

การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์เพื่อการตรวจหาความเปลี่ยนแปลง  
โดยภาพดาวเทียมแลนด์แซท-5 ทีเอ็ม



นายธเนศ จรุงจินันท์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา ระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

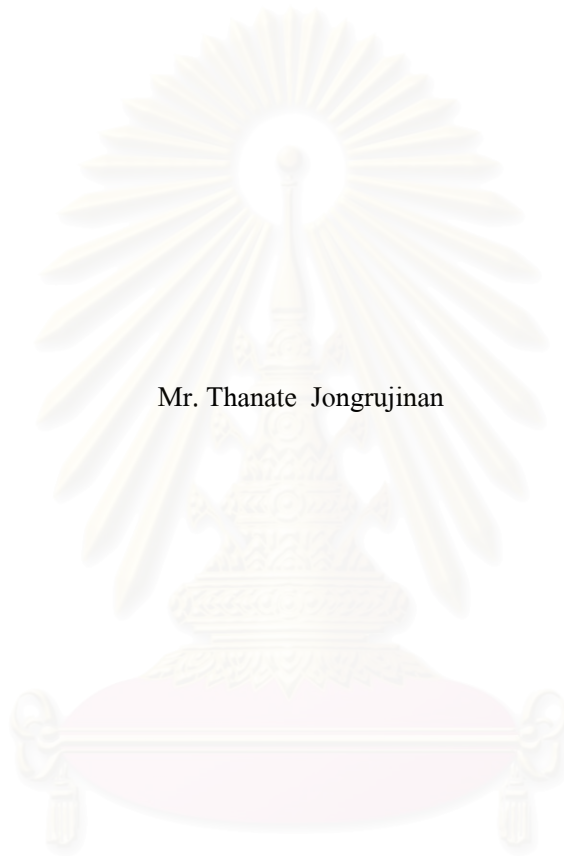
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-5446-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABSOLUTE RADIOMETRIC CORRECTION FOR CHANGE DETECTION  
BY LANDSAT-5 TM IMAGES



Mr. Thanate Jongrujinan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Spatial Information System in Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-5446-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์                    การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์เพื่อการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงโดยภาพ  
ดาวเทียมแลนด์แซท-5 ทีเอ็ม  
โดย    นายธนศ จรุงจินันท์  
สาขาวิชา                                ระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม  
อาจารย์ที่ปรึกษา                        ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิ ตรีสิริสัตยวงค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัญย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิ ตรีสิริสัตยวงค์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด พละการ)

..... กรรมการ  
(ดร.เชาวลิต ศิลปทอง)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชเนศ จรุงจินันท์ : การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์เพื่อการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงโดยภาพดาวเทียมแลนด์แซท-5 ทีเอ็ม (ABSOLUTE RADIOMETRIC CORRECTION FOR CHANGE DETECTION BY LANDSAT-5 TM IMAGES) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. อิทธิศรสิริสัตยวงศ์, 105 หน้า, ISBN 974-17-5446-9

การนำภาพดาวเทียมต่างเวลามาตรวจหาความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินโดยปราศจากกระบวนการเตรียมภาพก่อนให้ความถูกต้องไม่เพียงพอ เพราะผลต่างของค่า DN ที่ได้ไม่ได้เกิดจากความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินอย่างเดียวแต่มีบางส่วนเกิดจากความแตกต่างของสภาพชั้นบรรยากาศ, มุมของดวงอาทิตย์, ระยะจากโลกถึงดวงอาทิตย์ และค่าพารามิเตอร์การวัดสอบของเซนเซอร์ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลารวมอยู่ด้วย การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์เป็นแนวทางหนึ่งในการจัดผลเนื่องจากปัจจัยข้างต้นด้วยการแปลงค่า DN ของภาพดาวเทียมให้เป็นค่าการสะท้อนสิ่งปกคลุมดิน

งานศึกษานี้ได้นำภาพดาวเทียม LANDSAT-5 TM ปีค.ศ. 1990 และ 2000 บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมาผ่านการปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์หลายวิธีก่อนนำภาพมาตรวจหาความเปลี่ยนแปลงด้วยการนำช่วงคลื่นมาลบกันได้แก่ วิธี Dark Target Subtraction อย่างง่าย, วิธี Dark Target Subtraction ที่ใช้ซอฟต์แวร์การถ่ายภาพรังสี 6S ร่วมด้วยและวิธี Dense Dark Vegetation ซึ่งวิธีเหล่านี้มีจุดเด่นที่เป็นวิธีแบบที่ใช้เฉพาะภาพเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของชั้นบรรยากาศโดยไม่ต้องกรข้อมูลของชั้นบรรยากาศขณะบันทึกภาพ จากผลการประเมินความถูกต้องพบว่า การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์ทุกวิธีสามารถเพิ่มความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว วิธี Dark Target Subtraction อย่างง่ายสามารถตรวจหาความเปลี่ยนแปลงด้วยความถูกต้องเทียบเท่ากับวิธีอื่นที่มีความซับซ้อนกว่าแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มค่าพารามิเตอร์จากซอฟต์แวร์การถ่ายภาพรังสีไม่มีความจำเป็น วิธี Dark Target Subtraction อย่างง่ายจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าในการนำไปใช้ในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลง

ภาควิชา.....วิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่อนิสิต.....  
 สาขาวิชา.....ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
 ปีการศึกษา.....2546.....

# # 4470338121: MAJOR SPATIAL INFORMATION SYSTEM IN ENGINEERING

KEY WORD: Change detection/ Radiometric correction/ LANDSAT /Sattelite imagery

THANATE JONGRUJINAN:ABSOLUTE RADIOMETRIC CORRECTION FOR  
CHANGE DETECTION BY LANDSAT-5 TM IMAGES.

THESIS ADVISOR: ASST. PROF. DR. ITTHI TRISIRISATAYAWONG,

105 pp., ISBN 974-17-5446-9

The use of multi-temporal satellite images for change detection cannot provide accurate result without some pre-processing procedure. The difference in DN values result from not only land-cover changes but also from atmospheric conditions, sun angle, earth/sun distance and variation of sensor calibration parameters over time. The absolute radiometric correction is an approach used to eliminate these effects from non-land cover factor by converting DN values to ground reflectance.

In this study various absolute radiometric correction methods have been applied on the 1990 and 2000 LANDSAT-5 TM images acquired of the eastern part of Thailand before detecting changes by band differencing. These methods include simple Dark target subtraction, Dark Target Subtraction with use of 6S Radiative transfer and Dense Dark Vegetation All of these techniques have the significant advantage of being image-based and requiring no additional information on atmospheric conditions. Assessment of the accuracy indicates that all absolute radiometric correction methods can improve change detection 's result. Simple Dark Target Subtraction can produce accuracy comparable to those from the more complex methods. The result indicates that the added effort of using the radiative transfer codes is not warranted. Simple Dark Target Subtraction are recommended for change detection application.

Department...Survey Engineering.....Student's signature.....

Field of study...Spatial Information System in Engineering...Advisor's signature.....

Academic year...2003.....

## กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.อิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้ อาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมสำรวจที่ได้ให้ความรู้ในด้านวิศวกรรมสำรวจ คุณวัลลภา สามนิม โนมและกรมที่ดินที่เอื้อเพื่อข้อมูลตรวจสอบ สุดท้ายขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) และกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่อนุเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อไทย.....	ง
บทคัดย่ออังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.4 ขั้นตอนดำเนินการศึกษา.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 การตรวจหาความเปลี่ยนแปลงด้วยวิธีนำช่วงคลื่นมาลบกัน.....	7
2.2 แนวคิดของการปรับแก้เชิงรังสี.....	9
2.3 การปรับแก้เชิงรังสีเชิงรังสีสัมบูรณ์.....	11
2.3.1 การแปลงค่า DN เป็นค่าการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งเซนเซอร์.....	12
2.3.2 การแปลงภาพค่าการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งเซนเซอร์เป็นภาพค่าการสะท้อน.....	14
2.4 วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศ.....	19
2.4.1 วิธี DOS.....	20
2.4.2 วิธี DDV.....	23
3 วิธีการศึกษา.....	26
3.1 ขั้นตอนการรีจิสเตอร์ภาพต่อภาพ.....	27
3.2 ขั้นตอนการปรับแก้เชิงรังสีเชิงรังสีสัมบูรณ์.....	28
3.2.1 ขั้นตอนการแปลงภาพ DN เป็นภาพค่าการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งเครื่องวัด.....	28
3.2.2 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์จากไฟล์ Metadata.....	28
3.2.3 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศ.....	29

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.2.3.1 วิธี DOS.....	29
3.2.3.2 วิธี DDV.....	37
3.3 ขั้นตอนการแปลงภาพค่าการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งเครื่องวัดให้เป็นภาพค่าการสะท้อน....	45
3.4 ขั้นตอนการสร้างภาพผลต่างด้วยการนำช่วงคลื่นมาลบกัน.....	45
3.5 ขั้นตอนการจำแนกภาพผลต่างเป็นภาพความเปลี่ยนแปลง.....	46
4 ผลการศึกษา.....	51
4.1 ผลการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงแบบรวมทั้งหมด.....	51
4.2 ผลการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลง.....	55
5 สรุปผลการศึกษา.....	71
5.1 ข้อสรุป.....	71
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	72
รายการอ้างอิง.....	74
ภาคผนวก.....	78
ก. ภาพตัวอย่างของสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิด.....	79
ข. วิธีการใช้ซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี 6S.....	83
ค. ตารางค่าดัชนีความถูกต้องที่แต่ละค่า Threshold.....	90
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	105



## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	ชนิดของความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินปีพ.ศ. 2533-2543	5
ตารางที่ 2.1	ค่าเกนและค่าไบแอสในแต่ละแบนด์ของ LANDSAT-5 TM	13
ตารางที่ 2.2	ค่า $E_{sun}$	18
ตารางที่ 2.3	ค่ายกกำลังของสัดส่วนระหว่างความยาวคลื่นกับค่ากระจายแสงในเส้นทางผ่าน	21
ตารางที่ 3.1	ค่า DOY, D, $\theta_z$ ปีพ.ศ.2533 และ2543	28
ตารางที่ 3.2	ค่า $DN_i^*$ และค่า $L_p^1$ ปีพ.ศ.2533 และ2543	30
ตารางที่ 3.3	ค่า $L_p^i$ ในแต่ละแบนด์ของภาพปีพ.ศ. 2533 และภาพปีพ.ศ. 2543	31
ตารางที่ 3.4	ค่า $\tau_r$ ในแต่ละแบนด์	32
ตารางที่ 3.5	ค่า $T_v$ , $T_z$ และ $E_{diff}$ จากวิธี DOS2 ของภาพปีพ.ศ. 2533	33
ตารางที่ 3.6	ค่า $T_v$ , $T_z$ และ $E_{diff}$ จากวิธี DOS2 ของภาพปีพ.ศ. 2543	34
ตารางที่ 3.7	ค่า $T_v$ , $T_z$ และ $E_{diff}$ จากวิธี DOS3 ของภาพปีพ.ศ. 2533	36
ตารางที่ 3.8	ค่า $T_v$ , $T_z$ และ $E_{diff}$ จากวิธี DOS3 ของภาพปีพ.ศ. 2543	36
ตารางที่ 3.9	ค่า $L_p$ , $T_v$ , $T_z$ และ $E_{diff}$ จากวิธี DDV ของภาพปีพ.ศ.2533	44
ตารางที่ 3.10	ค่า $L_p$ , $T_v$ , $T_z$ และ $E_{diff}$ จากวิธี DDV ของภาพปีพ.ศ. 2543	44
ตารางที่ 3.11	ตารางแสดงค่าคุณภาพของภาพผลต่าง ณ ตำแหน่งจุดตรวจสอบ	47
ตารางที่ 3.12	ตัวอย่างของตารางค่าดัชนีความถูกต้องของแต่ละค่า Threshold	47
ตารางที่ 3.13	แสดงค่า Optimal Threshold ของภาพผลต่างเมื่อผ่านการปรับแก้รังสีแต่ละวิธี	50
ตารางที่ 4.1	ตารางสรุปค่า Overall Accuracy ที่ค่า Optimal Threshold เมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีแต่ละวิธี	51
ตารางที่ 4.2	ชนิดของความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินปีพ.ศ. 2533-2543	55
ตารางที่ 4.3	ความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงในแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลงเมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีด้วยวิธี DOS1	56
ตารางที่ 4.4	ความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงในแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลงเมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีด้วยวิธี DOS2	57
ตารางที่ 4.5	ความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงในแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลงเมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีด้วยวิธี DOS3	58
ตารางที่ 4.6	ความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงในแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลงเมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีด้วยวิธี DDV	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.7 ความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงในแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลงเมื่อภาพไม่ผ่านการปรับแก้เชิงรังสี (RAW)	60
ตารางที่ 4.8 สรุปลักษณะถูกต้องของการตรวจหาในแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลงด้วยภาพแต่ละแบนด์	70



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

	หน้า	
รูปที่ 1.1	ภาพดาวเทียม LANDSAT-5 TM ของพื้นที่ศึกษา	4
รูปที่ 2.1	ขั้นตอนการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงด้วยวิธีนำช่วงคลื่นมาลบกัน	8
รูปที่ 2.2	การกำหนดค่าขอบเขตความเปลี่ยนแปลง	9
รูปที่ 2.3	การปรับแก้เชิงรังสีสัมพัทธ์	10
รูปที่ 2.4	การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์	11
รูปที่ 2.5	ปฏิสัมพันธ์ระหว่างรังสีจากดวงอาทิตย์กับพื้นผิวของสิ่งปกคลุมดิน	11
รูปที่ 2.6	หน้าต่างชั้นบรรยากาศ	15
รูปที่ 2.7	ค่ากระจายแสงในเส้นทางผ่าน	16
รูปที่ 2.8	ค่ารังสีตกกระทบแบบแพร่กระจาย	16
รูปที่ 2.9	ค่าการแผ่รังสีจากสิ่งแวดล้อม	17
รูปที่ 2.10	ปฏิสัมพันธ์ของรังสีดวงอาทิตย์กับชั้นบรรยากาศ	17
รูปที่ 2.11	ผังงานการหาค่า $T_z, T_v, E_{diff}$ ด้วยการวนซ้ำค่า $\tau_a$	22
รูปที่ 2.12	ผังงานการหาค่า $T_z, T_v, E_{diff}$ ด้วยการสมมุติ $\tau_\lambda = \tau_r$	22
รูปที่ 2.13	กราฟแสดงการหาความสัมพันธ์ระหว่าง $\rho_7^*$ กับ $\rho_1^*$ และ $\rho_7^*$ กับ $\rho_3^*$ ของข้อมูลตัวอย่างสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิด	24
รูปที่ 3.1	ผังงานการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดิน	26
รูปที่ 3.2	Spatial Moduler แปลงภาพ DN เป็นภาพค่าการแผ่รังสีแทนตำแหน่งเซนเซอร์	28
รูปที่ 3.3	ผังงานของวิธี DOS	29
รูปที่ 3.4	การเลือกจุดภาพที่เป็นเงามืดเพื่อนำไปใช้คำนวณค่า $L_p$	30
รูปที่ 3.5	ตัวอย่าง Input File 6S ที่ใช้ในวิธี DOS2	32
รูปที่ 3.6	ตัวอย่าง Output File 6S ที่ใช้ในวิธี DOS2	33
รูปที่ 3.7	ตัวอย่าง Input File 6S ที่ใช้ในวิธี DOS3	34
รูปที่ 3.8	ตัวอย่าง Output File 6S ที่ใช้ในวิธี DOS3	35
รูปที่ 3.9	ผังงานการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี DDV	37
รูปที่ 3.10	Spatial Modeler ในการจำแนกจุดภาพที่เป็นพืชปกคลุมหนาแน่น	38
รูปที่ 3.11	จุดภาพของภาพปีพ.ศ. 2533 ที่ถูกจำแนกเป็นพืชหนาแน่น	39
รูปที่ 3.12	จุดภาพของภาพปีพ.ศ. 2543 ที่ถูกจำแนกเป็นพืชหนาแน่น	39

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.13	Spatial Moduler ที่ใช้ในการหาค่า $\rho_7^*$	40
รูปที่ 3.14	Spatial Moduler ที่ใช้ในการหาค่า $\rho_1^{*ap}$	41
รูปที่ 3.15	Spatial Moduler ที่ใช้ในการหาค่า $\rho_3^{*ap}$	41
รูปที่ 3.16	การหาค่า $\tau_{a1}$ ปีพ.ศ. 2533 และปีพ.ศ. 2543	42
รูปที่ 3.17	การหาค่า $\tau_{a3}$ ปีพ.ศ. 2533 และปีพ.ศ. 2543	43
รูปที่ 3.18	Spatial Moduler แปลงภาพค่าการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งเซนเซอร์เป็นภาพค่าการสะท้อน	45
รูปที่ 3.19	Spatial Moduler ที่ใช้ในการสร้างภาพผลต่าง	46
รูปที่ 3.20	การหาค่าจุดภาพของภาพผลต่าง ณ ตำแหน่งเดียวกับข้อมูลข้อเท็จจริง	46
รูปที่ 3.21	เมตริกความผิดพลาด	48
รูปที่ 3.22	Spatial Moduler ที่ใช้ในการจำแนกภาพผลต่างเป็นภาพความเปลี่ยนแปลง	50
รูปที่ 4.1	กราฟเปรียบเทียบค่า overall accuracy เมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีแต่ละวิธี	52
รูปที่ 4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสะท้อนของป่าไม้ในแต่ละแบนด์กับมุมดวงอาทิตย์	53
รูปที่ 4.3	กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมเป็นชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	61
รูปที่ 4.4	กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นดินว่างเปล่าเป็นสวนผลไม้	62
รูปที่ 4.5	กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นดินว่างเปล่าเป็นสวนยางพารา	62
รูปที่ 4.6	กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นดินว่างเปล่าเป็นไร่มันสำปะหลัง	63
รูปที่ 4.7	กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากไร่มันสำปะหลังเป็นสวนยางพารา	64
รูปที่ 4.8	กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากสวนผลไม้เป็นไร่มันสำปะหลัง	64
รูปที่ 4.9	กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากสวนผลไม้เป็นสวนยางพารา	65
รูปที่ 4.10	กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากนาข้าวเป็นสวนผลไม้	66

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากนาข้าว เป็นไรมัน สำปะหลัง	66
รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากนาข้าว ก่อนการเก็บเกี่ยวเป็นนาข้าวระยะเจริญเติบโต	67
รูปที่ 4.13 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในช่วงคลื่นตามองเห็นและอินฟราเรดใกล้กับใบ พืชที่มีอายุต่างกัน	68
รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่มีพืช ปกคลุมเป็นแหล่งน้ำ	68
รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากนาข้าว เป็นนาทุ่ง	69

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและปัญหา

เนื่องจากการสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียมมีคุณสมบัติในการบันทึกภาพบริเวณพื้นที่เดียวกันซ้ำกันเป็นรอบของช่วงเวลา ภาพดาวเทียมที่ถูกบันทึกจากบริเวณพื้นที่เดียวกันแต่ต่างช่วงเวลาสามารถนำมาผ่านกระบวนการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินระหว่างช่วงเวลา (Change Detection) ดังนั้นจึงมีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในหลายๆกิจการ เช่น การวางแผนการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ, การวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดิน, การประเมินค่าความเสียหายจากภัยธรรมชาติ เป็นต้น

การนำภาพดาวเทียมที่ถูกบันทึกมาในรูปแบบข้อมูลเชิงเลข (Digital Numbers: DN) จากช่วงเวลาที่ต่างกันมาใช้ในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินให้ความถูกต้องไม่เพียงพอเพราะผลลัพธ์ของความเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการประมวลผลภาพไม่ได้เป็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความแตกต่างของค่าการสะท้อนพลังงานจากสิ่งปกคลุมดินที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างเดียวนแต่มีความเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความแตกต่างกันของสภาพชั้นบรรยากาศ (Atmosphere condition), มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ (Sun angle), ระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาล และค่าพารามิเตอร์ของเซนเซอร์ เนื่องจากภาพดาวเทียมถูกบันทึกต่างช่วงเวลากันรวมอยู่ด้วย จากเหตุผลข้างต้นก่อนที่ภาพดาวเทียมจะถูกนำมาประมวลผลภาพตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินระหว่างช่วงเวลา ภาพดาวเทียมควรผ่านกระบวนการเตรียมภาพ (pre-processing) เพื่อลดความแตกต่างของสภาวะข้างต้นระหว่างภาพดาวเทียมต่างเวลา เพิ่มความถูกต้องในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน

การปรับแก้เชิงรังสีสำหรับภาพที่ต่างเวลาเป็นกระบวนการเตรียมภาพเพื่อลดความแตกต่างเชิงรังสีระหว่างภาพต่างเวลาที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน เมื่อความแตกต่างดังกล่าวลดลงทำให้ภาพดาวเทียมที่ต่างเวลาอยู่ในสภาวะอ้างอิงเดียวกันสามารถนำมาเปรียบเทียบกัน (Heo and FitzHugh, 2000) โดยสามารถแบ่งวิธีการปรับแก้ภาพเชิงรังสีสำหรับภาพที่ต่างเวลากันออกเป็น 2 แนวทางหลักคือ 1) การปรับแก้เชิงรังสีสัมพัทธ์ (Relative radiometric correction) และ 2) การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์ (Absolute radiometric correction)

การปรับแก้เชิงรังสีสัมพัทธ์ เป็นกระบวนการแปลงสภาพเชิงรังสีของภาพที่นำมาเปรียบเทียบให้อยู่ในสภาพเดียวกัน โดยกำหนดให้ภาพหนึ่งเป็นภาพอ้างอิงแล้วปรับแก้เชิงรังสีของภาพที่เหลือให้อยู่ในสภาพรังสีเดียวกับภาพอ้างอิง (Hall et al., 1991; Yang and Lo, 2000) หลักการของวิธีนี้คือนำค่า DN ของจุดภาพที่เป็นวัตถุที่คงสภาพการสะท้อนระหว่างช่วงเวลา (Constant reflector) นั่นคือเป็นจุดภาพที่วัตถุภายในจุดภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพใดๆ ที่ทำคุณสมบัติการสะท้อนเปลี่ยนไปทำให้สาเหตุของความแตกต่างของค่า DN ระหว่างสองภาพเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมเท่านั้นจำนวนหนึ่งมาเป็นจุดเป้าหมายเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าจุดภาพระหว่างภาพอ้างอิงกับภาพที่ปรับแก้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เช่นสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression model) ข้อดีของวิธีนี้คือไม่ต้องการข้อมูลใดๆ นอกจากค่า DN ของภาพดาวเทียมแต่มีข้อเสียคือภายในภาพจะต้องมีจุดภาพที่วัตถุภายในจุดภาพคงสภาพรังสีเดิมระหว่างช่วงเวลาจริงๆ ทั้งที่มีค่า DN ที่มีค่ามากเช่นลานคอนกรีต และค่า DN ที่มีค่าน้อยเช่นน้ำในเขื่อนจำนวนมากพอที่จะนำมาหาความสัมพันธ์ซึ่งอาจหาได้ยากในกรณีที่ภาพดาวเทียมที่มีความละเอียดของจุดภาพต่ำเช่น ภาพดาวเทียม LANDSAT-5 TM ที่มีความละเอียดจุดภาพ 30 เมตรและมีพื้นที่ศึกษาอยู่ในบริเวณพื้นที่การเกษตรหรือป่าไม้ซึ่งมีพืชเป็นลิ่งปกคลุมดิน

การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์ เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดความแตกต่างเชิงรังสีโดยการแปลงค่า DN ของภาพดาวเทียมต่างเวลาแต่ละภาพที่จะนำมาเปรียบเทียบกัน ให้เป็นค่าการสะท้อนของลิ่งปกคลุมดิน (Ground reflectance) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงคุณสมบัติการสะท้อนของลิ่งปกคลุมดินเท่านั้นไม่ขึ้นกับปัจจัยอื่น เมื่อภาพดาวเทียมแต่ละภาพอยู่ในรูปของค่าการสะท้อนของลิ่งปกคลุมดินเหมือนกันแล้วหมายความว่าภาพแต่ละภาพอยู่ในสภาวะอ้างอิงเชิงรังสีเดียวกันสามารถนำมาเปรียบเทียบกัน (Ekstrand, 1994) การแปลงค่า DN เป็นค่าการสะท้อนของลิ่งปกคลุมดินแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การแปลงค่า DN เป็นค่าการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งเครื่องวัด และ 2) การแปลงค่าการแผ่รังสีรังสี ณ ตำแหน่งเครื่องวัดเป็นค่าการสะท้อนของลิ่งปกคลุมดิน ค่าของพารามิเตอร์ที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนได้แก่ค่าวัดสอบของเครื่องวัดในแต่ละแบนด์, มุมตกกระทบและระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์สามารถหาได้จากเพิ่มข้อมูลอรรถาธิบายของภาพดาวเทียม (metadata file) และเอกสารประกอบ แต่การหาค่าพารามิเตอร์ของผลกระทบจากชั้นบรรยากาศค่อนข้างซับซ้อนเนื่องจากการวัดข้อมูลของสภาพชั้นบรรยากาศของพื้นที่นั้น ณ เวลาดาวเทียมทำการบันทึกภาพด้วยเครื่องมือวัดเช่นชาน โฟโตมิเตอร์ (Sun photometer) ในสนาม (In-situ measurements) เพื่อนำเข้าในซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี (Radiative transfer codes : RTC) คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศ ผลลัพธ์ที่ได้แม้จะมีความถูกต้องสูงแต่ในทางปฏิบัติการวัดจริงในสนามมีความไม่สะดวกในการเดินทาง, เสียค่าใช้จ่ายสูงและภาพดาวเทียมที่ถูกนำมาเปรียบเทียบกันมักเป็นภาพที่ถูกรับบันทึกในอดีตซึ่งไม่ได้วัดข้อมูลของชั้นบรรยากาศไว้

จากเหตุผลข้างต้นทำให้มีการปรับปรุงการปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์ให้เหมาะสมกับทางปฏิบัติคือเป็นวิธีที่ไม่ต้องการการวัดข้อมูลชั้นบรรยากาศในสนามแต่เป็นวิธีที่ใช้เฉพาะค่า DN ของภาพดาวเทียม (Image-based method) ได้แก่วิธีดีโอเอส (Dark-object subtraction: DOS) และวิธีดีดีวี (Dark-dense vegetation: DDV) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ค่า DN ของสิ่งปกคลุมดินที่มีค่าการสะท้อนต่ำในการหาพารามิเตอร์ในการปรับแก้ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศทั้งค่าปรับแก้ในรูปเทอมบวกเนื่องจากการกระจายแสงในเส้นทางผ่าน (Path radiance) และค่าปรับแก้ในรูปเทอมตัวคูณเนื่องจากผลกระทบจากการส่งผ่านพลังงานในชั้นบรรยากาศ (Atmosphere transmittance)

ในงานศึกษาครั้งนี้เป็นการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินด้วยภาพดาวเทียม LANDSAT-5 TM เมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์ด้วยวิธี DOS และ DDV ก่อนที่จะนำช่วงคลื่นมาลบกัน แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงเมื่อภาพไม่ผ่านการปรับแก้เชิงรังสีและเมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีสัมพัทธ์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

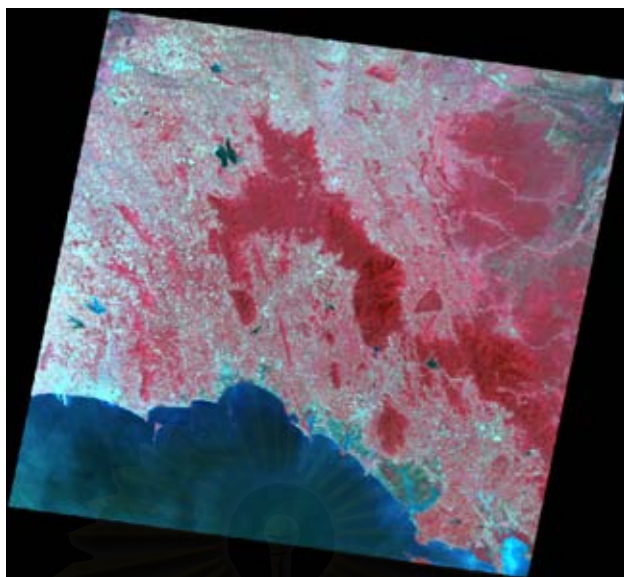
1. เพื่อศึกษากระบวนการเตรียมภาพโดยการปรับแก้ภาพเชิงรังสีสัมบูรณ์ในการนำไปใช้ในการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน
2. เพื่อศึกษากระบวนการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินด้วยวิธีนำช่วงคลื่นมาลบกัน

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. การศึกษานี้เป็นการนำเทคนิคการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินระหว่างช่วงเวลาโดยวิธีการนำเอาช่วงคลื่นของภาพดาวเทียมที่ต่างเวลากันมาลบกันและใช้วิธีการปรับแก้ภาพเชิงรังสีสัมบูรณ์แบบที่ใช้เฉพาะภาพดาวเทียมเป็นกระบวนการเตรียมภาพดาวเทียม
2. พื้นที่ศึกษา
 

พื้นที่ศึกษาครอบคลุม 7 จังหวัดคือ จ.ฉะเชิงเทรา, จ.ชลบุรี, จ.ระยอง, จ.จันทบุรี, จ.ตราด, จ.ปราจีนบุรี และ จ.สระแก้ว พื้นที่บริเวณภูเขาจะเป็นป่าไม้และพื้นที่บริเวณที่ราบเป็นการใช้ที่ดินส่วนใหญ่ทำการเกษตรได้แก่พืชสวนเช่น สวนมะม่วง, สวนทุเรียน รวมถึง สวนยางพาราและพืชไร่ เช่น ไร่มันสำปะหลัง, ไร่อ้อย นอกนั้นเป็นพื้นที่เขตเมือง, ชุมชนที่อยู่อาศัยขนาดเล็กและพื้นที่รกร้าง ส่วนตอนล่างของภาพเป็นพื้นที่ชายฝั่งติดอ่าวไทยมีการทำนาเกลือ, สถานที่ท่องเที่ยวบริเวณ จ.ชลบุรีและนิคมอุตสาหกรรมที่ จ.ระยอง ดังรูปที่ 1.1 การเปลี่ยนแปลงระหว่างปี 2533 ถึง ปี 2543 เกิดจากการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเมือง, ธุรกิจท่องเที่ยวและเขตนิคมอุตสาหกรรม





รูปที่ 1.1 ภาพดาวเทียม LANDSAT-5 TM ของพื้นที่ศึกษา

### 3. ข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

#### 3.1 ภาพดาวเทียม 2 ช่วงเวลา

3.1.1 ภาพดาวเทียม Landsat-5 TM Path-Row 128-51 แบนด์ 1-5 และแบนด์ 7 บันทึกภาพวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2533 เป็นภาพที่ได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

3.1.2 ภาพดาวเทียม Landsat-5 TM Path-Row 128-51 แบนด์ 1-5 และแบนด์ 7 บันทึกภาพวันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2543 เป็นภาพที่ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

3.2 จุดตรวจสอบเพื่อประเมินความถูกต้องของกระบวนการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินด้วยภาพดาวเทียมซึ่งมีรายการข้อมูลซึ่งประกอบด้วย

รายการที่	รายละเอียด	ที่มา
1	ค่าพิกัด UTM บนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975	GPS แบบ handheld
2	ชนิดของสิ่งปกคลุมดินปี พ.ศ. 2533	การแปลภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:15,000 ปี พ.ศ. 2533
3	ชนิดของสิ่งปกคลุมดินปี พ.ศ. 2543	การสำรวจข้อเท็จจริงในสนามปี พ.ศ. 2545
4	ค่าเปลี่ยน / ค่าไม่เปลี่ยนแปลง	พิจารณาจากรายการที่ 2, 3

การตรวจสอบชนิดของสิ่งปกคลุมดินของภาพดาวเทียมปีพ.ศ. 2543 ใช้การสำรวจข้อเท็จจริงในสนามปีพ.ศ. 2545 ทำการรังวัดค่าพิกัดแบบสัมบูรณ์ด้วยเครื่องรับ GPS แบบมือถือในระบบพิกัด UTM บนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 มีความถูกต้องทางราบประมาณ 10-15 เมตร

การตรวจสอบชนิดของสิ่งปกคลุมดินในปีพ.ศ. 2533 ใช้การแปลด้วยสายตาจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศของกรมที่ดินที่ผลิตขึ้นเดือน มีนาคม พ.ศ. 2533 มาตรฐาน 1:15,000 การหาค่าพิกัดพื้นดินทำโดยการวัดอ้างอิงกับวัตถุที่สามารถสังเกตได้ชัดเจนเช่น สี่แยก, มุมถนน

จุดตรวจสอบที่ใช้มีจำนวนทั้งหมด 867 จุดและชนิดของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด 12 ชนิดซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 1.1

รายการที่	ชนิดของสิ่งปกคลุมดิน ปีพ.ศ. 2533	ชนิดของสิ่งปกคลุมดิน ปีพ.ศ. 2543	จำนวน
0	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง		344
1	พื้นที่มีพืชปกคลุม	ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	83
2	พื้นดินว่างเปล่า	สวนผลไม้	53
3	พื้นดินว่างเปล่า	สวนยางพารา	88
4	พื้นดินว่างเปล่า	ไร่มันสำปะหลัง	74
5	ไร่มันสำปะหลัง	สวนยางพารา	26
6	สวนผลไม้	ไร่มันสำปะหลัง	36
7	สวนผลไม้	สวนยางพารา	26
8	นาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว	สวนผลไม้	17
9	นาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว	ไร่มันสำปะหลัง	17
10	นาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว	นาข้าวระยะเจริญเติบโต	61
11	นาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว	นาทุ่งที่มีน้ำขัง	17
12	พื้นที่มีพืชปกคลุม	แหล่งน้ำ	25

ตารางที่ 1.1 ชนิดของความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินปีพ.ศ. 2533-2543

### 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

3.3.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium 4, RAM 256 MB, HDD 40 GB

3.3.2 ซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพ ERDAS IMAGINE version 8.5

3.3.3 โปรแกรมสเปรดชีต Microsoft Excel 2000

3.3.4 ซอฟต์แวร์การถ่ายภาพรังสี 6S Version 4.1

#### 1.4. ขั้นตอนดำเนินการศึกษา

1. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินระหว่างช่วงเวลาด้วยวิธีนำช่วงคลื่นมาลบกันและขั้นตอนการการปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์ ด้วยวิธี DOS และวิธี DDV

2. รีจิสเตอร์ภาพปีพ.ศ 2533 กับภาพปีพ.ศ 2543

3. คำนวณค่าพารามิเตอร์ของผลกระทบจากชั้นบรรยากาศด้วยวิธี DOS และวิธี DDV

4. จัดสร้างโมดูลการแปลงค่า DN ของภาพดาวเทียมในแต่ละแบนด์ให้เป็นค่าการสะท้อนของสิ่งปกคลุมดินใน ERDAS 8.5 และทำการแปลงภาพดาวเทียมปีพ.ศ. 2543 และพ.ศ. 2533 ให้เป็นภาพค่าการสะท้อนพลังงานของสิ่งปกคลุมดิน (Reflectance Image) โดยใช้พารามิเตอร์ของผลกระทบจากชั้นบรรยากาศที่หาจากแต่ละวิธีในขั้นตอนที่ 3

5. สร้างภาพผลต่าง (Difference Image) โดยนำภาพค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของสิ่งปกคลุมดินของภาพดาวเทียมปีพ.ศ.2543 มาลบกับภาพค่าการสะท้อนของสิ่งปกคลุมดินของภาพดาวเทียมปีพ.ศ. 2533 ที่ละแบนด์จุดภาพต่อจุดภาพ จากนั้นทำการหาค่าขอบเขตความเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมที่สุด (optimal threshold) โดยใช้จุดตรวจสอบโดยการสร้างตารางค่าดัชนีความถูกต้องที่แต่ละค่า threshold ด้วยสูตรคำนวณที่ถูกสร้างไว้ในโปรแกรม Microsoft excel แล้วใช้ค่า optimal threshold แปลงภาพผลต่างเป็นภาพความเปลี่ยนแปลง (Change Image)

6. ประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงในแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินเพื่อวิเคราะห์หาผลสรุปความเหมาะสมในการเลือกแบนด์ของภาพดาวเทียมในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิด

7. สรุปและเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของผลการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงด้วยภาพดาวเทียมเมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์, เมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีสัมพัทธ์และเมื่อภาพไม่ผ่านการปรับแก้เชิงรังสี

#### 1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการใช้การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์เป็นกระบวนการเตรียมภาพเพื่อเพิ่มความถูกต้องของกระบวนการประมวลผลการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน

2. เป็นตัวอย่างในการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินด้วยภาพดาวเทียมต่างเวลา

## บทที่ 2

### แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมถือเป็นข้อมูลพื้นฐานในงานสาขาต่างๆ เช่น ด้านการติดตามความเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม, ด้านการวางแผนการใช้ที่ดิน เป็นต้น ภาพดาวเทียมที่ถูกบันทึกต่างเวลากันสามารถนำมาประยุกต์ใช้การตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน ดังนั้นจึงมีผู้ให้ความสนใจศึกษาวิธีการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินให้มีความถูกต้องและง่ายเหมาะสมกับทางปฏิบัติ

สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหาความเปลี่ยนแปลง, แนวคิด และขั้นตอนการปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การตรวจหาความเปลี่ยนแปลงด้วยวิธีนำช่วงคลื่นมาลบกัน (Image Differencing)

วิธี Image Differencing เป็นเทคนิคการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานศึกษาต่างๆ เช่น ในงานศึกษาการพัฒนาการใช้ที่ดินในเขตเมือง (Jenson and Toll, 1982), การประยุกต์ใช้เพื่อติดตามการตัดไม้ทำลายป่า (Mahoney and Hack, 1994) หรือการวางแผนออกแบบงานระบบจราจร (Souleyrette and Pattnaik, 2003) เป็นต้น

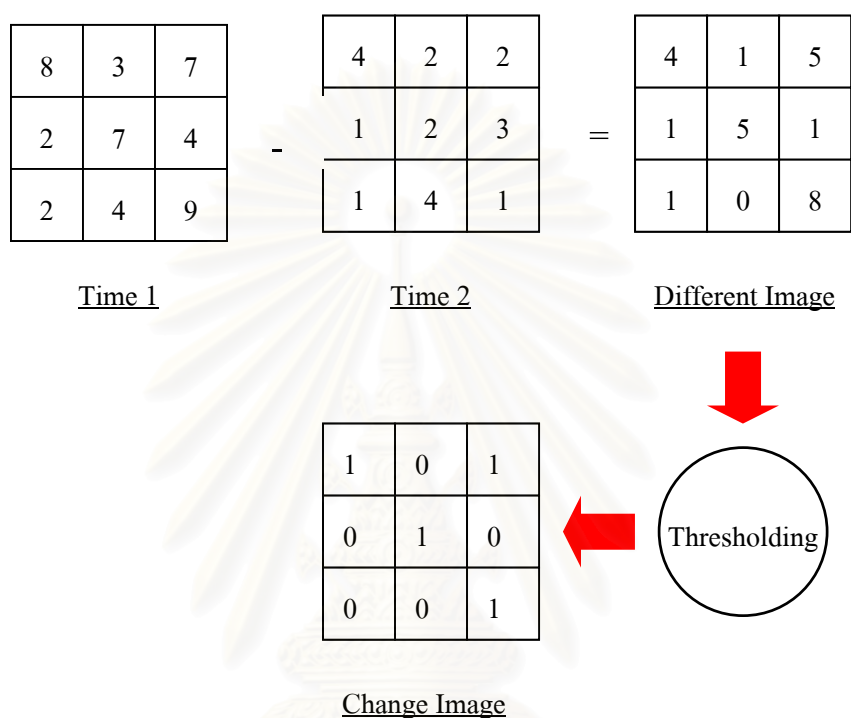
หลักการของวิธีนี้เป็นการนำค่าจุดภาพแบนด์เดียวกันของภาพดาวเทียมต่างเวลาที่จะนำมาหาความเปลี่ยนแปลงมาลบกันจุดภาพต่อจุดภาพ (Singh, 1989) ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพผลต่าง (Difference Image) ของแต่ละแบนด์ซึ่งเป็นภาพระดับสีเทาที่มีค่าจุดภาพเป็นความแตกต่างเชิงรังสีของค่าจุดภาพดังแสดงด้วยสมการที่ 2.1

$$Dx_{ij}^k = x_{ij}^k(t_2) - x_{ij}^k(t_1) \quad (2.1)$$

เมื่อ  $Dx_{ij}^k$  = ค่าจุดภาพของภาพผลต่างแบนด์ k แถวที่ i สดมภ์ที่ j,  $x_{ij}^k(t)$  = ค่าจุดภาพของภาพแต่ละเวลาแบนด์ k แถวที่ i สดมภ์ที่ j,  $t_1$  = ช่วงเวลาที่หนึ่ง,  $t_2$  = ช่วงเวลาที่

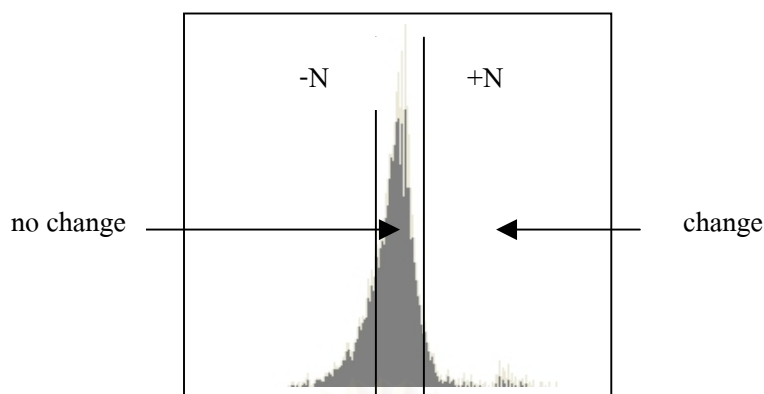
โดยทั่วไปภาพผลต่างจะมีการกระจายความถี่แบบมาตรฐานซึ่งมียอดที่ศูนย์หรือใกล้ศูนย์ และมีปลายยาวไปทางค่าที่มากกว่า (Mather, 1999: 114-115) ในทางทฤษฎีจุดภาพบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงจะมีค่าจุดภาพของภาพผลต่างมากกว่าหรือน้อยกว่าศูนย์แต่เนื่องจากยังมีความคลาด

เคลื่อนที่ยังจำกัดไม่หมด ทำให้ต้องกำหนดช่วงของค่าขอบเขตความเปลี่ยนแปลง (Threshold) เพื่อทำการจำแนกภาพผลต่างเป็นภาพความเปลี่ยนแปลง (Change Image) จุดภาพใดๆที่มีค่าจุดภาพอยู่ระหว่างช่วงนี้จะถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินและจะถูกจำแนกค่าจุดภาพใหม่ให้เท่ากับศูนย์ (ไม่เปลี่ยน) และส่วนจุดภาพที่อยู่นอกเขตดังกล่าวจะถูกจำแนกเท่ากับหนึ่ง (เปลี่ยน) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงด้วยวิธีนำช่วงคลื่นมาลบกัน

Fung and Redrew (1988) เสนอวิธีทางสถิติในการหาค่าขอบเขตความเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Threshold) ซึ่งเป็นค่า Threshold ที่ทำให้การจำแนกมีความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) มากที่สุดด้วยวิธีการกำหนดค่า Threshold เป็น  $\pm N$  เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าจุดภาพของภาพผลต่างออกจากค่าศูนย์ดังรูปที่ 2.2 เมื่อ  $N$  เป็นเลขจำนวนไม่มากเช่น 0.1 แล้วทำการวนซ้ำเพิ่มค่า  $N$  ในแต่ละครั้งของการวนซ้ำ โดยแต่ละครั้งให้ทำการจำแนกภาพความเปลี่ยนแปลงและคำนวณค่า Overall Accuracy



รูปที่ 2.2 การกำหนดค่าขอบเขตความเปลี่ยนแปลง

## 2.2 แนวคิดของการปรับแก้เชิงรังสี

ภาพดาวเทียมเป็นภาพเชิงเลขซึ่งเกิดจากจุดภาพประกอบกันเป็นแถวเป็นแนว ค่าความสว่างของแต่ละจุดภาพเป็นค่าที่ได้จากการแบ่งช่วงค่าการแผ่รังสีที่เซนเซอร์ของดาวเทียมวัดได้ให้อยู่ในรูปแบบของค่า DN แต่ค่า DN ไม่ได้เป็นฟังก์ชันของชนิดและการสะท้อนพลังงานของสิ่งปกคลุมดินอย่างเดียวแต่เป็นฟังก์ชันของปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่สิ่งปกคลุมดิน (Non-surface Factor) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้แปรผันกับเวลาด้วย (Furby and Campbell, 2001) ได้แก่

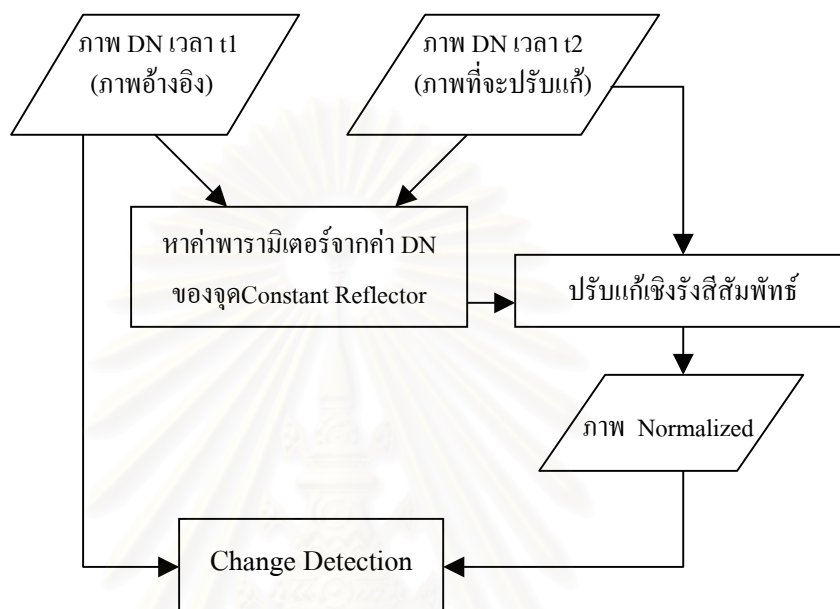
- 1) มุมกับระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก
- 2) สภาพชั้นบรรยากาศขณะบันทึกภาพ
- 3) ค่าพารามิเตอร์การวัดสอบของเซนเซอร์

การนำค่า DN ของภาพดาวเทียมที่ต่างช่วงเวลามาตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินระหว่างสองช่วงเวลาโดยตรงด้วยวิธีนำช่วงคลื่นมาลบกัน นั้นให้ความถูกต้องไม่เพียงพอเนื่องจากผลลัพธ์ของความเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการประมวลผลภาพไม่ได้เป็นความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินอย่างเดียว แต่มีส่วนหนึ่งเกิดจากความเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากแตกต่างของปัจจัยข้างต้นระหว่างสองช่วงเวลา

การเพิ่มความถูกต้องของการตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินระหว่างสองช่วงเวลา สามารถทำได้ 2 แนวทางได้แก่

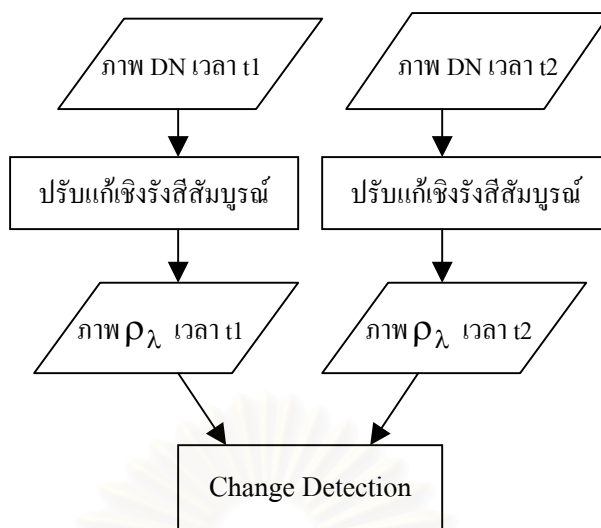
- 1) การปรับแก้เชิงรังสีสัมพัทธ์ เป็นการปรับแก้ค่า DN ของภาพดาวเทียมต่างเวลาที่นำมาหาความเปลี่ยนแปลงโดยการกำหนดให้ภาพหนึ่งเป็นภาพอ้างอิงแล้วทำการปรับแก้ค่า DN ของภาพที่เหลือให้อยู่ในสภาพรังสีเดียวกับภาพอ้างอิง หลักการของวิธีนี้คือนำค่า DN ของจุดภาพที่เป็นวัตถุที่คงสภาพการสะท้อนระหว่างช่วงเวลา (Constant Reflector) นั่นคือเป็นจุดภาพที่วัตถุภายในจุดภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพใดๆ ที่ทำคุณสมบัติการสะท้อนเปลี่ยนไปทำให้สาเหตุของ

ความแตกต่างของค่า DN ระหว่างสองภาพเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมเท่านั้น จำนวนหลายๆจุดภาพของแต่ละภาพต่างเวลามาเป็นจุดเป้าเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าจุดภาพระหว่างภาพอ้างอิงกับภาพที่ปรับแก้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เช่นสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Model) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การปรับแก้เชิงรังสีสัมพัทธ์

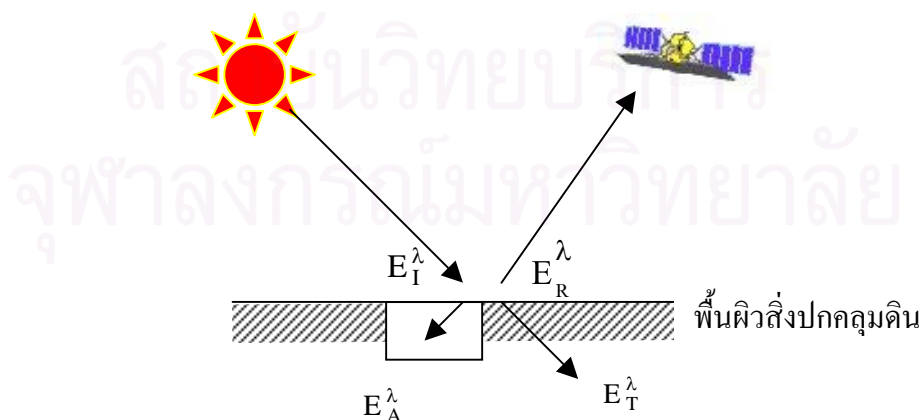
2) การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์ เป็นกระบวนการแปลงค่า DN ในแต่ละแบนด์ของภาพดาวเทียมต่างเวลาแต่ละภาพให้อยู่ในรูปค่าการสะท้อนของสิ่งปกคลุมดินซึ่งเป็นฟังก์ชันกับลักษณะและส่วนประกอบของสิ่งปกคลุมดินเท่านั้นไม่แปรเปลี่ยนกับเวลา ก่อนที่จะนำมาตรวจหาความเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 2.4 โดยการปรับแก้จำเป็นต้องทราบข้อมูลทางกายภาพที่มีผลกระทบต่อค่าจุดภาพ ณ เวลาดาวเทียมบันทึกภาพ ได้แก่ค่าพารามิเตอร์การวัดสอบของเซนเซอร์, สภาพชั้นบรรยากาศ, มุมและระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก



รูปที่ 2.4 การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์

### 2.3 การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์

จากรูปที่ 2.5 เมื่อพลังงานในช่วงคลื่นจากดวงอาทิตย์ ( $E_I^\lambda$ ) กระทบกระทบพื้นผิวของสิ่งปกคลุมดินและเกิดปฏิสัมพันธ์ต่อกัน วัตถุจะสะท้อน ( $E_R^\lambda$ ), ดูดกลืน ( $E_A^\lambda$ ) หรือส่งผ่าน ( $E_T^\lambda$ ) พลังงานในแต่ละช่วงคลื่นด้วยอัตราส่วนหนึ่งซึ่งจะมีขนาดเท่าใดนั้นเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับมีลักษณะและส่วนประกอบของสิ่งปกคลุมดิน ตัวอย่างเช่น สารคลอโรฟิลล์ในพืชจะดูดกลืนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดงและสีน้ำเงินแต่จะสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นสีเขียวหรือน้ำเงินจะดูดกลืนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดงและช่วงอินฟราเรดใกล้ที่มีความยาวคลื่นยาวกว่ามากกว่าในช่วงคลื่นสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่นที่สั้นกว่าทำให้พลังงานในช่วงคลื่นสีน้ำเงินถูกสะท้อนมากกว่าเป็นต้น



รูปที่ 2.5 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างรังสีจากดวงอาทิตย์กับพื้นผิวของสิ่งปกคลุมดิน



ค่าการสะท้อนของสิ่งปกคลุมดิน (Ground Reflectance:  $\rho_{\lambda}$ ) คืออัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานในแต่ละช่วงคลื่นที่ถูกสะท้อนโดยสิ่งปกคลุมดินกับค่าพลังงานในแต่ละช่วงคลื่นที่มากระทบสิ่งปกคลุมดิน มีค่าตั้งแต่ 0-1 (Lillesand and Kiefer, 1999: 13-14) ดังสมการที่ 2.2

$$\rho_{\lambda} = \frac{E_R^{\lambda}}{E_I^{\lambda}} \quad (2.2)$$

ค่า  $\rho_{\lambda}$  เป็นค่าทางฟิสิกส์แสดงถึงความสามารถในการสะท้อนพลังงานของสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิดในแต่ละช่วงคลื่น จากการที่ค่า  $\rho_{\lambda}$  ของสิ่งปกคลุมดินเป็นฟังก์ชันกับลักษณะและส่วนประกอบของสิ่งปกคลุมดินอย่างเดียวไม่ขึ้นกับปัจจัยอื่นเหมือนค่า DN ดังนั้นเมื่อค่าคุณภาพของภาพดาวเทียมแต่ละภาพที่จะนำมาตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินระหว่างสองช่วงเวลาถูกแปลงอยู่ในรูปของค่า  $\rho_{\lambda}$  แล้วผลลัพธ์ของความเปลี่ยนแปลงที่ได้จะเป็นความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินอย่างเดียว

การแปลงค่า DN ในแต่ละแบนด์เป็นค่าการสะท้อนพลังงานเชิงคลื่นของสิ่งปกคลุมดินแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนได้แก่

### 2.3.1 การแปลงภาพค่า DN เป็นภาพค่าการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งเซนเซอร์ (DN Image to At-Satellite Radiance Image Conversion)

ค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่นในแต่ละจุดภาพที่เซนเซอร์ (Sensor) บนดาวเทียมวัดได้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและผ่านกระบวนการควอนไทซ์เซชัน (Quantization) ผลลัพธ์ของกระบวนการควอนไทซ์เซชันคือค่าตัวเลขจำนวนเต็มบวกที่เรียกว่าค่า DN โดยถือว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า DN และค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่นที่เซนเซอร์วัดได้เป็นเส้นตรงดังสมการที่ 2.3 ค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์เชิงเส้นดังกล่าวเรียกว่าค่าพารามิเตอร์การวัดสอบของเซนเซอร์ (Sensor Calibration Parameter) ซึ่งประกอบด้วยค่าเกน (Gain :G) และค่าไบแอส (Bias :B) ดังสมการที่ 2.4

สำหรับค่าพารามิเตอร์การวัดสอบของเซนเซอร์บนดาวเทียม LANDSAT-5 TM มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเพราะการเสื่อมถอยของเซนเซอร์ (Sensor Degradation) ทำให้ไม่สามารถใช้ค่าพารามิเตอร์การวัดสอบของเซนเซอร์ที่ทดสอบก่อนทำการปล่อยดาวเทียมได้ (Preflight Radiometric Calibration) จึงมีงานศึกษาหลายงาน (Markham and Barker ,1986 ; Thome et al. ,1997; Teillet et al.,2001) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์การวัดสอบที่มีความถูกต้อง ณ เวลาหลังจากปล่อยดาวเทียม ล่าสุดทางหน่วยงาน USGS, EROS และ EDC ได้เผยแพร่ค่าพารามิเตอร์การวัดสอบดังตารางที่ 2.1

$$L_{\text{sat}} = \left( \frac{L_{\text{MAX}} - L_{\text{MIN}}}{Q_{\text{cal}_{\text{max}}}} \right) Q_{\text{cal}} + L_{\text{MIN}} \quad (2.3)$$

$$L_{\text{sat}} = G_{\text{rescale}} * Q_{\text{cal}} + B_{\text{rescale}}$$

ดังนั้น

$$G_{\text{rescale}} = \left( \frac{L_{\text{MAX}} - L_{\text{MIN}}}{Q_{\text{cal}_{\text{max}}}} \right) \quad (2.4)$$

$$B_{\text{rescale}} = L_{\text{MIN}}$$

เมื่อ

- $L_{\text{sat}}$  = ค่าการแผ่รังสีตำแหน่งเซนเซอร์ หน่วย  $w/(m^2sr \mu m)$
- $L_{\text{MIN}}$  = ค่าการแผ่รังสีที่ถูกควอนไทซ์เซชันเป็นค่า  $Q_{\text{cal}_{\text{min}}}$  หน่วย  $w/(m^2sr \mu m)$
- $L_{\text{MAX}}$  = ค่าการแผ่รังสีที่ถูกควอนไทซ์เซชันเป็นค่า  $Q_{\text{cal}_{\text{max}}}$  หน่วย  $w/(m^2sr \mu m)$
- $Q_{\text{cal}}$  = ค่าคุณภาพจากการควอนไทซ์เซชัน หน่วย DN
- $Q_{\text{cal}_{\text{min}}}$  = ค่าคุณภาพจากการควอนไทซ์เซชันที่มีค่าน้อยที่สุด (DN=0) หน่วย DN
- $Q_{\text{cal}_{\text{max}}}$  = ค่าคุณภาพจากการควอนไทซ์เซชันที่มีค่ามากที่สุด (DN=255) หน่วย DN
- $G_{\text{rescale}}$  = ค่าเกนของเซนเซอร์แต่ละแบนด์ หน่วย  $DN/(w/(m^2sr \mu m))$
- $B_{\text{rescale}}$  = ค่าไบแอสของเซนเซอร์แต่ละแบนด์ หน่วย DN

Band	March 1,1984 –May 4, 2003				After May 5, 2003			
	LMIN	LMAX	$G_{\text{rescale}}$	$B_{\text{rescale}}$	LMIN	LMAX	$G_{\text{rescale}}$	$B_{\text{rescale}}$
1	-1.52	152.10	0.602431	-1.52	-1.52	193.0	0.732824	-1.52
2	-2.84	296.81	1.175100	-2.84	-2.84	365.0	1.442510	-2.84
3	-1.17	204.30	0.805765	-1.17	-1.17	264.0	1.039880	-1.17
4	-1.51	206.20	0.814549	-1.51	-1.51	221.0	0.872588	-1.51
5	-0.37	15.303	0.055158	-0.37	-0.37	15.303	0.055158	-0.37
7	-0.15	14.38	0.056980	-0.15	-0.15	16.50	0.065294	-0.15

ตารางที่ 2.1 ค่าเกนและค่าไบแอสในแต่ละแบนด์ของ LANDSAT-5 TM ที่มา : Chander and Markham (2003)

### 2.3.2 การแปลงค่าการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งเซนเซอร์เป็นค่าการสะท้อน (At-satellite Radiance to Ground Reflectance Conversion)

ในช่วงคลื่นการสะท้อนของแสงจากดวงอาทิตย์ขณะดาวเทียมทำการบันทึกภาพ เซนเซอร์บนดาวเทียมจะทำการวัดค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่นที่เกิดจากการสะท้อนแสงที่มาจากดวงอาทิตย์มาถึงพื้นผิวของสิ่งปกคลุมดินไปยังเซนเซอร์ แต่ปริมาณของค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่นที่วัดได้นั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อนพลังงานเชิงคลื่นของสิ่งปกคลุมดินอย่างเดียว เนื่องจากเมื่อรังสีเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศทั้งในเส้นทางจากดวงอาทิตย์ไปยังสิ่งปกคลุมดินและในเส้นทางจากสิ่งปกคลุมดินไปยังดาวเทียมจะเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างโฟตอนของรังสีกับ โมเลกุล, ละอองลอยและก๊าซในชั้นบรรยากาศทำให้กระบวนการหลักๆ ซึ่งมีผลกับค่าการแผ่รังสีที่เซนเซอร์วัดได้ 2 รูปแบบได้แก่

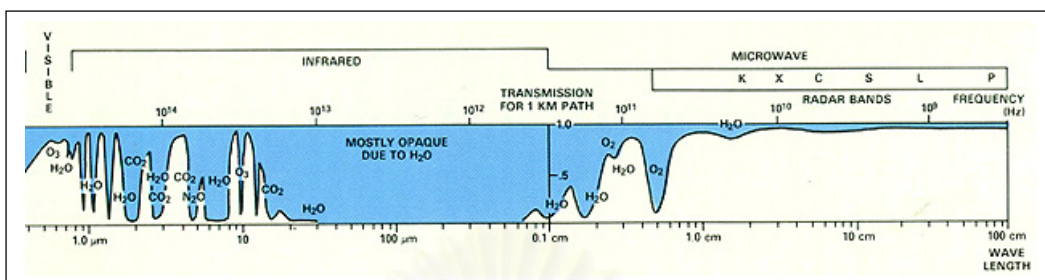
1) การกระจัดกระจาย (Scattering) เป็นกระบวนการที่เกิดจากรังสีทำปฏิสัมพันธ์กับอนุภาคในชั้นบรรยากาศทำให้โฟตอนบางส่วนเปลี่ยนทิศทางแตกต่างไปจากเดิมในหลายๆทิศทาง การกระจัดกระจายสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1.1) การกระจัดกระจายแบบเรย์เล (Rayleigh Scattering) เป็นการกระจัดกระจายที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ทำปฏิกิริยากับ โมเลกุลหรือก๊าซซึ่งมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของช่วงคลื่น (ประมาณ  $10^{-4}$   $\mu\text{m}$ ) เช่น โมเลกุลของไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) และออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ปริมาณของกระบวนการนี้จะแปรผกผันกับความยาวคลื่นของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นการกระจัดกระจายแบบเรย์เลจึงมีผลกระทบมากกับพลังงานในช่วงคลื่นตามมองเห็นและมีผลกระทบน้อยลงกับช่วงคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากขึ้น

1.2) การกระจัดกระจายแบบมี (Mie Scattering) เป็นการกระจัดกระจายที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ทำปฏิสัมพันธ์กับละอองลอย (Aerosol) เช่น ฝุ่น, คิวบ และไอน้ำ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณเท่ากับความยาวคลื่นของช่วงพลังงาน (ประมาณ 0.1-10  $\mu\text{m}$ ) ปริมาณของกระบวนการนี้จะเป็นสัดส่วนกลับกับขนาดของช่วงคลื่นระหว่าง  $\lambda^0 - \lambda^{-4}$  การกระจัดกระจายแบบนี้มีผลกับช่วงคลื่นที่มีความยาวมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระจัดกระจายแบบเรย์เลเช่น ช่วงคลื่นสีแดง การกระจัดกระจายแบบมีจะเกิดมากเมื่อสภาพบรรยากาศไม่โปร่งใส (Hazy) ซึ่งมีความแปรผันมากกับการกระจายตัวของอนุภาคที่มีขนาดต่างกัน (Size Distribution) และดัชนีการหักเห (Refraction Index) ของอนุภาคมีค่ามาก การคำนวณให้ถูกต้องเป็นไปได้ยากเพราะการกระจายตัวของละอองลอยเปลี่ยนแปลงมากในแต่ละช่วงเวลา

2) การดูดกลืน (Absorption) เป็นกระบวนการที่เกิดจากก๊าซ เช่น โอโซน ( $\text{O}_3$ ), น้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ), คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และละอองลอยในชั้นบรรยากาศดูดกลืนโฟตอนบางส่วนของรังสีจากดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงคลื่น โดยทั่วไปการดูดกลืนของละอองลอยจะมีไม่มากและเซนเซอร์ของ

ดาวเทียมสำรวจระยะไกลจะถูกออกแบบให้บันทึกภาพบริเวณช่วงคลื่นที่มีการดูดกลืนจากก๊าซไม่มากหรือที่เรียกว่าหน้าต่างชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Windows) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 หน้าต่างชั้นบรรยากาศ ที่มา : Lillesand and Kiefer (1999 :pp 11)

ผลรวมของกระบวนการทั้ง 2 อย่างข้างต้นทำให้เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ รังสีจะสูญเสียพลังงานด้วยอัตราส่วนหนึ่งที่เราเรียกว่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านชั้นบรรยากาศ (Atmosphere Transmittance Coefficient) ดังแสดงในสมการที่ 2.5

$$L_{\lambda} = L_{0\lambda} e^{-\zeta \cdot \mu_{\lambda} \cdot s \cdot \sec \theta} = L_{0\lambda} e^{-\tau_{\lambda} \cdot \sec \theta} \tag{2.5}$$

สัมประสิทธิ์ดังกล่าวมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนตรงกับเส้นทางที่รังสีเดินทางผ่าน (s), ความหนาแน่นก๊าซ ( $\zeta$ ) และคุณสมบัติของตัวกลาง ( $\mu_{\lambda}$ ) โดยที่เทอม  $\zeta \cdot \mu_{\lambda} \cdot s$  รวมเรียกว่าค่าความหนาแข็งแสงทั้งหมด (Total Optical Depth:  $\tau_{\lambda}$ ) ซึ่งเป็นค่าดัชนีชี้วัดถึงระดับการดูดกลืนและการกระจัดกระจายของรังสีในชั้นบรรยากาศ สามารถแสดงในรูปแบบสมการที่ 2.6

ดังนั้นจากสมการที่ 2.5 เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ (Direct Solar Irradiance:  $E_D$ ) เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศในทิศทางมุมตั้งของดวงอาทิตย์ ( $\theta_Z$ ) มาถึงสิ่งปกคลุมดิน รังสีจะสูญเสียพลังงานด้วยอัตราส่วนเท่ากับสัมประสิทธิ์การส่งผ่านชั้นบรรยากาศในทิศทางจากดวงอาทิตย์ไปยังสิ่งปกคลุมดิน ( $T_Z$ ) ดังสมการที่ 2.6

$$T_Z = e^{-\tau_{\lambda} \sec \theta_Z} \tag{2.6}$$

เช่นเดียวกันเมื่อรังสีถูกสะท้อนด้วยพื้นผิวของสิ่งปกคลุมดินเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไปยังเซนเซอร์ในทิศทางมุมตั้งของดาวเทียม ( $\theta_V$ ) จะสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งด้วยอัตราส่วนเท่ากับสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในชั้นบรรยากาศในทิศทางจากสิ่งปกคลุมดินไปยังดาวเทียม ( $\tau_V$ ) จึงมีค่าเท่ากับสมการที่ 2.7

$$T_v = e^{-\tau_\lambda \sec\theta_v} \quad (2.7)$$

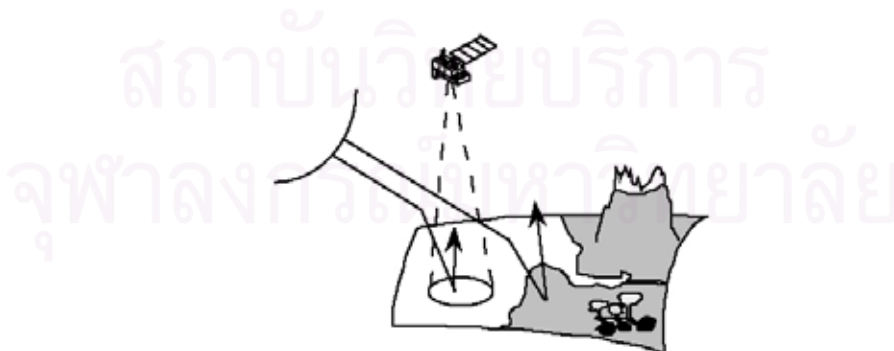
นอกจากนี้โฟตอนส่วนที่เปลี่ยนทิศทางแตกต่างไปจากเดิม ( $\theta_z$ ) ไปในหลายๆทิศทางเนื่องจากการกระจัดกระจายยังมีผลกระทบต่อขนาดของค่าการแผ่รังสี ในหลายรูปแบบดังนี้

1) ค่ากระจายแสงในเส้นทางผ่าน (Path Radiance :  $L_p$ ) เป็นค่าการแผ่รังสีที่เกิดจากโฟตอนส่วนหนึ่งที่กระจัดกระจายจนเปลี่ยนทิศไม่ตกกระทบพื้นผิวโลกแต่สะท้อนกลับออกจากระดับบรรยากาศไปยังเซนเซอร์ของดาวเทียม ดังรูปที่ 2.7



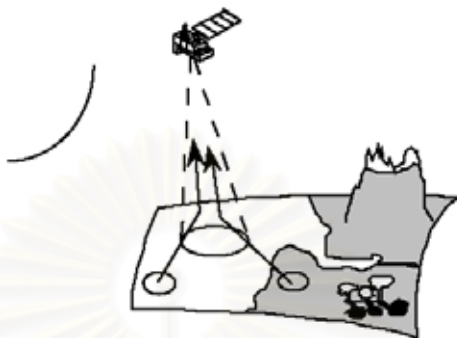
รูปที่ 2.7 ค่ากระจายแสงในเส้นทางผ่าน ที่มา : Vermote (1997)

2) ค่าการแผ่รังสีตกกระทบแบบแพร่กระจาย (Diffuse Irradiance:  $E_{diff}$ ) เป็นค่าการแผ่รังสีที่เกิดจากโฟตอนส่วนหนึ่งที่กระจัดกระจายเปลี่ยนทิศทางจากมุม  $\theta_z$  เป็นทิศทางใหม่แล้วตกกระทบมายังพื้นผิวของสิ่งปกคลุมดิน ดังรูปที่ 2.8



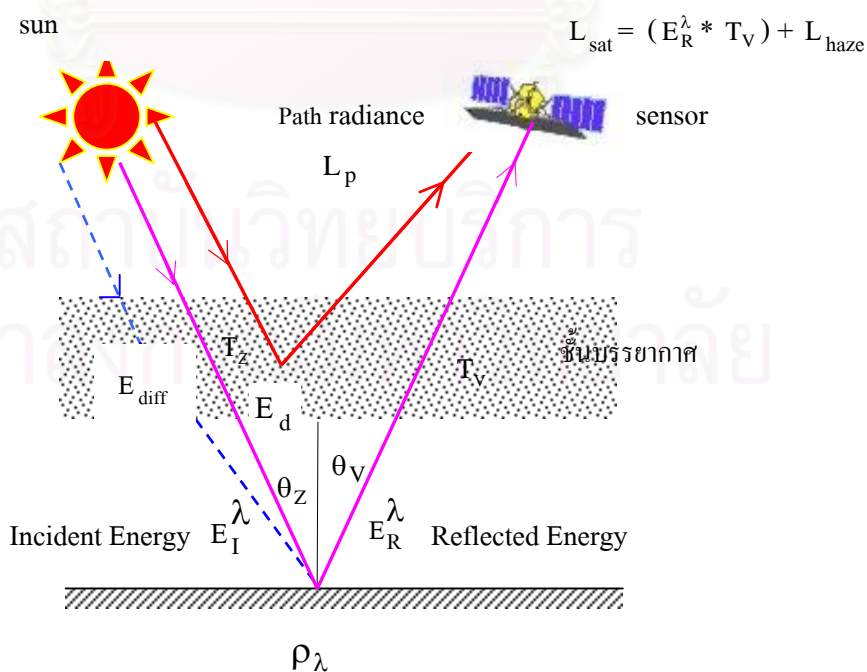
รูปที่ 2.8 ค่ารังสีตกกระทบแบบแพร่กระจาย ที่มา : Vermote (1997)

3) ค่าการแผ่รังสีจากสิ่งแวดล้อม (Environment Irradiance:  $E_{env}$ ) เป็นค่าการแผ่รังสีที่เกิดจากโฟตอนส่วนหนึ่งที่สะท้อนจากพื้นผิวสิ่งปกคลุมดินและถูกทำให้กระจัดกระจายโดยชั้นบรรยากาศไปยังเซนเซอร์บนดาวเทียม ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ค่าการแผ่รังสีจากสิ่งแวดล้อม ที่มา : Vermote (1997)

จากรูปแบบของผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศที่มีต่อการวัดค่าการแผ่รังสีของเซนเซอร์บนดาวเทียมต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ถ้าสมมุติให้สิ่งปกคลุมดินมีการสะท้อนพลังงานสม่ำเสมอทุกทิศทางและชั้นบรรยากาศวางตัวในแนวราบและเป็นเนื้อเดียวเพื่อให้ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศมีขนาดเท่ากันทุกจุดภาพ จะสามารถจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง  $\rho_{\lambda}$ ,  $L_{sat}$  และเทอมของผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศดังกล่าวได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ปฏิสัมพันธ์ของรังสีดวงอาทิตย์กับชั้นบรรยากาศ

จากความสัมพันธ์ของค่าการแผ่รังสีที่เซนเซอร์วัดได้ ณ ตำแหน่งของเซนเซอร์บนดาวเทียม ซึ่งคือผลรวมของรังสีที่สะท้อนจากพื้นผิวของสิ่งปกคลุมดินที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงเซนเซอร์กับ ค่ากระจายแสงในเส้นทางผ่าน สามารถหาค่า  $E_R^\lambda$  ดังสมการที่ 2.8

$$L_{\text{sat}} = L_p + (E_R^\lambda * T_v)$$

$$\therefore E_R^\lambda = \frac{L_{\text{sat}} - L_p}{T_v} \quad (2.8)$$

ส่วนค่า  $E_I^\lambda$  สามารถหาได้จากผลรวมของ  $E_d$  กับ  $E_{\text{diff}}$

$$E_I^\lambda = E_d + E_{\text{diff}}$$

$$\therefore E_I^\lambda = \frac{(E_{\text{sun}} / D^2 * \cos \theta_z * T_z) + E_{\text{diff}}}{\pi} \quad (2.9)$$

ดังนั้นค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของสิ่งปกคลุมดินจะสามารถหาได้โดยแทนค่า  $E_R^\lambda$  จากสมการที่ 2.8 และค่า  $E_I^\lambda$  จากสมการที่ 2.9 ลงสมการที่ 2.2 ดังสมการที่ 2.10

$$\rho_\lambda = \frac{E_R^\lambda}{E_I^\lambda} = \frac{\pi * (L_{\text{sat}} - L_p)}{T_v * (E_{\text{sun}} / D^2 * \cos \theta_z * T_z + E_{\text{diff}})} \quad (2.10)$$

โดย  $E_{\text{sun}}$  = ค่ารังสีตกกระทบเฉลี่ยเชิงคลื่นจากดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งเหนือชั้นบรรยากาศ (Mean Solar Exoatmosphere Spectral Irradiances) มีหน่วยเป็น  $W/(m^2 \mu m)$  ดังตารางที่ 2.2

TM Band	$E_{\text{sun}}$
1	1957
2	1829
3	1557
4	1047
5	214.90
7	74.52

ตารางที่ 2.2 ค่า  $E_{\text{sun}}$  ที่มา: Chander and Markham (2003)

$D$  = ระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ในหน่วยดาราศาสตร์ ณ วันบันทึกภาพ

(Earth-sun Distance In Astronomical Units) ซึ่ง 1 หน่วยดาราศาสตร์ (AU) คือ

ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ  $146.6 * 10^6$  กิโลเมตร

โดย  $D = 1 - 0.01674 \cos ( 0.9856 * (DOY - 4) )$

เมื่อ DOY คือหมายเลขลำดับวันในหนึ่งปี (Day Of Year) ของวันที่ D/M/Y

โดย  $DOY = D - 32 + \text{int} \left( \frac{275M}{9} \right) + 2 \text{int} \left( \frac{3}{M + 1} \right) + \text{int} \left( \frac{M}{100} - \frac{\text{Mod}(Y, 4)}{4} + 0.975 \right)$

$\theta_z$  = มุมตั้งของดวงอาทิตย์ (Sun Zenith Angle) เป็นมุมระหว่างทิศทางของดวงอาทิตย์กับเส้นตั้งฉากพื้นผิวซึ่งมีค่าเท่ากับ  $90^\circ$  - มุมยกของดวงอาทิตย์ (Sun Elevation Angle)

โดยมุมยกของดวงอาทิตย์สามารถหาได้จากเพิ่มข้อมูล Metadata ของภาพถ่ายดาวเทียม

## 2.4 วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศ

ค่าพารามิเตอร์ของผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศสามารถหาได้โดยการวัดข้อมูลในสนามด้วยเครื่องวัดชั้นโฟโตมิเตอร์แล้วนำข้อมูลที่วัดมานำเข้าและประมวลผลกับซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี (Radiative Transfer Codes : RTC) เช่น 6S (Vermote et al., 1997) ในงานวิจัยของต่างประเทศมักใช้วิธีนี้กับงานที่ต้องการความถูกต้องสูงเช่น งานศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์การวัดของเซนเซอร์บนดาวเทียม LANDSAT-5 TM และดาวเทียม SPOT 2 ที่มีต่อการหาค่าการสะท้อนพลังงานของวัตถุที่มีค่าความสว่างมืดและสว่าง (Moran et al., 1995) หรืองานศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการหาค่าการสะท้อนจากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-5 TM กับค่าการสะท้อนด้วยเซนเซอร์บนเครื่องบิน (Holm et al., 1989)

แต่การนำมาประยุกต์ใช้เป็นกระบวนการเตรียมภาพเพื่อการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินระหว่างช่วงเวลาด้วยภาพถ่ายดาวเทียมที่ต่างเวลากันนั้นมีความไม่เหมาะสมกับทางปฏิบัติเพราะการวัดข้อมูลในสนามจำเป็นต้องมีเครื่องมือ, เสียค่าใช้จ่ายสูงและภาพถ่ายดาวเทียมที่ถูกนำมาเปรียบเทียบกันมักเป็นภาพที่ถูกบันทึกในอดีตซึ่งไม่ได้วัดข้อมูลของชั้นบรรยากาศไว้ จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีการศึกษาวิธีที่ใช้เฉพาะภาพถ่ายดาวเทียม (Image-based Method) ซึ่งเป็นการใช้แบบจำลองที่ต้องการเพียงค่า DN ของภาพถ่ายดาวเทียมเองแทนการวัดข้อมูลของชั้นบรรยากาศในสนามเพื่อการหาค่าพารามิเตอร์ของผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศซึ่งได้แก่วิธีที่หาค่าพารามิเตอร์ผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศโดยการสมมุติค่า  $\rho_\lambda$  โดยประมาณให้แก่สิ่งปกคลุมดินที่มีค่า  $\rho_\lambda$  ต่ำ (Dark Target) เช่น การใช้เงาที่เกิดจากการบดบังของเมฆหรือภูมิประเทศ (ค่า  $\rho_\lambda$  ต่ำในทุกๆ ช่วงคลื่น) ในวิธี DOS, การใช้บริเวณพืชปกคลุมหนาแน่น (ค่า  $\rho_\lambda$  ต่ำในช่วงคลื่นสีน้ำเงินและสีแดง) ในวิธี DDV หรือการใช้บริเวณพื้นที่น้ำ (ค่า  $\rho_\lambda$  ต่ำในช่วงคลื่นสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้) ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของวิธีที่ใช้เฉพาะภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งได้แก่ วิธี DOS และ DDV

### 2.4.1 วิธีดีโอเอส (Dark-object Subtraction: DOS)



วิธี DOS เป็นวิธีการหาค่าการกระจายแสงในเส้นทางผ่านของภาพดาวเทียมแต่ละแบนด์ โดยใช้ค่าจุดภาพบริเวณที่เป็นเงามืดเนื่องจากการบดบังของเมฆหรือการบดบังกันของสภาพภูมิประเทศที่มีอยู่ในภาพดาวเทียม (Chavez, 1988)

สมมติฐานของวิธีนี้คือจุดภาพที่อยู่บริเวณที่เป็นเงา เช่น เซอร์ไม่สามารถจะบันทึกค่าการแผ่รังสีที่สะท้อนจากสิ่งปกคลุมดินได้ แต่เนื่องจากรังสีจากดวงอาทิตย์เกิดการกระจัดกระจายในชั้นบรรยากาศทำให้มีหลังจากนั้นมีโฟตอนส่วนหนึ่งเปลี่ยนทิศทางกลับสู่อวกาศไปยังเซอร์จึงถือว่าค่าการแผ่รังสีที่เซอร์วัดได้ ณ จุดนั้นมาจากค่าการกระจายแสงในเส้นทางผ่านเกือบทั้งหมดมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่มาจาก การสะท้อนรังสีของสิ่งปกคลุมดิน จากสมการที่ 2.3 แปลงค่า DN ของจุดภาพที่เป็นเงามืด ( $DN^*$ ) เป็นค่าการแผ่รังสีตำแหน่งเซอร์ ( $L_{sat}^*$ ) ดังสมการที่ 2.11

$$L_{sat}^* = G_{rescale} * DN^* + B_{rescale} \quad (2.11)$$

Moran (1992) สมมติให้จุดภาพที่เป็นเงามืดมี  $\rho_\lambda = 1\%$  ในทุกๆแบนด์ ดังนั้น จากสมการที่ 2.10 สามารถหาค่าการแผ่รังสีจากการสะท้อนของสิ่งปกคลุมดินที่มี  $\rho_\lambda = 0.01$  ( $L_{1\% \rho}$ ) เมื่อสมมติให้  $T_v = 1$ ,  $T_z = \cos \theta_z$  และ  $E_{diff} = 0$  ดังสมการที่ 2.12

$$\therefore L_{1\% \rho} = \frac{0.01(E_{sun} / D^2 * \cos^2 \theta_z)}{\pi} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} L_{sat}^* &= L_{1\% \rho} + L_p \\ \therefore L_p &= L_{sat}^* - L_{1\% \rho} \end{aligned} \quad (2.13)$$

แทนค่า  $L_{sat}^*$  จากสมการที่ 2.11,  $L_{1\% \rho}$  จากสมการที่ 2.12 ลงสมการที่ 2.13 จะได้

$$\therefore L_p = G_{rescale} * DN^* + B_{rescale} - \frac{0.01(E_{sun} / D^2 * \cos^2 \theta_z)}{\pi} \quad (2.14)$$

เนื่องจากค่าการกระจายแสงในเส้นทางผ่านในแต่ละแบนด์มีขนาดเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวคลื่นของช่วงคลื่นด้วยอัตราส่วนที่มีความสัมพันธ์กับสภาพชั้นบรรยากาศขณะบันทึกข้อมูล ถ้าสภาพชั้นบรรยากาศปลอดโปร่ง (Clear) ขนาดของค่าการกระจายแสงในเส้นทางผ่านจะแปรผกผันกับความยาวคลื่นของช่วงคลื่นด้วยอัตราส่วนที่มากกว่าสภาพชั้นบรรยากาศมีหมัว (Hazy) Chavez (1988) จึงได้นำแนวคิดนี้มาปรับปรุงวิธี DOS โดยคำนวณค่าการกระจายแสงในเส้นทางผ่านของภาพแบนด์ที่ 1 ซึ่งมีการกระจัดกระจายมากกว่าแบนด์อื่นๆจากค่า  $DN^*$  แบนด์ 1 ด้วยสมการที่

2.14 จากนั้นทำการหาค่ากระจายแสงในเส้นทางผ่านของแบนด์ที่เหลือโดยใช้สมการที่ 2.15 โดยเลือกค่า A จากตารางที่ 2.3 ที่สอดคล้องกับค่า  $DN^*$  แบนด์ 1

$$L_p^i = \left( \frac{\lambda_i}{\lambda_1} \right)^A L_p^1 \quad (2.15)$$

โดย  $L_p^i$  = ค่ากระจายแสงในเส้นทางผ่านแบนด์ที่ i

$L_p^1$  = ค่ากระจายแสงในเส้นทางผ่านแบนด์ 1

$\lambda_i$  = ความยาวคลื่นเฉลี่ยของแบนด์ที่ i

$\lambda_1$  = ความยาวคลื่นเฉลี่ยของแบนด์ 1

A = ค่ายกกำลังของสัดส่วนระหว่างความยาวคลื่นกับค่ากระจายแสงในเส้นทางผ่าน

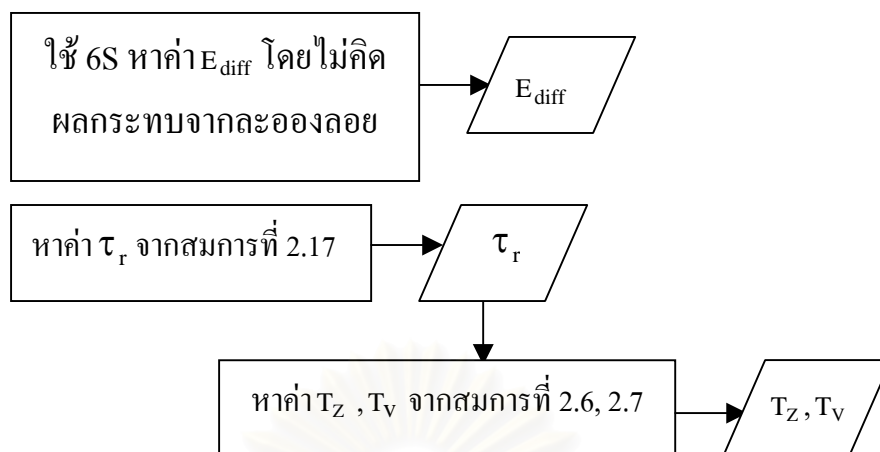
Atmosphere Condition	$DN^*$ แบนด์ 1	A
Very Clear	$\leq 55$	-4
Clear	56-75	-2
Moderate	76-95	-1
Hazy	96-115	-0.7
Very Hazy	$> 115$	-0.5

ตารางที่ 2.3 ค่ายกกำลังของสัดส่วนระหว่างความยาวคลื่นกับค่ากระจายแสงในเส้นทางผ่าน  
ที่มา : Chavez (1988)

เนื่องจากวิธี DOS เป็นเพียงแบบจำลองอย่างง่ายในการหาค่าการกระจายแสงในเส้นทางผ่านจากภาพดาวเทียมเท่านั้นส่วนค่าพารามิเตอร์ในเทอมตัวคูณซึ่งได้แก่สัมประสิทธิ์การส่งผ่านในชั้นบรรยากาศจะต้องมีการหาเพิ่มเติม ดังนั้นจึงมีงานศึกษาหลายงานที่มีการศึกษาหาวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวไว้ใช้ร่วมกับวิธี DOS เพื่อเพิ่มความถูกต้องของการแปลงค่า DN เป็นค่า  $\rho_\lambda$  ได้แก่

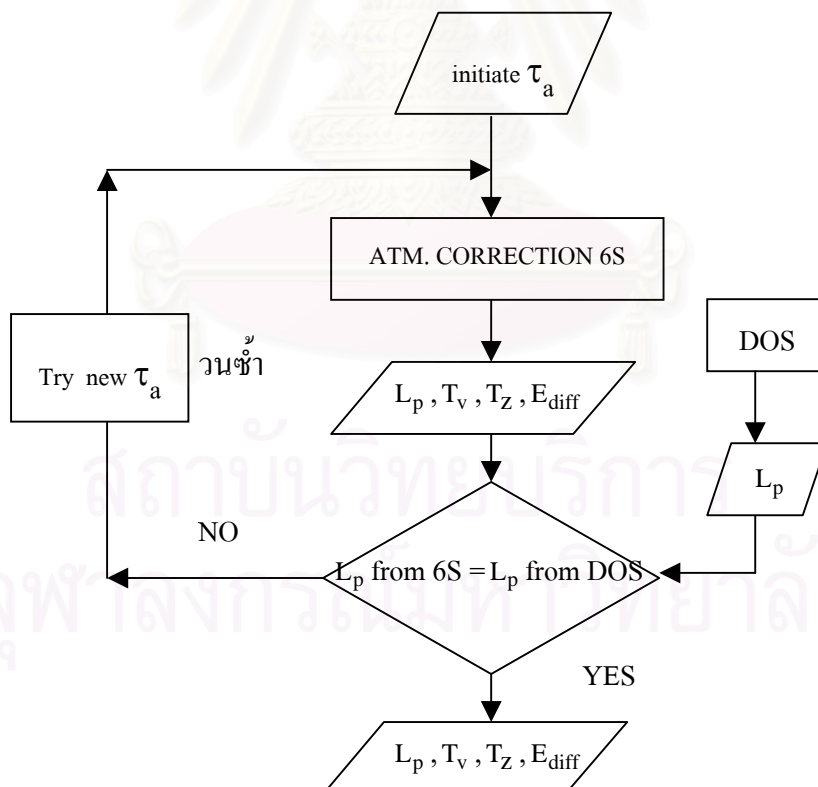
1) Song et al. (2001) ทำการหาค่า  $T_z, T_v$  ด้วยสมการที่ 2.6 และสมการที่ 2.7 และหาค่า  $E_{diff}$  ด้วยซอฟต์แวร์การถ่ายภาพเรดาร์ 6S โดยคิดแต่เฉพาะผลกระทบจากการกระจัดกระจายแบบเรย์เลเท่านั้นดังรูปที่ 2.11 นั่นคือสมมติให้ค่าความหนาเชิงแสงของการกระจัดกระจายแบบมี ( $\tau_a$ ) มีค่าเท่ากับศูนย์ทำให้  $\tau_\lambda = \tau_r$  ซึ่งค่า  $\tau_r$  ได้จากสูตรการประมาณของ Kaufman (1989) ดังสมการที่ 2.16

$$\tau_r = 0.008569 \lambda^{-4} (1 + 0.0113 \lambda^{-2} + 0.00013 \lambda^{-4}) \quad (2.16)$$



รูปที่ 2.11 ผังงานการหาค่า  $T_z, T_v, E_{diff}$  ด้วยการสมมติ  $\tau_\lambda = \tau_r$

2) Moran et al. (1992) ทำการหาค่า  $T_z, T_v, E_{diff}$  ของแต่ละแบนด์โดยการวนซ้ำค่า  $\tau_a$  ในซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี 6S เพื่อหาค่า  $\tau_a$  ที่ให้ค่า  $L_p^i$  เท่ากับค่า  $L_p^i$  ที่หาจากวิธี DOS ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ผังงานการหาค่า  $T_z, T_v, E_{diff}$  ด้วยการวนซ้ำค่า  $\tau_a$

#### 2.4.2 วิธีดีดีวี (Dense Dark Vegetation: DDV)

วิธี DDV (Kaufman and Sandra ,1988 ; Gilbert et al, 1994) เป็นวิธีการหาค่าความหนา  
เชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ ณ เวลาดาวเทียมบันทึกภาพด้วยการสมมุติค่า  $\rho_{\lambda}$  ของจุด  
ภาพบริเวณที่มีพืชปกคลุมที่หนาแน่น (Dense Dark Vegetation) เช่นพื้นที่ป่าไม้, พื้นที่การเกษตร  
โดยใช้สมมุติฐานที่ว่าในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน ( $0.49 \mu\text{m}$ ) และช่วงคลื่นสีแดง ( $0.66 \mu\text{m}$ ) พืชที่หนา  
แน่นมีค่าการสะท้อนของสิ่งปกคลุมดินต่ำมากจนสามารถใช้ค่าโดยประมาณเพื่อหาค่าความหนา  
เชิงแสงของละอองลอยได้ เนื่องจากค่าการแผ่รังสีที่เซนเซอร์วัดได้เกือบทั้งหมดจะมาจากค่า  $L_p$  มี  
เพียงส่วนน้อยที่เกิดจากรังสีที่สะท้อนจากพืชที่หนาแน่น ดังนั้นถ้าความคลาดเคลื่อนของค่า  $\rho_{\lambda}$  ที่  
ได้จากการประมาณมีไม่มากเกินไปจะไม่มีผลต่อความถูกต้องค่าความหนาเชิงแสงของละอองลอย  
มากนัก

ต่อมางานศึกษาหลายงาน (Fallah et al.,1996 ; Kaufman ,1997 ; Ouaidrari and Vermote,  
1999) ได้ทำการปรับปรุงวิธี DDV ด้วยการถ่ายภาพแบนด์ที่ 7 ของดาวเทียม LANDSAT-5 TM ใน  
การแยกหาจุดภาพที่เป็นพืชที่หนาแน่นและประมาณค่า  $\rho_{\lambda}$  ของพืชที่หนาแน่นในแบนด์ที่ 1  
( $\rho_1^*$ ) และในแบนด์ที่ 3 ( $\rho_3^*$ ) ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ทำการแปลงค่า DN ของภาพแบนด์ที่ 7 เป็นค่า  $\rho_{\lambda}$  โดยให้ถือว่าแบนด์ที่ 7 เป็นช่วง  
คลื่นที่ปลอดภัยจากการกระจัดกระจายเนื่องจากละอองลอยเสมือนว่าค่า  $\rho_{\lambda}$  มีค่าเท่ากับค่า  $\rho_{\lambda}$  ที่  
ตำแหน่งเหนือชั้นบรรยากาศ (Apparent Reflectance :  $\rho_{\lambda}^{\text{ap}}$ ) เพราะแบนด์ที่ 7 ( $2.2 \mu\text{m}$ ) อยู่ในช่วง  
คลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้นซึ่งมีขนาดความยาวคลื่นใหญ่กว่าขนาดของละอองลอยเกือบทุกชนิดในชั้น  
บรรยากาศมากประกอบกับการดูดกลืนมีผลกระทบน้อยมากกับค่ารังสีที่สะท้อนจากพืชที่หนา  
แน่นซึ่งมีค่า  $\rho$  ก่อนข้างต่ำ

จากสมการที่ 2.10 ในกรณีที่ไม่นับผลกระทบนี้อาจจะขึ้นบรรยากาศ โดยสมมุติให้  $T_z=1$ ,  
 $T_v=1$ ,  $E_{\text{diff}}=0$  และ  $L_p=0$  ค่า  $\rho_{\lambda}^{\text{ap}}$  สามารถหาค่าได้จากสมการที่ 2.17

$$\rho_{\lambda}^{\text{ap}} = \frac{\pi L_{\text{sat}}}{E_{\text{sun}} / D^2 * \cos \theta_z} \quad (2.17)$$

ดังนั้นค่า  $\rho_7$  จะมีค่าเท่ากับสมการที่ 2.18

$$\rho_7 = \rho_7^{\text{ap}} = \frac{\pi L_{\text{sat}}^{b7}}{E_{\text{sun}} / D^2 * \cos \theta_z} \quad (2.18)$$

2) จำแนกกลุ่มของจุดภาพที่เป็นพืชที่หนาแน่นในภาพแบนด์ 7 โดยใช้เงื่อนไขต่อไปนี้

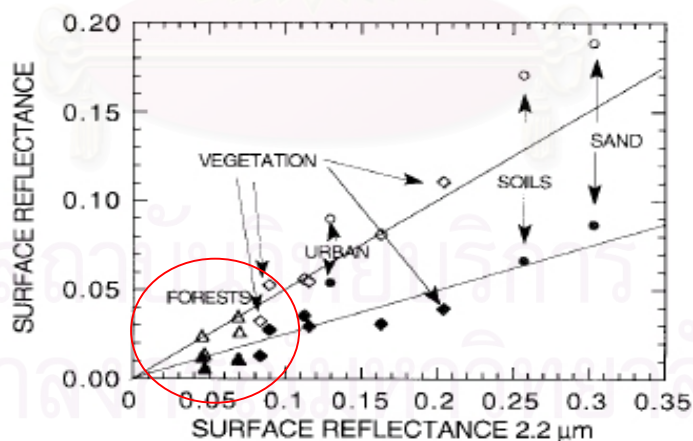
- จากการทดสอบกับข้อมูลตัวอย่างพบว่าค่า  $\rho_7$  ของพืชที่หนาแน่นในภาพแบนด์ที่ 7 มีค่าน้อยกว่า 0.05
- เนื่องจากน้ำมีค่า  $\rho_\lambda$  ต่ำในแบนด์ที่ 4, 5 และ 7 ทำให้น้ำอาจถูกจำแนกรวมไปเป็นพืชที่หนาแน่นด้วย ซึ่งน้ำมีค่า  $\rho_\lambda$  สูงในแบนด์ที่ 1-3 มีผลให้ค่า  $\tau$  ที่ถูกคำนวณจะมีค่าเกินความจริง ดังนั้นจุดภาพที่เป็นน้ำจำเป็นต้องถูกกันออกโดยใช้เงื่อนไขที่ว่าน้ำจะมีค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มอลไลซ์

(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) น้อยกว่า 0.10

$$\text{เมื่อ } \text{NDVI} = \frac{L_{\text{sat}}^{b4} - L_{\text{sat}}^{b3}}{L_{\text{sat}}^{b3} + L_{\text{sat}}^{b4}}$$

3) คำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่า  $\rho_7$  ของกลุ่มจุดภาพที่เป็นพืชที่หนาแน่น ( $\rho_7^*$ )

4) Kaufman et al. (1996) ได้ตั้งสมมติฐานที่ว่าค่า  $\rho_7^*$  มีความสัมพันธ์กับค่า  $\rho_1^*$  และค่า  $\rho_3^*$  เนื่องจากคุณสมบัติการสะท้อนของพืชที่หนาแน่นในช่วงคลื่นอินฟราเรดและช่วงคลื่นสีแดงมีความคล้ายคลึงกันเช่น สารคลอโรฟิลล์จะดูดกลืนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดงของพืช ในขณะที่น้ำในใบพืชจะดูดกลืนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรด ดังนั้นจึงนำข้อมูลตัวอย่างของสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิดมาทำการหาความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\rho_7^*$  กับ  $\rho_1^*$  และค่า  $\rho_7^*$  กับ  $\rho_3^*$  ของข้อมูลตัวอย่างสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิด ที่มา : Kaufman et al. (1996)

พบว่าค่า  $\rho_7^*$  กับ  $\rho_1^*$  และค่า  $\rho_7^*$  กับ  $\rho_3^*$  สามารถสรุปความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.19

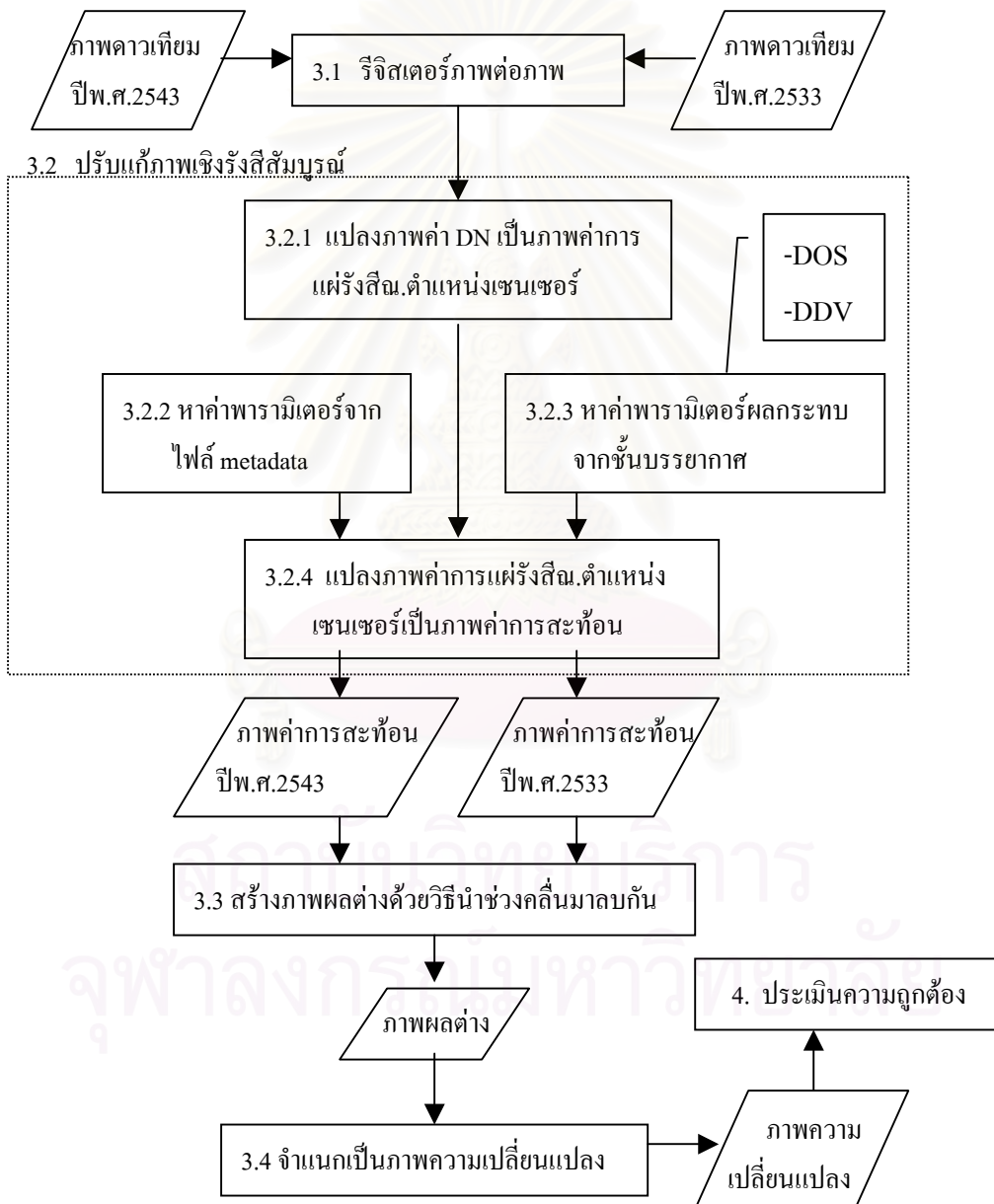
$$\rho_1^* = \frac{\rho_7^*}{4}, \quad \rho_3^* = \frac{\rho_7^*}{2} \quad (2.19)$$

- 5) ทำการแปลงภาพ DN แบนด์ที่ 1 เป็นภาพ  $\rho_1^{ap}$  และ ภาพ DN แบนด์ที่ 3 เป็นภาพ  $\rho_3^{ap}$
- 6) หาค่า  $\rho_1^{*ap}$  ซึ่งเท่ากับค่าเฉลี่ยของ  $\rho_1^{ap}$  ของกลุ่มจุดภาพที่เป็นพืชที่หนาแน่น และค่า  $\rho_3^{*ap}$  ซึ่งเท่ากับค่าเฉลี่ยของ  $\rho_3^{ap}$  ของกลุ่มจุดภาพที่เป็นพืชที่หนาแน่น
- 7) ทำการวนซ้ำค่า  $\tau_a$  ในซอฟต์แวร์ 6S เพื่อหาค่า  $\tau_{a1}$  และ  $\tau_{a3}$  โดยใช้ค่า  $\rho_1^{*ap}$ ,  $\rho_3^{*ap}$  จากข้อ 6 จนถึงค่า  $\tau_a$  ที่มีค่าเท่ากับค่า  $\rho_1^*$ , ค่า  $\rho_3^*$  ที่ได้จากการประมาณด้วยสมการที่ 2.19 ตามลำดับ
- 8) กำหนดค่า  $\tau_{a2} = \frac{\tau_{a1} + \tau_{a3}}{2}$ ,  $\tau_{a4} = 0$ ,  $\tau_{a5} = 0$  และ  $\tau_{a7} = 0$
- 9) ใช้ค่า  $\tau_a$  แต่ละแบนด์จากข้อ 7) และข้อ 8) มาหาค่า  $L_p, T_z, T_v, E_{diff}$  แต่ละแบนด์ด้วยซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี 6S

### บทที่ 3

#### วิธีการศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินโดยใช้การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์เป็นวิธีการเตรียมภาพซึ่งมีผังงานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผังงานการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดิน

### 3.1 ขั้นตอนการรีจิสเตอร์ภาพต่อภาพ (Image to Image Registration)

เนื่องจากวิธีนำช่วงคลื่นมาลบกันเป็นการนำค่าจุดภาพแบนด์เดียวกันของภาพดาวเทียมต่างเวลาที่จะนำมาหาความเปลี่ยนแปลงมาลบกันจุดภาพต่อจุดภาพ ดังนั้นภาพดาวเทียมต่างเวลาที่จะนำมาหาความเปลี่ยนแปลงจำเป็นต้องอยู่บนระบบพิกัดเดียวกันเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของการหาความเปลี่ยนแปลง ซึ่งจากการศึกษาของ Townhend et al. (1992) พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนรากลของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ของการแปลงค่าพิกัดไม่ควรเกิน 0.5 จุดภาพ

นอกจากนี้ในขั้นตอนการจำแนกภาพผลต่างเป็นภาพความเปลี่ยนแปลงจะต้องใช้ผลการตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงจากข้อมูลข้อเท็จจริงเพื่อหาค่า Threshold ดังนั้นค่าพิกัดของภาพที่นำมาหาความเปลี่ยนแปลงควรมีความถูกต้องทางตำแหน่งอยู่ในระดับเทียบเท่าหรือดีกว่าความถูกต้องทางตำแหน่งของจุดตรวจสอบ ซึ่งภาพปีพ.ศ. 2533 มีความถูกต้องทางตำแหน่งไม่เพียงพอ มีระดับการปรับแก้ที่ระดับ 1 (Systematic Correction) ผ่านการตัดแก้ภาพมาแล้วโดยอาศัยค่าประมาณของพารามิเตอร์วงโคจรของดาวเทียมให้มีค่าพิกัดอ้างอิงในระบบพิกัด UTM บนพื้นหลักฐาน WGS84 โดยจากข้อมูลทางเทคนิคพบว่าค่าพิกัดที่ได้จากภาพระดับ 1 มีความถูกต้องทางตำแหน่งประมาณ 150-250 เมตรหรือประมาณ 5-8 จุดภาพ ในขณะที่ภาพปีพ.ศ. 2543 มีระดับการปรับแก้ที่ระดับ 1 เช่นกันแต่ได้เพิ่มความถูกต้องเชิงตำแหน่งด้วยการตัดแก้ภาพ (Geo-Rectification) ให้มีค่าพิกัดอ้างอิงในระบบพิกัด UTM บนพื้นหลักฐานอินเดีย 1975 โดยใช้สมการโพลีโนเมียลดีกรีสอง จุดควบคุมภาคพื้นดินที่ใช้มีจำนวน 17 จุด ค่าพิกัดพื้นดินได้มาจากวิธีการรังวัด GPS ด้วยวิธีหาตำแหน่งของจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning) ซึ่งใช้เครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่วัดเฟสของคลื่นส่งและประมวลผลค่าพิกัดแบบสัมบูรณ์ด้วยข้อมูลวงโคจรความละเอียดสูง (Precise Orbit) จากหน่วยงาน IGS วิธีนี้จะให้ความถูกต้องทางราบประมาณ 3 เมตร (Satirapod et al., 2003) และหลังจากการตัดแก้ภาพพบว่าค่า RMSE ของจุดตรวจสอบอิสระมีค่าประมาณ 10 เมตรหรือหนึ่งส่วนสามของขนาดจุดภาพ

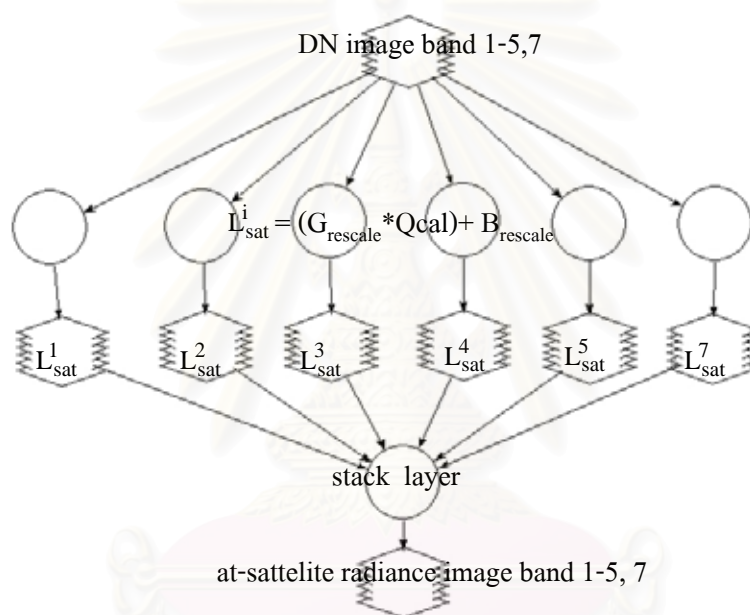
จากเหตุผลข้างต้นในการศึกษานี้จึงได้ทำการตัดแก้ภาพดาวเทียม LANDSAT-5 TM ปีพ.ศ. 2533 เพื่อแปลงระบบพิกัดให้เป็นระบบพิกัดเดียวกับภาพดาวเทียม LANDSAT-5 TM ปีพ.ศ. 2543 ซึ่งมีความถูกต้องทางตำแหน่งใกล้เคียงกับความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้มาจากเครื่องรับ GPS แบบพกพา แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้การทำ Image to Image Registration คือสมการโพลีโนเมียลดีกรีสอง โดยใช้จุดบังคับภาพจำนวน 30 จุด ที่วางตัวกระจายทั่วภาพ ผลลัพธ์ของค่า RMSE ของจุดตรวจสอบอิสระจำนวน 10 จุดมีค่าเท่ากับ 0.26 จุดภาพซึ่งเพียงพอกับการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดิน



### 3.2 ขั้นตอนการปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์

#### 3.2.1 ขั้นตอนการแปลงภาพ DN เป็นภาพค่าการแผ่รังสี.ตำแหน่งเซนเซอร์ (DN Image to At-satellite Radiance Image Conversion)

เป็นขั้นตอนการแปลงภาพดาวเทียมซึ่งมีค่าจุดภาพเป็นค่า DN เป็นภาพค่าการแผ่รังสี.ตำแหน่งเซนเซอร์ซึ่งมีค่าจุดภาพเป็นค่า  $L_{sat}$  โดยการนำสมการที่ 2.3 มาสร้างโมดูลแบบ Point operator ด้วย Spatial Moduler ใน ERDAS 8.5 ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 Spatial Moduler แปลงภาพ DN เป็นภาพค่าการแผ่รังสี.ตำแหน่งเซนเซอร์

#### 3.2.2 ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์จากไฟล์ Metadata

เป็นการคำนวณพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงค่าการแผ่รังสี.ตำแหน่งเซนเซอร์ให้เป็นค่าการสะท้อนซึ่งได้แก่ DOY, D และ  $\theta_z$  จากข้อมูลจากไฟล์ Metadata ที่มากับภาพดาวเทียมปีพ.ศ. 2533 และพ.ศ.2543 ค่าดังกล่าวถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

วัน/เดือน/ปี	DOY (Day of Year)	D (earth-sun distance)	Zeneith Angle ( $\theta_z$ )
26/12/1990	360	0.9835	50.31
03/11/2000	307	0.9920	77.34

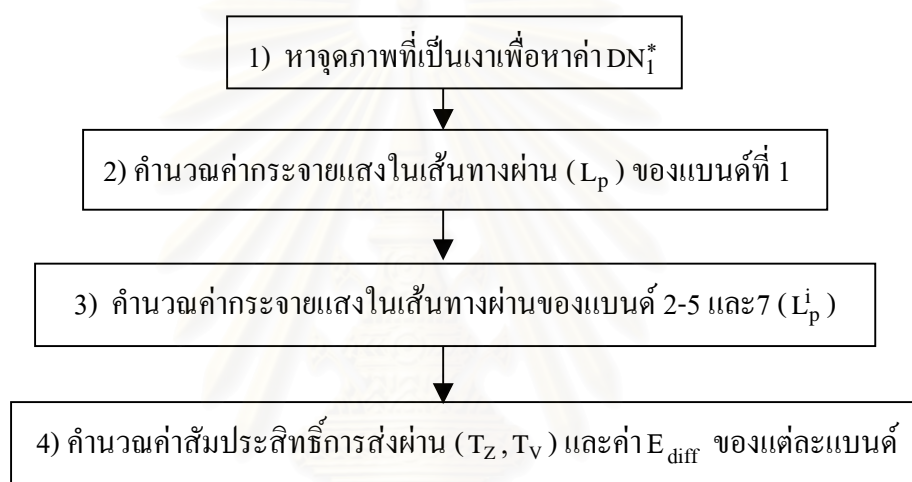
ตารางที่ 3.1 ค่า  $DOY$ ,  $D$ ,  $\theta_z$  ปีพ.ศ.2533 และ 2543

### 3.2.3 ขั้นตอนการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศ

เป็นการนำแนวคิดและทฤษฎีของวิธี DOS และวิธี DDV ในบทที่ 2 มาหาค่าพารามิเตอร์ของผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศ เพื่อนำไปใช้ในการแปลงค่าการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งเซนเซอร์ให้เป็นภาพค่าการสะท้อนในขั้นตอนต่อไป

#### 3.2.3.1 วิธี DOS

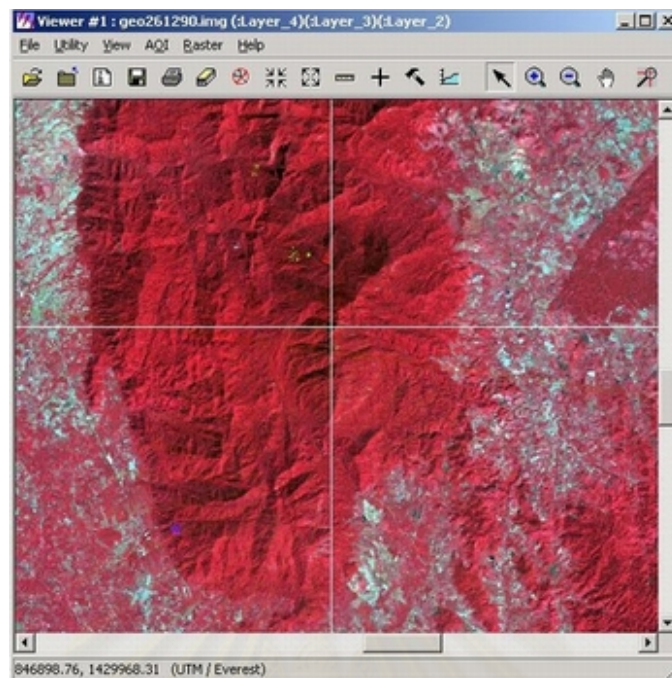
ขั้นตอนของวิธี DOS สามารถสรุปเป็นผังงานโดยย่อได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ผังงานของวิธี DOS

1) จากรูปที่ 3.4 เมื่อพิจารณาจากภาพปีพ.ศ. 2533 และปีพ.ศ. 2543 ด้วยสายตาพบว่าในภาพมีจุดภาพที่เป็นเงามืดเนื่องจากการบดบังของภูมิประเทศอยู่หลายตำแหน่ง ดังนั้นจะเลือกใช้จุดภาพซึ่งมีค่า DN น้อยที่สุดที่อยู่ในเงามืดในแบนด์ 1 เป็นค่า  $DN_1^*$  ของภาพปีพ.ศ. 2533 และค่า  $DN_1^*$  ของภาพปีพ.ศ. 2543

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 การเลือกจุดภาพที่เป็นเงามืดเพื่อนำไปใช้คำนวณค่า  $L_p^1$

2) ค่า  $DN_1^*$  จากข้อ 1) จะถูกนำไปคำนวณค่า  $L_p^1$  ด้วยสมการ 2.15 ดังแสดงในตารางที่ 3.2

วัน/เดือน/ปี	$DN_1^*$	$L_{1\%p}$	$L_p^1$
26/12/2533	46	2.6577	23.5341
03/11/2543	53	4.0015	26.6690

ตารางที่ 3.2 แสดงค่า  $DN_1^*$  และค่า  $L_p^1$  ปีพ.ศ.2533 และ 2543

3) นำค่า  $L_p^1$  มาคำนวณหา  $L_p^i$  ด้วยสมการที่ 2.16 โดยเมื่อพิจารณาจากค่า  $DN_1^*$  ของทั้งสองภาพ ( $DN_1^* 2533 = 46$ ,  $DN_1^* 2543 = 53$ ) พบว่ามีค่าน้อยกว่า 55 จึงเลือกใช้ค่า  $A = -4$

$$L_p^i = \left( \frac{\lambda_i}{\lambda_1} \right)^{-4} L_p^1$$

ซึ่งค่า  $L_p^i$  ที่คำนวณได้จะมีค่าดังตารางที่ 3.3

แบนด์ (i)	ช่วงคลื่น	ช่วง ความยาวคลื่น ( $\mu\text{m}$ )	ความยาวกลาง ช่วงคลื่น $\lambda_i$ ( $\mu\text{m}$ )	$\lambda_i / \lambda_1$	$L_p^i$ ปี2533	$L_p^i$ ปี2543
1	สีน้ำเงิน	0.45-0.52	0.485	1.000	23.5341	26.6690
2	สีเขียว	0.52-0.60	0.560	1.155	13.2407	15.0045
3	สีแดง	0.63-0.69	0.660	1.361	6.8626	7.7768
4	อินฟราเรดใกล้	0.76-0.90	0.830	1.711	2.7438	3.1093
5	อินฟราเรดคลื่นสั้น	1.55-1.75	1.650	3.402	0.1757	0.1991
7	อินฟราเรดคลื่นสั้น	2.08-2.35	2.215	4.567	0.0541	0.0613

ตารางที่ 3.3 ค่า  $L_p^i$  ในแต่ละแบนด์ของภาพปีพ.ศ. 2533 และภาพปีพ.ศ. 2543

4) ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.4.1 ว่าวิธี DOS เป็นเพียงวิธีการหาค่า  $L_p^i$  เท่านั้น ส่วนค่าพารามิเตอร์ของผลกระทบเนื่องจากการส่งผ่านพลังงานในชั้นบรรยากาศนั้นต้องมีการหาเพิ่มเติม ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะทำการหาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวด้วยวิธีที่ใช้ซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี 6S ร่วมกับจากงานศึกษาที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.4 เพื่อนำไปใช้ในการแปลงค่า DN เป็นค่า  $\rho_\lambda$  ร่วมกับค่า  $L_p^i$  ที่ได้จากวิธี DOS ซึ่งรายละเอียดการใช้ซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี 6S ได้เขียนไว้ในภาคผนวก ข. ดังนั้นในงานศึกษานี้จึงแบ่งวิธี DOS ออกเป็น 3 แบบย่อยโดยมีรายละเอียดของแต่ละแบบดังต่อไปนี้

DOS1 เป็นวิธี DOS อย่างง่ายซึ่งไม่คิดผลกระทบเนื่องจากการส่งผ่านพลังงานในชั้นบรรยากาศโดยกำหนดให้ค่า  $T_z = 1$ ,  $T_v = 1$  และ  $E_{\text{diff}} = 0$  ในทุกแบนด์ของภาพปีพ.ศ. 2533 และภาพปีพ.ศ. 2543

DOS2 คิดเฉพาะผลกระทบเนื่องจากการกระจัดกระจายแบบเรย์เลเท่านั้น ไม่คิดผลกระทบเนื่องจากการกระจัดกระจายแบบมี

$$\text{โดยกำหนดให้ } T_v = e^{-\tau_r \sec \theta_v} \text{ และ } T_z = e^{-\tau_r \sec \theta_z}$$

$$\text{เมื่อ } \tau_r = 0.008569 \lambda^{-4} (1 + 0.0113 \lambda^{-2} + 0.00013 \lambda^{-4})$$

ซึ่งค่า  $\tau_r$  ในแต่ละแบนด์ของภาพดาวเทียม LANDSAT-5 TM ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3.4

แบนด์ (i)	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	$\tau_r$
1	0.485	0.1627
2	0.560	0.0904
3	0.660	0.0464
4	0.830	0.0184
5	1.650	0.0012
7	2.215	0.0004

ตารางที่ 3.4 ค่า  $\tau_r$  ในแต่ละแบนด์

จากนั้นหาค่า  $E_{\text{diff}}$  ด้วยซอฟต์แวร์การถ่ายภาพเรดาร์ 6S ดังตัวอย่าง Input File ในรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นการหาค่า  $E_{\text{diff}}$  ในแบนด์ที่ 1 ของภาพปี โดยกำหนดให้แบบจำลองชั้นบรรยากาศแบบเรย์เลคือ Tropical และไม่คิดผลกระทบจากละอองลอย

7	(LANDSAT-5 TM)
11 03 03.17 101.98 12.96	(month,day,hh.ddd,long.,lat.)
1	(tropical atmospheric mode)
0	(no aerosols)
-1	(none)
0.001	(TARGET ALTITUDE IN KM)
-1000	(sensor on board of satellite)
25	(TM BAND 1)
0	(HOMOGENEOUS CASE)
0	(NO DIRECTIONNAL EFFECTS)
1	(VEGETATION)
-2	(NO ATMOSPHERIC CORRECTION)

รูปที่ 3.5 ตัวอย่าง Input File 6S ที่ใช้ในวิธี DOS2

เมื่อทำการประมวลผลแล้วซอฟต์แวร์การถ่ายภาพเรดาร์ 6S จะทำการคำนวณค่า  $E_{\text{diff}}$  และแสดงค่าในรูปแบบ Output File ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งให้ค่า  $E_{\text{diff}}$  ในแบนด์ที่ 1 ของภาพปีพ.ศ. 2543 เท่ากับ  $142.137 \text{ w}/(\text{m}^2\mu\text{m})$

```

*****
*
*
*           coupling aerosol -wv :
*           -----
*
*   wv above aerosol :   0.152   wv mixed with aerosol :   0.152
*   wv under aerosol  :   0.152
*
*
*           int. normalized values of :
*           -----
*
*           % of irradiance at ground level
*   % of direct irr.   % of diffuse irr.   % of enviro. irr
*   0.886             0.101             0.013
*
*           reflectance at satellite level
*   atm. intrin. ref.  background ref.  pixel reflectance
*   0.065             0.007             0.080
*
*
*           int. absolute values of
*           -----
*
*           irr. at ground level (w/m2/mic)
*   direct solar irr.  atm. diffuse irr.  environment irr
*   1254.574          142.137 Ediff          18.652
*   rad at satel. level (w/m2/sr/mic)
*   atm. intrin. rad.  background rad.  pixel radiance
*   32.135            3.378            39.850
*
*
*           int. funct filter (in mic)           int. sol. spect (in w/m2)
*           0.0604850                           120.281
*
*****

```

รูปที่ 3.6 ตัวอย่าง Output File 6S ที่ใช้ในวิธี DOS2

จากวิธีการข้างต้นผลลัพธ์ค่า  $T_v$ ,  $T_z$  และ  $E_{diff}$  ของภาพปีพ.ศ. 2533 และ ภาพปีพ.ศ. 2543 ที่คำนวณได้ถูกแสดงในตารางที่ 3.5 และตารางที่ 3.6 ตามลำดับ

แบนด์ที่	$T_v$	$T_z$	$E_{diff}$
1	0.8499	0.7763	141.043
2	0.9136	0.8687	70.909
3	0.9547	0.9304	34.468
4	0.9818	0.9772	8.354
5	0.9985	0.9982	0.099
7	0.9985	0.9994	0.012

ตารางที่ 3.5 ค่า  $T_v$ ,  $T_z$  และ  $E_{diff}$  จากวิธี DOS2 ของภาพปีพ.ศ. 2533

แบนด์ที่	$T_v$	$T_z$	$E_{diff}$
1	0.8499	0.8150	142.137
2	0.9136	0.8925	71.229
3	0.9547	0.9434	34.385
4	0.9818	0.9772	8.318
5	0.9985	0.9982	0.098
7	0.9985	0.9900	0.012

ตารางที่ 3.6 ค่า  $T_v$ ,  $T_z$  และ  $E_{diff}$  จากวิธี DOS2 ของภาพปีพ.ศ. 2543

DOS3 ทำการหาค่า  $T_z$ ,  $T_v$ ,  $E_{diff}$  ในแต่ละแบนด์ของภาพปีพ.ศ. 2533 และภาพปีพ.ศ. 2543 ด้วยซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี 6S โดยใช้การ Trial and Error ค่า  $\tau_a$  จนค่า  $L_p^i$  ที่คำนวณจากซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี 6S มีค่าเท่ากับค่า  $L_p^i$  ที่หาได้จากวิธี DOS (ตารางที่ 3.3) โดยกำหนดให้สภาพชั้นบรรยากาศเป็นแบบ Tropical และแบบจำลองของละอองลอยเป็นแบบ Continental Aerosols Model ในรูปแบบ Input File เพื่อหาค่า  $T_z$ ,  $T_v$ ,  $E_{diff}$  ด้วยซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี 6S ดังรูปที่ 3.7

7	(LANDSAT-5 TM)
11 03 03.17 101.98 12.96	(month,day,hh.ddd,long.,lat.)
1	(tropical atmospheric mode)
1	(continental aerosols model)
0	(NEXT VALUE IS THE AERO. OPT. THICK. @550)
0.009	(AERO. OPT. THICK. @550) $\tau_a$
0.10	(TARGET ALTITUDE IN KM)
-1000	(sensor on board of satellite)
26	(TM BAND 2)
0	(HOMOGENEOUS CASE)
0	(NO DIRECTIONNAL EFFECTS)
1	(VEGETATION)
-2	(NO ATMOSPHERIC CORRECTION)

รูปที่ 3.7 ตัวอย่าง Input File 6S ที่ใช้ในวิธี DOS3

```

*****
*
*
*           integrated values of :
*           -----
*
*   apparent reflectance 0.1251   appar. rad.(w/m2/sr/mic)   58.033
*
*   total gaseous transmittance 0.926
*
*****
*
*           coupling aerosol -wv :
*           -----
*
*   wv above aerosol :   0.125   wv mixed with aerosol :   0.125
*
*   wv under aerosol :   0.125
*
*           int. normalized values of :
*           -----
*
*           % of irradiance at ground level
*
*   % of direct irr.   % of diffuse irr.   % of enviro. irr
*
*   0.930              0.061              0.009
*
*           reflectance at satellite level
*
*   atm. intrin. ref.  background ref. pixel reflectance
*
*   0.032              0.005              0.088
*
*           int. absolute values of
*           -----
*
*           Ediff irr. at ground level (w/m2/mic)
*
*   direct solar irr.  atm. diffuse irr.  environment irr
*
*   1233.978          81.321            11.436
*
*           rad at satel. level (w/m2/sr/mic)
*
*   atm. intrin. rad.  background rad.  pixel radiance
*
*   15.004            2.162            40.881
*
*
*   Lp2   int. funct filter (in mic)           int. sol. spect (in w/m2)
*
*           0.0756840                               140.618
*
*****

```

```

*****
*
*           integrated values of :
*           -----
*
*           downward      upward      total
*
*   global gas. trans. :  0.95643    0.96528    0.92608
*
*   water " " : 0.98715    0.98952    0.97972
*
*   ozone " " : 0.96885    0.97549    0.94514
*
*   co2 " " : 1.00000    1.00000    1.00000
*
*   oxyg " " : 0.99998    0.99999    0.99997
*
*   no2 " " : 1.00000    1.00000    1.00000
*
*   ch4 " " : 1.00000    1.00000    1.00000
*
*   co " " : 1.00000    1.00000    1.00000
*
*
*           rayl. sca. trans. :  0.94677    0.95775    0.90677
*
*           aeros. sca. " : 0.99740    0.99822    0.99563
*
*           total sca. " : 0.94413    0.93388    0.90217
*
*
*           rayleigh      aerosols      total
*
*   spherical albedo :  0.07362    0.00362    0.07626
*
*   optical depth total:  0.08649    0.00865    0.09514
*
*   optical depth plane:  0.08649    0.00865    0.09514
*
*   reflectance : 0.03417    0.00050    0.03414
*
*   phase function : 1.20239    0.19934    1.11118
*
*   sing. scat. albedo : 1.00000    0.89156    0.99014
*
*
*****

```

รูปที่ 3.8 ตัวอย่าง Output File 6S ที่ใช้ในวิธี DOS3



จากรูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่าง Output File เมื่อใช้ค่า  $\tau_a = 0.187$  ค่า  $L_p$  ที่ 6S จำนวนได้มีค่าเท่ากับค่า  $L_p$  ที่หาได้จากวิธี DOS (ตารางที่ 3.3) ดังนั้นค่า  $T_z, T_v, E_{diff}$  ที่ 6S จำนวนได้เมื่อค่า  $\tau_a = 0.187$  จะเป็นค่าที่ถูกนำไปใช้ในการแปลงภาพค่าการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งเซนเซอร์ให้เป็นภาพค่าการสะท้อนของวิธี DOS3

ค่า  $T_z, T_v, E_{diff}$  ที่หาได้จากวิธี DOS3 ของภาพปีพ.ศ. 2533 และภาพปีพ.ศ. 2543 ถูกแสดงในตารางที่ 3.7 และตารางที่ 3.8 ตามลำดับ

แบนด์ที่	$T_v$	$T_z$	$E_{diff}$
1	0.91635	0.87510	141.004
2	0.92367	0.88488	75.166
3	0.93654	0.90470	62.323
4	0.89920	0.85941	54.402
5	0.88133	0.84280	8.138
7	0.88593	0.83837	3.446

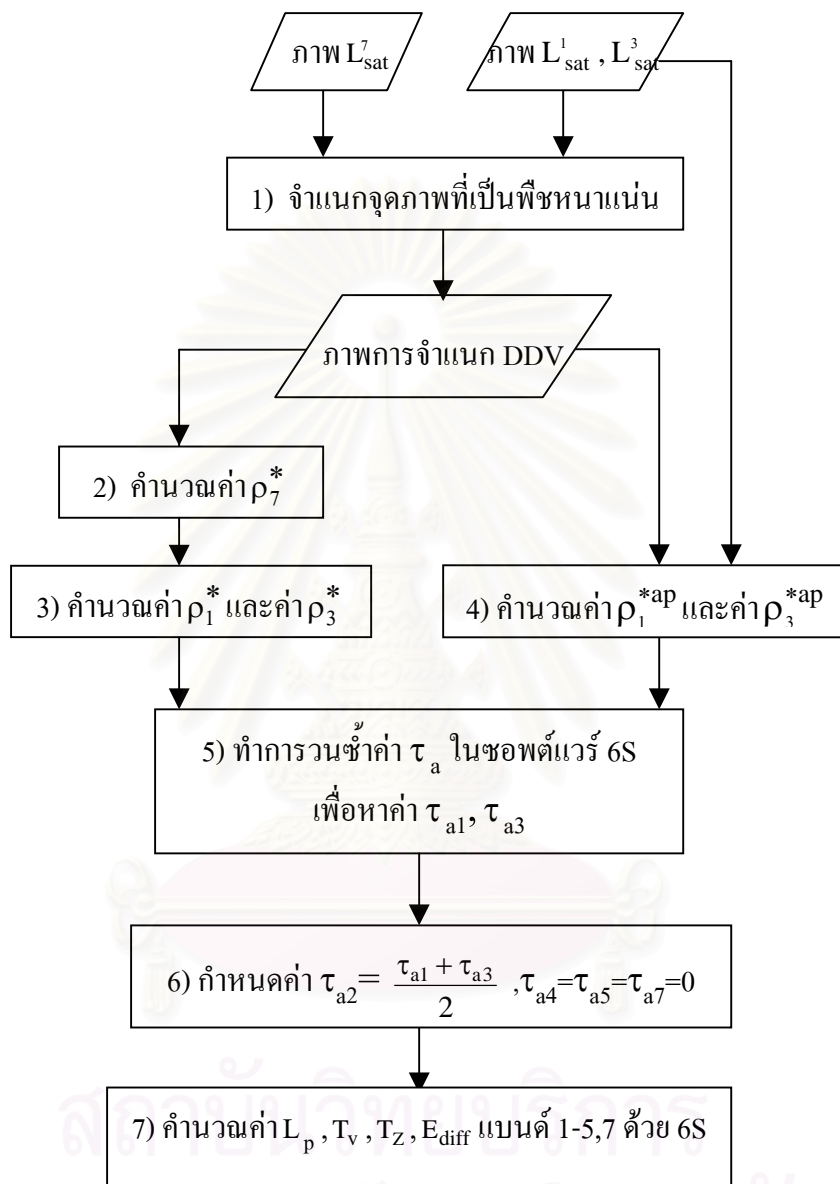
ตารางที่ 3.7 ค่า  $T_v, T_z$  และ  $E_{diff}$  จากวิธี DOS3 ของภาพปีพ.ศ. 2533

แบนด์ที่	$T_v$	$T_z$	$E_{diff}$
1	0.91635	0.89569	142.640
2	0.92269	0.90299	81.321
3	0.93483	0.91838	71.689
4	0.90167	0.85840	64.287
5	0.87339	0.85685	9.045
7	0.91570	0.85733	4.122

ตารางที่ 3.8 ค่า  $T_v, T_z$  และ  $E_{diff}$  จากวิธี DOS3 ของภาพปีพ.ศ. 2543

## 3.2.3.2 วิธี DDV

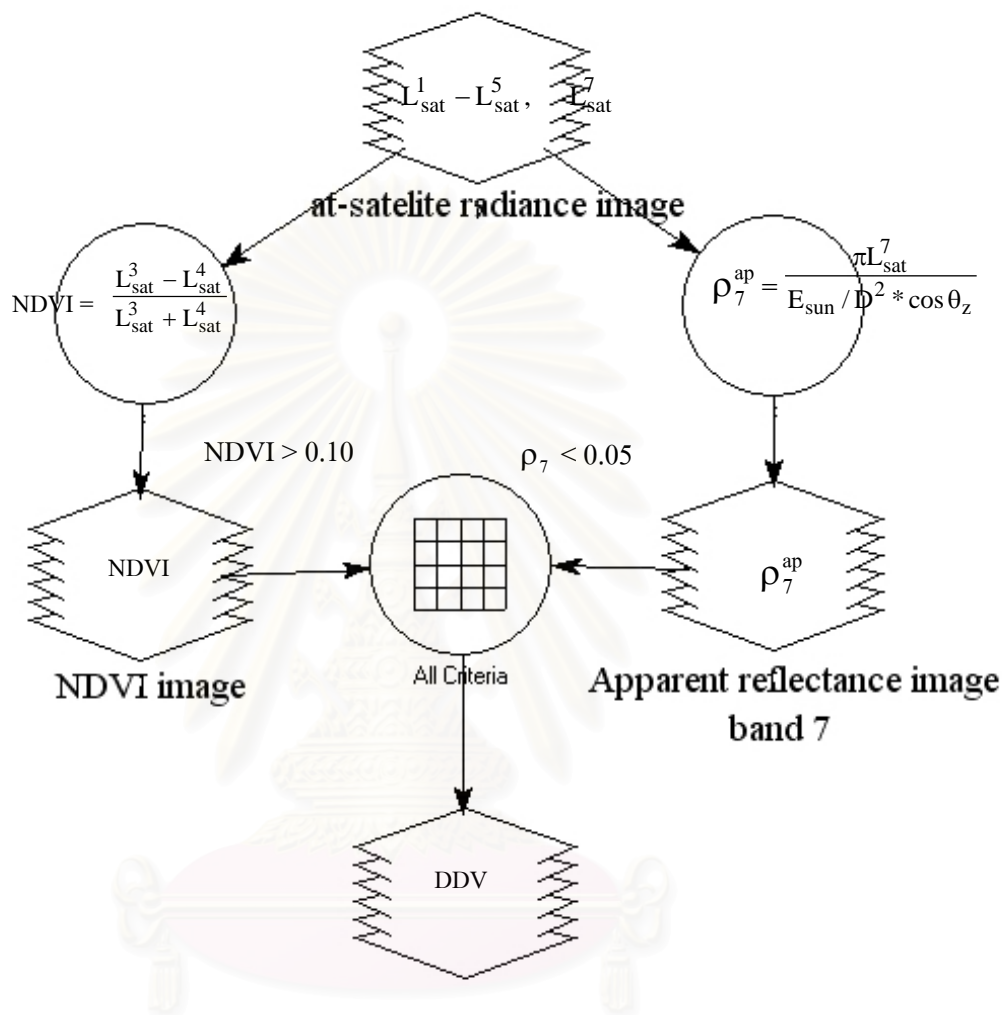
ขั้นตอนของวิธี DDV สามารถสรุปเป็นผังงานดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ผังงานการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี DDV

1) จำแนกจุดภาพที่เป็นพืชหนาแน่นในภาพปีพ.ศ. 2533 และภาพปีพ.ศ. 2543 ด้วยการสร้างโมดูลใน Spatial Moduler จากเงื่อนไข  $\rho_7 < 0.05$  และ  $NDVI > 0.10$  ดังรูปที่ 3.10 ผลที่ได้คือภาพ Bi-level แสดงจุดภาพที่ถูกแยกเป็นพืชหนาแน่นดังรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12

## DARK TARGET SELECTION BY DDV



รูปที่ 3.10 Spatial Modeler ในการจำแนกจุดภาพที่เป็นพืชปกคลุมหนาแน่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

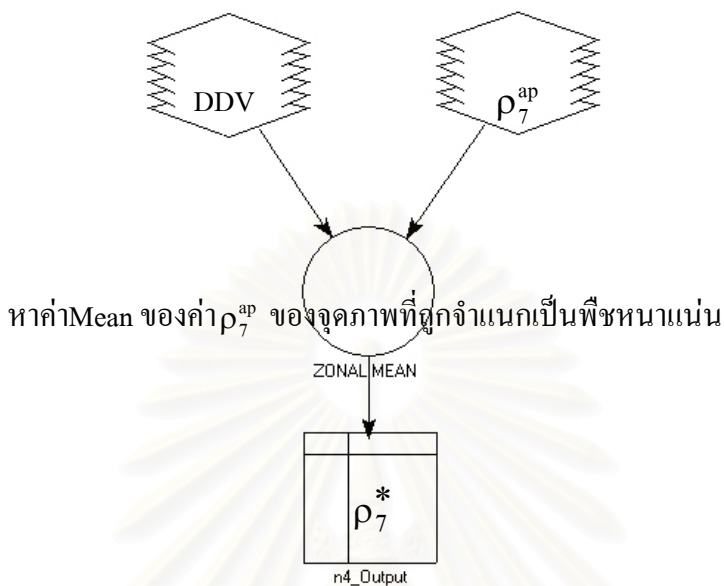


รูปที่ 3.11 จุดภาพของภาพปีพ.ศ. 2533 ที่ถูกจำแนกเป็นพืชหนาแน่น



รูปที่ 3.12 จุดภาพของภาพปีพ.ศ. 2543 ที่ถูกจำแนกเป็นพืชหนาแน่น

- 2) หาค่า  $\rho_7^*$  ของภาพปีพ.ศ.2533 และภาพปีพ.ศ. 2543 ด้วยโมดูล Spatial Moduler ดังรูปที่ 3.13 ผลลัพธ์ที่ได้คือ  $\rho_7^*$  ของภาพปี 2543 = 0.0356 และ  $\rho_7^*$  ของภาพปี 2533 = 0.0362



รูปที่ 3.13 Spatial Moduler ที่ใช้ในการหาค่า  $\rho_7^*$

- 3) คำนวณค่า  $\rho_1^*$  และค่า  $\rho_3^*$

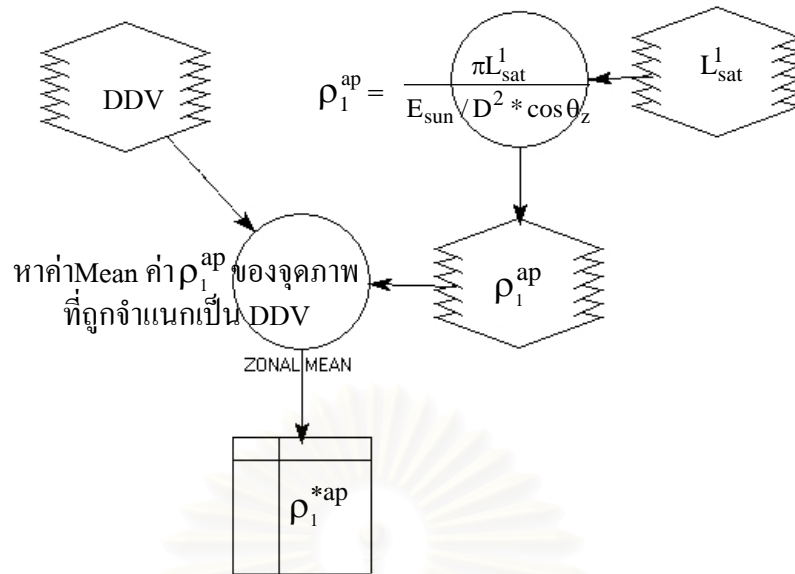
ปีพ.ศ. 2543

$$\rho_1^* = \frac{\rho_7^*}{4} = \frac{0.0356}{4} = 0.0089, \quad \rho_3^* = \frac{\rho_7^*}{2} = \frac{0.0356}{2} = 0.0178$$

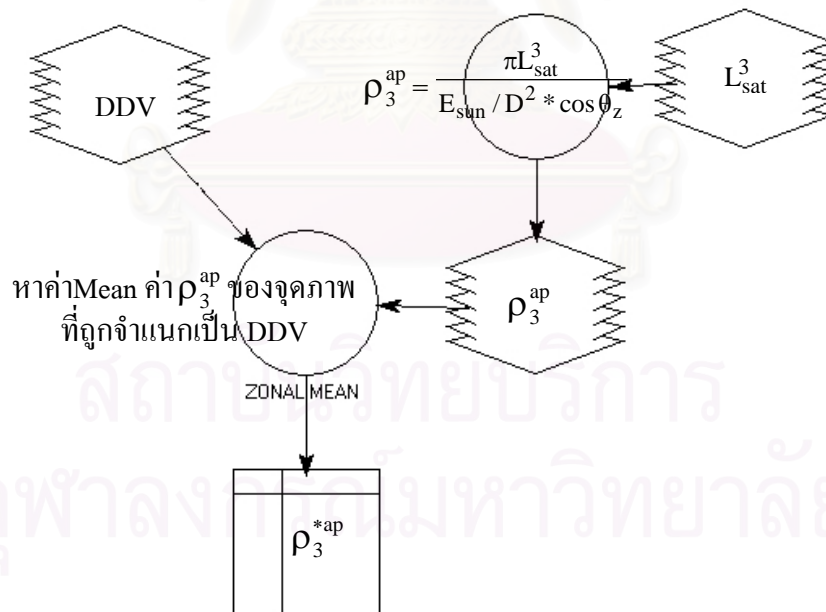
ปีพ.ศ. 2533

$$\rho_1^* = \frac{\rho_7^*}{4} = \frac{0.0362}{4} = 0.0091, \quad \rho_3^* = \frac{\rho_7^*}{2} = \frac{0.0362}{2} = 0.0181$$

- 4) คำนวณค่า  $\rho_1^{*ap}$ , ค่า  $\rho_3^{*ap}$  ของภาพปีพ.ศ.2533 และภาพปีพ.ศ. 2543 ด้วยโมดูล Spatial Moduler ดังรูปที่ 3.14 และรูปที่ 3.15 ผลลัพธ์ที่ได้คือปี พ.ศ. 2533  $\rho_1^{*ap} = 0.0815$ ,  $\rho_3^{*ap} = 0.0397$  และปีพ.ศ. 2543  $\rho_1^{*ap} = 0.0802$ ,  $\rho_3^{*ap} = 0.0406$

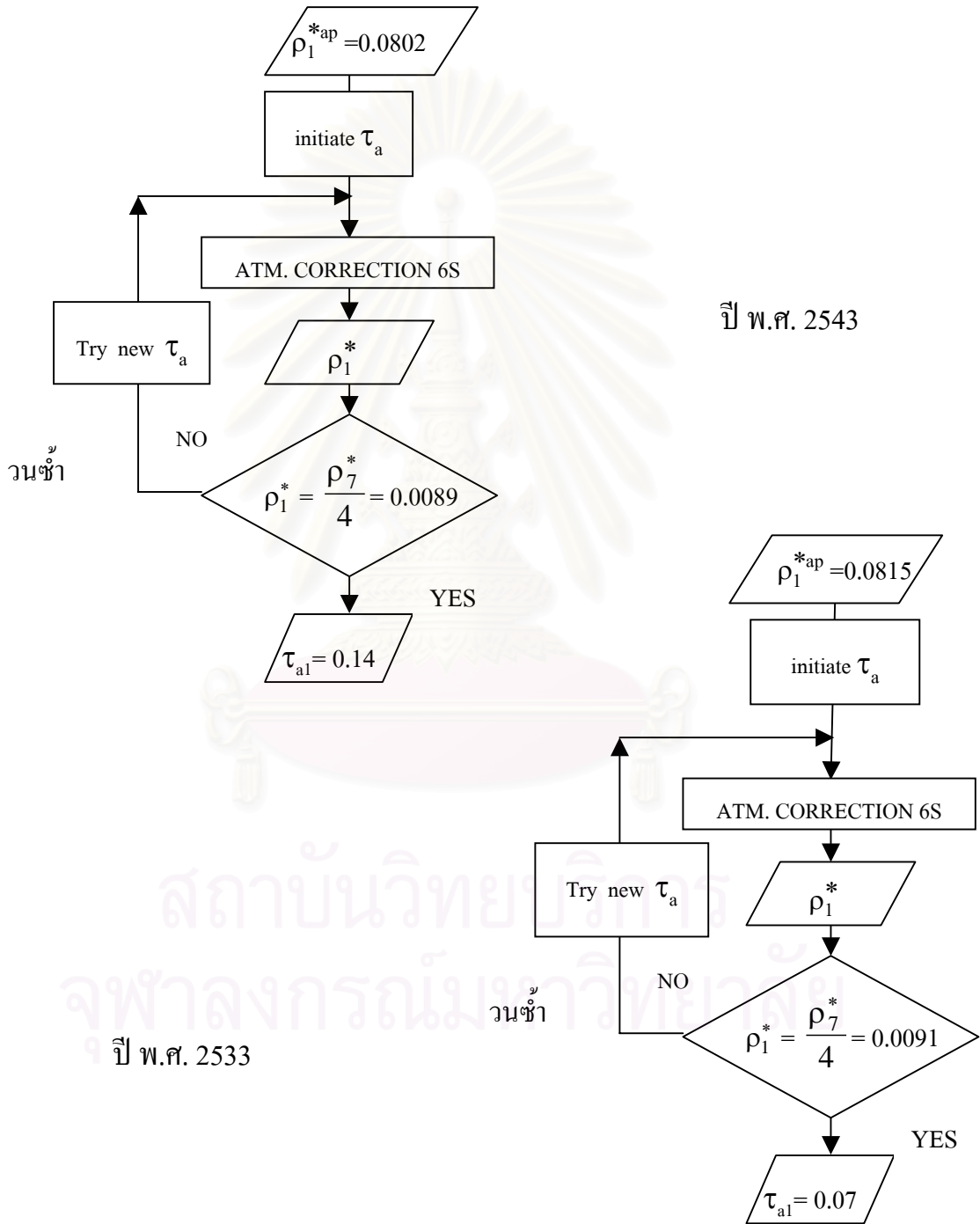


รูปที่ 3.14 Spatial Moduler ที่ใช้ในการหาค่า  $\rho_1^{*ap}$

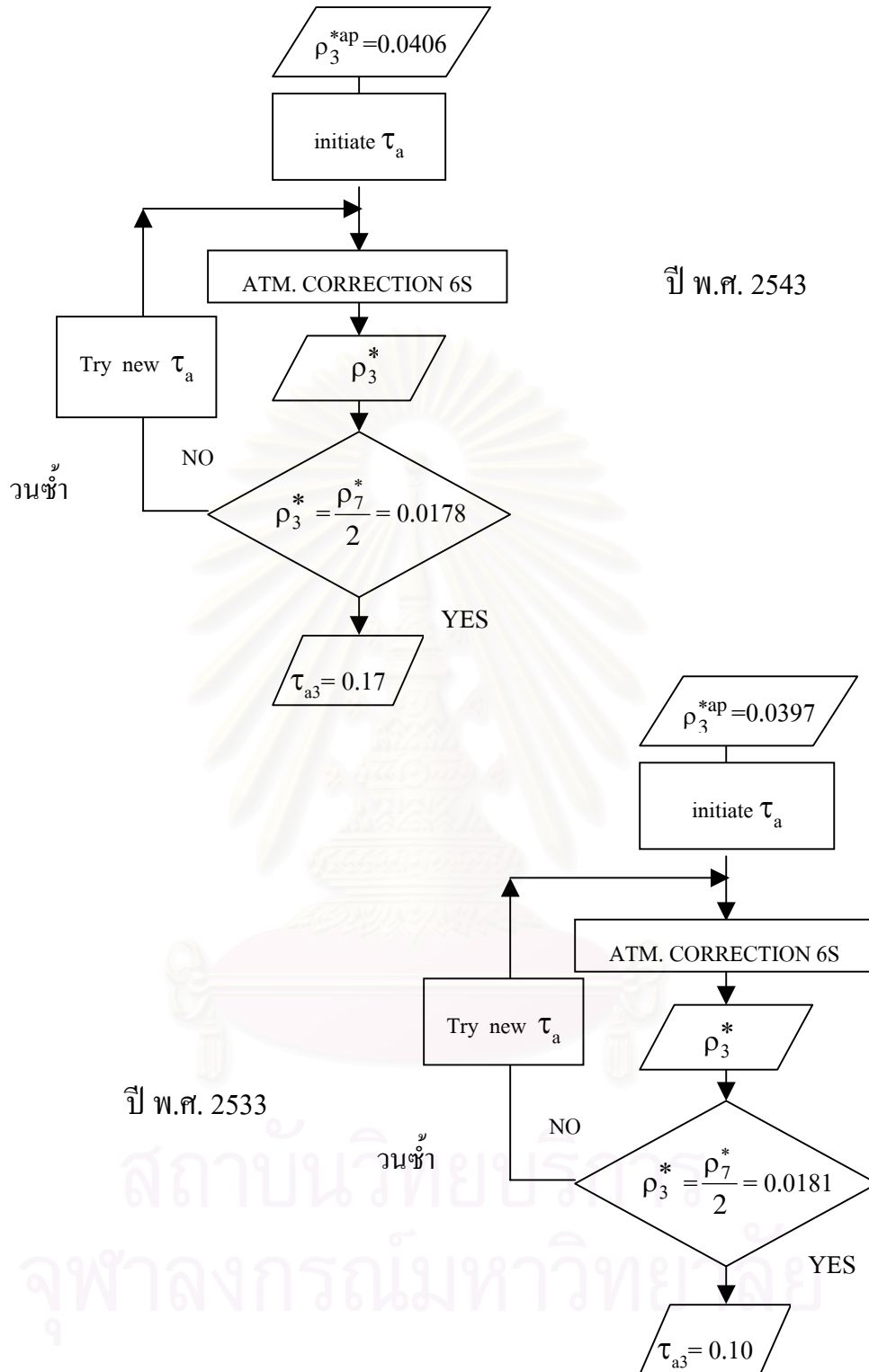


รูปที่ 3.15 Spatial Moduler ที่ใช้ในการหาค่า  $\rho_3^{*ap}$

5) ทำการวนซ้ำค่า  $\tau_a$  ในซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี 6S เพื่อหาค่า  $\tau_{a1}$  ที่ทำให้ค่า  $\rho_1^*$  ที่แปลงจากค่า  $\rho_1^{*ap}$  ใน 6S มีค่าเท่ากับค่า  $\rho_1^*$  ที่ได้จากการประมาณดังรูปที่ 3.16 และหาค่า  $\tau_{a3}$  ที่ทำให้ค่า  $\rho_3^*$  ที่แปลงจากค่า  $\rho_3^{*ap}$  ใน 6S มีค่าเท่ากับค่า  $\rho_1^*$  ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 การหาค่า  $\tau_{a1}$  ปีพ.ศ. 2533 และปีพ.ศ. 2543



รูปที่ 3.17 การหาค่า  $\tau_{a3}$  ปีพ.ศ. 2533 และปีพ.ศ. 2543



6) กำหนดค่า  $\tau_{a2}$  มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยระหว่างค่า  $\tau_{a1}$  กับ  $\tau_{a3}$  และกำหนดให้

$\tau_{a4} = \tau_{a5} = \tau_{a7} = 0$  นั่นคือไม่คิดผลกระทบเนื่องจากละอองลอยในภาพแบนด์ที่ 4, 5 และ 7

ปี	$\tau_{a1}$	$\tau_{a2}$	$\tau_{a3}$	$\tau_{a4}$	$\tau_{a5}$	$\tau_{a7}$
พ.ศ. 2533	0.070	0.085	0.100	0	0	0
พ.ศ. 2543	0.140	0.155	0.170	0	0	0

7) คำนวณค่า  $L_p, T_v, T_z, E_{diff}$  ในแต่ละแบนด์ด้วย 6S โดยใช้ค่า  $\tau_a$  จากข้อ 6) ผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3.9 และตารางที่ 3.10

แบนด์ที่	$L_p$	$T_v$	$T_z$	$E_{diff}$
1	30.788	0.90031	0.84711	221.538
2	15.463	0.90778	0.85620	154.398
3	7.984	0.92630	0.88579	106.287
4	1.690	0.91677	0.89146	8.354
5	0.024	0.90327	0.88032	0.099
7	0.003	0.90792	0.87486	0.012

ตารางที่ 3.9 แสดงค่า  $L_p, T_v, T_z$  และ  $E_{diff}$  จากวิธี DDV ของภาพปีพ.ศ.2533

แบนด์ที่	$L_p$	$T_v$	$T_z$	$E_{diff}$
1	36.538	0.88535	0.85351	300.994
2	19.076	0.89399	0.86330	225.621
3	10.276	0.91342	0.88840	163.582
4	1.899	0.91677	0.90368	8.318
5	0.027	0.90327	0.89129	0.098
7	0.003	0.90792	0.89090	0.012

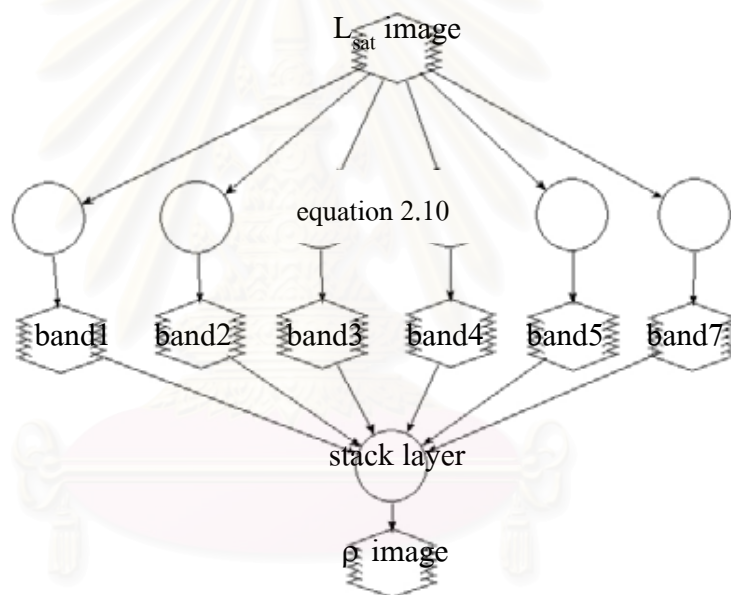
ตารางที่ 3.10 แสดงค่า  $L_p, T_v, T_z$  และ  $E_{diff}$  จากวิธี DDV ของภาพปีพ.ศ. 2543

### 3.3 ขั้นตอนการแปลงภาพค่าการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งเซนเซอร์เป็นภาพค่าการสะท้อน (At-satellite Radiance Image to Reflectance Image Conversion)

เป็นการแปลงภาพค่าการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งเซนเซอร์ปีพ.ศ.2533 และปีพ.ศ.2543 เป็นภาพค่าการสะท้อนโดยใช้ค่า  $L_p$ ,  $T_v$ ,  $T_z$  และ  $E_{diff}$  ของแต่ละวิธีในขั้นตอนที่ 3.2.3 (DOS1 – DOS3 และ DDV) มาแทนค่าลงสมการที่ 2.10

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi * (L_{sat} - L_p)}{T_v * (E_{sun} / D^2 * \cos \theta_z * T_z + E_{diff})}$$

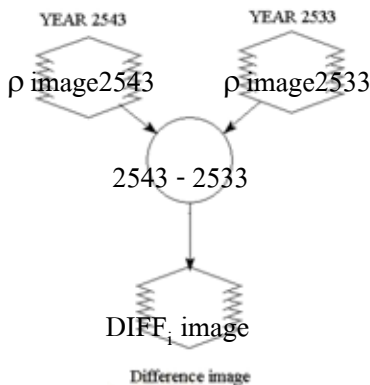
แต้้งนำมาสร้างเป็นโมดูลของ Spatial Moduler ใน ERDAS 8.5 ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 Spatial Moduler แปลงภาพค่าการแผ่รังสี ณ ตำแหน่งเซนเซอร์เป็นภาพค่าการสะท้อน

### 3.4 ขั้นตอนการสร้างภาพผลต่างด้วยวิธีนำช่วงคลื่นมาลบกัน (Image Differencing)

เป็นการนำภาพค่าการสะท้อนปีพ.ศ. 2543 และปีพ.ศ.2533ในหัวข้อที่ 3.3ซึ่งได้จากการปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์ (DOS1-DOS3, DDV) แล้วและภาพที่ไม่ผ่านการปรับแก้เชิงรังสี (RAW) มาลบกันจุดภาพต่อจุดภาพเพื่อสร้างภาพผลต่างโดยการสร้างโมดูลของ Spatial Moduler ใน ERDAS 8.5 ดังรูปที่ 3.19

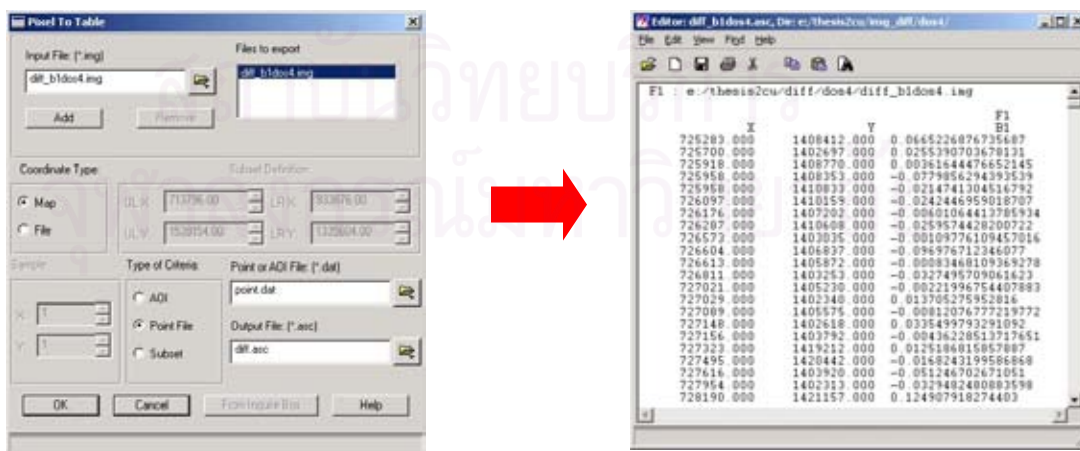


รูปที่ 3.19 Spatial Moduler ที่ใช้ในการสร้างภาพผลต่าง

3.5 ขั้นตอนการจำแนกภาพผลต่างเป็นภาพความเปลี่ยนแปลง (Thresholding)

เป็นการนำภาพผลต่างจากขั้นตอนที่ 3.4 มาจำแนกให้เป็นภาพความเปลี่ยนแปลงโดยใช้การกำหนดค่า Optimal Threshold ซึ่งเป็นค่า Threshold ที่ทำให้ค่า Overall Accuracy ของการจำแนกมีค่ามากที่สุด ในการศึกษานี้ได้ทำการหาค่า Optimal Threshold ด้วยวิธีการวนซ้ำโดยกำหนดค่า Threshold เป็นช่วงออกจากค่าศูนย์ +/- N เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าจุดภาพของภาพผลต่าง แล้วเริ่มต้นค่า N ตั้งแต่ 0.2 แล้วทำการวนซ้ำเพิ่มค่า N ครั้งละ 0.1 แล้วทำการจำแนกค่าจุดภาพของภาพผลต่างที่ค่าพิกัดเดียวกับจุดตรวจสอบด้วยค่า Threshold ในแต่ละครั้งของการวนซ้ำและตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกกับค่า Change จากข้อมูลข้อเท็จจริง ซึ่งขั้นตอนการจำแนกภาพผลต่างเป็นภาพความเปลี่ยนแปลงสามารถแบ่งเป็นข้อได้ดังนี้

- 1) หาค่าจุดภาพของภาพผลต่างที่ค่าพิกัดเดียวกับค่าพิกัดของจุดตรวจสอบโดยใช้ฟังก์ชัน Pixel To Table ของ ERDAS 8.5 ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 การหาค่าจุดภาพของภาพผลต่างณ. ตำแหน่งเดียวกับข้อมูลข้อเท็จจริง

2) นำค่าคุณภาพของภาพผลต่างที่ได้จากข้อ 1) มานำเข้าในโปรแกรม Microsoft Excel แล้วนำมารวมกับผลการตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงจากข้อมูลข้อเท็จจริง (เปลี่ยน/ไม่เปลี่ยน) สร้างเป็นตารางค่าผลต่างในแต่ละแบนด์ของจุดตรวจสอบดังตารางที่ 3.11

Ground Truth				Different Image 's Value					
no	E	N	change	B1	B2	B3	B4	B5	B7
1	725283	1408412	y	0.053	0.065	0.096	0.052	-0.022	0.001
2	725700	1402697	n	0.003	-0.003	-0.016	-0.032	-0.029	0.050
3	725918	1408770	y	-0.062	-0.118	-0.172	-0.032	-0.249	-0.083
....	.....	.....	....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
867	849111	1420068	n	-0.004	-0.002	-0.007	-0.019	-0.014	0.012

ตารางที่ 3.11 ตารางแสดงค่าคุณภาพของภาพผลต่างณ ตำแหน่งจุดตรวจสอบ

3) สร้างตารางค่าดัชนีความถูกต้องของการจำแนกที่แต่ละค่า Threshold โดยการสร้างสูตรคำนวณใน EXCEL ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.12 ซึ่งเป็นตารางค่าดัชนีความถูกต้องของการจำแนกที่แต่ละค่า Threshold ของภาพผลต่างแบนด์ที่ 1 เมื่อผ่านการปรับแก้เชิงรังสีแบบ DOS1 มีค่า SD เท่ากับ 0.012

Accuracy indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	476	469	458	442 <sup>a</sup>	423	404	386	370
ny	50	57	68	84 <sup>b</sup>	103	122	140	156
nn	210	238	269	287 <sup>c</sup>	300	311	317	322
yn	131	103	72	54 <sup>d</sup>	41	30	24	19
%producer's accuracy for change	90.49	89.16	87.07	84.03 <sup>e</sup>	80.42	76.81	73.38	70.34
%producer's accuracy for unchange	61.58	69.79	78.89	84.16 <sup>f</sup>	87.98	91.20	92.96	94.43
%user's accuracy for change	78.42	81.99	86.42	89.11 <sup>g</sup>	91.16	93.09	94.15	95.12
%user's accuracy for unchange	80.77	80.68	79.82	77.36 <sup>h</sup>	74.44	71.82	69.37	67.36
%Overall accuracy	79.12	81.55	83.85	84.08 <sup>i</sup>	83.39	82.47	81.08	79.82

ตารางที่ 3.12 ตัวอย่างของตารางค่าดัชนีความถูกต้องที่แต่ละค่า Threshold

ซึ่งพารามิเตอร์ a – i. คือค่าพารามิเตอร์ของเมตริกความผิดพลาด (Error Matrix ) ดังรูปที่ 3.21 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

		<b>Reference Data</b>		
		เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	
<b>Classified Data</b>	เปลี่ยน	ถูก <b>a</b>	ผิด <b>d</b>	(g) User's Accuracy for No change
	ไม่เปลี่ยน	ผิด <b>b</b>	ถูก <b>c</b>	(h) User's Accuracy for Change
		(e) Producer's Accuracy for Change	(f) Producer's Accuracy for No Change	

รูปที่ 3.21 เมตริกความผิดพลาด (Error Matrix )

ในเมตริกความผิดพลาด แนวตั้ง (Column) เป็นข้อมูลอ้างอิงที่ได้จุดตรวจสอบจากงานสนาม ส่วนแนวนอน (Row) เป็นข้อมูลจากผลการจำแนกซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลที่ต้องการตรวจสอบความถูกต้อง สำหรับการตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นการจำแนกเพียง 2 ค่าคือเปลี่ยน และไม่เปลี่ยน จึงมีขนาดเมตริก 2 คูณ 2 ผลรวมตามแนวแกนแนวนอนแต่ละแนวก็คือจำนวนจุดภาพของกลุ่มข้อมูลที่ได้จากการจำแนก ผลรวมตามแนวแกนตั้งแต่ละแนวก็คือจำนวนจุดภาพของกลุ่มข้อมูลอ้างอิงจากจุดตรวจสอบตัวเลขในแนวทแยงของตารางในทิศทางมุมบนซ้ายสุดไปทางมุมล่างขวาสุด คือจำนวนจุดภาพที่จำแนกถูกต้อง ตัวเลขนอกแนวทแยงนี้คือจำนวนจุดภาพที่มีการจำแนกผิดพลาด ซึ่งความผิดพลาดแบ่งได้ 2 ชนิดได้แก่ 1) Commission Error เท่ากับจำนวนจุดภาพที่ควรถูกจำแนกเป็นประเภทอื่นแต่กลับถูกจำแนกเป็นประเภทที่เราสนใจ และ 2) Omission Error เท่ากับจำนวนจุดภาพที่ควรถูกจำแนกเป็นประเภทที่เราสนใจแต่ถูกจำแนกเป็นประเภทอื่น

จากเมตริกความผิดพลาดสามารถคำนวณค่าดัชนีความถูกต้องของการจำแนกได้แก่ ค่าความถูกต้องรวมทั้งหมด (Overall Accuracy) ซึ่งเท่ากับจำนวนจุดภาพที่จำแนกถูกต้องหารด้วยจุดตรวจสอบทั้งหมด, ค่าค่าความถูกต้องแบบผู้ผลิต (Producer's Accuracy) ซึ่งเท่ากับจำนวนจุดภาพที่จำแนกถูกต้องในแนวตั้งหารด้วยผลรวมของจำนวนจุดตรวจสอบในแนวตั้งนั้น และค่าความถูก

ต้องแบบผู้ใช้ (User's accuracy) ซึ่งเท่ากับจำนวนจุดภาพที่จำแนกถูกต้องในแนวนอนหารด้วยผลรวมของจำนวนจุดตรวจสอบในแนวนอนนั้น

	รายละเอียด	สูตรคำนวณใน Microsoft Excel
a	จำนวนจุดตรวจสอบที่มีค่า change = "y" และมีค่าผลต่างอยู่ในช่วงค่า threshold	$\{=SUM((Change="y") * NOT((B1<=Threshold) * (B1>=-Threshold)))\}$
b	จำนวนจุดตรวจสอบที่มีค่า change = "y" แต่มีค่าผลต่างอยู่นอกช่วงค่า threshold	$\{=SUM((Change="y") * ((B1<=Threshold) * (B1>=-Threshold)))\}$
c	จำนวนจุดตรวจสอบที่มีค่า change = "n" และมีค่าจุดภาพอยู่นอกช่วงค่า threshold	$\{SUM((Change="n") * ((B1<=Threshold) * (B1>= -Threshold)))\}$
d	จำนวนจุดตรวจสอบที่มีค่า change = "n" แต่มีค่าจุดภาพอยู่ในช่วงค่า threshold	$\{=SUM ((change="n") * NOT((B1<=Threshold) * (B1>=-Threshold)))\}$
e	ค่า producer 's accuracy for no change	$a / (a+b) * 100$
f	ค่า producer 's accuracy for change	$c / (c+d) * 100$
g	ค่า user 's accuracy for change	$a / (a+d) * 100$
h	ค่า user 's accuracy for no change	$c / (b+c) * 100$
i	ค่า overall accuracy	$(a+c)/(a+b+c+d) * 100$

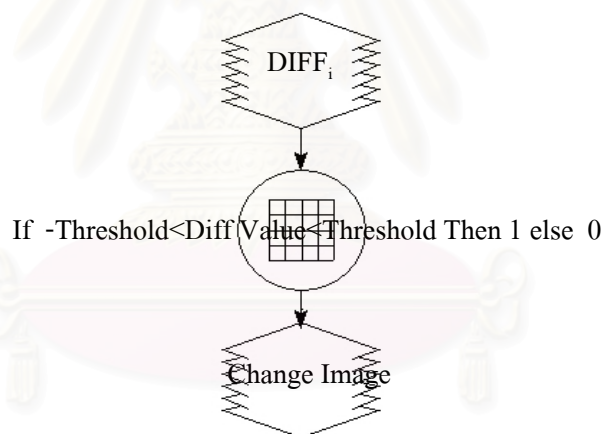
สำหรับตารางค่าดัชนีความถูกต้องที่แต่ละค่า Threshold ของภาพแต่ละแบนด์เมื่อภาพผ่านการปรับแก้รังสีแบบต่างๆ ที่ได้จากขั้นตอนนี้ถูกรวบรวมและแสดงไว้ในภาคผนวก ค.

4) หาค่า Optimal Threshold โดยพิจารณาค่า Threshold ที่ให้ค่า Overall Accuracy ของการจำแนกมากที่สุดจากตารางค่าดัชนีความถูกต้องที่แต่ละค่า Threshold ของภาพแต่ละแบนด์ ซึ่งค่า Optimal Threshold ของแต่ละวิธีที่หาได้ถูกแสดงในตารางที่ 3.13

แบนด์ที่	RAW	DOS1	DOS2	DOS3	DDV
1	13.99	0.010	0.014	0.011	0.014
2	4.72	0.021	0.020	0.013	0.012
3	7.00	0.027	0.030	0.031	0.034
4	18.81	0.034	0.033	0.040	0.037
5	14.55	0.041	0.042	0.053	0.048
7	10.49	0.039	0.029	0.043	0.041

ตารางที่ 3.13 ค่า Optimal Threshold ของภาพผลต่างเมื่อผ่านการปรับแก้รังสีแต่ละวิธี

- 5) ทำการจำแนกภาพผลต่างเป็นภาพความเปลี่ยนแปลงด้วยค่า Optimal Threshold จากข้อ  
4) โดยใช้โมดูลของ Spatial Moduler ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 Spatial Moduler ที่ใช้ในการจำแนกภาพผลต่างเป็นภาพความเปลี่ยนแปลง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงผลการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินเมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีสมบูรณ์ในแต่ละวิธี (DOS1-DOS3 และ DDV) พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับผลการประเมินความถูกต้องเมื่อภาพไม่ผ่านการปรับแก้เชิงรังสีเลย (RAW) และผลการประเมินความถูกต้องเมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีสัมพัทธ์ด้วยวิธีสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression :LR) จากงานศึกษาของ Trisirisatayawong and Samchimchom (2002) เพื่อนำมาพิจารณาเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการเลือกวิธีการปรับแก้เชิงรังสีตามวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้

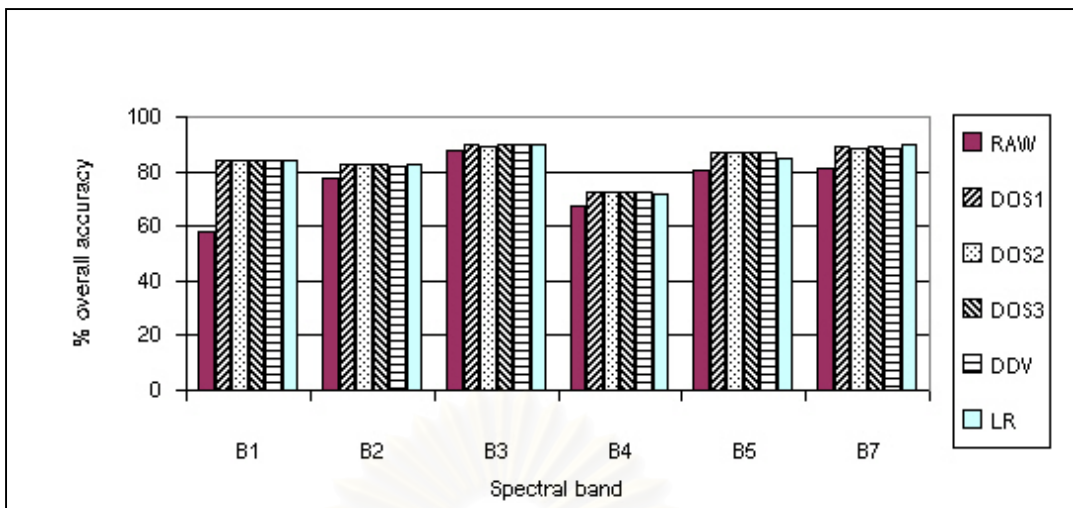
#### 4.1 ผลการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงแบบรวมทั้งหมด

จากตารางค่าดัชนีความถูกต้องของการจำแนกที่แต่ละค่า Threshold เมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีสมบูรณ์ในแต่ละวิธีในหัวข้อที่ 3.6 และ การปรับแก้เชิงรังสีสัมพัทธ์ด้วยวิธี LR จากงานศึกษาของ Trisirisatayawong and Samchimchom (2002) สามารถนำค่า Overall Accuracy ที่ค่า Optimal Threshold มาสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

แบนด์ที่	RAW	DOS1	DOS2	DOS3	DDV	LR
1	57.79	84.08	84.31	84.31	83.97	84.31
2	77.85	82.70	82.33	82.47	81.55	82.81
3	87.89	89.73	89.39	89.50	89.62	89.85
4	67.24	72.43	72.55	72.32	72.32	71.40
5	80.51	86.85	86.97	86.97	86.85	85.01
7	80.85	89.39	89.16	89.16	88.47	89.73

ตารางที่ 4.1 ตารางสรุปค่า Overall Accuracy ที่ค่า Optimal Threshold เมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีแต่ละวิธี





รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบค่า Overall Accuracy เมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีแต่ละวิธี

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 สามารถนำมาสรุปได้ดังต่อไปนี้

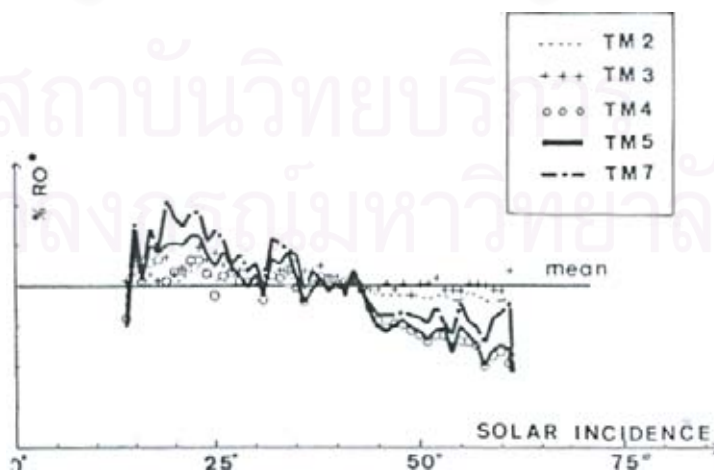
1) ค่า Overall Accuracy เมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีทุกวิธีไม่ว่าจะแบบสัมบูรณ์หรือแบบสัมพัทธ์มีค่ามากกว่าเมื่อภาพไม่ผ่านการปรับแก้เชิงรังสีเลยในทุกๆแบนด์แสดงให้เห็นว่าการปรับแก้เชิงรังสีสามารถเพิ่มความถูกต้องในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน

2) เมื่อยังไม่ผ่านการปรับแก้เชิงรังสีพบว่าภาพแบนด์ที่ 1 จะมีค่า Overall Accuracy ประมาณ 58% เมื่อเปรียบเทียบกับภาพแบนด์ที่ 2 และ 3 ซึ่งมีค่า Overall Accuracy ประมาณ 78% และ 87% ตามลำดับจะเห็นได้ว่ามีค่าต่ำกว่ามาก แสดงให้เห็นว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกับแนวคิดและทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ที่ว่า ผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศที่มีต่อการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นตามมองเห็นส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการกระจัดกระจายในเส้นทางผ่าน โดยปริมาณของการกระจัดกระจายจะเป็นสัดส่วนกลับกับความยาวคลื่นของแต่ละช่วงคลื่น ดังนั้นภาพแบนด์ที่ 1 ที่อยู่ช่วงคลื่นสีน้ำเงินซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นกว่าจึงมีความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงต่ำเพราะถูกผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศมากกว่าภาพแบนด์ที่ 2 และ 3

ดังนั้นเมื่อทำการปรับแก้เชิงรังสีแล้วค่า Overall Accuracy ของภาพแบนด์ที่ 1 จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 25% แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าค่า Overall Accuracy ของภาพแบนด์ที่ 2 และภาพแบนด์ที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 5% และ 2% ตามลำดับเท่านั้น สาเหตุน่าจะเป็นเพราะสภาพชั้นบรรยากาศขณะบันทึกภาพทั้งสองช่วงเวลามีลักษณะโปร่งใสมาก (เมื่อพิจารณาจากค่า DN ของจุดภาพที่เป็นเงามืด) ทำให้การกระจัดกระจายแบบมีซึ่งมีผลกระทบในช่วงคลื่นที่ยาวกว่าเช่นช่วงคลื่นสีเขียวและช่วงคลื่นสีแดงมีไม่มากนักเมื่อเทียบกับผลกระทบจากการกระจัดกระจายแบบเรย์เลในภาพแบนด์ที่ 1

3) การที่ค่า Overall Accuracy ของการตรวจหาด้วยภาพแบนด์ที่ 4 ก่อนและหลังการปรับแก้เชิงรังสีมีค่าต่ำกว่าภาพแบนด์อื่นมากทั้งๆที่พารามิเตอร์ของผลกระทบจากชั้นบรรยากาศมีค่าไม่มากนักจะมีสาเหตุมาจากความสามารถในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงด้วยภาพแต่ละแบนด์มีไม่เท่ากันเนื่องจากสิ่งปกคลุมดินจะมีคุณลักษณะการสะท้อนในแต่ละแบนด์แตกต่างกันทำให้ผลต่างของค่าการสะท้อนจากความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินในแต่ละแบนด์มีค่าไม่เท่ากันด้วย ดังนั้นความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินจากชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิดหนึ่งอาจจะสามารถตรวจหาได้ดีด้วยภาพแบนด์หนึ่งแต่อาจทำได้ไม่ดีด้วยภาพอีกแบนด์หนึ่ง จากเหตุผลข้างต้นแสดงว่าจุดตรวจสอบที่นำมาใช้มีการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินบางชนิดที่ภาพแบนด์ที่ 4 ไม่สามารถตรวจหาความเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะพิจารณาอีกครั้งในการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงแบบแยกชนิดความเปลี่ยนแปลงในหัวข้อที่ 4.2

4) การที่ภาพแบนด์ที่ 4-5 และ 7 ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นอินฟราเรดผ่านการปรับแก้เชิงรังสีแล้วค่า Overall Accuracy มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 5% , 7% และ 8% ตามลำดับถึงแม้ว่าจะมีผลกระทบเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศน้อยกว่าภาพแบนด์ที่ 1-3 มากเมื่อพิจารณาจากขนาดของค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากหัวข้อที่ 3.3 มีสาเหตุมาจากผลกระทบเนื่องจากความแตกต่างของมุมดวงอาทิตย์ระหว่างสองช่วงเวลาซึ่งมีความแตกต่างกันค่อนข้างมากประมาณ 13 องศาเพราะภาพดาวเทียมที่ใช้มีระยะเวลาบันทึกภาพห่างกันประมาณ 2 เดือน (ต้นเดือนพฤศจิกายน - ปลายเดือนธันวาคม) โดยจากงานศึกษาที่ผ่านมาได้แก่งานของ Civco (1989) และงานของ Leprieur (1988) ได้ทำการหาค่าการแผ่รังสีของป่าไม้ที่มีมุมดวงอาทิตย์ขนาดต่างๆจำนวน 200 จุด แล้วนำมาพล็อตกราฟดังรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าเส้นกราฟของค่าการแผ่รังสีในแบนด์ที่ 4-5 และ 7 ห่างจากเส้นกราฟค่าเฉลี่ยมากกว่าเส้นกราฟของแบนด์ที่ 1-3 อย่างชัดเจน



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแผ่รังสีของป่าไม้ในแต่ละแบนด์กับมุมดวงอาทิตย์

ที่มา: Leprieur (1988)

แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของมุมมองอาทิตย์มีผลกับต่อค่าการแผ่รังสีในแบนด์ที่ 4, 5 และ 7 มากกว่าแบนด์ที่ 1-3 โดยมีลักษณะแปรผันตามความยาวคลื่นของแต่ละแบนด์

5) จากผลการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงเมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีด้วยวิธี DOS แต่ละวิธีพบว่าค่า Overall Accuracy ที่ใกล้เคียงกันจึงสรุปได้ว่า ถึงแม้ว่าจากงานศึกษาที่ผ่านมา (Moran, 1992) จะแสดงให้เห็นว่าวิธี DOS2 และ DOS3 ซึ่งเป็นวิธี DOS ที่มีความซับซ้อนกว่าเนื่องจากมีการเพิ่มเติมค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากแบบจำลองชั้นบรรยากาศในซอฟต์แวร์การถ่ายภาพรังสี 6S เข้าไปด้วยจะสามารถประมาณค่าการสะท้อนได้ถูกต้องกว่าวิธี DOS1 แต่สำหรับการนำมาประยุกต์ใช้เป็นกระบวนการเตรียมภาพก่อนการตรวจหาความเปลี่ยนแปลง วิธี DOS1 ก็สามารถให้ความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงในระดับเดียวกับวิธี DOS2 และ DOS3 สาเหตุเนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

- จากงานศึกษาของ Chavez (1996) ซึ่งทำการประเมินความถูกต้องของค่าการสะท้อนที่หาจากวิธี DOS แต่ละวิธีกับค่าการสะท้อนที่วัดด้วยเซนเซอร์ในระดับพื้นดินพบว่าในแบนด์ที่ 1-3 ค่าการกระจายในเส้นทางผ่านเป็นผลกระทบจากชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อสิ่งปกคลุมดินที่ค่าการสะท้อนต่ำเช่นพืชมากกว่าการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการส่งผ่าน ทำให้วิธี DOS1 ซึ่งปรับแก้แต่ค่าการกระจายในเส้นทางผ่านอย่างเดียวสามารถประมาณค่าการสะท้อนที่มีความถูกต้องสูงในระดับเดียวกับวิธี DOS2 และ DOS3 ดังนั้น ผลต่างของค่าการสะท้อนระหว่างสองช่วงเวลาเมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีด้วยวิธี DOS ไม่ว่าจะวิธีใดในกรณีที่การเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินเป็นการเปลี่ยนแปลงจากพืชชนิดหนึ่งไปพืชชนิดหนึ่งจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ทำให้เมื่อทำการ thresholding แล้วค่าผลต่างจะถูกจำแนกให้มีค่าความเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกัน

- ในกรณีที่ความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินเป็นการเปลี่ยนแปลงจากสิ่งปกคลุมดินที่มีค่าการสะท้อนต่ำไปเป็นสิ่งปกคลุมดินที่มีค่าการสะท้อนสูงเช่น จากบริเวณที่มีพืชปกคลุมหนาแน่นไปเป็นสิ่งปลูกสร้างในช่วงคลื่นตามองเห็นซึ่งมีผลต่างของค่าการสะท้อนระหว่างสองช่วงเวลาที่มีค่าสูงกว่าค่า Threshold ที่ใช้ในการจำแนกมาก ดังนั้นถึงแม้ว่าวิธี DOS1 จะประมาณค่าการสะท้อนของสิ่งปกคลุมดินที่ค่าการสะท้อนสูงได้ไม่ถูกต้องนักคือจะให้ค่าที่น้อยกว่าที่ควรเป็น (Under Estimation) เมื่อเทียบกับวิธี DOS2 และ DOS3 (Chavez, 1996) มีผลทำให้ค่าผลต่างเมื่อภาพผ่านการปรับแก้แบบ DOS1 มีค่าที่น้อยกว่าเมื่อภาพผ่านการปรับแก้แบบวิธี DOS2 และ DOS3 แต่ผลต่างเมื่อภาพผ่านการปรับแก้แบบ DOS1 ก็ยังคงมีค่ามากกว่าค่า Threshold ที่ใช้ในการจำแนกอยู่จึงทำให้ค่าความเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นเปลี่ยนเช่นเดิม

#### 4.2 ผลการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลง

ในหัวข้อนี้เป็นการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลงทั้งก่อนและหลังการปรับแก้ภาพเชิงรังสีเพื่อพิจารณาผลกระทบของการปรับแก้ภาพเชิงรังสีที่มีต่อความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงแต่ละชนิดรวมถึงข้อสรุปในการเลือกแบนด์ของภาพให้มีความเหมาะสมกับชนิดของการเปลี่ยนแปลง

จุดตรวจสอบที่ใช้ในการประเมินความถูกต้องมีชนิดของความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุม 12 ชนิด มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

รายการที่	ชนิดของสิ่งปกคลุมดิน ปีพ.ศ. 2533	ชนิดของสิ่งปกคลุมดิน ปีพ.ศ. 2543	จำนวน
0	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง		344
1	พื้นที่มีพืชปกคลุม	ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	83
2	พื้นดินว่างเปล่า	สวนผลไม้	53
3	พื้นดินว่างเปล่า	สวนยางพารา	88
4	พื้นดินว่างเปล่า	ไร่มันสำปะหลัง	74
5	ไร่มันสำปะหลัง	สวนยางพารา	26
6	สวนผลไม้	ไร่มันสำปะหลัง	36
7	สวนผลไม้	สวนยางพารา	26
8	นาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว	สวนผลไม้	17
9	นาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว	ไร่มันสำปะหลัง	17
10	นาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว	นาข้าวระยะเจริญเติบโต	61
11	พื้นที่มีพืชปกคลุม	แหล่งน้ำ	25
12	นาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว	นาทุ่งที่มีน้ำขัง	17

ตารางที่ 4.2 ชนิดของความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินปีพ.ศ. 2533-2543

โดยผลการจำแนกและเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงในแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลงเมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.3-4.7

ชนิดความเปลี่ยนแปลง	band 1			band 2			band 3			band 4			band 5			band 7		
	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%
พื้นที่มีพืชปกคลุม->ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	82	1	99	80	3	96	81	2	98	50	33	60	68	15	82	74	9	88
พื้นดินว่างเปล่า->สวนผลไม้	51	2	96	48	5	91	51	2	96	31	22	58	52	1	98	52	1	98
พื้นดินว่างเปล่า->สวนยางพารา	83	5	94	82	6	93	86	2	98	42	46	48	83	5	94	81	7	92
พื้นดินว่างเปล่า->ไร่มันสำปะหลัง	68	6	92	65	9	88	72	2	97	37	37	50	70	4	95	71	3	96
ไร่มันสำปะหลัง->สวนยางพารา	21	5	81	23	3	88	25	1	96	22	4	85	20	6	77	17	9	73
สวนผลไม้->ไร่มันสำปะหลัง	27	9	75	26	10	72	34	2	94	28	8	78	28	8	78	28	8	78
สวนผลไม้->สวนยางพารา	15	11	58	11	15	42	19	7	73	23	3	88	17	9	65	16	10	62
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->สวนผลไม้	14	3	82	9	8	53	16	1	94	17	0	100	17	0	100	17	0	100
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->ไร่มันสำปะหลัง	13	4	82	9	8	53	16	1	94	17	0	100	15	2	88	15	2	88
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->ระยะเจริญเติบโต	41	20	67	25	36	41	51	10	84	55	6	90	60	1	98	61	0	100
พื้นที่มีพืชปกคลุม->แหล่งน้ำ	12	13	52	14	11	56	10	15	40	25	0	100	25	0	100	23	2	92
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->นาทุ่งมีน้ำขัง	15	2	88	13	4	76	17	0	100	17	0	100	17	0	100	17	0	100

ตารางที่ 4.3 ตารางความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงเมื่อภาพแต่ละแบนด์ผ่านการปรับแก้เชิงรังสีด้วยวิธี DOS1

ชนิดความเปลี่ยนแปลง	band 1			band 2			band 3			band 4			band 5			band 7		
	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%
พื้นที่มีพืชปกคลุม->ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	81	2	98	82	1	99	81	2	98	51	32	61	67	16	81	75	8	90
พื้นดินว่างเปล่า->สวนผลไม้	51	2	96	48	5	91	51	2	96	31	22	58	52	1	98	52	1	98
พื้นดินว่างเปล่า->สวนยางพารา	83	5	94	81	7	92	86	2	98	44	44	50	84	4	95	80	8	91
พื้นดินว่างเปล่า->ไร่มันสำปะหลัง	68	4	92	66	8	89	72	2	97	38	36	51	70	4	95	71	3	96
ไร่มันสำปะหลัง->สวนยางพารา	21	5	81	23	3	88	25	1	96	22	4	85	20	6	77	18	8	69
สวนผลไม้->สวนยางพารา	15	11	58	11	15	42	19	7	73	24	2	92	17	9	65	16	10	62
สวนผลไม้->ไร่มันสำปะหลัง	27	9	75	26	10	72	34	2	94	29	7	81	28	8	78	28	8	78
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->สวนผลไม้	14	3	82	9	8	53	16	1	94	17	0	100	17	0	100	17	0	100
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->ไร่มันสำปะหลัง	13	4	76	9	8	53	16	1	94	17	0	100	15	2	88	15	2	88
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->ระยะเจริญเติบโต	40	21	64	25	36	41	51	10	84	56	5	92	60	1	98	61	0	100
พื้นที่มีพืชปกคลุม->แหล่งน้ำ	12	13	48	15	10	60	9	16	40	25	0	100	25	0	100	25	0	100
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->นาทุ่งที่มีน้ำขัง	15	2	88	13	4	76	17	0	100	17	0	100	17	0	100	17	0	100

ตารางที่ 4.4 ตารางความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงเมื่อภาพแต่ละแบนด์ผ่านการปรับแก้เชิงรังสีด้วยวิธี DOS2

ชนิดความเปลี่ยนแปลง	band 1			band 2			band 3			band 4			band 5			band 7		
	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%
พื้นที่มีพืชปกคลุม->ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	82	1	99	82	1	99	81	2	98	50	32	60	67	16	81	75	8	90
พื้นดินว่างเปล่า->สวนผลไม้	51	2	96	48	5	91	51	2	96	31	22	58	52	1	98	52	1	98
พื้นดินว่างเปล่า->สวนยางพารา	83	5	94	81	7	92	86	2	98	43	45	49	84	4	95	81	7	92
พื้นดินว่างเปล่า->ไร่มันสำปะหลัง	68	6	92	66	8	89	72	2	97	36	38	49	70	4	95	71	3	96
ไร่มันสำปะหลัง->สวนยางพารา	21	5	81	23	3	88	25	1	96	22	4	85	20	6	77	17	9	65
สวนผลไม้->สวนยางพารา	15	11	58	14	12	54	19	7	73	24	2	92	17	9	65	16	10	62
สวนผลไม้->ไร่มันสำปะหลัง	26	10	72	25	11	69	34	2	94	29	7	81	28	8	78	28	8	78
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->สวนผลไม้	14	3	82	9	8	53	16	1	94	17	0	100	17	0	100	17	0	100
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->ไร่มันสำปะหลัง	13	4	76	9	8	53	16	1	94	17	0	100	15	2	88	15	2	88
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->ระยะเจริญเติบโต	38	23	62	27	34	44	51	10	84	56	4	92	60	1	98	60	1	98
พื้นที่มีพืชปกคลุม->แหล่งน้ำ	12	13	48	15	10	60	9	16	36	25	0	100	25	0	100	25	0	100
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->นาทุ่งที่มีน้ำขัง	15	2	88	13	4	76	17	0	100	17	0	100	17	0	100	17	0	100

ตารางที่ 4.5 ตารางความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงเมื่อภาพแต่ละแบนด์ผ่านการปรับแก้เชิงรังสีด้วยวิธี DOS3

ชนิดความเปลี่ยนแปลง	band 1			band 2			band 3			band 4			band 5			band 7		
	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%
พื้นที่มีพืชปกคลุม->ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	81	1	98	82	1	99	78	5	94	51	32	61	68	15	82	75	8	90
พื้นดินว่างเปล่า->สวนผลไม้	51	2	96	48	3	91	51	2	96	32	21	60	52	1	98	52	1	98
พื้นดินว่างเปล่า->สวนยางพารา	83	5	94	81	7	92	86	2	98	44	44	50	83	5	94	80	8	91
พื้นดินว่างเปล่า->ไร่มันสำปะหลัง	68	6	92	66	8	89	72	2	97	37	37	50	70	4	95	71	3	96
ไร่มันสำปะหลัง->สวนยางพารา	21	5	81	23	3	88	23	3	88	22	4	85	20	6	77	18	8	69
สวนผลไม้->ไร่มันสำปะหลัง	27	9	75	28	8	78	34	2	94	29	7	81	28	8	78	28	8	78
สวนผลไม้->สวนยางพารา	15	11	58	14	12	54	18	8	69	24	2	92	17	9	65	16	10	62
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->สวนผลไม้	15	2	88	11	6	65	16	1	94	17	0	100	17	0	100	17	0	100
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->ไร่มันสำปะหลัง	14	3	82	9	8	53	16	1	94	17	0	100	15	2	88	15	2	88
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->ระยะเจริญเติบโต	41	20	67	28	33	46	51	10	84	56	5	92	60	1	98	60	1	98
พื้นที่มีพืชปกคลุม->แหล่งน้ำ	13	12	52	16	9	64	9	16	36	25	0	100	25	0	100	25	0	100
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->นาทุ่งที่มีน้ำขัง	15	2	88	13	4	76	17	0	100	17	0	100	17	0	100	17	0	100

ตารางที่ 4.6 ตารางความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงเมื่อภาพแต่ละแบนด์ผ่านการปรับแก้เชิงรังสีด้วยวิธี DDV

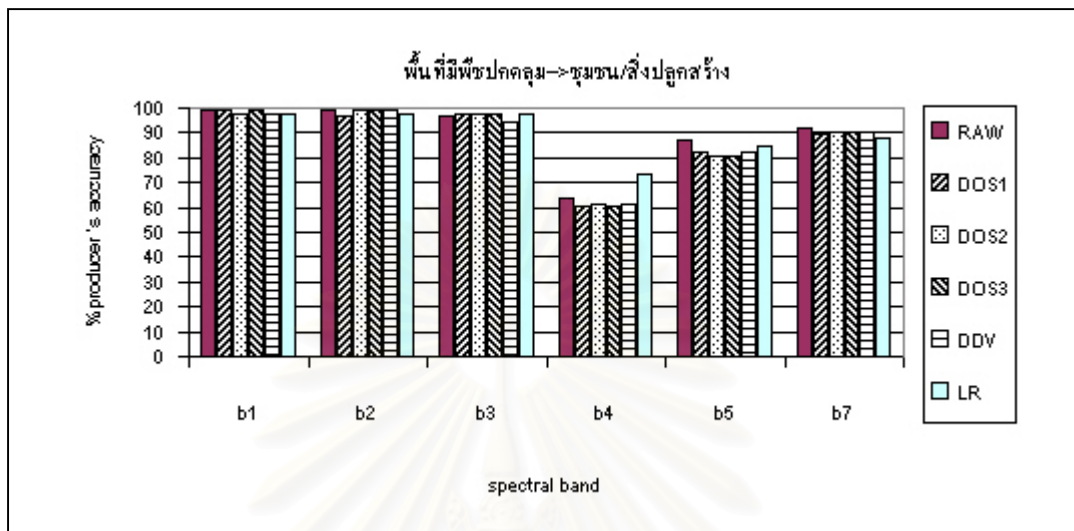


ชนิดความเปลี่ยนแปลง	band 1			band 2			band 3			band 4			band 5			Band 7		
	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%	y	n	%
พื้นที่มีพืชปกคลุม->ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	82	1	99	82	1	99	80	3	96	53	30	64	72	11	87	76	7	92
พื้นดินว่างเปล่า->สวนผลไม้	25	28	47	44	9	83	49	14	92	27	26	51	47	6	89	47	6	89
พื้นดินว่างเปล่า->สวนยางพารา	38	50	43	81	7	92	85	3	97	26	62	30	78	10	89	75	13	85
พื้นดินว่างเปล่า->ไร่มันสำปะหลัง	36	38	49	64	10	86	70	4	95	32	4	43	70	7	95	65	12	88
ไร่มันสำปะหลัง->สวนยางพารา	1	25	4	19	7	73	24	2	92	18	8	69	17	9	65	12	14	46
สวนผลไม้->ไร่มันสำปะหลัง	2	34	6	20	18	56	32	4	89	22	14	61	23	13	64	20	16	56
สวนผลไม้->สวนยางพารา	1	25	4	12	14	46	19	7	73	20	6	77	14	12	54	13	13	50
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->สวนผลไม้	0	17	0	7	10	41	16	1	94	17	0	100	16	1	94	16	1	94
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->ไร่มันสำปะหลัง	0	17	0	5	12	29	15	2	88	17	0	100	11	6	65	12	5	71
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->ระยะเจริญเติบโต	1	60	2	22	40	36	48	13	79	55	6	90	55	6	90	51	10	84
พื้นที่มีพืชปกคลุม->แหล่งน้ำ	4	21	16	11	14	44	12	13	48	25	0	100	25	0	100	19	6	76
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->นาทุ่งที่มีน้ำขัง	0	17	0	12	5	71	16	1	94	17	0	100	17	0	100	17	0	100

ตารางที่ 4.7 ตารางความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงเมื่อภาพแต่ละแบนด์ไม่ผ่านการปรับแก้เชิงรังสี (RAW)

จากตารางที่ 4.3-4.7 สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

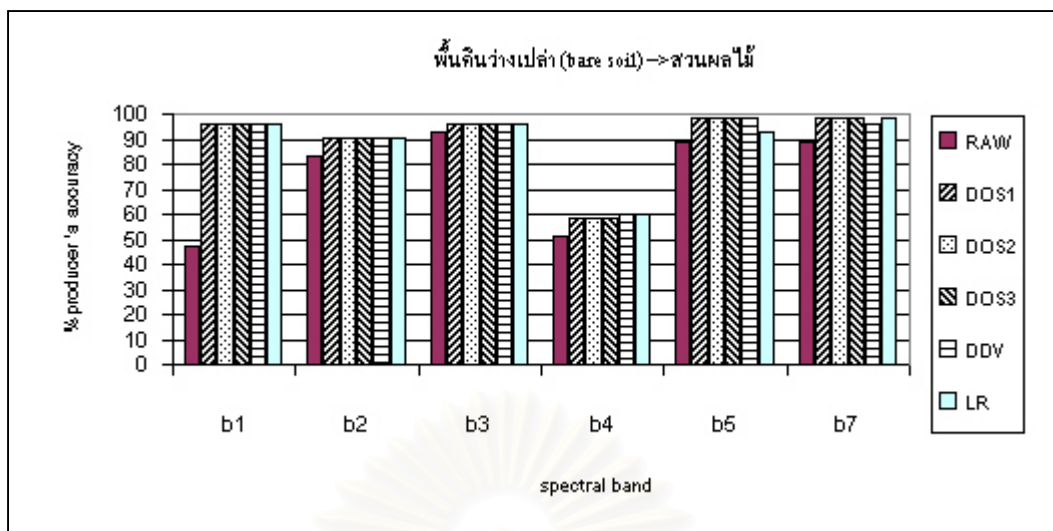
1) ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ที่มีพืชปกคลุม เป็นชุมชน/สิ่งปลูกสร้างมีรายละเอียดดังรูปที่ 4.3



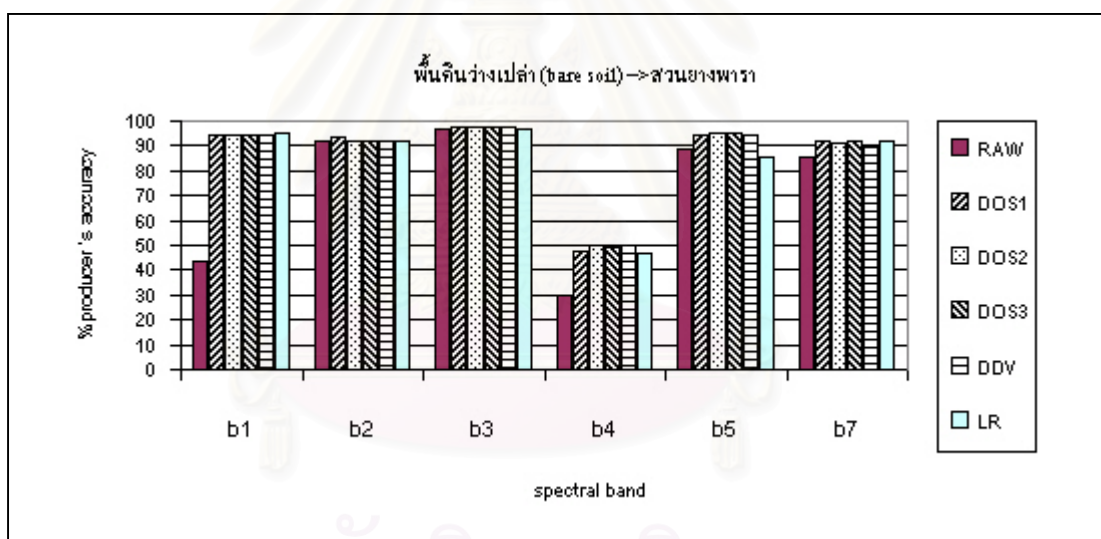
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ที่มีพืชปกคลุม เป็นชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง

จะเห็นได้ว่าเนื่องจากพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมกับชุมชน/สิ่งปลูกสร้างมีค่าการสะท้อนที่ต่างกันมากกว่าความแตกต่างเนื่องจากปัจจัยอื่นมาก ทำให้ถึงจะปรับแก้เชิงรังสีหรือไม่ค่าผลต่างก็ยังมีค่ามากกว่าค่า Threshold ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าภาพจะไม่ผ่านการปรับแก้เชิงรังสีแต่ก็มีความถูกต้องใกล้เคียงกับเมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีในทุกๆแบนด์ และเมื่อพิจารณาความถูกต้องในแต่ละแบนด์พบว่าภาพแบนด์ที่ 1-3 มีความถูกต้องของการตรวจหาสูงมากกว่า 90 % เพราะในช่วงคลื่นตามมองเห็นชุมชน/สิ่งปลูกสร้างจะมีค่าการสะท้อนสูงแต่พืชมีค่าการสะท้อนค่อนข้างต่ำทำให้มีค่าการสะท้อนที่แตกต่างกันมาก แต่ภาพแบนด์ที่ 4 มีความถูกต้องของการตรวจหาต่ำมากเนื่องจากในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ พืชจะมีค่าการสะท้อนสูงเมื่อเทียบกับช่วงคลื่นตามมองเห็นจนทำให้มีค่าการสะท้อนในระดับใกล้เคียงกับชุมชน/สิ่งปลูกสร้างมีผลทำให้ค่าการสะท้อนมีค่าแตกต่างกันไม่มากพอจะตรวจหาความเปลี่ยนแปลง

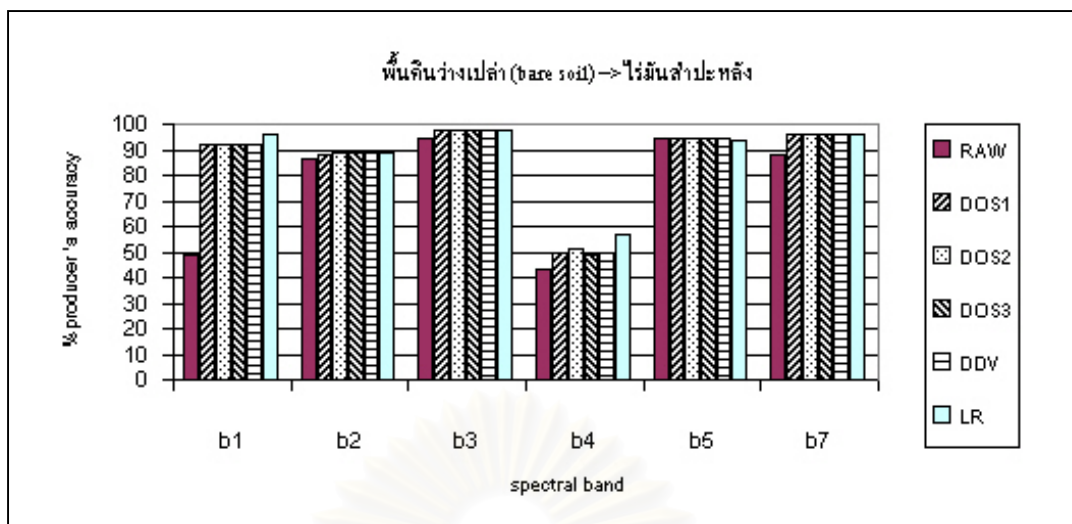
2) เมื่อพิจารณาผลการตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นดินที่ว่างเปล่าเป็นพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมได้แก่สวนยางพารา, สวนผลไม้และไร่มันสำปะหลังจากรูปที่ 4.4-4.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ว่างเปล่าเป็นสวนผลไม้



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ว่างเปล่าเป็นสวนยางพารา



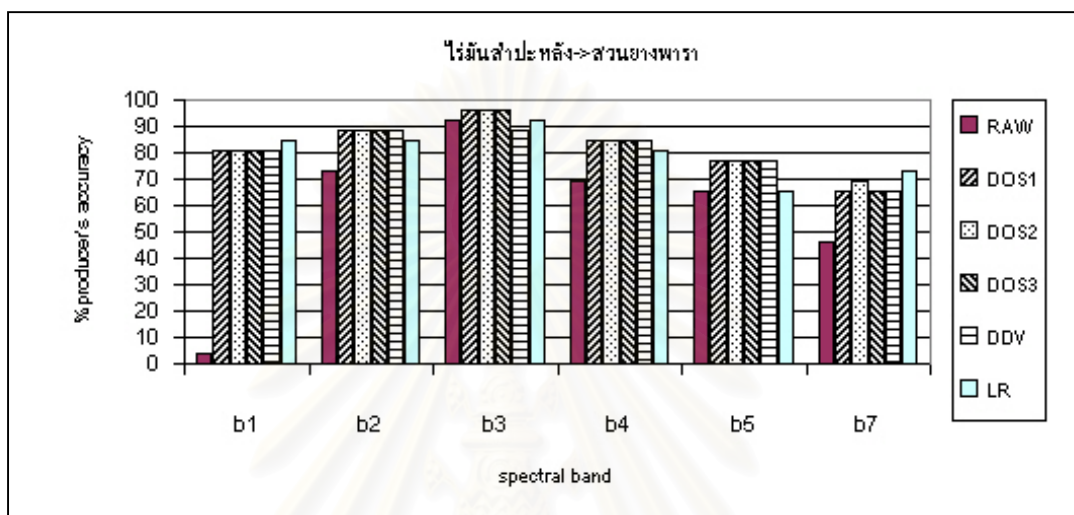
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นดินว่างเปล่าเป็น ไร่มันสำปะหลัง

จะเห็นได้ว่าความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ว่างเปล่าเป็นพื้นที่ที่มีพืชปกคลุม ได้แก่ สวนผลไม้, สวนยางพารา, ไร่มันสำปะหลัง ใกล้เคียงกับความถูกต้องของการตรวจหาจากพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมเป็นชุมชน/สิ่งปลูกสร้างชุมชนเนื่องจากพื้นดินว่างเปล่ามีรูปแบบการสะท้อนของแต่ละแบนด์ที่มีรูปแบบเดียวกับชุมชน/สิ่งปลูกสร้างคือมีค่าการสะท้อนที่สูงกว่าพืชแต่ผลต่างของค่าการสะท้อนระหว่างพื้นดินว่างเปล่ากับพืชไม่ได้มีค่าสูงเท่ากับผลต่างของค่าการสะท้อนระหว่างชุมชน/สิ่งปลูกสร้างกับพืชที่มีค่ามากกว่าความแตกต่างเนื่องจากปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินมากจนเหมือนทำให้การปรับแก้เชิงรังสีไม่มีผลกับความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลง ดังนั้นภาพแบนด์ที่ 1 ก่อนการปรับแก้เชิงรังสีจึงมีความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงต่ำไม่เหมือนกับการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ทำการเกษตรเป็นชุมชน/สิ่งปลูกสร้างและการปรับแก้เชิงรังสีมีผลทำให้ความถูกต้องของการตรวจหาเพิ่มขึ้นในทุกๆแบนด์

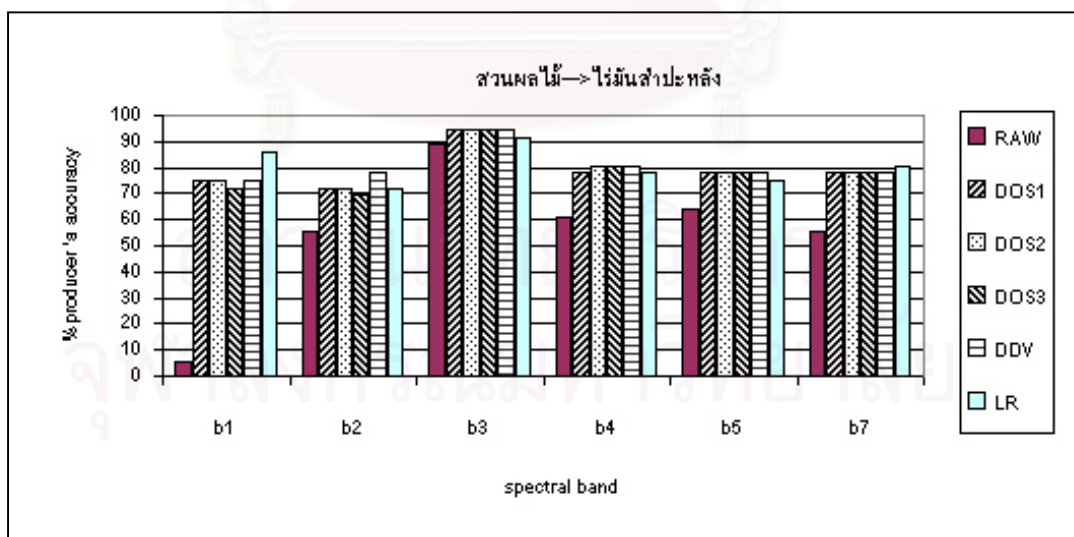
3) เนื่องจากค่าการสะท้อนของพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ความหนาแน่นของการปลูกพืช, ลักษณะทรงพุ่ม, ลักษณะและ โครงสร้างภายในของใบพืช, ปริมาณสารคลอโรฟิลล์ในใบพืช ซึ่งปัจจัยข้างต้นมีความแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด เมื่อพิจารณาผลการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงในแต่ละชนิดของพืชสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- จากผลการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากไร่มันสำปะหลังเป็นสวนยางพาราจากรูปที่ 4.7 และผลการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากสวนผลไม้เป็นไร่มันสำปะหลังจากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเมื่อปรับแก้เชิงรังสีแล้ว

ภาพทุกแบนด์มีความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูงในทุกๆแบนด์ สาเหตุเนื่องจากไร่มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีใบเขียวเล็กแหลมและมีลักษณะทรงพุ่มเตี้ยและไม่หนาแน่น ค่าการสะท้อนของไร่มันสำปะหลังจึงเป็นการปะปนระหว่างดินกับพืช ในขณะที่สวนยางพาราและสวนผลไม้มิมีการสะท้อนส่วนใหญ่เกิดจากใบเพราะลักษณะทรงพุ่มมีความกว้างและหนาแน่นกว่า ทำให้ผลต่างของค่าการสะท้อนมีมากพอที่จะตรวจหาความเปลี่ยนแปลงในทุกๆแบนด์

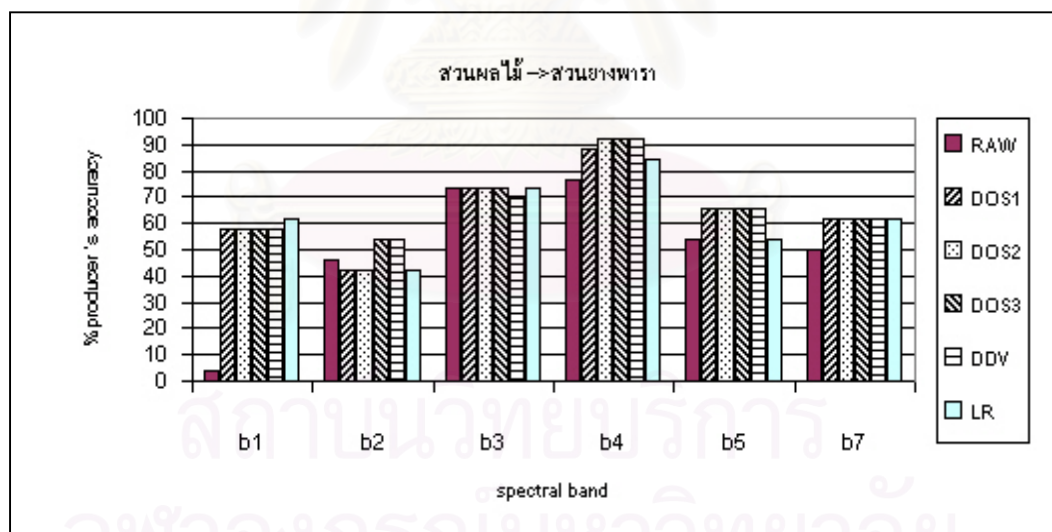


รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากไร่มันสำปะหลังเป็นสวนยางพารา



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากสวนผลไม้เป็นไร่มันสำปะหลัง

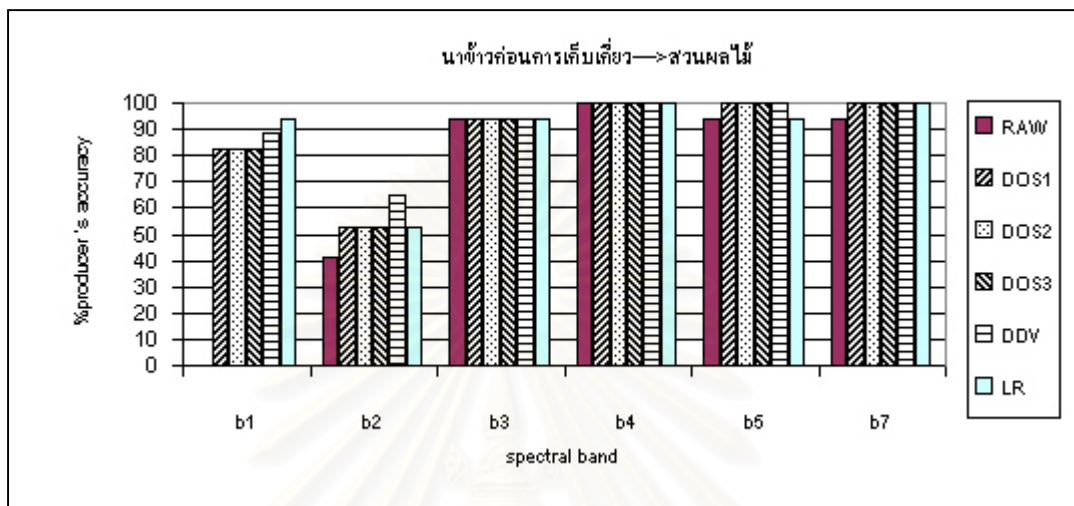
- เมื่อพิจารณาความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากสวนผลไม้เป็นสวนยางพาราจากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าในช่วงคลื่นตามมองเห็นภาพแบนด์ที่ 1-3 มีความถูกต้องของการตรวจหาค่าว่าการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากรั้วมันสำปะหลังเป็นสวนยางพารา เนื่องจากสวนผลไม้มีลักษณะการปลูกความหนาแน่นและมีทรงพุ่มกว้างทำให้ค่าการสะท้อนเป็นการสะท้อนจากใบพืชเช่นเดียวกับสวนยางพาราไม่ได้มีการสะท้อนของดินปะปนเหมือนกับรั้วมันสำปะหลัง ค่าการสะท้อนของสวนผลไม้และสวนยางพาราจึงมีค่าใกล้เคียงกันจึงทำให้ตรวจหาความเปลี่ยนแปลงได้ไม่คืบคั้น เช่นเดียวกับภาพแบนด์ที่ 5 และ 7 ที่มีความถูกต้องของการตรวจหาค่าเพราะความชื้นของสวนผลไม้และสวนยางพาราใกล้เคียงกันกว่ารั้วมันสำปะหลังและสวนผลไม้ แต่เมื่อพิจารณาภาพแบนด์ที่ 4 พบว่าสามารถตรวจหาความเปลี่ยนแปลงด้วยความถูกต้องที่สูงกว่าโดยเฉพาะเมื่อภาพผ่านการปรับแก้เชิงรังสีแล้วจะมีความถูกต้องถึง 90% สาเหตุเนื่องจากในช่วงคลื่นตามมองเห็นพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมจะมีค่าการสะท้อนต่ำกว่าพื้นดินว่างเปล่ามากซึ่งแตกต่างกับในช่วงอินฟราเรดใกล้ที่พืชจะมีค่าการสะท้อนสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับพื้นดินว่างเปล่า ดังนั้นเมื่อผ่านการควอนไทเซชันช่วงอินฟราเรดใกล้ ค่า DN ของพืชจะมีช่วงของค่า DN (Dynamic Range) ที่กว้างกว่าในช่วงคลื่นตามมองเห็นจึงทำให้ภาพแบนด์ที่ 4 สามารถแสดงความแตกต่างกันของชนิดพืชได้มากกว่าภาพแบนด์ที่ 1-3 (Chavez, 1992)



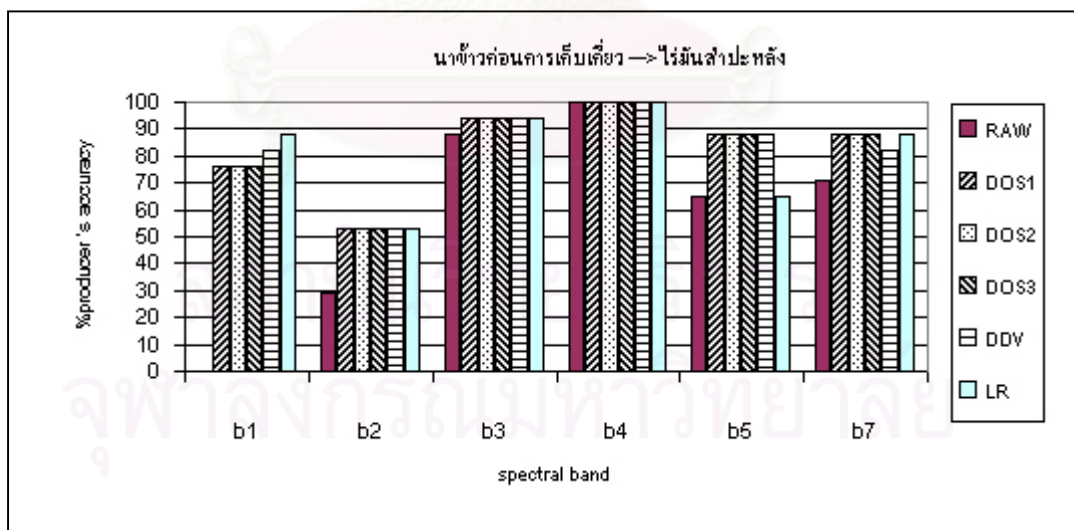
รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากสวนผลไม้เป็นสวนยางพารา

- เมื่อพิจารณาผลการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากนาข้าวเป็นสวนผลไม้จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าเมื่อผ่านการปรับแก้เชิงรังสีภาพแบนด์ที่ 4, 5 และ 7 จะมีความถูกต้อง 100% ในขณะที่ภาพแบนด์ที่ 3 มีความถูกต้องสูงกว่า 90% เนื่องจากสวนผลไม้

และนาข้าวมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันมาก ในขณะที่จากรูปที่ 4.11 พบว่าการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากนาข้าวเป็นไร่มันสำปะหลังมีความถูกต้องสูงในแบนด์ที่ 3 และ 4 เช่นเดียวกับการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากนาข้าวเป็นสวนผลไม้แต่ภาพแบนด์ที่ 5 และ 7 มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องน้อยกว่า

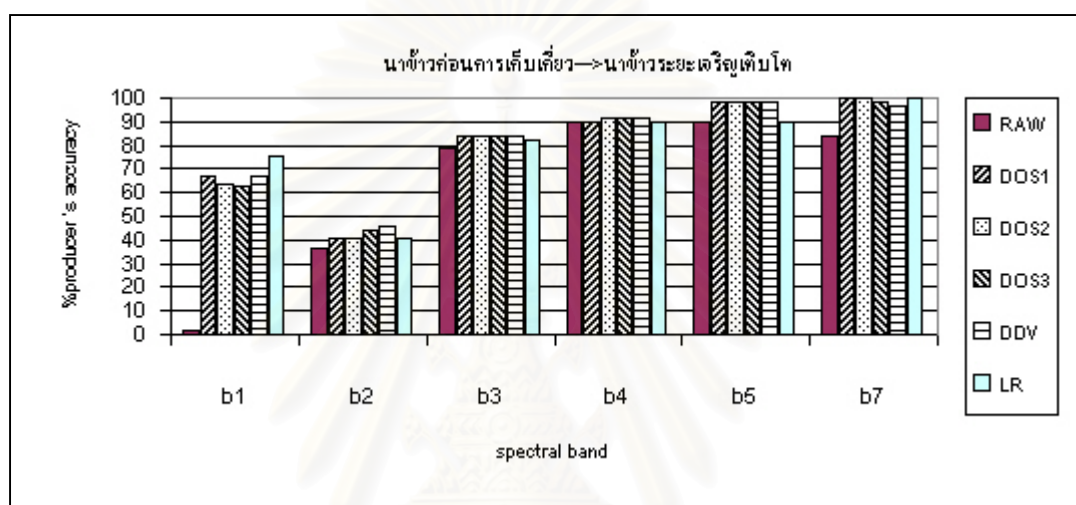


รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากนาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยวเป็นสวนผลไม้



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากนาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยวเป็นไร่มันสำปะหลัง

- จากผลการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากนาข้าว ก่อนการเก็บเกี่ยวเป็นนาข้าวระยะเจริญเติบโตในรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าภาพแบนด์ที่ 5 และ 7 มีความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลง 100% เพราะค่าการสะท้อนมีค่าที่แตกต่างกันมาก สาเหตุมาจากขณะนาข้าวอยู่ในระยะเจริญเติบโตจะมีน้ำท่วมขังทำให้ค่าการสะท้อนมีการปะปนของน้ำด้วยทำให้มีค่าการสะท้อนต่ำเนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติดูดกลืนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรด คลื่นสั้น ส่วนนาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยวมีการไถน้ำออกแล้วค่าการสะท้อนจึงเป็นการปะปนระหว่าง ต้นข้าวกับพื้นดินจึงค่าการสะท้อนที่สูงกว่ามาก



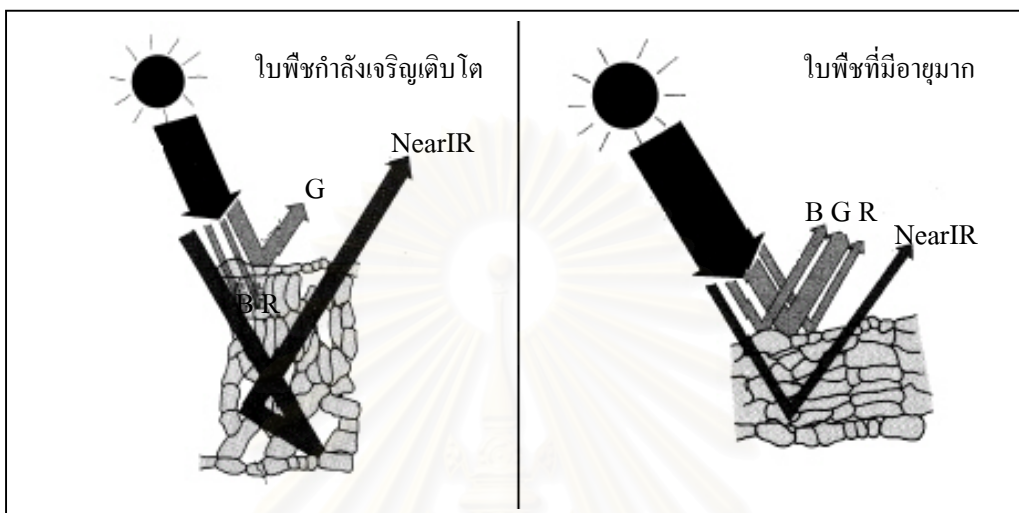
รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากนาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยวเป็นนาข้าวระยะเจริญเติบโต

ในขณะที่ภาพแบนด์ที่ 1 และ 3 มีความสามารถในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงเนื่องจากค่าการสะท้อนของพืชในช่วงคลื่นสีน้ำเงินและสีแดงจะขึ้นอยู่กับการดูดกลืนพลังงานของสารคลอโรฟิลล์ในใบพืช ซึ่งปริมาณการดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนตรงกับปริมาณของสารคลอโรฟิลล์ในใบพืช ดังรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าเมื่อนาข้าวอยู่ในระยะเจริญเติบโต ใบข้าวจะมีปริมาณสารคลอโรฟิลล์มากเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง สารคลอโรฟิลล์จะดูดกลืนพลังงานในช่วงคลื่นสีน้ำเงินและสีแดงทำให้มีค่าการสะท้อนที่ต่ำกว่านาข้าวที่อยู่ในช่วงก่อนการเก็บเกี่ยวที่ไม่มีการดูดกลืนพลังงาน เพราะใบข้าวมีอายุมากจนแทบจะไม่มีสารคลอโรฟิลล์หลงเหลืออยู่ สังเกตได้จากใบที่เริ่มเป็นสีเหลืองและแห้ง

ภาพแบนด์ที่ 4 มีความสามารถในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงเนื่องจากค่าการสะท้อนของพืชในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้จะขึ้นอยู่กับการโครงสร้างภายในของใบพืชได้แก่ผนังเซลล์ (Cell

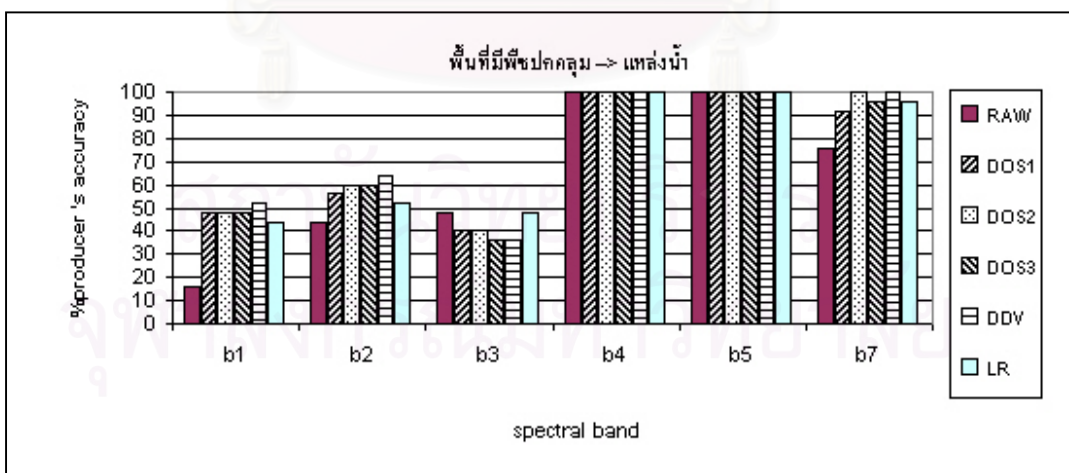


Wall) ซึ่งลักษณะของผนังเซลล์จะแตกต่างกันไปตามอายุของพืช ใบของต้นข้าวที่อยู่ในระยะเจริญเติบโตจะมีผนังเซลล์ที่ขยายตัวเต็มเนื่องจากมีช่องว่างอากาศทำให้มีพื้นที่การสะท้อนมาก ค่าการสะท้อนจึงมีค่าสูงกว่าใบข้าวที่มีอายุมากก่อนการเก็บเกี่ยวที่ผนังเซลล์เริ่มฝักขาคและลิบลงจนพื้นที่การสะท้อนลดลง



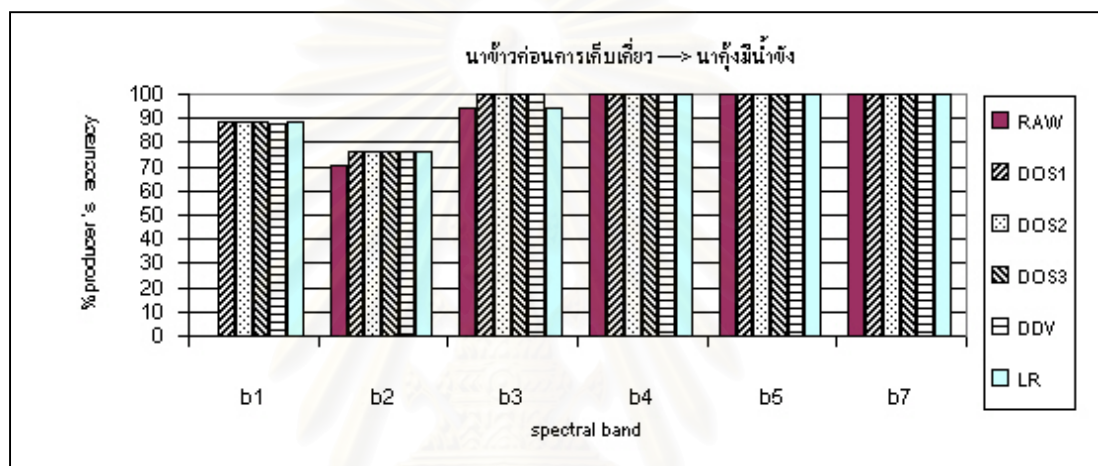
รูปที่ 4.13 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างรังสีในช่วงคลื่นตามมองเห็นและอินฟราเรดใกล้กับใบพืชที่ต่างอายุกัน

4) ผลการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมเป็นแหล่งน้ำมีรายละเอียดดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมเป็นแหล่งน้ำ

จะเห็นได้ว่าภาพแบนด์ที่ 4-5 และ 7 มีความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมเป็นแหล่งน้ำสูงถึง 100% เนื่องจากน้ำจะดูดกลืนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดจนทำให้มีค่าการสะท้อนเกือบเท่ากับศูนย์จึงมีค่าการสะท้อนต่างจากนาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยวมากแตกต่างจากภาพแบนด์ที่ 1-3 ที่มีความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 50% เนื่องจากน้ำและพืชมีค่าการสะท้อนค่อนข้างต่ำใกล้เคียงกันในช่วงคลื่นตามองเห็น ด้วยเหตุผลเดียวกันทำให้ภาพแบนด์ที่ 4-5 และ 7 มีความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากนาข้าวเป็นนาทุ่งสูงถึง 100% ด้วยผังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากนาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยวเป็นนาทุ่งมีน้ำขัง

แต่เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วภาพแบนด์ที่ 1-3 มีความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากนาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยวเป็นนาทุ่งสูงกว่าการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมเป็นแหล่งน้ำเพราะน้ำในนาทุ่งมีความลึกที่ตื้นทำให้มีการดูดกลืนพลังงานน้อยกว่าน้ำในแหล่งน้ำเช่นอ่างเก็บน้ำที่มีความลึกมาก ดังนั้นพื้นดินข้างล่างของนาทุ่งจึงสะท้อนพลังงานปะปนขึ้นมาได้มากกว่าทำให้ค่าการสะท้อนของนาทุ่งมีมากกว่าแหล่งน้ำ ด้วยเหตุนี้ในนาทุ่งจึงมีค่าการสะท้อนต่างจากพืชมากกว่าแหล่งน้ำจึงสามารถตรวจหาความเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่า

5) จากผลการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาในแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลงจะเห็นว่าความเปลี่ยนแปลงแต่ละชนิดไม่สามารถจะตรวจหาได้ดีด้วยภาพทุกแบนด์ การเลือกภาพแบนด์ที่เหมาะสมกับชนิดความเปลี่ยนแปลงที่สนใจจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะต้องพิจารณา ซึ่งจากผลที่ออกมาสามารถสรุปความถูกต้องของการตรวจหาในแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 4.8

ชนิดความเปลี่ยนแปลง	band1	band2	band3	band4	band5	band7
พื้นที่มีพืชปกคลุม->ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	✓	✓	✓	×	○	✓
พื้นดินว่างเปล่า->สวนผลไม้	✓	✓	✓	×	✓	✓
พื้นดินว่างเปล่า->สวนยางพารา	✓	✓	✓	×	✓	✓
พื้นดินว่างเปล่า->ไร่มันสำปะหลัง	✓	✓	✓	×	✓	✓
ไร่มันสำปะหลัง->สวนยางพารา	○	○	✓	○	○	×
สวนผลไม้->ไร่มันสำปะหลัง	○	○	✓	○	○	○
สวนผลไม้->สวนยางพารา	×	×	○	✓	×	×
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->สวนผลไม้	○	×	✓	✓	✓	✓
นาข้าว->ไร่มันสำปะหลัง	○	×	✓	✓	○	○
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->ระยะเจริญเติบโต	×	×	○	✓	✓	✓
นาข้าวก่อนเก็บเกี่ยว->นาทุ่ง	○	○	✓	✓	✓	✓
พื้นที่มีพืชปกคลุม->แหล่งน้ำ	×	×	×	✓	✓	✓

- เมื่อ ✓ แทนความถูกต้องของการตรวจหาในแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลงมากกว่า 90%  
○ แทนความถูกต้องของการตรวจหาในแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลง 70% ถึง 90%  
× แทนความถูกต้องของการตรวจหาในแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลงต่ำกว่า 70%

ตารางที่ 4.8 สรุปความถูกต้องของการตรวจหาในแต่ละชนิดความเปลี่ยนแปลงด้วยภาพแต่ละ  
แบนด์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษา

#### 5.1 ข้อสรุป

ความผิดพลาดของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงด้วยภาพดาวเทียมมาจากสาเหตุ 2 ประการได้แก่ 1) ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากภาพดาวเทียมต่างเวลามีสภาพชั้นบรรยากาศ, มุมของดวงอาทิตย์ และค่าพารามิเตอร์การวัดสอบของเซนเซอร์ที่แตกต่างกันและ 2) แบนด์ของภาพที่เลือกใช้ไม่มีความสามารถที่จะจำแนกชนิดสิ่งปกคลุมดินที่เปลี่ยนไปออกจากกัน สาเหตุแรกสามารถแก้ไขด้วยการปรับแก้เชิงรังสี ส่วนสาเหตุที่สองแก้ไขได้ด้วยการเลือกแบนด์ของภาพให้เหมาะสมกับชนิดความเปลี่ยนแปลงที่จะตรวจหาความเปลี่ยนแปลง

จากผลการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงแสดงให้เห็นว่าการปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์ทั้งวิธี DOS และ DDV สามารถเพิ่มความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลง และเมื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์แต่ละวิธีพบว่าการใช้ซอฟต์แวร์การถ่ายรังสี 6S ร่วมด้วยไม่มีผลทำให้ความถูกต้องสูงขึ้นกว่าเมื่อไม่ใช้ วิธี DOS แบบง่ายมีความถูกต้องเทียบเท่ากับวิธี DOS และ DDV ที่ใช้ซอฟต์แวร์การถ่ายรังสี 6S เพื่อหาค่าปรับแก้ในรูปทอมตัวคุณเนื่องจากผลกระทบจากการส่งผ่านพลังงานในชั้นบรรยากาศด้วย จึงสรุปได้ว่าวิธี DOS แบบง่ายมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้กระบวนการเตรียมภาพก่อนการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบการปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์กับการปรับแก้เชิงรังสีสัมพัทธ์สามารถสรุปได้เป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

#### 1) ความสามารถในการหาจุดเป้าที่จะต้องใช้ในการปรับแก้

ข้อจำกัดของการปรับแก้เชิงรังสีสัมพัทธ์คือจำเป็นต้องใช้ค่าจุดภาพที่มีค่าการสะท้อนคงที่ระหว่างช่วงเวลามาเป็นจุดเป้าทั้งที่มีค่า DN ทางมากและค่า DN ทางน้อยเพื่อสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นในการปรับแก้ค่า DN ของภาพที่จะปรับแก้ให้มีสภาพอ้างอิงเชิงรังสีเดียวกันกับภาพอ้างอิง จุดภาพที่มีค่า DN ทางน้อยเช่น แหล่งน้ำสามารถหาได้โดยง่ายในพื้นที่ทั่วไป แต่จุดภาพที่มีค่า DN ทางมากเช่น ลานคอนกรีตหรือคาดฟ้าของอาคารที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 จุดภาพอาจหาได้ยากและมีจำนวนไม่มากพอในพื้นที่ที่มีการใช้ที่ดินทำการเกษตรหรือเขตป่าไม้เป็นส่วนใหญ่จนมีผลทำให้สมการที่สร้างมาใช้ในการปรับแก้ภาพมีความผิดพลาดได้ ในขณะที่การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์ด้วยวิธี DDV ซึ่งใช้จุดภาพของพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมหนาแน่นหรือวิธี DOS ซึ่งใช้จุดภาพที่

เป็นเงาที่เกิดจากการบดบังของภูมิประเทศหรือเมฆเป็นจุดเป่าในการหาค่าพารามิเตอร์ของผลกระทบจากชั้นบรรยากาศจะสามารถหาได้ง่ายในพื้นที่ที่มีการใช้ที่ดินทำการเกษตรหรือเขตป่าไม้เป็นส่วนใหญ่ ทำให้การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์มีความเหมาะสมกว่าการปรับแก้เชิงรังสีสัมพัทธ์

แต่ในทางตรงกันข้ามกรณีที่พื้นที่ศึกษาเป็นเขตเมืองเป็นส่วนใหญ่การหาจุดภาพที่เป็นพืชปกคลุมหนาแน่นหรือจุดภาพที่เป็นเงาจากการบดบังของภูมิประเทศเป็นไปได้ยากแต่ลานคอนกรีตหรือแหล่งน้ำสามารถหาได้ง่าย ทำให้การปรับแก้เชิงรังสีสัมพัทธ์มีความเหมาะสมกว่าการปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์

## 2) ความสามารถในการพัฒนาระบบให้เป็นอัตโนมัติ

ถึงแม้ว่าการปรับแก้ภาพเชิงรังสีสัมบูรณ์จะมีขั้นตอนที่มากกว่าการปรับแก้ภาพเชิงรังสีสัมพัทธ์แต่ขั้นตอนทั้งหมดเป็นกระบวนการที่ใช้คอมพิวเตอร์จึงสามารถนำขั้นตอนต่างๆ มาผนวกเข้าด้วยกันเพื่อให้มีลักษณะอัตโนมัติได้ และขั้นตอนการหาจุดเป่าของปรับแก้ภาพเชิงรังสีสัมบูรณ์สามารถพัฒนาเป็นระบบอัตโนมัติได้ง่ายกว่าการปรับแก้ภาพเชิงรังสีสัมพัทธ์ เพราะขั้นตอนการหาจุดเป่าของวิธี DDV สามารถจำแนกจุดภาพที่เป็นพืชปกคลุมหนาแน่นใช้เงื่อนไขของค่า NDVI และค่า  $\rho_7$  ส่วนการหาจุดเป่าของวิธี DOS ก็สามารถทำเป็นอัตโนมัติได้เช่นกันโดยการนำข้อมูล DEM มาผ่านอัลกอริทึมเช่น r.sunmark ในซอฟต์แวร์รหัสเปิด GRASS เพื่อจำแนกจุดภาพที่เป็นเงาซึ่งเกิดจากการบดบังของภูมิประเทศหรืออัลกอริทึมจากงานศึกษาของ Malesse and Jordan (2002) ที่ใช้จำแนกจุดภาพที่เป็นเงาจากเมฆ แตกต่างจากการหาจุดเป่าของการปรับแก้เชิงรังสีสัมพัทธ์ที่ใช้จะต้องเป็นจุดภาพที่มีตำแหน่งเดียวกันระหว่างสองภาพที่เป็นวัตถุที่มีคุณสมบัติคงสภาพการสะท้อนระหว่างเวลาทำให้การหาจุดเป่าจะต้องพิจารณาพร้อมกันทั้งสองภาพ การทำเป็นอัตโนมัติจึงเป็นไปได้ยาก ต้องจำแนกต้องใช้การแปลภาพด้วยสายตาเป็นหลักจึงทำให้ใช้เวลาค่อนข้างมาก

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าผลจากงานศึกษานี้จะสามารถแสดงให้เห็นว่าการปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์สามารถเพิ่มความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงได้ตามวัตถุประสงค์ของงานศึกษา แต่ก็ยังพบว่าข้อเสนอแนะที่น่าสนใจสำหรับที่จะทำการศึกษาต่อไปในอนาคตดังนี้

### ด้านเทคนิค

1) งานศึกษานี้ใช้ภาพต่างเวลาที่ถูกรับที่มาจากดาวเทียม LANDSAT-5 TM เหมือนกันในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลง แต่ปัจจุบันทางหน่วยงาน NASA ได้ให้บริการดาวเทียม LANDSAT-7 ETM+ ขึ้นอีกดวงทำให้การนำภาพดาวเทียม LANDSAT-7 ETM+ กับภาพดาวเทียม LANDSAT-5 TM มาใช้ร่วมกันในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจ

2) งานศึกษานี้ไม่ได้มีการปรับแก้ผลกระทบเนื่องจากการวางตัวของภูมิประเทศที่เป็นภูเขาซึ่งมีความลาดชันสูงที่มีต่อการคำนวณค่าการสะท้อน (Topographic Normalization) เพราะชนิดของความเปลี่ยนแปลงที่นำมาศึกษาส่วนใหญ่จะอยู่ในภูมิประเทศที่เป็นแบบพื้นที่ราบและเมื่อศึกษาเบื้องต้นจากงานที่ผ่านมา (Exstrand, 1996 ; Gu and Gillespie, 1998 ; Riano et al., 2003) พบว่าเทคนิค Topographic Normalization มักจะนิยมทำในกรณีของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของป่าไม้ซึ่งอยู่ในภูมิประเทศที่เป็นภูเขา

3) การปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการโมเสกภาพในกรณีที่การทำงานมีพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ที่ต้องใช้ภาพมากกว่า 1 ภาพติดกัน

4) ภาพค่าการสะท้อนที่ได้จากการปรับแก้เชิงรังสีสัมบูรณ์สามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นนอกจากการนำมาตรวจหาความเปลี่ยนแปลงเช่น การประมาณค่าการสะท้อนของสิ่งปกคลุมดินได้น้ำเช่น ประการัง ด้วยเทคนิคการปรับแก้มวลน้ำ (Water Column Correction Techniques) ซึ่งมีขั้นตอนการปรับแก้ผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศอยู่ด้วย (Maritorena, 1996)

5) ปัจจุบันภาพดาวเทียมความละเอียดสูงมีความแพร่หลายขึ้น ดังนั้นการนำภาพดาวเทียมความละเอียดสูงมาใช้ตรวจหาความเปลี่ยนแปลงในระดับอาคารและถนนจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและจำเป็นในการปรับปรุงแผนที่มาตราส่วนใหญ่ให้เป็นปัจจุบัน (Spitzer et al., 2001)

ด้านการนำการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงด้วยภาพดาวเทียมไปประยุกต์ใช้งาน

นอกจากการนำภาพดาวเทียม LANDSAT-5 TM มาตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินดังเช่นงานศึกษานี้แล้ว ภาพดาวเทียม LANDSAT-5 TM ยังสามารถนำไปประยุกต์กับงานอื่นๆ ได้อีกหลายด้าน ถึงแม้ว่าภาพดาวเทียม LANDSAT-5 TM จะมีความละเอียดของจุดภาพ 30 เมตรซึ่งจัดอยู่ในระดับปานกลางเท่านั้นเมื่อเทียบกับภาพดาวเทียมความละเอียดสูงเช่น ภาพดาวเทียม IKONOS ที่มีความละเอียดของจุดภาพเพียง 1 เมตร แต่ภาพดาวเทียม LANDSAT-5 TM (ประมาณ 1936 บาท/ตร.กม.) ก็มีราคาที่ถูกกว่าภาพดาวเทียม IKONOS มาก (ประมาณ 1.3 บาท/ตร.กม.) ดังนั้นจึงเหมาะสมกับการนำมาตรวจหาความเปลี่ยนแปลงในระดับเบื้องต้นก่อนที่จะศึกษาอย่างละเอียดอีกครั้งในงานที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่และเข้าถึงได้ยาก เช่น การติดตามความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่นอกเขตชายแดนของประเทศหรือการติดตามความเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรชายฝั่งทะเลซึ่งมีลักษณะเป็นแนวยาว นอกจากนี้ราคาที่ถูกยังทำให้เหมาะสมกับงานติดตามความเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาซึ่งต้องใช้ภาพหลายช่วงเวลาจำนวนมากเช่นงานติดตามพื้นที่เกิดไฟป่าในหน้าแล้ง, การหาขอบเขตพื้นที่เกิดน้ำท่วม เป็นต้น

## รายการอ้างอิง

- Civco, D. L., Topographic Normalization of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 55(1989) : 339-348.
- Chander, G., and Markham, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 41(2003) : pp. 2674-2677.
- Chavez, P. S. Jr. An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data. Remote Sensing of Environment 24 (1988) : 459-479.
- Chavez, P. S. Jr. Comparison of Spatial Variability in Visible and Near-Infrared Spectral Images. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 58(1992) : 957-964.
- Chavez, P. S. Jr. Image-Based Atmospheric Corrections Revisited and Improved Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 62 (1996) : 1025-1036.
- Ekstrand, S. Assessment of Forest Damage with Landsat TM: Correction for Varying Forest Stand Characteristics. Remote Sensing of Environment 47(1994) : 291-302.
- Ekstrand, S. Landsat TM-Based Forest Damage Assessment: Correction for Topographic Effects Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 62 (1996) :151-162.
- Fallah, H.; Jaja, J.; Liang, S.; and Townshend., J Fast Algorithms for Removing Atmospheric Effects from Satellite Images IEEE Computational Science & Engineering (1996) : 66-77.
- Fung, T., and Ledrew, E. The Determination of Optimal Threshold Levels for Change Detection Using Various Accuracy Indices Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 54 (1988) :1449-1454.
- Furby, S. L., and Campbell, N. A. Calibrating Images from Different Dates to 'like-value' Digital Counts. Remote Sensing of Environment 77(2001) :186-196.
- Gilabert, M.A.; Conese, C.; and Maselli F. An Atmospheric Correction Method for the Automatic Retrieval of Surface Reflectances from TM Images. International Journal of Remote Sensing 10 (1994) :2065-2086.
- Gu, D.,and Gillespie, A. Topographic Normalization of Landsat TM Images of Forest Based on Subpixel Sun-Canopy-Sensor Geometry Remote Sensing of Environment 64(1997) : 166-175.

- Hall, F. G.; Strebel, D. E.; Nickeson, J. E.; and Goetz, S. J. Radiometric Rectification: Toward a Common Radiometric Response Among Multidate, Multisensor Images. Remote Sensing of Environment 35(1991) : pp. 11-27.
- Heo, J. , and FitzHugh, T. W. A Standardized Radiometric Normalization Method for Change Detection Using Remotely Sensed Imagery. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 66 (2000) :173-181.
- Holm, R. G.; Moran, M. S.; Jackson, R. D.; Slater, P. N.; Yuan, B.; and Biggar, S. F. Surface Reflectance Factor Retrieval from Thematic Mapper Data Remote Sensing of Environment 27(1989) : 47-57.
- Jenson, J. R., and Toll, D. L. Detecting Residential Land Use Development at the Urban Fringe. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 48 (1982) : 629-643.
- Kaufman, Y. J., and Sandra, C. Algorithm For Automatic Atmospheric Correction to Visible and Near-IR Sattelite Imagery International Journal of Remote Sensing 9 (1988) : 1357-1381.
- Kaufman, Y. J. The Atmospheric Effect on Remote Sensing and its Correction. In Theory and Application of Optical Remote Sensing (G. Asrar, Ed.), New York, 1989
- Kaufman, Y. J., and Tanre, D. Strategy for Direct and Indirect Methods for Correcting the Aerosol Effect on Remote Sensing: From AVHRR to EOS-MODIS Remote Sensing of Environment 55(1996) : 65-79.
- Kaufman, Y. J.; Wald, A. E.; Remer, L. A.; Gao, B.; li; and Flynn, L. The MODIS 2.1- $\mu\text{m}$  Channel-Correlation with Visible Reflectance for Use in Remote Sensing of Aerosol IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing 35(1997) : 1286-1298.
- Leprieur, S. E., and Durand, J. M. Influence of Topography on Forest Reflectance Using Landsat Thematic Mapper and Digital Terrain Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 54(1988) : 491-496
- Lillesand, T. M., and Kiefer, R. W. Remote Sensing and Image Interpretation. Forth Edition. New York: Wiley, 1999.
- Markham, B. L., and Barker, J. L. Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmosphereric Reflectance and At-Sattelite Temperature, EOSAT Landsat Technical Notes, 1986, pp. 3-8. [Online] Available from: [http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/pdfs/L5\\_cal\\_document.pdf](http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/pdfs/L5_cal_document.pdf) [2003, January 1]



- Mather, P. M. Computer Processing of Remotely-Sensed Images. John Willey & Sons, 1999
- Maritorena, S. Remote Sensing of Bottom Reflectance and Water Attenuation in Coral Reefs: a Case Study in French Polynesia. International Journal of Remote sensing 17 (1996) : 155-166.
- Mellesse, A. M. and Jordan, J. D. A Comparison of Fuzzy vs. Augmented-ISODATA Classification Algorithms for Cloud-Shadow Discrimination from Landsat Images Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 68(2002) : 905-912.
- Muchoney, D. M. Change Detection for Monitoring Forest Defoliation Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 60 (1994) :1243-1251.
- Moran, M. S.; Jackson, R. D.; Slater, P. N.; and Teillet, P. M. Evaluation of Simplified Procedures for Retrieval of Land Surface Reflectance Factors from Satellite Sensor Output Remote Sensing of Environment 41(1992) : 169-184.
- Moran, M. S.; Jackson, R. D.; Clarke, T. R.; Qi, J.; Cabot, F.; Thome, K. J.; and Markham, B. L. Reflectance Factor Retrieval from Landsat TM and SPOT HRV Data for Bright and Dark Targets Remote Sensing of Environment 52 (1995) : 218-230.
- Ouaidrati, H. and Vermote, E. F. Operation Atmospheric Correction of Landsat TM Data Remote Sensing of Environment 70 (1999) : 4-15.
- Riano, D.; Chuvieco, E.; Salas, J.; and Aguado, I. Assessment of Different Topographic Correction in Landsat-TM Data for Mapping Vegetation Type IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing 41(2003) : 1056-1061.
- Satirapod C., Trisirisatayawong I., and Homniam P. Establishing Ground Control Points for High-Resolution Satellite Imagery Using GPS Precise Point Positioning, The IEEE International Geoscience and Remote Sensing Conference 2003 (IGARSS 2003), Toulouse, France, 21-25 July 2003 [Online] Available from : [http://www.eng.chula.ac.th/survey/staff/cst/publication/IEEE2003\\_PPP.pdf](http://www.eng.chula.ac.th/survey/staff/cst/publication/IEEE2003_PPP.pdf) [2004, March 3]
- Singh, A. Digital Change Detection Techniques Using Remotely-sensed Data International Journal of Remote sensing 10 (1989) : 989-1003.
- Souleyrette, R., and Pattnaik, S. B. Designing a Traffic Monitoring Program Using Landuse Change Detection Proceeding of Map India, 2003 [Online] Available from: <http://www.gisdevelopment.net/application/Utility/transport/pdf/50.pdf> [2003, March 2]

- Song, C.; Woodcock, C. E.; Seto, K. C.; Lenney, M. P., and Macomber, S. A. Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? Remote Sensing of Environment 75 (2001) : 230-244.
- Spitzer, H.; Frank, R.; Kollwe, M.; Rega N.; Rothlirch, A.; and Wiemker, R. Change Detection with 1 m Resolution Sattelite and Aerial Images. Proceedings of the IEEE 2001 International Geoscince and Remote Sensing Symposium 5(2001) : 2256-2258
- Teillet, P. M.; Fedosejevs, G.; Irish R. R.; Barker, J. L.; and Markham, B. L. Radiometric Cross-Calibration of Landsat-7 TM and Landsat-5 TM Sensors Based on Tandem Data Sets Remote Sensing of Environment 78 (2001) : 39-54
- Townshend, J.R.G.; Justice, C.O.; Gurney C., and McManus, J. The Impact of Misregistration on Change Detection IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing 30(1992) : 1054-1060.
- Thome, K.; Markham, B. L.; Barker, J. L.; Slater, P. and Biggar, S. Radiometric Calibration of Landsat. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 63 (1997) : 853-858.
- Trisirisatayawong, I., and Samchimchom, W. Large Area Change Detection by Differencing Radiometrically-normalized Images. Proceeding of the 23<sup>rd</sup> Asian Conference on Remote sensing, Nepal, 2002 [Online] Available from: <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/adp/adp004.shtml> [2003, January 2]
- Vermote, E. F.; Tanre, D.; Deuze, J. L.; Herman, M., and Morcrette, J. J. Second Simulation of the Sattelite Signal in the Solar Spectrum (6S), 6S User's Guide Version 2 ,1997 [Online] Available from: [http://www.cs.sun.ac.za/~caz/6S/6smanv2.0\\_P1.pdf](http://www.cs.sun.ac.za/~caz/6S/6smanv2.0_P1.pdf) [2003, March 1]
- Yang, X., and Lo, C. P. Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-Date Sattelite Images. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 66 (2000) : 967-980.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ภาพตัวอย่างของสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิด



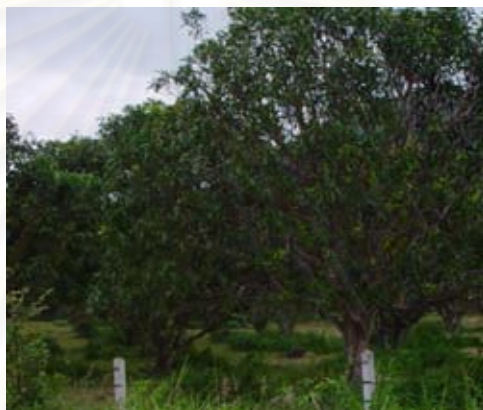
รูปที่ ก-1 ภาพนาข้าวกำลังเจริญเติบโต



รูปที่ ก-2 ภาพนาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว



รูปที่ ก-3 ภาพพื้นดินว่างเปล่า



รูปที่ ก-4 ภาพสวนผลไม้



รูปที่ ก-5 ภาพไร่มันสำปะหลัง



รูปที่ ก-6 ภาพสวนยางพารา



รูปที่ ก-7 ภาพนาทุ่ง



รูปที่ ก-8 ภาพชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง



รูปที่ ก-9 ภาพแหล่งน้ำ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข.

### วิธีการใช้ซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี 6S

ซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี 6S ถูกเขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน (Fortran) สร้างขึ้นเพื่อปรับแก้ผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศกับภาพดาวเทียมที่บันทึกภาพในช่วงคลื่นที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.25-4.0  $\mu\text{m}$  ผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศดังกล่าวได้แก่ การดูดกลืนพลังงานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซออกซิเจน, ก๊าซโอโซน และไอน้ำ, และการกระจายโดยโมเลกุลและละอองลอย โดยมีข้อจำกัดว่าสภาพชั้นบรรยากาศจะต้องเป็นแบบไม่มีเมฆปกคลุม ข้อดีของซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี 6S คือมีแบบจำลองสภาพชั้นบรรยากาศแบบทั่วไปซึ่งสามารถนำไปใช้ทดแทนข้อมูลของสภาพชั้นบรรยากาศจากการวัด

โดยการนำเข้าค่าพารามิเตอร์ของซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี 6S ทำได้โดยการสร้างไฟล์นำเข้า (input file) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

7	(A)
11 03 03.17 101.98 12.96	
1	(B)
1	(C)
0	
0.187	
0.001	(D)
-1000	
25	(E)
0	(F)
0	
1	
-0.0812	(G)

A) ข้อมูลทางเรขาคณิตของการวางตัวของดาวเทียม, โลกและดวงอาทิตย์ขณะบันทึกภาพ ประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ ชนิดของดาวเทียมและเวลาบันทึกภาพ, ค่าพิกัดของตำแหน่งบันทึกภาพ



- ชนิดดาวเทียม
  - 1= ดาวเทียม METEOSAT
  - 2= ดาวเทียม GOESEAST
  - 3= ดาวเทียม GOESWEST
  - 4= ดาวเทียม NOAA- PM
  - 5= ดาวเทียม NOAA-AM
  - 6= ดาวเทียม SPOT
  - 7= ดาวเทียม LANDSAT
- เวลาบันทึกภาพและค่าพิกัดของตำแหน่งบันทึก  
กำหนดให้ผู้ใช้ใส่ค่าตามรูปแบบ  
(MONTH, DAY, HOUR, LONGTITUDE, LATTITUDE)

B) แบบจำลองของโมเลกุลของก๊าซในชั้นบรรยากาศ

- 0= NO ABSORPTION
- 1=TROPICAL
- 2=MIDLATTITUDE SUMMER
- 3=MIDLATTITUDE WINTER
- 4=SUBARCTIC SUMMER
- 5=SUBARCTIC WINTER

C) ข้อมูลของละอองลอยในชั้นบรรยากาศแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ชนิดและความหนาแน่นของละอองลอย

- ชนิดของละอองลอย
  - 0=ไม่คิดผลกระทบเนื่องจากละอองลอย
  - 1=CONTINENTAL
  - 2=MARITIME
  - 3=URBAN
  - 4=USER DEFINED
  - 5=DESERTIC
  - 6=BIOMASS
  - 7=STRATOSPHERIC
- ความหนาแน่นของละอองลอย

กำหนดให้ผู้ใช้ใส่ค่าความหนาเชิงแสงของละอองลอยที่ความดัน 550nm.  
 $(\tau^A(550))$

D) ผลกระทบเนื่องจากความสูงแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ สิ่งปกคลุมดินและเซนเซอร์

- ค่าระดับของสิ่งปกคลุมดิน  
กำหนดให้ผู้ใช้ใส่ค่าระดับความสูงของสิ่งปกคลุมดิน หน่วยเป็น km.
- ค่าระดับของเซนเซอร์

-1000 = SENSOR ABOARD A SATELLITE

0 = SENSOR AT GROUND LEVEL

-100 < xpp < 0 = SENSOR INSIDE THE ATMOSPHERE

E) ช่วงคลื่นที่บันทึกภาพ

2 = METEO

3-4 = GOES

5-16 = AVHRR

17-24 = HRV

25-30 = TM

31-34 = MSS

35-41 = MAS

42-48 = MODIS

F) ชนิดของสิ่งปกคลุมดิน

- ลักษณะของสิ่งปกคลุมดิน
  - 0 = HOMOGENEOUS
  - 1 = NONHOMOGENEOUS
- ชนิดของสิ่งปกคลุมดิน
  - 1 = VEGETATION
  - 2 = CLEARWATER
  - 3 = SAND
  - 4 = LAKEWATER

G) ตัวเลือกการปรับแก้ผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศ

RAPP<-1 = NO ATMOSPHERIC CORRECTION

-1<RAPP<0 = ATMOSPHERIC CORRECTION, RAPP =  $\rho^{ap}$

RAPP>0 = ATMOSPHERIC CORRECTION, RAPP =  $L^{ap}$

เมื่อทำการประมวลผลแล้วซอฟต์แวร์การถ่ายเทรังสี 6S จะสร้าง output file ออกมาซึ่งจะมีรายละเอียดแสดงค่าพารามิเตอร์ผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศต่างๆ ได้แก่ค่าการกระจายแสงในเส้นทางผ่าน, รังสีตกกระทบแบบแพร่กระจาย, ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านพลังงานเนื่องจากการดูดซึมของก๊าซและการกระจายแบบเรย์เลและแบบมี รวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับแก้ผลกระทบเนื่องจากชั้นบรรยากาศดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
***** 6s version 4.1 *****
*
*          geometrical conditions identity
*          -----
*
*      t.m.  observation
*
*      month: 11 day : 3 universal time: 3.17 (hh.dd)
*
*      latitude: 12.96 deg   longitude: 101.98 deg
*
*      solar zenith angle: 38.36 deg solar azimuthal angle: 136.28 deg
*
*      view zenith angle: 0.00 deg view azimuthal angle: 0.00 deg
*
*      scattering angle: 141.64 deg azimuthal angle difference: 136.28 deg
*
*
*          atmospheric model description
*          -----
*
*      atmospheric model identity :
*
*      tropical      (uh2o=4.12g/cm2,uo3=.247cm-atm)
*
*      aerosols type identity :
*
*      Continental aerosols model
*
*      optical condition identity :
*
*      visibility : 29.09 km opt. thick. 550nm : 0.1870
*
*
*          spectral condition
```

```

* ----- *
* tm 1 *
* value of filter function : *
* wl inf= 0.430 mic wl sup= 0.560 mic *
* *
* target type *
* ----- *
* homogeneous ground *
* spectral vegetation ground reflectance 0.104 *
* *
* target elevation description *
* ----- *
* ground pressure [mb] 1013.00 *
* ground altitude [km] 0.000 *
* *
* atmospheric correction activated *
* ----- *
* input apparent reflectance : 0.082 *
*****
* integrated values of : *
* ----- *
* apparent reflectance 0.1557 appar. rad.(w/m2/sr/mic) 77.259 *
* total gaseous transmittance 0.988 *
*****
* coupling aerosol -wv : *
* ----- *
* wv above aerosol : 0.156 wv mixed with aerosol : 0.156 *
* wv under aerosol : 0.156 *
* *
* int. normalized values of : *
* ----- *
* % of irradiance at ground level *

```

```

* % of direct irr. % of diffuse irr. % of enviro. irr *
*      0.718      0.265      0.017 *
*      reflectance at satellite level *
* atm. intrin. ref. background ref. pixel reflectance *
*      0.078      0.017      0.061 *
* * * * *
*      int. absolute values of *
*      ----- *
*      irr. at ground level (w/m2/mic) *
* direct solar irr. atm. diffuse irr. environment irr *
*      954.319      351.340      22.143 *
*      rad at satel. level (w/m2/sr/mic) *
* atm. intrin. rad. background rad. pixel radiance *
*      38.577      8.456      30.226 *
* * * * *
*      int. funct filter (in mic)      int. sol. spect (in w/m2) *
*      0.0604850      120.281 *
* * * * *
*****
*      integrated values of : *
*      ----- *
* * * * *
*      downward      upward      total *
* global gas. trans. : 0.99351      0.99491      0.98846 *
* water " " : 1.00000      1.00000      1.00000 *
* ozone " " : 0.99351      0.99491      0.98846 *
* co2 " " : 1.00000      1.00000      1.00000 *
* oxyg " " : 1.00000      1.00000      1.00000 *
* no2 " " : 1.00000      1.00000      1.00000 *
* ch4 " " : 1.00000      1.00000      1.00000 *
* co " " : 1.00000      1.00000      1.00000 *
* * * * *

```

```

* rayl. sca. trans. : 0.90198    0.92131    0.83101    *
* aeros. sca. "   : 0.93637    0.95596    0.89513    *
* total sca. "   : 0.84291    0.87784    0.73994    *
*
*                               rayleigh    aerosols    total    *
* spherical albedo : 0.12770    0.06470    0.16193    *
* optical depth total: 0.16577    0.21486    0.38063    *
* optical depth plane: 0.16577    0.21486    0.38063    *
* reflectance      : 0.06542    0.01391    0.07855    *
* phase function   : 1.20239    0.19713    0.63494    *
* sing. scat. albedo : 1.00000    0.89912    0.94305    *
*****
*
*           atmospheric correction result
*           -----
* input apparent reflectance      : 0.082
* measured radiance [w/m2/sr/mic] : 40.550
* atmospherically corrected reflectance : 0.005
* coefficients xa xb xc           : 0.00275 0.10739 0.16193
* y=xa*(measured radiance)-xb; acr=y/(1.+xc*y)
*****

```

ภาคผนวก ค.

ตารางค่าดัชนีความถูกต้องที่แต่ละค่า Threshold

RAW Band 1 SD =18.65 Optical Threshold = 13.99

Accuracy Indices	N							
	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
yy	265	253	235	224	210	200	191	191
ny	261	273	291	302	316	326	335	335
nn	153	185	209	258	279	297	310	310
yn	188	156	132	83	62	44	31	31
%Producer 's Accuracy for Change	50.38	48.10	44.68	42.59	39.92	38.02	36.31	36.31
%Producer 's Accuracy for Unchange	44.87	54.25	61.29	75.66	81.82	87.10	90.91	90.91
%User 's Accuracy for Change	58.50	61.86	64.03	72.96	77.21	81.97	86.04	86.04
%User 's Accuracy for Unchange	36.96	40.39	41.80	46.07	46.89	47.67	48.06	48.06
%Overall Accuracy	48.21	50.52	51.21	55.59	56.40	57.32	57.79	57.79

RAW Band 2 SD = 8.58 Optical Threshold = 4.72

Accuracy Indices	N							
	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
yy	429	429	405	405	405	379	379	346
ny	97	97	121	121	121	147	147	180
nn	207	207	265	265	265	296	296	314
yn	134	134	76	76	76	45	45	27
%Producer 's Accuracy for Change	81.56	81.56	77.00	77.00	77.00	72.05	72.05	65.78
%Producer 's Accuracy for Unchange	60.70	60.70	77.71	77.71	77.71	86.80	86.80	92.08
%User 's Accuracy for Change	76.20	76.20	84.20	84.20	84.20	89.39	89.39	92.76
%User 's Accuracy for Unchange	68.09	68.09	68.65	68.65	68.65	66.82	66.82	63.56
%Overall Accuracy	73.36	73.36	77.28	77.28	77.28	77.85	77.85	76.12

RAW Band 3 SD = 14.00 Optical Threshold = 7.00

Accuracy Indices	N							
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
yy	494	487	466	452	438	422	409	385
ny	32	39	60	74	88	104	117	141
nn	249	268	296	307	313	321	323	324
yn	92	73	45	34	28	20	18	17
%Producer 's Accuracy for Change	93.92	92.59	88.59	85.93	83.27	80.23	77.76	73.19
%Producer 's Accuracy for Unchange	73.02	78.59	86.80	90.03	91.79	94.13	94.72	95.01
%User 's Accuracy for Change	84.30	86.96	91.19	93.00	93.99	95.48	95.78	95.77
%User 's Accuracy for Unchange	88.61	87.30	83.15	80.58	78.05	75.53	73.41	69.68
%Overall Accuracy	85.70	87.08	87.89	87.54	86.62	85.70	84.43	81.78

RAW Band 4 SD = 17.10 Optical Threshold = 18.81

Accuracy Indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	423	397	386	368	347	336	330	301
ny	103	129	140	158	179	190	196	225
nn	100	133	156	187	211	237	253	275
yn	241	208	185	154	130	104	88	66
%Producer 's Accuracy for Change	80.42	75.48	73.38	69.96	65.97	63.88	62.74	57.22
%Producer 's Accuracy for Unchange	29.33	39.00	45.75	54.84	61.88	69.50	74.19	80.65
%User 's Accuracy for Change	63.70	65.62	67.60	70.50	72.75	76.36	78.95	82.02
%User 's Accuracy for Unchange	49.26	50.76	52.70	54.20	54.10	55.50	56.35	55.00
%Overall Accuracy	60.32	61.13	62.51	64.01	64.36	66.09	67.24	66.44



RAW Band 5 SD = 26.46 Optical Threshold = 14.55

Accuracy Indices	N							
	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
yy	499	492	475	469	466	453	443	434
ny	27	34	51	57	60	73	83	92
nn	123	136	180	196	216	245	255	263
yn	218	205	161	145	125	96	86	78
<b>%Producer 's Accuracy for Change</b>	94.87	93.54	90.30	89.16	88.59	86.12	84.22	82.51
<b>%Producer 's Accuracy for Unchange</b>	36.07	39.88	52.79	57.48	63.34	71.85	74.78	77.13
<b>%User 's Accuracy for Change</b>	69.60	70.59	74.69	76.38	78.85	82.51	83.74	84.77
<b>%User 's Accuracy for Unchange</b>	82.00	80.00	77.92	77.47	78.26	77.04	75.44	74.08
<b>%Overall Accuracy</b>	71.74	72.43	75.55	76.70	78.66	80.51	80.51	80.39

RAW Band 7 SD = 14.98 Optical Threshold = 10.49

Accuracy Indices	N							
	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
yy	458	452	452	438	423	410	410	398
ny	68	74	74	88	103	116	116	128
nn	221	246	246	260	278	288	288	295
yn	120	95	95	81	63	53	53	46
<b>%Producer 's Accuracy for Change</b>	87.07	85.93	85.93	83.27	80.42	77.95	77.95	75.67
<b>%Producer 's Accuracy for Unchange</b>	64.81	72.14	72.14	76.25	81.52	84.46	84.46	86.51
<b>%User 's Accuracy for Change</b>	79.24	82.63	82.63	84.39	87.04	88.55	88.55	89.64
<b>%User 's Accuracy for Unchange</b>	76.47	76.88	76.88	74.71	72.97	71.29	71.29	69.74
<b>%Overall Accuracy</b>	78.32	80.51	80.51	80.51	80.85	80.51	80.51	79.93

DOS1 Band 1 SD = 0.012 Optical Threshold = 0.010

Accuracy Indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	476	469	458	442	423	404	386	370
ny	50	57	68	84	103	122	140	156
nn	210	238	269	287	300	311	317	322
yn	131	103	72	54	41	30	24	19
%Producer 's Accuracy for Change	90.49	89.16	87.07	84.03	80.42	76.81	73.38	70.34
%Producer 's Accuracy for Unchange	61.58	69.79	78.89	84.16	87.98	91.20	92.96	94.43
%User 's Accuracy for Change	78.42	81.99	86.42	89.11	91.16	93.09	94.15	95.12
%User 's Accuracy for Unchange	80.77	80.68	79.82	77.36	74.44	71.82	69.37	67.36
%Overall Accuracy	79.12	81.55	83.85	84.08	83.39	82.47	81.08	79.82

DOS1 Band 2 SD = 0.015 Optical Threshold = 0.021

Accuracy Indices	N							
	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
yy	492	485	473	462	449	435	420	409
ny	34	41	53	64	77	91	106	117
nn	164	192	223	253	263	282	293	303
yn	177	149	118	88	78	59	48	38
%Producer 's Accuracy for Change	93.54	92.21	89.92	87.83	85.36	82.70	79.85	77.76
%Producer 's Accuracy for Unchange	48.09	56.30	65.40	74.19	77.13	82.70	85.92	88.86
%User 's Accuracy for Change	73.54	76.50	80.03	84.00	85.20	88.06	89.74	91.50
%User 's Accuracy for Unchange	82.83	82.40	80.80	79.81	77.35	75.60	73.43	72.14
%Overall Accuracy	75.66	78.09	80.28	82.47	82.12	82.70	82.24	82.12

DOS1 Band 3 SD = 0.034 Optical Threshold = 0.027

Accuracy Indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	511	500	492	479	458	442	425	401
ny	15	26	34	47	68	84	101	125
nn	238	260	280	299	312	318	323	325
yn	103	81	61	42	29	23	18	16
<b>%Producer 's Accuracy for Change</b>	97.15	95.06	93.54	91.06	87.07	84.03	80.80	76.24
<b>%Producer 's Accuracy for Unchange</b>	69.79	76.25	82.11	87.68	91.50	93.26	94.72	95.31
<b>%User 's Accuracy for Change</b>	83.22	86.06	88.97	91.94	94.05	95.05	95.94	96.16
<b>%User 's Accuracy for Unchange</b>	94.07	90.91	89.17	86.42	82.11	79.10	76.18	72.22
<b>%Overall Accuracy</b>	86.39	87.66	89.04	89.73	88.81	87.66	86.27	83.74

DOS1 Band 4 SD = 0.038 Optical Threshold = 0.034

Accuracy Indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	433	420	391	379	364	346	322	299
ny	93	106	135	147	162	180	204	227
nn	153	191	228	248	264	268	277	294
yn	188	150	113	93	77	73	64	47
<b>%Producer 's Accuracy for Change</b>	82.32	79.85	74.33	72.05	69.20	65.78	61.22	56.84
<b>%Producer 's Accuracy for Unchange</b>	44.87	56.01	66.86	72.73	77.42	78.59	81.23	86.22
<b>%User 's Accuracy for Change</b>	69.73	73.68	77.58	80.30	82.54	82.58	83.42	86.42
<b>%User 's Accuracy for Unchange</b>	62.20	64.31	62.81	62.78	61.97	59.82	57.59	56.43
<b>%Overall Accuracy</b>	67.59	70.47	71.40	72.32	72.43	70.82	69.09	68.40

DOS1 Band 5 SD = 0.068 Optical Threshold = 0.041

Accuracy Indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	480	471	456	440	423	408	390	370
ny	46	55	70	86	103	118	136	156
nn	267	282	293	298	306	313	317	319
yn	74	59	48	43	35	28	24	22
%Producer 's Accuracy for Change	91.25	89.54	86.69	83.65	80.42	77.57	74.14	70.34
%Producer 's Accuracy for Unchange	78.30	82.70	85.92	87.39	89.74	91.79	92.96	93.55
%User 's Accuracy for Change	86.64	88.87	90.48	91.10	92.36	93.58	94.20	94.39
%User 's Accuracy for Unchange	85.30	83.68	80.72	77.60	74.82	72.62	69.98	67.16
%Overall Accuracy	86.16	86.85	86.39	85.12	84.08	83.16	81.55	79.47

DOS1 Band 7 SD = 0.039 Optical Threshold = 0.039

Accuracy Indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	496	494	487	480	478	472	459	444
ny	30	32	39	46	48	54	67	82
nn	251	264	276	288	297	303	307	308
yn	90	77	65	53	44	38	34	33
%Producer 's Accuracy for Change	94.30	93.92	92.59	91.25	90.87	89.73	87.26	84.41
%Producer 's Accuracy for Unchange	73.61	77.42	80.94	84.46	87.10	88.86	90.03	90.32
%User 's Accuracy for Change	84.64	86.51	88.22	90.06	91.57	92.55	93.10	93.08
%User 's Accuracy for Unchange	89.32	89.19	87.62	86.23	86.09	84.87	82.09	78.97
%Overall Accuracy	86.16	87.43	88.00	88.58	89.39	89.39	88.35	86.74

DOS2 Band 1 SD = 0.008 Optical Threshold = 0.014

Accuracy Indices	N							
	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.6	1.7
yy	502	496	491	483	476	472	453	445
ny	24	30	35	43	50	54	73	81
nn	156	175	200	216	232	242	278	285
yn	185	166	141	125	109	99	63	56
<b>%Producer 's Accuracy for Change</b>	95.44	94.30	93.35	91.83	90.49	89.73	86.12	84.60
<b>%Producer 's Accuracy for Unchange</b>	45.75	51.32	58.65	63.34	68.04	70.97	81.52	83.58
<b>%User 's Accuracy for Change</b>	73.07	74.92	77.69	79.44	81.37	82.66	87.79	88.82
<b>%User 's Accuracy for Unchange</b>	86.67	85.37	85.11	83.40	82.27	81.76	79.20	77.87
<b>%Overall Accuracy</b>	75.89	77.39	79.70	80.62	81.66	82.35	84.31	84.20

DOS2 Band 2 SD =0.012 Optical Threshold = 0.020

Accuracy Indices	N							
	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	2.0	2.1
yy	441	431	409	408	398	390	384	376
ny	85	95	103	113	117	118	142	150
nn	272	279	286	294	305	309	323	326
yn	69	62	55	47	36	32	18	15
<b>%Producer 's Accuracy for Change</b>	83.84	81.94	79.88	78.31	77.28	76.77	73.00	71.48
<b>%Producer 's Accuracy for Unchange</b>	79.77	81.82	83.87	86.22	89.44	90.62	94.72	95.60
<b>%User 's Accuracy for Change</b>	86.47	87.42	88.15	89.67	91.71	92.42	95.52	96.16
<b>%User 's Accuracy for Unchange</b>	76.19	74.60	73.52	72.24	72.27	72.37	69.46	68.49
<b>%Overall Accuracy</b>	82.24	81.89	81.48	81.44	82.13	82.33	81.55	80.97

DOS2 Band 3 SD= 0.025 Optical Threshold = 0.030

Accuracy Indices	N							
	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
yy	514	508	500	495	489	478	466	450
ny	12	18	26	31	37	48	60	76
nn	228	248	259	270	282	297	308	314
yn	113	93	82	71	59	44	33	27
%Producer 's Accuracy for Change	97.72	96.58	95.06	94.11	92.97	90.87	88.59	85.55
%Producer 's Accuracy for Unchange	66.86	72.73	75.95	79.18	82.70	87.10	90.32	92.08
%User 's Accuracy for Change	81.98	84.53	85.91	87.46	89.23	91.57	93.39	94.34
%User 's Accuracy for Unchange	95.00	93.23	90.88	89.70	88.40	86.09	83.70	80.51
%Overall Accuracy	85.58	87.20	87.54	88.24	88.93	89.39	89.27	88.12

DOS2 Band 4 SD = 0.037 Optical Threshold = 0.033

Accuracy Indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	440	429	404	386	371	359	335	312
ny	86	97	122	140	155	167	191	214
nn	144	174	210	240	258	266	270	281
yn	197	167	131	101	83	75	71	60
%Producer 's Accuracy for Change	83.65	81.56	76.81	73.38	70.53	68.25	63.69	59.32
%Producer 's Accuracy for Unchange	42.23	51.03	61.58	70.38	75.66	78.01	79.18	82.40
%User 's Accuracy for Change	69.07	71.98	75.51	79.26	81.72	82.72	82.51	83.87
%User 's Accuracy for Unchange	62.61	64.21	63.25	63.16	62.47	61.43	58.57	56.77
%Overall Accuracy	67.36	69.55	70.82	72.20	72.55	72.09	69.78	68.40

DOS2 Band 5 SD = 0.028 Optical Threshold = 0.042

Accuracy Indices	N							
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
yy	486	482	477	473	471	465	456	451
ny	40	44	49	53	55	61	70	75
nn	255	262	270	279	283	286	292	295
yn	86	79	71	62	58	55	49	46
%Producer 's Accuracy for Change	92.40	91.63	90.68	89.92	89.54	88.40	86.69	85.74
%Producer 's Accuracy for Unchange	74.78	76.83	79.18	81.82	82.99	83.87	85.63	86.51
%User 's Accuracy for Change	84.97	85.92	87.04	88.41	89.04	89.42	90.30	90.74
%User 's Accuracy for Unchange	86.44	85.62	84.64	84.04	83.73	82.42	80.66	79.73
%Overall Accuracy	85.47	85.81	86.16	86.74	86.97	86.62	86.27	86.04

DOS2 Band 7 SD = 0.032 Optical Threshold = 0.029

Accuracy Indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	495	485	481	479	475	469	462	447
ny	31	41	45	47	51	57	64	79
nn	228	247	268	283	290	295	299	301
yn	113	94	73	58	51	46	42	40
%Producer 's Accuracy for Change	94.11	92.21	91.44	91.06	90.30	89.16	87.83	84.98
%Producer 's Accuracy for Unchange	66.86	72.43	78.59	82.99	85.04	86.51	87.68	88.27
%User 's Accuracy for Change	81.41	83.77	86.82	89.20	90.30	91.07	91.67	91.79
%User 's Accuracy for Unchange	88.03	85.76	85.62	85.76	85.04	83.81	82.37	79.21
%Overall Accuracy	83.39	84.43	86.39	87.89	88.24	88.12	87.77	86.27

DOS3 Band 1 SD = 0.011 Optical Threshold = 0.011

Accuracy Indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	492	476	470	459	446	438	420	404
ny	34	50	56	67	80	88	106	122
nn	181	211	235	263	275	293	301	311
yn	160	130	106	78	66	48	40	30
%Producer 's Accuracy for Change	93.54	90.49	89.35	87.26	84.79	83.27	79.85	76.81
%Producer 's Accuracy for Unchange	53.08	61.88	68.91	77.13	80.65	85.92	88.27	91.20
%User 's Accuracy for Change	75.46	78.55	81.60	85.47	87.11	90.12	91.30	93.09
%User 's Accuracy for Unchange	84.19	80.84	80.76	79.70	77.46	76.90	73.96	71.82
%Overall Accuracy	77.62	79.24	81.31	83.28	83.16	84.31	83.16	82.47

DOS3 Band 2 SD = 0.010 Optical Threshold =0.013

Accuracy Indices	N							
	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
yy	450	432	424	422	412	401	400	389
ny	76	94	102	104	114	125	126	137
nn	254	276	282	289	303	306	310	314
yn	87	65	59	52	38	35	31	27
%Producer 's Accuracy for Change	85.55	82.13	80.61	80.23	78.33	76.24	76.05	73.95
%Producer 's Accuracy for Unchange	74.49	80.94	82.70	84.75	88.86	89.74	90.91	92.08
%User 's Accuracy for Change	83.80	86.92	87.78	89.03	91.56	91.97	92.81	93.51
%User 's Accuracy for Unchange	76.97	74.59	73.44	73.54	72.66	71.00	71.10	69.62
%Overall Accuracy	81.20	81.66	81.43	82.01	82.47	81.55	81.89	81.08



DOS3 Band 3 SD = 0.034 Optical Threshold =0.031

Accuracy Indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	514	508	499	489	478	459	444	433
ny	12	18	27	37	48	67	82	93
nn	224	249	264	282	298	311	318	323
yn	117	92	77	59	43	30	23	18
<b>%Producer 's Accuracy for Change</b>	97.72	96.58	94.87	92.97	90.87	87.26	84.41	82.32
<b>%Producer 's Accuracy for Unchange</b>	65.69	73.02	77.42	82.70	87.39	91.20	93.26	94.72
<b>%User 's Accuracy for Change</b>	81.46	84.67	86.63	89.23	91.75	93.87	95.07	96.01
<b>%User 's Accuracy for Unchange</b>	94.92	93.26	90.72	88.40	86.13	82.28	79.50	77.64
<b>%Overall Accuracy</b>	85.12	87.31	88.00	88.93	89.50	88.81	87.89	87.20

DOS3 Band 4 SD = 0.036 Optical Threshold =0.040

Accuracy Indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	455	438	423	407	394	378	367	351
ny	71	88	103	119	132	148	159	175
nn	128	146	166	202	231	247	260	266
yn	213	195	175	139	110	94	81	75
<b>%Producer 's Accuracy for Change</b>	86.50	83.27	80.42	77.38	74.90	71.86	69.77	66.73
<b>%Producer 's Accuracy for Unchange</b>	37.54	42.82	48.68	59.24	67.74	72.43	76.25	78.01
<b>%User 's Accuracy for Change</b>	68.11	69.19	70.74	74.54	78.17	80.08	81.92	82.39
<b>%User 's Accuracy for Unchange</b>	64.32	62.39	61.71	62.93	63.64	62.53	62.05	60.32
<b>%Overall Accuracy</b>	67.24	67.36	67.94	70.24	72.09	72.09	72.32	71.16

DOS3 Band 5 SD = 0.038 Optical Threshold =0.053

Accuracy Indices	N							
	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
yy	493	489	488	484	478	473	471	466
ny	33	37	38	42	48	53	55	60
nn	215	234	247	259	268	275	283	286
yn	126	107	94	82	73	66	58	55
%Producer 's Accuracy for Change	93.73	92.97	92.78	92.02	90.87	89.92	89.54	88.59
%Producer 's Accuracy for Unchange	63.05	68.62	72.43	75.95	78.59	80.65	82.99	83.87
%User 's Accuracy for Change	79.64	82.05	83.85	85.51	86.75	87.76	89.04	89.44
%User 's Accuracy for Unchange	86.69	86.35	86.67	86.05	84.81	83.84	83.73	82.66
%Overall Accuracy	81.66	83.39	84.78	85.70	86.04	86.27	86.97	86.74

DOS3 Band 7 SD = 0.054 Optical Threshold =0.043

Accuracy Indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	490	480	478	473	458	442	426	407
ny	36	46	48	53	68	84	100	119
nn	262	282	295	300	304	307	309	314
yn	79	59	46	41	37	34	32	27
%Producer 's Accuracy for Change	93.16	91.25	90.87	89.92	87.07	84.03	80.99	77.38
%Producer 's Accuracy for Unchange	76.83	82.70	86.51	87.98	89.15	90.03	90.62	92.08
%User 's Accuracy for Change	86.12	89.05	91.22	92.02	92.53	92.86	93.01	93.78
%User 's Accuracy for Unchange	87.92	85.98	86.01	84.99	81.72	78.52	75.55	72.52
%Overall Accuracy	86.74	87.89	89.16	89.16	87.89	86.39	84.78	83.16

DDV Band 1 SD = 0.013 Optical Threshold =0.014

Accuracy Indices	N							
	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
yy	489	475	468	458	444	430	411	397
ny	37	51	58	68	82	96	115	129
nn	204	229	244	270	284	295	307	311
yn	137	112	97	71	57	46	34	30
%Producer 's Accuracy for Change	92.97	90.30	88.97	87.07	84.41	81.75	78.14	75.48
%Producer 's Accuracy for Unchange	59.82	67.16	71.55	79.18	83.28	86.51	90.03	91.20
%User 's Accuracy for Change	78.12	80.92	82.83	86.58	88.62	90.34	92.36	92.97
%User 's Accuracy for Unchange	84.65	81.79	80.79	79.88	77.60	75.45	72.75	70.68
%Overall Accuracy	79.93	81.20	82.12	83.97	83.97	83.62	82.81	81.66

DDV Band 2 SD = 0.025 Optical Threshold =0.012

Accuracy Indices	N							
	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1
yy	447	422	396	385	382	360	335	310
ny	79	104	130	141	144	166	191	216
nn	256	285	307	317	320	325	327	329
yn	85	56	34	24	21	16	14	12
%Producer 's Accuracy for Change	84.98	80.23	75.29	73.19	72.62	68.44	63.69	58.94
%Producer 's Accuracy for Unchange	75.07	83.58	90.03	92.96	93.84	95.31	95.89	96.48
%User 's Accuracy for Change	84.02	88.28	92.09	94.13	94.79	95.74	95.99	96.27
%User 's Accuracy for Unchange	76.42	73.26	70.25	69.21	68.97	66.19	63.13	60.37
%Overall Accuracy	81.08	81.55	81.08	80.97	80.97	79.01	76.36	73.70

DDV Band 3 SD = 0.034 Optical Threshold =0.034

Accuracy Indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	517	513	505	495	488	472	451	440
ny	9	13	21	31	38	54	75	86
nn	183	226	251	267	282	305	315	319
yn	158	115	90	74	59	36	26	22
%Producer 's Accuracy for Change	98.29	97.53	96.01	94.11	92.78	89.73	85.74	83.65
%Producer 's Accuracy for Unchange	53.67	66.28	73.61	78.30	82.70	89.44	92.38	93.55
%User 's Accuracy for Change	76.59	81.69	84.87	86.99	89.21	92.91	94.55	95.24
%User 's Accuracy for Unchange	95.31	94.56	92.28	89.60	88.13	84.96	80.77	78.77
%Overall Accuracy	80.74	85.24	87.20	87.89	88.81	89.62	88.35	87.54

DDV Band 4 SD = 0.046 Optical Threshold =0.037

Accuracy Indices	N							
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
yy	431	411	387	371	358	330	305	282
ny	95	115	139	155	168	196	221	244
nn	160	202	237	256	266	272	286	300
yn	181	139	104	85	75	69	55	41
%Producer 's Accuracy for Change	81.94	78.14	73.57	70.53	68.06	62.74	57.98	53.61
%Producer 's Accuracy for Unchange	46.92	59.24	69.50	75.07	78.01	79.77	83.87	87.98
%User 's Accuracy for Change	70.42	74.73	78.82	81.36	82.68	82.71	84.72	87.31
%User 's Accuracy for Unchange	62.75	63.72	63.03	62.29	61.29	58.12	56.41	55.15
%Overall Accuracy	68.17	70.70	71.97	72.32	71.97	69.43	68.17	67.13

DDV Band 5 SD = 0.034 Optical Threshold =0.048

Accuracy Indices	N							
	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
yy	495	489	488	485	480	478	472	468
ny	31	37	38	41	46	48	54	58
nn	215	232	247	259	266	275	281	284
yn	126	109	94	82	75	66	60	57
%Producer 's Accuracy for Change	94.11	92.97	92.78	92.21	91.25	90.87	89.73	88.97
%Producer 's Accuracy for Unchange	63.05	68.04	72.43	75.95	78.01	80.65	82.40	83.28
%User 's Accuracy for Change	79.71	81.77	83.85	85.54	86.49	87.87	88.72	89.14
%User 's Accuracy for Unchange	87.40	86.25	86.67	86.33	85.26	85.14	83.88	83.04
%Overall Accuracy	81.89	83.16	84.78	85.81	86.04	86.85	86.85	86.74

DDV Band 7 SD = 0.037 Optical Threshold =0.041

Accuracy Indices	N							
	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.6
yy	483	481	477	474	469	460	444	413
ny	43	45	49	52	57	66	82	113
nn	264	276	285	292	298	301	302	307
yn	77	65	56	49	43	40	39	34
%Producer 's Accuracy for Change	91.83	91.44	90.68	90.11	89.16	87.45	84.41	78.52
%Producer 's Accuracy for Unchange	77.42	80.94	83.58	85.63	87.39	88.27	88.56	90.03
%User 's Accuracy for Change	86.25	88.10	89.49	90.63	91.60	92.00	91.93	92.39
%User 's Accuracy for Unchange	85.99	85.98	85.33	84.88	83.94	82.02	78.65	73.10
%Overall Accuracy	86.16	87.31	87.89	88.35	88.47	87.77	86.04	83.04

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

### ประวัติส่วนตัว

ชื่อ นาย ธเนศ จรุงจินันท์

เกิด วันที่ 8 มิถุนายน พ.ศ. 2517

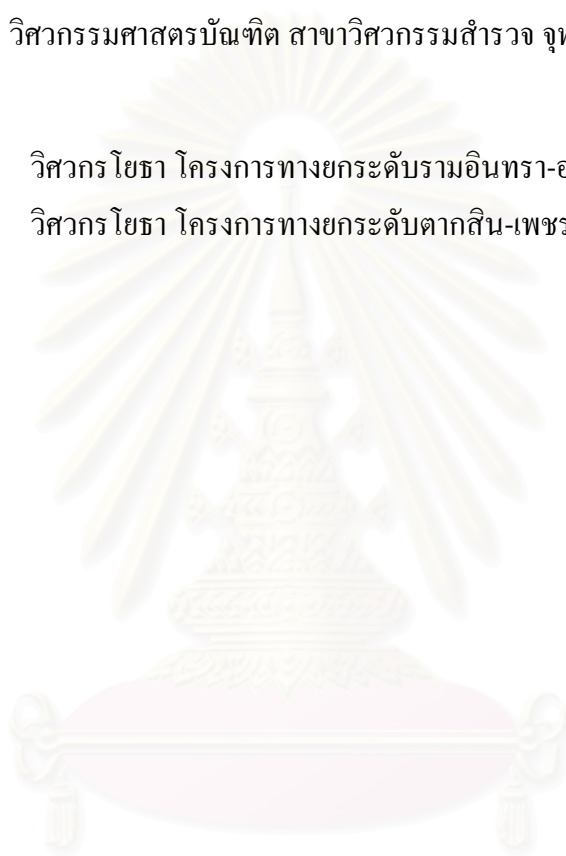
### ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2535-2538 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2539-2541 วิศวกรโยธา โครงการทางยกระดับรามอินทรา-อจณรงค์

พ.ศ. 2541-2544 วิศวกรโยธา โครงการทางยกระดับตากสิน-เพชรเกษม ตอนที่2



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย