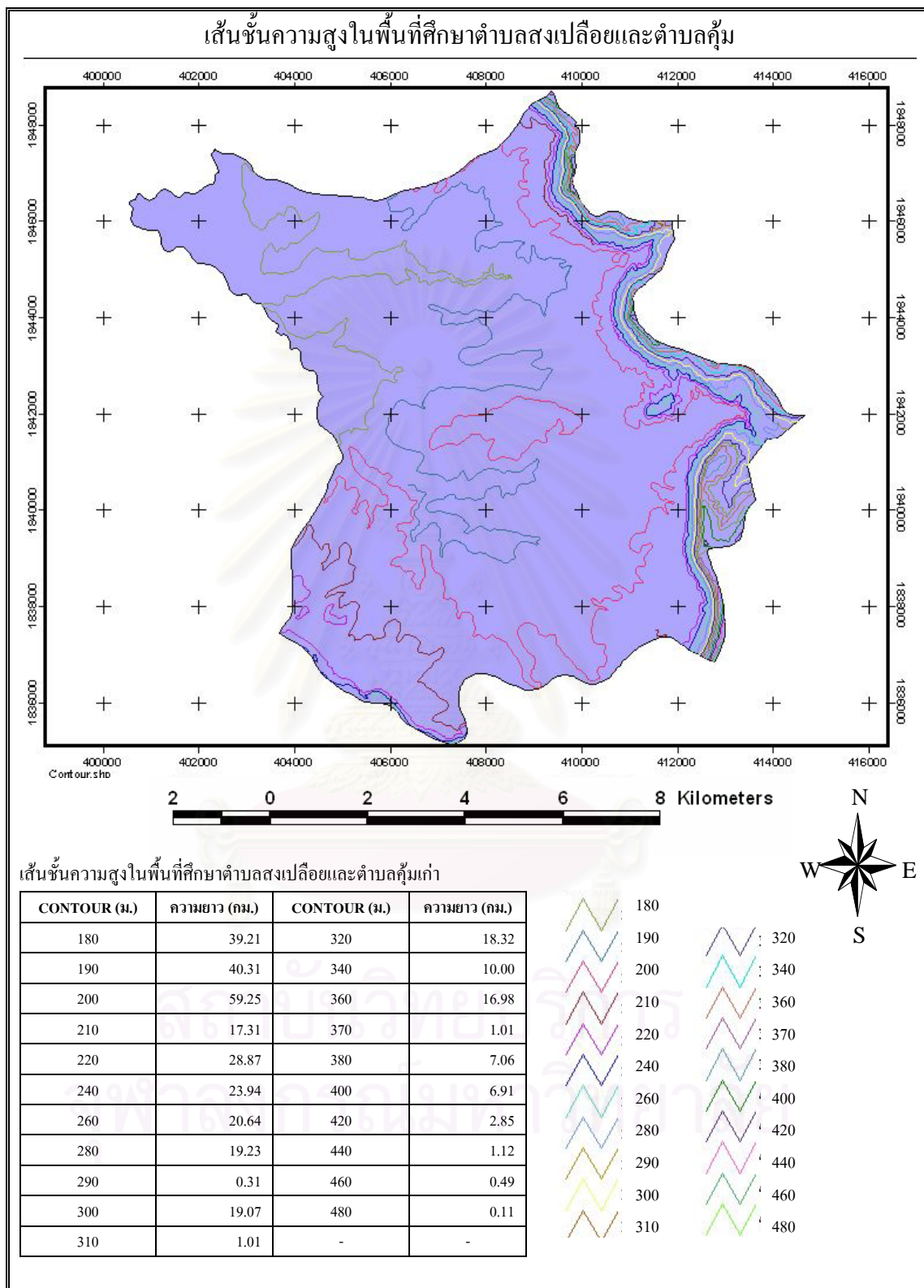
## 7. ความเข้มแสงอาทิตย์



ภาพที่ 3.10 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ.2539-2549

ที่มา: พลังงานทดแทน, กรม (2542)

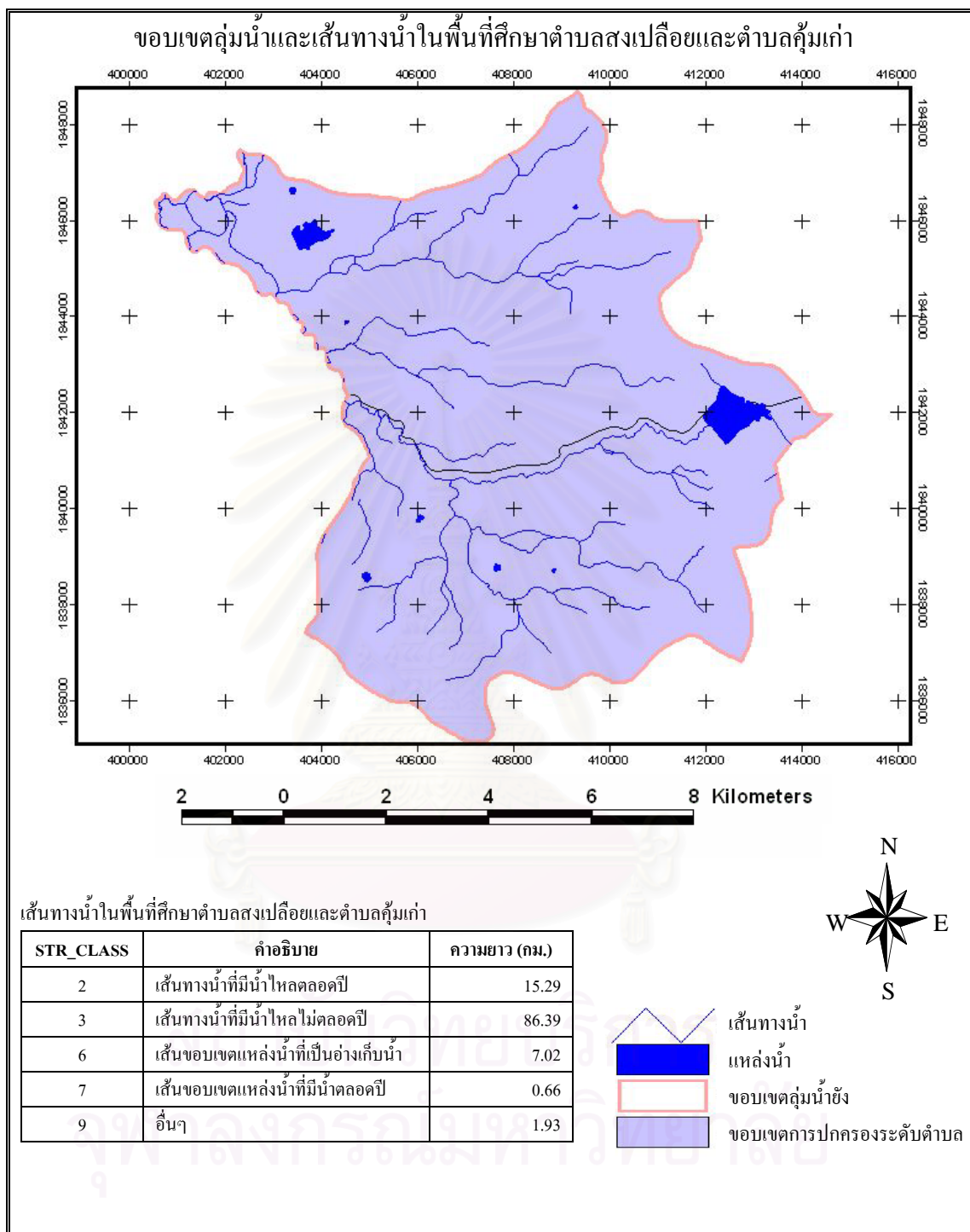
### 8. เส้นชั้นความสูงของพื้นที่



ภาพที่ 3.11 แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง (ม.) ของพื้นที่ตำบลคุ้มเก่า และตำบลสงเปลือย

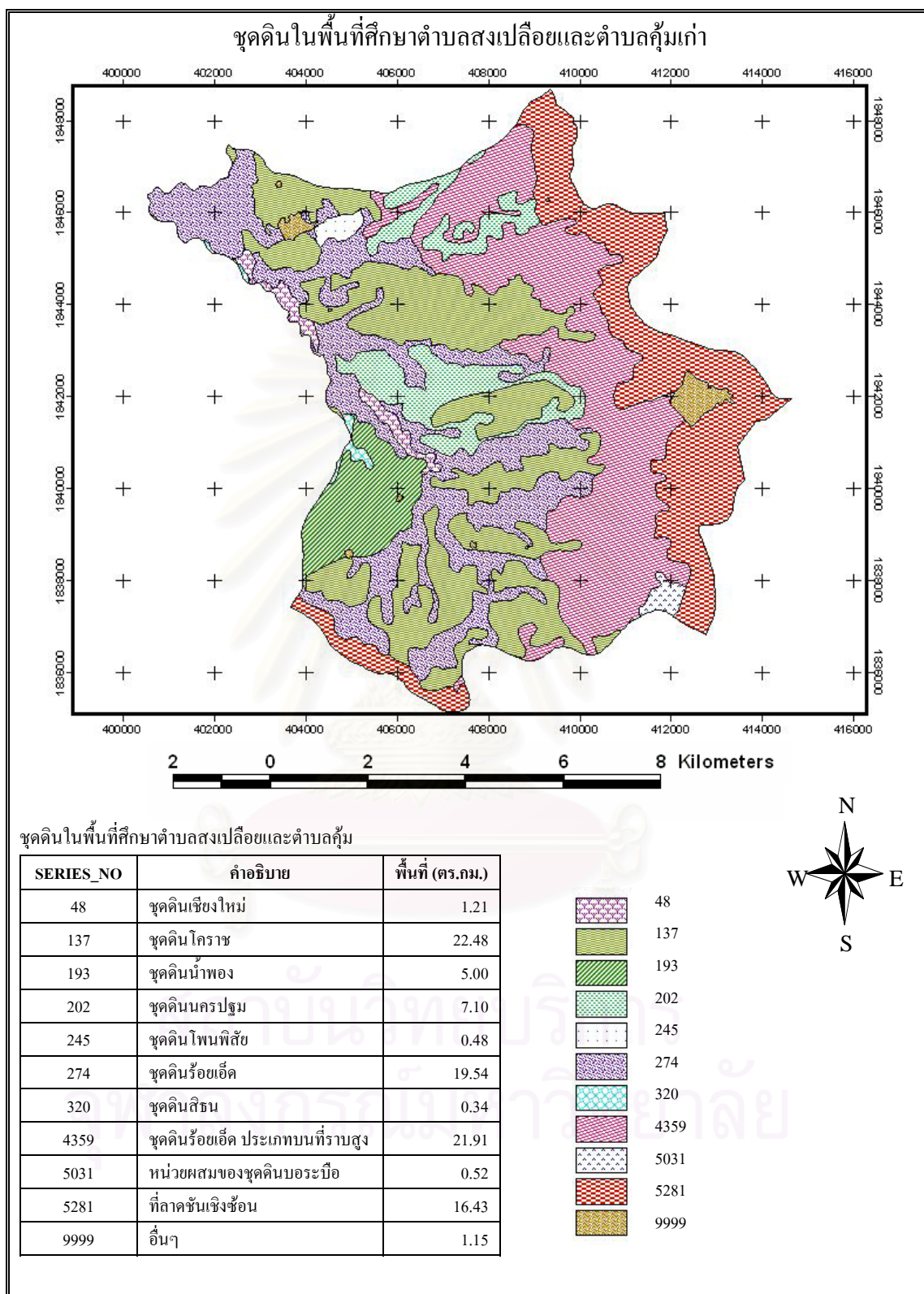
ที่มา: วิจัยสภาวะแวดล้อม, สถาบัน (2550)

## 9. เส้นทางน้ำและแหล่งน้ำ



ภาพที่ 3.12 แผนที่แสดงเส้นทางน้ำและแหล่งน้ำในพื้นที่ ตำบลคุ้มเก่า และตำบลสงเปลือย  
 ที่มา: วิจัยสภาวะแวดล้อม, สถาบัน (2550)

10. ชุดดิน

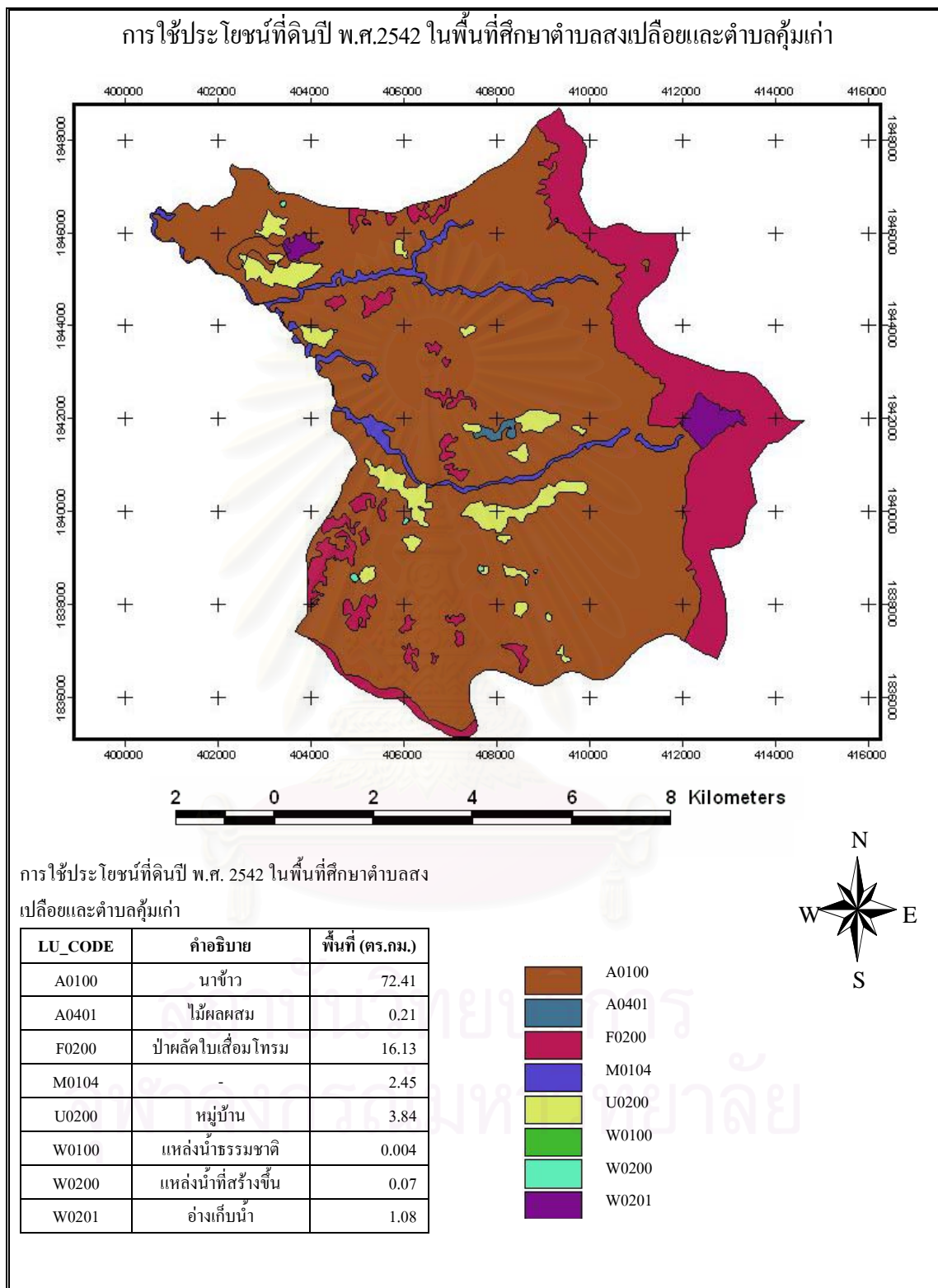


ภาพที่ 3.13 แผนที่แสดงชุดดินในพื้นที่ ตำบลกุ่มเก่า และตำบลสงเปลือย

ที่มา: วิจัยสภาวะแวดล้อม, สถาบัน (2550)

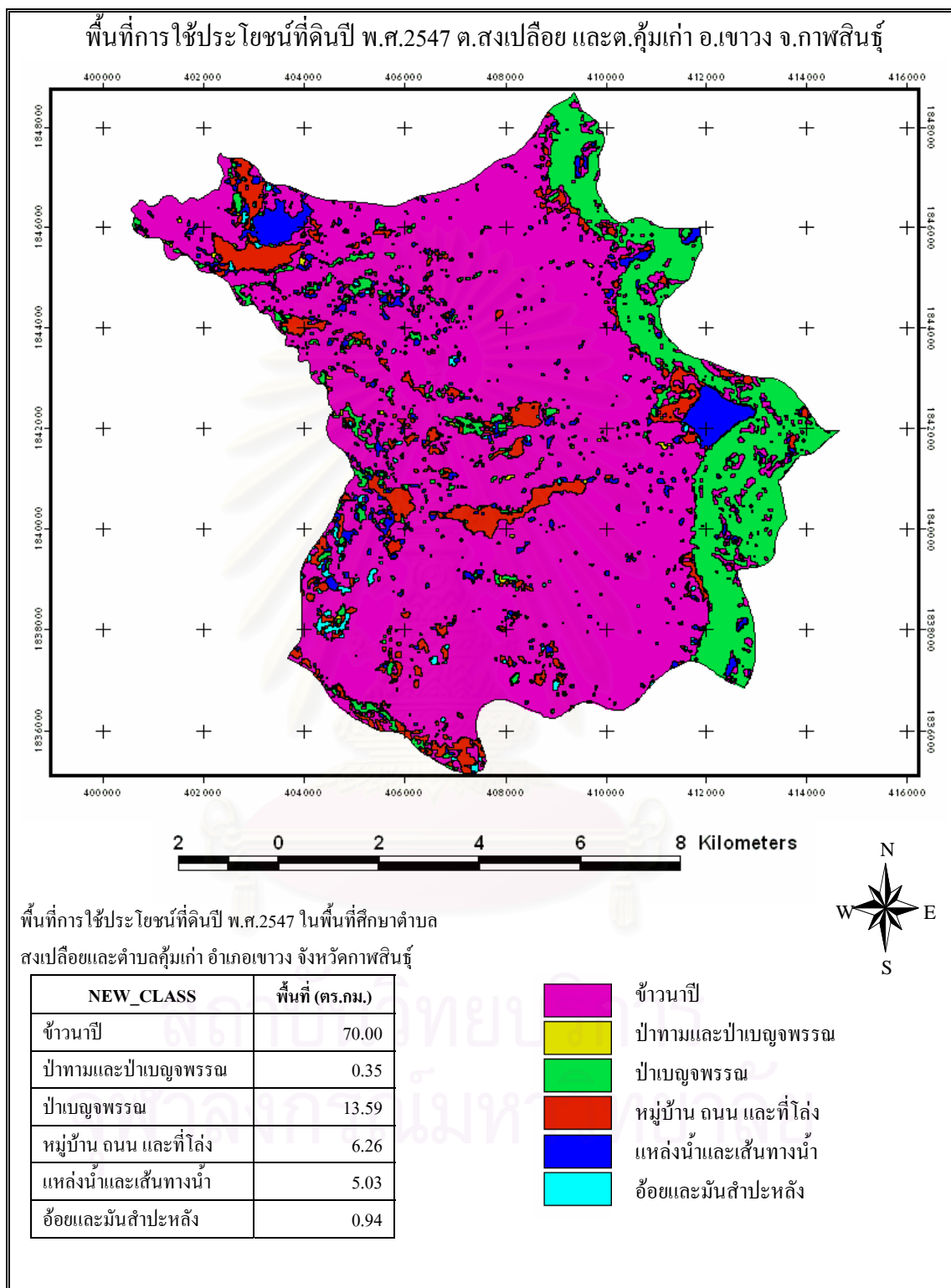


## 11. การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ.2542



ภาพที่ 3.14 แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ.2542 พื้นที่ ตำบลคุ้มเก่า และตำบลสงเปลือย  
 ที่มา: วิจัยภาวะแวดล้อม, สถาบัน (2550)

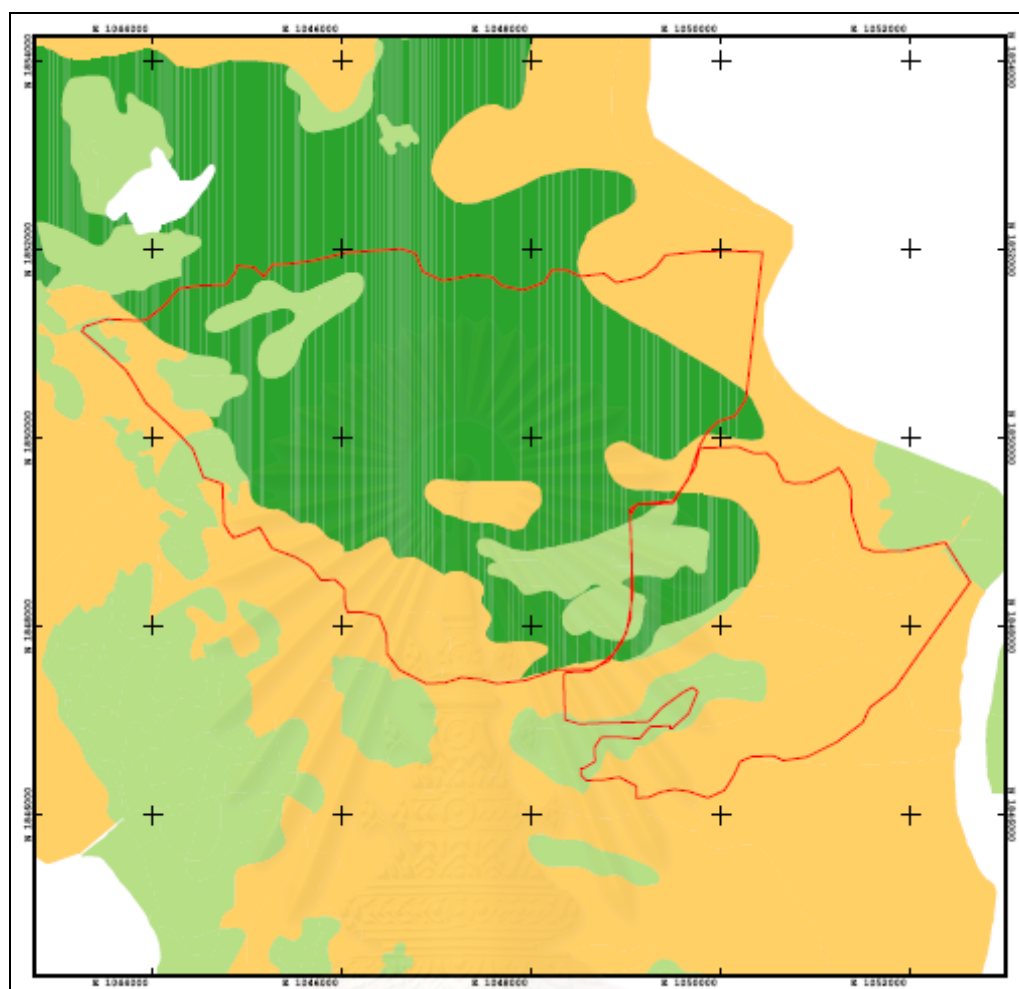
## 12. การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ.2547



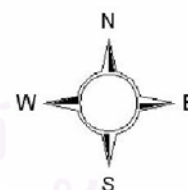
ภาพที่ 3.15 แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ.2547 พื้นที่ ตำบลคุ่มแก้ว และตำบลสงเปลือย

ที่มา: วิจัยสภาวะแวดล้อม, สถาบัน (2550)

### 13. ความเหมาะสมในการปลูกพืชเศรษฐกิจ



- ข้าว
- ข้าวโพด
- พื้นที่ทำเกษตรประเภทอื่น
- พื้นที่โครงการฯ



ภาพที่ 3.16 แผนที่แสดงความเหมาะสมในการปลูกข้าวที่ประเมินจากโปรแกรม AgZone  
 ที่มา: พัฒนาที่ดิน, กรม (2549)

## บทที่ 4

### วิธีการศึกษา

#### 4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

##### 4.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในภาคสนาม

1. กล้องถ่ายภาพแบบเลนส์เดี่ยว (NIKOMAT single-lens reflex camera (SLR))
2. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectra Co-Op Inc; <http://www.spectra.co.jp>)
3. กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
4. फिल्मอินฟราเรดขาวดำ (KODAK PROFESSIONAL High-Speed Infrared Film; HIE) फिल्मอินฟราเรดสไลด์ (KODAK EKTACHROME Professional Infrared EIR Film) फिल्मสไลด์สี (KODAK PROFESSIONAL ELITE Chrome Extra Color 100 Film) फिल्मขาวดำ (KODAK PROFESSIONAL T-MAX 100 Direct Positive Film Developing Outfit)
5. ฟิลเตอร์สีแดง (MARUMI red filter 52 mm. R2; Wratten number 25) ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน (TIFFEN blue filter 52 mm. 80B)
6. อุปกรณ์วัดค่าแสงสำหรับถ่ายภาพ (GOSSEN VARIOSIX F2 light meter)
7. แผ่น color referent charge R031123 by Wolf Faust
8. กระดาษขาว และกระดาษดำ
9. บันได
10. ขาดั่งกล้อง
11. ถุงดำสำหรับประยุกต์ทำเป็นห้องมืดในภาคสนามเพื่อเปลี่ยนฟิล์มอินฟราเรด

##### 4.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์ผล

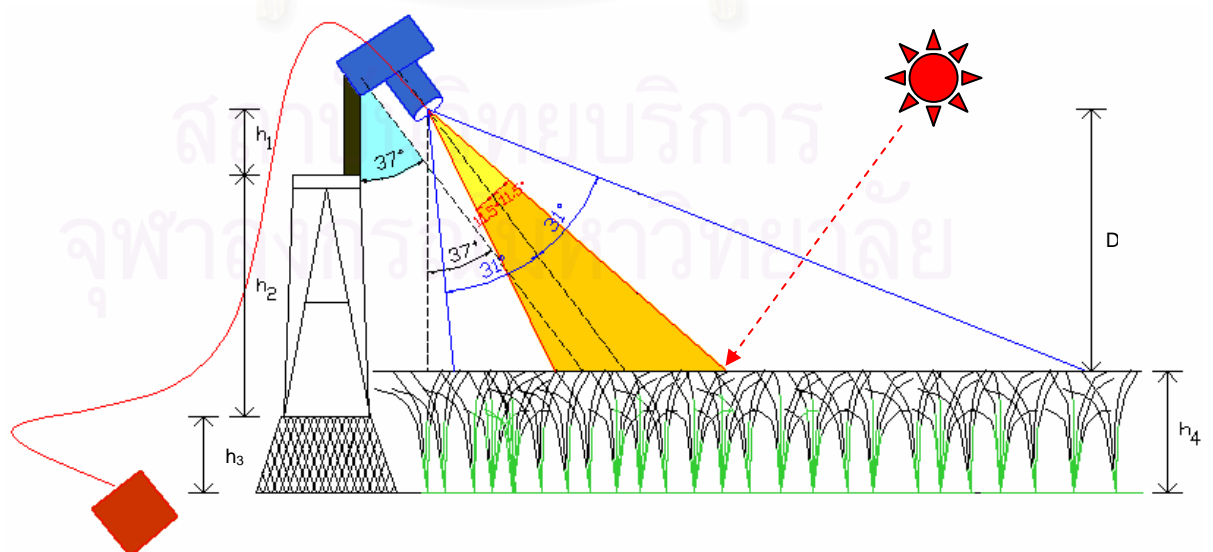
1. ชุดคอมพิวเตอร์
2. โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcView) และข้อมูลการสำรวจระยะไกล (ENVI)
3. โปรแกรม excel

## 4.2 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือ

ก่อนที่จะออกพื้นที่เก็บข้อมูลจริงตามช่วงเวลาที่กำหนด ต้องทำการออกแบบวิธีการเก็บข้อมูลภาคสนามเพื่อให้เกิดความคุ้นเคยกับการใช้เครื่องมือ และทำการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าวิธีการวัดค่าการสะท้อนจากวัตถุเป้าหมายด้วยเครื่องสเปคโตรมิเตอร์ และกล้องถ่ายภาพอยู่ในวิธีเดียวกันทุกครั้ง รวมถึงการกำหนดเวลาในการเก็บตัวอย่างต้องอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันคือ 12.30 – 14.00 น. ซึ่งตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือที่เหมาะสมเป็นดังภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม



ภาพที่ 4.2 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือ



$$A = \pi * \overline{bc} * \overline{ce}$$

กำหนดให้  $\overline{bc}$  และ  $\overline{cf}$  คือ ความยาวแกนเอกของกรอบรับภาพ(cm.) โดยสมมุติให้  $\overline{bc} = \overline{cf}$   
 $\overline{ce}$  คือ ความยาวแกนโทของกรอบรับภาพ(cm.)  
 $A$  คือ พื้นที่รับสัญญาณของเครื่องสเปคโตรมิเตอร์ (cm.<sup>2</sup>)  
 $D$  คือ ระยะห่างจากจากอุปกรณ์รับสัญญาณถึงผิววัตถุ - เป้าหมาย (cm.)

คำนวณหา  $\overline{bc} = \overline{ac} - \overline{ab}$   
 เมื่อ  $\overline{ac} = D(\tan 37)$   
 $\overline{ab} = D(\tan 25.5)$   
 จะได้  $\overline{bc} = D(\tan 37 - \tan 25.5) \dots\dots\dots(2)$

คำนวณหา  $\overline{ec} = \overline{eg}(\tan 11.5)$   
 เมื่อ  $\overline{eg} = D/\cos 37$   
 จะได้  $\overline{ec} = D(\tan 11.5)/\cos 37 \dots\dots\dots(3)$

ดังนั้น  $A = \pi * \overline{bc} * \overline{ce}$   
 เมื่อ  $D = (h_1+h_2+h_3)-h_4$   
 $A = (22/7)(D(\tan 37 - \tan 25.5))(D(\tan 11.5/\cos 37))$   
 $A = 0.2231((h_1+210)-h_4)^2 \dots\dots\dots(4)$

ตารางที่ 4.1 ค่าความสูงที่ใช้ในการคำนวณหากรอบรับสัญญาณของเครื่องสเปคโตรมิเตอร์

จุดเก็บตัวอย่าง	h <sub>1</sub> (cm.)	h <sub>4</sub> (cm.)				h <sub>1</sub> +210 (cm.)	D (cm.)			
		14/09/06	11/10/06	3/11/06	13/11/06		14/09/06	11/10/06	3/11/06	13/11/06
1	25	100	138	150	156	235	135	97	85	79
2	20	117	140	156	152	230	113	90	74	78
3	15	98	118	155	155	225	127	107	70	70
4	60	103	136	152	153	270	167	134	118	117
5	0	107	145	155	156	210	103	65	55	54
6	27	116	146	150	152	237	121	91	87	85

**ตารางที่ 4.2** ค่าความยาวแกนเอกและแกนโทของกรอบรับสัญญาณของเครื่องสเปคโตรมิเตอร์

จุดเก็บตัวอย่าง	$\bar{bc}$ (ความยาวแกนเอกของกรอบรับภาพ(cm.)) เท่ากับ 0.277D				$\bar{ce}$ (ความยาวแกนโทของกรอบรับภาพ(cm.)) เท่ากับ 0.255D			
	14/09/06	11/10/06	3/11/06	13/11/06	14/09/06	11/10/06	3/11/06	13/11/06
	1	37.4	26.9	23.6	21.9	34.4	6.9	6.0
2	31.3	24.9	20.5	21.6	28.8	6.4	5.2	5.5
3	35.2	29.6	19.4	19.4	32.4	7.6	4.9	4.9
4	46.3	37.1	32.7	32.4	42.6	9.5	8.3	8.3
5	28.5	18.0	15.2	15.0	26.3	4.6	3.9	3.8
6	33.5	25.2	24.1	23.6	30.9	6.4	6.1	6.0

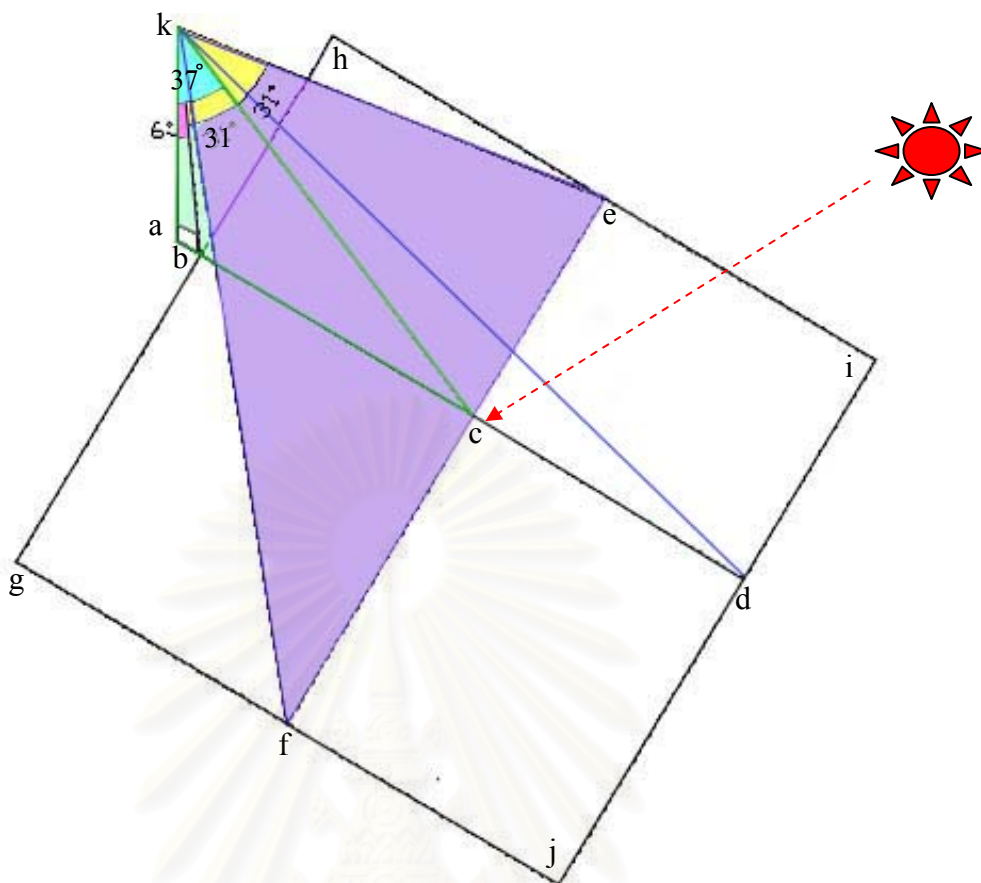
**ตารางที่ 4.3** พื้นที่รับสัญญาณของเครื่องสเปคโตรมิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ

จุดเก็บตัวอย่าง	$((h1+210)-h4)^2$ (cm. <sup>2</sup> )				$A = 0.2231((h1+210)-h4)^2$ (cm. <sup>2</sup> )			
	14/9/06	11/10/06	3/11/06	13/11/06	14/9/06	11/10/06	3/11/06	13/11/06
1	18225	9409	7225	6241	4066.0	2099.2	1611.9	1392.4
2	12769	8100	5476	6084	2848.8	1807.1	1221.7	1357.3
3	16129	11449	4900	4900	3598.4	2554.3	1093.2	1093.2
4	27889	17956	13924	13689	6222.0	4006.0	3106.4	3054.0
5	10609	4225	3025	2916	2366.9	942.6	674.9	650.6
6	14641	8281	7569	7225	3266.4	1847.5	1688.6	1611.9

#### 4.4 การคำนวณหากรอบรับภาพของกล้องถ่ายภาพ

มุมรับภาพของเลนส์ ความยาวโฟกัส 35 มม. มีค่าเท่ากับ 62 องศา หรือ ทำมุมจากจุดกึ่งกลางเลนส์ไปยังขอบรับภาพข้างละ 31 องศา (สมาน, 2549) หรือทำมุมจากกึ่งกลางเลนส์ 31 องศา ซึ่งกรอบรับภาพเป็นรูปวงรีเช่นเดียวกับเครื่องสเปคโตรมิเตอร์ แต่กล้องถ่ายภาพสร้างภาพขึ้นโดยแสงที่ผ่านรูรับแสงเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารเคลือบฟิล์มซึ่งมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังนั้นกรอบภาพที่ปรากฏจะมีรูปร่างแบบเดียวกัน ในที่นี้จึงให้กรอบภาพที่ปรากฏเป็นกรอบรับภาพของกล้องถ่ายภาพ ดังภาพที่ 4.4 และมีวิธีการคำนวณดังนี้





ภาพที่ 4.4 กรอบรับภาพของกล้องถ่ายภาพ

$$A = \overline{hg} * \overline{gj} = \overline{ef} * \overline{bd}$$

- กำหนดให้
- $\overline{A}$  คือ พื้นที่รับภาพของกล้องถ่ายภาพ ( $\text{cm.}^2$ )
  - $\overline{ak}$  คือ ระยะห่างจากจากกล้องถ่ายภาพถึงผิววัตถุเป้าหมาย ( $\text{cm.}$ )
  - $\overline{hg}$  และ  $\overline{ij}$  คือ ความกว้างของกรอบรับภาพ ( $\text{cm.}$ ) และมีค่าเท่ากับ  $\overline{ef}$
  - $\overline{gj}$  และ  $\overline{hi}$  คือ ความสูงของกรอบรับภาพ ( $\text{cm.}$ ) และมีค่าเท่ากับ  $\overline{bd}$

- มุม  $\hat{bkc}$ ,  $\hat{ckd}$ ,  $\hat{fkc}$  และ  $\hat{cke}$  มีค่าเท่ากับ 31 องศา
- มุม  $\hat{akc}$  มีค่าเท่ากับ 37 องศา
- มุม  $\hat{akb}$  มีค่าเท่ากับ 6 องศา
- มุม  $\hat{akd}$  มีค่าเท่ากับ 68 องศา

คำนวณหาค่า

$$\overline{bd} = \overline{bc} + \overline{cd}$$

เมื่อ

$$\overline{ab} = \overline{ak}(\tan 6)$$

$$\overline{ab} + \overline{bc} = \overline{ak}(\tan 37)$$

$$\begin{aligned} \overline{ab} + \overline{bc} + \overline{cd} &= \overline{ak}(\tan 68) \\ \text{จะได้ } \overline{bd} &= \overline{bc} + \overline{cd} = \overline{ak}(\tan 68) - x_3 = \overline{ak}(\tan 68) - \overline{ak}(\tan 6) \\ \overline{bd} &= 2.37 * \overline{ak} \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คำนวณหา} \quad \overline{ef} &= \overline{fc} + \overline{ce} \\ \text{เมื่อ } \overline{fc} &= \overline{kd}(\tan 31) \\ \overline{ce} &= \overline{kd}(\tan 31) \\ \overline{kd} &= \overline{ak}/(\cos 37) \\ \text{จะได้ } \overline{ef} &= 2 * \overline{kd}(\tan 31) \\ \overline{ef} &= 2(\overline{ak}/0.799)(\tan 31) \\ \overline{ef} &= 1.504 * \overline{ak} \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad A_2 &= 4.466D^2 \\ A_2 &= 4.466((h_1+210)-h_4)^2 \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.4 ค่าความสูงที่ใช้ในการคำนวณหากรอบรับภาพของกล้องถ่ายภาพ

จุดเก็บ ตัวอย่าง	$h_1$ (cm.)	$h_4$ (cm.)				$h_1+210$ (cm.)	D (cm.)			
		14/09/06	11/10/06	3/11/06	13/11/06		14/09/06	11/10/06	3/11/06	13/11/06
1	25	100	138	150	156	235	135	97	85	79
2	20	117	140	156	152	230	113	90	74	78
3	15	98	118	155	155	225	127	107	70	70
4	60	103	136	152	153	270	167	134	118	117
5	0	107	145	155	156	210	103	65	55	54
6	27	116	146	150	152	237	121	91	87	85

ตารางที่ 4.5 ความสูงและความกว้างของกรอบรับภาพของกล้องถ่ายภาพ

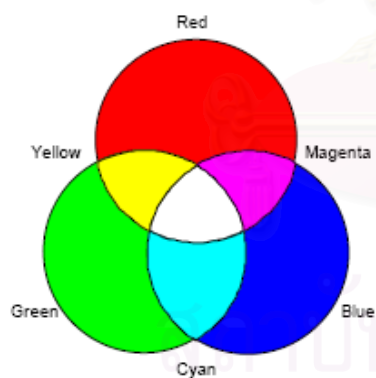
จุดเก็บ ตัวอย่าง	ความสูงของกรอบรับภาพจริง(cm.) = 2.37D				ความกว้างของกรอบรับภาพจริง(cm.) = 1.504D			
	14/09/06	11/10/06	3/11/06	13/11/06	14/09/06	11/10/06	3/11/06	13/11/06
1	320.0	229.9	201.5	187.2	203.0	145.9	127.8	118.8
2	267.8	213.3	175.4	184.9	170.0	135.4	111.3	117.3
3	301.0	253.6	165.9	165.9	191.0	160.9	105.3	105.3
4	395.8	317.6	279.7	277.3	251.2	201.5	177.5	176.0
5	244.1	154.1	130.4	128.0	154.9	97.8	82.7	81.2
6	286.8	215.7	206.2	201.5	182.0	136.9	130.8	127.8

ตารางที่ 4.6 พื้นที่รับภาพของกล้องถ่ายภาพที่ได้จากการคำนวณ

จุดเก็บ ตัวอย่าง	$(h_1+210)-h_4)^2$ (cm. <sup>2</sup> )				$A_2=4.466(h_1+210)-h_4)^2$ (cm. <sup>2</sup> )			
	14/09/06	11/10/06	3/11/06	13/11/06	14/09/06	11/10/06	3/11/06	13/11/06
1	18225.0	9409.0	7225.0	6241.0	81392.9	42020.6	32266.9	27872.3
2	12769.0	8100.0	5476.0	6084.0	57026.4	36174.6	24455.8	27171.1
3	16129.0	11449.0	4900.0	4900.0	72032.1	51131.2	21883.4	21883.4
4	27889.0	17956.0	13924.0	13689.0	124552.3	80191.5	62184.6	61135.1
5	10609.0	4225.0	3025.0	2916.0	47379.8	18868.9	13509.7	13022.9
6	14641.0	8281.0	7569.0	7225.0	65386.7	36982.9	33803.2	32266.9

#### 4.5 การทดสอบคุณสมบัติของฟิลเตอร์และฟิล์ม

ในการศึกษาครั้งนี้ช่วงคลื่นที่ต้องการคือ ช่วงคลื่นแสงสีแดง และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ดังนั้น ฟิลเตอร์จึงเป็นอุปกรณ์สำคัญในการกรองช่วงคลื่นที่ไม่ต้องการออก ซึ่งเป็นดังทฤษฎีการผสมสีของแสง โดยแสงที่มีสีเดียวกันกับฟิลเตอร์จะสามารถส่งผ่านไปได้ และจะกรองเอาแสงสีตรงกันข้ามออก เช่น ฟิลเตอร์สีแดงยอมให้แสงสีแดงและสีรองที่เกิดจากสีแดงผ่าน แต่จะกรองแสงสีเขียว สีน้ำเงิน และสีฟ้าออก ส่วนฟิลเตอร์สีน้ำเงินจะยอมให้แสงสีน้ำเงินและสีรองที่เกิดจากสีน้ำเงินผ่าน แล้วกรองแสงสีแดง สีเขียว และสีเหลืองออก



(a)



(b)

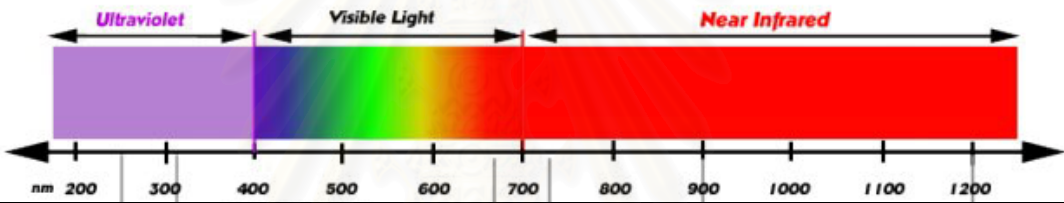
ภาพที่ 4.5 (a) คือผลลัพธ์ที่ได้จากการผสมแสงสีของช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็น และ (b) คือฟิลเตอร์สีแดงและฟิลเตอร์สีน้ำเงิน

ดังนั้น เมื่อนำฟิลเตอร์สีแดงและฟิลเตอร์น้ำเงินมาประกบกัน จะมีเพียงแสงสีรองที่เกิดจากสีน้ำเงินกับสีแดง (แสงสีม่วง) เพียงสีเดียวในช่วงคลื่นแสงสีขาวที่สามารถผ่านได้ รวมถึงช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ที่สามารถส่องผ่านฟิลเตอร์ทั้งสองได้เช่นกัน แต่การเลือกใช้ฟิลเตอร์ต้องสัมพันธ์กับคุณสมบัติของฟิล์มด้วย ในกรณีนี้หากเลือกใช้ฟิล์มที่มีความไวแสงอยู่ในช่วงแสงสีขาวสีของภาพ

โดยรวมจะมีดี เนื่องจากมีแสงส่องผ่านน้อยมาก และถ้าเปลี่ยนมาใช้ฟิล์มที่ไวแสงตั้งแต่ช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นจนถึงอินฟราเรดใกล้ ภาพที่ได้ก็จะจะเป็นภาพที่เกิดจากคลื่นอินฟราเรดใกล้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจกับการทำงานของฟิล์มและฟิลเตอร์ควบคู่กันไป ซึ่งความไวแสงของฟิล์มแต่ละชนิดและช่วงคลื่นที่ยอมให้ส่องผ่านฟิลเตอร์เป็นดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความไวแสงของฟิล์มแต่ละชนิดและช่วงคลื่นที่ยอมให้ส่องผ่านฟิลเตอร์

ฟิล์มและฟิลเตอร์	ความไวแสงของฟิล์มและช่วงคลื่นที่ยอมให้ส่องผ่านฟิลเตอร์
ฟิล์มสไลด์สี	ช่วงความยาวคลื่น 250 ถึง 680 nm.
ฟิล์มขาวดำ	ช่วงความยาวคลื่น 250 ถึง 680 nm.
ฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ	ช่วงความยาวคลื่น 250 ถึง 900 nm.
ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน (no. 80B)	ช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 600 nm. โดยเฉพาะ 400 ถึง 450 nm. ส่องผ่าน
ฟิลเตอร์สีแดง (no. 25)	ช่วงความยาวคลื่น 580 ถึง 900 nm.



The diagram shows the electromagnetic spectrum with three main regions: Ultraviolet (purple), Visible Light (rainbow spectrum), and Near Infrared (red). The wavelength axis is marked in nanometers (nm) from 200 to 1200. The Ultraviolet region is from approximately 100 to 400 nm. The Visible Light region is from approximately 400 to 700 nm. The Near Infrared region is from approximately 700 to 1200 nm.

