

การค้นหาสีรุกล้ำตามแนวเขตเดินสายส่งไฟฟ้าแรงสูง
โดยใช้เทคนิคการปรับแก้เชิงคลื่นแบบสัมพันธ์ข้อมูลภาพดาวเทียม

ENCROACHMENT DETECTION ON ELECTRIC TRANSMISSION RIGHTS-OF-WAYS
USING RELATIVE RADIOMETRIC NORMALIZATION TECHNIQUE

เรืองยุทธ เรืองสกุล
RAUNGYUDH RAUNGSAKUN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของกรณีศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KIWIPL-2009-EN-M-010-171

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การค้นหาลิงก์ตามแนวเขตเดินสายส่งไฟฟ้าแรงสูง
โดยใช้เทคนิคการปรับแก้เชิงคลื่นแบบสัมพัทธ์ข้อมูลภาพดาวเทียม

**ENCROACHMENT DETECTION ON ELECTRIC TRANSMISSION RIGHTS-OF-WAYS
USING RELATIVE RADIOMETRIC NORMALIZATION TECHNIQUE**



T105515

เรียงยุทธ เรียงสกุล

RAUNGYUDH RAUNGSAKUN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **105515**
วัน,เดือน,ปี..... **2.6 พ.ย. 2552**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2552

KMITL 2009-EN-M-010-171

**ENCROACHMENT DETECTION ON ELECTRIC TRANSMISSION RIGHTS-OF-WAYS
USING RELATIVE RADIOMETRIC NORMALIZATION TECHNIQUE**

RAUNGYUDH RAUNGSAKUN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

KMITL 2009-EN-M-010-171

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การค้นหาสิ่งรบกวนตามแนวเขตเดินสายส่งไฟฟ้าแรงสูงโดยใช้เทคนิคการปรับแก้เชิงคลื่นแบบสัมพัทธ์ข้อมูลภาพดาวเทียม

Thesis Title Encroachment Detection on Electric Transmission Rights-of-ways Using Relative Radiometric Normalization Technique

นักศึกษา นายเรืองบุษย์ เรืองสกุล

รหัสประจำตัว 47061073

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.บุษย์พงษ์ รังสรรค์เสรี

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-010-171

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.สิริภพ	ผู้ประภาษ	
ดร.มนตรี	ค่าเงิน	
รศ.จิระศักดิ์	ชาญวุฒิชัยธรรม	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาถิพงษ์	
รศ.ดร.บุษย์พงษ์	รังสรรค์เสรี	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2552 เวลา 13.00-15.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2552

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจล.
วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
วันที่ 30 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2552
ลงชื่อ 

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การค้นหาลักษณะรูปร่างตามแนวเขตเดินสายส่งไฟฟ้าแรงสูงโดยใช้เทคนิคการปรับแก้เชิงคลื่นแบบสัมพัทธ์ ข้อมูลภาพดาวเทียม
นักศึกษา	นายเรืองยุทธ เรืองสกุล
รหัสนักศึกษา	47061073
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอวิธีนำข้อมูลภาพดาวเทียมขนาดเต็มภาพมาตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินโดยใช้เทคนิคการปรับแก้เชิงคลื่นแบบสัมพัทธ์ โดยการนำเอาช่วงคลื่นมาลบกัน รวมทั้งวิเคราะห์หาขอบเขตการเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดินที่เหมาะสมในแต่ละแบนด์ (Optimum Threshold) ในการศึกษา ใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียมไอโคโนส ซึ่งครอบคลุมพื้นที่แนวสายส่งไฟฟ้าของฝ่ายปฏิบัติการเขตภาคเหนือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยคือแนวสายส่งไฟฟ้า ลำพูน 2 - เชียงใหม่ 2 และเชียงใหม่ 2 - แม่แตง 2 แนวสายส่งดังกล่าวพาดผ่านพื้นที่หลายลักษณะ เช่น พาดผ่านพื้นที่ชุมชน ซึ่งเป็นบริเวณที่มักจะมีการบุกรุกแนวเขตเดินสายส่งไฟฟ้าเกิดขึ้นเป็นประจำ ข้อมูลภาพดาวเทียมดังกล่าวมีลักษณะการบันทึกสองช่วงเวลาคือ เมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2547 และวันที่ 19 มีนาคม 2548 วิธีการคือ นำข้อมูลภาพที่บันทึกในปี 2548 มาผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงคลื่นแบบสัมพัทธ์ หลังจากนั้น นำข้อมูลภาพที่บันทึกในปี 2547 มาลบออก ผลลัพธ์ที่ได้เป็นข้อมูลภาพผลต่าง (Image differencing) และนำภาพผลต่างนั้นไปทำการวิเคราะห์หาความเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดินที่เกิดขึ้น ในการสำรวจภาคสนามจากการศึกษานี้ ได้มีการกำหนดตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินไว้จำนวน 103 จุดครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ผลการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของประเภทสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณาจากค่าความถูกต้องทั้งหมด (Overall Accuracy) ในแต่ละแบนด์ พบว่า มีค่าความถูกต้องทั้งหมด อยู่ในช่วงร้อยละ 74.0 – 81.3 ยกเว้นในแบนด์ที่ 4 ที่มีค่าความถูกต้องทั้งหมดเป็น ร้อยละ 71 แสดงว่าการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงคลื่นแบบสัมพัทธ์แล้ว ให้ผลการตรวจหาการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินได้ดีกว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงคลื่น

Thesis Title	Encroachment Detection on Electric Transmission Rights-of-ways Using Relative Radiometric Normalization Technique
Student	Mr. Raungyudh Raungsakun
Student ID.	47061073
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Yuttapong Rangsanseri

ABSTRACT

The main objectives of the thesis are to evaluate the high resolution satellite imagery such as multi-temporal IKONOS data were utilized for this study. The relative radiometric normalization technique for change detection in large area by image differencing. The suitability of change in ground reflectance for each band is identified and analyzed. The study used IKONOS images covering EGAT 's Transmission Line in the northern region of Thailand, acquired on march 30th 2004 and march 19th 2005. The relative radiometric normalization technique is performed to the image 2005. Then the image 2004 is used to subtract from image 2005 in the image differencing process. The image differencing result is then analyzed to identify the change detection of ground reflectance. The total number of changing checkpoints is 103 points spread all over the study area. The result of change detection in large area by image differencing when considering overall accuracy in each band yields the accuracy of 74.0- 81.3 % except for band 4 with the accuracy of 71.16% when considering. When considering the two accuracies, it can be concluded that the correction of satellite image by relative radiometric normalization technique gives better result than the image without relative radiometric correction.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ. ดร. ยุทธพงษ์ รั้งสรรเสรี ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์, ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน อาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือ ตลอดจนข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษา และบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เรื่องยุทธ เรื่องสกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 พื้นฐานของรีโมตเซนซิง.....	5
2.1 หลักการของรีโมตเซนซิง.....	5
2.2 คุณลักษณะของการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า.....	6
2.3 คุณลักษณะการเคลื่อนที่แบบคลื่น.....	6
2.4 คุณลักษณะการเคลื่อนที่แบบอนุ.....	7
2.5 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัตถุและพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า.....	7
2.6 ย่านความยาวคลื่นของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า.....	9
2.7 การแยกประเภทของรีโมตเซนซิงตามย่านความยาวคลื่น.....	11
2.8 การแผ่รังสีของเทห์วัตถุดำ.....	13
2.9 ค่าการสะท้อน.....	16
2.10 ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของสิ่งปกคลุมดิน.....	17
2.11 คุณลักษณะเชิงคลื่นของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์.....	18
2.12 ค่าการส่งผ่านของชั้นบรรยากาศ.....	21
2.13 อุปกรณ์รับรู้.....	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.14 อุปกรณ์รับรู้แบบแพสซีฟและแบบแอ็กทีฟ.....	23
2.15 ระบบกวาดภาพหลายช่วงคลื่น.....	24
2.16 ความละเอียดภาคพื้นดินและจุดภาพ.....	25
2.17 ระบบถ่ายภาพเรดาร์.....	25
2.18 คุณลักษณะข้อมูลดาวเทียม.....	30
2.19 วิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม.....	34
2.20 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร.....	35
2.21 ดาวเทียม LANDSAT.....	36
2.22 ดาวเทียม SPOT.....	39
2.23 ดาวเทียม QUICKBIRD	43
2.24 นโยบายด้านดาวเทียมสำรวจพิภพความละเอียดสูง.....	44
2.25 ข้อพิจารณาเกี่ยวกับความละเอียดเชิงพื้นที่.....	46
2.26 การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมในประเทศไทย.....	49
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	53
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	53
3.1.1 พื้นที่ศึกษา.....	53
3.1.2 ข้อมูลภาพดาวเทียม 2 ช่วงเวลา.....	53
3.2 การแปลงค่าพิกัดข้อมูลภาพไปสู่พิกัดภูมิศาสตร์ของข้อมูลภาพอ้างอิง และข้อมูลภาพ ที่ต้องการแก้ไข.....	54
3.3 การปรับแก้เชิงคลื่นสัมพันธ์ของข้อมูลภาพดาวเทียมโดยวิธีสมการถดถอยเชิงเส้น.....	55
3.4 การสร้างข้อมูลภาพผลต่างโดยใช้เทคนิคการนำเอาช่วงคลื่นมาลบกัน.....	60
3.5 การประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน.....	63
3.5.1 การกำหนดตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินเกิดขึ้น ในข้อมูลภาพผลต่าง.....	63
3.5.2 การสำรวจข้อเท็จจริงในสนาม.....	63

3.5.4 การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบประเภทของสิ่งปกคลุมดิน.....	63
3.6 วิเคราะห์หาขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทที่เหมาะสม..	63
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	63
3.8 การประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน ในพื้นที่ขนาดใหญ่.....	63
3.8.1 การประเมินค่าความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลง ของสิ่งปกคลุมดินและการหาขอบเขตการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสม ของข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่นแล้ว....	63
3.8.2 การประเมินค่าความถูกต้องในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลง ของสิ่งปกคลุมดินและการหาขอบเขตการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสม ของข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ไม่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่น.....	
บทที่ 4 บทสรุป.....	64

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงชื่อย่อความยาวคลื่นต่างๆ ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า.....	10
2.2 คุณลักษณะของดาวเทียมชุด LANDSAT.....	38
2.3 อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมชุด LANDSAT.....	39
2.4 คุณลักษณะของดาวเทียมชุด SPOT.....	41
2.5 อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมชุด SPOT.....	42
2.6 อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียม QUICKBIRD.....	43
2.7 ตารางรายละเอียดดาวเทียมสำรวจพิภพความละเอียดค่อนข้างสูงมากที่ส่งขึ้นสู่วงโคจร และที่วางแผนไว้.....	47
3.1 แสดงค่าสะท้อนพลังงานของวัตถุที่ใช้เป็นเป้า (Target) ในการทำการปรับแก้เชิงคลื่น ของข้อมูลภาพ 2 ช่วงเวลา.....	56
3.2 จำนวนจุดตรวจสอบและความถูกต้องของสิ่งปกคลุมดินในปัจจุบันเมื่อเปรียบเทียบ กับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ.2548.....	65

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การสำรวจข้อมูลโดยวิธีการรีโมตเซนซิง.....	5
2.2 ขั้นตอนรีโมตเซนซิง.....	6
2.3 การแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า.....	7
2.4 การเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจน เนื่องจากการดูดกลืนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น λ_{II}	10
2.5 แบบคต่างๆ ที่ใช้ในรีโมตเซนซิง.....	11
2.6 ประเภทของรีโมตเซนซิงที่สัมพันธ์กับย่านความยาวคลื่น รวม 3 ประเภท.....	12
2.7 กฎการแผ่รังสีของเพลงค์.....	13
2.8 ตัวแผ่รังสีประเภทต่างๆ.....	14
2.9 ค่าการสะท้อนและตัวประกอบค่าการสะท้อน.....	15
2.10 ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของพืชพรรณ.....	15
2.11 ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของพืชพรรณ ดิน และน้ำ.....	16
2.12 ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของใบไม้สีเขียวและการดูดกลืนของน้ำ.....	16
2.13 ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของพืชชนิดต่างๆ.....	16
2.14 ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของหินและแร่ชนิดต่างๆ.....	16
2.15 ค่ารังสีตกกระทบของดวงอาทิตย์ ณ ยอดชั้นบรรยากาศ.....	20
2.16 การเปรียบเทียบค่ารังสีตกกระทบเชิงคลื่นของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเลกับการแผ่รังสีของเทหวัตถุ.....	20
2.17 ค่าการส่งผ่านของชั้นบรรยากาศ.....	21
2.18 คุณลักษณะของค่าการดูดกลืนในย่านอินฟราเรดโดยโมเลกุลในชั้นบรรยากาศ.....	21
2.19 ค่าการส่งผ่านของชั้นบรรยากาศโดยได้รับอิทธิพลจากการดูดกลืน และการกระจัดกระจายสำหรับแบบจำลองบรรยากาศ “สะอาด” ตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกา.....	22
2.20 ลักษณะการบันทึกข้อมูลของระบบกวาดหลายช่วงคลื่น.....	24
2.21 แสดงหลักการทำงานของ Slide Looking Airborne Radar (SLAR).....	26
2.22 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง θ, β และ ϕ	27
2.23 แสดงความละเอียดของระบบถ่ายภาพเรดาร์.....	27
2.24 ไดอะแกรมแสดงระบบ RAR และ SAR.....	29
2.25 แสดงโนโมแกรมสำหรับความยาว / ความถี่ และตัวอักษรที่ให้กับแบนด์ของเรดาร์.....	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 การซ้อนทับกันของเมฆสี.....	32
2.27 ภาพจากดาวเทียม LANDSAT 7 ระบบ EMT+7 ช่วงคลื่น (แบนด์) บริเวณ จ.ชลบุรี.....	32
2.28 ตัวอย่างภาพสีผสมของข้อมูลดาวเทียม.....	33
2.29 ภาพจากดาวเทียม LANDSAT 7 ระบบ ETM+ (แบนด์ 5 4 3 – แดง เขียว น้ำเงิน) วันที่ 24 มกราคม พ.ศ.2545 บริเวณบางกระเจ้า กรุงเทพมหานคร.....	37
2.30 แสดงความสามารถในการแยกแยะเป้าต่าง ๆ จากระดับความละเอียดของการถ่ายภาพ ด้วยดาวเทียม.....	46
2.31 รัศมีครอบคลุมของสถานีรับสัญญาณภาพพื้นดินของไทย.....	50
2.32 สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยา ศาสตร์และเทคโนโลยี.....	51
3.1 ภาพดาวเทียมรายละเอียดสูง 30 มี.ค. 2547.....	54
3.2 ภาพดาวเทียมรายละเอียดสูง 19 มี.ค. 2548.....	54
3.3 ก Red Band.....	57
3.3 ข Green Band.....	57
3.3 ค Blue Band.....	58
3.3 ง NIR Band.....	58
3.3 จ Panchromatic.....	59
3.4 การปรับแก้เชิงคลื่น โดยใช้ฟังก์ชัน Spatial Modal.....	59
3.5 ข้อมูลที่ปรับแก้เชิงคลื่นแล้ว.....	60
3.6 ก ข้อมูลภาพที่ผ่านกระบวนการปรับแก้คลื่นแล้ว.....	61
3.7 ข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ไม่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่น.....	62
3.8 ข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่น.....	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการ

กฟผ. มีสายส่งพลังงานไฟฟ้าแรงสูงที่มีความยาวรวมมากกว่า 30,000 วงจรกิโลเมตรแนวสายส่งเหล่านี้พาดผ่านภูมิประเทศในลักษณะต่างๆ ทั่วประเทศ ทั้งส่วนที่เป็นภูเขา ป่า ทุ่งนา ที่ราบ เขตเมือง ซึ่งในหลายพื้นที่ การเข้าถึงแนวสายส่งเป็นเรื่องยากยิ่ง ดังนั้นหากจำเป็นต้องทำการสำรวจเพื่อตรวจสอบและติดตามการบุกรุกแนวสายส่ง โดยใช้วิธีการสำรวจภาคพื้นดิน จะเป็นงานที่สิ้นเปลืองกำลังคน เวลา และค่าใช้จ่ายเป็นอย่างยิ่ง เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับงานในลักษณะนี้อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล เพื่อตรวจสอบติดตามการบุกรุกแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูง มีประเด็นเฉพาะที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ กล่าวคือ การบุกรุกส่วนใหญ่มีขนาดเล็กเกิดตามขอบแนวสายส่งในบริเวณเขตเมืองหรือใกล้เขตเมือง ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล จึงจำเป็นต้องเป็นข้อมูลที่มีรายละเอียดทางตำแหน่งสูง (High Spatial Resolution) ในระดับอย่างน้อย 2–3 เมตร หรือดีกว่า เพื่อให้สามารถบ่งชี้และตีความหมายได้ว่าการบุกรุกที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะใด มีความเสี่ยงต่อความมั่นคงปลอดภัยของระบบส่งไฟฟ้ามากน้อยเพียงไร และมีความเร่งด่วนที่จะต้องดำเนินการแก้ไขเพียงไร เช่น สิ่งก่อสร้างที่มีความสูงไม่มาก เป็นอาคารที่มีความสูง เป็นลาน เป็นพื้นที่เพาะปลูก และอื่นๆ ฯลฯ ดังนั้น ข้อมูลการสำรวจระยะไกลที่สามารถใช้งานได้จึงถูกจำกัดเหลือเพียงภาพถ่ายทางอากาศ หรือในกรณีที่เป็นภาพถ่ายดาวเทียมจะต้องเป็นภาพรายละเอียดสูง (High-Resolution Satellite Imageries) เช่น ภาพจากดาวเทียม IKONOS ซึ่งมีรายละเอียดจุดภาพ 1 เมตร ในโหมด Panchromatic และ 4 เมตรในโหมด Multispectral หรือภาพจากดาวเทียม Quick bird (0.6 เมตร ในโหมด Panchromatic) เป็นต้นภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ เช่น Land sat 5 ซึ่งมีรายละเอียดจุดภาพ 30 เมตรภาพถ่ายดาวเทียม Land sat 7 (รายละเอียดจุดภาพ 15 เมตร), Aster, Spot ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ การที่จะตรวจสอบในขั้นต้น เพื่อให้ทราบว่าสิ่งปลูกสร้างล้ำเข้ามาในแนวเขตสายส่งหรือไม่จำเป็นต้องทราบพิกัดตำแหน่งทั้งของสิ่งปลูกสร้างและแนวเขตที่มีความถูกต้องทางตำแหน่งที่จะยืนยันได้ เพื่อลดความจำเป็นที่จะต้องออกไปตรวจในพื้นที่จริงทุกครั้งที่เกิดข้อสงสัย เทคนิคโดยทั่วไปที่ใช้กันคือการซ้อนทับ (Overlay) แนวสายส่งกับภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมข้อมูลภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน

1.2.2 เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาขอบเขตของความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลภาพที่เหมาะสม (Optimum Threshold)

1.2.3 เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้เทคนิคการปรับแก้เชิงคลื่นสัมพันธ์ (Relative Radiometric Normalization)

1.2.4 เพื่อศึกษาแนวทางการนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) มาประยุกต์ใช้งานในการสำรวจข้อมูลสิ่งปลูกสร้างที่รुकล้าแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงโดยเชื่อมโยงกับข้อมูลอ้างอิงจุดพิกัดทางภูมิศาสตร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาวิจัยการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินบนพื้นที่ที่ทำการวิจัย โดยการใช้เทคนิคการปรับแก้เชิงคลื่นสัมพันธ์ เพื่อตรวจหาความเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยการนำเอาช่วงคลื่นมาลบกััน

1.3.2 ทำการตรวจสอบข้อมูลข้อเท็จจริงของสิ่งปกคลุมดินในปัจจุบันของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS บันทึกภาพเมื่อวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ.2548 ครอบคลุมพื้นที่ ประมาณ 47 ตารางกิโลเมตร ตามแนวสายส่ง 115 kV CM2-MTG (จุดสำรวจด้านทิศเหนือ สฟ.เชียงใหม่ 2 จ.เชียงใหม่) และแนวสายส่ง 115 kV LN2-CM2 (จุดสำรวจด้านทิศใต้ สฟ.เชียงใหม่ 2 จ.เชียงใหม่) (แผนที่ 1) โดยจุดที่ใช้ในการตรวจสอบข้อเท็จจริงนี้เป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดิน เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมชนิดเดียวกันที่บันทึกภาพเมื่อวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ.2547 ซึ่งทางคณะผู้วิจัยใช้จุดตรวจสอบทั้งสิ้น จำนวนประมาณ 103 จุด

1.3.3 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสองช่วงเวลา

1.3.3.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS บันทึกภาพเมื่อวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ.2548 แบนด์ที่ 1-4 และแบนด์ Panchromatic ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 47 ตารางกิโลเมตร เป็นภาพอ้างอิงที่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) ให้อยู่ในระบบพิกัดเดียวกันกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่บันทึกภาพวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ.2547

1.3.3.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS บันทึกภาพเมื่อวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ.2548 แบนด์ที่ 1-4 และแบนด์ Panchromatic ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 47 ตารางกิโลเมตร เป็นภาพอ้างอิงที่ต้องการปรับแก้เชิงคลื่น โดยข้อมูลภาพดังกล่าวเป็นข้อมูลภาพที่ผ่านการแปลงค่าพิกัดภาพไปสู่พิกัดภูมิศาสตร์ (Georeference) แล้วโดยทำการปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric

Correction) ให้อยู่ในระบบพิกัดเดียวกันกับข้อมูลภาพดาวเทียม ที่บันทึกภาพวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ.2547

1.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1.3.4.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium 4 ความเร็ว 1.4 G ,HDD 140 GB

1.3.4.2 ซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพ ERDAS IMAGINE Version 8.5 สำหรับใช้แปลงค่าพิกัดข้อมูลภาพไปสู่พิกัดภูมิศาสตร์ของข้อมูลภาพอ้างอิงและข้อมูลภาพที่ต้องการแก้ไข ใช้ปรับแก้เชิงคลื่นสัมพันธ์ข้อมูลภาพและใช้สร้างข้อมูลภาพผลต่าง เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์หาความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

1.4.1 การแปลงค่าพิกัดข้อมูลภาพไปสู่พิกัดภูมิศาสตร์ของข้อมูลภาพอ้างอิงและข้อมูลภาพที่ต้องการแก้ไข (Image to Image Registration)

1.4.2 การปรับแก้เชิงคลื่นสัมพันธ์ของข้อมูลภาพ โดยวิธีสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Normalization)

1.4.3 การสร้างข้อมูลภาพผลต่าง โดยใช้เทคนิคการนำช่วงคลื่นมาลบกัน (Image Differencing) กำหนดตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดินเกิดขึ้น และวิเคราะห์หาขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินที่เหมาะสม

1.4.4 การประเมินความถูกต้องในการตรวจหา ความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน เป็นการประเมินความถูกต้องในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน โดยเปรียบเทียบผลการตรวจสอบประเภทของสิ่งปกคลุมดิน ระหว่างข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมกับข้อมูลข้อเท็จจริงที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดิน ณ ตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดินเกิดขึ้น ซึ่งเมื่อได้ค่าความถูกต้องในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดินแล้ว จะสามารถวิเคราะห์หาแบนด์ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมแต่ละประเภทต่อไป

1.4.5 สรุปและเปรียบเทียบผลการประเมินความถูกต้องในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดินแบ่งออกเป็นสองส่วน

1.4.5.1 การประเมินความถูกต้องในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน จากข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่นแล้ว โดยเปรียบเทียบกับผลการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินที่เกิดขึ้นจริง โดยใช้ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศและข้อมูลข้อเท็จจริงที่ได้จากการสำรวจสภาพพื้นที่ที่เกิดขึ้นจริงในปัจจุบัน

1.4.5.2 เปรียบเทียบผลการประเมินความถูกต้องในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน ระหว่างข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่นแล้ว กับข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ไม่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงศักยภาพของแนวทางการวิเคราะห์หาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ขนาดใหญ่โดยใช้เทคนิคการปรับแก้เชิงคลื่นสัมพัทธ์

1.5.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ได้แนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงของ กฟผ. เนื่องจากปัจจุบันการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินด้วยภาพดาวเทียมส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ของที่ดิน การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ การตัดไม้ทำลายป่า การเปลี่ยนแปลงทางเกษตรกรรม และอื่นๆ เป็นต้น

1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ประกอบด้วย

1.6.1 บทคัดย่อ

1.6.2 บทที่ 1 บทนำและวัตถุประสงค์โครงการ

1.6.3 บทที่ 2 พื้นฐานของรีโมตเซนซิง และการวิเคราะห์ภาพดาวเทียมสำรวจทรัพยากร

1.6.4 บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.5 บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

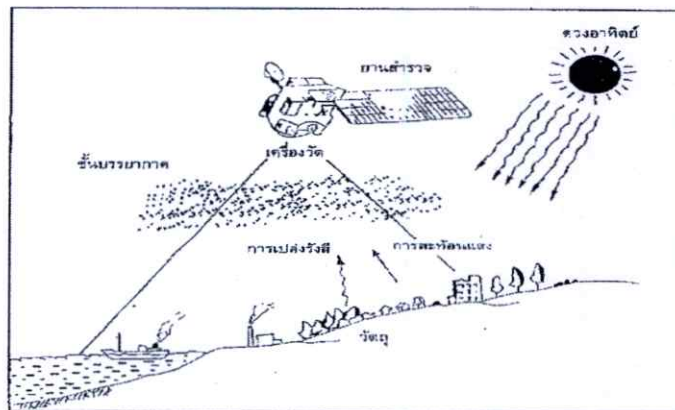
พื้นฐานของรีโมตเซนซิง

2.1 หลักการของรีโมตเซนซิง

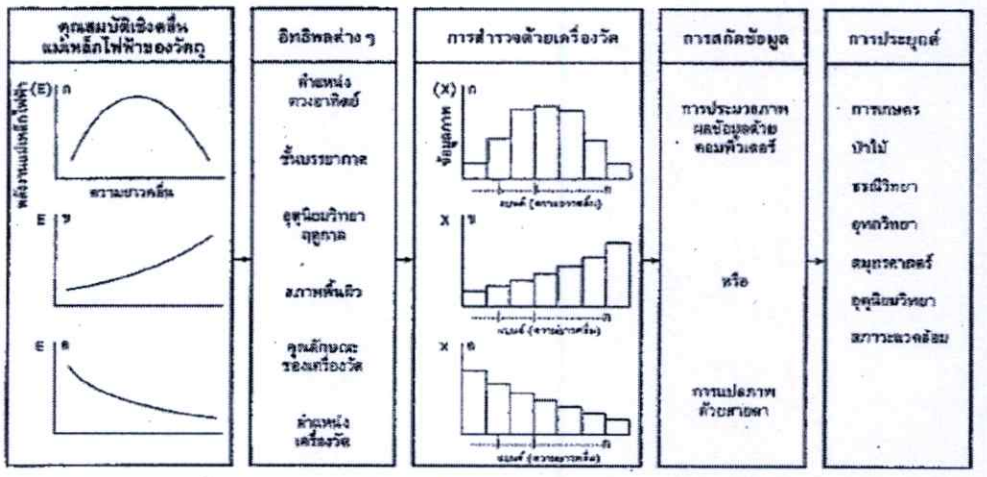
รีโมตเซนซิง (Remote Sensing) หรือการรับรู้ระยะไกล เป็นวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแขนงหนึ่ง ที่ใช้ในการบันทึกคุณลักษณะของวัตถุต่างๆ ในการสะท้อน และ/หรือการแผ่รังสีพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า โดยปราศจากการสัมผัสโดยตรง “รีโมตเซนซิง” เป็นศัพท์เทคนิค ที่ใช้เป็นครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกา ใน พ.ศ.2503 ซึ่งมีความหมายรวมถึงการทำแผนที่ การแปลภาพถ่าย ธรณีวิทยาเชิงภาพถ่าย ฯลฯ การใช้คำรีโมตเซนซิง เริ่มแพร่หลายนับตั้งแต่ได้มีการส่งดาวเทียม LANDSAT 1 ซึ่งเป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติดวงแรกขึ้นใน พ.ศ.2515

เราสามารถหาคุณลักษณะของวัตถุ ได้จากลักษณะการสะท้อน หรือการแผ่รังสีพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า จากวัตถุนั้นๆ คือ “วัตถุแต่ละชนิดจะมีลักษณะการสะท้อนแสง หรือการแผ่รังสีที่เฉพาะตัว และแตกต่างกันไป ถ้าวัตถุหรือสภาพแวดล้อมเป็นคนละประเภทกัน” รีโมตเซนซิง จึงเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการจำแนกและเข้าใจวัตถุหรือสภาพแวดล้อมต่างๆ จากลักษณะเฉพาะตัวในการสะท้อนแสงหรือแผ่รังสี

หลักการนี้แสดงด้วยรูปที่ 2.1 ส่วนรูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนรีโมตเซนซิง โดยยกตัวอย่างวัตถุ 3 ประเภท ที่ตรวจวัดโดยเครื่องวัดที่ใช้แถบคลื่น หรือแบนด์ (Band) ที่ให้คุณลักษณะทางพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ต่างกัน ตลอดจนอิทธิพลต่างๆ ที่มีต่อสัญญาณคลื่น ข้อมูลที่รับรู้ระยะไกลเหล่านี้ จะผ่านกระบวนการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ และ/หรือ การแปลด้วยสายตา แล้วจึงนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการศึกษา การใช้ที่ดิน ป่าไม้ ธรณีวิทยา อุทกวิทยา สมุทรศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา และสภาวะแวดล้อม ฯลฯ



รูปที่ 2.1 การสำรวจข้อมูลโดยวิธีการรีโมตเซนซิง



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนรีโมตเซนซิง

2.2 คุณลักษณะของการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

การแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (electro-magnetic radiation) เป็นการนำพาพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการส่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านอวกาศหรือสารอื่นๆ การส่งผ่าน (Transmission) พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้างดกล่าว เป็นไปตามสมการแมกซ์เวล (Maxwell's equation) การแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้านี้ มีคุณลักษณะที่เป็นทั้งการเคลื่อนที่ในลักษณะคลื่น และในลักษณะอนุ

2.3 คุณลักษณะการเคลื่อนที่แบบคลื่น

เราสามารถอธิบายการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าได้ในลักษณะการตัดผ่านของคลื่น ซึ่งประกอบด้วย สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของระนาบคลื่น ซึ่งมีทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ นอกจากนี้สนามทั้งสอง ยังตั้งฉากซึ่งกันและกันอีกด้วย ความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวคลื่น (Wavelength) λ , ความถี่ (frequency) f และความเร็ว (velocity) v เป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\lambda = c/f$$

พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า เคลื่อนที่ไปในอวกาศด้วยความเร็วของแสง ($c = 2.998 \times 10^8$ เมตร/วินาที) และในชั้นบรรยากาศด้วยความเร็วที่ลดลง แต่มีความเร็วเทียบเท่ากับการเคลื่อนที่ในสุญญากาศ ความถี่มีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์ (Hertz: Hz) ซึ่งหมายถึง จำนวนของคลื่นที่เคลื่อนไปในหนึ่งวินาที

2.4 คุณลักษณะการเคลื่อนที่แบบอนุ

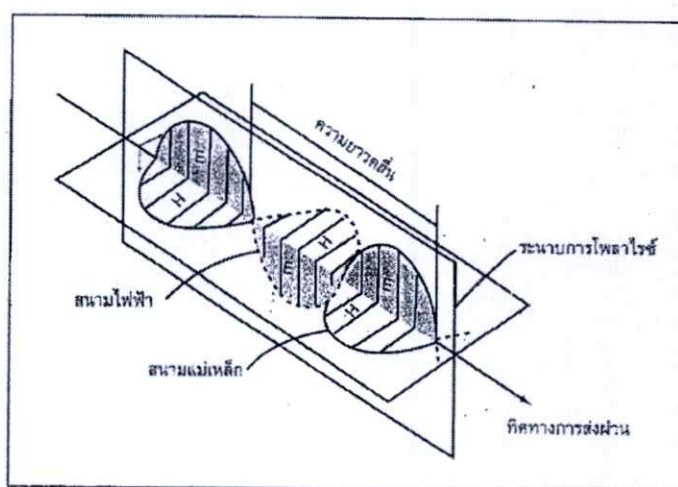
แม่เหล็กไฟฟ้ามีคุณสมบัติเป็นโฟตอน หรือควอนตัมแสงพลังงาน E มีค่าเป็น

$$E = h\nu$$

โดยที่ h : ค่าคงที่พลังค์

ν : ความถี่

เราสามารถอธิบายผลเชิงโฟโตอิเล็กทริกส์ได้ โดยพิจารณาว่าการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบไปด้วยอนุภาคเล็กๆ การแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า จะประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ คือ ความถี่ (หรือความยาวคลื่น) ทิศทางการส่งผ่าน (transmission direction) ช่วงแกว่งของคลื่น (amplitude) และระนาบการโพลาไรซ์ (plane of polarization) ช่วงแกว่งของคลื่น คือ ขนาดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ค่าช่วงแกว่งของคลื่นยกกำลังสอง จะเป็นสัดส่วนกับพลังงานที่ส่งผ่านโดยการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานที่แผ่จากวัตถุหนึ่งๆ เรียกว่า พลังงานการแผ่รังสี (Redland energy) ระนาบของสนามไฟฟ้า เรียกว่า ระนาบการโพลาไรซ์ และหากระนาบการโพลาไรซ์รวมตัวเป็นระนาบเดียวกัน ก็จะเรียกว่าเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้น (linear polarization)



รูปที่ 2.3 การแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

2.5 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัตถุและพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

วัตถุใดๆ มีความสามารถสะท้อน ดูดกลืน ส่งผ่าน และแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าได้ในลักษณะเฉพาะตัว ดังเช่นการเห็นใบไม้เป็นสีเขียว ก็เพราะสารคลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงสีน้ำเงิน

และแดง ขณะที่สะท้อนแสงสีเขียว เราเรียกลักษณะเฉพาะตัวของวัตถุดังกล่าวว่า คุณลักษณะเชิงคลื่น (Spectral characteristic)

หากจะตอบคำถามที่ว่า ทำไมวัตถุจึงมีลักษณะการสะท้อน (Reflection) การดูดกลืน (absorption) หรือการเปล่งรังสี (emission) ที่ผิดแผกกันไปนั้น จำต้องทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลและอะตอมของวัตถุกับพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ในที่นี้จะได้อธิบายถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างอะตอมของก๊าซไฮโดรเจนกับการดูดกลืนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ

อะตอมของไฮโดรเจน ประกอบด้วยนิวเคลียสและอิเล็กตรอน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 สถานะภายใน (Inner state) ของอะตอม จะขึ้นอยู่กับระดับพลังงานธรรมชาติวิสัยหนึ่งๆ ระดับพลังงานจะเป็นตัวแปลงวงโคจรของอิเล็กตรอน ถ้าพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าไปตกกระทบอะตอมของไฮโดรเจน ที่ระดับพลังงาน (energy level) ต่ำ E_1 จะเกิดการดูดกลืนพลังงานและอิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้น (excitation) ให้ขยับไปที่ระดับพลังงาน E_2 ซึ่งอยู่ในระดับโคจรที่สูงขึ้น

พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า E มีค่าดังนี้

$$E = hc/\lambda$$

โดยที่ h : ค่าคงที่พลังค์
 C : ความเร็วแสง
 Λ : ความยาวคลื่น

พลังงานที่ถูกดูดกลืน คือ ค่าความแตกต่างของระดับพลังงาน

$$\Delta E = E_2 - E_1 = hc / \lambda_H$$

หรืออาจกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงสถานะภายในของอะตอมไฮโดรเจนจะเกิดก็ต่อเมื่อมีการดูดกลืนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นเฉพาะ λ_H ในทางกลับกัน จะเกิดการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่น λ_H จากอะตอมไฮโดรเจน เมื่อมีการเปลี่ยนระดับพลังงานจาก E_2 ไป E_1

วัตถุต่างๆ จะประกอบด้วย อะตอมและโมเลกุลในรูปแบบเฉพาะ แตกต่างกันไป ดังนั้นจึงมีการเปล่งและดูดกลืนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นเฉพาะตามสถานะภายในของวัตถุ

2.6 ย่านความยาวคลื่นของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

ย่านความยาวคลื่นต่างๆ ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้ามีชื่อเรียกต่างๆ ตั้งแต่ รังสีแกมมา (gamma) รังสีเอ็กซ์ (X-ray) อัลตราไวโอเลต (ultraviolet : UV) แสงตามองเห็น (visible light) อินฟราเรด (infrared : IR) จนถึงคลื่นวิทยุ (radio wave) จากความยาวคลื่นสั้นไปจนถึงคลื่นยาวตามลำดับ ยิ่งความยาวคลื่นสั้นเท่าใด พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้ายิ่งจะสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของอนุภาคทั้งในเชิงเส้นและทิศทางมากยิ่งขึ้น

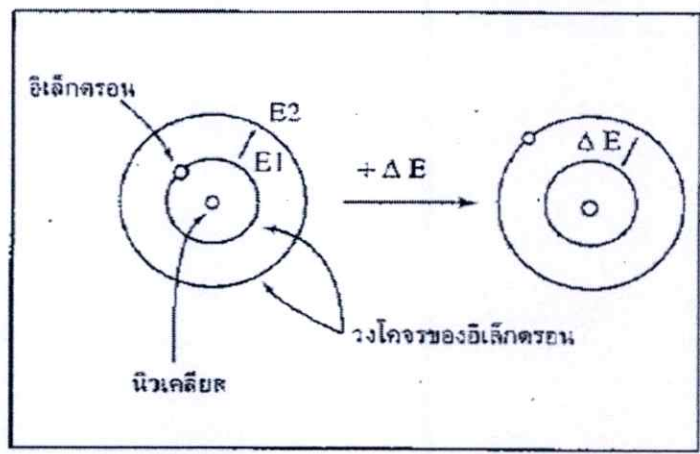
ตารางที่ 2.1 แสดงชื่อย่อความยาวคลื่นต่างๆ ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า มีสิ่งที่น่าสนใจก็คือ การแยกประเภทของรังสีอินฟราเรดและคลื่นวิทยุอาจจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับแขนงวิชาการนั้นๆ ตามที่แสดงในตารางเป็นตัวอย่างที่รู้จักกันทั่วไปในสาขาリモテネシ

ย่านพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในリモテネシ ได้ช่วงคลื่นอินฟราเรดไกล (0.3 - 0.4 ไมโครเมตร) ช่วงคลื่นตามองเห็น (0.4 - 0.7 ไมโครเมตร) ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (near infrared) อินฟราเรดคลื่นสั้น (short wave infrared) อินฟราเรดความร้อน (thermal infrared) (0.7 - 14 ไมโครเมตร) และช่วงคลื่นไมโครเวฟ (microwave) (1. มิลลิเมตร - 1 เมตร)

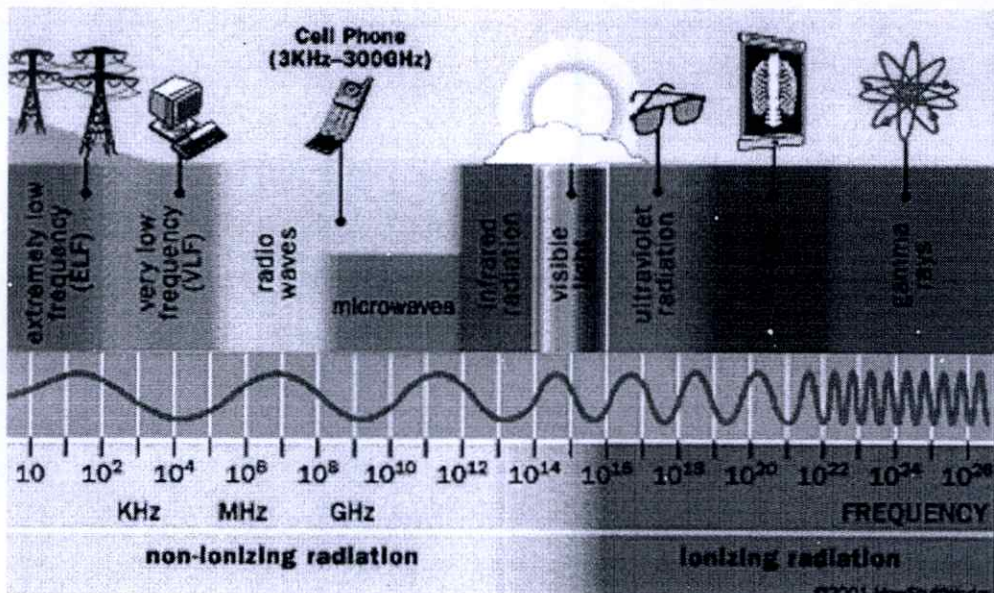
รูปที่ 2.5 แสดงแถบคลื่นที่ใช้ในリモテネシ ย่านแสงในช่วงอินฟราเรดใกล้ และอินฟราเรดคลื่นสั้น ในบางครั้งจะเรียกว่า อินฟราเรดช่วงสะท้อน (reflective infrared) (0.7 - 3 ไมโครเมตร) เพราะเป็นย่านที่ได้รับอิทธิพลจากการสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มากกว่าเกิดจากการแผ่รังสีพื้นโลก ในย่านอินฟราเรดความร้อน พลังงานส่วนใหญ่จะได้อาจจากการแผ่รังสีของพื้นผิว โดยมีอิทธิพลจากการสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์น้อยมาก

ช่วงคลื่นตามองเห็นจะสัมพันธ์กับสีต่างๆ ซึ่งเมื่อเรียงลำดับจากความยาวคลื่นในย่านตามองเห็น จะได้ลำดับเป็นสีรุ้ง คือ แดง ส้ม เหลือง เขียว น้ำเงิน คราม และม่วง ตามลำดับจากคลื่นยาวไปจนคลื่นสั้น

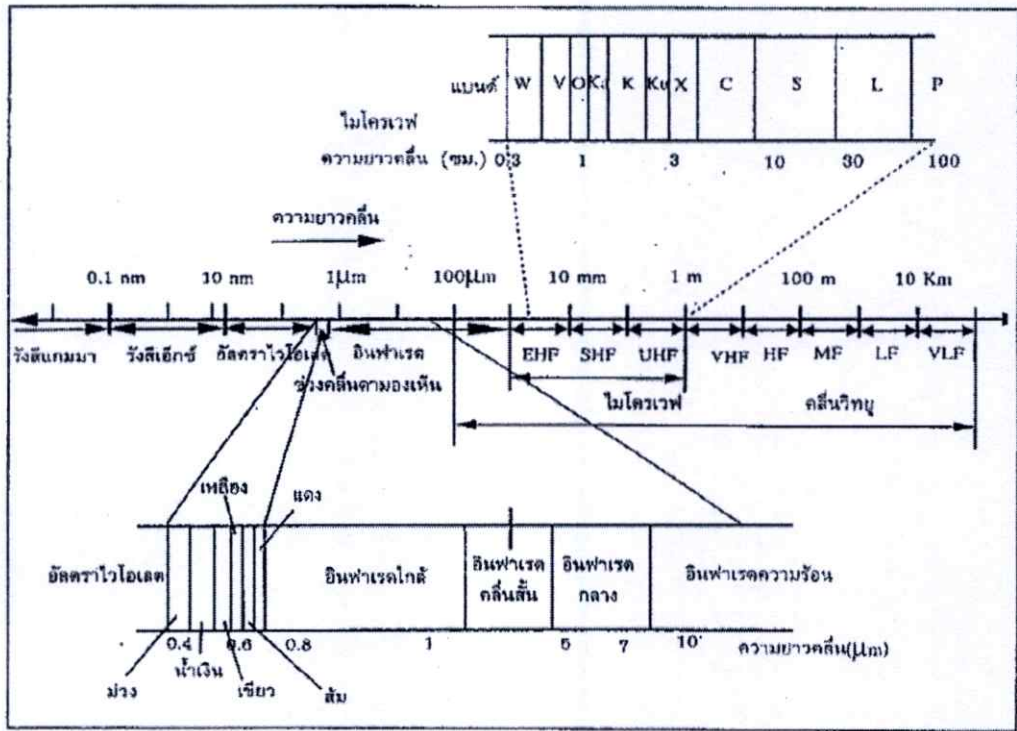
อินฟราเรดคลื่นสั้นได้ถูกนำมาใช้ทางธรณีวิทยาเมื่อไม่นานมานี้ เพื่อจำแนกประเภทหินส่วนคลื่นอินฟราเรดความร้อนนั้น ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิว ในขณะที่ไมโครเวฟมีประโยชน์ในการถ่ายภาพเรดาร์ และไมโครเวฟ สำหรับในย่านไมโครเวฟมักมีการให้ชื่อเฉพาะ เช่น แบนด์ K, แบนด์ X, แบนด์ C และแบนด์ L เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 ก การเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจน เนื่องจากการดูดกลืนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น λ ,,



รูปที่ 2.4 ข. แสดงความยาวคลื่นต่างๆ ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.5 แบนด์ต่าง ๆ ที่ใช้ในรีโมตเซนซิง

2.7 การแยกประเภทของรีโมตเซนซิงตามย่านความยาวคลื่น

เราสามารถจำแนกรีโมตเซนซิงตามย่านความยาวคลื่นออกได้เป็น 3 ประเภท (รูปที่ 2.6) ได้แก่

1. รีโมตเซนซิงย่านแสงตามองเห็นและอินฟราเรดสะท้อน
2. รีโมตเซนซิงย่านอินฟราเรดความร้อน
3. รีโมตเซนซิงย่านไมโครเวฟ

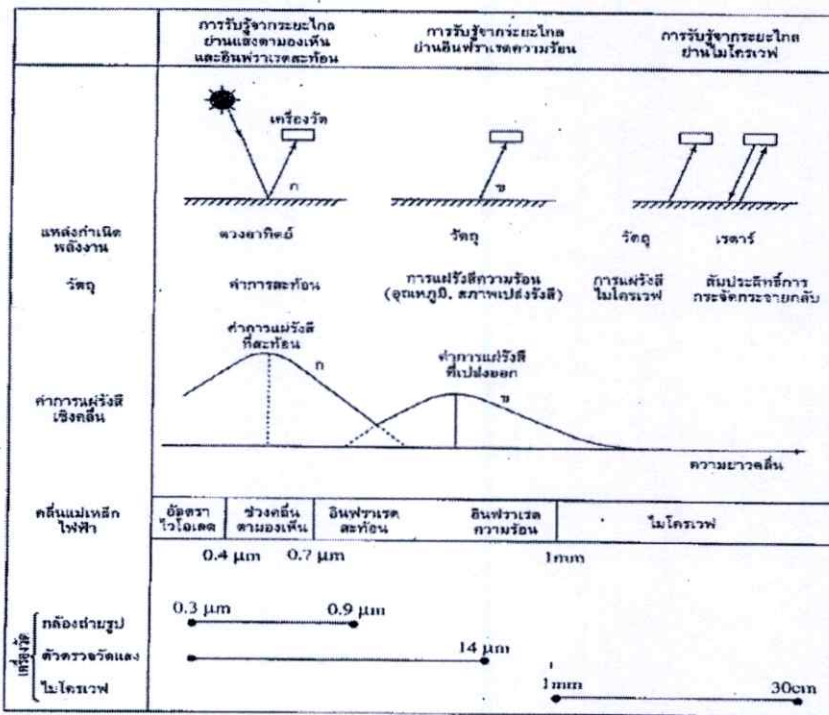
แหล่งกำเนิดพลังงาน (energy source) สำหรับรีโมตเซนซิงย่านแสงตามองเห็น และอินฟราเรดสะท้อน คือ ดวงอาทิตย์ ดวงอาทิตย์แผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดที่ความยาวคลื่น 0.5 ไมโครเมตร ข้อมูลที่ได้จากการรับรู้ระยะไกลในย่านแสงตามองเห็น และอินฟราเรดสะท้อนส่วนใหญ่จะขึ้นกับค่าการสะท้อนของวัตถุต่างๆ บนผิวโลก ดังนั้น รายละเอียดเกี่ยวกับวัตถุจึงดูได้จากค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นต่างๆ ยกเว้นการถ่ายภาพด้วยระบบเลเซอร์ เพราะเป็นระบบที่ไม่ได้ใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์ แต่เป็นพลังงานเลเซอร์ซึ่งเครื่องวัดผลิตขึ้นเอง

แหล่งกำเนิดพลังงานที่ใช้ในการรับรู้ระยะไกลย่านอินฟราเรด จะได้จากวัตถุเอง เนื่องจาก วัตถุใดๆ ก็ตามที่มีอุณหภูมิในระดับปกติ จะมีความสามารถแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า สูงสุดที่ ความยาวคลื่นประมาณ 10 ไมโครเมตร ดังแสดงด้วยรูปที่ 2.5

ในรูปนี้จะเห็นว่าเส้นกราฟเชิงคลื่นดังกล่าว แปรผันตามค่าการสะท้อนการเปล่งรังสี และอุณหภูมิ ของวัตถุ

เส้นกราฟของ (ก) และ (ข) ตัดกันที่ค่าประมาณ 3.0 ไมโครเมตร ดังนั้น ย่านความยาวคลื่น ที่สั้นกว่า 3.0 ไมโครเมตร จะเป็นย่านที่ดูได้จากค่าการสะท้อนเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ย่าน ความยาวคลื่นมากกว่า 3.0 ไมโครเมตรขึ้นไป จะเป็นย่านที่ตรวจวัดการแผ่รังสีความร้อน (thermal radiation)

เราสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น ระหว่างดวงอาทิตย์ (ก) ที่อุณหภูมิ 600°K และวัตถุ (ข) ที่อุณหภูมิปกติของโลก (ประมาณ 300 °K) ทั้งเพื่อช่วยต่อการเข้าใจ จึงแสดงเส้นกราฟในลักษณะของเทห์วัตถุดำ และได้แสดงค่าคูคคลื่นพลังงาน โดยชั้นบรรยากาศไว้



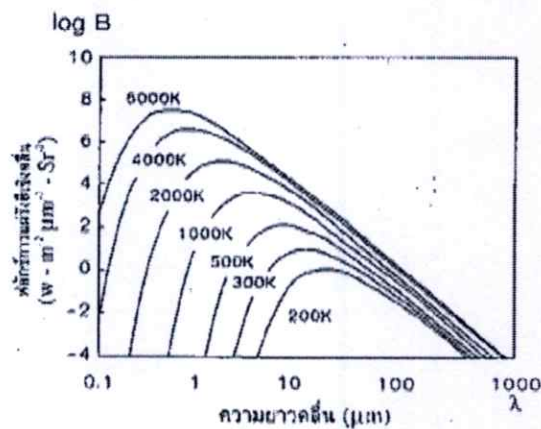
รูปที่ 2.6 ประเภทของรีโมตเซนซิงที่สัมพันธ์กับย่านความยาวคลื่น รวม 3 ประเภท

2.8 การแผ่รังสีของเทหวัตถุดำ

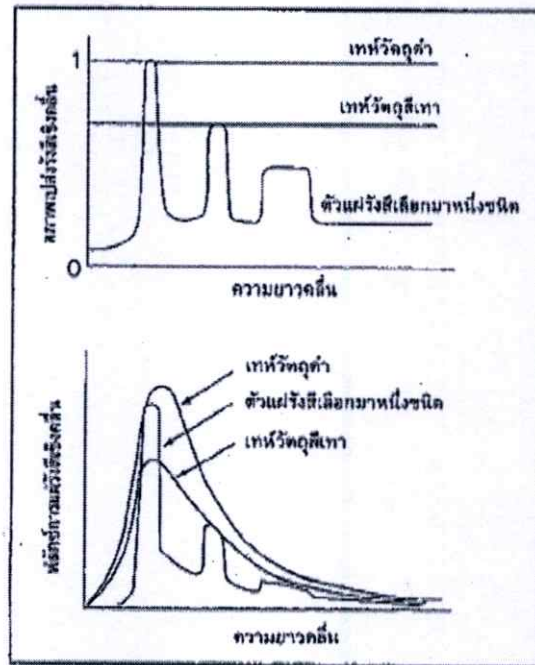
วัตถุหนึ่งๆ จะให้ฟลักซ์การแผ่รังสี (การแผ่รังสีต่อหนึ่งหน่วยเวลา) เฉพาะตัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสภาพเปล่งรังสีของวัตถุนั้นๆ การแผ่รังสีดังกล่าว เรียกว่า การแผ่รังสีความร้อน เนื่องจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะการแผ่รังสีความร้อน สามารถอธิบายได้โดยทฤษฎีเทหวัตถุดำ

เทหวัตถุดำ (black body) หมายถึง สารที่สามารถดูดกลืนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบตัวมันได้ทั้งหมด โดยไม่มีการสะท้อนหรือส่งผ่านพลังงานเลย โดยกฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's law) แล้วสัดส่วนของพลังงานที่แผ่จากวัตถุในสภาพสมดุลสถิต ความร้อนกับพลังงานที่ถูกดูดกลืนจะมีค่าคงที่ และจะขึ้นกับความยาวคลื่นและอุณหภูมิ (T) เท่านั้น

เทหวัตถุดำจะให้ค่าการแผ่รังสีสูงสุด เมื่อเทียบกับวัตถุอื่นๆ ดังนั้น เราจึงเรียกเทหวัตถุดำว่าเป็นตัวแผ่รังสีสมบูรณ์แบบ การแผ่รังสีของเทหวัตถุดำ (black body radiation) หมายถึง การแผ่รังสีความร้อนของเทหวัตถุดำ ซึ่งเป็นไปตามกฎของแพลงก์ (Planck's law) โดยเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ (T) และความยาวคลื่น (รูปที่ 2.7) ดังนี้



รูปที่ 2.7 กฎการแผ่รังสีของแพลงก์



รูปที่ 2.8 ตัวแผ่นรังสีประเภทต่าง

$$B_{\lambda} = \frac{2hc^2}{\lambda^5} = \frac{1}{\exp(ch/k\lambda T) - 1}$$

B = ค่าแผ่รังสีเชิงคลื่นของเทหวัตถุดำ
($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของเทหวัตถุดำ (K)

λ = ความยาวคลื่น (μm)

c = ความเร็วแสง = 2.998×10^8 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

h = ค่าคงที่พลังค์ = 6.626×10^{-34} (J.s)

k = ค่าคงที่โบลต์ซมานน์ = 1.380×10^{-23} ($\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$)

เนื่องจากวัตถุในธรรมชาติไม่ใช่เทหวัตถุดำ จึงต้องมีการปรับแก้ค่าสภาวะเปล่งรังสี (emissive) ซึ่งสามารถกำหนดได้โดยสมการ

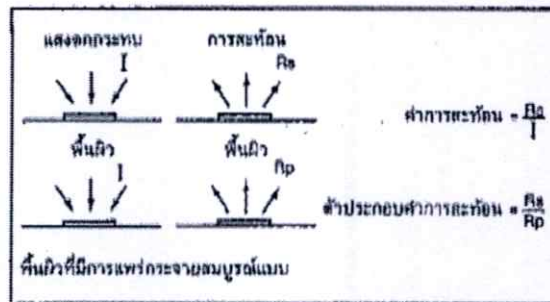
$$\text{สภาวะเปล่งรังสี} = \frac{\text{พลังงานการแผ่รังสีของวัตถุ}}{\text{พลังงานการแผ่รังสีของเทหวัตถุดำที่อุณหภูมิเดียวกับวัตถุ}}$$

ค่าสภาพเปล่งรังสีจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของวัสดุ ความขรุขระของพื้นผิว อุณหภูมิความยาวคลื่น มุมมอง ฯลฯ รูปที่ 2.8 แสดงเปรียบเทียบสภาพเปล่งรังสีเชิงคลื่น และฟลักซ์การแผ่รังสีเชิงคลื่นของวัตถุ 3 ประเภท ได้แก่ เทหวัตถุดำ เทหวัตถุสีเทา (gray body) และตัวแผ่รังสีที่เลือกมาหนึ่งชนิด

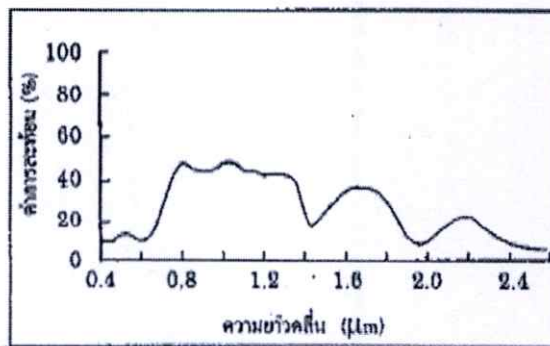
ค่าอุณหภูมิของเทหวัตถุดำที่แผ่รังสีระดับเดียวกับวัตถุใดๆ จะเรียกว่า เป็นค่าอุณหภูมิความสว่าง (brightness temperature) ของวัตถุนั้นๆ

กฎของสเตนฟาน - โบลต์ซมานต์ (Stefan-Belzean's law) เป็นกฎที่หาปริพันธ์ (integrate) ค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่นที่ได้จากกฎของแพลงค์ และเป็นกฎที่แสดงให้เห็นว่า ค่าการเปล่งรังสี (ค่าการแผ่รังสีจากหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา) เป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ยกกำลังที่ (T^4) จึงมีความไวสูงต่อการตรวจวัดอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

กฎการแทนที่ของวิน (Wlen's displacement law) ได้จากการหาอนุพันธ์ของค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผลคูณของความยาวคลื่น (ที่ให้ค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่นสูงสุด) กับอุณหภูมิจะมีค่าประมาณ $3000 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ กฎนี้มีประโยชน์สำหรับหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับใช้ตรวจวัดอุณหภูมิของวัตถุที่อุณหภูมิ T ตัวอย่าง เช่น ความยาวคลื่นที่ดีที่สุดสำหรับใช้ตรวจวัดวัตถุที่มีอุณหภูมิ 300 K คือ ประมาณ 10 ไมโครเมตร



รูปที่ 2.9 ค่าการสะท้อนและตัวประกอบค่าการสะท้อน



2.9 ค่าการสะท้อน

ค่าการสะท้อน หมายถึง อัตราส่วนระหว่างฟลักซ์ที่ตกกระทบบนพื้นที่ผิวใดๆ กับฟลักซ์ที่สะท้อนจากพื้นผิวนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ค่าการสะท้อนจะอยู่ระหว่าง 0 - 1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการสะท้อน เรียกว่า เครื่องวัดสเปกตรัม (spectrometer)

อัตราส่วนสะท้อน หรือแอลบีโด (albedo) หมายถึง ค่าการสะท้อนของแสงของแสงจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิว ส่วนตัวประกอบค่าการสะท้อน (reflectance factor) นั้น บางครั้งกำหนดด้วยอัตราส่วนระหว่างฟลักซ์ที่สะท้อนจากพื้นผิวหนึ่งๆ กับฟลักซ์ที่สะท้อนจากพื้นผิวที่มีการแพร่กระจายสมบูรณ์แบบ (perfectly diffuse surface) ซึ่งคือพื้นผิวที่มีการแพร่กระจายสม่ำเสมอด้วยค่าการสะท้อนเป็น 1

ค่าการสะท้อนตามความยาวคลื่น จะเรียกว่า ค่าการสะท้อนเชิงคลื่น (spectral reflectance) ดังแสดงด้วยตัวอย่างของพืชพรรณในรูปที่ 2.10 สมมติฐานของรีโมตเซนซิง มีว่า ค่าการสะท้อนเชิงคลื่น จะเป็นลักษณะเฉพาะตัว และแตกต่างจากวัตถุหนึ่งไปวัตถุหนึ่ง

2.10 ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของสิ่งปกคลุมดิน

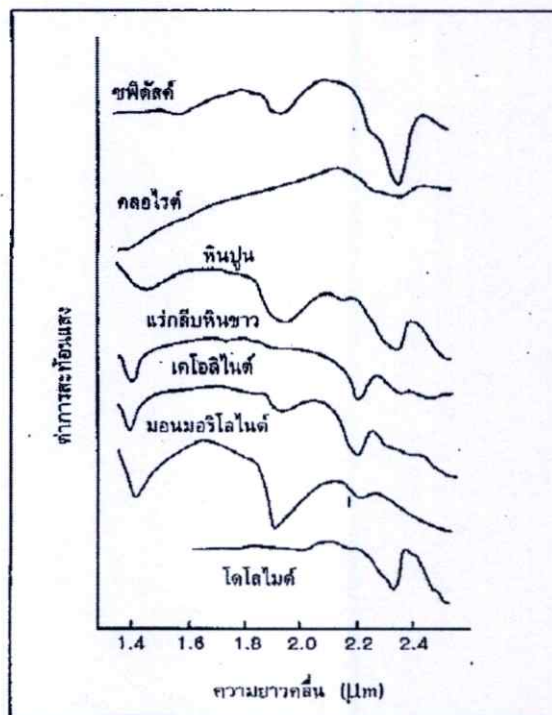
ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของสิ่งปกคลุมดินที่ต่างกัน จะแตกต่างกันออกไป หลักการดังกล่าวนี้ ทำให้สามารถจำแนกประเภทของสิ่งปกคลุมดิน โดยวิธีรีโมตเซนซิงได้ด้วยการสังเกตค่าการสะท้อนเชิงคลื่นหรือการแผ่รังสีเชิงคลื่นจากพื้นผิวนั้น ๆ

รูปที่ 2.11 แสดงกราฟของค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของสิ่งปกคลุมดินหลัก คือ พืชพรรณดิน และน้ำ จะเห็นได้จากรูปว่า พืชพรรณมีค่าการสะท้อนสูงในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และมีค่าการสะท้อนที่ต่ำถึงสามช่วง เนื่องจากการดูดกลืน ดินให้ค่าการสะท้อนที่ค่อนข้างสูงเกือบทุกช่วงคลื่น ในขณะที่น้ำเกือบจะไม่มีค่าการสะท้อนเลยในช่วงคลื่นอินฟราเรด

รูปที่ 2.12 แสดงค่าการสะท้อนของใบไม้ และการดูดกลืนของน้ำอย่างละเอียด สารคลอโรฟิลล์ที่อยู่ในใบ จะทำให้เกิดการดูดกลืนสูงที่ความยาวคลื่น 0.45 ไมโครเมตร และ 0.87 ไมโครเมตร และมีค่าการสะท้อนสูงในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (0.7 - 0.9 ไมโครเมตร) ลักษณะดังกล่าว ทำให้เกิดยอดสูงเล็กน้อยที่ 0.5 - 0.6 ไมโครเมตร (ช่วงแสงสีเขียว) เป็นเหตุให้มนุษย์มองเห็นพืชพรรณเป็นสีเขียว

ช่วงอินฟราเรดใกล้มีประโยชน์มากสำหรับการสำรวจและทำแผนที่พืชพรรณ เนื่องจากพืชเท่านั้นที่ได้เกรดยืนต้นสูงมากที่ความยาวคลื่น 0.7 - 0.9 ไมโครเมตร ปริมาณน้ำในใบไม้ทำให้เกิดการดูดกลืนที่สองช่วงคลื่น คือที่ประมาณ 1.5 ไมโครเมตร และ 1.9 ไมโครเมตร คุณสมบัติดังกล่าว สามารถนำมาใช้ในการศึกษาความสมบูรณ์ของพืชได้

รูปที่ 2.13 แสดงเปรียบเทียบค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของพืชชนิดต่างๆ และรูปที่ 2.14 แสดงรูปค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของหินประเภทต่างๆ ในช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น (1.3 – 3.0 ไมโครเมตร) จะเห็นว่าการจะจำแนกหินชนิดต่างๆ ที่มีช่วงคลื่นดูดกลืนแคบๆ แตกต่างกันออกไปเหล่านี้ จะต้องพัฒนาเครื่องวัดที่ใช้ช่วงคลื่นแคบหลายช่วงคลื่น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบเครื่องวัดสเปกตรัมแบบถ่ายภาพ (imaging spectrometer) สำหรับการจำแนกชนิดหิน และการทำแผนที่ที่สิ้นน้ำทะเล



รูปที่ 2.14 ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของหินและแร่ชนิดต่าง ๆ

2.11 คุณลักษณะเชิงคลื่นของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าการสะท้อนของพลังงาน จากผิวโลกในช่วงคลื่นตามองเห็น และอินฟราเรดใกล้แสงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนและกระจัดกระจาย โดยโอโซน ฝุ่น และละอองลอย ฯลฯ ในขณะที่เดินทางจากอวกาศส่วนนอกสู่ผิวโลก จึงจำเป็นต้องศึกษาคุณลักษณะพื้นฐานของการแผ่พลังงานดวงอาทิตย์ด้วย เราสามารถเปรียบดวงอาทิตย์เสมือนเทอร์โมสตัทที่มีอุณหภูมิ 5900 °K ถ้าเราให้ $FeO(\lambda)$ เป็นค่าเฉลี่ยต่อปีของค่ารังสีตกกระทบเชิงคลื่นของดวงอาทิตย์ จะได้ว่า ค่ารังสีตกกระทบเชิงคลื่นของดวงอาทิตย์ $FeO(\lambda)$ ในอวกาศส่วนนอก ณ วันปฏิทิน D จะเป็นไปตามกฎ ต่อไปนี้

$$Fe(\lambda) = FeO(\lambda) (1 + \cos \varepsilon (2 \pi (D-3)/365))^2$$

- โดย ε : 0.167 (ความเยื้องศูนย์กลางของวงจรรโลก)
 λ : ความยาวคลื่น
 D-3 : การเลื่อนเนื่องจากวันที่ 3 มกราคม เป็นจุด
 โคจรไกลสุด และ 2 กรกฎาคมเป็นจุดโคจรใกล้สุด

ค.

ตกกระทบ

เชิงคลื่นของทุกช่วงคลื่น และมักให้ค่า 1.37 Wm^{-2} รูปที่ 2.15 แสดงค่ารังสีตกกระทบของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการตรวจบันทึกค่า ค่านบนเส้นกราฟเหล่านี้ จะเป็นค่าที่อยู่บนพื้นผิวที่ตั้งฉากกับทิศทางของแสงอาทิตย์ การเปลี่ยนค่าเหล่านี้เป็นค่ารังสีตกกระทบเชิงคลื่นต่อพื้นผิวโลก 1 ตารางเมตร ที่ละติจูด φ จะต้องคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ ต่อไปนี้

$$\alpha = (L_0 / L)^2 \cos z$$

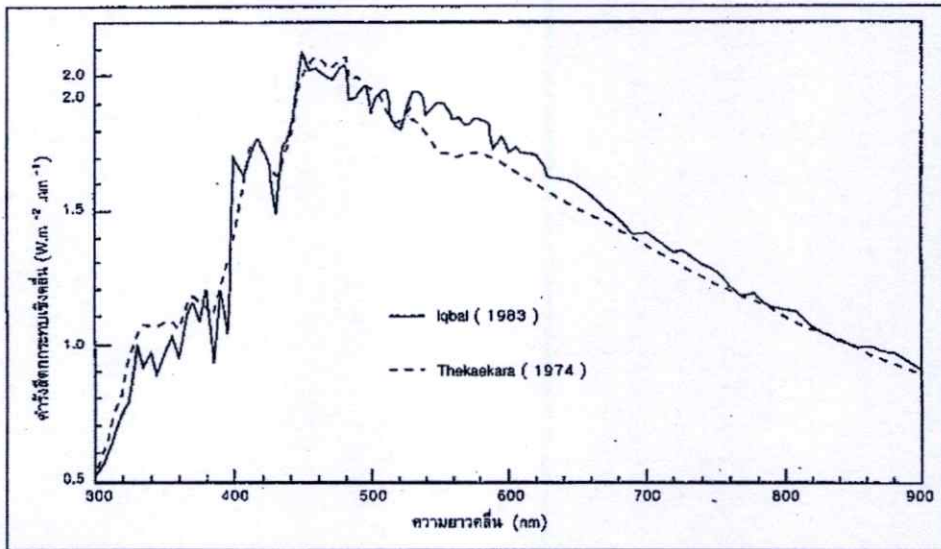
$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos h$$

โดยที่ z : มุมซิมิท (zenith) ของดวงอาทิตย์.
 δ : ความเอียง
 h : มุมชั่วโมง
 L : ระยะทางจริงระหว่างดวงอาทิตย์และโลก
 L_0 : ระยะทางเฉลี่ยระหว่างดวงอาทิตย์และโลก

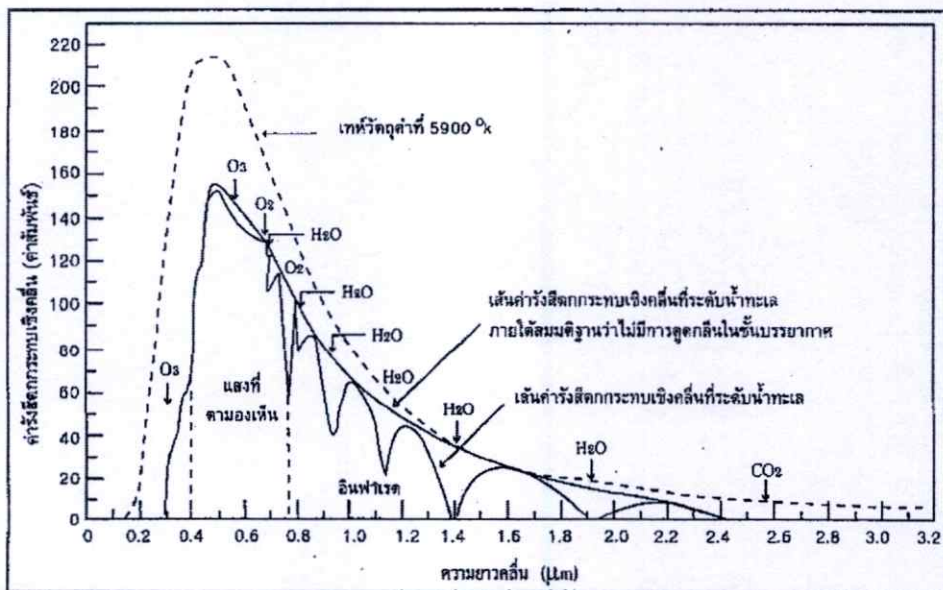
พลังงานของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบที่พื้นผิวโลก จะต่างจากค่าที่อยู่ ณ ยอดชั้นบรรยากาศเป็นอย่างมาก เนื่องจากอิทธิพลของชั้นบรรยากาศ ดังแสดงในรูป 2.16 ซึ่งเปรียบเทียบค่ารังสีกระทบเชิงคลื่นของดวงอาทิตย์ ณ พื้นผิวโลกกับค่ารังสีกระทบของเทหวัตถุดำ ที่อุณหภูมิ 5900°K

นอกเหนือจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโดยตรงแล้ว ยังมีแหล่งกำเนิดแสงอีกลักษณะหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า การแผ่รังสีจากท้องฟ้า (sky radiation) หรือการแผ่รังสีแบบแพร่กระจาย (diffuse radiation) หรือแสงจากท้องฟ้า (sky light) ซึ่งเกิดจากการกระจัดกระจายของแสงอาทิตย์โดยโมเลกุลต่างๆ ในชั้นบรรยากาศและละอองลอย

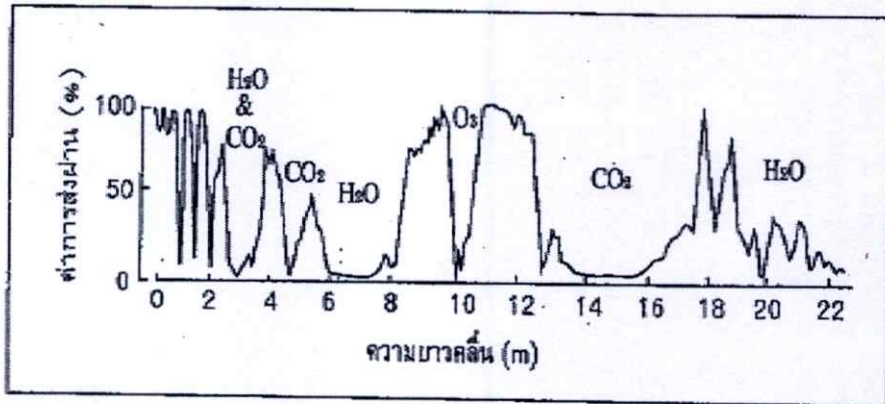
แสงจากท้องฟ้า จะมีค่าประมาณร้อยละ 10 ของแสงที่ได้โดยตรงจากดวงอาทิตย์ภายใต้ภาวะท้องฟ้าแจ่มใส และมุมยกของดวงอาทิตย์ มีค่าประมาณ 50 องศา เส้นกราฟแสดงคุณลักษณะเชิงคลื่นของแสงจากท้องฟ้า มียอดสูงที่ความยาวคลื่น 0.45 ไมโครเมตร



รูปที่ 2.15 ค่ารังสีตกกระทบของดวงอาทิตย์ ณ ยอดชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 2.16 การเปรียบเทียบค่ารังสีตกกระทบเชิงคลื่นของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเลกับการแผ่รังสีของเทหวิฤตค่า

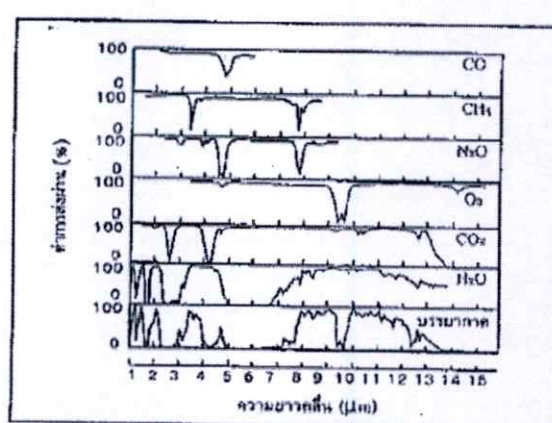


รูปที่ 2.17 คุณลักษณะของค่าการส่งผ่านเชิงคลื่นของชั้นบรรยากาศ

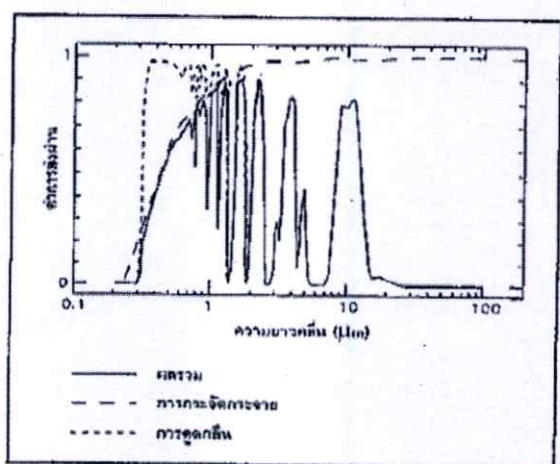
2.12 ค่าการส่งผ่านของชั้นบรรยากาศ

การส่งผ่านแสงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศ จะถูกรบกวน โดยเกิดการดูดกลืน และการกระจัดกระจาย (scattering) ของโมเลกุลและละอองในบรรยากาศ ทำให้ความเข้มแสงอาทิตย์ มีปริมาณลดลง ซึ่งเราเรียกว่า การสลับของแสง (extinction) อัตราการสลับลงของแสง สามารถ กำหนดได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การสลับลงของแสง (extinction coefficient)

ถ้าเราหาปริพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์การสลับลงของแสงที่ระดับสูงต่างๆ ความหนาของ ชั้นบรรยากาศ ค่าที่ได้ คือ ความหนาเชิงแสง (optical thickness) ซึ่งเป็นตัวชี้ถึงระดับการดูดกลืน และการกระจายของแสงอาทิตย์ การส่งผ่านของชั้นบรรยากาศจะได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบ ต่อไปนี้



รูปที่ 2.18 คุณลักษณะของค่า การดูดกลืนในย่านอินฟราเรดโดยโมเลกุลในชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 2.19 ค่าการส่งผ่านของชั้นบรรยากาศโดยได้รับอิทธิพลจากการดูดกลืน

และการกระจัดกระจายสำหรับแบบจำลองบรรยากาศ “สะอาด” ตามมาตรฐาน สหรัฐอเมริกา

ก. โมเลกุลในชั้นบรรยากาศ (ขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่น) ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์, โอโซน, แก๊สไนโตรเจน และโมเลกุลอื่น ๆ

ข. ละอองลอย (ขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่น) ได้แก่ หยดน้ำ เช่น เมฆและหมอก, กลุ่มควัน, ฝุ่น และอนุภาคที่มีขนาดใหญ่อื่น ๆ

การกระจัดกระจายโดยโมเลกุลของชั้นบรรยากาศที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงอาทิตย์ จะเรียกว่า การกระจัดกระจายแบบเรย์เล (Rayleigh scattering) ซึ่งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าความยาวคลื่น อิทธิพลของโมเลกุลในชั้นบรรยากาศที่มีต่อความหนาแข็งแสงมีค่าเกือบจะคงที่ แม้ว่าในขณะเวลาและสถานที่ที่ต่างกัน แต่จะมีค่าต่างไปบ้างเล็กน้อยขึ้นกับฤดูกาลและตำแหน่งละติจูด

การกระจัดกระจายที่เกิดจากจากละอองที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นแสงอาทิตย์ มีชื่อเรียกว่า การกระจัดกระจายแบบมี (Mie scattering) ละอองลอยเหล่านี้ มีกำเนิดจากอนุภาคที่แขวนลอยต่างๆ เช่น น้ำทะเล หรือฝุ่นที่ถูกพัดพาจากทะเล หรือผืนดิน, ขยะมูลฝอย, ควันจากโรงงานอุตสาหกรรม, ฝ้าถ่านภูเขาไฟ ฯลฯ ผู้ชั้นบรรยากาศ ซึ่งจะมีปริมาณแตกต่างกันไปขึ้นกับเวลาและสถานที่ นอกจากนี้ คุณลักษณะทางแสงและการกระจายของขนาดของละอองลอยก็ยังมีเปลี่ยนแปลงขึ้นกับความชื้น อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมอื่นๆ จึงทำให้ยากต่อการตรวจวัดผลที่เกิดจากการกระจัดกระจายโดยละอองลอย

การกระจัดกระจาย การดูดกลืน และการส่งผ่านของชั้นบรรยากาศ จะแตกต่างกันที่ความยาวคลื่นต่างกัน รูปที่ 2.17 แสดงการส่งผ่านเชิงคลื่นของคลื่นของชั้นบรรยากาศ

ส่วนเส้นกราฟที่มีค่าต่ำ เป็นผลที่เกิดจากการดูดกลืนโดยโมเลกุลประเภทต่างๆ รูปที่ 2.18 แสดงการส่งผ่านเชิงคลื่นหรือส่วนกลับของการดูดกลืนของโมเลกุลประเภทต่างๆ ในชั้นชั้นบรรยากาศ ช่วงเปิดที่มีค่าการส่งผ่านสูงจะเรียกว่า หน้าต่างบรรยากาศ (Atmospheric window)

การกระจัดกระจาย มีผลเป็นบางส่วนต่อการส่งผ่านผลดังกล่าว จะมีมากในความยาวคลื่นสั้นๆ รูปที่ 3.19 แสดงผลที่ได้จากการจำลองผลลัพธ์ของค่าการส่งผ่าน ควบคู่ด้วยค่าการดูดกลืนและการกระจัดกระจาย สำหรับ “แบบจำลองของชั้นบรรยากาศที่สะอาด” ของสหรัฐอเมริกา อิทธิพลจากการกระจัดกระจายมีมากในย่านที่ต่ำกว่า 2 ไมโครเมตร และเป็นสัดส่วนกับความยาวคลื่นสั้นๆ ส่วนอิทธิพลจากการดูดกลืนนั้นไม่คงที่ แต่จะขึ้นกับความยาวคลื่นเฉพาะนั้นๆ

2.13 อุปกรณ์รับรู้ (Sensor)

อุปกรณ์รับรู้ เครื่องวัด หรือระบบบันทึกข้อมูลในรีโมตเซนซิงนั้น แบ่งตามสื่อบันทึกได้สองแบบ คือ ระบบบันทึกเชิงภาพ (Photographic system) และระบบบันทึกเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic system)

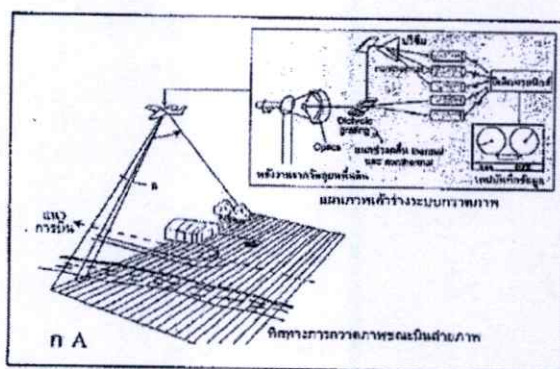
ในส่วนของระบบบันทึกเชิงภาพ หน่วยอิสระโฟตอน (photon) จะทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่เคลือบบนแผ่นฟิล์ม ทำให้เกิดความแตกต่างตามพลังงานและช่วงคลื่นที่ได้รับ โดยข้อมูลที่ได้ออกมา เรียกว่า photograph ระบบนี้เป็นระบบกล้องถ่ายภาพ (photographic camera) มีความสามารถบันทึกช่วงคลื่น ระหว่าง 0.3 – 0.9 ไมโครเมตร เท่านั้น ส่วนระบบบันทึกอิเล็กทรอนิกส์นั้น ค่าพลังงานจะถูกบันทึกในลักษณะสัญญาณไฟฟ้า หรือข้อมูลเชิงเลข (digital data) ซึ่งจะให้ข้อมูลออกมา เรียกว่า image ระบบบันทึกข้อมูลแบบนี้ รวมเรียกว่า scanner ระบบนี้สามารถบันทึกข้อมูลช่วงคลื่นกว้างกว่า ตั้งแต่ 0.3 – 14 ไมโครเมตร

2.14 อุปกรณ์รับรู้แบบพาสซีฟและแบบแอ็กทีฟ

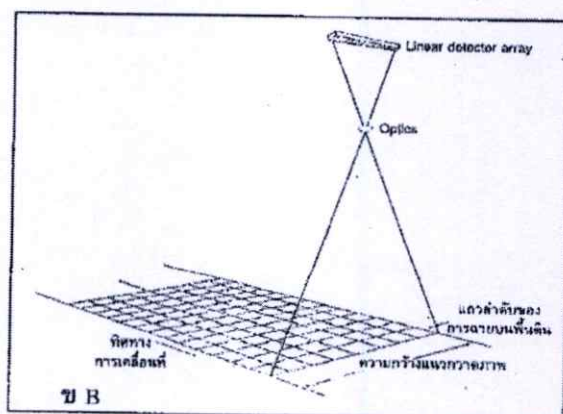
หากพิจารณาจากแหล่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเราสามารถแบ่งระบบบันทึกได้ 2 รูปแบบเช่นกัน ได้แก่ อุปกรณ์รับรู้แบบพาสซีฟ (Passive sensor) เป็นระบบบันทึกข้อมูลพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งภายนอก หรือจากธรรมชาติ ซึ่งแหล่งพลังงานทางธรรมชาติที่สำคัญที่สุด ได้แก่ ดวงอาทิตย์ นอกจากนั้นยังรวมพลังงานที่แผ่รังสีจากตัวเองเป็นรังสีความร้อน ระบบนี้เป็นระบบรีโมตเซนซิงที่ใช้งานกันแพร่หลายทั่วไป ในขณะที่อุปกรณ์รับรู้แบบแอ็กทีฟ (active sensor) เป็นระบบที่สร้างพลังงานขึ้นมาแล้ว ส่งออกไปยังเป้าหมายแล้วรับพลังงานที่สะท้อนกลับจากเป้าหมายนั้นที่รู้จักกันดี ได้แก่ ระบบถ่ายภาพเรดาร์ (imaging RADAR)

2.15 ระบบกวาดภาพหลายช่วงคลื่น

อุปกรณ์รับรู้ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในรีโมตเซนซิง คือระบบกวาดภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral Scanner System) ซึ่งทำการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นต่างๆ ระหว่าง 0.3 – 14 ไมโครเมตร (ช่วงคลื่นตามองเห็น อินฟราเรดใกล้ อินฟราเรดกลาง และช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน) โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ระบบหลัก ได้แก่ แบบ Mechanical Scanning หรือ Whiskbroom และแบบ Electronically Scanning หรือ Pushbroom โดยมีความแตกต่างในลักษณะการทำงาน กล่าวคือ Mechanical Scanning บันทึกข้อมูลโดยการกวาดภาพขวางแนวโคจร โดยอาศัยกระจกหมุนกวาดรับข้อมูลจากแต่ละถ่ายภาพ (IFOV : instantaneous Field of View หรือ Ground resolution) แล้วบันทึกลงในเครื่อง (รูปที่ 2.20 ก) โดยแสดงเป็นค่าความเข้ม (intensity) ของแต่ละจุดภาพ (picture element หรือ pixel) บนภาพในขณะที่ Electronically Scanning จะทำการกวาดภาพตามแนวโคจร ข้อมูลในแต่ละแถวเดินทางเข้าสู่เครื่องบันทึกพร้อมๆ กัน และจะถูกแยกบันทึกแต่ละจุดภาพโดย Detector แต่ละตัว (รูปที่ 2.20 ข)



(ก) แบบ Mechanical Scanning



(ข) แบบ Electrical Scanning

รูปที่ 2.20 ลักษณะการบันทึกข้อมูลของระบบกวาดหลายช่วงคลื่น

2.16 ความละเอียดภาคพื้นดินและจุดภาพ

การบันทึกข้อมูลจะเป็นการบันทึกในลักษณะข้อมูลเชิงเลข ดังนั้น ความละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial resolution) จึงขึ้นกับความละเอียดภาคพื้นดิน (ground resolution) ซึ่งหมายถึง ขนาดของพื้นที่เล็กที่มองเห็นด้วยดาวเทียม เป็นกรอบพื้นที่ขนาดเล็กที่จะถูกแทนที่ด้วยค่าเชิงเลข 1 ค่า โดยเป็นค่าพลังงานรวมของการสะท้อนจากทุกวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่รวมกันในกรอบดังกล่าวนี้ เช่น ข้อมูลความละเอียด 20 เมตร หมายถึงว่า แต่ละจุดขนาด 20 เมตร บนภาคพื้นดิน จะมีค่าการสะท้อนรวม เพียง 1 ค่า เป็นตัวแทนของทุกวัตถุในกรอบนั้น ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างภาพ (แสดงในลักษณะความเข้ม หรือค่าระดับสีเทา (gray scale) โดยแต่ละจุดบนภาพ เรียกว่า จุดภาพ ดังนั้น หากต้องการให้ได้ความละเอียดของภาพมาก ก็จะต้องให้ขนาดของความละเอียดภาคพื้นดินมีขนาดเล็ก

2.17 ระบบถ่ายภาพเรดาร์

ระบบถ่ายภาพเรดาร์ เป็นอุปกรณ์รับรู้แบบแอ็กทีฟซึ่งทำการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นสูงกว่าคลื่นแสงสว่างและคลื่นความร้อน มีความยาวคลื่นระหว่าง 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร มีความสามารถทะลุทะลวงเมฆ และไม่ขึ้นกับสภาพอากาศ

RADAR ย่อมาจาก Radio Detection And Ranging

สมการของเรดาร์

$$P_R = P_T (\sigma A) \left(\frac{G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \right)$$

P^R = พลังงานทั้งหมดที่ได้รับ (total power received)

P^T = พลังงานที่ส่งออก (power transmitted)

σ = การกระจัดกระจายของเรดาร์ต่อหน่วยพื้นที่

A = พื้นที่หน้าตัดของเรดาร์

G = gain (antenna)

R = พิสัย (range)

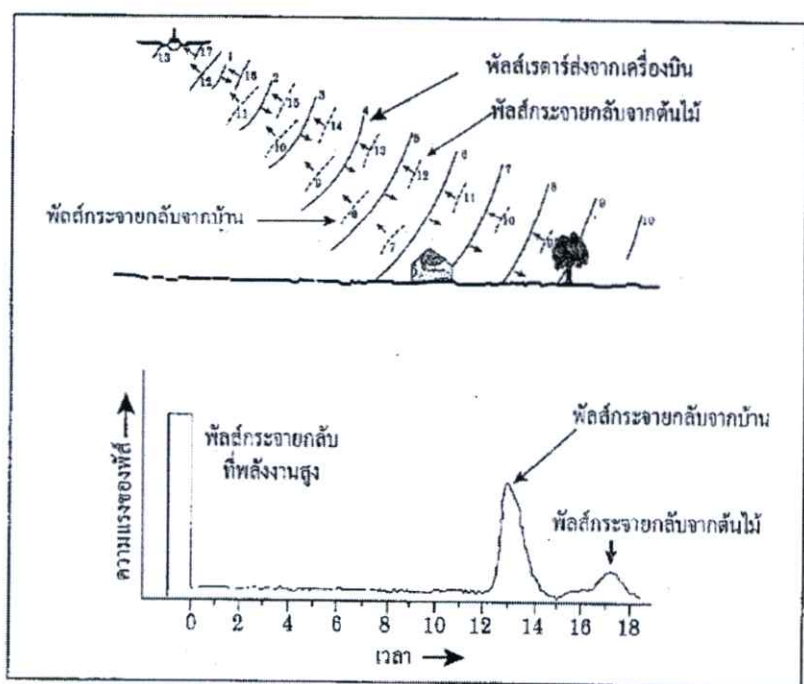
λ = ความยาวคลื่น

จากสมการจะเห็นได้ว่า มีปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย ที่มีอิทธิพลต่อความเข้ม หรือ Strength ของพลังงานที่รับกลับ ได้แก่

1. ระบบของเรดาร์ เช่นความยาวคลื่น จานรับสัญญาณและพลังงานที่ส่งออก
2. เรขาคณิตของการถ่ายภาพเรดาร์ เช่น ความกว้างของลำแสง (beam width) มุมตกกระทบ และพิสัย

3. ลักษณะของวัตถุที่สัมพันธ์กับสัญญาณเรดาร์

ระบบถ่ายภาพเรดาร์ ทำการผลิต และส่งสัญญาณในลักษณะพัลส์ (pulse) โดยอาศัยจานส่งและรับสัญญาณ ในตัวสัญญาณจะถูกส่งเป็นระยะๆ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความยาวของพัลส์ เมื่อพัลส์กระทบวัตถุก็จะสะท้อนกลับ ไปยังจานรับสัญญาณ รูปที่ 2.21 แสดงพัลส์ของเรดาร์ ที่ส่งออกมาและรับกลับเป็นระยะๆ ความเข้มของพัลส์ที่กระจัดกระจายกลับ ขึ้นกับเวลาที่กระทบกับเป้าหมาย การถ่ายภาพเรดาร์เป็นการถ่ายภาพทางด้านข้าง เช่น Side Locking Airborne Radar (SLAR) เราสามารถคำนวณระยะทางหรือพิสัยด้านข้าง (saint range) ได้ดังนี้



รูปที่ 2.21 แสดงหลักการการทำงานของ Slide Looking Airborne Radar {SLAR}

Figure 2.21 Side Looking Airborne Radar {SLAR} process

$$S_R = ct / 2$$

S_R = พิสัยด้านข้าง

c = ความเร็วของแสง

t = เวลาตั้งแต่ส่งและรับกลับ

ความละเอียดหรือความแยกชัดของภาพถ่ายเรดาร์ มี 2 ทิศทาง คือ ขนานกับแนวบิน เรียกว่า azimuth resolution และตั้งฉากกับแนวบิน เรียกว่า range resolution

$$\text{Pulse length} = ct$$

$$c = \text{ความเร็วของแสง}$$

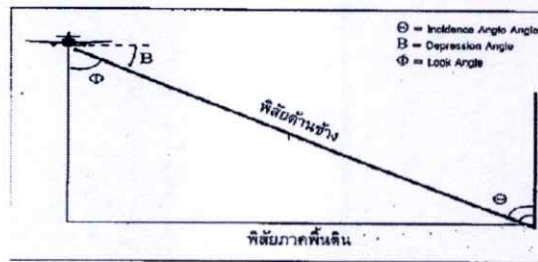
$$t = \text{ระยะเวลา}$$

$$\text{Range Resolution} = ct / 2$$

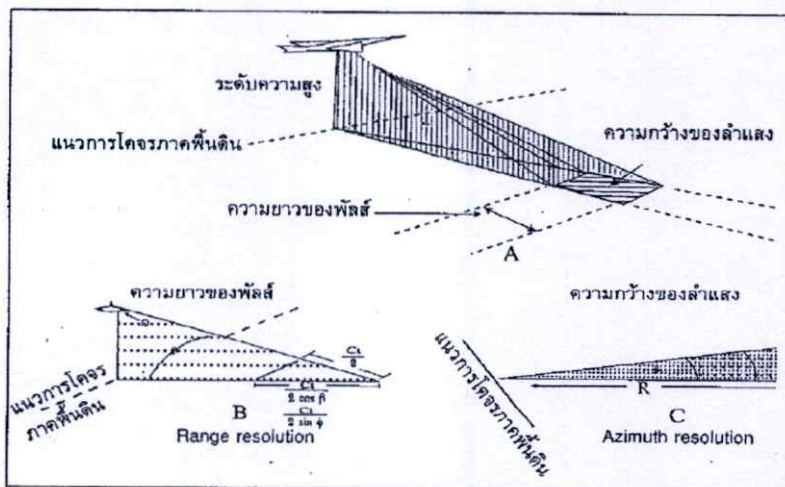
$$\text{Ground Resolution} = ct / 2 \sin \phi$$

ϕ = incident angle

Range resolution ขึ้นอยู่กับความยาวของพัลส์ (pulse length) ถ้าความยาวของพัลส์สั้น หรือมีระยะเวลาที่ส่งออกเร็วจะให้ค่า range resolution ละเอียด.



รูปที่ 2.22 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง θ, β และ ϕ



รูปที่ 2.23 แสดงความละเอียดของระบบถ่ายภาพเรดาร์

ในการถ่ายภาพเรดาร์ มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความละเอียดภาพในด้านขนานกับแนวบินโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในภาพถ่ายเรดาร์แบบช่องเปิดจริง (Real Aperture Radar-RAR) ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของจานรับ - ส่งสัญญาณ

$$A_R = \frac{\lambda R}{L}$$

A_R = Azimuth Resolution ของ RAR

λ = ความยาวคลื่น

R = พิสัย

L = ความยาวของจานรับ - ส่งสัญญาณ

จะเห็นได้ว่า ความละเอียดภาพ ถูกกำหนดโดยความยาวของจาน ต่อมาได้มีวิวัฒนาการเพื่อพัฒนาความละเอียดของภาพด้านขนานกับแนวบิน โดยใช้การเคลื่อนที่ที่ต่อเนื่องของจานและเก็บบันทึกข้อมูลเป้าหมายหนึ่งๆ และสะสมในรูปแบบเชิงตัวเลขการเคลื่อนที่ของจานอย่างต่อเนื่อง จะได้ความยาวของจานรวมมากขึ้น การพัฒนาโดยการเก็บข้อมูลสะสมจากการเคลื่อนที่ของจาน เรียกว่า เรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ (Synthetic Aperture Radar - SAR)

$$A_S = (N) \frac{1}{2}$$

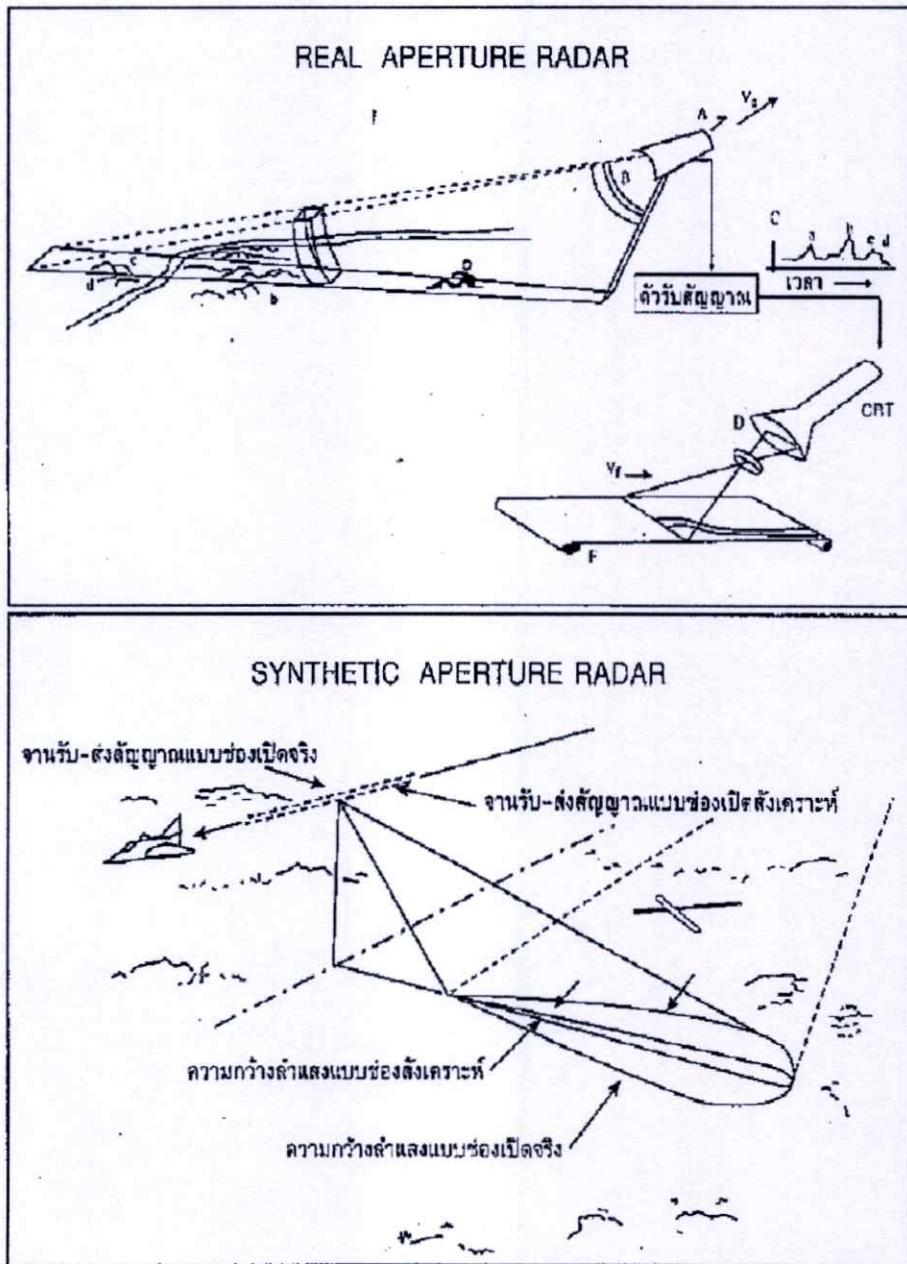
A_S = Azimuth Resolution ของ SAR

N = จำนวนการมองภาพ

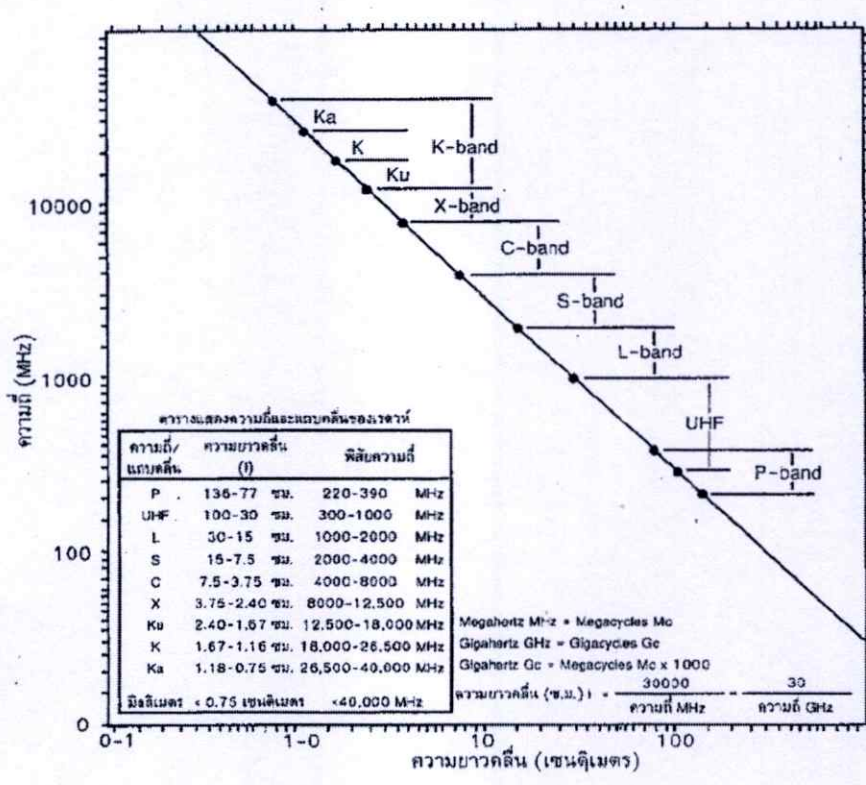
L = ความยาวของจานรับ-ส่งสัญญาณ

ข้อสังเกต RAR มีค่า L เป็นตัวหาร ส่วน SAR มีค่า L เป็นตัวคูณ Azimuth Resolution ของ SAR จะคงที่ไม่ว่า ground range จะมากหรือน้อย ซึ่งตรงข้ามกับ Azimuth Resolution ของ RAR จะมีความขยายขึ้น เมื่อ ground range เพิ่มขึ้น ส่วน Range Resolution ทั้งของ RAR และ SAR ถึงจุดๆ หนึ่งจะมีลักษณะเช่นเดียวกัน คือ G_R น้อย จะขยายและละเอียดขึ้นเมื่อ G_R เพิ่มขึ้น

ความยาวคลื่น ความถี่ และตัวอักษรที่ใช้กับแบนด์ของเรดาร์ ดังแสดงในโนโมแกรม (รูปที่ 2.25)



รูปที่ 2.24 โค้ดแกรมแสดงระบบ RAR และ SAR



รูปที่ 2.25 แสดงโนโมแกรมสำหรับความยาว / ความถี่ และ ตัวอักษรที่ให้กับแบนด์ของเรดาร์

2.18 คุณลักษณะข้อมูลดาวเทียม

ภาพจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่บันทึกด้วยระบบกล้องหลายช่วงคลื่น มีคุณสมบัติพิเศษแตกต่างจากกล้องถ่ายภาพธรรมดา คือ

1. เป็นข้อมูลเชิงเลขที่มีความละเอียดของค่าการสะท้อนช่วงคลื่นแสง เป็นระดับความเข้มสีเทา จำนวน 256 ระดับ ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่มีปริมาณมากเหล่านี้ไปผลิตเป็นภาพขาวดำและภาพสีผสม ตลอดจนนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้นและยังสามารถนำไปบูรณาการในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้สะดวก และมีประสิทธิภาพ
2. ข้อมูลที่บันทึกสามารถส่งมายังสถานีรับภาคพื้นดินได้ทันที (real time) ทำให้ได้ข้อมูลที่ทันสมัย
3. การบันทึกข้อมูลเป็นบริเวณกว้าง (synoptic view) ภาพจากดาวเทียมภาพหนึ่งๆ ครอบคลุมพื้นที่กว้าง ทำให้ได้ข้อมูลในลักษณะต่อเนื่องในระยะเวลาบันทึกภาพสั้นๆ ซึ่งช่วยให้สามารถศึกษาสภาพแวดล้อมต่างๆ ในบริเวณกว้างต่อเนื่องในเวลาเดียวกันทั้งภาพ
4. การบันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่น ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีระบบกล้องที่บันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่นในบริเวณเดียวกัน ทำให้แยกวัตถุต่างๆ บนพื้นผิวโลกได้อย่างชัดเจน เช่น ดาวเทียม LANDSAT 1, 2, 3 ระบบ MSS (Multispectral Scanner System) และดาวเทียม MOS

ระบบ MESSR (Multispectral Electron Self-Scanning Radiometer) มี 4 ช่วงคลื่น ดาวเทียม LANDSAT 4, 5 ระบบ TM (Thematic Mapper) มี 7 ช่วงคลื่น เป็นต้น

5. การบันทึกภาพซ้ำบริเวณเดิม (Repetitive coverage) ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีวงโคจรเหนือลงใต้ (polar orbit) และกลับมายังจุดเดิมในเวลาท้องถิ่นอย่างสม่ำเสมอ และในช่วงเวลาที่แน่นอน อาทิ ดาวเทียม LANDSAT ทุกๆ 16 วัน MOS ทุกๆ 17 วัน และ SPOT ทุกๆ 26 วัน ทำให้ได้ข้อมูลบริเวณเดียวกันหลายๆ ช่วงเวลา สามารถเปรียบเทียบ และติดตามการเปลี่ยนแปลงต่างๆ บนพื้นผิวโลกได้เป็นอย่างดี

6. ภาพจากดาวเทียมให้ความละเอียดหลายระดับ มีผลดีในการเลือกนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาด้านต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ เช่น ภาพในระบบ Panchromatic ของดาวเทียม IRS ความละเอียดภาพ 5.8 เมตร สามารถศึกษาตัวเมือง เส้นทางคมนาคมระดับหมู่บ้าน ภาพในระบบกวาดภาพหลายช่วงคลื่นของดาวเทียม SPOT ในความละเอียดภาพ 20 เมตร ใช้ศึกษาการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เฉพาะจุดเล็กๆ และแหล่งน้ำขนาดเล็ก ภาพจากดาวเทียม LANDSAT 5 และ 7 ความละเอียดภาพ 30 เมตร ศึกษาสภาพการใช้ที่ดินระดับจังหวัด เป็นต้น

การทำภาพสีผสมด้วยภาพจากดาวเทียมที่บันทึกในหลายช่วงคลื่นสามารถนำมาซ้อนทับกันได้ โดยใช้ 3 สีหลัก คือ สีน้ำเงิน (Blue) สีเขียว (green) และสีแดง (red) ซึ่งเป็นช่วงคลื่นตามมองเห็น เมื่อนำมาซ้อนทับกันทำให้เกิดภาพสีผสม ปรากฏสีต่างๆ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีสี คือ การซ้อนทับของแม่สีบวกแต่ละคู่จะให้แม่สีลบ (subtractive primary color) คือ สีเหลือง (yellow) สีม่วงแดง (magenta) และสีฟ้า (cyan) ดังนี้ (รูปที่ 2.26)

สีแดง (R) + สีเขียว (G) = สีเหลือง (Y)

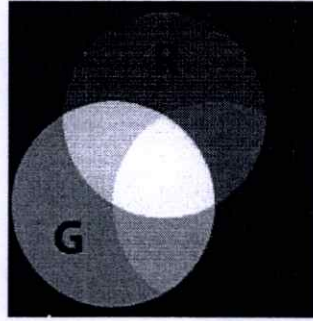
สีแดง (R) + สีน้ำเงิน (B) = สีม่วงแดง (M)

สีน้ำเงิน (B) + สีเขียว (G) = สีฟ้า (C)

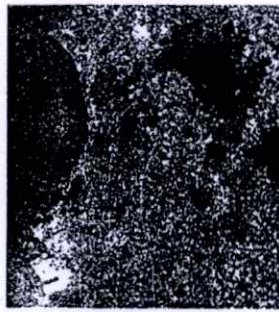
สีน้ำเงิน (B) + สีเขียว (G) + สีแดง (R) = สีขาว (W)

สีเหลือง (Y) + สีม่วงแดง (M) + สีฟ้า (C) = สีดำ

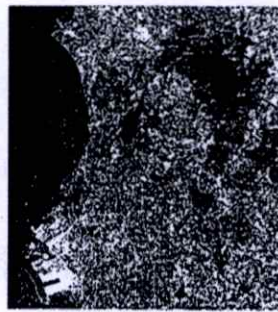
ในกรณีที่ต้องการให้ได้ภาพสีผสมธรรมชาติ (Natural color composite) เราต้องใช้ข้อมูลช่วงคลื่นสีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง มาผ่านแม่สีบวกทั้งสาม คือ น้ำเงิน เขียว และแดง ตามลำดับ ในกรณีที่ใช้ในการผสมจากข้อมูลช่วงคลื่นที่แตกต่างไปจากนี้ ภาพที่ได้จะเรียกว่า ภาพสีผสมเท็จ (False color composite) เช่น ข้อมูลช่วงคลื่นสีเขียว สีแดง และอินฟราเรดใกล้ ตามลำดับ จะให้ข้อมูลพืชพรรณเป็นสีแดง เนื่องจากพืชสามารถสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ได้ดี เป็นต้น จากหลักการดังกล่าวนี้ ทำให้เราสามารถตีความแบ่งแยกชนิดวัตถุตามสีที่ปรากฏได้



รูปที่ 2.26 การซ้อนทับกันของแม่สี



แบนด์ 1 : 0.45 - 0.52 ไมโครเมตร
(น้ำอิน)



แบนด์ 2 : 0.52 - 0.60 ไมโครเมตร
(เขียว)



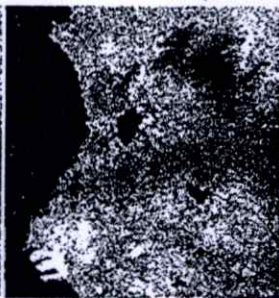
แบนด์ 3 : 0.63 - 0.69 ไมโครเมตร
(แดง)



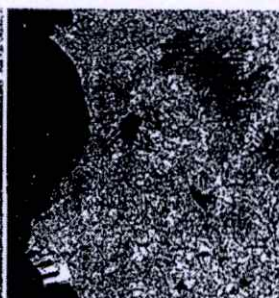
แบนด์ 4 : 0.76 - 0.90 ไมโครเมตร
(อินฟราเรดใกล้)



แบนด์ 5 : 1.65 - 1.75 ไมโครเมตร
(อินฟราเรด)



แบนด์ 6 : 10.4 - 12.50 ไมโครเมตร
(อินฟราเรดความร้อน)



แบนด์ 7 : 2.08 - 2.35 ไมโครเมตร
(อินฟราเรดสะท้อน)

รูปที่ 2.27 ภาพจากดาวเทียม LANDSAT 7 ระบบ ETM+7 ช่วงคลื่น (แบนด์) บริเวณ จ.ชลบุรี



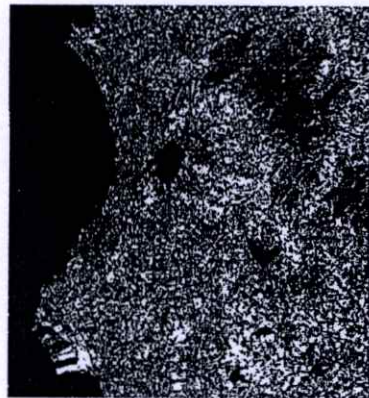
แบนด์ 3 2 1 - แดง เขียว น้ำเงิน



แบนด์ 4 3 2 - แดง เขียว น้ำเงิน



แบนด์ 4 5 2 - แดง เขียว น้ำเงิน



แบนด์ 4 5 3 - แดง เขียว น้ำเงิน



แบนด์ 7 4 2 - แดง เขียว น้ำเงิน



แบนด์ 4 7 2 - แดง เขียว น้ำเงิน

รูปที่ 2.28 ตัวอย่างภาพสีผสมของข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 7

2.19 วิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม

การวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม แบ่งกว้างๆ ได้ 2 วิธี คือ การแปลตีความด้วยสายตา (Visual interpretation) และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Image processing and classification) โดยใช้องค์ประกอบหลักสำคัญ (elements of interpretation) ประกอบด้วย

1. ความเข้มของสีและสี (tone/color) ระดับความแตกต่างของความเข้มของสีหนึ่ง ๆ ขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อนช่วงคลื่นการทำมุมกับแสง ตลอดจนการเรียงตัวของวัตถุ เช่น ป่าไม้ที่ขี้ มีคลอโรฟิลล์หรือความเขียวมาปรากฏสีเข้ม ป่าโปร่งมีสีจางกว่าสีน้ำลึกปรากฏสีดำหรือเข้ม น้ำตื้นหรือน้ำขุ่นมีสีจาง เป็นต้น

2. ขนาด (Size) ขนาดของวัตถุที่ปรากฏในภาพซึ่งขึ้นกับความละเอียดของภาพ หรือมาตราส่วนของภาพที่ปรากฏในรูปของความยาว กว้าง หรือพื้นที่ เช่น ความแตกต่างระหว่างแม่น้ำและคลอง พื้นที่ป่าธรรมชาติและสวนป่า เป็นต้น

3. รูปร่าง (shape) รูปร่างของวัตถุที่เป็นเฉพาะตัว อาจสม่ำเสมอ (regular) หรือรูปร่างไม่สม่ำเสมอ (irregular) เช่น สนามบิน พื้นที่นาข้าว ถนน แม่น้ำ คลองชลประทาน และเขื่อนเก็บน้ำ เป็นต้น

4. เนื้อภาพ (texture) หรือความหยาบ/ละเอียดของผิววัตถุ เป็นผลมาจากความสม่ำเสมอของวัตถุที่รวมกันอยู่ หรือความต่อเนื่องของค่าการสะท้อน เช่น สวนยางพารามีเนื้อภาพละเอียด เนื่องจากมีขนาดความสูงใกล้เคียงกัน ซึ่งแตกต่างจากพืชไร่และสวนผสม เป็นต้น

5. รูปแบบ (pattern) ลักษณะการจัดเรียงตัวของวัตถุปรากฏเด่นชัดระหว่างความแตกต่างตามธรรมชาติและสิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้น เช่น ความแตกต่างระหว่างแม่น้ำ คลองกับคลองชลประทาน ความแตกต่างระหว่างบ่อ สระน้ำกับเขื่อน เป็นต้น

6. ความสูงและเงา (height and shadow) เงาของวัตถุมีความสำคัญในการพิจารณาความสูง และมุมของดวงอาทิตย์ เช่น เงาบริเวณเขา หรือหน้าผา เงาของเมฆ เป็นต้น

7. ที่ตั้ง (site) หรือตำแหน่งของวัตถุที่พบตามธรรมชาติ เช่น พื้นที่ป่าชายเลนพบบริเวณชายฝั่งทะเลน้ำท่วมถึง

8. ความเกี่ยวพัน (association) วัตถุบางอย่างมีความเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น บริเวณที่มีดินไม่เป็นกลุ่มๆ มักเป็นที่ตั้งของหมู่บ้าน ไร่เลื่อนลอยอยู่ในพื้นที่ป่าไม้บนเขา นาทุ่งอยู่บริเวณชายฝั่งร่วมกับป่าชายเลน เป็นต้น

การแปลภาพเพื่อจำแนกวัตถุได้ดีและถูกต้อง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น ใดๆอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างพร้อมๆ กันไป ตามความยากง่ายและมาตราส่วนที่แตกต่างกันไป ซึ่งอาจไม่แน่นอนเสมอไป รูปร่าง สี ขนาด อาจใช้เป็นองค์ประกอบในการแปลภาพพื้นที่หนึ่ง หรือลักษณะหนึ่ง ส่วนอีกบริเวณหนึ่งของพื้นที่เดียวกัน อาจจะใช้องค์ประกอบอื่นก็ได้ ทั้งนี้

การใช้คอมพิวเตอร์จะเป็นการนำเอาเฉพาะค่าการสะท้อน ซึ่งในที่นี้ก็คือ ค่าความเข้ม มาใช้เท่านั้น

นอกจากองค์ประกอบที่กล่าวมาแล้ว ยังต้องพิจารณาลักษณะ คือ ข้อมูลที่ได้รับจากภาพจากดาวเทียม อีก 3 ลักษณะ คือ

1. ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ (spectral characteristic) ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวช่วงคลื่นในแต่ละแบนด์ โดยวัตถุต่างๆ สะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นไม่เท่ากัน ทำให้สีของวัตถุในภาพแต่ละแบนด์แตกต่างกันในระดับสีขาว - ดำ และทำให้สีแตกต่างกันในภาพสีผสมด้วย

2. ลักษณะรูปร่างของวัตถุที่ปรากฏในภาพ (spatial characteristic) แตกต่างตามมาตราส่วนและความละเอียดภาพจากดาวเทียม ถ้าคุ้นเคยกับลักษณะ รูปร่างวัตถุ ก็จะช่วยให้ทราบถึงลักษณะที่จำลองในภาพจากดาวเทียม

3. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลา (temporal characteristic) ซึ่งทำให้สถานะของวัตถุต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลง เช่น การเปลี่ยนแปลงตามช่วงฤดูกาล การเปลี่ยนแปลงรายปี เป็นต้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ทำให้มีความแตกต่างของระดับสีในภาพขาวดำและภาพสีผสม เราจึงสามารถใช้ข้อมูลดาวเทียมที่ถ่ายซ้ำที่เดิมในช่วงเวลาต่างๆ มาติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น สามารถติดตามการบุกรุกทำลายป่า การเติบโตของพืช ตั้งแต่พื้นที่เพาะปลูก จนถึงการเก็บเกี่ยว เป็นต้น

2.20 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร

วิชาการหรือเทคโนโลยีรีโมตเซนซิง ได้ใช้กันทางปฏิบัติมานานแล้ว จากหลักฐานพบว่า ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีตั้งแต่ก่อนยุคอวกาศ (ตั้งแต่ พ.ศ. 2503) โดยพัฒนามาจากการใช้รูปถ่าย ซึ่งนำมาใช้ในการสำรวจทรัพยากร และสำรวจภูมิประเทศ และเมื่อมีเครื่องบินก็เริ่มมีการถ่ายรูปทางอากาศจากเครื่องบิน ในสงครามโลกครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 การพัฒนาการถ่ายรูปทางอากาศมีมาก เพื่อกิจกรรมทางทหาร และความปลอดภัยของประเทศ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติอื่นๆ ด้วย ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีรีโมตเซนซิงเป็นไปอย่างรวดเร็ว การวิเคราะห์ข้อมูลรูปถ่ายทางอากาศในยุคนั้น ใช้การแปลด้วยสายตา ยังไม่มีการนำเอาการทำงานแบบสหวิทยาการมาประยุกต์ใช้

การสำรวจทรัพยากรโลกด้วยดาวเทียม ได้วิวัฒนาการจากการรับภาพถ่ายโลก จากการส่งสัญญาณภาพจากดาวเทียม Explorer 6 ในเดือนสิงหาคม พ.ศ.2502 วิวัฒนาการของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรเป็นไปอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องมาโดยตลอด นับตั้งแต่ยุคแรกเมื่อองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา หรือองค์การนาซา (NASA) ได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรพิภพดวงแรกของโลก ชื่อ ERTS 1 (Earth Resources Technology Satellite)

ขึ้นโคจรรอบโลกเป็นผลสำเร็จ เมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ.2515 (ต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น LANDSAT 1) พัฒนาการของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีทั้งการพัฒนาตัวดาวเทียม และอุปกรณ์รับรู้ เพื่อให้ได้ข้อมูลหลายชนิด และความละเอียดภาพที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน ด้านต่าง ๆ สามารถแบ่งเป็นยุคได้ดังนี้

ยุคทดลองและวิจัยพัฒนา

เริ่มตั้งแต่ พ.ศ.2515-2528 เป็นยุคการทดลองใช้ข้อมูลจากดาวเทียมรุ่นแรกๆ แล้วพัฒนาข้อมูลดาวเทียมให้มีคุณภาพ และความละเอียดความคมชัดดีขึ้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ ดาวเทียมในยุคแรก ได้แก่ ดาวเทียม LANDSAT 1 ถึง 3 (ความละเอียดภาพ 80 เมตร) ดาวเทียม LANDSAT 4 และ 5 (30 เมตร) และดาวเทียม SEASAT

ยุคปฏิบัติงานและความร่วมมือระหว่างประเทศ

เริ่มตั้งแต่ พ.ศ.2529 – 2539 เป็นช่วงเวลาของการปฏิบัติงานนำข้อมูลดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อย่างได้ผลและมีประสิทธิภาพรวมทั้งมีความร่วมมือของนานาประเทศ ในการประสานงานการใช้ประโยชน์การถ่ายทอดเทคโนโลยี ทั้งในระดับความร่วมมือระดับภูมิภาค และระดับโลก ดาวเทียมในยุคนี้ ได้พัฒนาขีดความสามารถของอุปกรณ์รับรู้ให้มีความละเอียดความคมชัดมากขึ้น ได้แก่ ดาวเทียม SPOT 1 ถึง 4 (20 และ 10 เมตร) MOS 1 (50 เมตร) JERS 1 (18 เมตร) IRS 1C (24 และ 5.8 เมตร) รวมทั้งระบบที่สามารถบันทึกภาพผ่านเมฆ หมอก เช่น ระบบเรดาร์ของดาวเทียม ERS 1, 2 และ RADARSAT 1

ยุคข่าวสารและเทคโนโลยี

เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ.2540 – ปัจจุบัน ยุคนี้เป็นยุคของข่าวสารที่ไร้พรมแดนและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ประเทศมหาอำนาจได้อนุญาตให้นำเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าสูงสุดมาให้พลเรือนใช้เปิดโอกาสให้มีการแข่งขันกันอย่างเสรี รวมถึงการดำเนินงานด้านสำรวจโลกด้วยดาวเทียมในเชิงธุรกิจมากขึ้น ดาวเทียมในยุคนี้ได้พัฒนาให้ข้อมูลมีความหลากหลาย และความละเอียดภาพที่สูงขึ้น ได้แก่ ดาวเทียม IRSID (24 และ 5.8 เมตร) LANDSAT 7 (30 และ 15 เมตร) SPOT 5 (2.5 เมตร) IKONOS (1 เมตร) QUICKBIRD (0.61 เมตร) TERRA ENVISAT และ ADEOS 2 เป็นต้น

2.21 ดาวเทียม LANDSAT

องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา ได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรพิภพดวงแรกของโลก ERTS 1 ขึ้นโคจรรอบโลกเป็นผลสำเร็จ เมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ.2515 (ต่อมาได้เปลี่ยนชื่อเป็น LANDSAT 1) และได้ส่ง LANDSAT 2 เมื่อวันที่ 2 มกราคม พ.ศ.2518 LANDSAT 3 เมื่อวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ.2521 LANDSAT 4 เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ.2525 LANDSAT 5 เมื่อวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ.2527 และ LANDSAT 7 เมื่อวันที่ 15 เมษายน พ.ศ.2542 ปัจจุบันยังคงเหลือเฉพาะ LANDSAT 5 และ LANDSAT 7 ที่กำลังปฏิบัติงานอยู่

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของดาวเทียมชุด LANDSAT

อุปกรณ์รับรู้	แบนด์	ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	ความละเอียดภาพ (เมตร)
RBV (Returned Beam Vidicon) *เฉพาะ LANDSAT 3	1	น้ำเงินเขียว	0.475-0.575	80
	2	แดง	0.580-0.680	80
	3	อินฟราเรดใกล้	0.690-0.830	80
	1*		0.505-0.705	40
MSS (Multispectral Scanner System) LANDSAT 1,2,3	4	เขียว	0.50-0.60	80
	5	แดง	0.60-0.70	80
	6	อินฟราเรดใกล้	0.70-0.80	80
	7	อินฟราเรดใกล้	0.80-1.10	80
	8	อินฟราเรดความร้อน	10.8-12.4	240
TM (Thematic Mapper) LANDSAT 4,5	1	น้ำเงิน	0.42-0.52	30
	2	เขียว	0.52-0.60	30
	3	แดง	0.63-0.69	30
	4	อินฟราเรดใกล้	0.76-0.90	30
	5	อินฟราเรดคลื่นสั้น	1.55-1.75	30
	6	อินฟราเรดสะสม ความร้อน	10.4-12.5	120
EMT+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) LANDSAT 7	1	น้ำเงิน	0.45-0.52	30
	2	เขียว	0.52-0.60	30
	3	แดง	0.63-0.69	30
	4	อินฟราเรดใกล้	0.76-0.90	30
	5	อินฟราเรดคลื่นสั้น	1.55-1.75	30
	6	อินฟราเรดความร้อน	10.4-12.5	60
	7	อินฟราเรดสะท้อน	2.08-2.35	30
	PAN		0.52-0.90	15

ตารางที่ 2.3 อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมชุด LANDSAT

แบนด์	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	ศักยภาพการใช้ประโยชน์
1	0.45-0.52 (น้ำเงิน)	ใช้ตรวจสอบลักษณะน้ำตามชายฝั่ง
		แสดงความแตกต่างหรือใช้แยกประเภทต้นไม้ชนิดผลัดใบและไม่ผลัดใบออกจากกัน
		แสดงความแตกต่างหรือแยกดินจากพืชพรรณต่างๆ ที่มีความไวต่อการมีหรือไม่มีคลอโรฟิลล์
2	0.52-0.60 (เขียว)	แสดงการสะท้อนพลังงานสีเขียวจากพืชพรรณที่เจริญเติบโตแล้ว
3	0.63 - 0.69 (แดง)	แสดงความแตกต่างของการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณชนิดต่าง ๆ กัน
4	0.76 - 0.90 (อินฟราเรดใกล้)	ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวะ แสดงความแตกต่างของน้ำและส่วนที่ไม่ใช่น้ำ
5	1.55-1.75 (อินฟราเรดคลื่นสั้น)	ใช้ตรวจความชื้นในพืช แสดงความแตกต่างของหิมะกับเมฆ
6	10.4-12.5 (อินฟราเรดความร้อน)	ใช้ตรวจการเหี่ยวเฉาอันเนื่องจากความร้อนในพืช
		แสดงความแตกต่างของความร้อนบริเวณที่ศึกษา แสดงความแตกต่างของของชื้นของดิน
7	2.08-2.35 (อินฟราเรดสะท้อน)	ใช้ตรวจความร้อนในน้ำ ใช้แยกประเภทแร่ธาตุและหินชนิดต่าง ๆ
PAN	0.52-0.90	ใช้ประโยชน์ในด้านผังเมืองคล้ายกับรูปถ่ายทางอากาศ

ศักยภาพการใช้ประโยชน์ของอุปกรณ์รับรู้ ETM+ ของดาวเทียม LANDSAT 7

2.22 ดาวเทียม SPOT

ดาวเทียม SPOT (Le System Probatoire d'Observation de la terre) พัฒนาโดยสถาบันอวกาศแห่งชาติฝรั่งเศส (Centre National d'Eludes Spatiales : CNES) ร่วมกับประชาคมยุโรป ดาวเทียม SPOT 1 ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรใน พ.ศ.2529 SPOT 2 ถูกส่งขึ้น ในเดือนมกราคม พ.ศ.2533 SPOT 3 ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2536 SPOT 4 วันที่ 24 มีนาคม พ.ศ.2541 และ SPOT 5 ในวันที่ 3 พฤษภาคม พ.ศ.2545

ดาวเทียม SPOT 1,2 และ 3 มีเครื่องมือในการบันทึกข้อมูล ได้แก่ High – Resolution Instruments สำหรับถ่ายภาพความละเอียดสูง และ Stereoscopic Instruments สำหรับถ่ายแบบมุมมองสามมิติ ประกอบอยู่ในกล้อง High Resolution Visible (HRV) จำนวน 2 กล้อง มีอุปกรณ์รับรู้แบบระบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral mode) 3 ช่วงคลื่นที่ความละเอียดภาพ 20 เมตร และระบบช่วงคลื่นเดี่ยว (panchromatic mode) ที่ความละเอียดภาพ 10 เมตร การถ่ายภาพสามมิติเป็นไปตามแนวขวางการโคจร (across track)

ส่วนดาวเทียม SPOT 4 เป็นกล้อง High Resolution Visible and Infrared (HRVIR) มีอุปกรณ์รับรู้เช่นเดียวกับกล้อง HRV แต่เพิ่มช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ในระบบหลายช่วงคลื่น สำหรับดาวเทียม SPOT 5 เปลี่ยนเป็นกล้อง High Resolution geometric (HRG) ดัดแปลงจากกล้อง HRVIR โดยเพิ่มความละเอียดภาพเป็น 10 เมตร ในช่วงคลื่นตามองเห็นของระบบหลายช่วงคลื่น และระบบช่วงคลื่นเดี่ยวเป็น 2.5 – 5 เมตร ทั้งกล้อง HRVIR และ HRG ถ่ายภาพสามมิติในแนวขวางทางโคจรเช่นเดียวกับดาวเทียม SPOT 1, 2 และ 3 แต่สำหรับดาวเทียม SPOT 5 ยังมีอุปกรณ์รับรู้ High Resolution stereoscopic (HRS) ใช้ในการถ่ายภาพสามมิติ ซึ่งถ่ายภาพตามแนวโคจร และครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง สามารถให้ข้อมูลสำหรับการผลิต Digital Elevation Model (DEMs)

นอกจากนี้ ในดาวเทียม SPOR 4 และ 5 มีการติดตั้งเครื่องมือ เช่น VEGETATION Instrument 4 ช่วงคลื่น ในช่วงคลื่นตามองเห็นและอินฟราเรดใกล้ที่ความละเอียดภาพ 1 กิโลเมตร ใช้ในการศึกษาพืชพรรณ โลก การติดตามด้านการเกษตร การเปลี่ยนแปลงป่าไม้ รวมถึงปรากฏการณ์เรือนกระจก

ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะของดาวเทียม SPOT

คุณลักษณะดาวเทียม	SPOT 1,2,3		SPOT 4		SPOT 5	
	822		822		822	
	สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์		สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์		สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์	
	11.40 นาที		101.40 นาที		101.40 นาที	
	ทุก ๆ 26 วัน		ทุก ๆ 26 วัน		ทุก ๆ 26 วัน	
	High Resolution Instrument Stereoscopic Instrument		High Resolution Instrument Stereoscopic Instrument VEGETATION Instrument		High Resolution Instrument Stereoscopic Instrument VEGETATION Instrument	
	2 HRVs		2 HRVirs		2 HRGs	
	Multispectral (XS)	Panchromatic	Multispectral (XI)	Monospectral	Multispectral (XS)	Panchromatic
ความละเอียดภาพ (เมตร)	20	10	20	10	10,20	2.5-5
ความกว้าง ของแนวนันทึก (กิโลเมตร)	60 x 60 ถึง 80		60 x 60 ถึง 80		60 x 60 ถึง 80	60 x 60 ถึง 80
	HRV		HRVIR		HRG	HRS
	Multispectral (XS)	Panchromatic	Multispectral (XI)	Monospectral	Multispectral (XS)	Panchromatic
ความละเอียดภาพ (เมตร)	20	10	20	10	10,20	2.5 -5
ความกว้าง ของแนวนันทึก (กิโลเมตร)	60 x 60 ถึง 80		60 x 60 ถึง 80		60 x 60 ถึง 80	60 x 120
การถ่ายภาพมุม มองสามมิติ	ขวางแนวโคจร		ขวางแนวโคจร		ขวางแนว โคจร	ตามแนว โคจร
VEGETATION Instrument	-		-		VEGETATION 2	
ความละเอียดภาพ (เมตร)	-		-		1,000	
ความกว้างของ แนวนันทึก (กิโลเมตร)	-		-		2,250	

ตารางที่ 2.5 อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียมชุด SPOT

อุปกรณ์รับรู้	แบนด์	ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	ความละเอียดภาพ (เมตร)
	1	เขียว	0.50-0.59	20
	2	แดง	0.61-0.68	20
	3	อินฟราเรดใกล้	0.79-0.89	20
Panchromatic SPOT 1,2	P	ตามองเห็น	0.51-0.73	10
	1	เขียว	0.50-0.59	20
	2	แดง	0.61-0.68	20
	3	อินฟราเรดใกล้	0.79-0.89	20
	4	อินฟราเรดคลื่นสั้น	1.58-1.75	20
Monospectral SPOT 4	M	ตามองเห็น	0.61-0.68	10
	0	เขียว	0.50-0.59	10
	2	แดง	0.61-0.68	10
	3	อินฟราเรดใกล้	0.79-0.89	10
	4	อินฟราเรดคลื่นสั้น	1.58-1.75	10
Panchromatic (HRG) SPOT 5	P	ตามองเห็น	0.48-0.71	2.5-5
Panchromatic (HRS) SPOT 5	P	ตามองเห็น	0.49-0.69	10(ตามแนวโคจร)
	0	น้ำเงิน	0.45-0.52	10
	2	แดง	0.61-0.68	10
	3	อินฟราเรดใกล้	0.79-0.89	10
	4	อินฟราเรดคลื่นสั้น	1.58-1.75	20

2.23 ดาวเทียม QUICKBIRD

เป็นดาวเทียมเชิงพาณิชย์ของสหรัฐอเมริกา โดยบริษัท Digital Globe ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจร เมื่อวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2544 มีความละเอียดภาพ 0.61 เมตร ในแบนด์ panchromatic และ 2.44 เมตร ในระบบหลายช่วงคลื่นบันทึกข้อมูลช่วงคลื่นตามมองเห็นและอินฟราเรดได้ แนวถ่ายภาพกว้าง ประมาณ 16.5 กิโลเมตร

ความสูงของการโคจร	450	
ลักษณะการโคจร	สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์	
เวลาในการโคจรรอบโลก 1 รอบ	93.4 นาที	
บันทึกข้อมูลซ้ำที่เดิม	เฉลี่ยทุก ๆ 1-3.5 วัน	
อุปกรณ์รับรู้	PAN	Multispectral
ความละเอียดภาพ (เมตร)	0.61	2.44
ความกว้างของแนวบันทึก (กิโลเมตร)	16.5	16.5

ตารางที่ 2.6 อุปกรณ์รับรู้ของดาวเทียม QUICKBIRD

อุปกรณ์รับรู้	แบนด์	ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น	ความละเอียดภาพ
			(ไมโครเมตร)	(เมตร)
PAN	PAN	ตามมองเห็น	0.45-0.90	0.61
Multispectral	1	น้ำเงิน	0.45-0.52	2.44-2.88
	2	เขียว	0.52-0.60	2.44-2.88
	3	แดง	0.63-0.69	2.44-2.88
	4	อินฟราเรดใกล้	0.76-0.90	2.44-2.88

2.24 นโยบายด้านดาวเทียมสำรวจพิภพความละเอียดสูง

ในปัจจุบันมีดาวเทียมสำรวจพิภพความละเอียดสูงโคจรรอบโลกอยู่หลายดวง โดยส่วนใหญ่พัฒนาโดยภาพเอกชนของสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากคำสั่งประธานาธิบดีสหรัฐอเมริกา ที่เรียกว่า PDD – 23 (President Directive 23) ที่ประกาศในเดือนมีนาคม ค.ศ. 1994 (พ.ศ. 2537) โดยมีสาระสำคัญดังนี้ คือ

1. การให้ต่างชาติได้เข้าถึงขีดความสามารถด้านรีโมตเซนซิงจากอวกาศ

รีโมตเซนซิงจากอวกาศ ทำให้ผู้ใช้ด้านวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรม ราชการฝ่ายพลเรือน และฝ่ายทหาร ตลอดจนผู้ใช้ปัจเจกบุคคล มีศักยภาพในการเก็บข้อมูลเพื่อวัตถุประสงค์ ที่มีประโยชน์หลายอย่าง รัฐบาลสหรัฐอเมริกามีระบบลาดตระเวนจากอากาศที่มีรายละเอียดสูง

ซึ่งถือได้ว่าเป็นทรัพย์สินด้านความมั่นคงแห่งชาติที่มีคุณค่ามากที่สุดแห่งหนึ่ง เนื่องจากสามารถเก็บข้อมูลที่มีคุณภาพสูง ทันต่อเหตุการณ์ ครอบคลุมบริเวณกว้าง และสามารถที่จะติดตามเหตุการณ์ทั่วโลกได้ลักษณะใกล้เคียงเวลาจริง มีหลายประเทศได้ค้นพบคุณค่าของดาวเทียมเหล่านี้ และกำลังพัฒนาขีดความสามารถของตนเอง หรือมีจะนั้นก็กำลังแสวงหาการจัดซื้อข้อมูล หรือระบบดังกล่าว

เป้าหมายพื้นฐานของนโยบายสหรัฐอเมริกา ก็คือ การสนับสนุน และการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมสหรัฐอเมริกา ในด้านรีโมตเซนซิงจากอวกาศ ในขณะเดียวกันก็ปกป้องรักษาผลประโยชน์ด้านนโยบายต่างประเทศและความมั่นคงแห่งชาติ เพื่อรักษาสถานะอุตสาหกรรมที่สำคัญ เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีของสหรัฐอเมริกา เพื่อสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจ เพื่อพลังอำนาจแห่งชาติ และเพื่อเสริมสร้างเสถียรภาพของภูมิภาค

ขอบเขตของนโยบายครอบคลุมการให้ต่างชาติได้เข้าถึงข้อมูล ผลผลิต เทคโนโลยี และระบบรีโมตเซนซิงจากอวกาศ เกี่ยวกับใบอนุญาตเชิงการค้า นั้น นโยบายนี้ย่อมรวมถึงการดำเนินงานขอใบอนุญาตที่ออกให้ภายใต้กฎหมายนโยบายรีโมตเซนซิงผืนแผ่นดินของ พ.ศ.2535 (Land Remote Sensing Policy Act of 1992) และใบอนุญาตการส่งออกสินค้าบางชิ้น ที่ควบคุมในรายการสินค้าอาวุธของสหรัฐอเมริกา หรือรายการสินค้าควบคุมทางการค้า

2. การให้ใบอนุญาตและการดำเนินงานของระบบรีโมตเซนซิงของเอกชน

การขอใบอนุญาตโดยบริษัทสหรัฐอเมริกาในการดำเนินงานระบบรีโมตเซนซิงจากอวกาศของภาคเอกชน จะพิจารณาเป็นกรณีๆ ไป ตามที่กำหนดไว้ในกฎหมายนโยบายรีโมตเซนซิงผืนแผ่นดินของ พ.ศ. 2535 โดยมีสมมุติฐานว่า ระบบดังกล่าวที่มีศักยภาพในการมีอยู่ในปัจจุบัน หรือที่วางแผนให้มีในตลาดโลก เช่น SPOT LANDSAT ฯลฯ จะได้รับพิจารณาด้วยดี และหน่วยงานของสหรัฐอเมริกาที่ได้รับใบอนุญาตดำเนินงานภายใต้กฎหมายนี้จะใช้เงื่อนไข ดังนี้

ผู้ได้รับใบอนุญาต จะต้องเก็บประวัติการถ่ายภาพโดยดาวเทียมทั้งหมดของปีก่อน และยินยอมให้รัฐบาลสหรัฐอเมริกาเข้าถึงประวัตินี้ด้วย

2.1 ผู้ได้รับใบอนุญาตจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการทำงานของระบบดาวเทียมจากที่ยื่นขอ โดยปราศจากการแจ้งให้ทราบอย่างเป็นทางการและการอนุมัติโดยกระทรวงพาณิชย์ ซึ่งจะประสานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

2.2 ผู้ได้รับใบอนุญาตจะต้องขอใบอนุญาตส่งออกด้วย

2.3 ใบอนุญาตมีอายุการใช้งานได้ในเวลาที่กำหนดแน่นอน และไม่สามารถเปลี่ยนมือได้ และไม่สามารถโอนให้ต่างชาติได้เกินกว่าขีดจำกัดที่กำหนด โดยปราศจากการอนุญาตอย่างเปิดเผยของรัฐมนตรีว่าการกระทรวงพาณิชย์

2.4 อุปกรณ์ที่ใส่รหัสทั้งปวง จะต้องได้รับการอนุมัติโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา

2.5 ผู้ได้รับอนุญาตจะต้องใช้รูปแบบการส่งสัญญาณข้อมูลจากดาวเทียม ซึ่งยอมให้รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้เข้าถึงและใช้ข้อมูลได้ในช่วงวิกฤต

2.6 ในช่วงวิกฤต เช่น ความมั่นคงแห่งชาติ หรือพันธกรณีระหว่างประเทศและ/หรือนโยบายต่างประเทศ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพาณิชย์หลังจากการปรึกษาหารือกับรัฐมนตรีว่าการกระทรวงกลาโหม หรือรัฐมนตรีว่าการกระทรวงการต่างประเทศ อาจจะทำกักตักการถ่ายภาพและ/หรือการแจกจ่ายข้อมูลโดยระบบตามความจำเป็นของสถานการณ์

2.7 รัฐบาลสหรัฐอเมริกาเมื่อกำหนดว่า บริษัทสหรัฐอเมริกา ที่ได้รับใบอนุญาตภายใต้กฎหมายฉบับนี้ ต้องแจ้งให้รัฐบาลสหรัฐอเมริกาทราบถึงความประสงค์ของบริษัทฯ ที่จะทำสัญญาสำคัญๆ หรือที่มีสาระมากกับลูกค้าต่างชาติรายใหม่ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะได้รับการแจ้งให้ทราบล่วงหน้าถึงข้อตกลงเช่นว่านี้ เพื่อให้มีโอกาสดูพิจารณาข้อตกลงที่เสนอว่าจะสอดคล้องกับความมั่นคงแห่งชาติ พันธกรณีระหว่างประเทศและนโยบายต่างประเทศของรัฐบาลสหรัฐอเมริกาหรือไม่

3. การถ่ายทอดขีดความสามารถรีโมตเซนซิงล้ำยุค

3.1 เกี่ยวกับการส่งออกระบบรีโมตเซนซิงล้ำยุคนั้นรัฐบาลสหรัฐอเมริกา จะพิจารณาเป็นกรณีๆ ไป โดยพิจารณาจาก

3.1.1 ความยอมรับและความสามารถของผู้ซื้อต่างชาติ ที่จะปฏิบัติตาม ในด้านการแข่งขัน , การป้องกัน และการปฏิเสธข้อมูลและผลิตภัณฑ์ โดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา

3.1.2 ขีดจำกัดในด้านความละเอียดของภาพ ขอบเขตครอบคลุมทางภูมิศาสตร์ , ความทนต่อเหตุการณ์ , ช่วงคลื่นถ่ายภาพ , การประมวลผลข้อมูลและเทคนิคการวิเคราะห์ , ขีดความสามารถในการควบคุมการถ่ายภาพของดาวเทียม และภูมิศาสตร์

ระบบที่จะขายให้แก่รัฐบาลต่างประเทศหรือหน่วยงานต่างประเทศอื่นใด อาจจะต้องขึ้นอยู่กับข้อตกลงเป็นทางการระหว่างรัฐบาลต่อรัฐบาล

3.2 การถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ละเอียดอ่อน ซึ่งรัฐบาลสหรัฐอเมริกา จะพิจารณาว่าการส่งออกชิ้นส่วน ระบบย่อย และสารสนเทศที่ละเอียดอ่อนเกี่ยวกับขีดความสามารถรีโมตเซนซิงจากอวกาศเป็นลักษณะจำกัด เทคโนโลยีละเอียดอ่อนในที่นี้ประกอบด้วย รายการเทคโนโลยีที่ปรากฏในรายการอาวุธของสหรัฐอเมริกาที่จำเป็นในการพัฒนาหรือสนับสนุนขีดความสามารถรีโมตเซนซิงจากอวกาศที่ล้ำยุค และซึ่งหาได้เฉพาะสหรัฐอเมริกาเทคโนโลยีละเอียดอ่อนเช่นว่านี้จะให้แก่หน่วยงานต่างชาติ เฉพาะภายใต้ข้อตกลงระหว่างรัฐบาลต่อรัฐบาล

3.3 ข้อเสนอว่าด้วยข่าวกรองระหว่างรัฐบาลต่อรัฐบาลและหุ้นส่วนการป้องกันประเทศกับรัฐบาลต่างชาติเกี่ยวกับรีโมตเซนซิง อันอาจก่อให้เกิดคำถามด้านการแข่งขันของรัฐบาลสหรัฐอเมริกา กับภาคเอกชน หรืออันอาจเปลี่ยนแปลงการใช้เงินของรัฐบาลสหรัฐอเมริกาที่เกิดจากการจัด

ให้มีหุ้นส่วนระหว่างรัฐบาลสหรัฐอเมริกากับรัฐบาลต่างชาตินั้น จะต้องส่งให้หน่วยงาน ที่เกี่ยวข้อง ได้พิจารณาเสนอความเห็น

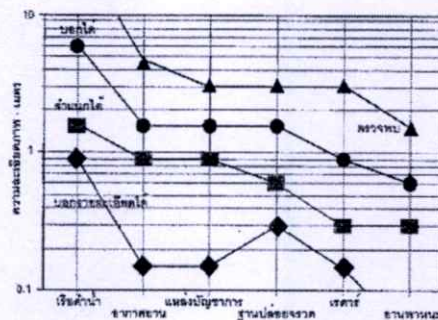
2.25 ข้อพิจารณาเกี่ยวกับความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution)

ตามเอกสารของคณะกรรมการว่าด้วยการใช้อวกาศส่วนนอกในทางสันติของสหประชาชาติ (NU/COPUOS) เมื่อวันที่ 17 มกราคม พ.ศ.2523 ได้ระบุว่า

คำว่า “ความละเอียดภาพ” ไม่อาจใช้ได้หากไม่มีค่าจำกัดความของเป้า (target) ที่สัมพันธ์กัน ดังนั้น การกล่าวว่า ระบบมีความละเอียด X เมตรบนพื้นดิน จึงไม่มีความหมายนอกเสียจากลักษณะของเป้า และความเข้มข้นของมันจะถูกกำหนดไว้ด้วย ในทำนองเดียวกัน คำว่า ขอบเขตการเห็น ณ ขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous Field of view = IFOV) เพียงอย่างเดียว ย่อมไม่สามารถกำหนดการสนองตอบเชิงพื้นที่ของระบบกวาดภาพ (Scanner system) ได้อย่างเพียงพอ

จากที่กล่าวข้างต้น ได้มีการกำหนดระดับความละเอียดภาพสำหรับอุปกรณ์รับรู้แบบกวาดภาพ (scanner sensor) ได้ดังนี้

1. ความละเอียดภาพสำหรับเป้าที่มีความคมชัดต่ำ มีค่าประมาณ 2.4 เท่าของ IFOV
2. ความละเอียดภาพสำหรับเป้าที่มีความคมชัดสูง มีค่าประมาณ 1.6 เท่าของ IFOV



รูปที่ 2.30 ความสามารถในการแยกแยะเป้าต่างๆ จากระดับความละเอียดของการถ่ายภาพด้วยดาวเทียม

ตารางที่ 2.7 ตารางรายละเอียดดาวเทียมสำรวจพิภพความละเอียดก่อนข้างสูงมาก
ที่ส่งขึ้นสู่วงโคจรและที่วางแผนไว้

ดาวเทียม	ประเทศ	ขึ้นวงโคจร	ความสูง วงโคจร (กิโลเมตร)	อุปกรณ์ รับรู้	ความ ละเอียด ภาพ (เมตร)	ความกว้าง ของแนว บันทึก	จำนวน แบนด์
	อินเดีย	พ.ศ. 2538	817	PAN MS	5.8 25	70 142	4
	แคนาดา	พ.ศ. 2539	798	RADAR	8-100	50-500	1
	ญี่ปุ่น	พ.ศ. 2539 (ไม่ทำงาน)	797	PAN MS	8 16	80	4
	อินเดีย	พ.ศ. 2540	817	PAN MS	5.8 25	70 142	4
	สหรัฐ อเมริกา	พ.ศ. 2540 (ไม่ทำงาน)	470	PAN MS	3 15	6 37	4
	ฝรั่งเศส	พ.ศ. 2541	820	PAN MS	10 20	60	4
	สหรัฐ อเมริกา	พ.ศ. 2541 (ไม่ทำงาน)	470	PAN MS	1 4	8	4
	สหรัฐ อเมริกา	พ.ศ. 2542	680	PAN MS	1 4	11	4
	จีน,บราซิล	พ.ศ. 2542	778	PAN MS	20 80	120	4
	สหรัฐ อเมริกา	พ.ศ. 2542	705	PAN MS	14 30	186	7
	สหรัฐ อเมริกา	พ.ศ. 2542	705	MS	15 30	60	14
	เกาหลี	พ.ศ. 2542	685	PAN	6.6	17	
	สหรัฐ อเมริกา	พ.ศ. 2542	680	PAN MS	1 4	11	4

ตารางที่ 2.7 ตารางรายละเอียดดาวเทียมสำรวจพิภพความละเอียดค่อนข้างสูงมาก
ที่ส่งขึ้นสู่วงโคจรและที่วางแผนไว้ (ต่อ)

ดาวเทียม	ประเทศ	ขึ้นวงโคจร	ความสูง วงโคจร (กิโลเมตร)	อุปกรณ์ รับรู้	ความ ละเอียด ภาพ (เมตร)	ความกว้าง ของแนว บันทึก	จำนวน แบนด์
	ฝรั่งเศส	พ.ศ. 2542	820	PAN MS	2.5-5 10	60	4
	สหรัฐ อเมริกา	พ.ศ. 2543 (ไม่ทำงาน)	450	PAN MS	0.82 3.2	22	4
	สหรัฐ อเมริกา	พ.ศ. 2544	450	PAN MS	0.61 2.44	17	4
	ฝรั่งเศส	พ.ศ. 2545	820	PAN MS	2.5-5 10	60	4
	องค์การ อวกาศ แห่งยุโรป	พ.ศ. 2545	800	RADAR	30	50-100	1
	อินเดีย	พ.ศ. 2546	817	PAN	2.5	70	
	ญี่ปุ่น	พ.ศ. 2547	692	RADAR PAN MS	10 2.5 10	70	4
	สหรัฐ อเมริกา	พ.ศ. 2547	705	MS	15 30	60	14

2.26 การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมในประเทศไทย

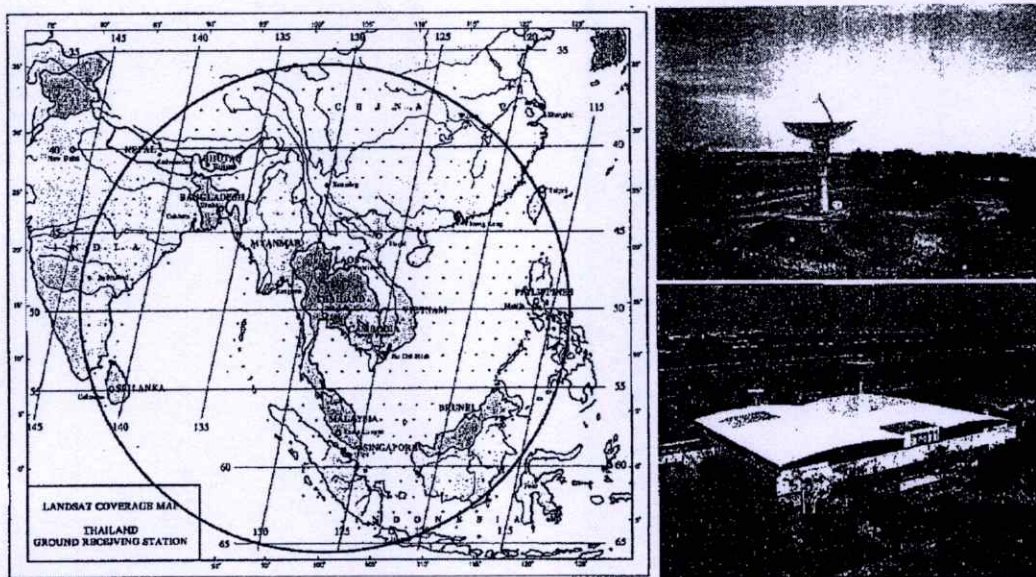
การสำรวจทรัพยากรด้วยดาวเทียมในประเทศไทย ได้เริ่มขึ้นอย่างจริงจัง ตั้งแต่ พ.ศ. 2514 โดยคณะรัฐมนตรีได้มีมติแต่งตั้งคณะกรรมการแห่งชาติ ว่าด้วยการประสานการกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมและหอดูดาววิทยาลอยฟ้า เมื่อวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2514 คณะกรรมการประกอบด้วย กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจากหน่วยงานต่างๆ รวมทั้งได้อนุมัติให้เข้าร่วมโครงการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (NASA) ในการใช้ประโยชน์ข้อมูลดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรก ERTS 1

(Earth Resources Technology Satellite) ภายหลังเป็น LANDSAT 1 โดยตั้งเป็น โครงการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม ภายใต้สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ซึ่งต่อมาได้รับการยกฐานะขึ้นเป็นกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม ใน พ.ศ.2522 มีหน้าที่การวางแผน ประสานงานเกี่ยวกับการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม และการส่งเสริมการนำข้อมูลจากดาวเทียมไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาประเทศอย่างกว้างขวาง และเป็นผลดียิ่ง เช่น ป่าไม้, การใช้ที่ดิน, การเกษตร, ธรณีวิทยา, สิ่งแวดล้อม เป็นต้น

ปลาย พ.ศ.2524 ประเทศไทยจัดตั้งสถานีรับส่งสัญญาณดาวเทียมภาคพื้นดิน เพื่อทำหน้าที่ในการรับ และผลิตข้อมูลดาวเทียม นับเป็นสถานีรับแห่งแรกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งอยู่ในเขตลาดกระบัง มีรัศมีขอบข่ายการส่งสัญญาณ ประมาณ 2,500 กิโลเมตร ซึ่งครอบคลุม 17 ประเทศ ได้แก่ ไทย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ สิงคโปร์ มาเลเซีย พม่า กัมพูชา เวียดนาม ลาว บังกลาเทศ ภูฏาน เนปาล อินเดีย บรูไน ศรีลังกา ไต้หวัน สาธารณรัฐประชาชนจีน และฮ่องกง ในขณะนั้นรับสัญญาณดาวเทียม LANDSAT และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA

ในปลาย พ.ศ.2530 สถานีรับสัญญาณดาวเทียมภาคพื้นดิน ได้รับการพัฒนาปรับปรุงให้สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมความละเอียดสูง คือ ระบบ Thematic Mapper ของดาวเทียม LANDSAT 5 ซึ่งมีความละเอียด 30 เมตร และกล้อง HRV ของดาวเทียม SPOT ของฝรั่งเศส ที่มีความละเอียด 20 เมตร ของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลหลายช่วงคลื่น และความละเอียด 10 เมตร ของอุปกรณ์ panchromatic รวมทั้งดาวเทียม MOS ซึ่งเป็นความร่วมมือขององค์การพัฒนาอวกาศแห่งชาติญี่ปุ่น (NASDA) และไทย

นอกจากนี้ใน พ.ศ.2536-2537 โดยความช่วยเหลือจากประชาคมยุโรป ผ่านองค์การอวกาศแห่งยุโรป (ESA) ทำให้สถานีรับฯ ของไทยสามารถให้บริการข้อมูลเรดาร์จากดาวเทียม ERS1 ข้อมูลเรดาร์สามารถทะลุเมฆได้ อันเป็นประโยชน์แก่ประเทศที่มีเมฆปกคลุมเป็นระยะเวลานาน โดยเฉพาะฤดูฝน ต่อมาได้มีการปรับปรุงสถานีรับฯ ให้สามารถรับสัญญาณและผลิตข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 7; NOAA 14, IRS ID และ RADARSAT 1 ได้



รูปที่ 2.31 รัศมีครอบคลุมของสถานีรับสัญญาณภาพพื้นดินของไทย

ใน พ.ศ.2543 ได้มีการรวมกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กับฝ่ายประสานและส่งเสริมการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ศูนย์ข้อมูลสารสนเทศ สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม เปลี่ยนสถานภาพเป็นองค์การมหาชน ชื่อ “สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) : สทอภ. หรือ Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization) : GISTDA” เมื่อวันที่ 2 พฤศจิกายน พ.ศ.2543 โดยได้กำหนดพันธกิจ ไว้ดังนี้ “ดำเนินกิจการด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ประกอบด้วย การให้บริการ การวิจัย และพัฒนาการลงทุน การถ่ายทอดเทคโนโลยี และการแลกเปลี่ยนข้อมูล เพื่อประสานงานกับภาครัฐและเอกชน หรือหน่วยงานอื่น ทั้งภายในประเทศ และต่างประเทศ

ในปัจจุบันสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ร่วมกับบริษัท Space Imaging Southeast Asia จำกัด และบริษัท ลีอ็อกซ์เลย์ จำกัด (มหาชน) ได้ดำเนินการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียม IKONOS โดยสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนิน ทรงเปิดสถานีรับสัญญาณดาวเทียม IOKNOS ณ สถานีรับสัญญาณดาวเทียมสำรวจทรัพยากร เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ในวันจันทร์ที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2546 ทำให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการบริการข้อมูลดาวเทียมความละเอียดสูงซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตแผนที่ ตามวัตถุประสงค์ด้านต่างๆ และใช้ติดตาม การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ หรือปรากฏการณ์ต่างๆ ณ บริเวณเดิม ได้ทุกๆ 3 วัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

3.1.1 พื้นที่ศึกษา

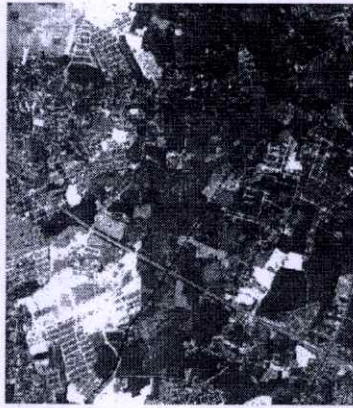
พื้นที่ศึกษาได้พิจารณาเลือกพื้นที่ของฝ่ายปฏิบัติการ เขตภาคเหนือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยการพิจารณาคัดเลือกพื้นที่ศึกษา คือ ควรจะมีแนวสายส่งไฟฟ้าที่พาดผ่านพื้นที่หลายลักษณะเช่น เป็นพื้นที่ชุมชนซึ่งเป็นบริเวณที่มักจะมีการบุกรุกแนวเขตเดินสายส่งไฟฟ้าเกิดขึ้น ได้เลือกแนวสายส่งลำพูน 2 – เชียงใหม่ 2 ซึ่งพาดผ่านอำเภอสันทราย อำเภอดอยสะเก็ด อำเภอแม่ริม อำเภอเมือง อำเภอสันกำแพง และอำเภอสารภีเป็นแนวสายส่งพื้นที่ศึกษา

3.1.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม 2 ช่วงเวลา

หลังจากคัดเลือกพื้นที่ศึกษาได้แล้ว จึงทำการจัดหาภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง IKONOS สองช่วงเวลาจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (สทอภ.) โดยมีข้อกำหนดในการจัดหาภาพถ่ายดาวเทียมรายดังกล่าวเป็นทั้งภาพ Panchromatic และ Multispectral โดยไม่ต้องทำเป็นภาพ Pan-sharpened เป็นภาพถ่ายลักษณะ Anniversary Date คือ วันที่บันทึกภาพควรเป็นวันเดียวกัน หรือใกล้เคียงที่สุดในแต่ละปี และควรมีระยะเวลาที่ห่างกันอย่างน้อย 1 ปี

1. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง IKONOS บันทึกภาพเมื่อวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ.2548 แบนด์ VNIR. (Visible near infrared) และแบนด์ Panchromatic ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 47 ตารางกิโลเมตร เป็นภาพอ้างอิง ที่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) ให้อยู่ในระบบพิกัดเดียวกันกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่บันทึกภาพวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ.2547 โดยใช้สมการโพลีโนเมียล ดีกรีสองที่มีจุดร่วม 30 จุด และมีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error) ของการทำให้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ทั้ง 2 ภาพ มีระบบพิกัดเดียวกันเป็น 0.20 จุดภาพ

2. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง IKONOS บันทึกภาพเมื่อวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ.2547 แบนด์ VNIR. (Visible near infrared) และแบนด์ Panchromatic ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 47 ตารางกิโลเมตร เป็นภาพอ้างอิงที่ต้องการปรับแก้เชิงคลื่น โดยข้อมูลภาพถ่ายดังกล่าวเป็นข้อมูลภาพที่ผ่านการแปลงค่าพิกัดภาพไปสู่พิกัดภูมิศาสตร์ (Georeference) แล้ว โดยปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) ให้อยู่ในระบบพิกัดเดียวกันกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่บันทึกภาพวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ.2547



รูปที่ 3.1 ภาพดาวเทียมรายละเอียดสูง 30 มี.ค. 2547



รูปที่ 3.2 ภาพดาวเทียมรายละเอียดสูง 19 มี.ค. 2548

รายละเอียดของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS ทั้งที่เป็นแบบ Panchromatic(ภาพ Gray Scale) และ VNIR. (Visible near infrared) ภาพในโหมดสีธรรมชาติประกอบด้วยแบนด์ R, G, B, จำนวน 3 แบนด์ ประกอบไปด้วยข้อมูลของค่าพิกัดทางแกน X, ข้อมูลของค่าพิกัดทางแกน Y และข้อมูลค่าการสะท้อน(Constant Reflector) โดยที่แต่ละจุดภาพมีขนาดของพื้นที่จริงบนพื้นโลกเท่ากับ 4 เมตร ยกเว้นข้อมูลของภาพ Panchromatic (ภาพ Gray Scale) มีขนาดของพื้นที่จริงบนพื้นโลกเท่ากับ 1 เมตร ตามในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ภาพแบบ Pan-Sharpned เป็นการนำภาพถ่ายดาวเทียมใน โหมด Panchromatic (ภาพ Gray Scale) มาหลอมรวมกับภาพในโหมดสีธรรมชาติ(Visible near infrared) ซึ่งมี 3 แบนด์ ใช้ประโยชน์ในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงด้วยสายตา

3.2 การแปลงค่าพิกัดข้อมูลภาพไปสู่พิกัดภูมิศาสตร์ของข้อมูลภาพอ้างอิง และข้อมูลภาพที่ต้องการแก้ไข (Image-to-Image Registration)

วัตถุประสงค์ของการแปลงค่าพิกัดข้อมูลภาพไปสู่พิกัดภูมิศาสตร์ของข้อมูลภาพอ้างอิง และข้อมูลภาพที่ต้องการแก้ไข คือ เพื่อต้องการให้ข้อมูลภาพทั้งสองมีระบบพิกัดเป็นระบบเดียวกัน โดยการเปรียบเทียบข้อมูลภาพอ้างอิงกับข้อมูลภาพที่ต้องการแก้ไข และปรับให้เข้ากับภาพอ้างอิง ซึ่งขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก โดยทั่วไปสำหรับข้อมูลภาพดาวเทียมแลนดแซท ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของการทำให้ข้อมูลภาพดาวเทียม 2 ภาพ มีระบบพิกัดเดียวกัน (Co-registration) เนื่องจากถ้าค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของการทำการแก้ไขภาพ มีค่ามากกว่า 1 จุดภาพจะทำให้มีความผิดพลาดอย่างมาก เมื่อทำการวิเคราะห์หาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน (Lillesand and Kiefer, 1999, p.578) ซึ่งการเลือกใช้ระบบพิกัดเดียวกันนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำข้อมูลภาพไปใช้ประโยชน์และสำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้วิธีการปรับแก้แบบไม่ใช้ค่าพารามิเตอร์ (Non-parametric Correction) โดยใช้สมการ โพลีโนเมียล ดีกรีสอง และเลือกวิธีการสุ่มเก็บแบบตำแหน่งใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Resampling Method) เพื่อรักษาค่าของจุดภาพไม่ให้สูญหายไปโดยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของการทำให้ข้อมูลภาพดาวเทียมสองภาพมีระบบพิกัดเดียวกันที่ได้อยู่ที่ 0.20 จุดภาพซึ่งถือว่ายอมรับได้

3.3 การปรับแก้เชิงคลื่นสัมพันธ์ของข้อมูลภาพดาวเทียมโดยวิธีสมการถดถอยเชิงเส้น (Liner Regression Normalization)

การปรับแก้เชิงคลื่นสัมพันธ์ของข้อมูลภาพโดยวิธีสมการถดถอยเชิงเส้น (Liner Regression Normalization) เป็นกระบวนการแปลงค่าความสว่างของข้อมูลภาพ โดยการแปลงค่าความสว่างของข้อมูลภาพที่ต้องการปรับแก้ไปยังข้อมูลอ้างอิง โดยการปรับเชิงคลื่นสมการถดถอยเชิงเส้น เป็นการลดค่าความแตกต่างของค่าความสว่างของข้อมูลภาพทั้งสองที่เป็นผลมาจากปัจจัยอื่น ๆ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกเป่าที่มีคุณสมบัติของตัวสะท้อนพลังงานที่มีค่าคงที่ โดยจะต้องอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่ไม่ถูกปกคลุมด้วยสิ่งปกคลุมดิน และต้องปรากฏอยู่ทั้งข้อมูลภาพอ้างอิงและข้อมูลภาพที่ต้องการปรับแก้ เช่น บริเวณแหล่งน้ำ ลานคอนกรีต ถนน ลานดิน ฯลฯ สำหรับการวิจัยนี้เลือกเป่าจำนวน 41 เป่า เพื่อใช้หาสมการถดถอยสำหรับการปรับแก้เชิงคลื่น

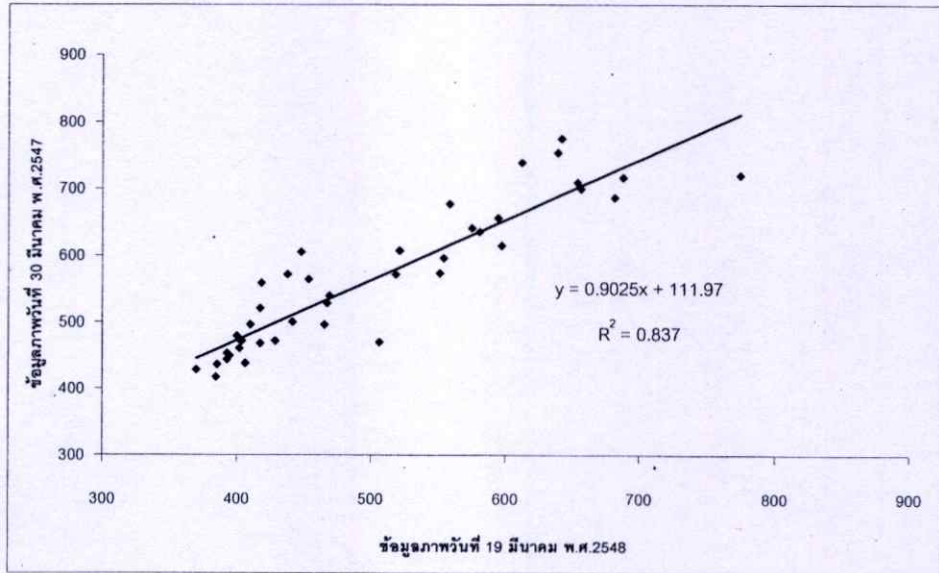
2. หาค่าสะท้อนพลังงานของเป่าที่เลือกมาเพื่อทำการปรับแก้เชิงคลื่นจากข้อมูลภาพทั้งสอง (ตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าสะท้อนพลังงานของวัตถุที่ใช้เป็นเป้า (Target) ในการทำการปรับแก้เชิงคลื่น
ของข้อมูลภาพ 2 ช่วงเวลา

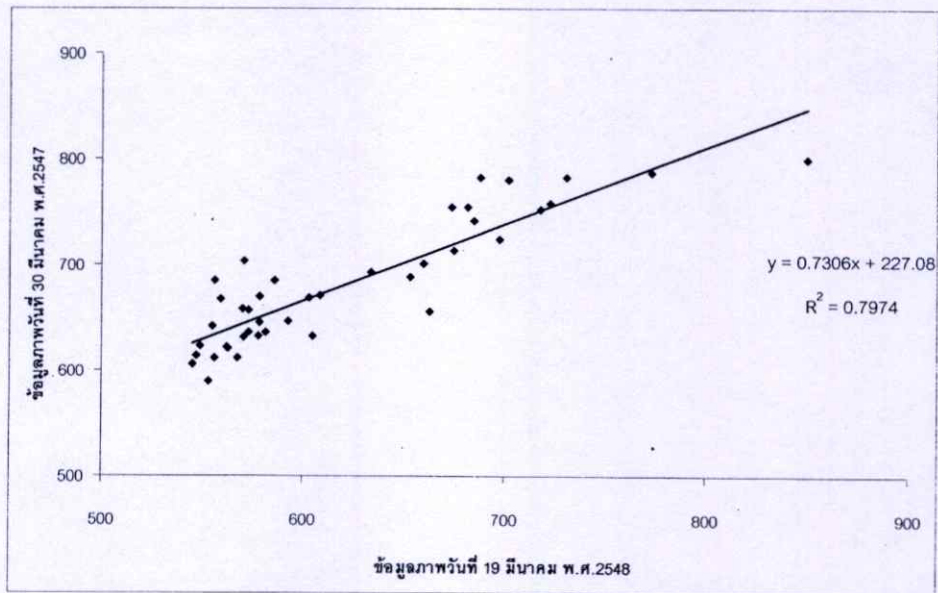
เป้า	ประเภทวัตถุ	ค่าสะท้อนพลังงานของวัตถุ												
		ค่าพิกัด		ภาพวันที่ 30 มี.ค. 2547					ภาพวันที่ 19 มี.ค. 2548					
		E	N	Red Band	Green Band	Blue Band	NIR Band	Panchromatic	Red Band	Green Band	Blue Band	NIR Band	Panchromatic	
1	น้ำ	500595.91	2086385.48	469	656	603	420	449	506	663	564	422	458	
2	น้ำ	501266.00	2086373.00	497	657	601	442	462	411	573	534	379	403	
3	ถนน (ดิน)	504762.66	2085319.32	558	685	595	866	704	419	556	509	693	575	
4	ถนน (แอสฟัลท์)	504706.86	2084245.58	461	623	583	452	452	402	549	530	469	429	
5	สิ่งปลูกสร้าง	501044.44	2084494.10	721	800	672	749	670	775	850	697	806	728	
6	พื้นที่เปิดโล่ง (ลานดิน)	502844.23	2083709.38	687	752	634	776	666	682	718	576	768	648	
7	น้ำ	503416.76	2083675.92	450	631	588	405	431	395	571	526	370	387	
8	ถนน (คอนกรีต)	504172.47	2083460.95	605	703	612	711	657	448	571	534	603	519	
9	สิ่งปลูกสร้าง	503761.71	2082457.83	709	782	652	773	673	654	731	615	743	647	
10	ถนน (แอสฟัลท์)	502930.64	2082932.99	564	685	614	558	504	454	586	555	471	451	
11	สิ่งปลูกสร้าง	502649.63	2082140.03	520	658	610	478	477	418	570	540	411	407	
12	น้ำ	500547.33	2081217.67	428	614	587	389	430	370	547	521	362	381	
13	ถนน (แอสฟัลท์)	501236.46	2081083.38	471	633	599	442	446	429	578	545	444	435	
14	สิ่งปลูกสร้าง	503829.58	2080520.41	641	742	639	654	644	576	685	597	611	608	
15	น้ำ	500177.43	2080309.65	468	636	599	388	439	418	573	539	366	397	
16	สิ่งปลูกสร้าง	498884.22	2080196.86	656	758	664	641	611	595	723	647	593	592	
17	พื้นที่เปิดโล่ง (ลานดิน)	498760.92	2079975.12	635	714	625	706	632	581	675	592	686	605	
18	สิ่งปลูกสร้าง	500300.73	2079611.43	480	642	602	477	475	400	555	543	418	421	
19	พื้นที่เปิดโล่ง (ลานดิน)	500786.76	2079633.41	739	755	629	815	708	612	682	584	677	619	
20	พื้นที่เปิดโล่ง (แอสฟัลท์)	502271.61	2079458.98	539	671	604	538	520	470	609	565	476	463	
21	น้ำ	503301.97	2079451.33	438	612	590	402	416	407	568	532	388	407	
22	น้ำ	503535.19	2078985.85	453	621	584	383	426	393	563	531	373	403	
23	น้ำ	502461.81	2078911.30	473	645	593	416	437	402	579	535	381	398	
24	ถนน (คอนกรีต)	503827.66	2078672.35	678	755	641	699	641	559	674	582	623	575	
25	น้ำ	504629.59	2078418.10	436	606	586	408	433	386	545	525	390	383	
26	พื้นที่เปิดโล่ง (ลานดิน)	503798.03	2078379.87	755	780	646	821	712	639	702	588	718	614	
27	น้ำ	503683.34	2078366.49	444	622	581	372	422	393	562	529	368	381	
28	สิ่งปลูกสร้าง	503349.34	2078414.26	596	646	595	610	578	554	593	540	596	538	
29	ถนน (แอสฟัลท์)	502632.02	2078331.28	574	688	619	573	558	552	653	588	573	544	
30	ถนน (แอสฟัลท์)	502912.46	2078062.28	529	669	610	498	509	468	603	562	541	489	
31	พื้นที่เปิดโล่ง (ลานดิน)	504386.21	2078082.31	776	783	638	847	720	642	688	587	737	630	
32	ถนน (คอนกรีต)	505288.34	2076619.78	607	693	596	666	601	521	634	569	607	558	
33	สิ่งปลูกสร้าง	503576.85	2076269.40	700	701	596	807	578	657	660	562	783	634	
34	ถนน (ดิน)	505437.52	2075522.82	571	670	591	720	656	438	579	542	581	612	
35	สิ่งปลูกสร้าง	506614.01	2075366.80	471	612	571	474	467	404	556	532	442	429	
36	สิ่งปลูกสร้าง	505824.46	2075013.37	500	636	581	562	509	442	582	548	510	454	
37	น้ำ	506535.21	2074994.88	417	589	566	349	409	385	553	528	352	361	
38	ถนน (แอสฟัลท์)	506796.40	2074417.04	496	632	586	470	482	466	605	562	484	471	
39	สิ่งปลูกสร้าง	506877.30	2072883.43	717	787	658	749	657	688	773	651	710	648	
40	ถนน (คอนกรีต)	506588.73	2072418.85	571	668	586	645	552	518	559	531	601	523	
41	สิ่งปลูกสร้าง	503051.96	2077048.55	616	725	630	598	593	598	698	607	617	560	

3. พล็อตค่าสะท้อนพลังงานของเป้า เพื่อดูแนวโน้มของความสัมพัทธ์ระหว่างค่าสะท้อนพลังงานของเป้าของข้อมูลภาพทั้งสอง และนำความสัมพัทธ์ดังกล่าว ไปหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการวิจัยนี้ เนื่องจากความสัมพัทธ์ระหว่างค่าสะท้อนพลังงานของเป้า

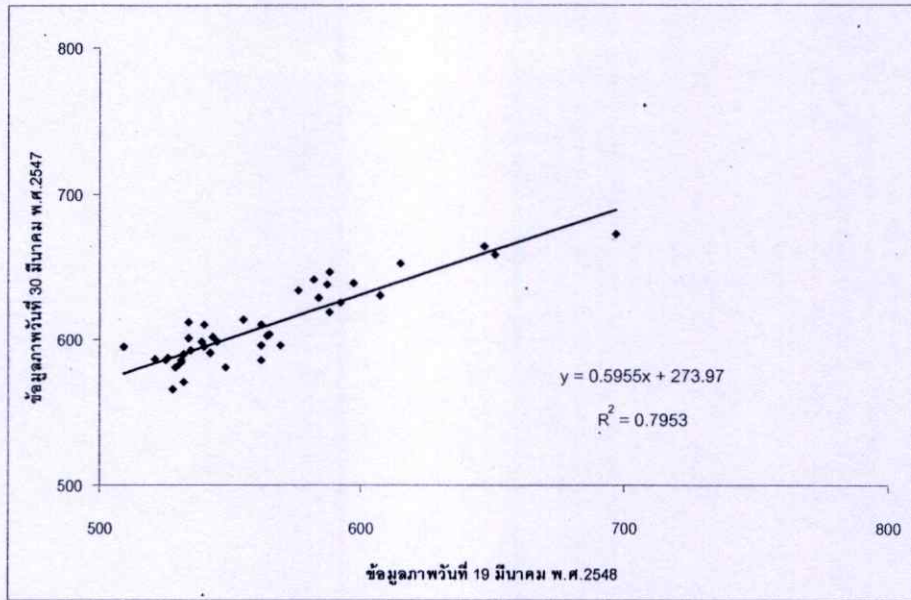
ของข้อมูลภาพทั้งสอง สามารถหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นลักษณะเชิงเส้น มาเป็นตัวแทน บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสะท้อนพลังงานของเป้า รูปที่ 3.3 (ก-จ) เป็นกราฟ แสดงความสัมพันธ์ของค่าสะท้อนพลังงานของวัตถุที่ใช้เป็นเป้าของข้อมูลภาพ 2 ช่วงเวลา



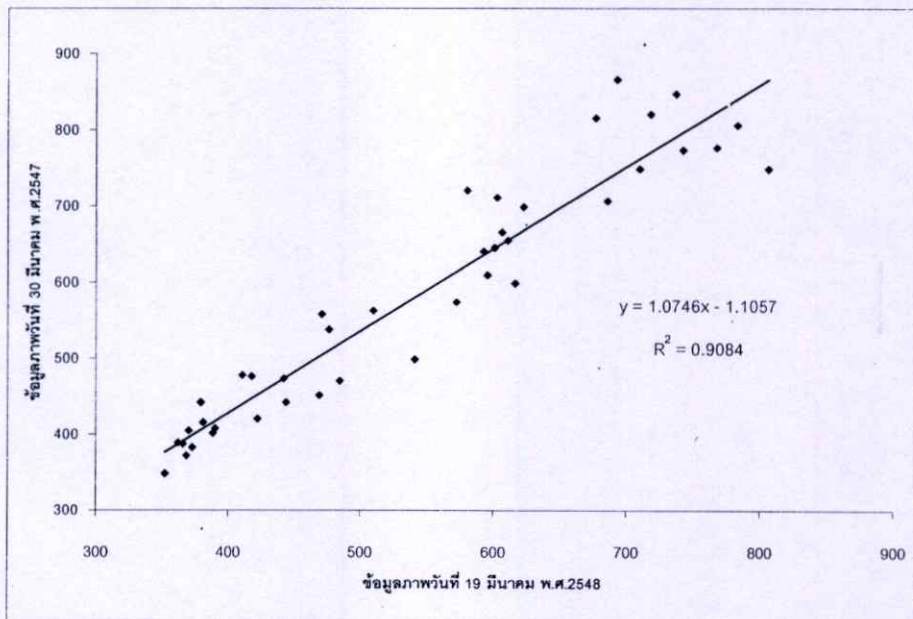
รูปที่ 3.3 ก (Red Band)



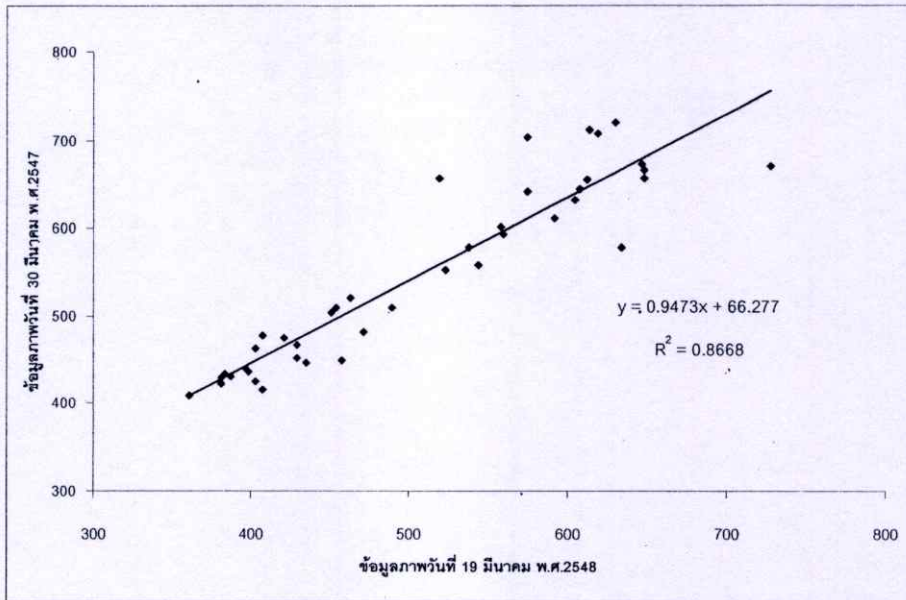
รูปที่ 3.3 ข (Green Band)



รูปที่ 3.3 ค (Blue Band)



รูปที่ 3.3 ง (NIR Band)



รูปที่ 3.3 จ (Panchromatic)

4. นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ไปทำการปรับแก้เชิงคลื่น โดย

ในแบนด์ที่ 1 มีสมการถดถอยเป็น $y = 0.9025x + 111.97$ $R^2 = 0.837$

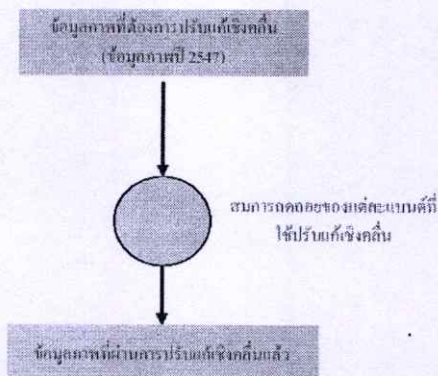
ในแบนด์ที่ 2 มีสมการถดถอยเป็น $y = 0.7306x + 227.08$ $R^2 = 0.7974$

ในแบนด์ที่ 3 มีสมการถดถอยเป็น $y = 0.5955x + 273.97$ $R^2 = 0.7963$

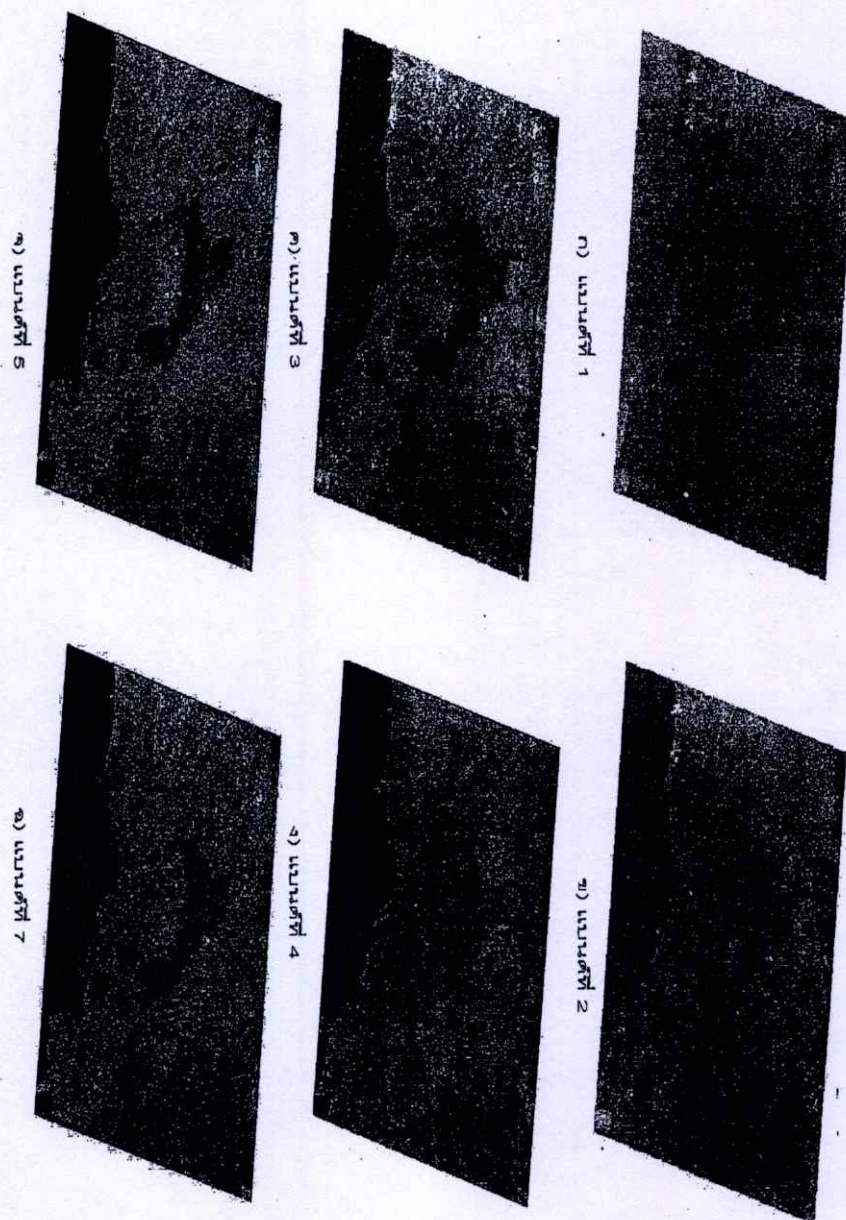
ในแบนด์ที่ Nir มีสมการถดถอยเป็น $y = 1.0746x + 1.1057$ $R^2 = 0.9084$

ในแบนด์ที่ Pan มีสมการถดถอยเป็น $y = 0.9473x + 66.277$ $R^2 = 0.8668$

นำข้อมูลภาพที่ต้องการปรับแก้ (ข้อมูลภาพ ปี 2548) มาผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงคลื่น โดยการใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพ ERDAS IMAGEINE Version 8.5 และใช้ฟังก์ชัน Spatial Model สร้างแบบจำลองสำหรับการปรับแก้ข้อมูลภาพในแต่ละแบนด์ ให้เป็นข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่น



รูปที่ 3.4 การปรับแก้เชิงคลื่นโดยใช้ฟังก์ชัน Spatial Modal



รูปที่ 3.5 ข้อมูลที่ปรับแก้เชิงคลื่นแล้ว

3.4 การสร้างข้อมูลภาพผลต่างโดยใช้เทคนิคการนำเอาช่วงคลื่นมาลบกัน

(Image Differencing)

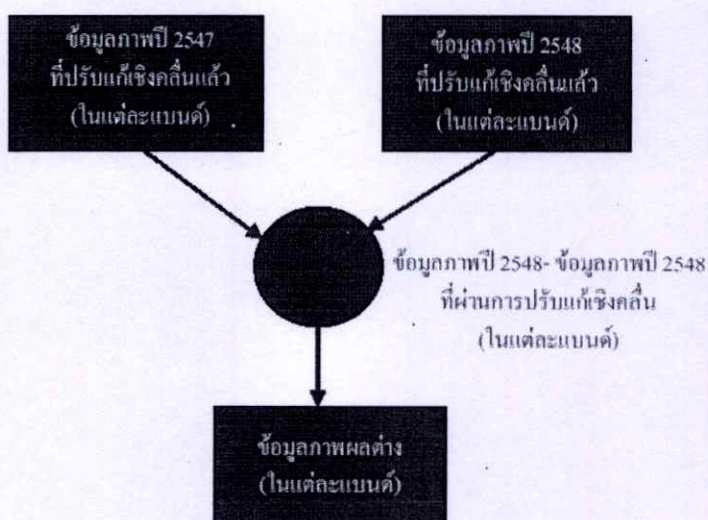
การสร้างข้อมูลภาพผลต่างโดยใช้เทคนิคการนำเอาช่วงเวลากลับมาลบกันนั้น ในการวิจัยนี้ ใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพ ERDAS IMAGEINE Version 8.5 และใช้ฟังก์ชัน Spatial Model เพื่อสร้างข้อมูลภาพผลต่าง โดยให้ข้อมูลภาพปี 2548 เป็นข้อมูลภาพตั้งต้น และนำข้อมูลภาพ ปี 2547 มาลบออก ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ ข้อมูลภาพผลต่าง โดยจะเป็นภาพระดับสีเทาที่มีค่าจุดภาพเป็นผลต่างของค่าสะท้อนพลังงานของสิ่งปกคลุมระหว่าง 2 ช่วงเวลา

สำหรับการวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาวิจัยใน 2 ลักษณะ คือ

1. การตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินที่ได้จากข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ไม่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่น

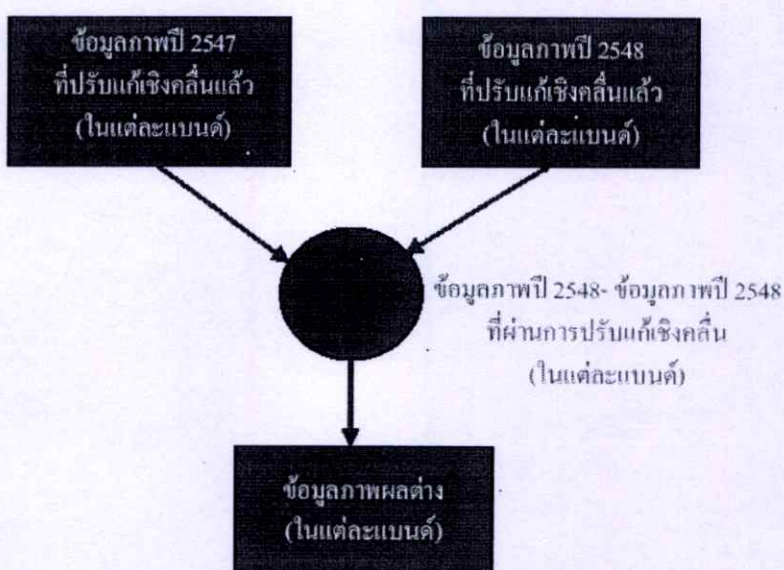
2. การตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินที่ได้จากข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่นแล้ว

ดังนั้น จึงต้องทำการสร้างข้อมูลภาพผลต่างทั้ง 2 ลักษณะ โดยกระบวนการสร้างข้อมูลภาพผลต่างนั้น แสดงในรูปแบบที่ 3.6 ก และ 3.6 ข



ข้อมูลภาพที่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงคลื่นแล้ว

รูปที่ 3.6 ก ข้อมูลภาพที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับแก้คลื่น



ข้อมูลภาพที่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงคลื่นแล้ว

รูปที่ 3.6 ข ข้อมูลภาพที่ผ่านกระบวนการปรับแก้คลื่นแล้ว

3.5 การประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน

การประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินนั้น เป็นการประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินระหว่างข้อมูลภาพถ่ายเทียบกับข้อมูลที่เป็นข้อเท็จจริง โดยแยกเป็นแต่ละประเภทของการเปลี่ยนแปลง ของสิ่งปกคลุมดิน เพื่อนำค่าความถูกต้องของแต่ละประเภท มาวิเคราะห์หาแบนด์ที่เหมาะสม ในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทต่อไป ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอน ดังนี้

3.5.1 กำหนดตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินเกิดขึ้น ในข้อมูลภาพผลต่าง

3.5.2 สํารวจข้อเท็จจริงในสนาม เพื่อให้ทราบถึงประเภทของสิ่งปกคลุมดินในตำแหน่งที่กำหนด โดยให้เป็นตัวแทนของประเภทของสิ่งปกคลุมดินในข้อมูลภาพปี 2543

3.5.3 ตรวจสอบประเภทของสิ่งปกคลุมดินในตำแหน่งที่กำหนด จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่บินถ่ายภาพในเดือนมีนาคม พ.ศ.2533 เพื่อเป็นตัวแทนของประเภทของสิ่งปกคลุมดินในข้อมูลภาพ ปี 2533

3.5.4 เปรียบเทียบผลการตรวจสอบประเภทของสิ่งปกคลุมดินที่เกิดขึ้น เพื่อประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินต่อไป

3.5.1 การกำหนดตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินเกิดขึ้น ในข้อมูลภาพผลต่าง

การกำหนดตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินเกิดขึ้น ในข้อมูลภาพผลต่าง ทำได้โดยใช้หลักการของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน โดยวิธีการนำเอาช่วงคลื่นมาลบกัน ซึ่งค่าผลต่างของค่าสะท้อนพลังงานในบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินจะมีค่าน้อยมากๆ หรือเกือบจะเป็นศูนย์ ในขณะที่ค่าผลต่างของค่าสะท้อนพลังงานในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดินจะมีค่าบวกหรือลบมาก ๆ ดังนั้น การกำหนดตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินเกิดขึ้นนั้น สามารถ ทำได้ โดยการสังเกตผลต่างของค่าสะท้อนพลังงานที่มีค่าเป็นบวกหรือลบมากๆ และจากสมมติฐานที่ว่า หากผลต่างของค่าสะท้อนพลังงานที่มีค่าเป็นบวกหรือลบมากๆ ในทุกแบนด์ แสดงว่า ณ ตำแหน่งนั้นๆ มีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินเกิดขึ้น ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินเกิดขึ้นจำนวน 867 จุด ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาวิจัย (รูปที่ 3.9)

3.5.2 การสำรวจข้อเท็จจริงในสนาม

การออกภาคสนามระหว่างวันที่ 11-14 มีนาคม พ.ศ.2551 มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการตรวจสอบข้อมูลข้อเท็จจริงของสิ่งปกคลุมดินในปัจจุบันของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS บันทึกภาพเมื่อวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ.2548 ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 47 ตารางกิโลเมตร

ตามแนวสายส่ง 115 kV CM2-MTG (จุดสำรวจด้านทิศเหนือ สฟ.เชียงใหม่ 2 จ.เชียงใหม่) และแนวสายส่ง 115 kV LN2-CM2 (จุดสำรวจด้านทิศใต้ สฟ.เชียงใหม่ 2 จ.เชียงใหม่) (แผนที่ 1) โดยจุดที่ใช้ในการตรวจสอบข้อเท็จจริงนี้เป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมชนิดเดียวกันที่บันทึกภาพเมื่อวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ.2547 ซึ่งคณะผู้วิจัยใช้จุดตรวจสอบทั้งสิ้น จำนวน 103 จุด คิดเป็นร้อยละ 94.50 จากจำนวนจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษานี้ทั้งหมด คือ 109 จุด และในการเข้าถึงจุดตรวจสอบในพื้นที่ศึกษาสามารถเข้าถึงจุดตรวจสอบได้จำนวน 100 จุด มีเพียง 3 จุดที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ เนื่องจากหาทางเข้าไม่พบหรือเป็นพื้นที่ปิดไม่สามารถผ่านเข้าไปได้ ได้แก่ จุดตรวจสอบหมายเลข 1-4 1-12 และ 5-3

จากการตรวจสอบข้อมูลข้อเท็จจริงของสิ่งปกคลุมดินในปัจจุบันเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ.2548 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินจำนวน 27 จุด โดยสิ่งปกคลุมดินที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ พื้นที่เปิดโล่ง (จากประเภท การเปลี่ยนแปลง พื้นที่เกษตรกรรม --> พื้นที่เปิดโล่ง) เปลี่ยนเป็นสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 15 จุด รองลงมา คือ พื้นที่เปิดโล่งเปลี่ยนเป็นแหล่งน้ำ จำนวน 3 จุด และสิ่งปกคลุมดินที่ไม่มี การเปลี่ยนแปลงเลย คือ สิ่งปลูกสร้าง

ตารางที่ 3.2 จำนวนจุดตรวจสอบและความถูกต้องของสิ่งปกคลุมดินในปัจจุบันเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ.2548

ประเภทสิ่งปกคลุมดิน		จำนวน (จุด)		
ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ.2547	ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ.2548	จุดตรวจสอบ	จุดที่ไม่สามารถเข้าถึงได้	ความถูกต้องของสิ่งปกคลุมดินในปัจจุบัน
1.พื้นที่เกษตรกรรม / พื้นที่เปิดโล่ง	แหล่งน้ำ	11	2	9
2.พื้นที่เกษตรกรรม	พื้นที่เปิดโล่ง	31		14
3.พื้นที่เกษตรกรรม	สิ่งปลูกสร้าง	15		15
4.พื้นที่เปิดโล่ง	ถนน	3		2
5.พื้นที่เปิดโล่ง	สิ่งปลูกสร้าง	32	1	31
8.นาข้าว(เก็บเกี่ยวแล้ว)	นาข้าวยังไม่ได้เก็บเกี่ยว	1		1
9.พื้นที่ที่มีพืชปกคลุม	พื้นที่เกษตรกรรม(ไม้ยืนต้น)	2		0
10.แหล่งน้ำ	พื้นที่เกษตรกรรม(พืชล้มลุก)	4		3
11.แหล่งน้ำ	พื้นที่เปิดโล่ง	4		1
รวม		103	3	76

3.5.3 การตรวจสอบประเภทของสิ่งปกคลุมดินในตำแหน่งที่กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลง เกิดขึ้นจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ

การตรวจสอบประเภทของสิ่งปกคลุมดินในตำแหน่งที่กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลง เกิดขึ้นจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่บินถ่ายภาพ ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2533 มาตรฐาน 1 : 15,000 สำหรับการค้นหาตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดินเกิดขึ้น ในข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศนั้น พิจารณาจากลักษณะภูมิประเทศ ลวดลายของเส้นถนน และแม่น้ำ พร้อมทั้ง พิจารณาจากมาตราส่วนของแผนที่ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ประกอบการสำรวจข้อเท็จจริง ในสนาม และรูปถ่ายทางอากาศ เมื่อทราบตำแหน่งที่คาดว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงประเภท ของสิ่งปกคลุมดินในรูปถ่ายทางอากาศแล้ว จึงทำการแปลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศตามหลักการ แปลข้อมูลภาพทางอากาศ (รูปที่ 3.11)

3.5.4 การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบประเภทของสิ่งปกคลุมดิน

การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบประเภทของสิ่งปกคลุมดินที่ได้จากการสำรวจข้อเท็จจริงในสนาม กับข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ทำได้โดยการนำผลการตรวจสอบประเภท ของสิ่งปกคลุมดินดังกล่าวจาก 2 แหล่งข้อมูล มาเปรียบเทียบกัน เพื่อทราบว่าตำแหน่ง ที่กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงของประเภทสิ่งปกคลุมดินเกิดขึ้นนั้น มีการเปลี่ยนแปลงของ ประเภทสิ่งปกคลุมเกิดขึ้นจริงหรือไม่ และหากมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินเกิดขึ้นจริง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดินเป็นอย่างไร

จากการศึกษาวิจัย พบว่า สามารถแยกประเภทของการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน ออกเป็นกลุ่มต่างๆ (ตารางที่ 3.2) และผู้วิจัยได้ให้ความหมายของประเภทสิ่งปกคลุมดิน (ตารางที่ 3.3)

3.6 วิเคราะห์หาขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทที่เหมาะสม

สำหรับการวิเคราะห์หาขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินที่เหมาะสมนั้น ผู้วิจัย ได้นำวิธีการวิเคราะห์หาขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทที่เหมาะสม ซึ่งเป็นวิธีการที่แนะนำ โดย Fung และ LeDrew (1988) คือ ค่าขอบเขตของการเปลี่ยนแปลง ของสิ่งปกคลุมดินที่เหมาะสม มีค่าเท่ากับ $\pm N$ เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าจุดภาพ ของข้อมูลภาพผลต่าง เมื่อ N เป็นเลขจำนวนน้อยๆ เช่น 0.1 และคำนวณหาค่าขอบเขตของการ เปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินที่เหมาะสมซ้ำ เพื่อทำให้ได้ข้อมูลภาพความเปลี่ยนแปลงใหม่ โดยทำการเพิ่มค่า N จากเดิมครั้งละ 0.1 ไปเรื่อยๆ จน N มีค่าเป็น 2 ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลภาพ ที่มีค่าความเปลี่ยนแปลงใหม่รอบละ 1 ภาพ จากนั้นจึงนำข้อมูลภาพที่มีค่าความเปลี่ยนแปลงทั้งหมดที่สร้างขึ้นมาทำการตรวจสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบกับผลการตรวจสอบข้อเท็จจริงที่

ได้จากสำรวจภาคสนามและภาพถ่ายทางอากาศโดยข้อมูลภาพความเปลี่ยนแปลงที่ให้ค่าความถูกต้องในการเปรียบเทียบผลการตรวจสอบดังกล่าวมากที่สุด คือ ขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินที่เหมาะสม

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึง การประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย การประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินของข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่นแล้ว และค่าขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมที่เหมาะสม การเปรียบเทียบผลการประเมินความถูกต้องในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดิน ระหว่างข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่นแล้ว กับข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ไม่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่นและการเปรียบเทียบผลการประเมินความถูกต้อง ในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ขนาดใหญ่กับพื้นที่ย่อย ๆ

3.8 การประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ขนาดใหญ่

การประเมินความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ขนาดใหญ่นั้น ทำได้โดยเปรียบเทียบผลการตรวจสอบประเภทของสิ่งปกคลุมดินระหว่างข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ กับข้อมูลข้อเท็จจริงที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดิน ณ ตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินเกิดขึ้นจำนวน 867 จุด โดยหากผลการตรวจสอบพบว่ามีเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน เกิดขึ้นจริงแสดงว่า การกำหนดตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินเกิดขึ้นนั้นถูกต้อง

3.8.1 การประเมินค่าความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินและการหาขอบเขตการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมของข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่นแล้ว

สำหรับการประเมินค่าความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน และการหาขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินที่เหมาะสมของข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่นแล้วนั้น จะพิจารณาจากค่าความถูกต้องทั้งหมด (Overall Accuracy) โดยค่า N เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าจุดภาพของข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างข้อมูลภาพความเปลี่ยนแปลงที่ให้ค่า Overall Accuracy สูงที่สุด จะถือว่าค่า N เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าจุดภาพของข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างข้อมูลภาพความเปลี่ยนแปลงนั้น เป็น

ขอบเขตการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมแต่สำหรับการประเมินค่าความถูกต้องของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของ สิ่งปกคลุมดิน เมื่อพิจารณาแยกตามกลุ่มของความเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดินที่เกิดขึ้นนั้น จะพิจารณาจากค่าความถูกต้องของแต่ละประเภท (Producer's Accuracy)

การหาค่าขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินที่เหมาะสม ทำได้โดยนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลภาพผลต่างของแต่ละแบนด์มาทำทดสอบตามขั้นตอน ในบทที่ 3 เพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องทั้งหมด (Overall Accuracy) ที่มีสูงสุดซึ่งก็คือค่าขอบเขตการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมของแต่ละแบนด์นั่นเอง (ตารางที่ 4.1)

Study area	BAND	N	Procedure Accuracy (%)	Commission Error (%)	Omission Error (%)
Chiangmai Northern region	RED	1.00	81.30	14.70	4.00
	NIR	0.20	78.00	4.70	17.30
	GREEN	1.00	74.00	18.00	8.00

ตารางที่ 4.1

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า การตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินมีความถูกต้องมาก เนื่องจากค่า Overall Accuracy ของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินมีค่ามากกว่าร้อยละ 74-78 ยกเว้นในแบนด์สีแดงที่มีค่า Overall Accuracy อยู่ที่ร้อยละ 81

3.8.2 การประเมินค่าความถูกต้องในการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินและการหาขอบเขตการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมของข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ไม่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่น

ค่า Overall Accuracy ขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินที่เหมาะสม และค่า Producer's Accuracy ของข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ไม่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่น เมื่อพิจารณาแยกตามกลุ่มของการเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดินที่เกิดขึ้น สามารถหาด้วยวิธีการเดียวกันกับการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินเมื่อพิจารณาค่า Producer's Accuracy ของการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของ สิ่งปกคลุมดินในกลุ่มต่างๆ ของข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ไม่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่น พบว่าแบนด์ที่มีค่า Producer's Accuracy สูงที่สุดในแต่ละกลุ่มของการเปลี่ยนแปลงของ สิ่งปกคลุมดินมีผลที่สอดคล้องกับผลที่ได้จากการตรวจหาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน ในกลุ่มต่างๆ ของข้อมูลภาพผลต่างที่สร้างจากข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับแก้เชิงคลื่นแล้ว

บทที่ 4.

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ข้อสรุปและเสนอแนะเกี่ยวกับการใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกล

งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงมีประโยชน์และมีความจำเป็นต่อการตรวจหาการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแนวเขตดินสายส่งไฟฟ้า เนื่องจากให้ข้อมูลมีรายละเอียดและกินพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงมีข้อเด่นเหนือกว่าภาพถ่ายทางอากาศหลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเด็นของความสะดวกในการจัดหาและราคาที่ถูกกว่าหากพื้นที่ที่ต้องการศึกษามีขนาดไม่ใหญ่มากเกินไป แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาเนื่องจากจะมีข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเฉพาะเวลาที่ดาวเทียมผ่านมาและมีการบันทึกภาพไว้เท่านั้น

ผลลัพธ์จากการตรวจหาการเปลี่ยนแปลงด้วยภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงหลายช่วงเวลาในพื้นที่ศึกษา จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าให้ความถูกต้องดีพอสมควรในระดับร้อยละ 74-81 แต่ความผิดพลาดส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นเป็น Omission Error ซึ่งหมายความว่ามีความเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นจริงแต่ตรวจไม่พบ ในสภาพปัจจุบันที่ กฟผ. ยังไม่มีข้อมูลแหล่งอื่น ๆ เช่น วัสดุจากการบินสำรวจแนวสายส่งที่จะนำมาใช้ยืนยันผลการตรวจหาการเปลี่ยนแปลงด้วยภาพถ่ายดาวเทียม การเกิด Omission Error หรือ Commission Error (False Alarm ซึ่งหมายความว่าวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงในขณะที่ความเป็นจริงไม่มี) ในเรื่องของการดำเนินงานเนื่องจากต้องออกไปตรวจสอบในพื้นที่จริง แต่ในอนาคตเมื่อข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ในคลังข้อมูลมีมากขึ้น การเกิด False Alarm จะเป็นปัญหาน้อยกว่าเนื่องจากผู้ใช้สามารถใช้ข้อมูลแหล่งอื่น ๆ เช่น การใช้ฟังก์ชันเพื่อเรียกดูวิดีโอที่มีอยู่ในการตรวจสอบยืนยัน ณ ตำแหน่งเดียวกันว่าการเปลี่ยนแปลงที่ตรวจพบจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมเป็นการเปลี่ยนแปลงจริงหรือไม่ และหากมีการเปลี่ยนแปลงจริงมีลักษณะที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อความมั่นคงของระบบส่งหรือไม่ (เช่น การสร้างอาคาร หรือการขุดบ่อดินที่อาจส่งผลกระทบต่อฐานรากของเสาไฟฟ้า) ในขณะที่ Omission Error ทำให้ผู้ใช้เข้าใจผิดว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทั้ง ๆ ที่โดยความเป็นจริงมีการเปลี่ยนแปลง

ประเด็นการศึกษาวิจัยในอนาคตของการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อตรวจหาการเปลี่ยนแปลงจึงน่าจะเป็นการหากรรมวิธีที่ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มี Omission Error น้อยที่สุดในขณะที่ยังคงระดับความถูกต้องไว้ไม่ให้ต่ำไปกว่าเดิม นอกจากนี้ กฟผ. ควรติดตามและทดลองใช้งานภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงรุ่นใหม่ซึ่งให้รายละเอียดคุณภาพในระดับประมาณ 0.50 ม . ซึ่งใกล้เคียงกับภาพถ่ายทางอากาศเพื่อเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งของการตรวจติดตามสิ่งรุกล้ำแนวเขตดินสายส่งไฟฟ้า

บรรณานุกรม

- [1] Van Teeffelen, P., De Jong, S. and Van Den Berg, L., 2001. Urban monitoring: new possibilities of combining high spatial resolution IKONOS images with contextual image analysis techniques. In: IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, pp. 265-269.
- [2] Wang, F., 1993. A knowledge-based vision system for detecting land changes at urban fringes. IEEE Transactions on Geo science and Remote Sensing, 31(1), pp. 136-145.
- [3] Yang, X. and C.P. Lo (2000). Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-Date Satellite Images. Photo-gram metric Engineering & Remote Sensing, 66(8):967-980.
- [4] Heo J. and T. W. FitzHugh (2000). A Standardized Radiometric Normalization Method for Change Detection Using Remotely Sensed Imagery. Photo-gram metric Engineering & Remote Sensing, 55(2):173-181.
- [5] Singh, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. International journal of Remote Sensing 10(1989):989-1003.
- [6] 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.
- [7] ERDAS, 1991, ERDAS Field Guide, 2nd edn, version 7.5 (Erdas), Atlanta, USA.
- [8] Yang, X. and C.P. Lo (2000). Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-Date Satellite Images. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 66(8):967-980.
- [9] Heo J. and T. W. FitzHugh (2000). A Standardized Radiometric Normalization Method for Change Detection Using Remotely Sensed Imagery. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 5(2):173-181.
- [10] จากห้วงอวกาศสู่พื้นแผ่นดินไทย พ.ศ. ๒๕๔๖ THAILAND FROM SPACE 2003 สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ(องค์การมหาชน)สทอภ.กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- [11] SPACE VIEW แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง IKONOS กรุงเทพมหานครบริษัทสเปซ อิมเมจจิง เซาอีสเอเชีย จำกัด (SISEA) และบริษัทแมพฟ้อยเอเชีย(ประเทศไทย)จำกัดและสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ(องค์การมหาชน)สทอภ.

- [12]การใช้ Arc View GIS และ Extension Tools ในการประมวลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และภาพถ่ายดาวเทียมอานันต์ คำภีระศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ(ภาคใต้) คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ 2549
- [13]รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อบริหารแนวเขตเดินสายส่งไฟฟ้าแรงสูง ของ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยประยุกต์ใช้ระบบตรวจแนวสายส่งไฟฟ้าด้วยเฮลิคอปเตอร์ร่วมกับเทคโนโลยีสำรวจระยะไกล(Developing Prototype of Geographic Information System for Transmission Line Right Of Way Management using Digital Airborne Inspection System With Remote Sensing Technology) อธิติ ศรีศิริสัตยวงศ์ สรรเพชญ์ เชื้อพิพิธไพศาล สุวิทย์ นาคพิระยุทธ สุภาวดี อร่ามวิทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [14]สมพร สง่าวงศ์, การสำรวจจากระยะไกลในด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินและการประยุกต์, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พศ. 2552

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	เรืองยุทธ เรืองสกุล
วัน เดือน ปีเกิด	17 มีนาคม 2499 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี
ที่อยู่	90/80 หมู่บ้านจिरกานต์ ซอย 9 ถนนบางกรวย ไทรน้อย ตำบลไทรน้อย อำเภอไทรน้อย จังหวัด นนทบุรี 11150 โทรศัพท์ 02- 9239451
ประวัติการศึกษา	2529 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(ไฟฟ้า) วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษาวิทยาเขตเทเวศร์
ปัจจุบัน	วิศวกรระดับ 9 ฝ่ายบริหารงานวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. Raungyudh RAUNGSAKUN and Yuttapong RANGSANSERI, "ENCROACHMENT DETECTION ALONG HIGH VOLTAGE TRANSMISSION LINE RIGHT OF WAY BY HIGH RESOLUTION IMAGERY" The 30th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2009), October 18-23, 2009 at the Beijing Conference Center

ENCROACHMENT DETECTION ALONG HIGH VOLTAGE TRANSMISSION LINE RIGHT OF WAY BY HIGH RESOLUTION IMAGERY

Raungyudh RAUNGSAKUN and Yuttapong RANGSANSERI

Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
e-mail: raungyudh.r@egat.co.th, rangsanseri@yahoo.com

KEY WORDS: Change Detection, High-resolution Imagery, Radiometric Normalization, Image Differencing, Transmission Line Right Of Way.

ABSTRACT: The main objective of this research is to detect changes along with high voltage transmission lines by images differencing of high resolution IKONOS IMAGES in order to study areas where located in Chiang Mai. Radiometric Normalization is applied to detect before images differencing procedure has been to eliminate the effect of atmosphere and different illumination. That procedure will express the accuracy of detection changes on the land covered by Simple Regression. The results will be revealed that the efficient method of Radiometric Normalization in Chiang Mai is Simple Regression. This method is correctly value of R^2 ranged between 0.79 to 0.91. The procedure accuracy of images differencing, especially changes that affect stability of transmission system is over than 80%. However, overall accuracy of non-normalization images is also good. This research reveals that change detection along with high voltage transmission line. High-resolution imagery is one of different methods to detect intrusion and land covered changes.

1. INTRODUCTION

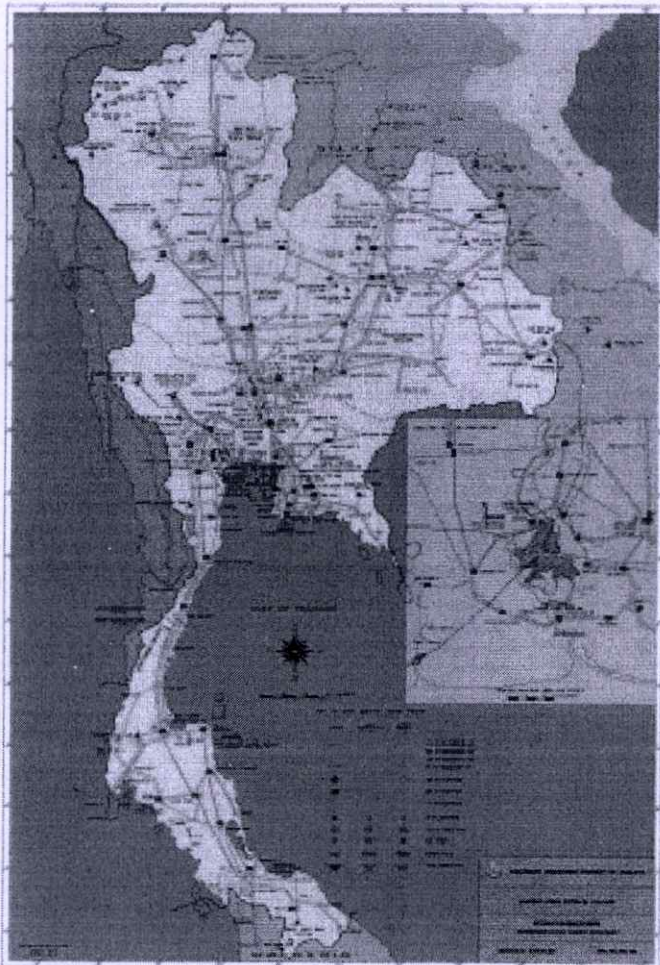


Figure1
Map of EGAT
Electric transmission system
(August 2004)

1.1 Background of The Project

EGAT has high voltage transmission line of more than 30,000 circuit-km. length. Transmission line passing through diverse topography, as of mountain, forest, plateau, are extremely difficult to get in. Thus, doing the patrol for detection and following up the transmission line ROW by territorial exploration will consume too much workers, time and expenses. In general, Remote Sensing Technology is an effective way using in this circumstance. However, applying remote sensing technology for detection and following up of encroachment on transmission line ROW has particular issue that must be considered, especially, majority encroachment has small-sized on transmission line ROW in urban areas or near the urban areas. The remote sensing data have to be the high spatial resolution data in the level at least 2-3 meter or better in order to be indicated and construed that how there are encroachment and how much that might affect to the stability of transmission systems? Such as the building that have a few high, be a building where have the high, be the grounds, field, etc. Thus remote sensing data that can usable limit only aviation image or in case of satellite imageries must be high-resolution satellite imageries. Such as IKONOS satellite imageries which there is imageries dot 1 meter detail in the Panchromatic mode and 4 meter in Multi spectra mode or from Quick Bird Satellite imageries (0.6meter in Panchromatic mode.) etc. Explores resources satellite imageries for examples, Landsat5 have detail image dot is 30 meter. Satellite picture Landsat 7 (detail image dot is 15 meter.) Aster, Spot are inappropriate to detection initial for know that the buildings are encroachment on transmission line ROW and do not have to know the location of the buildings and the transmission line ROW that are correct. For decrease the necessity that have to go out to detecting in true area when has the doubt, the technique that use generally is overlay transmission line and imageries or picture comparison new record with an original picture has already been searched from picture storehouse, or both cases. The important tool in the administration in this appearance is geography information system. Thus for, an institute maintains transmission line can assess problem state from true provincial state that can follow the change of buildings data that invades transmission line and can investigate the data analysis fast and correctly, solve a problem in the overall image and to work practice legally. It is necessary to use the system manage effective data of buildings that trespass transmission lines.

1.2 Background of High Voltage Transmission Line Right of Way

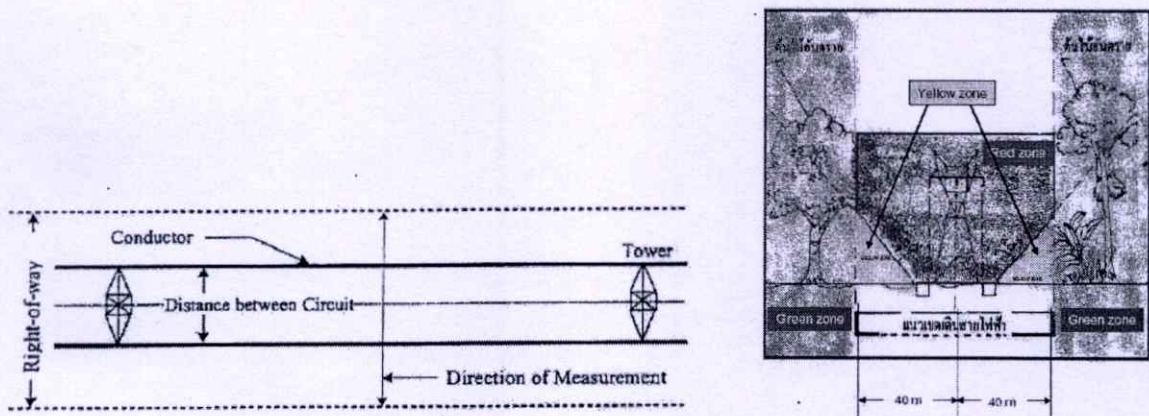


Figure 2 Transmission Line Right Of Way

2. CHANGE DETECTION METHOD

2.1 Algorithm

Image difference technology is used to evaluate every change that happens. Through the principle that each dot picture data is in the number type to call Digital number (DN). Through theory, when using real estate state or the thing covers the ground is change. The DN value of picture dot in that will change too. The trend that use in detecting change then can do by the takes a 2 images in the difference time and then takes 2 images to minus differencing be minus. Image dot that not change will be difference value on DN be zero. In case of the difference is other value show. There is the change happens in practice, get into trouble difficult to control environment condition. Sensor and every atmosphere state of 2 images in the difference time be same, until different value of DN happen from the change on the ground only. Although we use same sensor and image record in the same day of

each year, the qualifications that change on the time of sensor and atmosphere state differently. The same day of year can cause the change of the value DN also. Although, the state covers the ground will still as before. So detecting change by artificial satellite imageries then has to get rid the effect particularly from atmosphere different state first. Therefore, we can manage it by the Radiometric Normalization technique. Then using preprocessing before minus two different images is the main objective of this research.

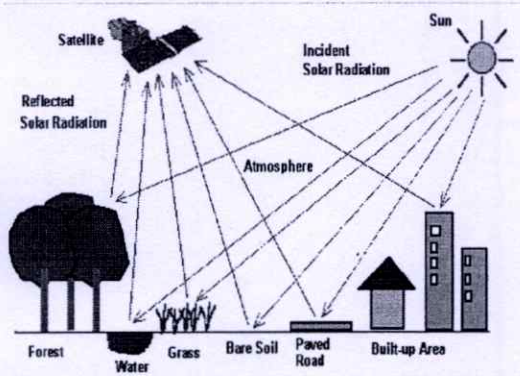


Figure 3 Data collection by remote sensing

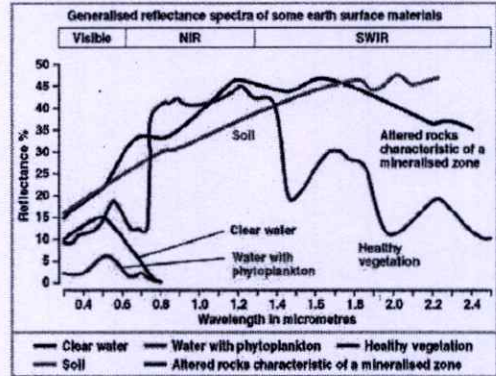


Figure 4 Generalized reflectance spectra of some earth surface materials.

2.2 Radiometric Normalization

Radiometric Normalization can be done by 2 methods:-

- Radiometric normalization completely format. Revision on this way must know the data, for example, parameter value, the measurement tests of sensor, atmosphere state, the angle and the distance have between the sun and world. The result from this way have high accuracy but in operate state atmosphere measurement in true area might not convenient for travel or get inside area and causes high expenses, including satellite images data that were record from in majority past don't have data state atmosphere measurement keep.
- Radiometric normalization relatively format. Use the DN value of images dot that the material within images dot has no physical change that cause of the value reflects, so that the energy that changes to factor is not only on the surface. Images dot that have this character is called constant reflector or target. Most of the targets made by human beings for example factory roof, crossroad, the pool (have no aquatic water), road, ground concrete etc, Least Square Linear Regression used for tuning DN of targets that should be plentiful and dispersed. Good DN should not be in bunches on any fixed area or any fixed value. It indicates that alteration wave's manner the result is in good criterion by the R^2 value. The value indicates at the suitability of using equation linear for explains are related between the DN value of the aim is about 75% go up of every brand and in the studies areas, then can summarize that the least square linear regression technique can be use to alter waves manner for detecting change by use high-resolution satellite images.^(1,2,3,4)

3. METHODOLOGY

The summary of method to operating for detection the transmission line ROW by using high-resolution satellite imageries on 2 time frame which as follows :-

- Co-registration, compare satellite imageries overlap on time of the second satellite imageries with the first closely by using modified location technique with polynomial.
- Radiometric normalization with suitable method of algorithm, this research use Regression technique.
- Image differencing to find the difference of DN value.
- Thresholding by appropriate research result in order to separate only the area that have been changed from the area that has no change.
- Classification for separating only the area that have been changed and have encroachment such as kind 3 and 5 or the area that covers the ground have change and might affect to the stability of the transmission system such as changing kind 7.
- When the location that has encroachment or affect the system stability appears, EGAT can operate more detection by 2 steps as followings :-

1. Detecting from high-resolution satellite imageries called Panchromatic or detecting from video getting from the aviation exploration with the helicopter that there is false alarm or not.
2. The encroached location that already confirmed by satellite image information and /or video. Marking the location in GIS system by importing information function about encroachment through network. Then do further step (such as field exploration of the officers).

3.1 Case Study in Chiangmai Province

The study area is in Chiangmai province, Northern region of Thailand. It is situated in the central part of Indochina Peninsula, Asia. Geographically, it is located between the latitudes of 5 degrees 27 minutes and 20 degrees 27 minutes North and the longitudes of 97 degrees 20 minutes and 105 degrees and 37 minutes East.⁽⁵⁾



Figure 5 IKONOS satellite imageries (location in Chiangmai)

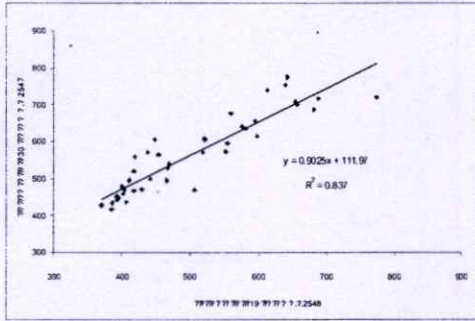
3.2 Result of Case Study

Radiometric normalization is applied to detect before images differencing procedure has been to eliminate the effect of atmosphere and different illumination. The image data modify to refine the process-oriented waves by using image processing software ERDAS IMAGEINE Version 8.5 and functions Spatial Model for modeling, editing data in each image band as image data through a modified linear.⁽⁶⁾

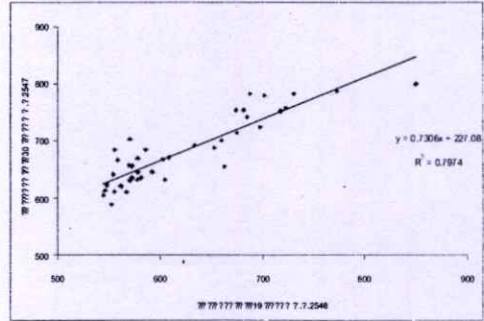
For each band Scatter plot made by the x-axis is the DN value of each of the Slave Image Reflector y-axis is the DN value of each corresponding Reflector of Master Image. Differences between the normalized slave image and master image will reflect the actual changes better. Result of various factors cannot be removing. In the process of normalization Regardless of how any remains obscure Error always.⁽⁷⁾

Table 1 The procedure accuracy of images differencing

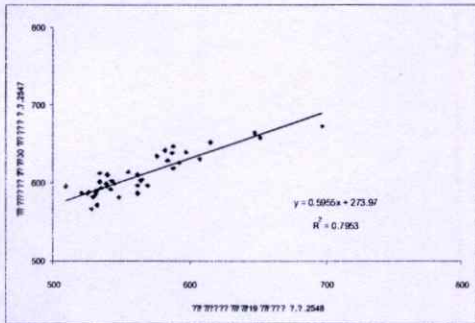
Study area	BAND	N	Procedure Accuracy (%)	Commission Error (%)	Omission Error (%)
Chiangmai Northern region	RED	1.00	81.30	14.70	4.00
	NIR	0.20	78.00	4.70	17.30
	GREEN	1.00	74.00	18.00	8.00



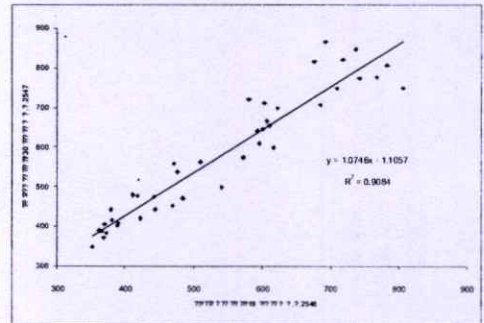
(a) Red band



(b) Green band



(c) Blue band

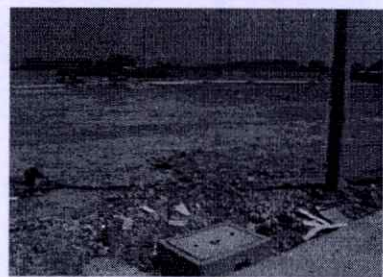
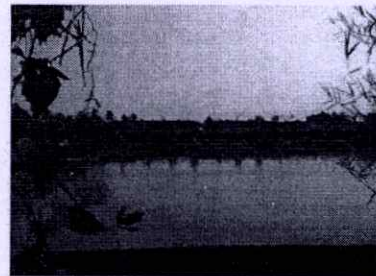
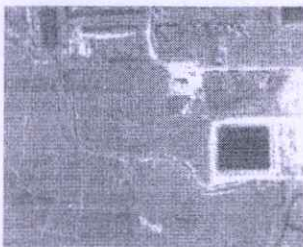


(d) NIR band

Figure 6 Relationship between the DN values of an object used as a target.

Least square regression result

FOR RED BAND	$y = 0.9025X + 111.97$
FOR GREEN BAND	$y = 0.7306X + 227.08$
FOR BLUE BAND	$y = 0.5955X + 273.97$
FOR NIR BAND	$y = 1.0746X + 1.1057$
FOR PAN.BAND	$y = 0.9473X + 66.277$



IKONOS image of the study area

4. CONCLUSION AND DISCUSSION

This research indicates clearly, the remote sensing data especially high-resolution satellite imageries is valuable and necessary to detecting all change in transmission line ROW. Because the resulted data in details and cover areas are extensive. The high-resolution satellite imageries have the advantage on superiority aviation image. Especially, the convenience to arrangement and economies if the areas studies not to be spacious. But there is the limitation of the time because satellite image data will only appear if the satellite has passed and recorded only. The result from change detection with high-resolution satellite imageries in many time in the study area of Chiangmai province. It is correct as off the level of 81 percentages. However, majority error is omission error. It means that there have the changes but not yet detection. EGAT now do not have the data from other data sources such as video from the aviation exploration on ROW which will be applied to insist change detection with satellite imageries. The occurrence of omission error or commission error (or false alarm that satellite imageries analysis appears change but the real is no changed). It is very differently because of exploration in real area. However, in the future, the data from all databases will be increase. The false alarm will have a little problem because the officers can use data from other database, such as watching the existed video to insist that any change appears on satellite imageries analysis is real or not? and if it is real change, it will cause the effect to the stability of transmission system, or not? (such as buildings or deep digging activities that might affect to groundwork of the electric post). At the same time, the omission errors make the officers misunderstand that there is no change but in fact the change is real. Further research of using satellite imageries to detect the change is probable by seeking process to make the result that causes at least omission error and accuracy which should not be lower than the previous one. Furthermore, EGAT should follow and use a new model of high-resolution satellite imageries, as of the other choice of detection the encroachment on transmission line ROW, showing dot detailed imageries at the level about 0.50 meter which is adjoining to the level of aviation image.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was support by Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT). The authors thank the Survey Department of EGAT for providing the IKONOS high-resolution imagery.

REFERENCE

- [1] Yang, X. and C.P. Lo, 2000. Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-Date Satellite Images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66(8):967-980.
- [2] Heo J. and T. W. FitzHugh, 2000. A Standardized Radiometric Normalization Method for Change Detection Using Remotely Sensed Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 55(2):173-181.
- [3] Singh, A., 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International journal of Remote Sensing* 10: 989-1003.
- [4] Fung,T. and Ledrew,E., 1988. The determination of optimal threshold levels for change detection using various accuracy indices. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 54:1449-1454.
- [5] THAILAND FROM SPACE 2003, First Edition, ISBN 974-91345-4-0 , Copyright 2003, by Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization) Ministry of Science and Technology. pp.42-57.
- [6] ERDAS, 1991. ERDAS Field Guide, 2nd edn, version 7.5 (Erdas), Atlanta, USA.
- [7] Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) report, "Developing Prototype of Geographic Information System for Transmission Line Right of Way (R.O.W.) Management using Digital Airborne Inspection System with Remote Sensing Technology", December 2008.