โดยมีขีดจำกัดของการส่องผ่าน(limit of transmission) ของกระจกซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้สร้างเลนส์ที่ 320 nm. และขีดจำกัดของการส่องผ่านชั้นเจลาติน (gelatin) ซึ่งเป็นสารเคลือบแผ่นฟิล์มที่ 250 nm. ดังนั้นชนิดของเลนส์และสารเคลือบฟิล์มจึงมีอิทธิพลต่อการสร้างภาพเช่นเดียวกัน

ที่มา : <http://www.infraredphoto.co.uk/guide/princip.html>

#### 4.5.1 วิธีการทดสอบคุณสมบัติของฟิลเตอร์และฟิล์ม

การทดสอบครั้งนี้เพื่อหาข้อจำกัดที่เกิดขึ้นจากนำทฤษฎีการผสมแสงของสีมาสู่การปฏิบัติจริง โดยวัตถุประสงค์หลักที่จะทำการถ่ายคือ แผ่น color chart ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เป็นมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบสี ไม่ว่าจะเป็นการเปรียบเทียบสีสำหรับงานพรี้น เพื่อให้ภาพที่ได้มีสีที่ถูกต้อง หรือใช้ในการทดสอบการสร้างสีของฟิล์มแต่ละชนิด รวมถึงการทดสอบกลไกวัดแสงภายในตัวกล้องถ่ายภาพ ในครั้งนี้ใช้ฟิล์มทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ฟิล์มสไลด์สี ฟิล์มขาวดำ และฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ

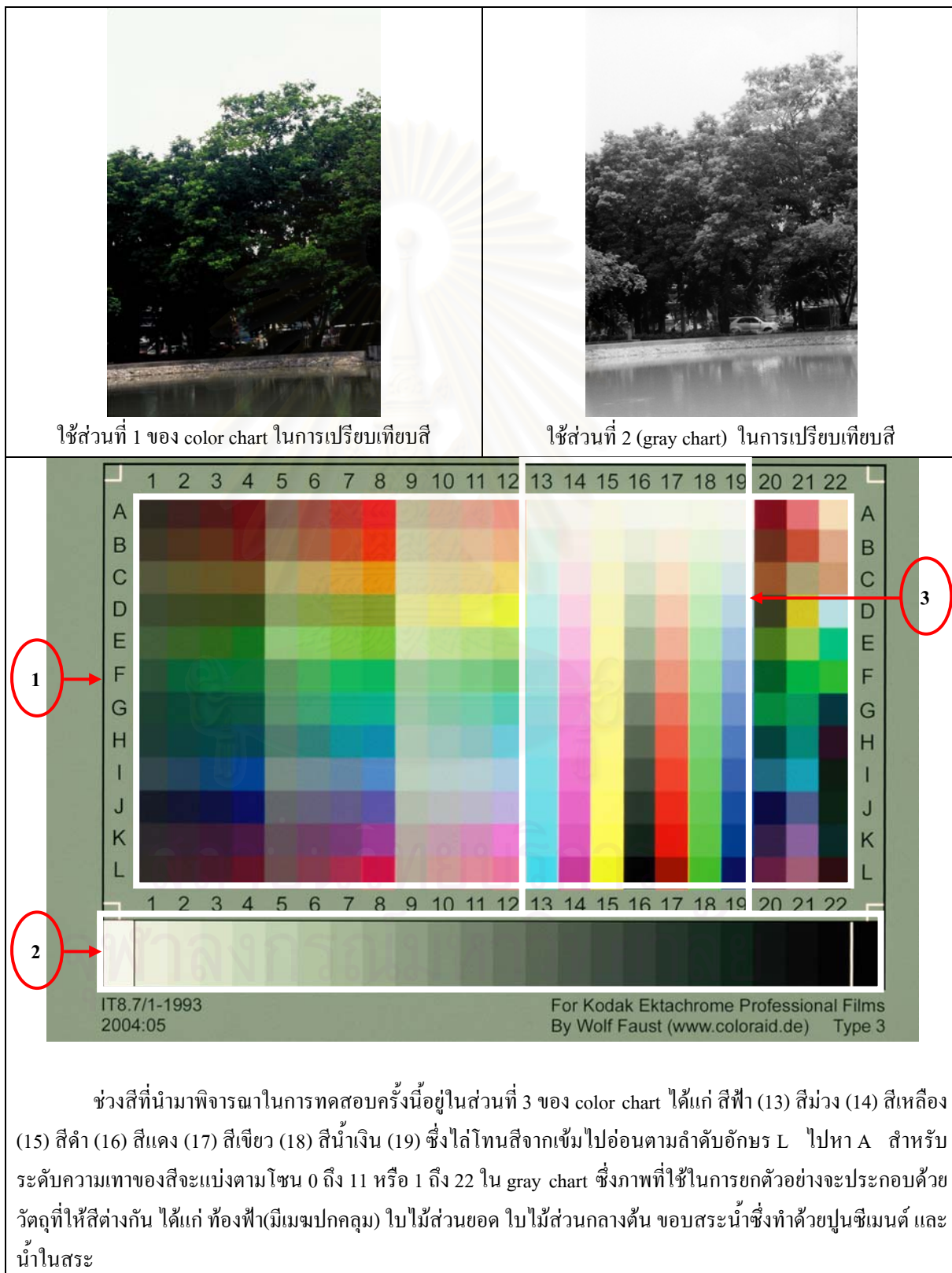
ตารางที่ 4.8 การออกแบบวิธีการถ่ายภาพสำหรับการทดสอบคุณสมบัติของฟิลเตอร์และฟิล์ม

ฟิล์ม	color chart และหย้า	วิว (นำ ต้นไม้ และท้องฟ้า)
ฟิล์มสไลด์สี	ไม่ใช้ฟิลเตอร์	ไม่ใช้ฟิลเตอร์
	ใช้ฟิลเตอร์สีแดง	ใช้ฟิลเตอร์สีแดง
	ใช้ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน	ใช้ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน
	ใช้ฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน	ใช้ฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน
ฟิล์มขาวดำ	ไม่ใช้ฟิลเตอร์	ไม่ใช้ฟิลเตอร์
	ใช้ฟิลเตอร์สีแดง	ใช้ฟิลเตอร์สีแดง
	ใช้ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน	ใช้ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน
	ใช้ฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน	ใช้ฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน
ฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ	ไม่ใช้ฟิลเตอร์	ไม่ใช้ฟิลเตอร์
	ใช้ฟิลเตอร์สีแดง	ใช้ฟิลเตอร์สีแดง
	ใช้ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน	ใช้ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน
	ใช้ฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน	ใช้ฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน

การเปรียบเทียบภาพสีกับภาพขาวดำ สิ่งที่ต้องพิจารณาคือ ระดับความเทา นั่นคือ วัตถุภายในภาพให้สีอะไร และเมื่อทำการถ่ายภาพขาวดำจะมีความเทาระดับใด รวมถึงกรณีที่น่าฟิลเตอร์มาใช้ แสงที่ถูกฟิลเตอร์ดูดกลืนจะทำให้ระดับความเทาที่เข้มข้น ส่วนแสงที่ผ่านฟิลเตอร์ได้ก็จะมีระดับความเทาที่สว่างขึ้น โดยการถ่ายภาพแต่ละครั้งจะทำการวัดค่าแสงแบบเฉลี่ยทั้งภาพ เพื่อปรับขนาดรับแสงและความเร็วในการเปิดรับแสงตามค่าที่เครื่อง light meter อ่านได้ ภาพที่ได้ก็เพื่อให้แสงที่มีความสมดุล ดังตารางที่ 4.9 ถึง 4.12

#### 4.5.2 ผลจากการทดสอบคุณสมบัติของฟิลเตอร์และฟิล์ม

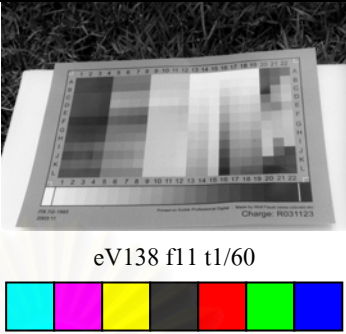

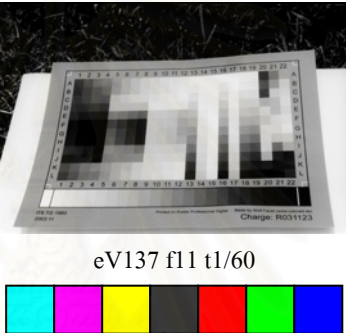
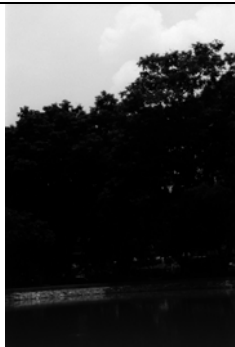
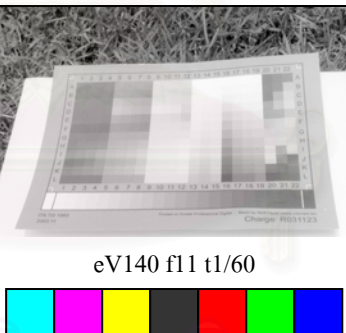

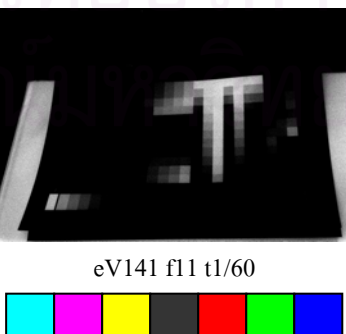

ตารางที่ 4.9 การนำแผ่น color chart หรือ color referent สำหรับใช้ในการเปรียบเทียบการให้ค่าสีของฟิล์มสไลด์และฟิล์มขาวดำ



ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบฟิล์มสไลด์สีและฟิลเตอร์

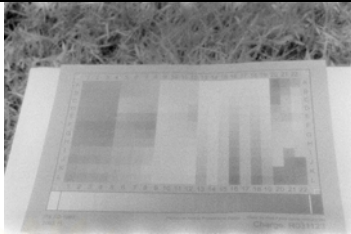


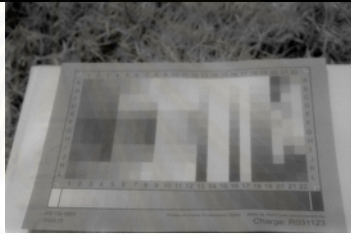


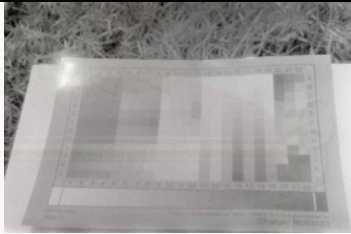


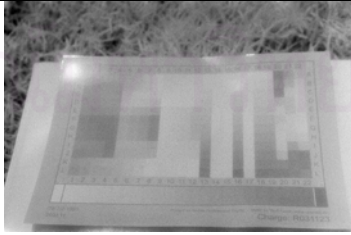

ฟิลเตอร์	ฟิล์มสไลด์สี (ISO 100 กำหนดให้มากกว่าหรือเท่ากับ 1/60)	
	color chart และหญ้า	วิว (น้ำ ต้นไม้ และท้องฟ้า)
<p><u>ไม่ใช้ฟิลเตอร์</u></p> <p>- จะใช้เป็นภาพมาตรฐานในการทดสอบฟิลเตอร์และฟิล์ม</p> <p>- ภาพให้รายละเอียดของเงาในน้ำเล็กน้อย</p>	 <p>eV130 f11 t1/60</p> 	 <p>eV133 f11 t1/60</p>
<p><u>ฟิลเตอร์สีแดง</u></p> <p>- ฟิลเตอร์ยอมให้แสงสีม่วง สีเหลืองและสีแดงผ่าน และกรองแสงสีฟ้า สีเขียว และสีน้ำเงิน</p>	 <p>eV130 f8 t1/60</p> 	 <p>eV133 f11 t1/60</p>
<p><u>ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน</u></p> <p>- การกรองแสงสีแดงและสีเขียวบางส่วนออก สังกะสีของหญ้ามีลดลง และสีผสมของสีแดงและสีเขียว (แถวที่ 1 ถึง 8 ของแผ่น color chart) ให้สีที่มีลดลงเช่นกัน</p>	 <p>eV131 f11 t1/60</p> 	 <p>eV133 f11 t1/60</p>
<p><u>ฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน</u></p> <p>- แสงสีม่วง สีเหลืองและสีแดง ยังคงผ่านเข้าไปได้ และกรองแสงสีน้ำเงินออกจนหมด (เมฆชัดขึ้น)</p>	 <p>eV127 f8 t1/60</p> 	 <p>eV133 f11 t1/60</p>

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบฟิล์มขาวดำและฟิลเตอร์

ฟิลเตอร์	ฟิล์มขาวดำ (ISO 100)	
	color chart และหยู้า	วิว (น้ำ ต้นไม้ และท้องฟ้า)
<p><u>ไม่ใช่ฟิลเตอร์</u></p> <p>- จะใช้เป็นภาพมาตรฐานในการทดสอบฟิลเตอร์และฟิล์มขาวดำ ซึ่งให้ระดับความเทาของ RGB เท่ากัน</p> <p>- ภาพให้รายละเอียดของเงาในน้ำน้อยมาก</p>	 <p>eV138 f11 t1/60</p>	 <p>eV138 f11 t1/60</p>
<p><u>ฟิลเตอร์สีแดง</u></p> <p>- ฟิลเตอร์ยอมให้แสงสีม่วง สีเหลืองและสีแดงผ่าน และกรองแสงสีฟ้า สีเขียว และสีน้ำเงิน โดยแสงสีที่ผ่านเข้ามาได้จะสว่างขึ้น</p>	 <p>eV137 f11 t1/60</p>	 <p>eV139 f11 t1/60</p>
<p><u>ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน</u></p> <p>- ฟิลเตอร์สีน้ำเงินเมื่อใช้กับฟิล์มขาวดำภาพที่ได้จะสว่าง มากกว่าภาพสี คล้ายกับภาพที่ถูกชดเชยแสงให้ over 2 stop เนื่องจากแสงสีแดง และสีเขียวบางส่วนถูกกรองออก ภาพจึงให้ความเปรียบต่างต่ำ</p>	 <p>eV140 f11 t1/60</p>	 <p>eV130 f11 t1/60</p>
<p><u>ฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน</u></p> <p>- แสงสีม่วง สีแดงและสีเหลืองผ่านได้น้อยมาก ซึ่งส่วนที่ผ่านได้เป็นแสงที่ให้สีอ่อน</p>	 <p>eV141 f11 t1/60</p>	 <p>eV130 f11 t1/60</p>



ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบฟิล์มอินฟราเรดขาวดำและฟิลเตอร์

ฟิลเตอร์	ฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ ISO 50 กำหนดให้ f เท่ากับ 5.6	
	color chart และหญ้า	วิว (น้ำ ต้นไม้ และท้องฟ้า)
<p><u>ไม่ใช้ฟิลเตอร์</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ฟิล์มไวต่อช่วงคลื่นที่ตามองเห็น โดยเฉพาะแสงสีแดง และไวต่อช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้</li> <li>- ภาพให้รายละเอียดของเงาในน้ำมากขึ้น</li> </ul>	 <p>eV127 f5.6 t1/125</p> 	 <p>eV129 f5.6 t1/125</p>
<p><u>ฟิลเตอร์สีแดง</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ภาพให้รายละเอียดของเงาในน้ำมากที่สุดและใบไม้สว่างมาก ซึ่งทั้งสองประเด็นเป็นเอกลักษณ์ของภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้</li> <li>- เกิดจากแสงสีแดงและสีรองส่วน กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้</li> </ul>	 <p>eV127 f5.6 t1/125</p> 	 <p>eV128 f5.6 t1/125</p>
<p><u>ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ให้ผลไม่แตกต่างจากภาพที่ถ่ายโดยไม่ใช้ฟิลเตอร์มากนัก แตกต่างที่ให้รายละเอียดของเงาในน้ำมากขึ้น</li> <li>- ภาพเกิดจากช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นที่ไม่ถูกรองโดยฟิลเตอร์สีน้ำเงินผสมกับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้</li> </ul>	 <p>eV128 f5.6 t1/125</p> 	 <p>eV119 f5.6 t1/125</p>
<p><u>ฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ภาพมีความเปรียบต่างของท้องฟ้า ต้นไม้ และน้ำ ในสระ มากกว่าภาพที่ถ่ายโดยใช้ฟิลเตอร์สีแดง และคงเอกลักษณ์ของภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ไว้</li> <li>- ภาพเกิดจากช่วงคลื่นแสงสีแดงและสีรองซึ่งมีความเข้มน้อยมาก ผสมกับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้</li> </ul>	 <p>eV128 f5.6 t1/125</p> 	 <p>eV118 f5.6 t1/125</p>



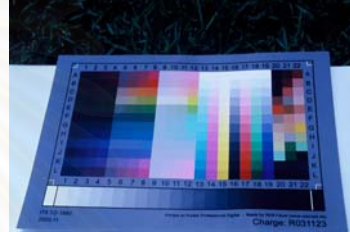

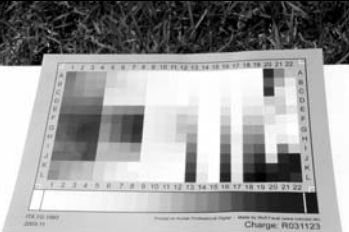
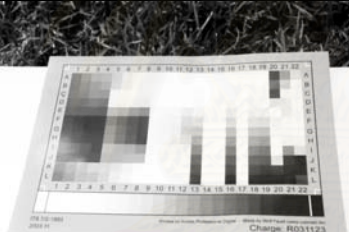
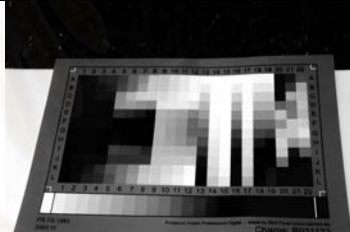
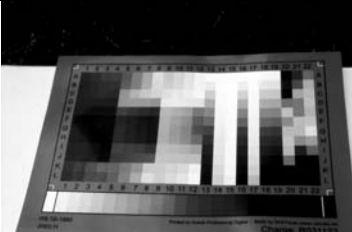
#### 4.6 คุณสมบัติของระบบสแกนสามารถบันทึกภาพที่เกิดจากแต่ละช่วงคลื่นด้วยหลักการเดียวกันกับการบันทึกภาพของฟิล์ม

เมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติของฟิลเตอร์และฟิล์มแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือ การทดสอบคุณสมบัติในการจำแนกค่า DN ที่เกิดจากคลื่นแสง RGB สำหรับฟิล์มสไลด์สีและฟิล์มขาวดำ โดยใช้โปรแกรม ENVI ในการแสดงภาพที่เกิดจากแสงสีแดงและแสงสีรอง (ช่องแสดงภาพ R), แสงสีเขียวและแสงสีรอง (ช่องแสดงภาพ G) และแสงสีน้ำเงินและแสงสีรอง (ช่องแสดงภาพ B) ซึ่งฟิล์มทั้งสองชนิดมีความไวต่อช่วงแสงที่ตามองเห็น จากนั้นทำการเปรียบเทียบภาพต้นฉบับ (ภาพที่ถ่ายโดยใช้ฟิลเตอร์และไม่ใช้ฟิลเตอร์) กับภาพที่ผ่านการแยกค่า DN ของแต่ละช่วงคลื่น เพื่อพิสูจน์ว่าระบบสแกนสามารถบันทึกภาพที่เกิดจากแต่ละช่วงคลื่น โดยใช้หลักการเดียวกันกับการบันทึกภาพของฟิล์ม ให้ผลดังตารางที่ 4.13 ถึง 4.16

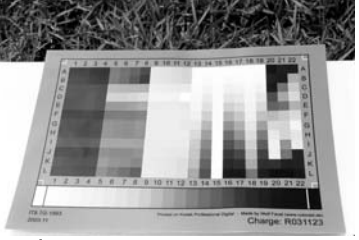
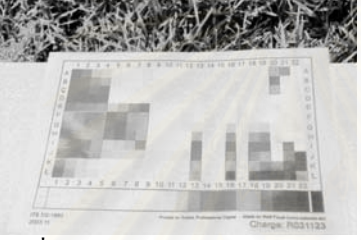
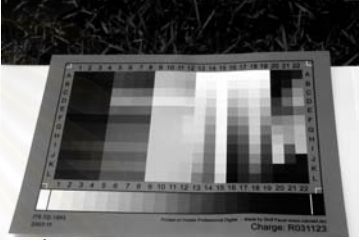
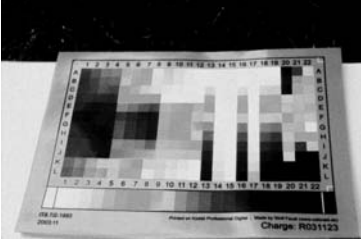
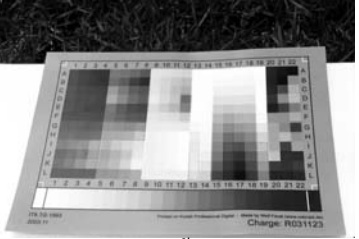
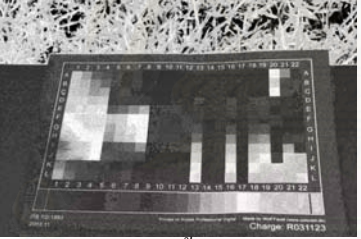




สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

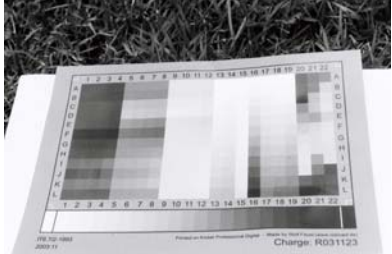


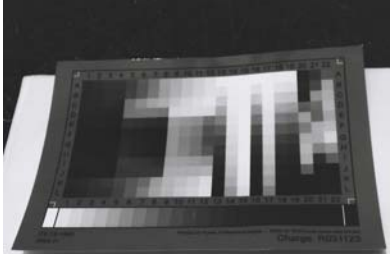
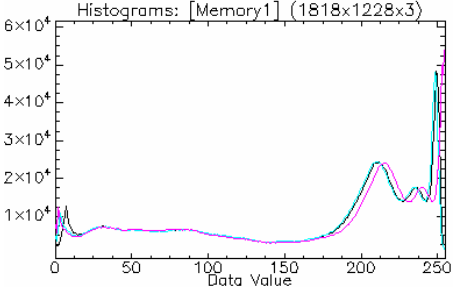
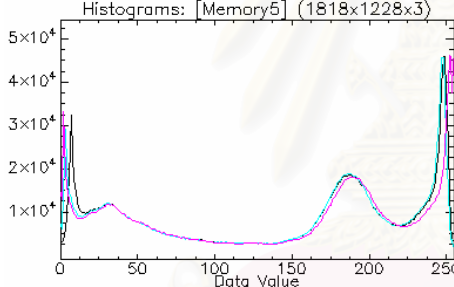
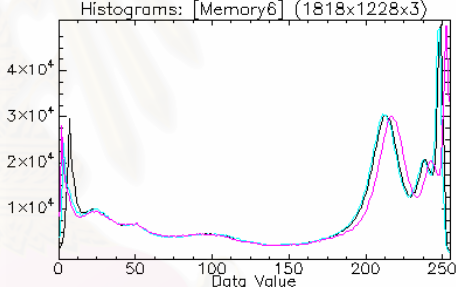
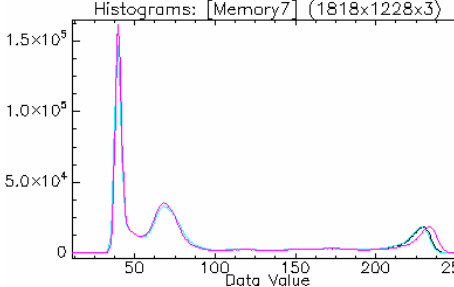
ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบการแสดงผลภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นต่างๆ ที่ส่องผ่านฟิลเตอร์แต่ละประเภท กรณีถ่ายโดยใช้ฟิล์มสไลด์สี

ชนิดภาพ	ไม่ใช้ฟิลเตอร์	ใช้ฟิลเตอร์สีแดง	ใช้ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน	ฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน
ต้นฉบับ RGB	 ไม่มีการกรองแสงใดๆ	 กรองแสงสีฟ้า สีเขียวและสีน้ำเงิน	 กรองแสงสีแดงและสีเขียวบางส่วน	 กรองแสงสีฟ้า สีเขียว และสีน้ำเงิน
ช่องแสดงภาพ R	 ภาพที่เกิดจากแสงสีแดงและแสงสีรอง (สีเหลืองและสีม่วง)	 ภาพที่เกิดจากแสงสีแดงและแสงสีรอง (สีเหลืองและสีม่วง)	 ภาพที่เกิดจากแสงสีแดงและแสงสีรอง (สีเหลืองและสีม่วง) ส่วนที่ไม่ถูกกรอง	 ภาพที่เกิดจากแสงสีแดงและแสงสีรอง (สีเหลืองและสีม่วง) ส่วนที่ไม่ถูกกรอง


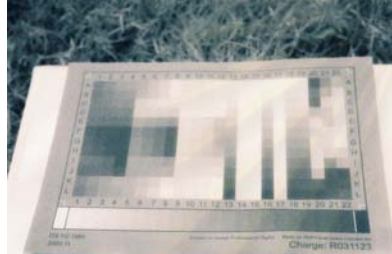

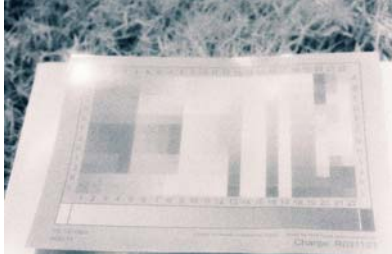
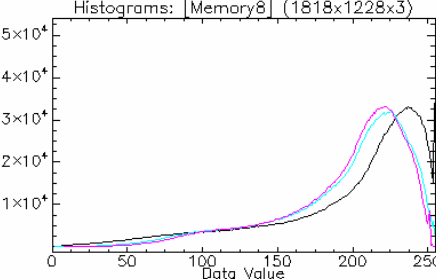
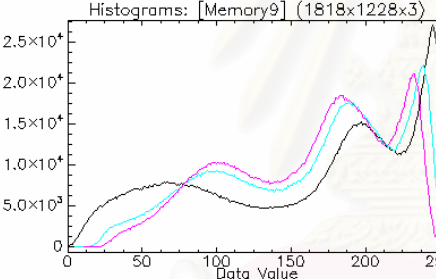
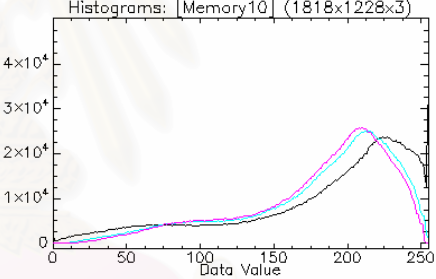
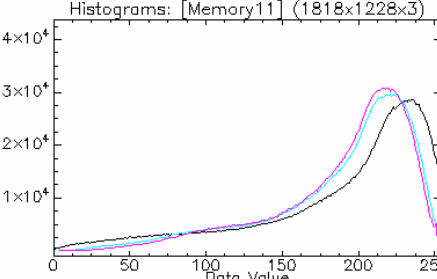
ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบการแสดงผลภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นต่างๆ ที่ส่องผ่านฟิลเตอร์แต่ละประเภท กรณีถ่ายโดยใช้ฟิล์มสไลด์สี (ต่อ)

ชนิดภาพ	ไม่ใช้ฟิลเตอร์	ใช้ฟิลเตอร์สีแดง	ใช้ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน	ฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน
ช่องแสดงภาพ G	 <p>ภาพที่เกิดจากแสงสีเขียวและแสงสีรอง (สีฟ้าและสีเหลือง)</p>	 <p>ภาพที่เกิดจากแสงสีเขียวและแสงสีรอง (สีฟ้าและสีเหลือง) ส่วนที่ไม่ถูกกรอง</p>	 <p>ภาพที่เกิดจากแสงสีเขียวและแสงสีรอง (สีฟ้าและสีเหลือง) ส่วนที่ไม่ถูกกรอง</p>	 <p>ภาพที่เกิดจากแสงสีเขียวและแสงสีรอง (สีฟ้าและสีเหลือง) ส่วนที่ไม่ถูกกรอง</p>
ช่องแสดงภาพ B	 <p>ภาพที่เกิดจากแสงสีน้ำเงินและแสงสีรอง (สีม่วงและสีฟ้า)</p>	 <p>ภาพที่เกิดจากแสงสีน้ำเงินและแสงสีรอง (สีม่วงและสีฟ้า) ส่วนที่ไม่ถูกกรอง</p>	 <p>ภาพที่เกิดจากแสงสีน้ำเงินและแสงสีรอง (สีม่วงและสีฟ้า) ส่วนที่ไม่ถูกกรอง</p>	 <p>ภาพที่เกิดจากแสงสีน้ำเงินและแสงสีรอง (สีม่วงและสีฟ้า) ส่วนที่ไม่ถูกกรอง</p>

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบผลการแสดงผลภาพแบบ Histogram จากโปรแกรม ENVI ของภาพที่ถ่ายโดยใช้ฟิลเตอร์และไม่ใช้ฟิลเตอร์ กรณีถ่ายด้วยฟิล์มขาวดำ


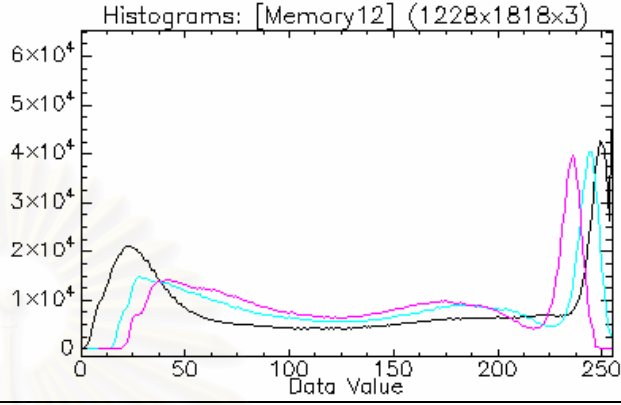

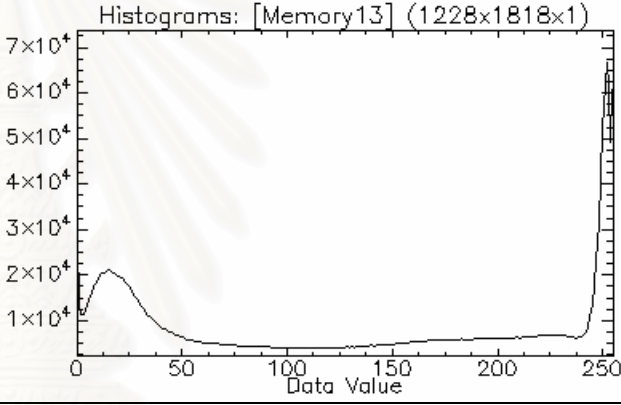

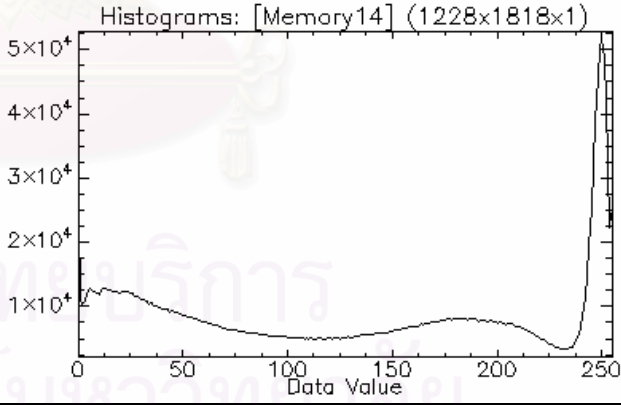

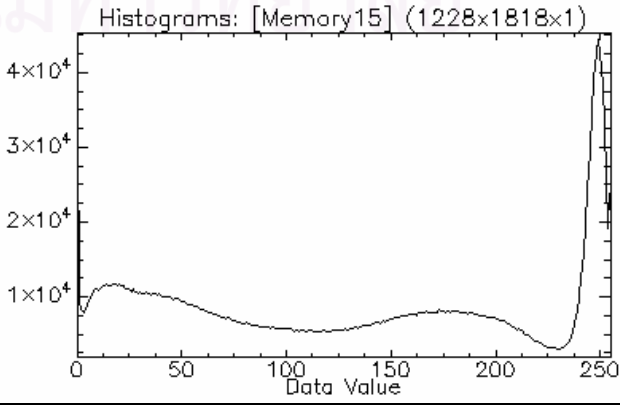
ไม่ใช้ฟิลเตอร์	ใช้ฟิลเตอร์สีแดง	ใช้ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน	ฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน
			
			
<p>ค่า DN ที่เกิดจากแสงที่ผ่านเข้าทำปฏิกิริยากับฟิล์มขาวดำ (ช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็น)</p>	<p>ค่า DN ที่เกิดจากแสงที่ส่องผ่านฟิลเตอร์สีแดง (แสงสีแดงและสีรอง) และเข้าทำปฏิกิริยากับฟิล์มขาวดำ</p>	<p>ค่า DN ที่เกิดจากแสงที่ส่องผ่านฟิลเตอร์สีน้ำเงิน (แสงที่ตามองเห็น แต่มีความเข้มต่ำกว่าภาพที่ถ่ายโดยไม่ใช้ฟิลเตอร์) และเข้าทำปฏิกิริยากับฟิล์มขาวดำ</p>	<p>ค่า DN ที่เกิดจากแสงที่ส่องผ่านฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน (แสงสีแดง สีม่วง และสีเหลือง) และเข้าทำปฏิกิริยากับฟิล์มขาวดำ</p>
<p>— ผลจากช่องแสดงภาพ R, — ผลจากช่องแสดงภาพ G, — ผลจากช่องแสดงภาพ B</p>			

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบผลการแสดงผลภาพแบบ Histogram จากโปรแกรม ENVI ของภาพที่ถ่ายโดยใช้ฟิลเตอร์และไม่ใช้ฟิลเตอร์ กรณีถ่ายด้วยฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ

ไม่ใช้ฟิลเตอร์	ใช้ฟิลเตอร์สีแดง	ใช้ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน	ฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน
			
			
<p>ค่า DN ที่เกิดจากแสงที่ผ่านเข้าทำปฏิกิริยากับฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ (ช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นจนถึงอินฟราเรดใกล้)</p>	<p>ค่า DN ที่เกิดจากแสงที่ส่องผ่านฟิลเตอร์สีแดง (แสงสีแดงและสีรอง) และเข้าทำปฏิกิริยากับฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ</p>	<p>ค่า DN ที่เกิดจากแสงที่ส่องผ่านฟิลเตอร์สีน้ำเงินและเข้าทำปฏิกิริยากับฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ (แสงที่ตามองเห็นจนถึงอินฟราเรดใกล้ แต่มีความเข้มต่ำกว่าภาพที่ถ่ายโดยไม่ใช้ฟิลเตอร์)</p>	<p>ค่า DN ที่เกิดจากแสงที่ส่องผ่านฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน (แสงสีแดง สีม่วง สีเหลืองและอินฟราเรดใกล้) และเข้าทำปฏิกิริยากับฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ</p>
<p>— ผลจากช่องแสดงภาพ R, — ผลจากช่องแสดงภาพ G, — ผลจากช่องแสดงภาพ B</p>			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบผลการแสดงผลภาพแบบ Histogram จากโปรแกรม ENVI ของภาพที่ถ่ายซึ่งประกอบด้วยท้องฟ้า ต้นไม้ และสระน้ำ (ถ่ายโดยใช้ฟิลเตอร์สีแดง) เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของวัตถุเป้าหมายแต่ละชนิด กรณีถ่ายด้วยฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ

ชนิดภาพ		Histogram
ภาพต้นฉบับ		Histograms: [Memory12] (1228x1818x3) 
ช่องแสดงภาพ R		Histograms: [Memory13] (1228x1818x1) 
ช่องแสดงภาพ G		Histograms: [Memory14] (1228x1818x1) 
ช่องแสดงภาพ B		Histograms: [Memory15] (1228x1818x1) 

ผลจากการทดสอบฟิล์มและฟิลเตอร์ ด้วยโปรแกรม ENVI (ตารางที่ 4.10 ถึง 4.16) นำไปสู่การพิจารณาเลือกช่องแสดงภาพที่เหมาะสมสำหรับเป็นตัวแทนของภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้เพียงช่วงคลื่นเดียว ก็คือ ช่องแสดงภาพ B เนื่องจากช่องแสดงภาพดังกล่าวแสดงพฤติกรรมของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ได้ชัดเจนที่สุด (ตารางที่ 4.16) โดยมีเหตุผลสนับสนุน ดังนี้

1. ภาพที่ถ่ายด้วยฟิล์มอินฟราเรดขาวดำและใช้ฟิลเตอร์สีแดงปิดหน้าเลนส์ เกิดจากแสงสีแดง สีรองของสีแดง (สีม่วงและสีเหลือง) และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (ตารางที่ 4.15) ภาพที่ได้จึงให้ความเปรียบต่างสูงกว่าภาพที่อยู่ในตารางเดียวกัน

2. ภาพที่ใช้อธิบายว่า ภาพที่ถ่ายด้วยฟิล์มอินฟราเรดขาวดำและใช้ฟิลเตอร์สีแดงปิดหน้าเลนส์ เกิดจากส่วนผสมของช่วงคลื่นที่ตามองเห็น ได้แก่ แสงสีแดง สีม่วง และสีเหลือง ภาพดังกล่าวคือ ภาพที่ถ่ายด้วยฟิล์มสไลด์สีและใช้ฟิลเตอร์สีแดงปิดหน้าเลนส์ ในตารางที่ 4.13 โดยสังเกตแถบสีแดง สีม่วง และสีเหลือง ในแผน color chart ให้ภาพที่สว่าง เนื่องจากแสงดังกล่าวสามารถส่องผ่านฟิลเตอร์ได้มาก ส่วนแถบสีที่ให้ภาพที่มีมืด เกิดจากช่วงคลื่นแสงนั้นถูกดูดกลืน หรือถูกกรองโดยฟิลเตอร์

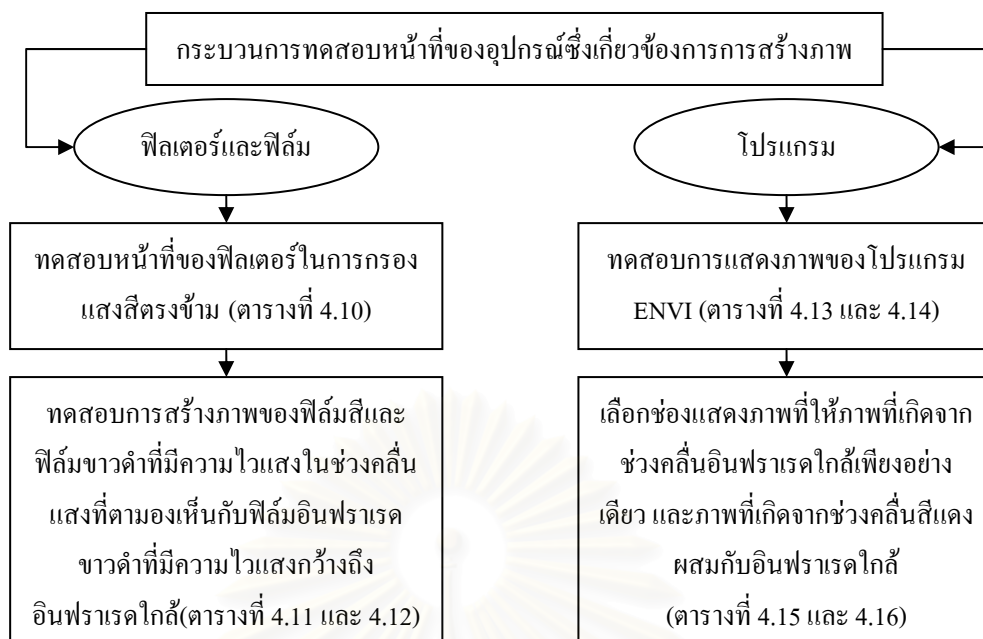
3. เมื่อนำภาพจากตารางที่ 4.13 มาแสดงค่า DN ที่เกิดจากแต่ละช่วงคลื่น โดยใช้โปรแกรม ENVI ในการแสดงภาพแบบ gray scale ทีละช่องแสดงภาพ ได้แก่ ช่องแสดงภาพ R, ช่องแสดงภาพ G และช่องแสดงภาพ B พบว่า ภาพที่ได้จากช่องแสดงภาพ R ให้รายละเอียดและความคมชัดของภาพสมบูรณ์ที่สุด ต่างจากภาพที่ได้จากช่องแสดงภาพ G และ B ซึ่งให้รายละเอียดของภาพต่ำมาก เนื่องจากแสงสีเขียวและ สีนํ้าเงินผ่านเข้าทำปฏิกิริยากับฟิล์ม ได้น้อยมาก ในทางกลับกันใช้วิธีการแบบเดียวกันนี้กับภาพที่ถ่ายด้วยฟิล์มขาวดำและใช้ฟิลเตอร์สีแดงปิดหน้าเลนส์ ให้ผลดังตารางที่ 4.14 พบว่า ค่า DN ของช่องแสดงภาพ R, G และ B ทุกภาพให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากการบันทึกภาพของฟิล์มขาวดำและระบบสแกน (ใช้การสแกนแบบสี) เป็นระบบเดียวกันคือ บันทึกทุกช่วงคลื่นพร้อมกัน (ไม่บันทึกภาพที่เกิดจากแต่ละช่วงคลื่นออกจากกัน) และแปลผลเป็นภาพขาวดำ โดยฟิล์มส่วนที่โดนแสงจะให้ภาพสีขาว ส่วนที่ไม่โดนแสงจะให้สีดำ โดยจะไล่ระดับความเทาตามสัดส่วนของแสงที่ผ่านเข้าทำปฏิกิริยากับฟิล์ม ซึ่งต่างจากภาพที่ถ่ายด้วยฟิล์มอินฟราเรดขาวดำและใช้ฟิลเตอร์สีแดงปิดหน้าเลนส์ (ตารางที่ 4.14 และ 4.15) จะให้กราฟแสดงค่า DN จากช่องแสดงภาพ R, G และ B มีความแตกต่างกันมากกว่าภาพที่ถ่ายด้วยฟิล์มขาวดำ โดยเฉพาะภาพที่ถ่ายโดยไม่ใช้ฟิลเตอร์ ภาพที่ถ่ายโดยใช้ฟิลเตอร์สีน้ำเงิน และภาพที่ถ่ายโดยใช้ฟิลเตอร์สีแดงประกบฟิลเตอร์สีน้ำเงิน ซึ่งภาพที่ถ่ายด้วยฟิล์มขาวดำจะมีความแปรปรวนของกราฟสูง ส่วนภาพที่ถ่ายด้วยฟิล์มอินฟราเรดขาวดำจะมีความแปรปรวนต่ำมาก โดยให้ลักษณะของกราฟเป็นรูปประจักษ์กว่า หรือแสดง



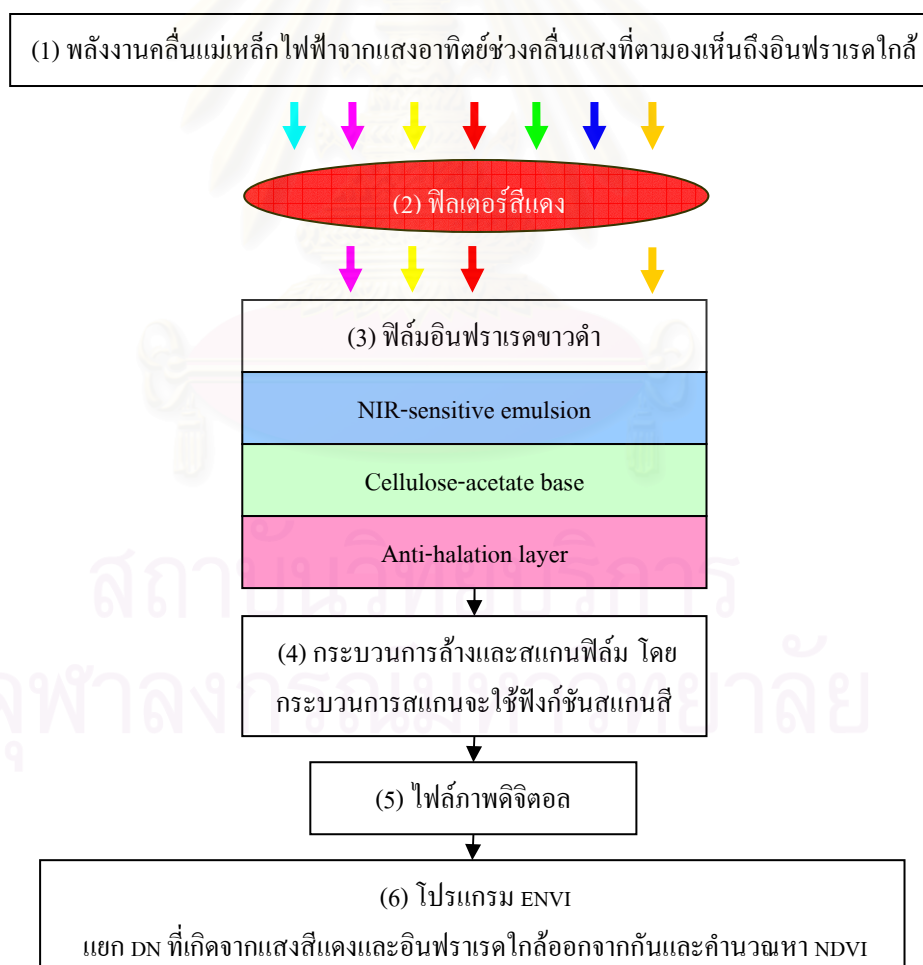
ถึงความเป็นกลุ่มข้อมูลเพียงกลุ่มเดียว ยกเว้นภาพที่ถ่ายโดยใช้ฟิลเตอร์สีแดงที่ให้ความเปรียบต่างสูง เนื่องจากมีสัดส่วนของแสงสีแดงผสมกับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้สูง

4. การเลือกช่องแสดงภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นแสงสีแดงผสมกับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้เพียงช่วงคลื่นเดียว กับช่องแสดงภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้เพียงช่วงคลื่นเดียว โดยใช้ภาพที่ถ่ายด้วยฟิล์มอินฟราเรดขาวดำและใช้ฟิลเตอร์สีแดงปิดหน้าเลนส์ ซึ่งภาพดังกล่าวมีความเปรียบต่างของแสงสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้สูง ซึ่งขณะนี้ ช่องแสดงภาพ R, G และ B ได้ทำหน้าที่แตกต่างกันไปจากที่เดิม เนื่องจากภาพไม่มีส่วนประกอบของแสงสีเขียวและสีน้ำเงิน มีเพียงแสงสีแดงและสีรองของสีแดง กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ดังนั้น เพื่อทำการพิสูจน์ว่า ช่องแสดงภาพใดแสดงพฤติกรรมของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มากที่สุด จึงต้องพิจารณาจากพฤติกรรมของวัตถุและเอกลักษณ์ของภาพอินฟราเรดใกล้ ซึ่งก็คือ พืชสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ได้ดี ทำให้ภาพของพืชเป็นสีขาว และสัดส่วนการสะท้อนของแสงสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ของน้ำมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ส่วนแสงสีเขียวและแสงสีน้ำเงินจะถูกน้ำดูดกลืนมากที่สุด ดังนั้นภาพที่ให้รายละเอียดของเงาในน้ำได้ชัดเจน จึงจัดเป็นภาพที่แสดงเอกลักษณ์ของภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้นั่นเอง จากเหตุผลดังกล่าว จึงตัดช่องแสดงภาพ R ออก เนื่องจากมีการปะปนของสีรองของสีแดง จากนั้นพิจารณาช่องแสดงภาพ G และ B ดังนั้น ช่องแสดงภาพที่เหลือต้องมีช่องแสดงภาพใดช่องแสดงภาพหนึ่งที่แสดงภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้เพียงอย่างเดียว ซึ่งกราฟที่ได้จากช่องแสดงภาพ G และ B มีลักษณะที่ใกล้เคียงกันมาก แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ จำนวน pixels (ค่า Y) ของค่า DN โดยช่องแสดงภาพ B ให้ค่า Y ต่ำกว่า ค่า Y จากช่องแสดงภาพ G จึงสรุปได้ว่า ช่องแสดงภาพ B ให้ภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้เพียงช่วงคลื่นเดียว และช่องแสดงภาพ G ให้ภาพที่เกิดจากแสงสีแดงผสมกับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ โดยมีขั้นตอนดังภาพที่ 4.6

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.6 แผนภาพกระบวนการทดสอบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภาพ



ภาพที่ 4.7 แผนภาพกระบวนการสร้างภาพและแยก DN ที่เกิดจากแสงสีแดงและอินฟราเรดใกล้ ออกจากกันก่อนนำมาคำนวณค่า NDVI

#### 4.7 วิธีการคำนวณหาค่า NDVI จากภาพถ่าย

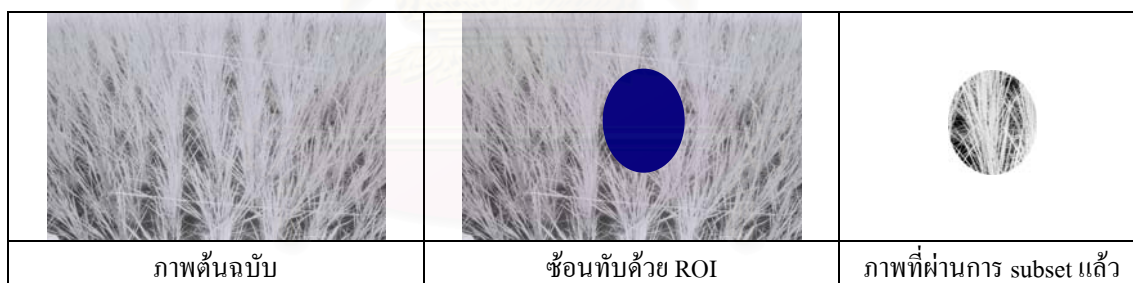
1. เปิดภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นแสงสีแดงผสมกับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้จากช่องแสดงภาพ G และภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้เพียงช่วงคลื่นเดียวจากช่องแสดงภาพ B

2. แยกภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นแสงสีแดงออกจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และคำนวณค่า NDVI ในการศึกษารุ่นนี้ใช้โปรแกรม ENVI ซึ่งคำสั่งที่ใช้สำหรับคำนวณคือ band math จากแถบเมนู basic tool

- แยกภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นแสงสีแดงออกจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้โดยพิมพ์สมการ b1-b2 โดยกำหนดให้ b1 เป็นภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นแสงสีแดงผสมกับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้จากช่องแสดงภาพ G และ b2 เป็นภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้เพียงช่วงคลื่นเดียวจากช่องแสดงภาพ B จากนั้นกำหนดผลลัพธ์ให้เป็น b3 เพื่อใช้คำนวณหาค่า NDVI

- คำนวณหาค่า NDVI พิมพ์สมการ  $(b2-b3)/(b2+b3)$  โดยกำหนดค่าให้ b2 เป็นภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้เพียงช่วงคลื่นเดียวจากช่องแสดงภาพ B และให้ b3 เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ b1-b2

3. ตัดภาพถ่ายด้วยกรอบรับภาพจากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์

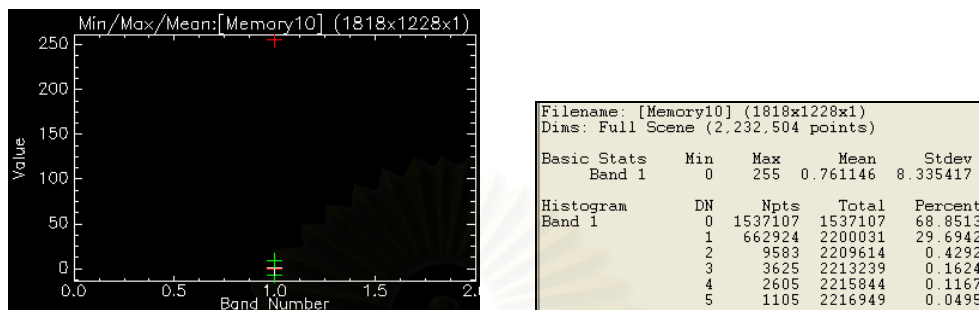


ภาพที่ 4.8 การตัดข้อมูลตากรอบที่กำหนดโดยใช้โปรแกรม ENVI

การตัดภาพจะกระทำในโปรแกรม ENVI เช่นเดียวกัน โดยการสร้าง ROI จากค่าการคำนวณพื้นที่ที่กรอบรับภาพของกล้องถ่ายภาพและเครื่องสเปคโตรมิเตอร์ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อนำพื้นที่ทั้งสองมาหาสัดส่วนกรอบรับภาพก็จะได้ สัดส่วนพื้นที่ที่กรอบรับภาพของกล้องถ่ายภาพ 1 หน่วย เท่ากับพื้นที่ที่กรอบรับภาพของเครื่องสเปคโตรมิเตอร์ 20 หน่วย จากนั้นเลือกคำสั่ง basic tool จากแถบเมนูและเลือกsubset data via ROIs เพื่อทำการตัดข้อมูล โดยกำหนดให้ DN ที่อยู่นอกกรอบ ROI ให้มีค่าเท่ากับ 255

#### 4. พิจารณาค่าสถิติของภาพ

เลือกคำสั่งคำสั่ง basic tool จากแถบเมนูและเลือก compute static โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าทางสถิติของภาพให้



ภาพที่ 4.9 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าทางสถิติของโปรแกรม ENVI

#### 4.8 วิธีการคำนวณหาค่า NDVI จากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์

การคำนวณหาค่า NDVI ของเครื่องสเปคโตรมิเตอร์นั้นไม่ยุ่งยาก เนื่องจากเป็นการวัดข้อมูลโดยตรงและสามารถแปลงไฟล์ให้อยู่ในรูปแบบของ ascii file ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปคำนวณหาค่า NDVI ในโปรแกรม excel ได้ดังนี้

1. คำนวณหาร้อยละของค่าการสะท้อนช่วงคลื่นแสงสีแดงและอินฟราเรดใกล้ของแต่ละชุดข้อมูล (percent reflectance)

$$\% \text{ RED reflectance} = (r_{\lambda_1 \text{ to } \lambda_2} / w_{\lambda_1 \text{ to } \lambda_2}) * 100$$

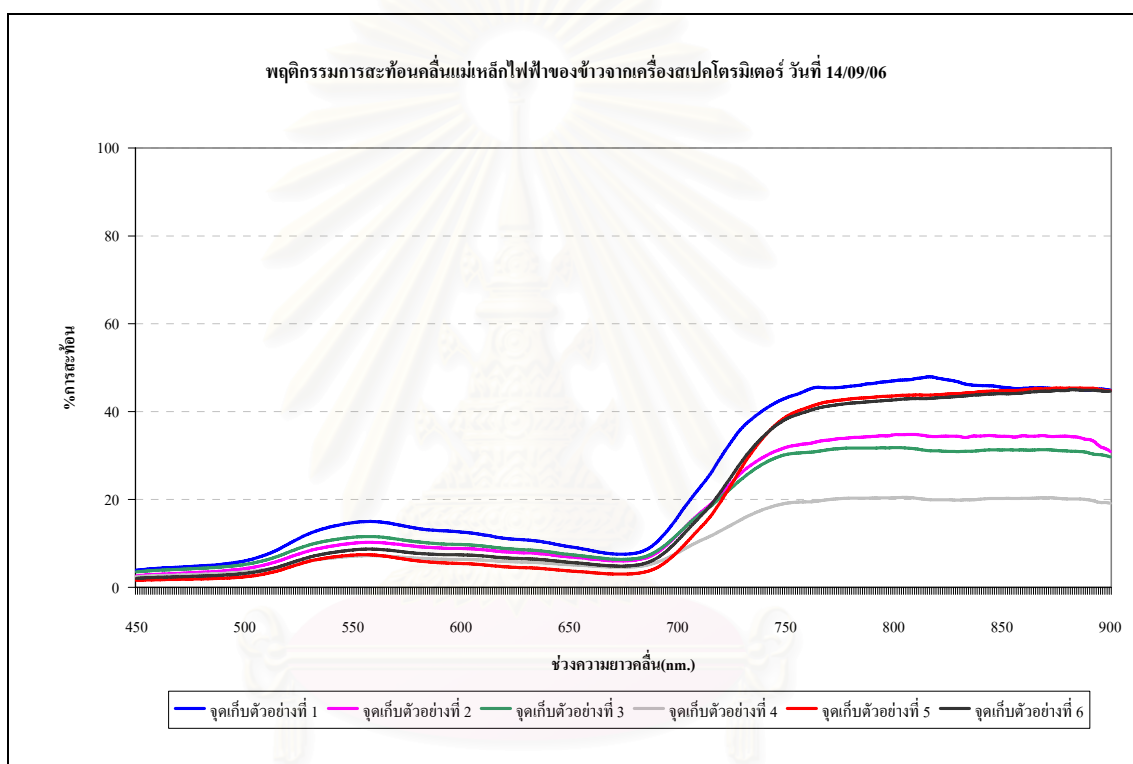
กำหนดให้  $r_{\lambda_1 \text{ to } \lambda_2}$  คือ ค่าพลังงานช่วงคลื่นแสงสีแดงที่สะท้อนจากนาข้าว โดย  $\lambda_1$  เป็นช่วงความยาวคลื่นตั้งต้นของแสงสีแดงซึ่งมีค่าเท่ากับ 603 nm. และ  $\lambda_2$  เป็นช่วงความยาวคลื่นสิ้นสุดของแสงสีแดงมีค่าเท่ากับ 705 nm.

$w_{\lambda_1 \text{ to } \lambda_2}$  คือ ค่าพลังงานช่วงคลื่นแสงสีแดงที่สะท้อนจากกระดาษขาว

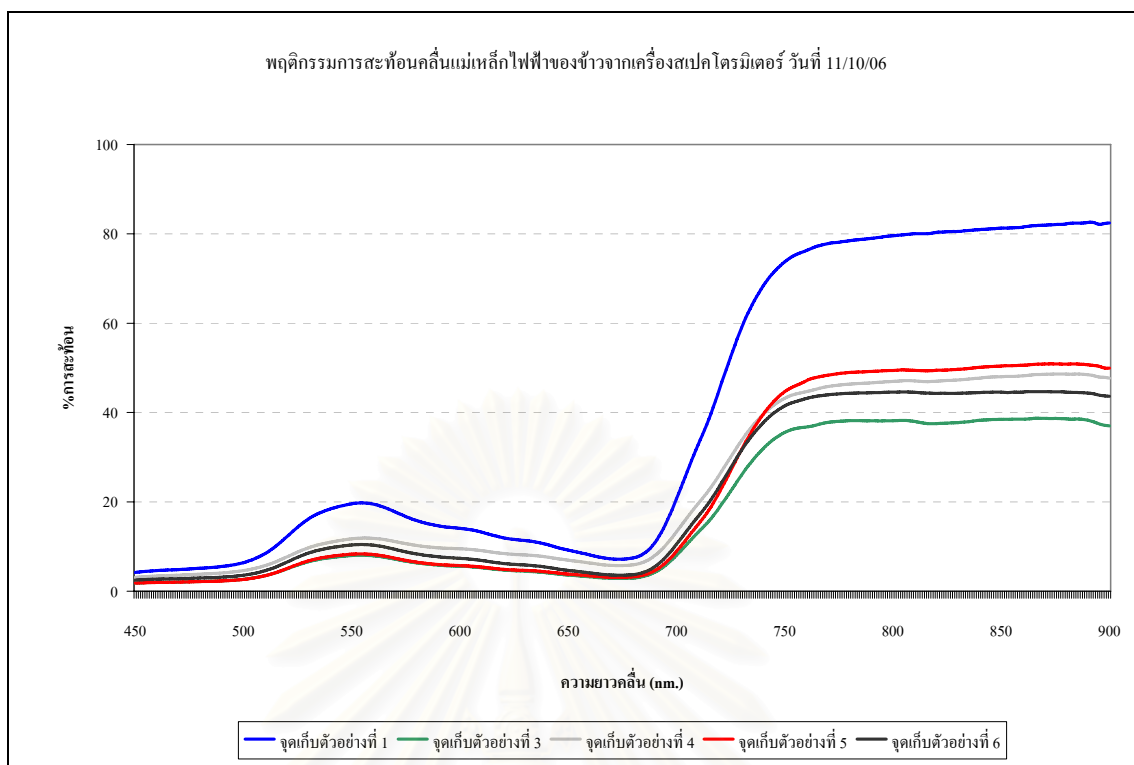
$$\% \text{ NIR reflectance} = (r_{\lambda_3 \text{ to } \lambda_4} / w_{\lambda_3 \text{ to } \lambda_4}) * 100$$

กำหนดให้  $r_{\lambda_3 \text{ to } \lambda_4}$  คือ ค่าพลังงานช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ที่สะท้อนจากนาข้าว โดย  $\lambda_3$  เป็นช่วงความยาวคลื่นตั้งต้นของอินฟราเรดใกล้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 706 nm. และ  $\lambda_4$  เป็นช่วงความยาวคลื่นสิ้นสุดของอินฟราเรดใกล้มีค่าเท่ากับ 900 nm.

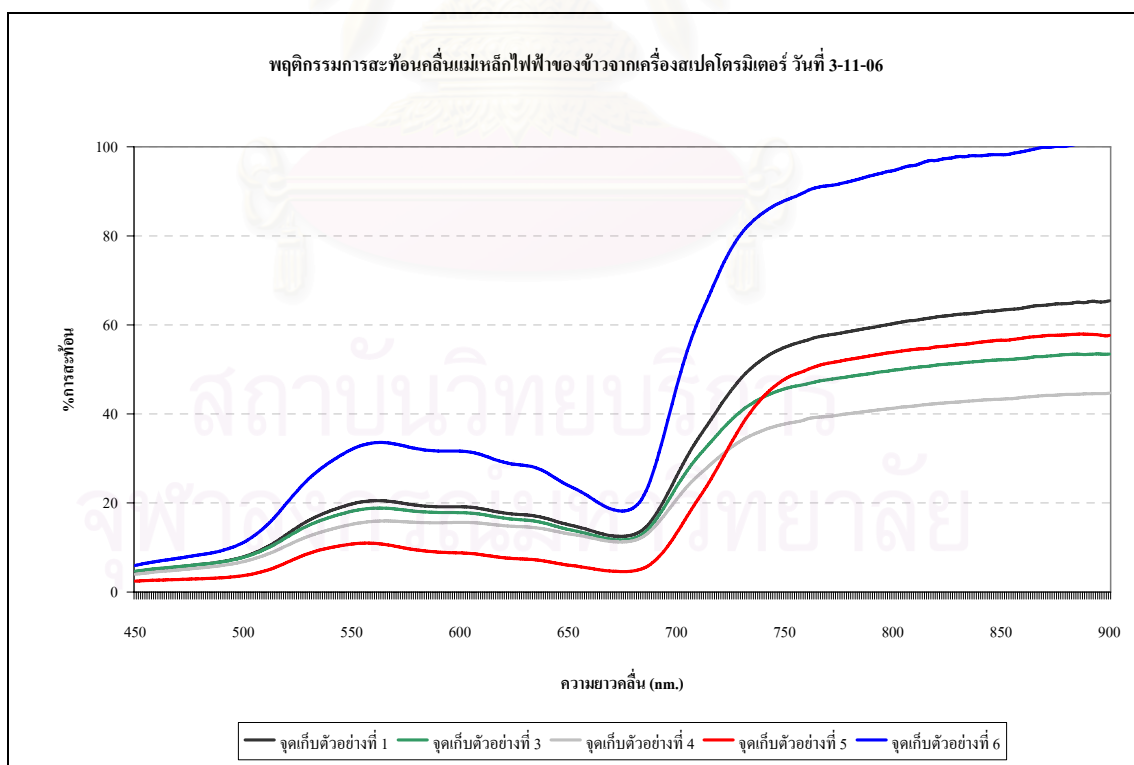
$w_{\lambda_3 \text{ to } \lambda_4}$  คือ ค่าพลังงานช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ที่สะท้อนจากกระดาษขาว



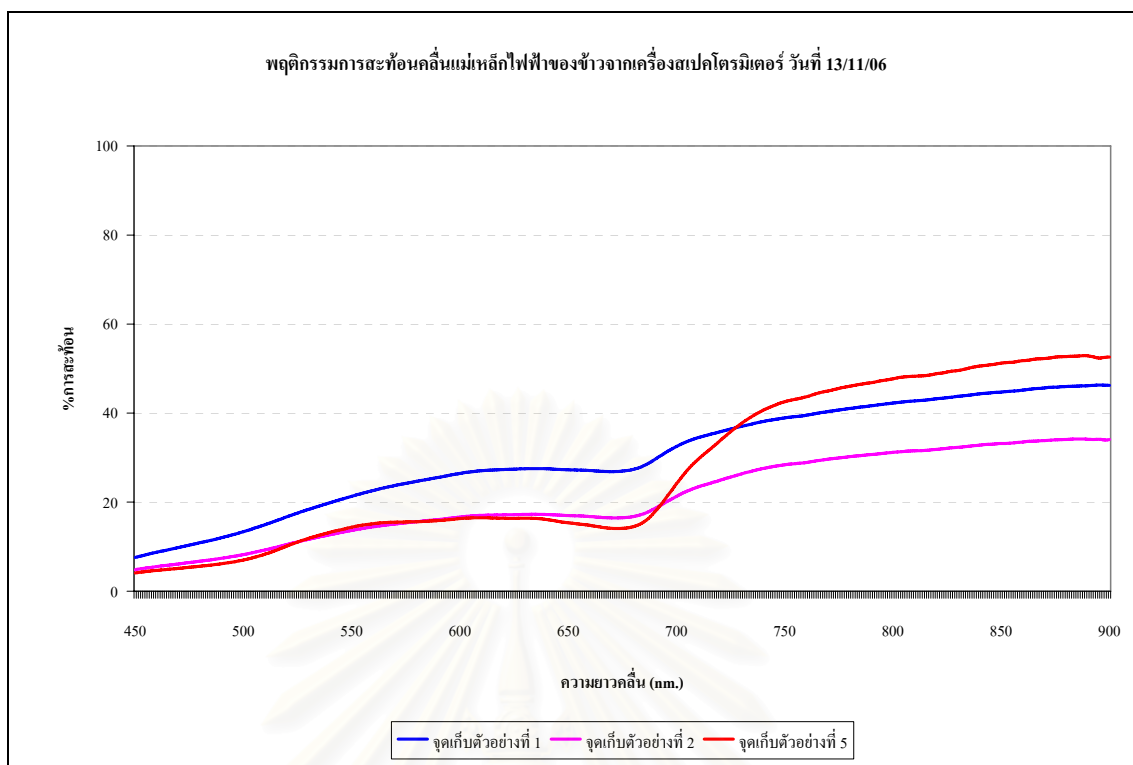
ภาพที่ 4.10 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการคำนวณหาร้อยละของค่าการสะท้อนช่วงคลื่นแสงสีแดงและอินฟราเรดใกล้ (วันที่ 14/09/06)



ภาพที่ 4.11 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการคำนวณหาร้อยละของค่าการสะท้อนช่วงคลื่นแสงสีแดงและอินฟราเรดใกล้ (วันที่ 11/10/06)



ภาพที่ 4.12 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการคำนวณหาร้อยละของค่าการสะท้อนช่วงคลื่นแสงสีแดงและอินฟราเรดใกล้ (วันที่ 3/11/06)



ภาพที่ 4.13 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการคำนวณหาร้อยละของการสะท้อนช่วงคลื่นแสงสีแดงและอินฟราเรดใกล้ (วันที่ 13/11/06)

2. คำนวณหาค่าเฉลี่ยร้อยละการสะท้อนของช่วงคลื่นสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

$$\text{Mean RED} = (\text{sum of \% RED reflectance})/N_{\text{red}}$$

$$\text{Mean NIR} = (\text{sum of \% NIR reflectance})/N_{\text{nir}}$$

กำหนดให้  $N_{\text{red}}$  คือ จำนวนช่วงความยาวคลื่นของแสงสีแดง (603 nm. ถึง 705 nm.) ซึ่งเท่ากับ 103 ช่วง

$N_{\text{nir}}$  คือ จำนวนช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ (706 nm. ถึง 900 nm.) ซึ่งเท่ากับ 195 ช่วง

3. คำนวณหาค่า NDVI

$$\text{NDVI} = (\text{Mean NIR} - \text{Mean RED}) / (\text{Mean NIR} + \text{Mean RED})$$

#### 4.9 หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับผลผลิต

เปรียบเทียบค่า NDVI ที่ได้จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และจากภาพถ่ายว่า มีแนวโน้มแบบเดียวกันหรือไม่ รวมถึงการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวกับผลผลิตข้าวในทุกจุดเก็บตัวอย่างว่า มีเงื่อนไขใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อการให้ผลผลิตข้าวที่แตกต่างกัน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 5

### ผลการศึกษา

#### 5.1 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากต้นข้าวด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ และกล้องถ่ายภาพ

ข้อมูลที่กล่าวถึงคือ พฤติกรรมการสะท้อนช่วงคลื่นแสงสีแดงและอินฟราเรดใกล้ของต้นข้าว ซึ่งทำการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และกล้องถ่ายภาพ โดยผลที่ได้จะถูกนำมาคำนวณหาค่าดัชนี NDVI ดังแสดงในหัวข้อ 4.7 และ 4.8 ในบทที่ 4 และได้ผลเป็นดังตารางที่ 5.1 ถึง 5.3

ตารางที่ 5.1 ผลการตรวจวัดจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ของจุดที่ 1 และจุดที่ 2

วันที่	จุดที่1			จุดที่2		
	mean RED	mean NIR	NDVI_Sp	mean RED	mean NIR	NDVI_Sp
14/09/2006	10.439	43.028	0.609	7.813	31.817	0.606
11/10/2006	11.247	74.095	0.736	Data error		
3/11/2006	16.951	57.825	0.547	Data error		
13/11/2006	28.011	41.776	0.197	17.569	30.569	0.270

ตารางที่ 5.2 ผลการตรวจวัดจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ของจุดที่ 3 และจุดที่ 4

วันที่	จุดที่3			จุดที่4		
	mean RED	mean NIR	NDVI_Sp	mean RED	mean NIR	NDVI_Sp
14/09/2006	8.328	29.385	0.558	5.658	18.837	0.538
11/10/2006	4.438	34.777	0.774	8.055	43.535	0.688
3/11/2006	15.739	47.946	0.506	14.382	39.903	0.470
13/11/2006	ถูกเก็บเกี่ยวก่อนเก็บข้อมูล			ถูกเก็บเกี่ยวก่อนเก็บข้อมูล		

ตารางที่ 5.3 ผลการตรวจวัดจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ของจุดที่ 5 และจุดที่ 6

วันที่	จุดที่5			จุดที่6		
	mean RED	mean NIR	NDVI_Sp	mean RED	mean NIR	NDVI_Sp
14/09/2006	4.491	39.593	0.796	6.532	39.347	0.715
11/10/2006	4.733	44.866	0.809	5.746	40.760	0.753
3/11/2006	7.264	50.134	0.747	30.551	101.837	0.539
13/11/2006	16.675	46.094	0.469	ถูกเก็บเกี่ยวก่อนเก็บข้อมูล		

จากการเก็บข้อมูลภาคสนามทั้ง 6 จุด เมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ.2549 พบว่า แปลงตัวอย่าง 3 แปลง เก็บเกี่ยวเสร็จก่อนการเก็บตัวอย่าง และอีก 3 แปลงกำลังเก็บเกี่ยว ทำให้ต้องทำการจัดกลุ่มข้อมูลใหม่ตามอายุการเจริญเติบโตของต้นข้าวที่เหลื่อมกัน 3 วัน ออกเป็น 2 กลุ่ม และทำการนับอายุข้าวย้อนกลับจากวันที่ทำการเก็บเกี่ยวไปจนครบ 120 วัน ดังตารางที่ 5.5 ซึ่งผลของจากจัดกลุ่มและนับอายุข้าวใหม่ได้ผลดังตารางที่ 5.4 และตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.4 กลุ่มข้อมูล NDVI\_Sp กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 โดยใช้อายุต้นข้าวเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง

อายุของต้นข้าว (วัน)	ค่า NDVI_Sp ของกลุ่มที่ 1		
	จุดที่1	จุดที่2	จุดที่5
60	0.610	0.606	0.796
87	0.736	Data error	0.809
110	0.547	Data error	0.747
120	0.197	0.270	0.469
อายุของต้นข้าว (วัน)	ค่า NDVI_Sp ของกลุ่มที่ 2		
	จุดที่3	จุดที่4	จุดที่6
63	0.558	0.538	0.715
90	0.774	0.688	0.753
113	0.506	0.470	0.539

ตารางที่ 5.5 การนับอายุต้นข้าว

1 ก.ค.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
← เตรียมดิน →											← ระยะต้นกล้า →																				
การนับอายุต้นข้าวกลุ่มที่ 1											1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15																				
การนับอายุต้นข้าวกลุ่มที่ 2											1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18																				
1 ส.ค.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
← ระยะต้นกล้า →						← ระยะแตกกอ →										← การเจริญเติบโตด้านการสืบพันธุ์ →															
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	
1 ก.ย.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1 ต.ค.	
← การเจริญเติบโตด้านการสืบพันธุ์ : ระยะสร้างข่อรวงอ่อน , ระยะตั้งท้อง, ระยะออกดอกและผสมเกสร →																															
47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1 พ.ย.	
← การเจริญเติบโตด้านการสืบพันธุ์ →											← การพัฒนาการของเมล็ด : ระยะสะสมนํ้าในเมล็ด, ระยะนํ้านม, ระยะแป้งอ่อน, ระยะเมล็ดสุก และระยะเก็บเกี่ยว →																				
78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13																				
← การพัฒนาการของเมล็ด →																															
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120																				
112	113	114	115	116	117	118	119	120																							

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 5.4 ค่า NDVI ของต้นข้าวอายุ 87 และ 110 วัน ในจุดที่ 2 เกิดความผิดพลาดในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูล ทำให้ข้อมูลเสียหายไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการนำค่าดังกล่าวไปสร้างความสัมพันธ์ในขั้นตอนต่อไป ดังนั้นหลังจากทำการบันทึกข้อมูลจากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์ต้องทำการตรวจสอบข้อมูลทุกครั้งว่าการบันทึกสมบูรณ์หรือไม่

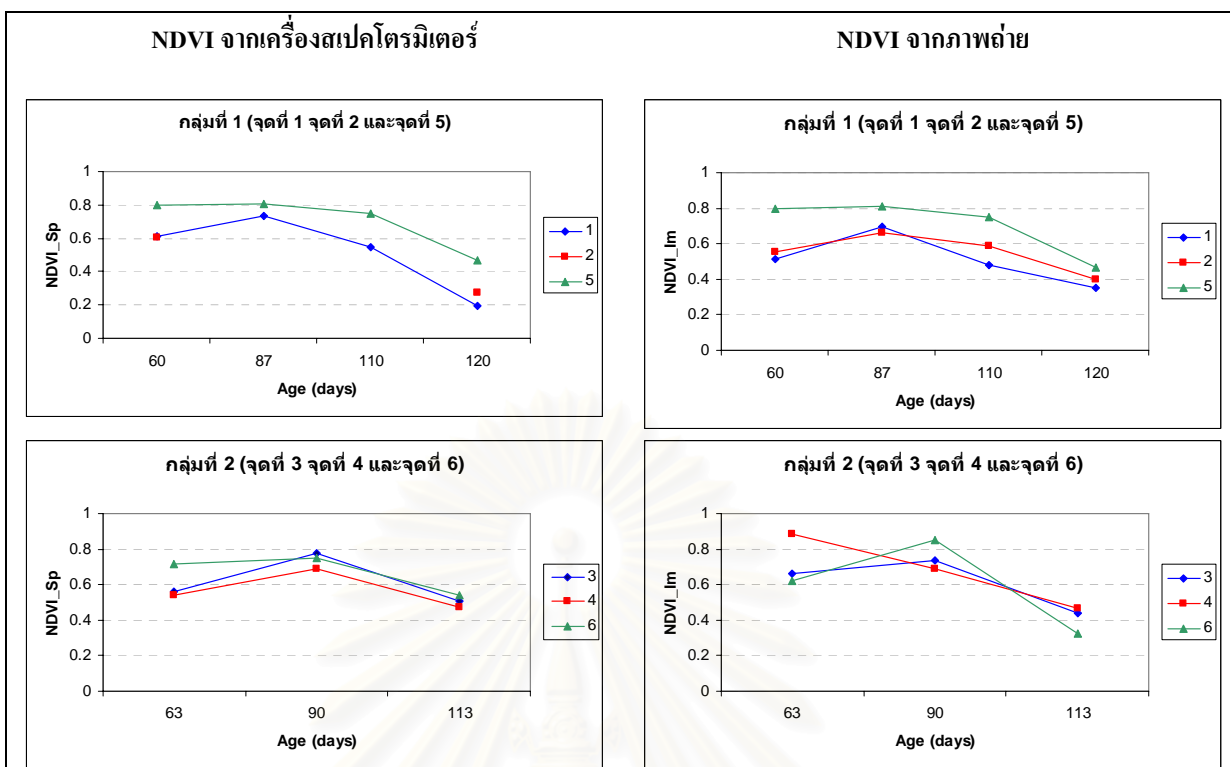
ตารางที่ 5.6 กลุ่มข้อมูล NDVI\_Im กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 โดยใช้อายุต้นข้าวเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง

อายุของต้นข้าว (วัน)	ค่า NDVI_Im ของกลุ่มที่ 1		
	จุดที่1	จุดที่2	จุดที่5
60	0.513	0.557	0.582
87	0.698	0.663	0.658
110	0.481	0.591	0.412
120	0.348	0.400	0.425
อายุของต้นข้าว (วัน)	ค่า NDVI_Im ของกลุ่มที่ 2		
	จุดที่3	จุดที่4	จุดที่6
63	0.662	0.888	0.624
90	0.739	0.692	0.849
113	0.437	0.463	0.327

## 5.2 เปรียบเทียบค่า NDVI จากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์กับค่า NDVI จากภาพถ่าย

เนื่องจากเป้าหมายในการพัฒนาเทคนิควิธีการสำรวจระยะไกลภาคพื้นดินในการติดตามและประเมินผลผลิตข้าวด้วยการเปรียบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดสองชนิด โดยมีกล้องถ่ายภาพเป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้แทนอุปกรณ์ที่มีการใช้งานจริงและเป็นที่ยอมรับอย่างเครื่องสเปคโตรมิเตอร์ ซึ่งให้ผลดังภาพที่ 5.1

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


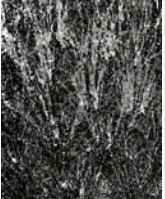
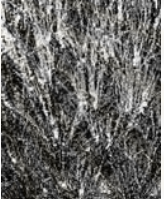


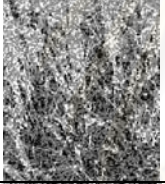
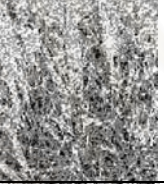


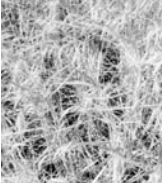
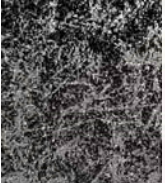
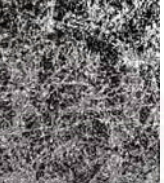
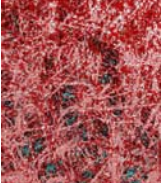

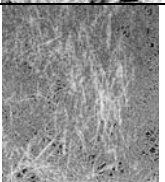


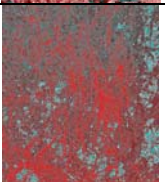



ภาพที่ 5.1 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่า NDVI จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และจากภาพถ่าย แบ่งกลุ่มข้อมูลตามอายุข้าว

### 5.3 ผลการวิเคราะห์ภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นแสงสีแดง ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เพื่อคำนวณค่า NDVI และตรวจสอบความถูกต้องด้วยการผสมสีแบบ false color composite


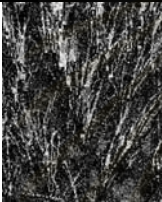
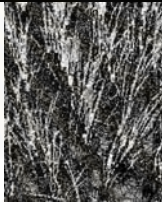
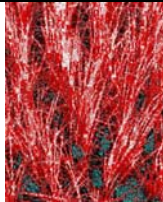



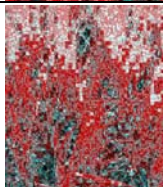




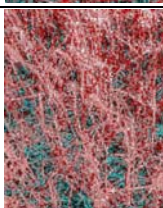

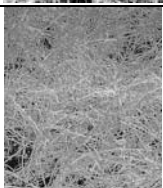


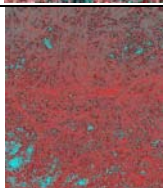

ภาพถ่ายนาข้าวด้วยฟิล์มอินฟราเรดขาวดำและใช้ฟิลเตอร์สีแดงปิดหน้าเลนส์ ในแต่ละช่วงอายุของต้นข้าว นั้น ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่า DN ที่เกิดจากช่วงคลื่นแสงสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ สำหรับคำนวณค่า NDVI และมีการทดสอบความถูกต้องของการจำแนกค่า DN โดยการผสมสีแบบ false color composite ซึ่งส่วนที่เป็นต้นข้าวจะมีสีแดงและส่วนที่ไม่ใช่ข้าวจะมีสีดำ และเพื่อให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนจึงนำภาพถ่ายชนิดสีมาช่วยอธิบายพฤติกรรมการสะท้อนของทั้งสองช่วงคลื่น จะเห็นได้ว่า ในระยะที่ข้าวมีสีเขียวภาพที่เกิดจากช่วงคลื่นแสงสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ในส่วนที่เป็นต้นข้าวจะสว่าง และความสว่างจะลดลงเมื่อข้าวเริ่มมีสีเหลือง ผลดังตารางที่ 5.7 ถึง 5.12

ตารางที่ 5.7 ผลการตรวจวัดด้วยกล้องถ่ายภาพของจุดที่ 1

จุดที่ 1	use red filter (black and white film)				non filter (digital camera)
	NIR	RED	NDVI	False color composite	
14/09/2006 (image 1)					ไม่มีข้อมูล
11/10/2006 (image 19)					
3/11/2006 (image 94)					
13/11/2006 (image 178)					



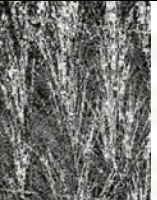




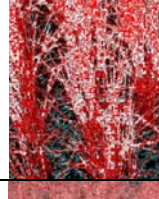




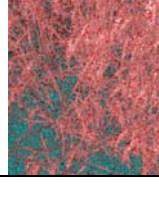

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.8 ผลการตรวจวัดด้วยกล้องถ่ายภาพของจุดที่ 2

จุดที่ 2	use red filter (black and white film)				non filter (digital camera)
	NIR	RED	NDVI	False color composite	
14/09/2006 (image 2)					ไม่มีข้อมูล
11/10/2006 (image 20)					
3/11/2006 (image 95)					
13/11/2006 (image 179)					

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


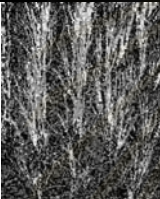
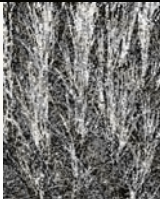
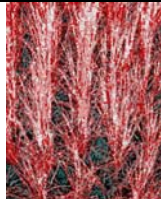

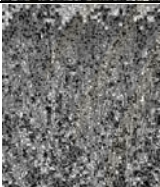
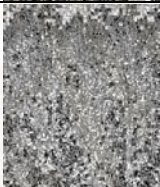
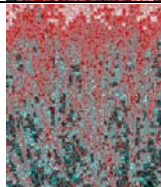


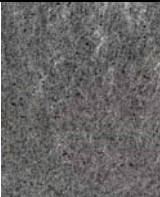

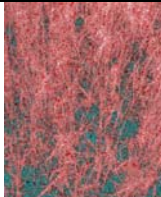

ตารางที่ 5.9 ผลการตรวจวัดด้วยกล้องถ่ายภาพของจุดที่ 3

จุดที่ 3	use red filter (black and white film)				non filter (digital camera)
	NIR	RED	NDVI	False color composite	
14/09/2006 (image 3)					ไม่มีข้อมูล
11/10/2006 (image 21)					
3/11/2006 (image 96)					

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย











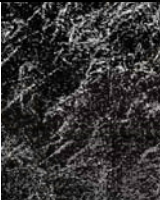

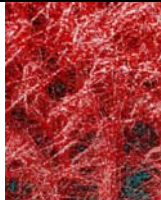



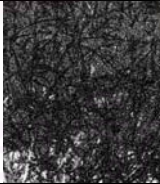
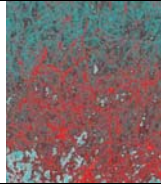



ตารางที่ 5.10 ผลการตรวจวัดด้วยกล้องถ่ายภาพของจุดที่ 4

จุดที่ 4	use red filter (black and white film)				non filter (digital camera)
	NIR	RED	NDVI	False color composite	
14/09/2006 (image 4)					ไม่มีข้อมูล
11/10/2006 (image 22)					
3/11/2006 (image 97)					







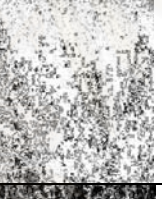
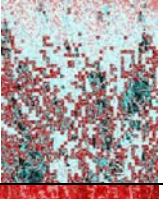




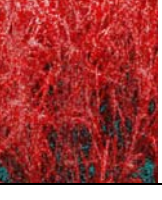

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.11 ผลการตรวจวัดด้วยกล้องถ่ายภาพของจุดที่ 5

จุดที่ 2	use red filter (black and white film)				non filter (digital camera)
	NIR	RED	NDVI	False color composite	
14/09/2006 (image 5)					ไม่มีข้อมูล
11/10/2006 (image 23)					
3/11/2006 (image 98)					
13/11/2006 (image 182)					

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.12 ผลการตรวจวัดด้วยกล้องถ่ายภาพของจุดที่ 6

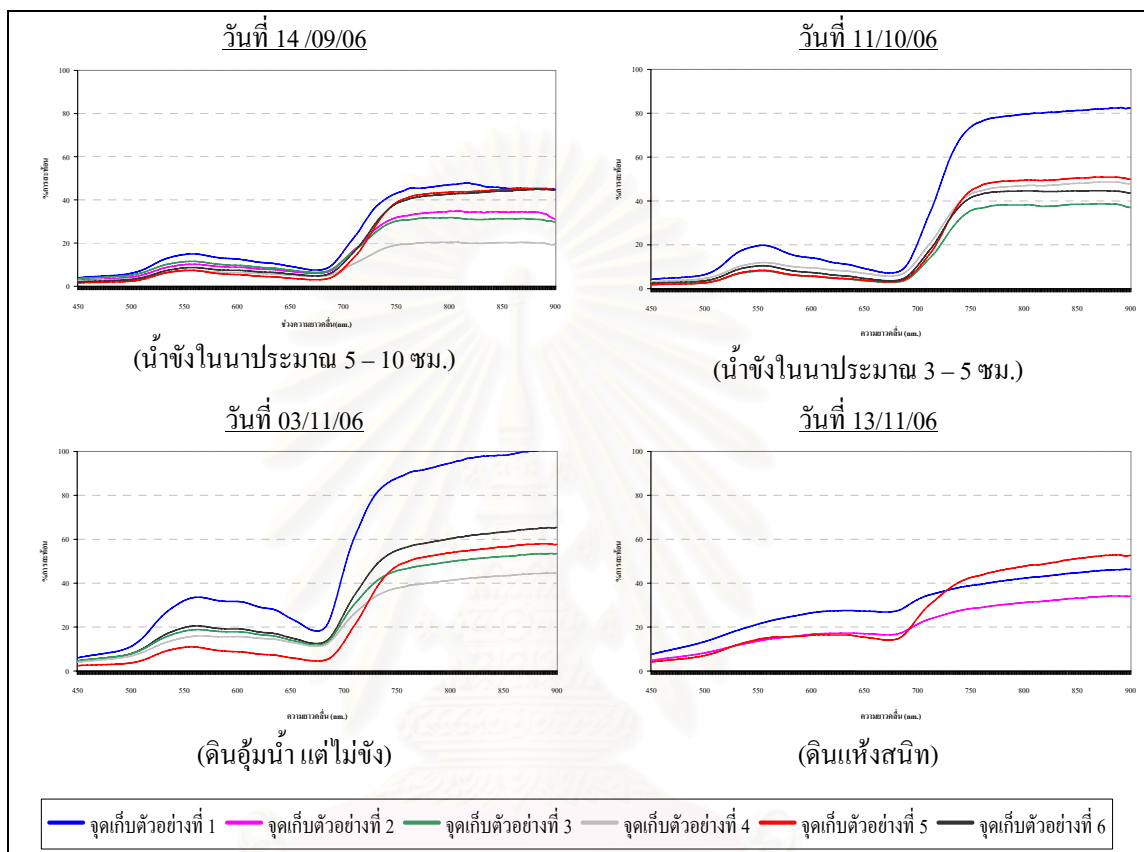
จุดที่ 6	use red filter (black and white film)				non filter (digital camera)
	NIR	RED	NDVI	False color composite	
14/09/2006 (image 6)					ไม่มีข้อมูล
11/10/2006 (image 24)					
3/11/2006 (image 99)					

จะเห็นได้ว่าข้อมูลภาพถ่ายและข้อมูลจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์มีหมายเลขกำกับ ซึ่งตัวเลขดังกล่าวหมายถึง รหัสข้อมูล ทั้งนี้มีการสร้างฐานข้อมูลแสดงเอกลักษณ์ของข้อมูลแต่ละค่า เนื่องจากในการเก็บข้อมูลภาคสนามมีข้อมูลจำนวนมาก การจัดระบบข้อมูลจึงเป็นสิ่งจำเป็นยิ่ง (ภาคผนวก ข.)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 5.4 เปรียบเทียบพฤติกรรมการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าว

ผลจากการวัดค่าการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นถึงช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้) ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตนั้นของข้าวในปี ดังภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวในปี

จากภาพที่ 5.2 สามารถอธิบายพฤติกรรมการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุประสงค์ซึ่งประกอบด้วย ดิน ต้นข้าว และน้ำ ได้ดังนี้

1. พฤติกรรมของน้ำ ต้นข้าว และดิน ที่สะท้อนและดูดกลืนช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็น  
พฤติกรรมของน้ำ น้ำสามารถดูดช่วงคลื่นที่ตามองเห็นได้ทุกช่วงคลื่น โดยช่วงคลื่นที่ถูกกลืนมากที่สุดคือ แสงสีเขียวและแสงสีน้ำเงิน ส่วนแสงสีแดงถูกดูดกลืนต่ำ และในขณะเดียวกันแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินถูกดูดกลืนโดยพืชเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (แสงสีแดงถูกดูดกลืนมากที่สุด) ดังนั้น แสงสีเขียวจึงสะท้อนได้มากกว่าแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงที่ถูกดูดกลืนโดยน้ำและต้นข้าว ดังข้อมูลวันที่ 14/10/06 และ 11/10/06 สำหรับข้อมูลวันที่ 03/11/06 และ 13/11/06

ไม่แสดงพฤติกรรมดังที่กล่าวมา เนื่องจากดินไม่มีน้ำขัง และมีความชื้นในดินลดลง สำหรับพฤติกรรมการสะท้อนของดินนั้น ไม่ขึ้นกับช่วงความยาวคลื่น หรือ สะท้อนกลับเกือบทั้งหมด ยกเว้นมีกับปัจจัยอื่นมาเกี่ยวข้อง เช่น ธาตุอาหาร และความชื้นในดิน เป็นต้น ดังนั้น ในกรณีที่ดินแห้ง (ข้อมูลวันที่ 13/11/06) ประกอบกับดินเป็นชนิดเดียวกัน ทำให้มีลักษณะการสะท้อนเป็นแบบเดียวกัน และถ้าดินยิ่งแห้งการสะท้อนก็จะสูงขึ้น

## 2. พฤติกรรมของดิน ต้นข้าว และน้ำ ที่สะท้อนและดูดกลืนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

การสะท้อนของน้ำในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ให้ค่าใกล้เคียงกับแสงสีแดง คือ ถูกดูดกลืนน้อย แต่ถูกสะท้อนกลับโดยพืชและดินแห้งมากกว่าช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็น ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสะท้อนของพืช ได้แก่ โครงสร้างใบของพืชแต่ละชนิด น้ำในใบพืช และไขมันเคลือบผนังเซลล์พืช เป็นต้น โดยเฉพาะระยะที่พืชเจริญเติบโตเต็มที่ค่าการสะท้อนก็จะมีค่าสูงสุดในทางกลับกันถ้าพืชเป็นโรค หรือเหี่ยวค่าการสะท้อนก็จะต่ำลงด้วย

สำหรับการศึกษาความสมบูรณ์ของพืชโดยใช้ดัชนี NDVI ซึ่งเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการสะท้อนช่วงคลื่นสีแดงและอินฟราเรดใกล้ของพืช เนื่องจาก ช่วงคลื่นสีแดง มีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างใบ น้ำในใบ และไขมันเคลือบผนังเซลล์พืช ดังนั้น ดัชนี NDVI จึงเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของพืชเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

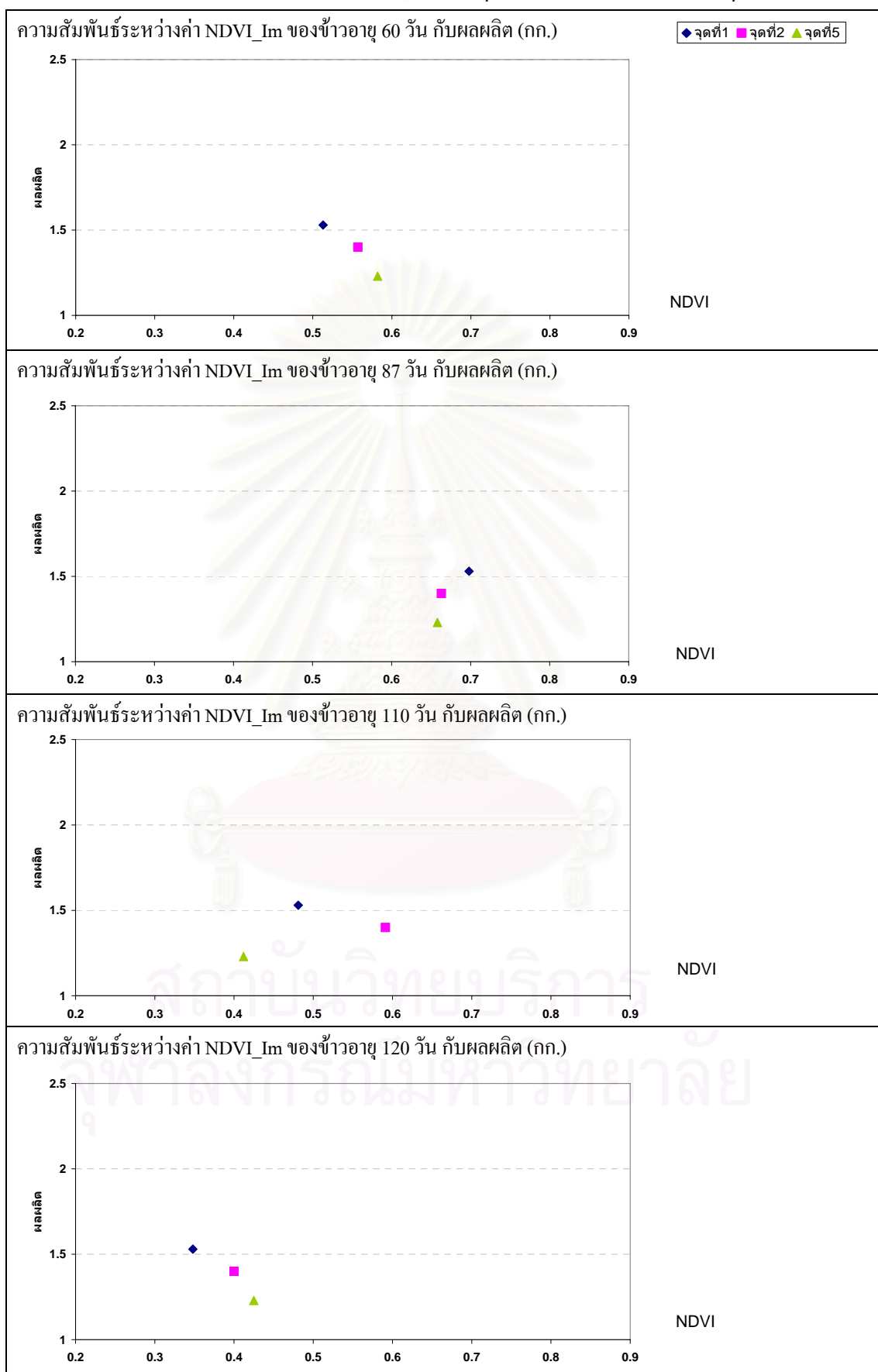
### 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI (จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และภาพถ่าย) กับผลผลิต

ตารางที่ 5.13 ผลผลิตข้าวและมวลชีวภาพเหนียดินของแปลงตัวอย่างขนาด 4 ตร.ม. ที่เข้าร่วมและไม่เข้าร่วมโครงการจุดสระกักเก็บน้ำตามทฤษฎีใหม่

จุดเก็บตัวอย่าง	จุดที่	ผลผลิตข้าว(กก.)	มวลชีวภาพเหนียดิน (กก.)
เข้าร่วมโครงการ	1	1.53	6.02
	3	1.65	5.92
	4	2.22	7.05
ไม่เข้าร่วมโครงการ	2	1.40	6.14
	5	1.23	4.83
	6	2.01	8.32

ค่า NDVI ในตารางที่ 5.4 และ 5.6 สามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์กับผลผลิต (ตารางที่ 5.13) โดยเปรียบเทียบข้อมูลเป็นคู่ กำหนดให้แต่ละคู่ต้องเป็นกลุ่มอายุเดียวกันและทั้งคู่ต้องไม่อยู่ในกลุ่มเข้าร่วมโครงการหรือเข้าร่วมโครงการเหมือนกัน ดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI\_Im ที่อายุต่างๆ กับผลผลิต (กก.) ของจุดที่ 1, 2 และ 3



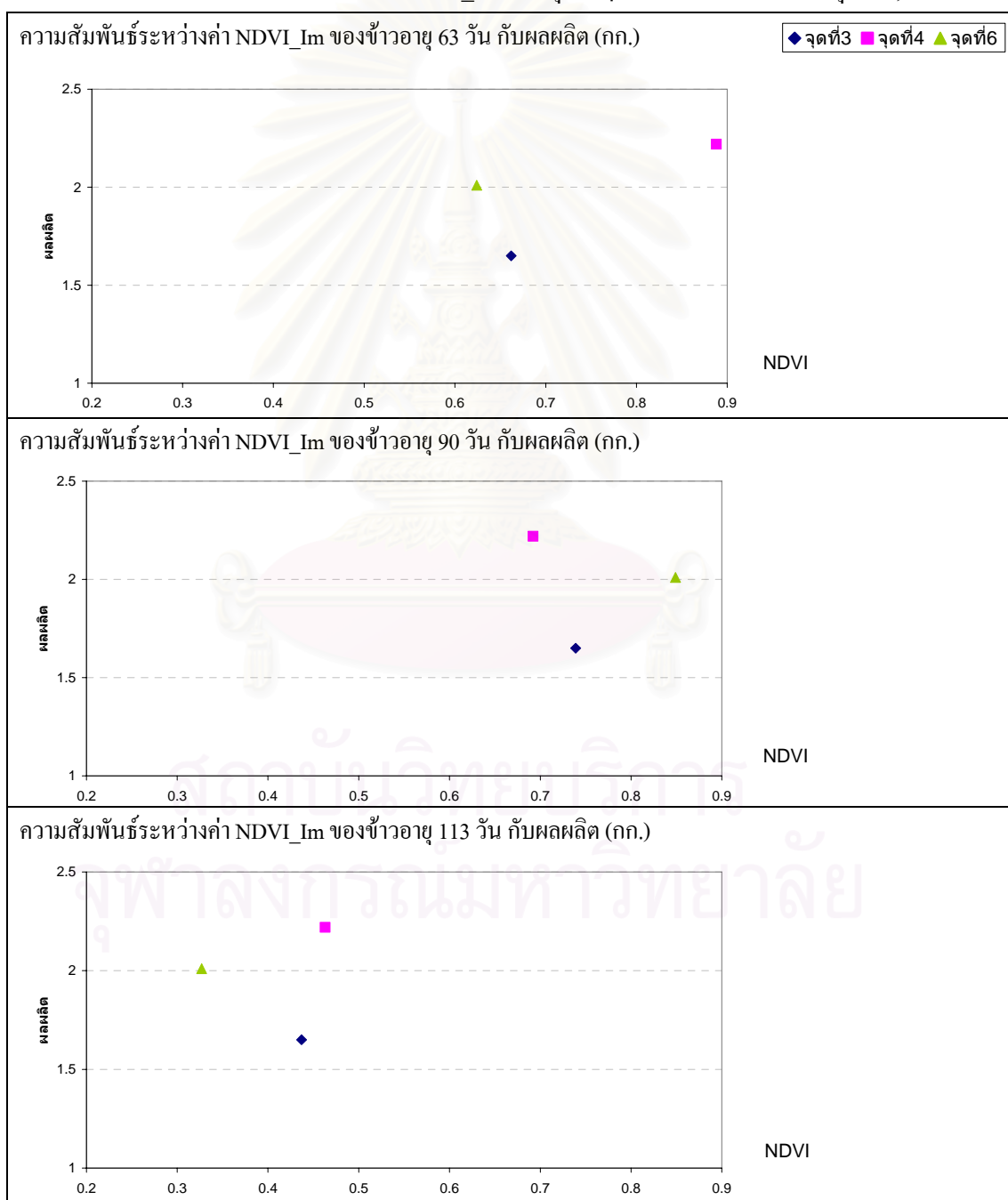
จุดที่ 1 กับ จุดที่ 2

จุดที่ 1 มีค่า NDVI\_Im สูงกว่าจุดที่ 2 ประมาณ 0.035 และให้ปริมาณเมล็ดข้าวสูงกว่า 0.13 กก. แต่ให้มวลชีวภาพเหนือดินต่ำกว่าจุดที่ 2 ประมาณ 0.12 กก.

จุดที่ 1 กับ จุดที่ 5

จุดที่ 5 มีค่า NDVI\_Im สูงกว่าจุดที่ 1 ประมาณ 0.111 และจุดที่ 1 ให้ปริมาณเมล็ดข้าวและมวลชีวภาพเหนือดินสูงกว่าจุดที่ 5 ประมาณ 0.30 กก. และ 1.19 กก. ตามลำดับ

ตารางที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI\_Im ที่อายุต่างๆ กับผลผลิต (กก.) ของจุดที่ 3, 4 และ 6





### จุดที่ 6 กับ จุดที่ 3

จุดที่ 6 มีค่า NDVI\_Im ปริมาณเมล็ดข้าว และมวลชีวภาพเหนือดินสูงกว่าจุดที่ 3 ประมาณ 0.110 0.36 กก. และ 3.40 กก. ตามลำดับ

### จุดที่ 6 กับ จุดที่ 4

จุดที่ 6 มีค่า NDVI\_Im และให้มวลชีวภาพเหนือดินสูงกว่าจุดที่ 4 ประมาณ 0.157 และ 1.27 กก. ตามลำดับ แต่จุดที่ 4 ให้ปริมาณเมล็ดข้าวสูงกว่าประมาณ 0.21 กก.

จากการเปรียบเทียบทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของการใช้ทรัพยากรดินน้ำในการปลูกข้าว นาปี พันธุ์ กข.6 ในกรณีที่มีปริมาณน้ำฝนเพียงพอต่อการเพาะปลูก (ได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชัน และลมมรสุม) โดยไม่ต้องสูบน้ำจากท่อส่งน้ำจากอ่างเก็บกักน้ำลำพะยังตอนบน แต่มีวิธีการเพาะปลูกที่แตกต่างกันคือ จุดที่ 1 มีรูปแบบการทำเกษตรแบบเกษตรอินทรีย์ หรือเกษตรชีวภาพ 100% จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีรูปแบบการทำเกษตรแบบเกษตรอินทรีย์ประมาณ 50% ส่วนจุดที่ 2 จุดที่ 5 และจุดที่ 6 เป็นการทำเกษตรที่ยังพึ่งพายุเคมี ทำให้เกิดข้อเปรียบเทียบในประเด็นของต้นทุนตามมา ซึ่งชัดเจนว่า เกษตรอินทรีย์มีต้นทุนที่ต่ำกว่ามาก และให้ผลผลิตที่สูงกว่าด้วย และถ้าต้องการสร้างสมการประเมินและทำนายผลผลิตข้าวในอนาคต ปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณานอกจากค่า NDVI แล้ว ได้แก่

1. ปัจจัยด้านอุณหภูมิอากาศสถานที่ใกล้พื้นที่ศึกษามากที่สุด ซึ่งข้อมูลส่วนมากจะเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนหรือรายวัน โดยค่าที่ต้องทำการตรวจวัดพร้อมกับการบันทึกค่าการสะท้อน ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มแสงอาทิตย์ สัดส่วนก้อนเมฆบนท้องฟ้า ความสูงของต้นข้าว ความชื้นในดิน เป็นต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลบริบทสิ่งแวดล้อม ณ ช่วงเวลานั้น
2. ปริมาณน้ำที่สูบน้ำเข้านาข้าว ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี
3. ผลผลิตข้าว และมวลชีวภาพเหนือดิน

## บทที่ 6

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการศึกษา

การพัฒนาเทคนิคการสำรวจระยะไกลภาคพื้นดินโดยใช้กล้องถ่ายภาพแบบเลนส์เดี่ยว ใช้ฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ และฟิลเตอร์สีแดง (wratten no.25) เพื่อประเมินและติดตามผลผลิตของข้าวนาปี ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า DN กับจำนวนจุดภาพ (pixel) เพื่อเสนอทางเลือกสำหรับแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับการใช้ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรในระบบ passive ที่ไม่สามารถถ่ายภาพทะลุก้อนเมฆได้ ประกอบกับดาวเทียมมีคาบของการโคจรกลับมาที่เดิมต้องใช้เวลาหลายวันทำให้ขาดความต่อเนื่องของข้อมูลสำหรับใช้ในงานที่ต้องการติดตามพฤติกรรมของวัตถุเป้าหมายในช่วงเวลาสั้นๆ และต่อเนื่อง ทั้งนี้ ได้ทำการตรวจวัดเทียบกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ซึ่งผลิตโดยบริษัท Spectra Co-Op Inc ประเทศญี่ปุ่น ใช้สำหรับตรวจวัดการสะท้อนแสงในกรณีทั่วไป และให้ผลลัพธ์เป็นความสัมพันธ์ระหว่างช่วงความยาวคลื่นกับร้อยละการสะท้อนของแสงในส่วนของดัชนีที่ใช้ประเมินและติดตามความสมบูรณ์ของพืชคือ NDVI (normalized difference vegetation index) ซึ่งเป็นผลจากการหาสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นแสงสีแดง (RED) กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) ดังสมการ  $(NIR-RED)/(NIR+RED)$  โดยพฤติกรรมของ RED และ NIR จะแตกต่างกันไปตามโครงสร้างใบของพืชแต่ละชนิด น้ำในใบพืช คลอโรฟิลล์ และไขมันเคลือบผนังเซลล์พืช ดังนั้น NDVI จึงไม่สามารถบ่งบอกถึงอายุพืช แต่สามารถบอกถึงความสมบูรณ์ของพืชในขณะนั้นได้ นอกจากนี้ ความสูงจากวัตถุเป้าหมายจนถึงอุปกรณ์รับสัญญาณ มุมรับสัญญาณ หรือมุมรับภาพ ในขั้นตอนการบันทึกค่าการสะท้อน ไม่มีผลต่อค่า NDVI รวมถึงพฤติกรรมของ RED และ NIR ที่มีต่อน้ำก็ไม่มีผลต่อ NDVI เช่นกัน เนื่องจากพฤติกรรมของช่วงคลื่นทั้งสองเป็นแนวทางเดียวกันดังภาพที่ 2.3 โดยก่อนที่จะทำการเก็บตัวอย่างจริง มีประเด็นที่ต้องทำการทดสอบ 2 ประเด็นด้วยกัน ดังนี้

#### 1. พื้นที่รับภาพ หรือพื้นที่รับสัญญาณ

เนื่องจากในขั้นตอนการคำนวณหาค่า NDVI นั้น ต้องคำนวณจากภาพที่ผ่านการตัดภาพ (subset) ให้มีขนาดใกล้เคียงกับพื้นที่รับภาพของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ เพราะถ้าขนาดของตัวอย่างที่ต้องการเปรียบเทียบแตกต่างกันมากค่าที่ได้ย่อมไม่แสดงถึงความสัมพันธ์ใดๆ ดังนั้น การปรับขนาดของตัวอย่างให้เท่ากัน หรือมีขนาดที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด จึงเป็นขั้นตอนแรกที่พึงกระทำก่อนจะนำผลไปวิเคราะห์ โดยทำการกำหนดควิธีรับภาพ หรือรับสัญญาณ ให้คงที่ตลอดการทดลอง เช่น ความสูงจากอุปกรณ์รับสัญญาณกับวัตถุเป้าหมาย ความสูงของต้นข้าว มุมรับภาพ

ความกว้างของเลนส์ เป็นต้น และจากการคำนวณกรอบรับภาพและกรอบรับสัญญาณ พบว่า พื้นที่กรอบรับภาพของกล้องถ่ายภาพมีขนาดเป็น 20 เท่า ของกรอบรับสัญญาณของเครื่องสเปคโตรมิเตอร์ ในกรณีที่ใช้มุมกล้อง 37 องศา เลนส์ 35 มม. ซึ่งให้ผลแบบเดิมทุกครั้งที่ทำารเก็บตัวอย่าง (หัวข้อที่ 4.1 และ 4.2)

## 2. การแยกค่า DN ที่เกิดจาก RED และ NIR

ในขั้นตอนนี้ต้องหาวิธีทดสอบที่เหมาะสม โดยยึดหลักการของการถ่ายภาพและการสำรวจระยะไกลเป็นหลัก โดยทำการทดลอง 3 วิธี ได้แก่

- การทดสอบเพื่อหาสัดส่วนการส่องผ่านของ RED ต่อ NIR ของฟิลเตอร์สีแดงที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งพบว่า ให้สัดส่วนการส่องผ่านเป็น 8 ต่อ 1 แต่ความสัมพันธ์ดังกล่าว ไม่สามารถนำมาอธิบายเพื่อจำแนกช่วงคลื่นทั้งสองได้

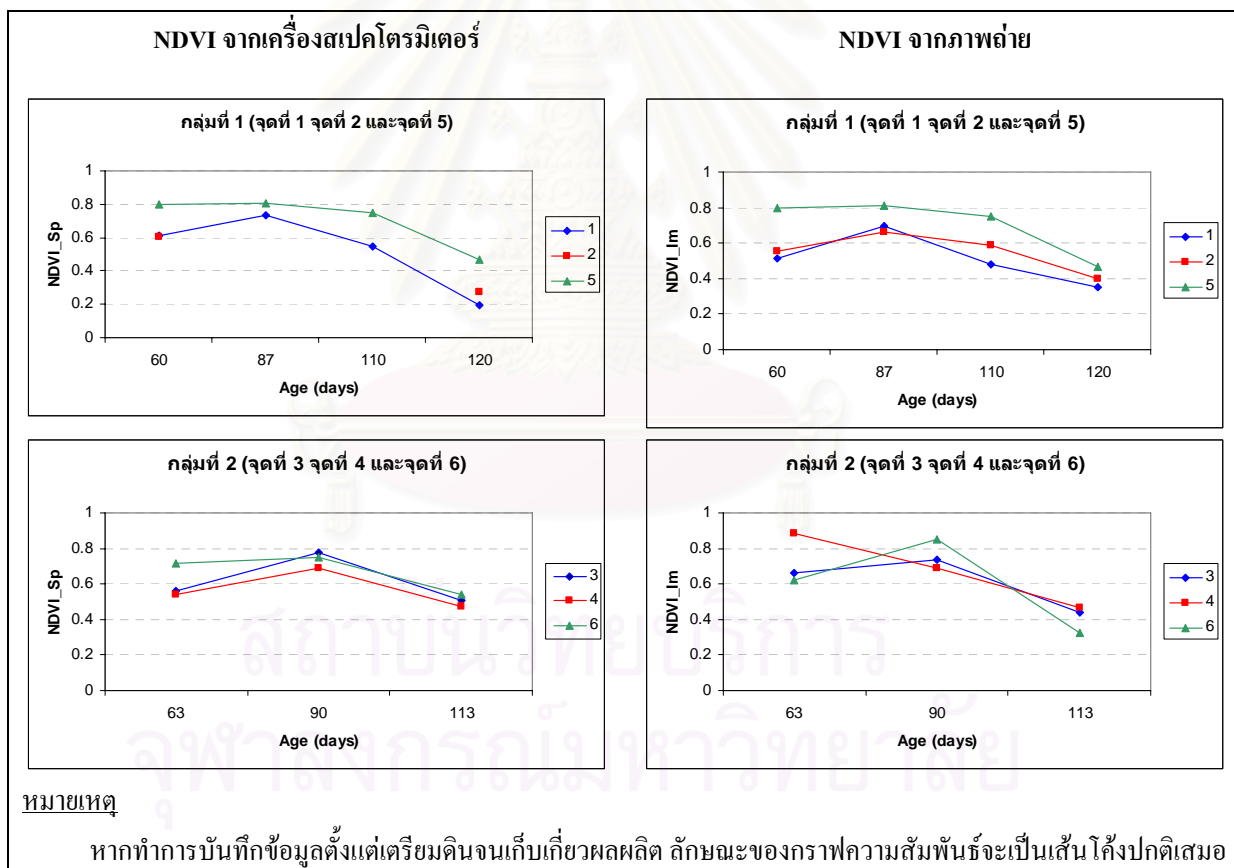
- การถ่ายภาพในช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นแล้วแยกเฉพาะช่วงคลื่นสีแดงออก และอีกภาพถ่ายโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพอินฟราเรด (ใช้ฟิลเตอร์อินฟราเรด) จากนั้น นำภาพทั้งสองมาคำนวณหาค่า NDVI แต่มีอุปสรรคเกิดขึ้น เนื่องจากภาพทั้งสองเกิดจากคนละกระบวนการทำให้บางภาพมีขนาดที่ต่างกันเล็กน้อย ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถนำมาคำนวณค่า NDVI ได้ แม้จะมีวิธีแก้ไข เช่น การปรับขนาดภาพโดยใช้โปรแกรม แต่วิธีการดังกล่าวเป็นการเพิ่มความผิดพลาดให้แก่ข้อมูลมากยิ่งขึ้น

- การทดสอบการสร้างภาพของฟิล์ม 3 ชนิด ได้แก่ ฟิล์มสไลด์สี ฟิล์มขาวดำ และฟิล์มอินฟราเรดใกล้ รวมถึงการทดสอบการส่องผ่านของฟิลเตอร์และการแสดงผลของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณค่า NDVI เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าสามารถจำแนกภาพที่เกิดจาก RED และ NIR ออกจากกันได้จริง โดยใช้ทฤษฎีการผสมแสงสีและเอกลักษณ์ของภาพอินฟราเรดใกล้ที่มีต่อ พืช น้ำ และท้องฟ้า เป็นตัวช่วยในการอธิบาย แต่ยังคงพบข้อบกพร่องเล็กน้อยที่สามารถแก้ไขเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น ซึ่งความบกพร่องที่เกิดขึ้นคือ มีบางจุดภาพที่ให้ค่า DN ผิดคลบ ซึ่งโดยปกติแล้วค่า DN จะเป็นบวกเท่านั้น โปรแกรมจึงทำการประมวลผลภาพใหม่ ทำให้สูญเสียข้อมูลภาพที่แท้จริงบางส่วน นั่นคือ ต้นข้าวเป็นสีขาวแทนที่จะเป็นสีแดง ดังแสดงในตารางที่ 5.7 ถึง 5.12 (ผลการผสมสีแบบ false color composite)

พืชที่ใช้ในการศึกษาคือ ข้าวนาปี ปลูกในพื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำลำพะยังตอนบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (ตำบลสงเปลือย อำเภอเขาวง จังหวัดกาฬสินธุ์) โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่เข้าร่วมโครงการชุดสระเก็บกักน้ำตามทฤษฎีใหม่ (เกษตรอินทรีย์) 3 แปลง ได้แก่ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 และจุดเก็บตัวอย่างที่ 5 และกลุ่มที่ไม่เข้าร่วม

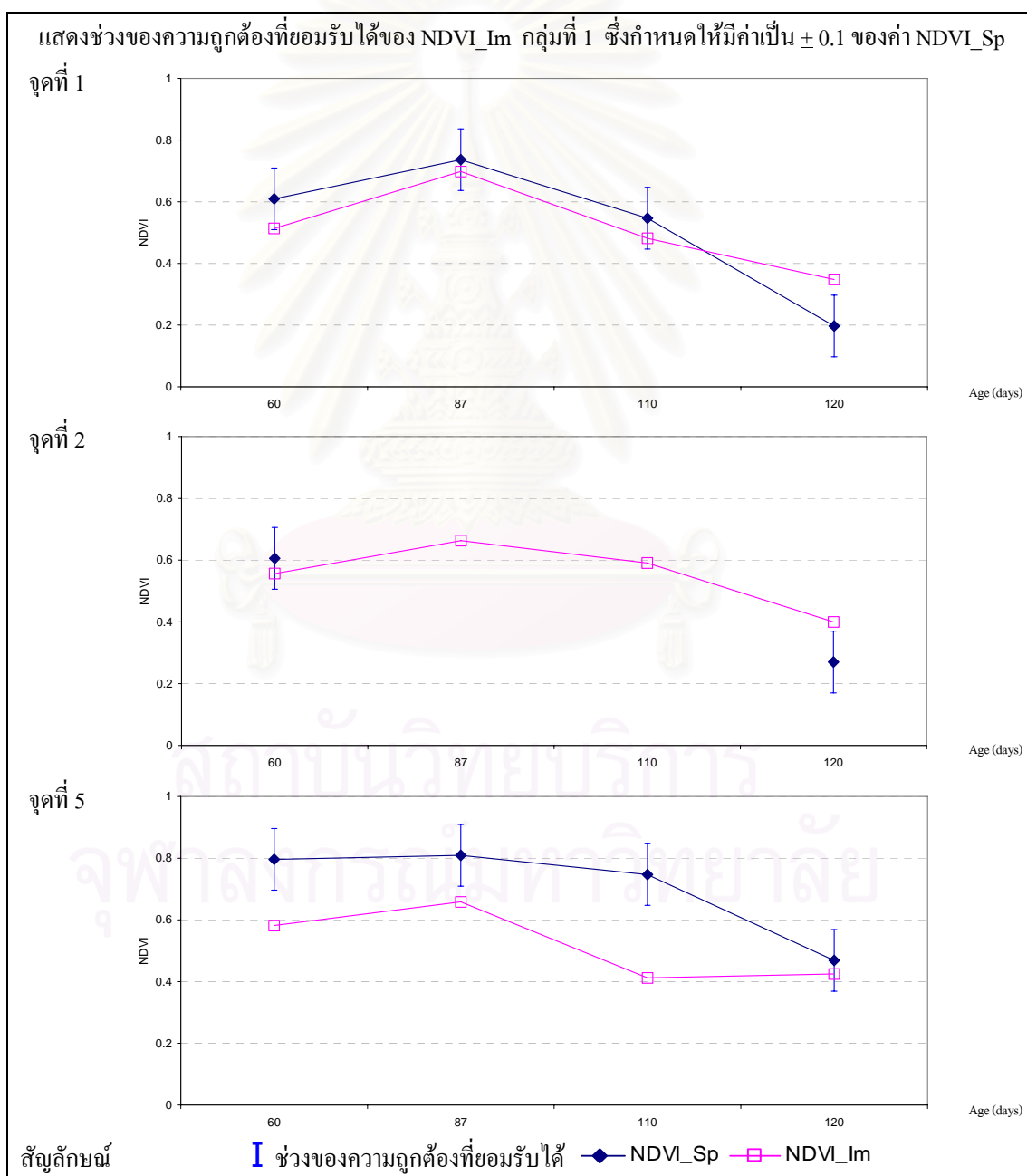
โครงการฯ (ใช้ปุ๋ยเคมี) 3 แปลง ได้แก่ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และจุดเก็บตัวอย่างที่ 6 (เรียงลำดับจุดเก็บตัวอย่างตามระยะห่างจากอ่างเก็บน้ำลำพะยังตอนบน โดยเริ่มนับจากจุดเก็บตัวอย่างที่ใกล้ที่สุดเป็นจุดเก็บตัวอย่างที่ 1) เก็บตัวอย่างในช่วงเดือนกันยายน ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549 ซึ่งตรงกับระยะข้าวแตกกอเต็มที่ (ข้าวอายุ 60-63 วัน) ระยะสร้างช่อดอก(ข้าวอายุ 87-90 วัน) ระยะสร้างเมล็ด (ข้าวอายุ 110-113 วัน) และระยะเมล็ดสุกพร้อมเก็บเกี่ยว (ข้าวอายุ 120 วัน) โดยให้ค่า NDVI\_Sp (จากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์) และค่า NDVI\_Im (จากภาพถ่าย) ดังนี้

- ข้าวอายุ 60-63 วัน ให้ค่า NDVI\_Sp 0.538-0.796 และ NDVI\_Im 0.513-0.888
- ข้าวอายุ 87-90 วัน ให้ค่า NDVI\_Sp 0.688-0.809 และ NDVI\_Im 0.658- 0.849
- ข้าวอายุ 110-113 วัน ให้ค่า NDVI\_Sp 0.470-0.747 และ NDVI\_Im 0.327-0.591
- ข้าวอายุ 120 วัน ให้ค่า NDVI\_Sp 0.197-0.469 และ NDVI\_Im 0.348-0.425

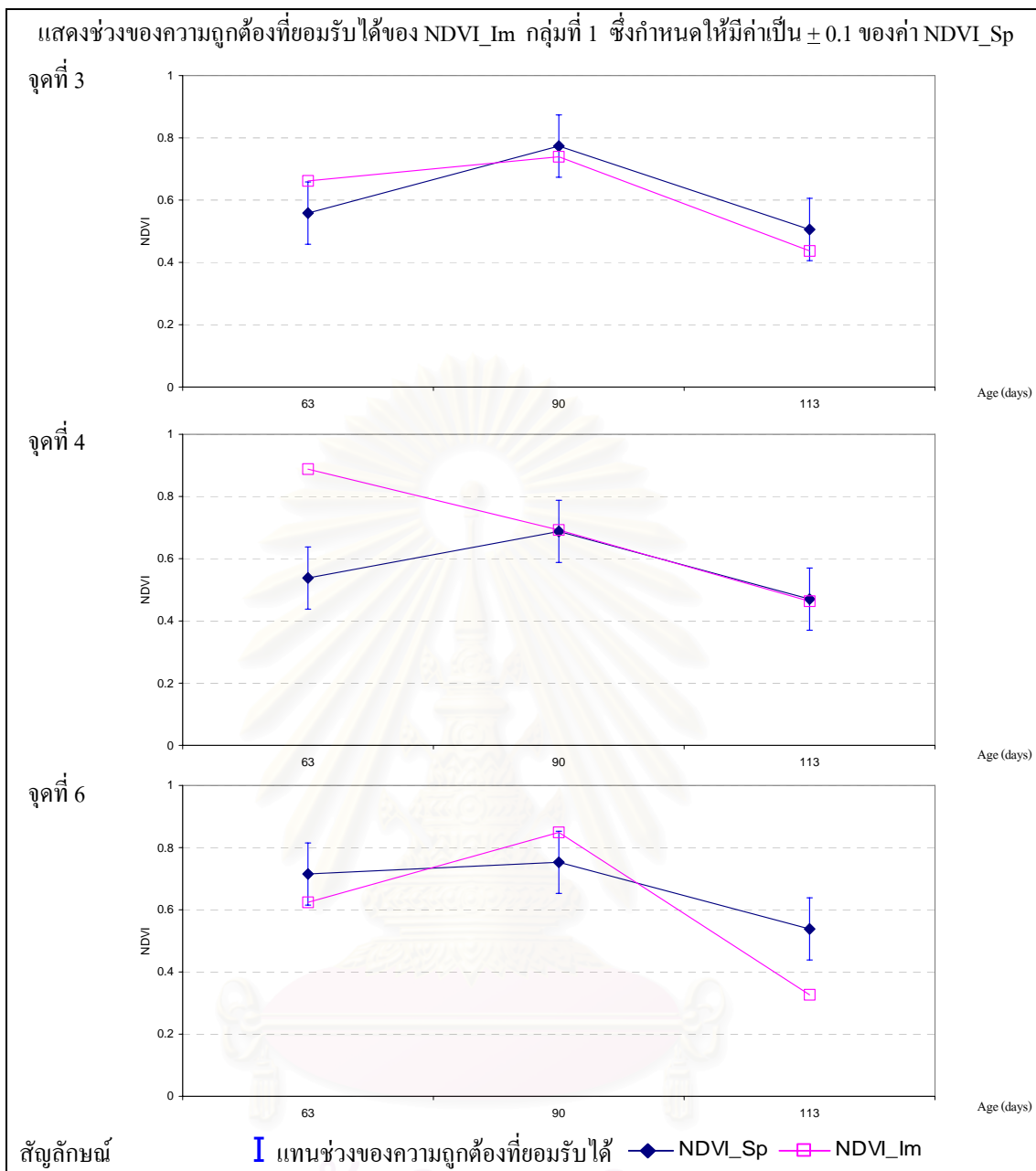


ภาพที่ 6.1 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่า NDVI จากเครื่องสเปคโตรมิเตอร์และจากภาพถ่าย

เมื่อพิจารณาค่า NDVI\_Sp และค่า NDVI\_Im ของทั้ง 2 กลุ่ม โดยกำหนดช่วงของความถูกต้องที่ยอมรับได้ของ NDVI\_Im ให้มีค่าเท่ากับ  $\pm 0.1$  ของค่า NDVI\_Sp พบว่า ค่า NDVI\_Im ของกลุ่มที่ 1 (เกษตรอินทรีย์) ได้แก่ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 และจุดเก็บตัวอย่างที่ 5 อยู่ในช่วงความถูกต้องที่ยอมรับได้ คิดเป็น 75% 50%(เป็นค่าประมาณ เนื่องจากมีค่า NDVI\_Sp เพียง 2 ค่า) และ 25% ตามลำดับ และค่า NDVI\_Im ของ กลุ่มที่ 2 (ใช้ปุ๋ยเคมี) ได้แก่ จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 และจุดเก็บตัวอย่างที่ 6 อยู่ในช่วงความถูกต้องที่ยอมรับได้ คิดเป็น 66.67% ทั้ง 3 จุด ซึ่งความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มลักษณะเดียวกันทั้งหมด (ภาพที่ 6.2 และ 6.3) จึงสรุปได้ว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำเทคนิควิธีที่พัฒนาขึ้น มาใช้แทนเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ซึ่งมีราคาสูงกว่ามากได้



ภาพที่ 6.2 ความถูกต้องที่ยอมรับได้ของ NDVI\_Im กลุ่มที่ 1 (จุดที่ 1 จุดที่ 2 และจุดที่ 5)



ภาพที่ 6.3 ความถูกต้องที่ยอมรับได้ของ NDVI\_Im กลุ่มที่ 2 (จุดที่ 3 จุดที่ 4 และจุดที่ 6)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI\_Im กับผลผลิต เพื่อศึกษาความเป็นไปได้สำหรับนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาใช้ประเมินและติดตามผลผลิตข้าว ซึ่งผลการศึกษา พบว่าความสัมพันธ์ของผลผลิตไม่ได้ขึ้นกับค่า NDVI เพียงปัจจัยเดียว แต่มีปัจจัยที่เกิดจากลักษณะการทำเกษตรที่แตกต่างกันของกลุ่มตัวอย่างทั้งสอง ซึ่งปัจจัยที่กล่าวถึง ได้แก่

- การจัดการน้ำ โดยแต่ละแปลงตัวอย่างมีการใช้น้ำที่แตกต่างกัน เช่น สูบน้ำจากท่อส่งน้ำของโครงการอ่างเก็บน้ำลำพะยังตอนบนเข้าพื้นที่นาข้าวโดยตรง เติมน้ำให้กับสระน้ำในนาข้าว และใช้น้ำฝนในการทำเกษตร

- ลักษณะการไถพรวนที่แตกต่างกัน เช่น แปลงตัวอย่างที่เข้าร่วมโครงการชุดสระเก็บกักน้ำตามทฤษฎีใหม่ มีการทำเกษตรแบบอินทรีย์ โดยแต่ละแปลงตัวอย่างมีระยะเวลาในการเข้าร่วมโครงการฯ แตกต่างกัน ทำให้บางแปลงตัวอย่างมีการปรับลักษณะการทำเกษตรเป็นเกษตรอินทรีย์ที่สมบูรณ์แบบ ส่วนบางแปลงตัวอย่างยังอยู่ในระหว่างการปรับเปลี่ยน สำหรับแปลงตัวอย่างที่ไม่เข้าร่วมโครงการฯ นั้น มีลักษณะการทำเกษตรแบบพึ่งพาปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

ดังนั้น ความสัมพันธ์ที่ได้รับจึงไม่สามารถนำมาใช้ในการประเมินและติดตามผลผลิตข้าวได้ในขณะนี้

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ความถูกต้องของ NDVI\_Im จะเพิ่มขึ้น จากการพิจารณาขั้นตอนการแยก DN เพื่อหาค่าการสะท้อนของช่วงคลื่น RED และ NIR ซึ่งส่งผลต่อความสัมพันธ์ของค่า NDVI\_Im กับผลผลิตให้มีความถูกต้องเพิ่มขึ้นเช่นกัน

2. หลักการและวิธีการในการพัฒนาเครื่องมือที่ได้จากการศึกษา มีความเป็นไปได้สำหรับพัฒนาเครื่องชนิดอื่นๆ ที่มีความสามารถในการบันทึกภาพที่เกิดจากช่วงคลื่น RED และ NIR เพื่อใช้ในการประเมินและติดตามผลผลิตได้เช่นเดียวกัน

3. การสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงอายุกับ NDVI เพื่อใช้เป็นเกณฑ์การประเมินผลผลิตพืช โดยใช้วิธีการและข้อมูลที่บันทึกด้วยเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น พร้อมกับบันทึกข้อมูลผลผลิตที่ได้รับ และปัจจัยด้านการจัดการน้ำ การไถพรวน ชนิดดิน และชนิดพันธุ์ของพืช ทั้งนี้ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ในการพัฒนาแบบจำลองดังกล่าว

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- คณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, สำนักงาน. 2542. รายงานการประเมินผลโครงการชุดสระเก็บกักน้ำตามทฤษฎีใหม่ อำเภอเขาวง จังหวัดกาฬสินธุ์. กรุงเทพฯ: กองประเมินผลและข้อมูล สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.
- ชลประทาน, กรม. 2545. รายงานฉบับสมบูรณ์การศึกษาความเหมาะสมโครงการอุโมงค์ผันน้ำจากอ่างเก็บน้ำห้วยไผ่ลงสู่พื้นที่การเกษตรลุ่มน้ำลำพะยั้ง. กรุงเทพฯ: กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ณรงค์ สมพงษ์. 2545. การถ่ายภาพเทคนิคสูง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เฟื่องฟ้าพริ้นติ้ง.
- นวลจันทร์ เถระพัฒน์. 2538. คู่มือปฏิบัติการถ่ายภาพสี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พัฒนาที่ดิน, กรม. 2537. คู่มือการจัดการดินกับพืชเศรษฐกิจสำหรับเกษตรกร จ.กาฬสินธุ์. สื่อการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์.
- พัฒนาที่ดิน, กรม. 2548. การใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประเมินผลผลิตข้าวนาปี ปีการผลิต 2548. สื่อการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์.
- วิเชียร ฝอยพิกุล. 2548. เทคนิคและการใช้ดิน-ปุ๋ย-น้ำ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์. ม.ป.ท.
- สงขลานครินทร์, มหาวิทยาลัย. 2549. การเพาะปลูกข้าว [online]. Available from: <http://www.natres.psu.ac.th/Department/PlantScience/510-211/lecturenote/document/rice>. [2549, ธันวาคม 17].
- สถาพร มนต์ประภัสสร. 2542. การประยุกต์ใช้สารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการวางแผนการใช้ที่ดินสำหรับการเกษตรบางชนิดในอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์สถานะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมาน เฉตระการ. 2549. การถ่ายภาพเบื้องต้น (Fundamental of Photography). พิมพ์ครั้งที่ 54. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด 9119 เทคนิคพริ้นติ้ง.
- เสริม จันทร์ฉาย. 2547. ฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทน.
- สุรเดช วงศ์สินหลั่ง. 2541. เทคนิคการวัดแสง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ Photo&Life.



สุรภี อิงคากุล. 2548. การวิเคราะห์ข้อมูลระยะไกล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่ง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

### ภาษาอังกฤษ

Honda, K., Vathananukij, H., Lertlum, S., Chemin, Y., Ines, A.V.M., and Kamthonkiat, D. 2005. Workshop Near Real Time Agriculture Activity Monitoring using Multi-Temporal MODIS Earth Observation Satellite Data [online]. Available from: <http://www.star.ait.ac.th/~honda>. [2006, November 1].

Horie, T., Yajima, M., and Nakagawa, H. 1992. Yield forecasting. Agricultural Systems. 40: 211-236.

Jensen, J. R. 2000. Remote sensing of the environment : an earth resource perspective. New Jersey: Prentice Hall.

Oguro, Y., Suga., Takeuchi, S., Ogawa, H., and Tsuchiya, K. 2003. Monitoring of a rice field using LANDSAT-5 TM and LANDSAT-7 ETM+ data. Journal of Adv. Space Res. 32: 2223-2228.

Speackman, S. 2006. Using multispectral imagery to manage rice fields [online]. Available from: <http://www.ricecrc.org/reader/reports-program2>. [2006, December 20].

Naikaset, S. 2000. Application of remote sensing and Geographic Information System to forecast dry season paddy yield in the central plain of Thailand. Master of Science. Asain Institute of Technology.

Vasgasfrance. 2006. Tntroduction-to-remote-sensing [online]. Available from: <http://www.forestry.gov.uk/website>. [2006, November 14].

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผนวก ก  
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ ก-1 ปริมาณฝนรวมทั้งเดือน (มม.)

พ.ศ./เดือน	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	รวม(10 ปี)	เฉลี่ยคาบ 10ปี
ม.ค.	0.5	0.2	0.1	0.0	0.4	2.3	0.0	0.0	12.1	0.0	0.0	15.6	1.4
ก.พ.	0.3	13.1	12.9	0.0	13.2	0.0	0.5	9.5	91.1	0.0	15.4	156.0	14.2
มี.ค.	58.2	53.8	16.5	95.6	0.8	34.1	121.5	79.3	5.7	4.7	102.7	572.9	52.1
เม.ย.	109.7	83.1	85.2	44.8	129.3	39.6	83.5	18.0	120.3	33.4	106.7	853.6	77.6
พ.ค.	243.1	112.1	144.8	282.6	157.3	333.6	300.3	83.6	298.4	164.2	121.6	2241.6	203.8
มิ.ย.	244.1	219.3	230.8	200.6	259.4	320.0	216.7	315.7	218.1	302.5	190.1	2717.3	247.0
ก.ค.	137.6	292.2	166.5	196.2	396.4	239.5	181.1	101.9	550.4	222.1	216.0	2483.9	248.4
ส.ค.	167.3	200.0	207.8	65.2	266.5	344.7	327.5	296.9	297.0	284.7	237.1	2457.6	245.8
ก.ย.	288.3	154.8	192.4	226.6	142.4	197.2	387.8	294.6	72.5	289.3	183.3	2245.9	224.6
ต.ค.	36.6	33.0	25.8	101.5	50.8	169.2	32.1	19.0	9.0	21.1	314.8	498.1	49.8
พ.ย.	52.0	0.6	16.7	47.8	0.0	58.9	5.5	0.0	3.4	30.6	11.2	215.5	21.6
ธ.ค.	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.7	0.0	6.5	0.7
รวม	1337.7	1162.2	1103.1	1260.9	1416.5	1739.1	1658.7	1218.5	1678.0	1353.3	1498.9	13928.0	1392.8
เฉลี่ย	111.5	96.9	91.9	105.1	118.0	144.9	138.2	101.5	139.8	112.8	124.9	1047.9	104.8
จ.น. วันที่มีฝนตก	112	100	93	134	104	121	122	95	104	115	-	1100	110

ตารางที่ ก-2 น้ำระเหยรายเดือน (มม.)

เดือน/พ.ศ.	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	เฉลี่ยคาบ11ปี
ม.ค.	155.62	130.36	131.02	138.51	126.26	126.37	128.68	115.40	103.00	98.38	110.26	123.99
ก.พ.	171.23	134.36	140.98	159.62	135.02	132.36	112.82	120.54	95.97	110.22	113.05	129.65
มี.ค.	213.37	173.00	168.48	174.67	172.09	142.88	143.21	146.17	146.20	143.48	131.64	159.56
เม.ย.	166.30	177.55	173.94	146.01	141.92	190.23	154.35	155.19	158.84	154.28	134.83	159.40
พ.ค.	156.10	176.95	171.39	117.21	128.99	149.29	140.49	157.43	150.89	160.45	147.65	150.62
มิ.ย.	144.30	143.35	154.08	133.38	108.84	123.72	134.16	131.03	126.79	122.91	144.33	133.35
ก.ค.	129.39	114.72	137.49	114.15	116.28	129.22	128.75	133.76	118.01	115.98	111.80	123.78
ส.ค.	177.03	113.65	129.45	102.90	124.63	112.62	114.84	121.36	112.48	100.12	216.00	120.91
ก.ย.	101.09	128.02	113.20	105.91	100.31	117.02	92.02	98.77	109.41	82.35	116.26	104.81
ต.ค.	139.98	124.68	126.51	112.33	127.60	156.92	128.69	132.55	149.12	127.35	314.80	132.57
พ.ย.	111.99	126.75	123.22	103.78	132.03	131.63	119.71	116.82	125.08	106.56	99.90	119.76
ธ.ค.	126.88	135.55	138.19	125.38	138.10	129.72	107.05	115.33	106.16	105.95	103.94	122.83
รวม	1,793.28	1,678.94	1,707.95	1,533.85	1,552.07	1,641.98	1,504.77	1,544.35	1,501.95	1,428.03	1,744.46	1,588.72
เฉลี่ย	149.44	139.91	142.33	127.82	129.34	136.83	125.40	128.70	125.16	119.00	145.37	132.39
หมายเหตุ	เป็นค่าน้ำระเหยรวมทั้งเดือน											

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°C)

เดือน/พ.ศ.	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	เฉลี่ยคาบ10ปี
ม.ค.	31.0	30.4	33.2	31.0	31.2	32.0	30.1	30.1	30.3	30.5	30.6	30.9
ก.พ.	31.1	32.1	34.6	33.1	31.4	33.0	32.7	33.6	29.7	34.8	32.3	32.6
มี.ค.	35.7	34.4	36.8	36.2	35.2	33.0	33.7	34.0	35.1	34.1	33.9	34.7
เม.ย.	33.7	34.9	36.4	34.0	34.0	38.1	35.2	36.6	35.8	35.9	34.4	35.4
พ.ค.	33.1	35.8	36.5	31.7	32.8	33.0	33.6	35.9	34.0	35.7	34.3	34.2
มิ.ย.	32.5	34.5	34.3	32.4	31.9	32.5	33.3	33.6	32.2	32.7	33.8	33.1
ก.ค.	32.0	31.6	33.2	31.9	31.5	32.2	32.6	33.3	31.8	32.0	31.7	32.2
ส.ค.	31.8	31.5	33.3	31.5	32.0	31.4	31.5	32.3	31.6	31.0	31.2	31.8
ก.ย.	30.8	31.8	31.9	31.5	30.8	30.7	30.8	31.2	31.9	31.0	31.9	31.2
ต.ค.	31.4	32.2	32.5	31.1	31.7	32.2	32.3	32.4	32.2	31.6	31.1	32.0
พ.ย.	30.1	32.2	31.7	29.9	30.4	28.3	31.7	32.4	32.1	30.7	31.8	30.9
ธ.ค.	28.5	32.2	30.0	26.5	30.5	29.4	31.6	29.4	29.9	27.8	29.0	29.6
รวม	381.7	393.6	404.4	380.8	383.4	385.8	389.1	394.8	386.6	387.7	386.0	388.8
เฉลี่ย	31.8	32.8	33.7	31.7	32.0	32.2	32.4	32.9	32.2	32.3	32.2	32.4

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°C)

เดือน/พ.ศ.	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	เฉลี่ยคาบ10ปี
ม.ค.	16.8	16.0	19.0	17.2	17.6	19.6	16.5	15.9	17.3	17.3	16.8	17.3
ก.พ.	16.7	19.4	20.9	18.8	17.8	19.7	19.8	20.4	18.2	21.4	20.3	19.4
มี.ค.	21.7	21.1	23.9	22.9	21.9	22.0	22.4	21.8	21.8	21.3	22.7	22.1
เม.ย.	23.6	22.8	24.2	24.1	23.9	25.3	23.7	24.8	23.7	24.4	24.3	24.1
พ.ค.	24.3	24.2	25.4	24.0	24.5	23.8	24.4	25.2	24.5	25.4	24.4	24.6
มิ.ย.	24.4	24.5	24.9	24.8	24.5	24.5	25.1	25.1	24.6	25.6	25.3	24.8
ก.ค.	24.4	24.4	25.0	25.0	24.4	24.7	25.2	25.1	23.9	24.9	25.1	24.7
ส.ค.	24.2	24.6	24.5	24.6	24.7	24.7	24.3	24.6	24.7	24.5	24.7	24.5
ก.ย.	23.8	23.6	24.1	23.9	23.7	23.6	24.2	24.4	24.3	24.2	24.1	24.0
ต.ค.	22.4	23.0	21.9	22.8	23.6	23.7	23.0	22.6	21.2	23.2	23.1	22.7
พ.ย.	20.7	19.8	20.0	20.2	18.2	17.9	20.6	19.8	19.6	21.3	21.3	19.8
ธ.ค.	15.0	18.4	17.2	14.5	18.3	17.4	19.8	16.1	15.7	17.1	17.1	17.0
รวม	258.0	261.8	271.0	262.8	263.1	266.9	269.0	265.8	259.5	270.6	269.2	264.9
เฉลี่ย	21.5	21.8	22.6	21.9	21.9	22.2	22.4	22.2	21.6	22.6	22.4	22.1

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-5 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)

เดือน/พ.ศ.	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	เฉลี่ยคาบ10ปี
ม.ค.	65	69	68	63	67	68	70	67	71	60	61	66
ก.พ.	59	68	67	57	66	65	69	68	75	60	61	65
มี.ค.	60	66	32	61	62	71	73	68	68	57	64	62
เม.ย.	71	73	68	75	75	64	74	71	71	61	69	70
พ.ค.	80	72	72	83	83	80	82	71	80	68	67	76
มิ.ย.	82	76	79	81	84	82	82	77	80	76	71	79
ก.ค.	81	84	80	82	84	82	80	79	86	79	78	82
ส.ค.	83	85	84	83	83	87	84	84	84	82	81	84
ก.ย.	86	83	84	86	83	84	86	87	82	85	76	84
ต.ค.	78	81	78	82	79	79	77	76	65	71	83	77
พ.ย.	78	73	71	77	69	72	72	72	62	70	68	72
ธ.ค.	69	69	65	64	67	71	73	66	58	62	61	66
รวม	892	899	848	894	902	905	922	886	882	831	840	883
เฉลี่ย	74	75	71	75	75	75	77	74	74	69	70	74

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-6 ความเร็วลม (K nots)

เดือน/พ.ศ.	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549
ม.ค.	0.5	1.5	1.5	2.4	2.6	2.1	2.7	2.4	2.3	2.5	3.5
ก.พ.	1.5	1.9	2.2	3.1	2.5	2.3	2.1	2.2	2.6	2.8	3.9
มี.ค.	0.9	1.9	2.8	3	2.4	2.6	2.4	2.8	3.4	3.7	3.3
เม.ย.	0.5	1.5	2.4	2	2.4	2.8	2.6	2.5	3	3.2	2.7
พ.ค.	0.4	1.8	2.5	2.3	2.1	2.8	2.5	2.6	3.3	2.9	2.8
มิ.ย.	1.2	2.5	2.4	2.6	1.5	2.8	3.1	2.9	4.6	3.6	3.2
ก.ค.	1.4	3	2.3	4	2.5	3.5	5.1	2.8	3.5	3.7	4.9
ส.ค.	2	3.1	1.8	3.9	2.9	2.5	3	2.9	3.8	3.9	3.2
ก.ย.	1.5	1.9	1.5	1.6	2.4	1.7	1.8	1.8	2.7	2.6	2
ต.ค.	1.2	1.7	1.7	2.2	2.3	2.4	2	2.7	3.3	3	2.1
พ.ย.	1.3	1.9	2.4	2.8	3.2	3.2	2.9	2.8	4.1	3.4	2.2
ธ.ค.	1.8	1.8	3	4.1	2.8	3	2.2	3.6	3.2	4.7	nd

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ก-7 ความเข้มแสงอาทิตย์ (K lux)

เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
9.00-10.00	53.52	55.114	62.811	75.987	76.926	84.03	73.227	71.445	64.878	80.361	70.149	60.688
10.00-11.00	69.437	73.548	82.312	90.112	88.832	98.688	84.39	81.684	79.144	91.077	83.592	75.112
11.00-12.00	81.84	87.085	94.189	91.691	93.318	100.193	84.624	87.964	79.279	91.407	92.471	85.247
12.00-13.00	90.284	97.281	93.851	100.487	107.45	104.603	94.119	97.129	85.436	97.819	95.791	95.192
13.00-14.00	79.623	86.563	92.149	96.252	101.115	93.502	81.292	80.743	76.769	91.996	80.364	79.87
14.00-15.00	63.837	70.283	76.979	82.786	73.516	86.876	77.36	96.173	65.809	71.561	61.198	61.739
15.00-16.00	45.578	49.819	56.048	59.821	64.915	70.329	62.193	58.713	52.106	52.908	39.813	45.578

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข  
ฐานข้อมูลข้อมูลภาคสนาม

ตารางที่ ข-1 ฐานข้อมูลข้อมูลภาคสนาม

sample site				Camera						spectro_file		
image_file	date	point	object	film/digital	filter cover	Iso	EV	f	t	non filter	RED filter	NIR filter
1	14-09-06	1	rice	HIE	RED	50	13.3	11	60	1	*	*
2	14-09-06	2	rice	HIE	RED	50	12	8	60	2	*	*
3	14-09-06	3	rice	HIE	RED	50	13.3	11	60	3	*	*
4	14-09-06	4	rice	HIE	RED	50	13.3	11	60	4	*	*
5	14-09-06	5	rice	HIE	RED	50	12	8	60	5	*	*
6	14-09-06	6	rice	HIE	RED	50	13.3	11	60	6	*	*
19	11-10-06	1	rice	HIE	RED	50	13.5	5.6	250	19	*	*
20	11-10-06	2	rice	HIE	RED	50	12.8	5.6	125	20	*	*
21	11-10-06	3	rice	HIE	RED	50	12.4	5.6	125	21	*	*
22	11-10-06	4	rice	HIE	RED	50	12.4	5.6	125	22	*	*
23	11-10-06	5	rice	HIE	RED	50	12.2	5.6	125	23	*	*
24	11-10-06	6	rice	HIE	RED	50	13.5	5.6	250	24	*	*
61	11-10-06	1	rice	digital	non filter	100	13.5	5.6	250	*	*	*
62	11-10-06	2	rice	digital	non filter	100	12.8	5.6	250	*	*	*
63	11-10-06	3	rice	digital	non filter	100	12.4	5.6	160	*	*	*
64	11-10-06	4	rice	digital	non filter	100	12.4	5.6	160	*	*	*
65	11-10-06	5	rice	digital	non filter	100	12.2	5.6	160	*	*	*

ตารางที่ ข-1 ฐานข้อมูลข้อมูลภาคสนาม (ต่อ)

sample site				Camera						spectro_file		
image_file	date	point	object	film/digital	filter cover	Iso	EV	f	t	non filter	RED filter	NIR filter
66	11-10-06	6	rice	digital	non filter	100	13.5	5.6	250	*	*	*
76	11-10-06	4	rice	digital	NIR	320	2	5.2	8	*	*	*
79	11-10-06	7	rice	digital	NIR	320	2	5.2	8	*	*	*
94	03-11-06	1	rice	HIE	Red	50	13.1	5.6	250	46	40	43
95	03-11-06	2	rice	HIE	Red	50	13.1	5.6	250	47	41	44
96	03-11-06	3	rice	HIE	Red	50	13.2	5.6	250	48	*	*
97	03-11-06	4	rice	HIE	Red	50	12.8	5.6	125	49	*	*
98	03-11-06	5	rice	HIE	Red	50	13.2	5.6	250	50	*	*
99	03-11-06	6	rice	HIE	Red	50	13.2	5.6	250	51	42	45
106	03-11-06	1	white paper	HIE	Red	50	13.1	5.6	250	64	76	79
130	03-11-06	1	white paper	HIE	NIR	50	13.1	5.6	250	*	*	*
150	03-11-06	3	rice	digital	non filter	100	13	5.6	250	*	*	*
151	03-11-06	4	rice	digital	non filter	100	13	5.6	320	*	*	*
153	03-11-06	6	rice	digital	non filter	100	13	5.6	320	*	*	*
178	13-11-06	1	rice	EIR	Red	50	13.1	5.6	250	87	*	*
179	13-11-06	2	rice	EIR	Red	50	13.1	5.6	250	88	*	*
180	13-11-06	3	rice	EIR	Red	50	13.1	5.6	250	89	*	*
182	13-11-06	5	rice	EIR	Red	50	12.5	5.6	125	90	*	*
205	13-11-06	1	rice	digital	non filter	100	13	5.6	250	*	*	*
206	13-11-06	2	rice	digital	non filter	100	13	5.6	250	*	*	*
208	13-11-06	5	rice	digital	non filter	100	13	5.6	250	*	*	*

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววรรณภา สุวรรณรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 19 เมษายน พ.ศ.2523 ที่จังหวัดพัทลุง เป็นบุตรของ นายมโนญ และนางหยับ สุวรรณรัตน์ มีน้องชาย 1 คน ชื่อ นายชนาวุธ สุวรรณรัตน์ ได้รับการศึกษาในระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนบ้านแม่ขรี และโรงเรียนเทศบาลวัดภูผาพิมุข ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนพัทลุง จังหวัดพัทลุง สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิตจาก ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อที่ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2548



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย