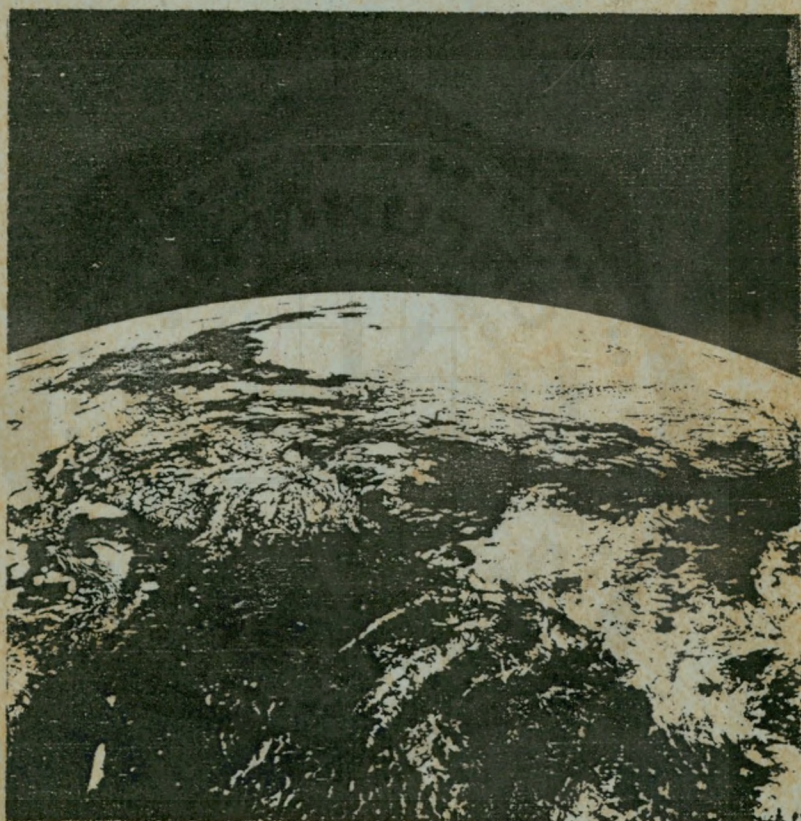


สัมผัสระยะไกลจากภาพ

(ภม. 413)



621.3678
ส852ส

สุรณี อิงคากุล

ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน

สัมปัสระยะไกลจากภาพ

(ภม. 413)



สุรภี อิงคากุล

ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน

คำนำ

หนังสือเล่มนี้เขียนขึ้นเพื่อใช้ประกอบการศึกษาในวิชา ภม. 413 สัมผัสระยะไกลจากภาพ (Remote Sensing) เนื้อหาได้จากการรวบรวม ค้นคว้าจากหนังสือ ตำราทางด้านนี้ที่ใช้กันแพร่หลายทั่วไป และแนวการเขียนต้องการให้หนังสือเล่มนี้เหมาะสำหรับผู้ที่มีความรู้ทางด้านภูมิศาสตร์ จึงเน้นเนื้อหาการใช้ข้อมูลเพื่อประโยชน์ทางด้านภูมิศาสตร์ โดยเฉพาะทางด้านสภาพภูมิประเทศและธรณีสัณฐาน

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ วิทยารัฐ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และให้คำปรึกษา ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยณรงค์ อิงคากุล ที่กรุณาตรวจแก้เนื้อหาที่เกี่ยวข้องทางฟิสิกส์ และคุณสมจิตร อ่อนวิค ที่ได้พิมพ์และแก้ไขต้นฉบับ และขอขอบคุณ คุณ วิโรจน์ อิงคากุล ที่ได้ช่วยเหลือในการจัดทำหนังสือเล่มนี้

สุรภี อิงคากุล

27 กรกฎาคม 2538

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	1
บทที่ 1 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก	3
1.1 โครงการดาวเทียมแลนด์แซท	4
1.2 วงโคจรของแลนด์แซท 1, 2, และ 3	5
1.3 อุปกรณ์สำรวจข้อมูลแลนด์แซท 1, 2, และ 3	6
1.4 วงโคจรของแลนด์แซท 4, 5	11
1.5 อุปกรณ์สำรวจข้อมูลแลนด์แซท 4, 5	11
1.6 แลนด์แซท 6, 7	14
1.7 โครงการดาวเทียมสปอต	17
1.8 วงโคจรของดาวเทียมสปอต 1, 2, และ 3	17
1.9 อุปกรณ์สำรวจข้อมูลสปอต 1, 2, และ 3	18
1.10 สปอต 4, 5	22
1.11 ดาวเทียมอคูนิยมวิทยา	22
1.12 ดาวเทียมสำรวจสมุทรศาสตร์	26
1.13 ระบบเรดาร์	32
โครงการในอนาคต	34
คำถามท้ายบทที่ 1	36
บทที่ 2 ความเข้าใจเบื้องต้นและหลักการของวิชาสัมผัสระยะไกล	37
2.1 หลักการของการแผ่รังสีและแหล่งพลังงาน	38
2.2 พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า	40
2.3 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับบรรยากาศ	46
2.4 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับพื้นผิวโลก	49
2.5 การเก็บข้อมูลและการแปลความหมาย	61
2.6 ข้อมูลอ้างอิง	62
คำถามท้ายบทที่ 2	63
บทที่ 3 ภาพถ่ายทางอากาศกับการศึกษาลักษณะภูมิประเทศ	64
3.1 หลักการแปลภาพถ่ายทางอากาศ	64
3.2 องค์ประกอบในการแปลภาพถ่ายลักษณะภูมิประเทศ	66
3.3 การวิเคราะห์ชนิดของหิน	69

	หน้า
3.4 วิธีการจำแนกลักษณะหินจากภาพถ่ายทางอากาศ	73
3.5 วิธีการจำแนกลักษณะภูมิประเทศจากภาพถ่ายทางอากาศ	78
คำถามท้ายบทที่ 3	81
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา	82
4.1 หลักการวิเคราะห์	82
4.2 วิธีการวิเคราะห์ทางภูมิศาสตร์	83
4.3 รายการขอบระวางข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	84
4.4 สรุปคุณสมบัติของข้อมูลดาวเทียมเพื่อใช้ในการแปลภาพ	87
คำถามท้ายบทที่ 4	95
บทที่ 5 คอมพิวเตอร์กับข้อมูลสัมผัสระยะไกล	96
5.1 ระบบคอมพิวเตอร์โดยทั่วไป	96
5.2 ระบบเลขจำนวน	97
5.3 บิตและจุดภาพ	98
5.4 ระบบการเก็บข้อมูลสัมผัสระยะไกล	100
5.5 ข้อมูลสัมผัสระยะไกล	102
5.6 รูปแบบของการจัดเรียงข้อมูล	104
คำถามท้ายบทที่ 5	106
บทที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์	107
6.1 การแก้ไขข้อมูลและการสร้างภาพกลับคืน	107
6.2 การปรับปรุงคุณภาพข้อมูล	117
6.3 การปรับปรุงคุณภาพข้อมูล โดยใช้ข้อมูลหลายแบนด์	126
6.4 การจำแนกประเภทข้อมูล	134
6.5 ทฤษฎีการจำแนกประเภทข้อมูล	138
คำถามท้ายบทที่ 6	145
บทที่ 7 การใช้ประโยชน์ข้อมูลสัมผัสระยะไกล	146
7.1 ธรณีสังฐานและดิน	146
7.2 ธรณีวิทยา	155
7.3 บรรยากาศ	160
7.4 การใช้ที่ดิน	166
7.5 พืชพรรณธรรมชาติ	170
7.6 สมุทรศาสตร์	175

	หน้า
7.7 ภัยธรรมชาติ	179
คำถามท้ายบทที่ 7	185
บทที่ 8 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	186
ภาคผนวก การฝึกภาคปฏิบัติ	188
บรรณานุกรม	197



บทนำ

การใช้ความรู้ทางด้านวิชาสัมพัทธ์ระยะไกลเพื่อช่วยการศึกษาทางด้านภูมิศาสตร์เป็นไปอย่างกว้างขวาง วิวัฒนาการของการใช้ความรู้ด้านสัมพัทธ์ระยะไกลเริ่มต้นตั้งแต่การใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายทางอากาศและได้พัฒนาเรื่อยมาจนปัจจุบันความเจริญของเทคโนโลยีด้านอวกาศทำให้ภาพถ่ายดาวเทียมเป็นเครื่องมือที่สำคัญของนักภูมิศาสตร์ในการศึกษาพื้นผิวโลก ตลอดจนสภาพอากาศ สภาพแวดล้อม การศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วถูกต้องแม่นยำ และยังมีประโยชน์ในด้านเป็นข้อมูลประกอบการวางแผนการพัฒนาพื้นที่ และการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติอีกด้วย

บาร์เรตต์และเคอร์ติส (Barret & Curtis, 1982 : 9-12) แฮร์ริส (Harris, 1987 : 2-3) ได้กล่าวถึงการนำความรู้ทางด้านวิชาสัมพัทธ์ระยะไกลมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาทางภูมิศาสตร์ โดยมีวิวัฒนาการดังนี้

ระยะที่ 1 ก่อน พ.ศ. 2468 ระยะเวลาที่มีการนำภาพถ่ายทางอากาศมาใช้ทำแผนที่ภูมิประเทศแต่เป็นไปอย่างช้าๆ ความเจริญทางด้านการบินในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 1 ทำให้มีการถ่ายภาพทางอากาศอย่างเป็นระบบในพื้นที่บางบริเวณ

ระยะที่ 2 ระหว่าง พ.ศ. 2468-2488 มีการใช้ภาพถ่ายทางอากาศอย่างแพร่หลาย โดยนำมาแปลความหมายด้วยวิธีการทำภาพสามมิติ เพื่อสร้างแผนที่ภูมิประเทศ รวมทั้งนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านภูมิศาสตร์อื่นๆ สงครามโลกครั้งที่ 2 มีส่วนผลักดันในเรื่องเทคโนโลยีภาพถ่ายทางอากาศ มีการปรับปรุงความคมชัดของเลนส์ถ่ายภาพและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง มีการใช้ภาพถ่ายทางอากาศทั้งทางด้านพลเรือนและการทหาร

ระยะที่ 3 พ.ศ. 2488-2503 การใช้ภาพถ่ายทางอากาศแพร่หลายนอกเหนือจากการทำแผนที่ภูมิประเทศ ภูมิศาสตร์กายภาพ ภูมิศาสตร์สาขาอื่นๆ แล้ว ยังใช้ในสาขาวิชา ธรณีวิทยา, วนศาสตร์, เกษตรศาสตร์, โบราณคดี และสาขาวิชาอื่นๆ อีกมากมาย ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการศึกษาความผันแปรของสภาพพื้นที่ตามระยะเวลา

ระยะที่ 4 พ.ศ. 2503-2515 เป็นยุคของการใช้ดาวเทียมในการเก็บข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกล โดยใช้กล้องถ่ายภาพและเครื่องมือเก็บข้อมูลยุคแรกในระยะแรกของช่วงเวลานี้มีการพัฒนาดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา โดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ส่งดาวเทียมไทโรส (Tiros 1) ขึ้นโคจรในปี พ.ศ. 2503 หลังจากช่วงเวลาดังกล่าวได้ส่งดาวเทียมเอชซา (Essa) และดาวเทียมโนวา (Nova) ภาพถ่ายทางอากาศใช้ในการศึกษาในช่วงคลื่นเห็นได้และอินฟราเรดใกล้ ส่วนภาพจากดาวเทียมใช้ศึกษาได้หลายช่วงคลื่น โดยเฉพาะช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน

ระยะที่ 5 พ.ศ. 2515 จนถึงปัจจุบันมีการใช้ดาวเทียมเพื่อการศึกษาในเรื่องสัมพัทธ์ระยะไกลมากมาย มีการปรับปรุงความคมชัดของอุปกรณ์เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาเรื่องผิวโลก, การศึกษาทางด้านอุตุนิยมวิทยา รวมทั้งการทดลองใช้ เครื่องมือตรวจวัดข้อมูลใหม่ๆ ในหลายช่วงคลื่น จุดนี้เริ่มต้นเมื่อมีการส่งดาวเทียมแลนดแซทจีนโคจรในปี พ.ศ. 2515 และดาวเทียมดวงแรกของฝรั่งเศส ได้ส่งขึ้นไปโคจรคือดาวเทียมสปอต การพัฒนาทางด้านสัมพัทธ์ระยะไกลยังคงดำเนินต่อไปอย่างไม่หยุดยั้ง

การพัฒนาอุปกรณ์สำรวจข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกล อุปกรณ์ระบบเรดาร์นับเป็นระบบที่มีแนวโน้มเป็นระบบสำรวจข้อมูลในอนาคต อุปกรณ์ระบบเรดาร์ ติดตั้งได้ทั้งในอากาศยานและยานอวกาศ ระบบเรดาร์ที่ติดตั้งในยานอวกาศเริ่มจากดาวเทียมซีแซท ในปี พ.ศ. 2521 ติดตามด้วยระบบเรดาร์ที่ติดตั้งในกระสวยอวกาศ และดาวเทียมคอมสอซของรัสเซีย จนถึงปี พ.ศ. 2533 มีดาวเทียมระบบเรดาร์ 3 ดวงได้แก่ Alma 2-1, ERS-1 และ JERS-1 กล่าวได้ว่า ตั้งแต่ พ.ศ. 2533 เป็นต้นมาเป็นยุคของการสำรวจข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลจากอวกาศโดยใช้ระบบเรดาร์

การใช้ข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลเพื่อช่วยการศึกษาทางด้านภูมิศาสตร์นับว่าได้ประโยชน์อย่างยิ่ง เนื่องจากสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล โดยสามารถนำคุณสมบัติของข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลที่มีลักษณะให้ความแตกต่างในเรื่อง การสะท้อนพลังงานในแต่ละช่วงคลื่น (Spectral) ข้อมูลทางด้านพื้นที่ (spatial) และข้อมูลที่มีความเปลี่ยนแปลงตามเวลา (temporal) ของลักษณะพื้นที่หรือวัตถุ (features) ที่ปรากฏบนพื้นผิวโลก นอกจากนี้การใช้ข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (geographic Information system) ช่วยให้เราสามารถศึกษาสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่ต่างๆ ได้ผลสมบูรณ์

บทที่ 1

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก

วิชาการสัมพัทธระยะไกลได้เริ่มต้นอย่างจริงจังระหว่างปี พ.ศ. 2489-2493 การถ่ายภาพของโลกในระดับสูงมากเกิดขึ้นเป็นครั้งแรกในระยะหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยกล้องอัตโนมัติขนาดเล็กที่ติดตั้งอยู่ในจรวดที่ส่งขึ้นไปจากฐานยิงไวท์แซนด์ในรัฐนิวเม็กซิโกในสหรัฐอเมริกา ในระดับความสูงประมาณ 160-320 กิโลเมตร หลังจากนั้นได้มีการติดตั้งกล้องถ่ายภาพและส่งขึ้นไปพร้อมกับ จรวด ดาวเทียม และยานอวกาศหลายครั้ง คุณภาพของภาพในระยะแรกไม่ดีเนื่องจากการส่งยานอวกาศขึ้นไปในช่วงนั้นไม่ได้มุ่งในเรื่องการถ่ายภาพโดยเฉพาะ แต่ภาพเหล่านั้นเป็นภาพที่มีคุณค่าในการนำมาศึกษาทางด้านสัมพัทธระยะไกล

ความพยายามในระยะแรกของการถ่ายภาพพื้นผิวโลกจากยานอวกาศนั้นเริ่มต้นจากวิวัฒนาการของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา โดยเริ่มจากดาวเทียมไทโรสหนึ่ง (Tiros-1) ในพ.ศ. 2503 ดาวเทียมสำรวจสภาพอากาศได้ส่งภาพที่มีเมฆปกคลุมและเห็นพื้นผิวโลกไม่ชัดเจน โดยการปรับปรุงอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูล (sensor) ที่ส่งขึ้นไปพร้อมกับดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาทำให้ภาพที่ได้ ทั้งภาพพื้นผิวโลก และภาพสำรวจสภาพอากาศของโลกชัดเจนยิ่งขึ้น ในระยะหลังๆ นักอุตุนิยมวิทยา ได้นำข้อมูลดังกล่าวมาศึกษาเรื่องน้ำ, หิมะและสภาพน้ำแข็งบนพื้นผิวโลก ทำให้ได้ผลครอบคลุมกว้างขวางมากยิ่งขึ้น

การศึกษาวิชาการสัมพัทธระยะไกล ได้ปรากฏชัดเจนมากขึ้นในยุคที่มีโครงการสำรวจอวกาศ โดยมีมนุษย์อวกาศเดินทางไปด้วย ในช่วงปี พ.ศ. 2503 ได้แก่โครงการเมอร์คิวรี เจมินี และอพอลโล

วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2504 Alan B. Shepard, Jr ซึ่งอยู่ในโครงการเมอร์คิวรี ได้ถ่ายภาพจำนวน 150 ภาพด้วยกล้อง Mauer 70 ม.ม ภาพที่ได้เห็นแต่ท้องฟ้า เมฆและมหาสมุทร

วันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2505 John Glen, Jr. โครงการเมอร์คิวรี ได้ถ่ายภาพสี 48 ภาพ เป็นฟิล์มเนกาตีฟ 35 ม.ม ภาพส่วนใหญ่เป็นภาพเมฆ, น้ำ และภาพทะเลทรายทางตอนเหนือของอเมริกาในช่วงท้ายโครงการเมอร์คิวรี ได้มีการถ่ายภาพ 70 ม.ม โดยใช้กล้อง Hasselblad ผลที่ได้เป็นที่มาของการปรับปรุงการถ่ายภาพในโครงการเจมินี

โครงการเจมินี ปฏิบัติการ GT4 ใช้กล้อง Hasselblad ฟิล์ม 80 ม.ม ทำให้ได้ภาพที่นำมาศึกษาทางธรณีวิทยา มีการถ่ายภาพ แนวโค้งที่ซ้อนกันในบริเวณตะวันตกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกาเหนือของเม็กซิโกบางส่วนของอเมริกาเหนือ แอฟริกาและเอเชีย ภาพเหล่านี้ทำให้เกิดการค้นพบสิ่งที่น่าสนใจในเรื่อง เทคโทนิค ภูเขาไฟและธรณีสังฐาน ด้วยความสำเร็จครั้งนี้ ภายหลังจากได้มีโครงการทดลองคล้ายๆกันต่อมาเพื่อสำรวจปรากฏการณ์ธรรมชาติทางด้านภูมิศาสตร์

และสมุทรศาสตร์โดยใช้ภาพถ่ายที่มีมาตราส่วน 1:2,400,000 พื้นที่แต่ละด้านมีความยาว 140 กิโลเมตร เมื่อสิ้นสุดโครงการเจมินีได้ภาพที่มีคุณภาพจำนวน 1,100 ภาพ เพื่อนำมาศึกษาทรัพยากรโลก และคุณค่าที่ได้รับจากข้อมูลสัมผัสระยะไกลก็เป็นที่ยอมรับกันทั่วไป สิ่งที่ต้องคิดกันต่อไปก็คือ การถ่ายภาพที่เป็นระบบให้ครอบคลุมทั่วโลก

การถ่ายภาพในอวกาศได้ดำเนินต่อไปในโครงการอพอลโลหนึ่งในโครงการนี้ได้แก่ อพอลโล 9 ได้ทำการทดลองระบบการถ่ายภาพหลายช่วงคลื่น ถ่ายภาพทรัพยากรโลกโดยใช้กล้องอิเล็กทรอนิกส์ Hasselbald 70 มม ใช้ฟิล์มขาวดำพร้อมฟิลเตอร์สีเขียวแดง ฟิล์มอินฟราเรด ขาวดำ ฟิล์มสีอินฟราเรด ถ่ายภาพบริเวณประเทศสหรัฐอเมริกาตอนกลาง, ตะวันตกเฉียงใต้, ตะวันออกเฉียงใต้, เม็กซิโกและทะเลคาริบเบียน ได้ภาพจำนวน 140 ภาพ

ในปี พ.ศ. 2516 โครงการสกายแลป เป็นห้องปฏิบัติการในอวกาศนักบินอวกาศได้ถ่ายภาพจำนวน 35,000 ภาพ โดยมีเครื่องมือชุด EREP (Earth Resources Experiment Package) ขึ้นไปด้วยเครื่องมือประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพลักษณะภูมิประเทศ อุปกรณ์กวาดภาพหลายช่วงคลื่น สเปกโตรราดิโอมิเตอร์และอุปกรณ์ระบบไมโครเวฟ การทดลองนี้นับเป็นครั้งแรกของการใช้ระบบถ่ายภาพและระบบอิเล็กทรอนิกส์จากอวกาศ

ในปี พ.ศ. 2518 อีกโครงการหนึ่งซึ่งนับเป็นโครงการในระยะแรกๆ ของการทดลองทางด้านสัมผัสระยะไกล เป็นความร่วมมือระหว่างสหรัฐและรัสเซียคือโครงการอพอลโล โซยุซ แต่ภาพที่ได้มีคุณภาพไม่ดี

1.1 โครงการดาวเทียมแลนดแซท

ประโยชน์ที่ได้รับจากดาวเทียมอคูนิยมิวิทยาและปฏิบัติการยานอวกาศที่มีมนุษย์อวกาศทำให้องค์การบริหารอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา โดยความร่วมมือกับกระทรวงมหาดไทยของสหรัฐอเมริกา ได้เริ่มทำการศึกษาแนวความคิดของความเป็นไปได้ของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก Earth Resources Technology Satellite (ERTS) โดยเริ่มในปี พ.ศ. 2510 ตามโครงการดาวเทียมแลนดแซทมี 6 ดวงเรียกชื่อ ERTS -A,-B,-C,-D-E,-F ภายหลังถูกส่งขึ้นไปในอวกาศแล้ว เรียกชื่อ ERTS -1,-2,-3,-4,-5,-6

ERTS-1 ส่งขึ้นไปพร้อมกับจรวด Thor-Delta ในวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2515 และทำงานอยู่จนถึงวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2521 นับเป็นดาวเทียมที่ออกแบบเพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับทรัพยากรโลกอย่างมีระบบ เก็บข้อมูลในระบบหลายช่วงคลื่น มีความคมชัดในระดับปานกลาง เค็มที่ออกแบบเพื่อเป็นระบบทดลองเพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการเก็บข้อมูล

ทรัพยากรโลกจากความเทียมที่ไม่มีมนุษย์อวกาศ ทุกชาติได้รับเชิญให้เข้าร่วมใช้ข้อมูลจาก ERTS-1 และสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ ผลจากการทดลองก็ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ความสำเร็จในครั้งนี้นับว่าเกินความคาดหมายของนักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

ก่อนหน้าที่จะมีการส่ง ERTS-B ขึ้นไปในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2518 องค์การบริหารอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกาได้เปลี่ยน ชื่อโครงการ ERTS เป็นโครงการแลนด์แซท และเปลี่ยนชื่อ ERTS-1 เป็น Landsat 1 และความเทียมในโครงการลำดับต่อมาที่ใช้ชื่อแลนด์แซท ระบบอุปกรณ์สำรวจข้อมูลของโครงการแลนด์แซทมี 4 ระบบ ได้แก่ Return Beam Vidicon (RBV), Multispectral Scanner (MSS), Thematic Mapper (TM) และ Enhanced Thematic Mapper (ETM)

1.2. วงโคจรของแลนด์แซท 1,2, และ 3

ความเทียมแลนด์แซท 1,2, และ 3 นับเป็นความเทียมโครงการแลนด์แซทในระยะแรก ความเทียมมีความสูง 3 เมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เมตร มีแผงรับสัญญาณดวงอาทิตย์ความยาว 4 เมตร น้ำหนักของความเทียม 815 กิโลกรัม โคจรด้วยระดับความสูง 915 กิโลเมตร จากพื้นผิว โลก ระดับความสูงนี้มีความเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 880 และ 940 กิโลเมตร โคจรรอบโลก 1 รอบใช้เวลา 103 นาที 1 วัน โคจรรอบโลกได้ 14 รอบ ในขณะที่โคจรผ่านอริเคเตอร์เฉียงทำมุมประมาณ 9 องศากับแนวตั้ง มีความเร็วในขณะที่กวาดภาพบนภาคพื้นดินประมาณ 6.46 กิโลเมตรต่อวินาที วงโคจรที่ผ่านมายู่ห่างจากวงโคจรลำดับต่อไปประมาณ 2760 กิโลเมตร แนวกว้างของวงโคจรเท่ากับ 185 กิโลเมตร วงโคจรของความเทียมค่อยๆ เคลื่อนที่ไปทางตะวันตกในแต่ละวัน และใช้เวลา 18 วันจึงจะกลับมาถ่ายภาพซ้ำที่เดิม

ความสัมพันธ์ระหว่างวงโคจรของความเทียมและการหมุนรอบตัวเองของโลกทำให้เกิดการซ้อน (Overlap) ของภาพถ่าย บริเวณที่เกิดภาพซ้อนมากที่สุดคือที่ละติจูด 81 องศาเหนือ และได้ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ และเกิดภาพซ้อนน้อยที่สุดที่อริเคเตอร์ประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์

ด้วยความเร็ว 103 นาที ในการโคจรครบ 1 รอบ และมีระยะห่างที่อริเคเตอร์ 2760 กิโลเมตร ของแนวโคจรถัดไป ทำให้ความเทียมต้องรักษาระยะห่างที่แน่นอน พร้อมๆกับที่โลกหมุนจากตะวันตกไปตะวันออก ความเทียมก็โคจรเคลื่อนไปทางตะวันตก และรักษาความสม่ำเสมอในการเคลื่อนที่ผ่านอริเคเตอร์ในเวลาท้องถิ่นเดิมเสมอ ลักษณะการโคจรเช่นนี้ เรียกว่า การโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (sun synchronous)

แลนด์แชท 1,2 และ 3 เคลื่อนที่ผ่านอริเคเวเตอร์เมื่อเวลา 9.42 น. (Lillesand & Kiefer, 1987: 539) ความผันแปรในวงโคจรอาจทำให้เวลาคลาดเคลื่อนไปบ้าง การเลือกเวลาผ่านอริเคเวเตอร์ในช่วงนี้เนื่องจากเป็นเวลาเข้าท้องฟ้าโดยทั่วไปมักปลอดภัยโปร่งแจ่มใสมากกว่าช่วงบ่าย เนื่องจากความเร็วในระบบของการโคจรมีค่าคงที่ ตำแหน่งอื่นๆ ในวงโคจรควาเทียมเคลื่อนที่ผ่านด้วยเวลาที่คงที่เช่นกัน อาจเป็นเวลาช้ากว่า 9.42 น. ในซีกโลกเหนือหรือก่อนเวลาเล็กน้อยในซีกโลกใต้

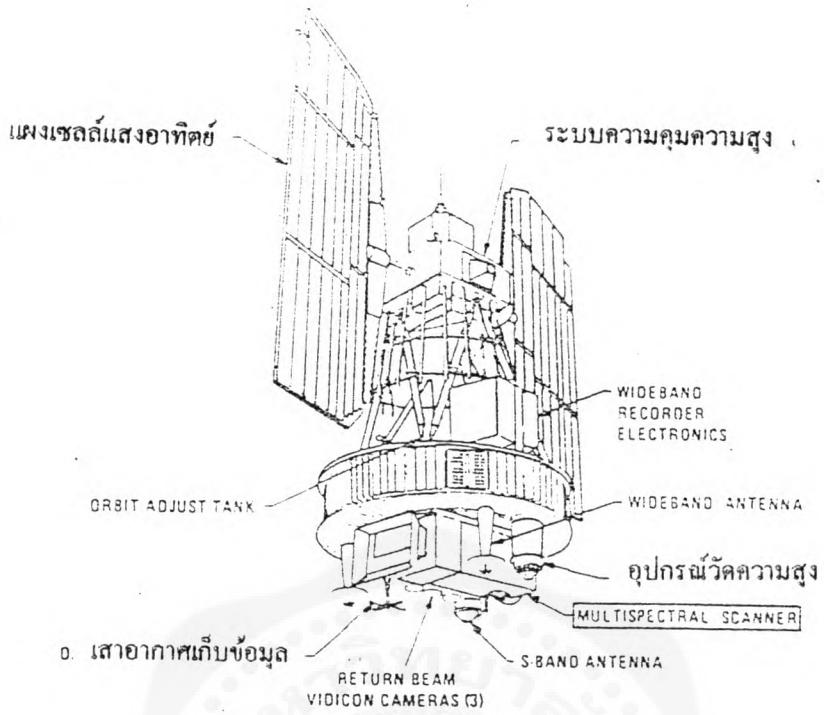
วงโคจรในลักษณะสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์นี้มีประโยชน์ในเรื่องของสภาพการรับแสงอาทิตย์ที่ซ้ำกันหรือแตกต่างกันตามฤดูกาลทำให้สามารถนำภาพถ่ายมาทำการต่อภาพหรือโมเสค และสามารถเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสภาพบนพื้นผิวโลกได้

แม้ว่าวงโคจรในลักษณะสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ให้ประโยชน์หลายประการในการนำภาพถ่ายมาใช้ประโยชน์แต่ก็มีความผันแปรอีกหลายประการที่ไม่สามารถแก้ไขได้ นั่นคือ ในเรื่องความสูงของดวงอาทิตย์ที่ผันแปรไปตามฤดูกาลโดยเฉพาะในเขตละติจูดกลางและสูง นอกจากนี้ในเรื่องทิศทางของลำแสงจากดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและละติจูดและในเรื่องความเข้ม (intensity) ของดวงอาทิตย์ ปัจจัยทั้ง 3 ประการข้างต้นมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา นอกจากนี้ยังมีปัจจัยในเรื่องสถานะอากาศในขณะที่ถ่ายภาพอีกด้วยที่ทำให้ภาพถ่ายแต่ละภาพมีความแตกต่างกัน

1.3 อุปกรณ์สำรวจข้อมูลแลนด์แชท 1,2, และ 3

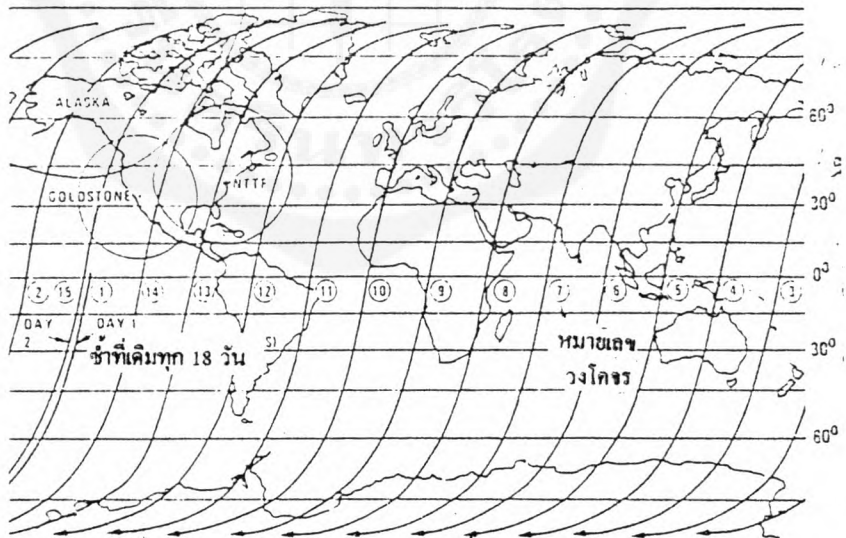
แลนด์แชท 1,2 และ 3 มีอุปกรณ์สำรวจข้อมูล 2 ระบบได้แก่

1. ระบบกล้องอาร์บีวี (Return Beam Vidicon) ประกอบด้วยกล้องคล้ายกล้องโทรทรรศน์ 3 กล้อง ถ่ายภาพที่มีขนาด 185 x185 กิโลเมตร มีรายละเอียดภาพ 80 เมตร กล้องทั้ง 3 ถ่ายภาพในช่วงคลื่นต่างๆ กันดังนี้ ช่วงคลื่น 0.475-0.575 ไมโครเมตร (สีเขียว) ช่วงคลื่น 0.580-0.680 ไมโครเมตร (สีแดง) และ 0.690-0.830 ไมโครเมตร (อินฟราเรดใกล้) และเรียกแบนด์ 1,2 และ 3 ตามลำดับ ระบบนี้ใช้ในแลนด์แชท 1 และ 2 ในแลนด์แชท 3 ได้มีการเปลี่ยนแปลงระบบอาร์บีวี เก็บข้อมูลที่ละแบนด์ในช่วงคลื่น 0.505-0.75 ไมโครเมตร (สีเขียวถึงอินฟราเรดใกล้) รายละเอียดภาพ 30 เมตร ใช้กล้องถ่ายภาพ 2 ตัวติดกัน เก็บภาพได้กล้องละ 98x98 กิโลเมตร มีบริเวณภาพซ้อนด้านข้างระยะทาง 13 กิโลเมตร ทำให้ได้พื้นที่ถ่ายภาพของ 2 กล้อง 183 x98 กิโลเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเอ็มเอสเอส 1 ภาพ จะต้องใช้ภาพระบบอาร์บีวี 4 ภาพ หรือภาพคู่ 2 คู่ จึงจะคลุมพื้นที่ได้เท่าๆ กัน โดยประมาณ



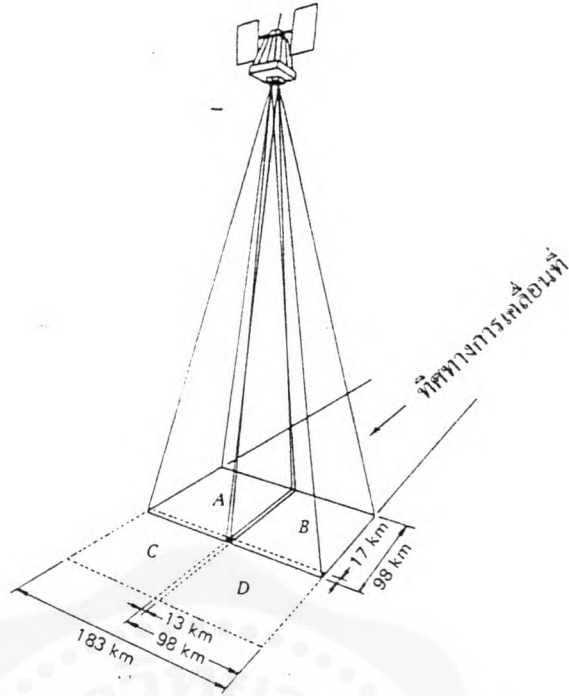
รูปที่ 1.1 ดาวเทียมแลนค์แซท 1,2 และ 3

(ที่มา Floyd F. Sabins, Jr., 1978 : 66)

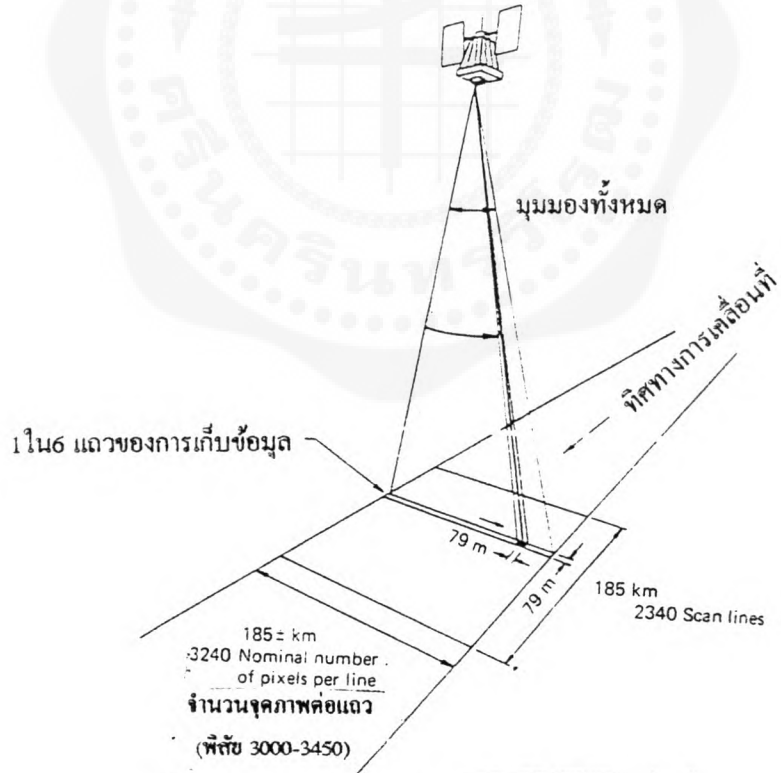


รูปที่ 1.2 วงโคจรของแลนค์แซท 1,2 และ 3

(ที่มา Floyd F. Sabins, Jr., 1978 :73)



รูปที่ 1.3 ระบบอาร์บีวี (RBV) ของเลนส์แชท 3
(ที่มา Lillesand & Kiefer, 1987 : 541)



รูปที่ 1.4 ระบบเอ็มเอสเอส (MSS)
(ที่มา Lillesand & Kiefer, 1987 : 543)

ระบบอาร์บีวีไม่ใช้ฟิล์มในการถ่ายภาพ แต่ถ่ายภาพได้จากเครื่องมือซัดเตอร์และเก็บภาพลงในพื้นผิวที่ไวต่อแสง (Photosensitive) ที่มีอยู่ในกล่องแต่ละตัว พื้นผิวนี้จะถูกเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์กวาดภาพในรูปของข้อมูลตาราง (raster) เพื่อผลิตเป็นสัญญาณวิดีโอ เช่นที่ใช้ในระบบกล้องโทรทัศน์

ภาพที่ได้จากระบบอาร์บีวี มีความสะดวกในการทำแผนที่มากกว่าระบบเอ็มเอสเอส เนื่องจากมีระบบการบันทึกข้อมูลแบบตาราง มีระบบกริดอยู่ในภาพทำให้การแก้ไขความผิดพลาดทางเรขาคณิตทำได้สะดวกกว่าระบบเอ็มเอสเอส

2. ระบบเอ็มเอสเอส (Multispectral Scanner) ระบบถ่ายภาพหลายช่วงคลื่น ครอบคลุมพื้นที่ 185x185 กิโลเมตร บันทึกข้อมูล 4 ช่วงคลื่น 2 ช่วงคลื่นในช่วงคลื่นเห็นได้ คือ 0.5-0.6 (สีเขียว) 0.6-0.7 ไมโครเมตร (สีแดง) และ 2 ช่วงคลื่นในอินฟราเรดใกล้ ได้แก่ 0.7-0.8 และ 0.8-1.1 ไมโครเมตร เรียกชื่อแบนด์ 4,5,6,7 ในแลนค์แซท 3 ได้เพิ่มช่วงคลื่นความร้อนระหว่าง 10.4 - 12.6 ไมโครเมตร เป็นแบนด์ที่ 8 อย่างไรก็ตามปัญหาทางด้านปฏิบัติการทำให้แบนด์ 8 ไม่สามารถปฏิบัติงานได้ หลังจากส่งแลนค์แซท 3 ขึ้นไปไม่นานนัก ในแลนค์แซท 4 และ 5 เรียกชื่อแบนด์แตกต่างกันเป็นแบนด์ 1,2,3, และ 4 ระบบเอ็มเอสเอส มีรายละเอียดภาพ 80 เมตร (โดยประมาณ)

ระบบเอ็มเอสเอส เป็นระบบบันทึกข้อมูลของโลกระบบแรกที่มีความสามารถผลิตข้อมูลได้หลายช่วงคลื่นในรูปของข้อมูลดิจิทัลที่สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ได้ ทำให้สามารถนำข้อมูลมาใช้งานได้อย่างแพร่หลาย

อุปกรณ์สำรวจข้อมูลของเอ็มเอสเอส สามารถกวาดภาพได้มีความกว้างของมุมมองทั้งหมด (Total field of view) 11.56 องศา และมีมุมมองของการถ่ายภาพแต่ละครั้ง (instantaneous field of view) สามารถเก็บภาพบนพื้นผิวโลกได้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กหรือเรียกว่า รายละเอียดภาพ (resolution) ด้านละประมาณ 79 เมตร ใช้กระจก กวาดรับภาพ กระจกแกว่ง 1 ครั้งทุกๆ 33 ส่วนพันวินาที การแกว่งของกระจก แต่ละครั้งทำให้มีการกวาดภาพ หรือบันทึกข้อมูล 6 แถว หรือ 6 เส้นไปพร้อมๆ กัน และบันทึกข้อมูลครั้งละ 4 แบนด์ โดยแต่ละแบนด์มี เครื่องมือบันทึกข้อมูล (detector) หรือดีเทคเตอร์จำนวน 6 ตัว

สัญญาณภาพจากเครื่องมือแต่ละตัวถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยเครื่องมือแปลงสัญญาณ (A to D converter) โดยมีค่าตัวเลขดิจิทัล (Digital Number) หรือค่าดีเอ็นตั้งแต่ 0-63 (ระบบคอมพิวเตอร์ที่มี 6 บิต) เครื่องมือแปลงสัญญาณจะดึงข้อมูลที่ได้จากดีเทคเตอร์ออกมาเป็นช่วงๆ ประมาณ 100,000 ครั้งต่อวินาที เป็นผลให้แต่ละช่วงที่ถูกตัดออกมาหรือถูกดึงออกมามีช่วงห่างกันช่วงละ 56 เมตร ในการอ่านของเครื่องมือแปลงสัญญาณแต่ละครั้ง

ทำให้ข้อมูลออกมาในรูปของ 56x79 เมตรต่อ 1 หน่วยพื้นที่ อย่างไรก็ตามค่าความส่องสว่างหรือค่าการสะท้อนพลังงาน (Brighmess Value) ของแต่ละจุดภาพ โดยปกติคิดจากรายละเอียดภาพ 79x79 เมตร

ระบบเอ็มเอสเอสเก็บข้อมูลแต่ละเส้นเริ่มจากตะวันตกไปตะวันออกโดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียมลงไปทางทิศใต้ ภาพที่ได้จากเลนส์แซทเอ็มเอสเอส แต่ละภาพได้จากการตัดออกจากข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกันภายในแนวกวาดภาพ (swath) แต่ละภาพครอบคลุมพื้นที่ 185x185 กิโลเมตร โดยมีแนวซ้อนเหลื่อมตอนปลาย (end lap) 10 เปอร์เซ็นต์ และในแต่ละภาพประกอบด้วยข้อมูลในแนวนอนที่ได้จากแนวกวาดภาพหรือที่เรียกว่าแถว (row) หรือแนวหรือเส้นจำนวน 2340 เส้น และได้ข้อมูลในแนวตั้งหรือที่เรียกว่าคอลัมน์ (column) หรือ จุดภาพ จำนวน 3240 จุดภาพ ต่อ 1 เส้นหรือประมาณ 7,581,000 จุดภาพ ต่อ 1 แบนด์

โดยที่แต่ละ จุดภาพ มีข้อมูล 4 ช่วงคลื่น หรือ 4 แบนด์ ภาพแต่ละภาพจึงมีมากกว่า 30 ล้าน จุดภาพ เมื่อพิจารณาว่าภาพ 1 ภาพใช้เวลา บันทึกประมาณ 25 วินาที การเก็บข้อมูลนี้มหาศาลนี้จึงใช้เวลาที่รวดเร็วมาก ลักษณะภาพที่ได้เป็นแบบ Parallelogram คือไม่ใช่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสแต่เป็นรูปที่มีแนวขนานและเอียงตามแนวโคจรของดาวเทียมสาเหตุเนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของโลกในช่วงเวลา 25 วินาที เป็นเวลาที่ดาวเทียมเคลื่อนที่จากด้านบนของภาพลงสู่ด้านล่างของภาพ ขณะเดียวกันโลกก็หมุนจากตะวันตกไปตะวันออก การเริ่มต้นของแต่ละเส้นจึงค่อนข้างไปทางตะวันตก ภาพที่อยู่บรรทัดต่างๆ ลงไปจึงค่อนข้างไปทางตะวันตกมากกว่าบรรทัดที่อยู่ตอนบน

นอกเหนือจากภาพขาวดำของแต่ละแบนด์ ภาพสีผสม (Color composite) ก็ยังสามารถทำได้กับข้อมูลเอ็มเอสเอส โดยการพิมพ์ภาพ เอ็มเอสเอส 3 แบนด์ลงบนฟิล์มสี

การกำหนดแคตตาล็อกสำหรับเรียกชื่อเพื่อสะดวกในการนำไปใช้งานของเลนส์แซท 1,2,3, กำหนดโดยตำแหน่งที่ตั้ง ที่อยู่ในระบบคัมเบิ้ลยูอาร์เอส (WRS - Worldwide Reference System) ในระบบนี้วงโคจรแต่ละวงโคจรที่เป็นวงกลมเรียกว่า แนว (path) ตำแหน่งในแนวระนาบหรือแนวนอนเรียกว่า แถว (row) ดังนั้นภาพถ่ายแต่ละภาพกำหนดหรือระบุเป็นแนวและแถว

ระบบคัมเบิ้ลยูอาร์เอส ของเลนส์แซท 1,2 และ 3 มี 251 แนว สอดคล้องกับจำนวนแนวโคจรที่ครอบคลุมพื้นผิวโลกทั้งหมดในรอบ 18 วัน ชื่อแนวเริ่มจาก 001 ถึง 251 จากตะวันออกไปตะวันตกชื่อแถว แถวที่ 60 อยู่ในแนวเส้นอิควีเตอร์

1.4 วงโคจรของแลนด์แซท 4,5

แลนด์แซท 4,5 มีการโคจรเหมือนแลนด์แซท 1,2,3 คือมีการโคจรซ้ำที่เดิมเป็นวงกลม โคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์และโคจรใกล้ขั้วโลกแต่อย่างไรก็ตามวงโคจรนี้มีระดับต่ำกว่า 900 เหลือ 705 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก วงโคจรที่ต่ำลงนี้เพื่อให้ดาวเทียมมีศักยภาพในการให้ยาน space shuttle สามารถซ่อมแซมได้ และเพื่อช่วยในการปรับปรุงรายละเอียดภาพให้ดีขึ้น

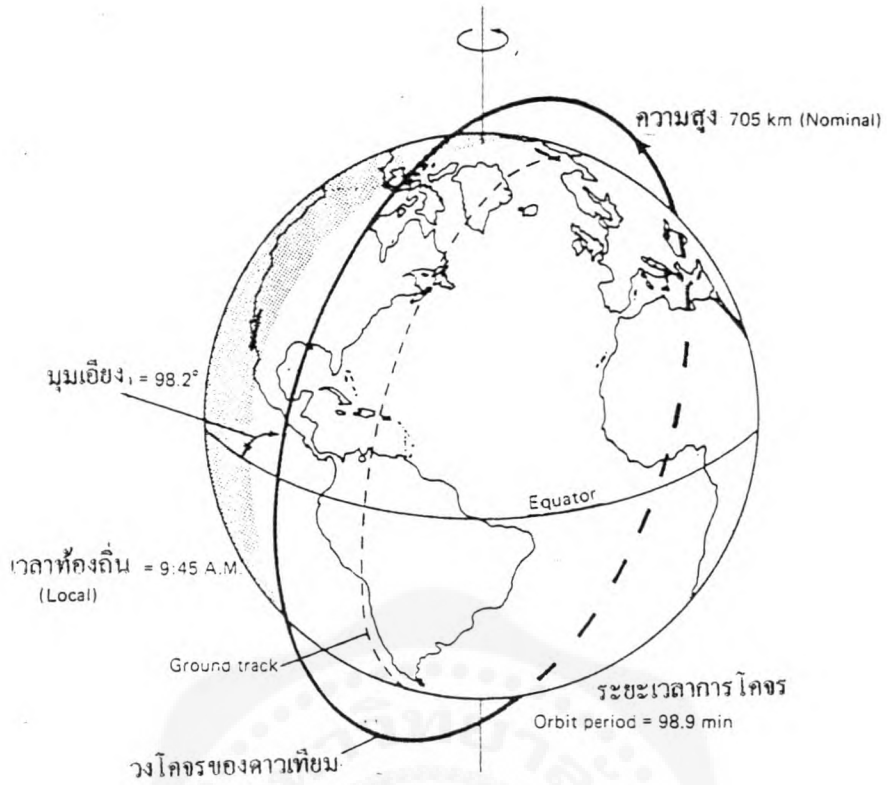
วงโคจรของแลนด์แซท 4,5 เอียง 98.2 องศา (8.2 องศาจากแนวตั้ง) กับแนวอิเควเตอร์ ดาวเทียมผ่านอิเควเตอร์จากเหนือไปได้ เมื่อเวลา 9.45 น. ตามเวลาที่ท้องถิ่น วงโคจร 1 รอบใช้เวลา 99 นาที ในแต่ละวันจึงโคจรได้ 14.5 รอบ ระยะทางระหว่าง แนวโคจรบนพื้นผิวโลกของแต่ละรอบการโคจรห่างกันประมาณ 2752 กิโลเมตรที่อิเควเตอร์

ดาวเทียมโคจรรอบโลก 1 รอบ ภายในเวลา 16 วัน เมื่อโคจรผ่านแนวที่ 1 ไปแล้ว (วันที่ 1) วันต่อมา (วันที่ 2) ดาวเทียมจะโคจรในแนวที่ 8 วันที่ 3 โคจรลงมาในแนวที่ 15 ในแต่ละวันโคจรห่างจากวันถัดมา 7 แนว ช่วงระยะเวลาห่างระหว่างแนวที่อยู่ติดกันของดาวเทียมดวงเดียวกัน คือ 7 วัน รูปแบบของการครอบคลุมพื้นผิวโลกนี้แตกต่างจากดาวเทียม แลนด์แซท 1,2, และ 3 ซึ่งมีรอบการโคจร 18 วัน และมีแนวโคจรที่อยู่ติดกันก็มีระยะห่าง 1 วัน เท่านั้น

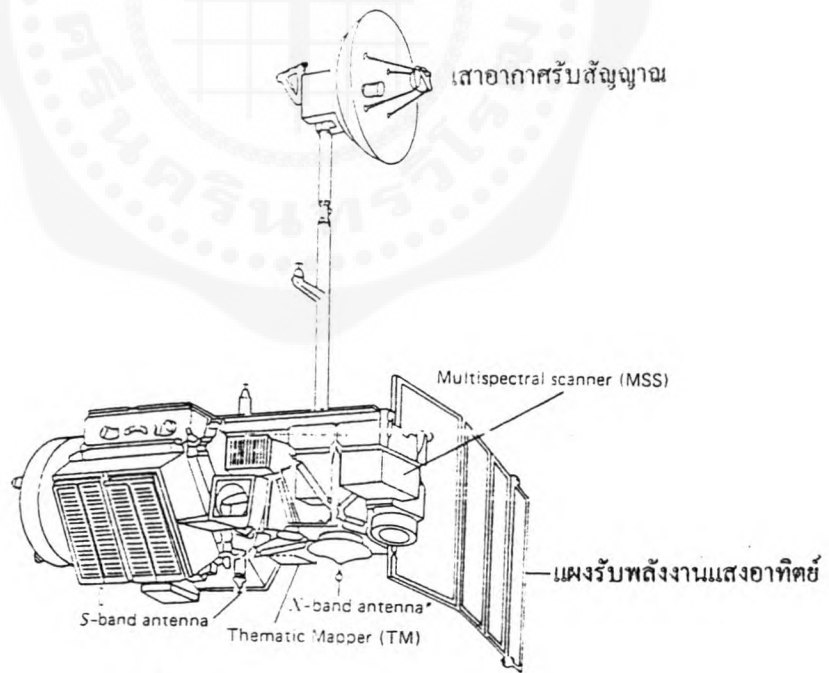
นอกจากนี้แลนด์แซท 4,5 ยังกำหนดเขตตาลอกตามระบบของดับเบิลยูอาร์เอส (WRS) แตกต่างจากที่ใช้อ้างอิงในแลนด์แซท 1,2, และ 3 แลนด์แซท 4,5 มี 233 แนว (path) เริ่มจาก 001-233 จาก ตะวันออกไปตะวันตกโดยแนว 001 ผ่านอิเควเตอร์ที่ลองจิจูด 64° 36' ตะวันตก สำหรับแถว (row) ใช้เหมือนกับระบบดับเบิลยูอาร์เอสเดิมคือแถวที่ 60 อยู่แนวเดียวกับเส้นศูนย์สูตร แถวที่ 1 ของแต่ละแนวเริ่มที่ ละติจูด 80° 47' เหนือ

1.5 อุปกรณ์สำรวจข้อมูลแลนด์แซท 4,5

ดาวเทียมแลนด์แซท 4,5 มีระบบอุปกรณ์สำรวจข้อมูล 2 ระบบ ได้แก่ ระบบเอ็มเอสเอส และระบบทีเอ็ม ดาวเทียมมีน้ำหนัก 2000 กิโลกรัมมีแผงรับแสงอาทิตย์ขนาด 1.5x2.3 เมตร ติดกับตัวยาน มีเสารับสัญญาณที่ไหลออกมานอกตัวยานสามารถใช้ถ่ายทอดสัญญาณโดยผ่านดาวเทียมสื่อสารที่มีการโคจรแบบสัมพันธ์กับการหมุนของโลก รวมทั้งมีระบบดาวเทียมทีดีอาร์เอสเอส (Tracking and Data Relay Satellite System) เป็นระบบดาวเทียมอีกระบบที่ทำหน้าที่รับสัญญาณและถ่ายทอดสัญญาณของแลนด์แซท การส่งผ่านข้อมูลของระบบเอ็มเอสเอส และทีเอ็ม โดยตรงลงมายังสถานี รับโดยผ่านเสาสัญญาณเอกซ์แบนด์ (X-band) และเอสแบนด์ (S-band) ที่อยู่บนดาวเทียม อัตราการส่งผ่านข้อมูลของเอ็มเอสเอส 15 เมกะไบต์ต่อวินาที (Mbps) และระบบทีเอ็ม 85 เมกะไบต์ต่อวินาทีระบบอุปกรณ์สำรวจข้อมูลมี 2 ระบบดังนี้



รูป 1.5 วงโคจรของแลนดส์แซท 4, 5
(ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994, : 463)



รูปที่ 1.6 อุปกรณ์สำรวจข้อมูลแลนดส์แซท 4,5
(ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994, : 466)

1. ระบบเอ็มเอสเอส ระบบที่ติดตั้งอยู่ในแลนด์แซท 4,5 แตกต่างจากที่ติดตั้งในแลนด์แซท 1,2, และ 3 แนวความกว้าง 185 กิโลเมตร โคจรอยู่ในระดับต่ำกว่าทำให้เพิ่มความกว้างของมุมมองทั้งหมด (FOV) เป็น 14.92 องศา มุมมองของการถ่ายภาพแต่ละครั้ง (1FOV) ที่เก็บภาพบนพื้นผิวโลกได้ 82x82 เมตร ระบบเดิม 79x79 เมตร การเก็บข้อมูล 4 ช่วงคลื่นหรือแบนด์ เรียกชื่อใหม่เป็นแบนด์ที่ 1-4 ซึ่งเดิมเป็นแบนด์ 4-7

2. ระบบทีเอ็ม (Thematic Mapper) มีอุปกรณ์สำรวจข้อมูลหลายช่วงคลื่นที่ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นทั้งในด้านช่วงคลื่น ระบบความเข้มของการสะท้อนพลังงาน การเก็บข้อมูลตำแหน่งบนพื้นผิวโลกและขนาดของพื้นที่ การปรับปรุงในเรื่องช่วงคลื่นทำให้สามารถเก็บข้อมูลได้ถึง 7 แบนด์ เพิ่มแบนด์ใหม่ในช่วงคลื่นเห็นได้ อินฟราเรดกลาง และอินฟราเรดความร้อน มีการปรับปรุงตำแหน่งของช่วงคลื่นในระบบทีเอ็มให้สามารถบันทึกข้อมูลที่แตกต่างกันของทรัพยากรหลักบนพื้นผิวโลกได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในเรื่องความเข้มของการสะท้อนพลังงาน ระบบทีเอ็มบันทึกข้อมูลเป็นสัญญาณต่อเนื่องและแปลงข้อมูลเป็นดิจิตอล (analog - to - digital signal conversion) เพื่อเข้าสู่คอมพิวเตอร์ โดยมีระดับสีเทา 256 ระดับ (8 บิตต่อ 1 จุดภาพ) ซึ่งเป็นการเพิ่มจากระบบเอ็มเอสเอส ซึ่งมีเพียง 64 ระดับ (6 บิตต่อ 1 จุดภาพ) การเก็บข้อมูลโดยมีระดับความเข้มละเอียดมากขึ้น ทำให้สามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระดับความเข้มในแต่ละแบนด์ และช่วยให้เห็นความแตกต่างในแต่ละแบนด์ได้ ดังนั้นค่าระดับความเข้มของการสะท้อนพลังงานที่แตกต่างกันที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในข้อมูลของเอ็มเอสเอส จึงสามารถเห็นได้ในระบบทีเอ็ม

ตำแหน่งบนพื้นผิวโลก ระบบทีเอ็มเก็บข้อมูลโดยมีความกว้างของมุมมองทั้งหมด 15.4 องศา ขนาดของมุมมองของการถ่ายภาพแต่ละครั้งเท่ากับ 30 เมตร สำหรับแบนด์อินฟราเรดความร้อนมีขนาดของมุมมองของการถ่ายภาพแต่ละครั้งเก็บข้อมูลพื้นที่ได้ 120 เมตร ขนาดของข้อมูลที่เล็กลงประมาณ 2.6 เท่า ทำให้ลดขนาดของพื้นที่ที่มุมมองเก็บภาพได้ลดลงถึง 7 เท่า พร้อมกันนี้ได้มีการปรับปรุงให้ข้อมูลมีความถูกต้องในตำแหน่งทางอ็อบเซิร์ฟด้วย

ระบบทีเอ็มมีอุปกรณ์เก็บข้อมูล 16 ตัวต่อแบนด์ และแบนด์อินฟราเรดความร้อนมี 4 ตัว รวมทั้งหมด 100 ตัว นั่นคือระบบทีเอ็มเก็บข้อมูลครั้งละ 16 เส้นในแต่ละแบนด์ ยกเว้นแบนด์ 6 เก็บข้อมูลครั้งละ 4 เส้น

ข้อมูลทีเอ็ม มีขนาดพื้นที่แต่ละจุดภาพเท่ากับ 28.5x28.5 เมตร ข้อมูลนี้สามารถใช้ได้กับเส้นโครงแผนที่ระบบยูทีเอ็ม ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ในการทำแผนที่ได้ การออกแบบระบบทีเอ็มปรับปรุงให้สามารถจำแนกพืชพรรณธรรมชาติได้ละเอียดกว่าระบบเอ็มเอสเอส เนื่องจากแบนด์ 2,3 มีช่วงคลื่นแคบกว่าระบบเอ็มเอสเอส ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ของระบบทีเอ็มแบนด์ 4 มีช่วงคลื่นแคบกว่าเอ็มเอสเอส และมีศูนย์กลางอยู่ที่บริเวณที่มีการสะท้อนสูงสุดของพืชที่มีความสมบูรณ์

นอกเหนือจากการปรับปรุงการจำแนกพืชพรรณธรรมชาติ ระบบทีเอ็ม ได้ออกแบบเพื่อให้ใช้ประโยชน์หลายด้าน

- | | |
|-----------|---|
| แบนด์ 1 | ใช้ประโยชน์ทางด้านการศึกษาระดับความลึกของทะเล |
| แบนด์ 5,7 | อินฟราเรดกลาง ใช้ประโยชน์ในด้านการจำแนกชนิดของหิน |
| แบนด์ 5 | ใช้ในการจำแนกพื้นที่ปกคลุมด้วยเมฆและหิมะ |
| แบนด์ 6 | ใช้ประโยชน์ในการทำแผนที่ความร้อน |

1.6 แลนด์แชท 8,7

1. แลนด์แชท 6

หลังจากประสบความสำเร็จจากโครงการแลนด์แชทมาตลอด จนมาถึงแลนด์แชท 6 ซึ่งส่งขึ้นไปเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2536 ปรากฏว่า แลนด์แชท 6 ประสบความสำเร็จ เนื่องจากดาวเทียมแลนด์แชท 6 ไม่ได้เข้าสู่วงโคจร

อุปกรณ์สำรวจข้อมูลที่ติดตั้งในแลนด์แชท 6 เรียกว่า Enhanced Thematic Mapper (ETM) โดยมี 7 ช่วงคลื่นและรายละเอียดภาพขนาดเท่ากับระบบทีเอ็ม ส่วนที่เพิ่มเติมได้แก่ ช่วงคลื่นที่ 8 เป็นระบบช่วงคลื่นขาวดำ อยู่ระหว่างความยาวคลื่น 0.5-0.90 ไมโครเมตร มีรายละเอียดภาพ 15 เมตร การออกแบบอุปกรณ์ของระบบอีทีเอ็มนี้สามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ร่วมกันได้

การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากระบบนี้ อีกประการหนึ่งก็คือ อุปกรณ์สำรวจสามารถปรับให้เหมาะกับพื้นที่ซึ่งมีการสะท้อนพลังงานต่ำ เช่นพื้นน้ำ หรือปรับให้สามารถใช้ได้ดีในบริเวณที่สว่างมากๆ หรือมีการสะท้อนพลังงาน เช่น บริเวณทะเลทราย

2. แลนด์แซท 7

โครงการแลนด์แซท 7 เป็นความร่วมมือระหว่างองค์การนาซา และกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา การออกแบบแลนด์แซท 7 เพื่อให้ใช้ได้ทั้งในด้านกิจการทางการทหารและกิจการพลเรือน

อุปกรณ์สำรวจข้อมูล ที่วางแผนไว้สำหรับแลนด์แซท 7 ได้แก่ระบบ Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) และระบบ High Resolution Multispectral Stereo Imager (HRMSI)

ระบบ ETM+ มีอุปกรณ์ที่สามารถเก็บข้อมูลในช่วงคลื่นขาวคำมีรายละเอียดภาพ 15 เมตร และมี 6 ช่วงคลื่นเก็บข้อมูลในช่วงคลื่นเห็นได้ อินฟราเรดใกล้และอินฟราเรดกลาง โดยมีรายละเอียดภาพ 30 เมตร ช่วงคลื่นที่ 7 เก็บข้อมูลในช่วงคลื่นความร้อน มีรายละเอียดภาพ 60 เมตร

ระบบ HRMSI มีระบบกวาดภาพแบบ พูชบรูม (Pushbroom) มีระบบเก็บข้อมูลแบบขาวคำหรือ แพนโครเมติก โดยมีรายละเอียดภาพ 5 เมตร และมีระบบเก็บข้อมูลแบบหลายช่วงคลื่น 4 ช่วงคลื่น โดยมีรายละเอียดภาพ 10 เมตร มีความสามารถในการทำภาพสามมิติ เนื่องจากมีช่วงเวลาของการถ่ายภาพ ซ้ำที่เค็มคนละวันที่ ความกว้างของแนวถ่ายภาพในแนวตั้งฉาก 60 กิโลเมตร

ตารางที่ 1.1 อุปกรณ์สำรวจข้อมูลแลนด์แชท 1-6

อุปกรณ์สำรวจ	แลนด์แชท	ช่วงคลื่น (ไมโครเมตร)	รายละเอียดภาพ (เมตร)
RBV	1,2	0.475-0.575	80
		0.580-0.680	80
		0.690-0.830	80
MSS	3	0.505-0.750	30
	1-5	0.5-0.6	79/82*
		0.6-0.7	79/82
		0.7-0.8	79/82
		0.8-1.1	79/82
TM	3	10.4-12.6	240
	4,5	0.45-0.52	30
		0.52-0.60	30
		0.63-0.69	30
		0.76-0.90	30
		1.55-1.75	30
		10.4-12.5	120
		2.08-2.35	30
ETM	6	ช่วงคลื่นในระบบ ที่เอ็มและ 0.50-0.90	15

* 79 เมตรแลนด์แชท 1-3, 82 เมตร แลนด์แชท 4, 5
(ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 : 432)

1.7 โครงการดาวเทียมสปอต

ในระยะต้นปี พ.ศ. 2521 รัฐบาลฝรั่งเศสได้เริ่มดำเนินการพัฒนาระบบดาวเทียมสปอต และภายหลังสวีเดนและเบลเยียมได้เข้าร่วมโครงการ โดยมุ่งหมายในการส่งดาวเทียมสปอตขึ้นสู่วงโคจร โครงการดาวเทียมสปอตดำเนินงาน และออกแบบโดยองค์การอวกาศแห่งชาติฝรั่งเศส (CNES - French Centre National d' Etudes Spatiales) ประกอบด้วยดาวเทียมสำรวจโลกและสถานีนีภาคพื้นดินและได้พัฒนาเป็นโครงการใหญ่ระดับนานาชาติ โดยมีสถานีรับและมีการใช้ข้อมูลมากกว่า 30 ประเทศ ดาวเทียมดวงแรกของโครงการสปอต สปอต 1 ยังขึ้นสู่ท้องฟ้าในเฟรนช์เกียนา วันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2529 ดาวเทียมดวงนี้นับเป็นดาวเทียมที่เปิดโลกใหม่ของการศึกษาทางสัมผัสระยะไกล เนื่องจากเป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรกที่มีอุปกรณ์สำรวจเป็นระบบที่เก็บข้อมูลที่ละหลายๆ จุดภาพพร้อมกัน และเก็บข้อมูลเรียงเป็นแถว (linear array) โดยใช้วิธีการกวาดเก็บข้อมูลที่เรียกว่าระบบพู่ชบroom (push - broom) และเป็นระบบแรกที่มีความสามารถในการถ่ายภาพเฉียงสามารถทำภาพสามมิติได้โดยใช้ข้อมูลจากการโคจรของดาวเทียม 2 แนวและถ่ายภาพครอบคลุมพื้นที่เดียวกัน

1.8 วงโคจรของสปอต 1,2, และ 3

ดาวเทียมสปอต 1,2 และ 3 มีวงโคจรเป็นวงกลมใกล้ขั้วโลก, โคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ วงโคจรมีความสูง 832 กิโลเมตร การเอียงของวงโคจร 98.7 องศา โคจรผ่านเส้นศูนย์สูตรเวลาท้องถิ่น 10.30 น. โดยมีเวลาคาบเคลื่อนเล็กน้อยคือช้ากว่าเวลากำหนดเมื่อเคลื่อนที่ผ่านซีกโลกเหนือและเร็วกว่าเวลากำหนดเมื่อเคลื่อนที่ผ่านซีกโลกใต้

วงโคจรของสปอตกลับมาซ้ำที่เดิมทุก 26 วัน หมายความว่าทุกๆ จุดบนโลกสามารถถ่ายภาพโดยใช้มุมเดิมได้ มีระบบถ่ายภาพที่สามารถทำภาพสามมิติได้โดยถ่ายภาพเฉียงจากแนวโคจรที่ต่างกัน 2 แนวนำภาพทั้งสองทำภาพคู่สามมิติได้

เนื่องจากระบบที่ดาวเทียมใช้เวลาในการโคจรจนกลับมาถึงตำแหน่งเดิมใช้เวลาถึง 26 วัน การนำข้อมูลมาใช้ศึกษาปรากฏการณ์ธรรมชาติ บางครั้งอาจจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในช่วงเวลาใกล้ๆ กันคือ 2-3 วันหรือ 1 ถึง 2 สัปดาห์เป็นต้น และหากการเก็บข้อมูลไม่สามารถทำได้เช่นมีปัญหาจากสภาพอากาศ มีเมฆมาก ระยะเวลาของการนำข้อมูลมาศึกษาเปรียบเทียบกันก็จะใช้เวลานานมากยิ่งขึ้นเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องนี้ระบบการเก็บข้อมูลของสปอตจึงออกแบบให้สามารถถ่ายภาพเฉียงและซ้ำที่เดิมได้เช่น ที่อริเคเตอร์ในรอบ 26 วัน นั้นสามารถเก็บข้อมูลตำแหน่งเดียวกันได้ ถึง 7 ครั้ง และที่ละติจูด 45 องศา สามารถเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งเดียวกันได้ 11 ครั้ง

จากรูป 1.8 ที่ละติจูด 45 องศา โอกาสของการเก็บข้อมูลซ้ำที่เดิมเริ่มจากตำแหน่งของวันที่ D, D+1, +5, +6, +10, +11, +15, +16, +20, +21, +25 รวม 11 ครั้ง ที่อิควาเตอร์ โอกาสของการเก็บข้อมูลซ้ำที่เดิมเริ่มจากตำแหน่งของวันที่ D, D+5, +10, +11, +15, +16, +21 รวม 7 ครั้ง จะเห็นว่าระยะห่างของวันที่เก็บข้อมูลซ้ำมีตั้งแต่ 1, 4 และ 5 วัน

ตำแหน่งของดาวเทียมที่สามารถนำข้อมูลที่นำมาทำภาพสามมิตินั้นจะต้องเก็บข้อมูล 2 ตำแหน่ง โดยอยู่ห่างกันในระยะที่สามารถเก็บข้อมูลพื้นที่เดียวกันได้โดยมีลักษณะทำมุมกับแนวตั้งของพื้นที่เป้าหมายนั้นอัตราส่วนระหว่าง ระยะห่างของตำแหน่งทั้งสองของดาวเทียมกับความสูงของดาวเทียมจากพื้นโลก มีประมาณ 0.75 ที่อิควาเตอร์และ 0.50 ที่ละติจูด 45 องศา

1.9 อุปกรณ์สำรวจข้อมูลสเปกตรัม 1, 2 และ 3

ดาวเทียมสเปกตรัม มีน้ำหนักประมาณ 1750 กิโลกรัม ตัวเครื่องหลักมีขนาด 2x2x3.5 เมตร แผงรับแสงอาทิตย์มีความยาว 15.6 เมตร การออกแบบตัวดาวเทียมสามารถบรรจุอุปกรณ์สำรวจข้อมูลชนิดต่างๆ ได้หากมีการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์สำรวจก็สามารถใช้กับดาวเทียมนี้ได้ โดยไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงตัวดาวเทียม

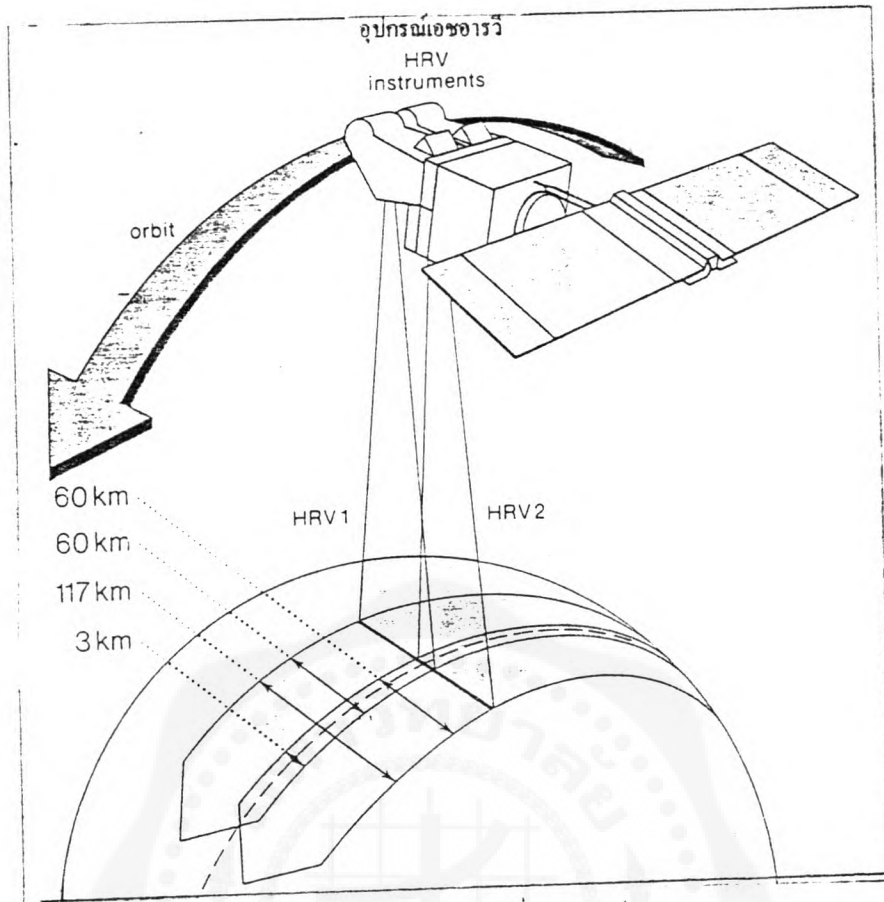
ระบบอุปกรณ์สำรวจข้อมูลของสเปกตรัม ประกอบด้วย

ระบบเอชอาร์วี (HRV-High Resolution Visible) มี 2 ระบบและมีเทปแม่เหล็กสำหรับบันทึกเป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่ง เอชอาร์วีแต่ละตัวออกแบบให้ทำงานได้ทั้ง 2 ระบบ คือ

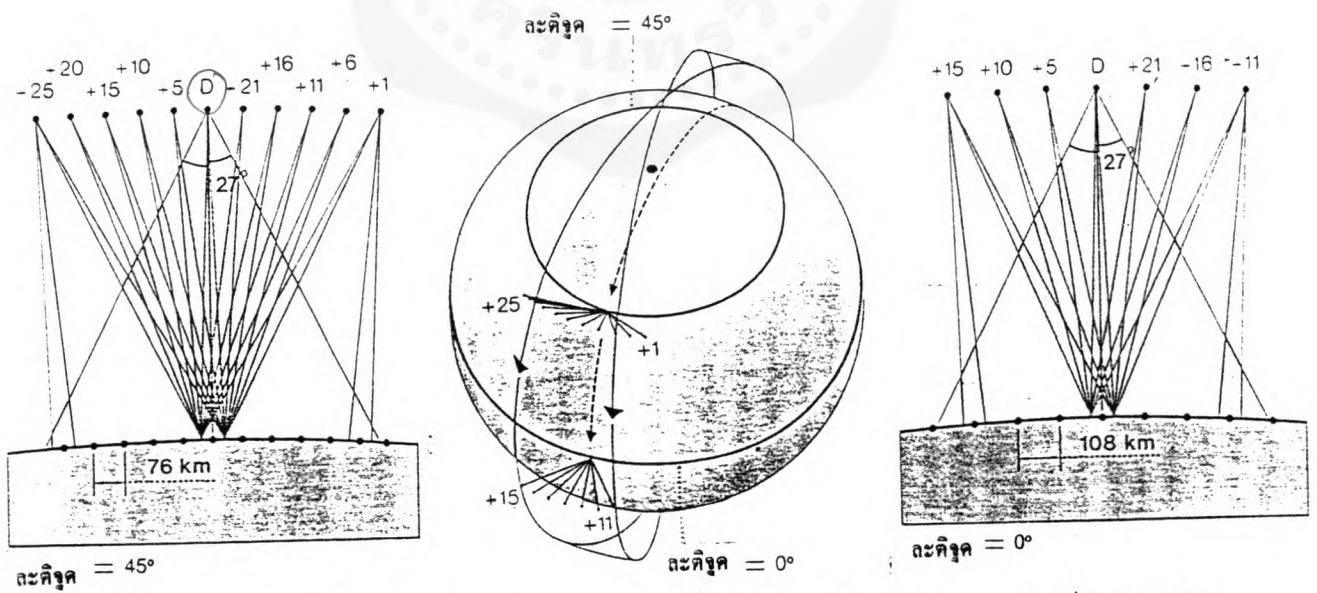
1. ระบบขาวดำ (Panchromatic Linear Array -PLA) เก็บข้อมูลในช่วงคลื่น 0.51-0.73 ไมโครเมตร มีรายละเอียดภาพ 10 เมตร แต่ละภาพครอบคลุมพื้นที่ 60x60 กิโลเมตร

2. ระบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral Linear Array -MLA) เก็บข้อมูลในระบบหลายช่วงคลื่นหรืออินฟราเรดสี อยู่ใน ช่วงคลื่น 0.50-0.59, 0.61-0.68, 0.79-0.89 ไมโครเมตร รายละเอียดภาพ 20 เมตร แต่ละภาพครอบคลุมพื้นที่ 60x60 กิโลเมตร

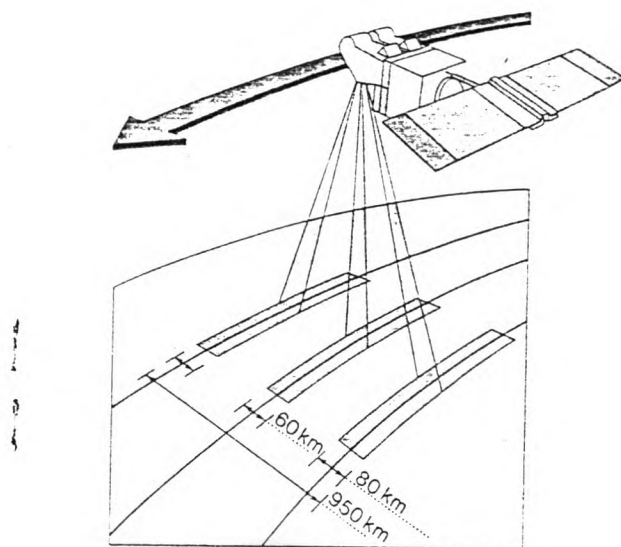
ระบบเอชอาร์วีใช้อุปกรณ์แบบพหุขบวนการ ไม่มีกระจกแก้วรับสัญญาณอย่างเช่นในระบบกวาดภาพ ระบบของสเปกตรัมประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า ซี ซี ดี (charge coupled devices) ที่เรียงต่อกันเป็นแนวยาวในลักษณะตั้งฉากกับแนวทางโคจรของดาวเทียม ข้อมูลของภาพที่ได้เป็นแถวของข้อมูลที่ได้จากตรวจวัดการสะท้อนพลังงานของวัตถุบนพื้นผิวโลก ครอบคลุมพื้นที่ในทิศทางการเคลื่อนตัวของดาวเทียม



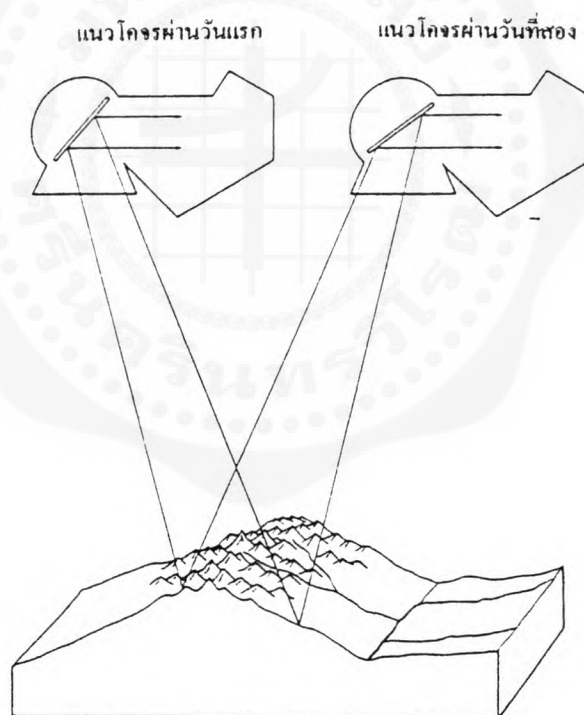
รูปที่ 1.7 แนวถ่ายภาพแนวโค้งของสปอด (ที่มา CNES : 8)



รูปที่ 1.8 ตำแหน่งของการถ่ายภาพซ้ำภายในรอบ 26 วัน ของสปอดที่อิควเตอร์ และที่ละติจูด 45 องศา (ที่มา CNES: 11)



รูปที่ 1.9 แนวถ่ายภาพแนวเดียวของสปอต
(ที่มา CNES : 9)



รูป 1.10 การทำภาพสามมิติของดาวเทียมสปอต
(ที่มา Lillesand & Kiefer , 1994 : 492)

ระบบพู่ขน (Push - broom scanning) มีลักษณะที่ดีที่เห็นได้ชัดเจนกว่าระบบกระจกกวาดภาพก็คือไม่ต้องเคลื่อนไหวอุปกรณ์ใดๆ ในขณะที่เก็บข้อมูล ข้อนี้นอกจากทำให้เพิ่มอายุการใช้งานของอุปกรณ์ทั้งระบบแล้ว ยังทำให้ไม่มีความผิดพลาดทางเรขาคณิต ซึ่งเกิดจากความเร็วของการแกว่งของกระจกที่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่เดียวกันอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่มีลักษณะเป็นแถวยาวติดต่อกันยังสามารถครอบคลุมพื้นที่โดยมีมุมมองของการถ่ายภาพแต่ละครั้งหรือไอเอฟโอวี มากกว่าระบบกวาดภาพ

ระบบเอชอาร์วีแต่ละตัวประกอบด้วย ซีซีดี 4 แถว การทำงานในระบบขาวดำใช้ อุปกรณ์ ซีซีดี 1 แถวที่มีอุปกรณ์จำนวน 6000 ตัว เพื่อบันทึกข้อมูลที่มีรายละเอียดภาพ 10 เมตร และ ซีซีดี 3 แถว ที่มีอุปกรณ์แถวละ 3000 ตัว สำหรับบันทึกข้อมูลที่มีรายละเอียดภาพ 20 เมตร เก็บข้อมูล ความเข้มของการสะท้อนพลังงานหรือดิจิตอลนัมเบอร์หรือดีเอ็น 256 ระดับ ส่งผ่านข้อมูลในอัตรา 25 เมกะไบต์ต่อวินาที

ระบบปรับภาพ อุปกรณ์ตัวแรกของเอชอาร์วี ได้แก่ กระจกเบนราบสามารถหมุนได้ ถ้าได้รับคำสั่งจากภาคพื้นดินในมุม ± 27 องศา โดยเปลี่ยนแปลงได้ครั้งละ 0.6 องศา จำนวน 45 ครั้ง ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถทำให้เครื่องมือแต่ละตัวสามารถจับภาพที่อยู่ในแนวที่มีความกว้าง 475 กิโลเมตร ที่อยู่ด้านข้างแต่ละด้าน ของแนวถ่ายภาพภาคพื้นดินได้ รวมความกว้างในรัศมีที่กล้องสามารถทำงานได้ 950 กิโลเมตร

ขนาดของความกว้างแนวถ่ายภาพบนภาคพื้นดินผันแปรไปตามมุมของกระจกที่กำหนด ที่มุม 27 องศา ซึ่งเป็นค่ามุมมากที่สุดนั้น แนวกว้าง (Swath width) ของเอชอาร์วี แต่ละตัวเท่ากับ 80 กิโลเมตร เมื่ออุปกรณ์ 2 ตัว ถ่ายภาพในแนวตั้งอันเป็นบริเวณต่อเนื่องกัน แนวกว้างรวมเท่ากับ 117 กิโลเมตร โดยมีบริเวณซ้อนด้านข้าง 3 กิโลเมตร

ในขณะที่เอชอาร์วี แต่ละตัวมีความสามารถในการบันทึกข้อมูลภาพขาวดำและข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่นไปพร้อมกัน ทำให้ได้ข้อมูล 4 ช่วงคลื่นแต่การส่งผ่านข้อมูลทำได้ครั้งละ 2 ช่วงคลื่นเท่านั้นดังนั้นการเก็บข้อมูลจึงต้องใช้เพียงระบบเดียวเท่านั้นไม่สามารถถ่ายทั้ง 2 ระบบไปพร้อมๆ กันได้

โดยปกติข้อมูลส่งผ่านโดยตรงเมื่อดาวเทียมอยู่ในพื้นที่ของสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินมีรัศมีรอบๆ สถานีประมาณ 2600 กิโลเมตร แต่ถ้าไม่สามารถส่งผ่านข้อมูลลงมายังภาคพื้นดินได้ก็ใช้เทปบันทึกข้อมูลที่ติดตั้งอยู่ในตัวดาวเทียมบันทึกซึ่งใช้ในกรณีที่อยู่ในบริเวณที่สถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินไม่สามารถรับข้อมูลได้ หลังจากนั้นข้อมูลที่บันทึกได้จะส่งผ่านไปยังสถานีที่เมืองคูตุส ฝรั่งเศสหรือที่เมืองคิรูน่า สวีเดน เมื่อดาวเทียมโคจรเข้าไปยังรัศมีของพื้นที่ทั้งสองอีกครั้งหนึ่ง

1.10 สปอต 4,5

สปอต 4 มีการออกแบบที่แตกต่างจากสปอต 1,2,3 โดยการเพิ่ม อุปกรณ์เก็บข้อมูลในช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง 1.58-1.75 ไมโครเมตร มีรายละเอียดภาพ 20 เมตร การเก็บข้อมูลในแบนด์นี้เพื่อปรับปรุงการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับพืช และความสามารถในการจำแนกแร่ธาตุ นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลที่มีรายละเอียดภาพ 20 เมตร และ 10 เมตร มารวมกันในขณะเก็บข้อมูลบนดาวเทียม

การเปลี่ยนแปลงอีกประการหนึ่งก็คือการเพิ่มอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีมุมกว้างสำหรับใช้ในการสำรวจข้อมูลพืชโดยเฉพาะ เรียกว่า Vegetation Monitoring Instrument (VMI) แนวกวาดภาพ (swath) มีความกว้าง 2000 กิโลเมตร สามารถเก็บข้อมูลครอบคลุมได้ ในเวลาเพียงวันเดียว รายละเอียดภาพ 1 กิโลเมตร โดยเก็บข้อมูลในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน 0.43-0.47 ไมโครเมตร ช่วงคลื่นสีเขียว 0.50-0.59 ไมโครเมตร ช่วงคลื่นสีแดง 0.61-0.68 ไมโครเมตร ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ 0.79-0.89 ไมโครเมตร และช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง 1.58-1.75 ไมโครเมตร

สปอต 4 มี โครงการส่งขึ้นไปในอวกาศในปี พ.ศ. 2540 และกำหนดให้ทำงานไปประมาณ 8 ปี และมีการวางแผน โครงการสปอต 5 ให้มีรายละเอียดภาพ 5 เมตร และเป็นระบบที่สามารถเก็บข้อมูลภาพสามมิติได้

1.11 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาโดยทั่วไป ได้รับการออกแบบเพื่อช่วยในการพยากรณ์อากาศ และตรวจสอบสภาพอากาศ อุปกรณ์สำรวจข้อมูลมีรายละเอียดภาพค่อนข้างหยาบ เนื่องจากมีลักษณะการบันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ดาวเทียมชนิดนี้มีประโยชน์ในการศึกษาเป็นบริเวณกว้าง ดาวเทียมที่สร้างขึ้นเพื่อจุดประสงค์ของการศึกษาทางด้านสภาพอากาศ ได้แก่ดาวเทียมโทรอสหนึ่ง ที่ส่งขึ้นไปในเดือนเมษายน พ.ศ. 2503

บาร์เรตต์และเคอร์ติส (Barret & Curtis, 1982 : 155) ได้สรุปโครงการดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญในช่วงปี พ.ศ. 2502-2524 ดังนี้

ดาวเทียมแวนการ์ด (Vanguard) และดาวเทียมเอ็กซ์พลอเรอร์ (Explorer) ส่งขึ้นไปในปี 2502 ดาวเทียมทั้ง 2 เป็นของสหรัฐอเมริกา และวัตถุประสงค์ไม่ได้ใช้งานทางด้านอุตุนิยมวิทยาโดยตรง เป็นดาวเทียมเพื่อการทดลองมีระบบบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นเห็นได้และอินฟราเรด

ดาวเทียมไทรอส (Television and infrared observation satellite - Tiros) ของสหรัฐอเมริกา ระหว่าง พ.ศ. 2503-2509 จำนวน 10 ดวง เป็นโครงการดาวเทียมเพื่อศึกษาทางด้านอุตุนิยมวิทยาโดยเฉพาะ

ดาวเทียมคอสมอส ของรัสเซีย ส่งขึ้นไประหว่างปี พ.ศ. 2506-2513 จำนวน 22 ดวง สร้างขึ้นเพื่อศึกษาทางด้านสภาพอากาศของโลก

ดาวเทียมนิมบัส (Nimbus) ของสหรัฐอเมริกาเริ่มตั้งแต่ พ.ศ. 2507 ปัจจุบัน จำนวน 7 ดวง ดาวเทียมชุดนี้เป็นโครงการหลักของการศึกษาวิจัยและการพัฒนาของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา

ดาวเทียมเอชซา (Environmental survey satellite-Essa) ระหว่างปี พ.ศ. 2509-2515 จำนวน 9 ดวง เป็นดาวเทียมที่ปฏิบัติการทางด้านอุตุนิยมวิทยาโดยเฉพาะชุดแรกของสหรัฐอเมริกา

ดาวเทียมมอลนียา (Molniya) ของรัสเซีย ระหว่างปี พ.ศ. 2509-2514 จำนวน 8 ดวง เป็นดาวเทียมสื่อสารและดาวเทียมศึกษาสภาพอากาศ

ดาวเทียม เอทีเอส (Applications Technology satellite - ATS) ของสหรัฐอเมริกา ช่วงเวลาใช้งาน 2509-2524 จำนวน 4 ดวง เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่มีการโคจรสัมพันธ์กับการหมุนของโลกดวงแรกที่สร้างขึ้นเพื่อทดสอบระบบเอสเอ็มเอส (Synchronous Meteorological Satellite)

ดาวเทียมเมทีโอ (Meteor) ของรัสเซีย ปฏิบัติงานตั้งแต่ พ.ศ. 2512 จำนวน 20 ดวง เป็นโครงการดาวเทียมศึกษาสภาพอากาศ

ดาวเทียมไอทอส (Improved Tiros observational satellite- Itos) ของสหรัฐอเมริกา จำนวน 1 ดวง ระยะเวลาใช้งาน 2513-2514 เป็นดาวเทียมต้นฉบับของดาวเทียมโนอา

ดาวเทียมโนอา (National Oceanic and Atmospheric Administration Satellite-NOAA) ระหว่างปี พ.ศ. 2513-2522 จำนวน 5 ดวงเป็นดาวเทียมชุดที่ 2 ของสหรัฐอเมริกา ที่ปฏิบัติการทางด้านอุตุนิยมวิทยา

ดาวเทียมดีเอ็มเอสพี (Defense Meteorological satellite Program-DMSP) ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาใช้ในกิจการทหารของสหรัฐอเมริกา จำนวน 10 ดวง ปฏิบัติงานตั้งแต่ พ.ศ. 2516

ดาวเทียมเอสเอ็มเอส (Synchronous Meteorological Satellite-SMS) ระหว่างปี พ.ศ. 2517-2518 ของสหรัฐอเมริกาจำนวน 2 ดวง โครงการทดลองระบบดาวเทียมปฏิบัติการอุตุนิยมวิทยาที่มีการโคจรสัมพันธ์กับโลก

ดาวเทียม GOES (Global Operational Environmental Satellite) ปฏิบัติงานตั้งแต่ พ.ศ. 2517 ของสหรัฐอเมริกาจำนวน 4 ดวงเป็นดาวเทียมปฏิบัติการอุตุนิยมวิทยาดวงแรกที่มีการโคจรสัมพันธ์กับโลก

ดาวเทียมจีเอ็มเอส (Geostationary Meteorological Satellite - GMS) ของประเทศญี่ปุ่น ปฏิบัติงานตั้งแต่ พ.ศ. 2520 เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่มีการโคจรสัมพันธ์กับโลกดวงแรกที่ครอบคลุมพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงและแปซิฟิก

ดาวเทียมเมทีโอแซท (Meteosat) ของกลุ่มประเทศยุโรปตะวันตก (Western Europe - ESA) ระหว่าง 2520-2522 จำนวน 2 ดวง เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่มีการโคจรสัมพันธ์กับโลกดวงแรกที่ครอบคลุมพื้นที่แอฟริกาและยุโรป

ดาวเทียมไทโรส-เอ็น (Tiros-N) ของสหรัฐอเมริกาปฏิบัติงานตั้งแต่ พฤษภาคม พ.ศ. 2522-ปัจจุบัน เป็นดาวเทียมชุดที่ 3 ที่ปฏิบัติการทางด้านอุตุนิยมวิทยามีการโคจรใกล้ขั้วโลก ดาวเทียมชุดนี้คือ โนอา 6-12

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญมีรายละเอียดดังนี้

1. ดาวเทียมโนอา

ดาวเทียมโนอา อยู่ในโครงการดาวเทียมปฏิบัติการอุตุนิยมวิทยาของสหรัฐอเมริกา ซึ่งมี 3 ชุดด้วยกัน ชุดแรก คือดาวเทียมเอชซา ชุดที่ 2 คือดาวเทียมโนอา 1-5 และชุดที่ 3 คือดาวเทียมโนอา 6-12

ดาวเทียมโนอา 6-12 มีอุปกรณ์สำรวจข้อมูลได้แก่ระบบเอวีเอชอาร์อาร์ (Advanced Very High Resolution Radiometer) หมายเลขของดาวเทียมโนอา ที่เป็นเลขคู่ (6,8,10,12) ใช้งานในการบันทึกข้อมูลช่วงเวลากลางวัน โดยผ่านอริเคเตอร์เวลา 7.30 น. หมายเลขโนอาเลขคี่ (7, 9, 11) โคจรผ่านอริเคเตอร์เวลา 2.30 น. เวลากลางคืน แนวโคจรมีความกว้าง 2400 กิโลเมตร มีรายละเอียดภาพ 1.1 กิโลเมตร ในกรณีที่บันทึกข้อมูลในแนวเฉียง รายละเอียดภาพมีขนาดใหญ่กว่านี้ วงโคจรเอียงจากแนวตั้ง 8.9 องศา อุปกรณ์เอวีเอชอาร์อาร์รับข้อมูลได้ 5 ช่วงคลื่น (แบนด์) โดยมีข้อมูล 2 แบบ คือข้อมูลแบบ LAC (local area coverage) และข้อมูลแบบ GAC (global area coverage)

ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมโนอาให้ข้อมูลในช่วงคลื่นเห็นได้วันละครั้งข้อมูลอินฟราเรดความร้อนวันละ 2 ครั้ง และนำมาใช้ประโยชน์ได้ในเรื่องต่อไปนี้ การทำแผนที่อุณหภูมิของน้ำ จากข้อมูลในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน แผนที่อุณหภูมิพื้นผิวน้ำ แผนที่บริเวณที่มีหิมะปกคลุม การตรวจสอบสภาพน้ำท่วม แผนที่พืชพรรณธรรมชาติ การวิเคราะห์ความชื้นในดิน การทำแผนที่บริเวณที่มีไฟไหม้ป่า การตรวจสอบไฟไหม้ การตรวจสอบพายุทราย รวมทั้งการใช้งานทางด้านธรณีวิทยา เช่นการเกิดภูเขาไฟ การทำแผนที่ลุ่มน้ำและลักษณะภูมิประเทศ

ตารางที่ 1.2 ข้อมูลดาวเทียม โนอา 6-12

ลักษณะการโคจร และอุปกรณ์สำรวจ	โนอา -6,-8,-10,-12	โนอา -7,-9,11
วันที่ส่งขึ้นโคจร	6/27/79, 3/28/83 9/17/86, 5/14/71	6/23/81, 12/12/84 9/24/88
ความสูง (กิโลเมตร)	833	833
ระยะเวลาการโคจร(นาที)	102	102
การเอียงของวงโคจร	98.90	98.90
รอบการโคจร/วัน	14.1	14.1
ระยะห่างวงโคจร	25.50	25.50
การเลื่อนของวงโคจรแต่ละวัน (day to day orbital shift)	5.5 E	3.0 E
ระยะเวลาการซ้ำของวงโคจร	4-5	8-9
มุมกวาดภาพจากแนวตั้ง	± 55.4	± 55.4
optical field of view (mrad)	1.3	1.3
IFOV (แนวตั้ง)	1.1	1.1
IFOV (แนวเฉียง)		
ตามแนวโคจร (along track)	2.4	2.4
across track	6.9	6.9
แนวถ่ายภาพกว้าง (swath width)	2400	2400
ครอบคลุมพื้นที่ (coverage)	ทุกๆ 12 ชม	ทุกๆ 12 ชม
โคจรผ่านอิเควเตอร์	7.30	2.30
AVHRR มีช่วงคลื่น		
1	0.58-0.68	0.58-0.68
2.	0.72-1.10	0.72-1.10
3.	3.55-3.93	3.55-3.93
4.	10.5-11.50	10.3-11.30
5.	10.5-11.50	11.5-12.50

(ที่มา Lillesand & Kiefer , 1994: 494)

นอกจากอุปกรณ์เอเว็กซ์อาร์อาร์ ดาวเทียมโนอา 7 เป็นต้นมาได้เพิ่มอุปกรณ์เก็บข้อมูลอีกหลายระบบระบบทีโอวีเอส (Tiros Operational Vertical sounder-TOVS) ประกอบด้วยอุปกรณ์สำรวจ 3 ระบบย่อยได้แก่ เอชอาร์ไอเอส (High Resolution Infrared Radiometer-HRIS) วัดอุณหภูมิและความชื้น เอสเอสยู (Stratospheric Sounding Unit- SSU) ออกแบบเพื่อสำรวจอุณหภูมิในระดับสูง เอ็มเอสยู (Microwave sounding Unit-MSU) ออกแบบเพื่อสำรวจอุณหภูมิของอากาศแม้ในบริเวณที่มีเมฆ ดาวเทียมโนอา 11 ระบบอุปกรณ์สำรวจได้แก่ระบบเอสเออาร์(Search and Rescue-SAR) ระบบเอสบียูวี (Solar Backscatter Ultra Violet - SBUV) ออกแบบเพื่อสำรวจโอโซน ระบบอีอาร์บีเอสเอส(Earth Radiation Budget Sensing System - ERBSS) สำรวจปริมาณการแผ่รังสี

2. ดาวเทียม GOES

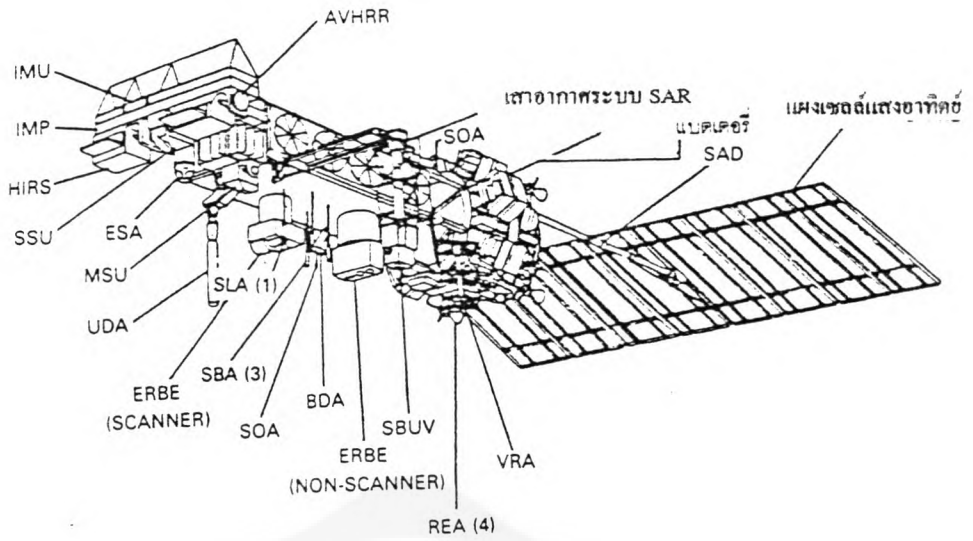
ดาวเทียมนี้อยู่ในโครงการ SMS/GOES ภายใต้ความร่วมมือระหว่าง โครงการโนอา และองค์การบริหารอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา(นาซา)

โครงการเอสเอ็มเอส (Synchronous Meteorological Satellite) และโครงการ GOES (Geostationary Operational Environment Satellites) เป็นส่วนหนึ่งของโครงการดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่มีเครือข่ายรอบโลก ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ห่างกันประมาณ 70 องศาองจิจูด เริ่มรับข้อมูลตั้งแต่ พ.ศ. 2517 ดาวเทียมโคจรอยู่ในระดับความสูง 36,000 กิโลเมตร จากพื้นผิวโลก

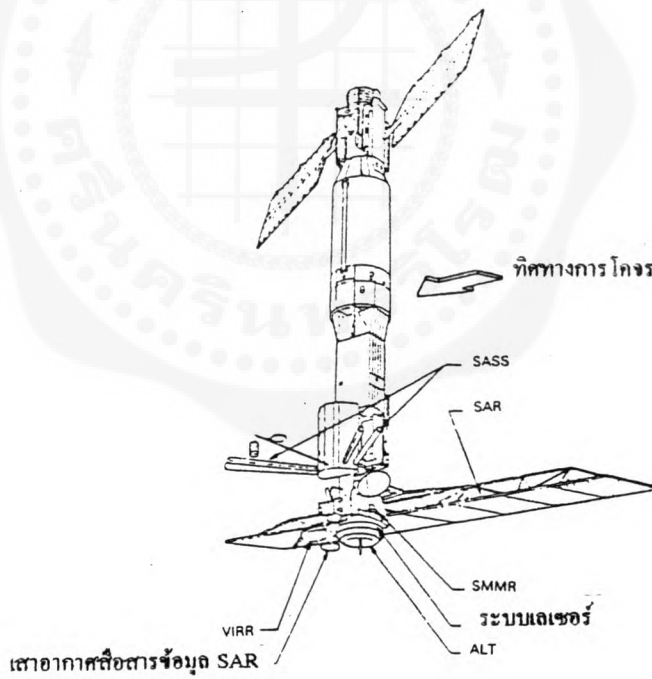
ดาวเทียม GOES สามารถมองเห็นภาพโลกทั้งหมด ข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลในช่วงคลื่นเห็นได้ และอินฟราเรดความร้อน ข้อมูลได้รับชั่วโมงละ 2 ครั้งช่วงคลื่นเห็นได้เป็นข้อมูลที่ได้ในช่วงเวลากลางคืน ส่วนช่วงคลื่นอินฟราเรดใช้ได้ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน ให้ข้อมูลที่ช่วยในการพยากรณ์อากาศท้องถิ่น และใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ เช่น การทำแผนที่พื้นที่ที่มีหิมะปกคลุม เป็นต้น

1.12 ดาวเทียมสำรวจสมุทรศาสตร์

มหาสมุทรนับว่าเป็นแหล่งทรัพยากรที่สำคัญที่สุดอีกแห่งหนึ่งของโลกด้วยพื้นที่ซึ่งมีอยู่ถึง 2 ใน 3 ส่วนของพื้นผิวโลก การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับมหาสมุทรจึงนับว่าจะทำให้เกิดประโยชน์แก่มนุษย์ชาติอย่างมหาศาลในอนาคต นอกจากนี้มหาสมุทรมีอิทธิพลต่อสภาพอากาศของโลกอีกด้วย การศึกษามหาสมุทร โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมช่วยให้เห็นพื้นที่เป็นบริเวณกว้างด้วยระยะเวลาอันสั้น ซึ่งวิธีการทางการศึกษาทางสมุทรศาสตร์ไม่สามารถทำได้ ดาวเทียมที่ออกแบบ เพื่อศึกษาสำรวจทางด้านสมุทรศาสตร์ได้แก่ ดาวเทียมซีแซท1,นิมบัส 7, ดาวเทียม มอส-1-1b, ระบบ SeaWifs มีรายละเอียดดังนี้



รูป 1.11 ดาวเทียมโนอา



รูปที่ 1.12 ดาวเทียมซีเซท

1. ดาวเทียมซีแซท 1

ดาวเทียมซีแซท 1 (Seasar 1) เป็นดาวเทียมเพื่อการศึกษาวิจัยทางสมุทรศาสตร์ ส่งขึ้นไปเมื่อวันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2521 เข้าสู่วงโคจรที่ระดับสูง 800 กิโลเมตร วงโคจรใกล้ขั้วโลก ระบบของดาวเทียม สามารถครอบคลุมพื้นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ของมหาสมุทร แต่ระบบมีความบกพร่องไม่สามารถทำงานได้หลังจากส่งขึ้นไปเพียง 99 วัน

อุปกรณ์สำรวจข้อมูลของซีแซทเป็นระบบเรดาร์ ช่วงคลื่นแอลแบนด์ (L-band) 23.5 เซนติเมตร ระบบเอสเออาร์ (Synthetic Aperture Radar-SAR) ตรวจสอบคลื่น และสภาพน้ำแข็งบริเวณขั้วโลก ภาพที่ได้จากซีแซทให้ข้อมูลมากมายทั้งในด้านปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของสภาพอากาศและทางด้านสมุทรศาสตร์นอกจากนี้ภาพถ่ายในบริเวณภาคพื้นดิน แสดงให้เห็นสภาพทางธรณีวิทยาแหล่งน้ำ

2. ดาวเทียมนิมบัส 7

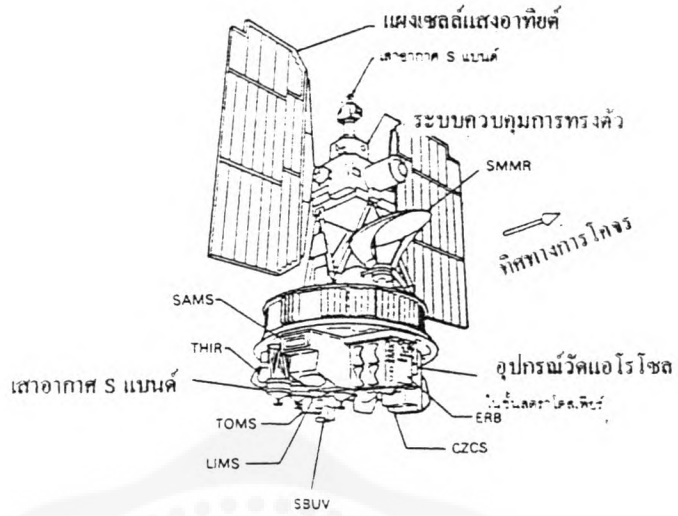
ส่งขึ้นไปในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2521 อุปกรณ์สำรวจข้อมูล ซีแซทซีเอส (Coastal Zone Color Scanner - CZCS) อุปกรณ์นี้ ออกแบบเพื่อใช้วัดอุณหภูมิและสีในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลรอบๆ มหาสมุทรต่างๆ

อุปกรณ์ซีแซทซีเอสเก็บข้อมูล 6 ช่วงคลื่น ได้แก่ช่วงคลื่นเห็นได้ ช่วงคลื่นอินฟราเรดและช่วงคลื่น อินฟราเรดความร้อน มีแนวโคจรกว้าง (Swath width) 1566 กิโลเมตร และมีมุมมองครอบคลุมพื้นที่ภาคพื้นดิน 825 เมตร ช่วงคลื่นเห็นได้ 4 ช่วงคลื่นแคบมากเพียง 0.2 ไมโครเมตรเท่านั้น ข้อมูลที่ได้มีประโยชน์มากในการดูความหนาแน่นของไฟโตแพลงตัน และสารแขวนลอยอนินทรีย์ เช่น ตะกอนทรายละเอียด

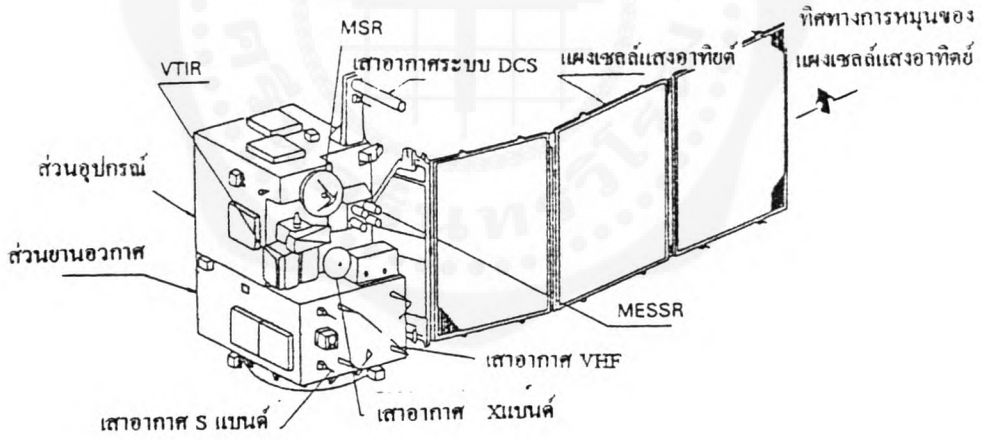
ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ใช้ในการทำแผนที่พืชพรรณธรรมชาติและแยกพื้นน้ำ จากพื้นดิน ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนใช้วัดอุณหภูมิของพื้นผิวทะเล โดยสรุปอุปกรณ์ซีแซทซีเอส ใช้เก็บข้อมูลในเรื่องการตรวจสอบคลอโรฟิลล์ของพืช, อุณหภูมิ, สารแขวนลอย

ตารางที่ 1.3 แสดงช่วงคลื่นของอุปกรณ์สำรวจข้อมูลซีแซทซีเอส

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น	คุณสมบัติ
1	0.43-0.45	การดูดซับคลอโรฟิลล์
2	0.51-0.53	การดูดซับคลอโรฟิลล์
3	0.54-0.56	สารแขวนลอยชายฝั่ง
4	0.66-0.68	ความหนาแน่นของคลอโรฟิลล์
5	0.70-0.80	พืชพรรณธรรมชาติ
6	10.50-12.50	อุณหภูมิพื้นผิว



รูปที่ 1.13 ดาวเทียมนิมบัส



(จ) MOS

รูป 1.14 ดาวเทียมมอส

(ที่มา คาราศรี ดาวเรือง, 2533 : 28-29)

ดาวเทียม Nimbus เป็นดาวเทียมที่อยู่ในกลุ่มวิจัยและพัฒนา นอกจากอุปกรณ์สำรวจซีแซตชีเอสแล้วยังมีระบบอุปกรณ์สำรวจอื่นๆ อีก ได้แก่ ระบบเอสเอ็มเอ็มอาร์ (Scanning Multichannel Microwave Radiometer - SMMR) วัดการสะท้อนพลังงานใน 5 ช่วงคลื่น 10 แบนด์เพื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวทะเล, น้ำในเหม, ปริมาณน้ำฝน (ขนาดเฉลี่ยของเม็ดฝน) ความชื้นในดิน, หิมะ, น้ำแข็งในทะเล ระบบเอสเอ็มเอส (Stratospheric & Mesospheric Sounder - SMS) อุปกรณ์นี้ใช้วัดความหนาแน่นในแนวตั้งของ H_2O , N_2O , CH_4 , CO และ NO และอุณหภูมิของบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ในระยะ 90 กิโลเมตร

ระบบเอสบียูวี/ ทีโอเอ็มเอส (Solar Backscatter Ultraviolet/ Total Ozone Mapper System - SBUV/TOMS) อุปกรณ์นี้ ใช้วัดการแผ่รังสีของอุตราไวโอเลตเพื่อให้ข้อมูลความผันแปรของพลังงานจากดวงอาทิตย์ การกระจายของโอโซน และวัดโอโซนทั้งหมด ระบบอีอาร์บี (Earth Radiation Budget-ERB) อุปกรณ์นี้ใช้วัดพลังงานคลื่นสั้นและคลื่นยาวของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เพื่อให้ข้อมูลเรื่องค่าคงที่ของการส่องสว่าง (solar constant) การสะท้อนพลังงานของโลก การแปลงพลังงานความร้อนของโลก ระบบเอสเอเอ็ม (Stratospheric Aerosol Measurements II - SAM II) อุปกรณ์นี้ใช้วัดการฟุ้งกระจายของอนุภาคของแข็งหรือของเหลวในก๊าซในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ และโทรโปสเฟียร์เมื่อไม่มีเมฆ

ระบบทีเอชไออาร์ (Temperature Humidity Infrared Radiometer-THIR) อุปกรณ์นี้ใช้วัดการแผ่รังสีอินฟราเรดของโลกในช่วงคลื่น 6.7 และ 1.1 ไมโครเมตร ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืนเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นแผนที่สามมิติของเมฆ แผนที่อุณหภูมิของเมฆ แผนที่อุณหภูมิของพื้นดินและมหาสมุทร และแผนที่ความชื้นของบรรยากาศ

ระบบแอลไอเอ็มเอส (Limb Infrared Monitoring of the Stratosphere-LIMS) อุปกรณ์นี้ใช้ในการสำรวจก๊าซจากบรรยากาศในชั้นโทรโปสเฟียร์ชั้นบนจนถึงชั้นล่างของเมโซสเฟียร์

3. ดาวเทียมมอส-1, -1b

ญี่ปุ่นได้ส่งดาวเทียมสำรวจสมุทรศาสตร์ดวงแรกมอส-1 (Marine Observation Satellite-1) ในวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2530 และมอส-1b ในวันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2533 มีอุปกรณ์สำรวจข้อมูล 3 ชนิดคือ MESSR (Multispectral Electronic Self Scanning Radiometer) VTIR (Visible and Thermal Infrared Radiometer) MSR (Microwave Scanning Radiometer)

ดาวเทียมมอส-1, -1b มีความสูงของวงโคจร 909 กิโลเมตรและโคจรกลับมาซ้ำที่เดิมในรอบ 17 วัน อายุการใช้งาน 2 ปี

ตารางที่ 1.4 ระบบอุปกรณ์สำรวจข้อมูลมอส-1 และ มอส-1b

	ระบบอุปกรณ์		
	MESSR	VTIR	MSR
ช่วงคลื่น	0.51-0.59	0.50-0.70	1.26 เซนติเมตร
(ไมโครเมตร)	0.61-0.69	6.0-7.0	0.96 เซนติเมตร
	0.72-0.80	10.5-11.5	
	0.80-1.10	11.5-12.5	
รายละเอียดภาพ	50 เมตร	900 เมตร(Visible)	32 กิโลเมตร
		2700 เมตร (Thermal)	23 กิโลเมตร
แนวถ่ายภาพกว้าง	100 กิโลเมตร	1500 กิโลเมตร	317 กิโลเมตร

(ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 : 512)

4. ระบบ SeaWiFS

ระบบสำรวจข้อมูลทางสมุทรศาสตร์ ที่อยู่ในขั้นตอนของการพัฒนาอีกระบบหนึ่งเรียกว่า SeaWiFS ซึ่งย่อมาจาก Sea-Viewing Wide-Field-of-View Sensor เก็บข้อมูล 8 ช่วงคลื่นในทิศทางตั้งฉากกับวงโคจร ระหว่างช่วงคลื่น 0.402-0.885 ไมโครเมตร เริ่มแรกออกแบบเพื่อการศึกษาทางด้านชีวเคมีและธรณี เป็นโครงการความร่วมมือระหว่างองค์การนาซา และบริษัทเอกชน อุปกรณ์ติดตั้งในดาวเทียม Seastar โดยโคจรอยู่ในระดับสูง 705 กิโลเมตร ผ่านอิเควเตอร์ เวลา 12.00 น.

ข้อมูลที่ได้ใช้ในการศึกษาทางสมุทรศาสตร์ ครอบคลุมการของแพลงตันที่ชีวภูมิจักรของคาร์บอน กำมะถัน ไนโตรเจน และอิทธิพลของมหาสมุทรที่มีต่อสภาพอากาศและความร้อน ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมี 2 ชนิด คือ ข้อมูล LAC (Local Area Coverage) มีรายละเอียดภาพ 1.13 กิโลเมตร เก็บข้อมูลในแนวคิ่ง และข้อมูล GAC (Global Area Coverage) เก็บข้อมูลรอบโลกในทุกๆ 2 วัน แนวถ่ายภาพกว้าง 2800 กิโลเมตร

1.13 ระบบเรดาร์

คำว่าเรดาร์ (Radar) เป็นคำย่อมาจาก radio detection and ranging หลักการเบื้องต้นของเรดาร์ก็คือการใช้คลื่นวิทยุ (radio wave) เป็นสื่อในการสำรวจ ว่ามีวัตถุอยู่ในตำแหน่งนั้นหรือไม่ และตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุนั้น เป็นกระบวนการของการส่งผ่านพลังงานไมโครเวฟในทิศทางของวัตถุเป้าหมายและบันทึกการสะท้อนกลับของพลังงานและตำแหน่งของวัตถุที่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับนั้น

เรดาร์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลจากภาพนั้นมีทั้งชนิดที่ติดตั้งอุปกรณ์บนเครื่องบินมีเสาวิทยุติดตั้งอยู่ช่วงล่างของเครื่องบินในลักษณะชี้ไปด้านข้างระบบนี้จึงมีชื่อเรียกว่า side-looking radar หรือ side looking airborne radar มีชื่อย่อว่า SLAR และชนิดที่ติดตั้งอุปกรณ์ในดาวเทียม เรียกชื่อระบบเรดาร์นี้ว่า synthetic aperture radar มีชื่อว่า SAR

นอกจากนี้ยังมีระบบเรดาร์ที่เรียกว่า Shuttle Imaging Radar (SIR) ระบบเรดาร์นี้ทำการทดลองอยู่บนกระสวยอวกาศ (Space shuttle) ซึ่งโคจรอยู่ในระดับสูง 260 กิโลเมตร ประกอบด้วยระบบ SIR-A ช่วงคลื่นแอล-แบนด์ (23.5 เซนติเมตร) ทำการทดลองในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2524 ผลการทดลองถ่ายภาพทะเลทรายซาฮารา (Lillesand & Kiefer, 1987 : 510,513) ภาพที่ได้จากระบบนี้สามารถมองผ่านผิวทรายลงไปอย่างน้อยที่สุด 1-2 เมตร ทำให้เห็นภาพโครงสร้างของหินพื้นฐานที่รองรับทะเลทรายซาฮารา จากร่องรอยพบว่ามีเส้นทางลำน้ำมากมายและมีลานตะพักลำน้ำที่ประกอบด้วยหินกรวดรวมกันอยู่ในระบบระบายน้ำแห่งนี้ด้วยเมื่อนำภาพจากแลนส์แซทเอ็มเอสเอสที่ถ่ายในบริเวณเดียวกันมาเปรียบเทียบคงเห็นแต่พื้นผิวของทะเลทรายเท่านั้นไม่ได้ให้รายละเอียดที่น่าสนใจอย่างยิ่งเหมือนกับภาพจากระบบเรดาร์ เซอ-เอ

หลังจากนั้นได้ทำการทดลองระบบเรดาร์บนกระสวยอวกาศอีกครั้งในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2527 เรียกระบบนี้ว่า SIR-B ข้อแตกต่างก็คือ ระบบนี้มีเสาอากาศที่สามารถปรับมุมได้ระหว่าง 15-60 องศาทำให้สามารถสร้างภาพสามมิติได้

ตารางที่ 1.5 ช่วงคลื่นเรดาร์ (Radar Band Designation)

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (เซนติเมตร)	ความถี่ เมกะเฮิรตซ์(10^6 รอบต่อวินาที)
Ka	0.75-1.1	40,000-26,500
K	1.1-1.67	26,500-18,000
Ku	1.67-2.4	18,000-12,500
X	2.4-3.75	12,500-8,000
C	3.75-7.5	8,000-4,000
S	7.5-15	4,000-2,000
L	15-30	2,000-1,000
P	30-100	1,000-300

(ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 : 668)

ความถี่ที่มีเครื่องมือสำรวจข้อมูลระบบเรดาร์ได้แก่

1. ดาวเทียมซีแซท 1

ได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อ 1.12 แล้ว

2. ดาวเทียม ERS-1

องค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency, ESA) ได้ส่งดาวเทียมดวงแรก ERS-1 (Earth Resources Satellite) ขึ้นโคจรในวันที่ 17 กรกฎาคม 2534 โดยมีอายุการใช้งาน 2-3 ปี วงโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ในระดับสูง 785 กิโลเมตร การเอียงของวงโคจร 98.5 องศา โคจรกลับมาที่เดิมภายใน 16-18 วัน

อุปกรณ์สำรวจข้อมูลมี 3 ประเภทคือ อุปกรณ์ที่บันทึก ข้อมูลในช่วงคลื่น ซีแบนด์ (C-Band) มีชื่อย่อว่า AMI ซึ่งย่อมาจาก Active Microwave Instrument module ประเภทที่สองอุปกรณ์บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นเคยูแบนด์ (Ku-band) เป็นเครื่องมือบันทึกข้อมูลความสูงและประเภทสุดท้ายอุปกรณ์บันทึกข้อมูล โดยการกวาดรับสัญญาณ (Scanning radiometer)

3. ดาวเทียม JERS-1

องค์การพัฒนาอวกาศแห่งชาติญี่ปุ่น (National Space Development Agency of Japan, NASDA) ได้ส่งดาวเทียม JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite) ขึ้นโคจรรอบโลกในวันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2535 มีอุปกรณ์สำรวจข้อมูลที่ใช้เรดาร์เรียกว่า Synthetic Aperture Radar หรือ SAR ซึ่งสามารถถ่ายภาพทะลุเมฆได้ ทำให้ถ่ายภาพเก็บข้อมูลได้โดยไม่มีปัญหาในเรื่องสภาพอากาศ ในช่วงคลื่น L-band (23 เซนติเมตร) และอุปกรณ์สำรวจ

ข้อมูลในช่วงคลื่นเห็นได้ ระบบเรดาร์ให้รายละเอียดภาพ 18 เมตร มีแนวโคจรกว้าง 75 กิโลเมตร วงโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ การเอียงของวงโคจร 98.5 องศา ที่ระดับความสูง 568 กิโลเมตร โคจรกลับมาที่เดิมทุก 44 วัน อายุการใช้งานของระบบประมาณ 2 ปี

4. ดาวเทียม Radarsat

เป็นโครงการดาวเทียมสำรวจระยะไกลโครงการแรกของประเทศแคนาดาซึ่งพัฒนาขึ้นโดย องค์การอวกาศแคนาดา และร่วมมือกับสหรัฐอเมริกา และองค์กรเอกชน

วงโคจรของเรดาร์แซทมีลักษณะสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ อยู่ที่ระดับความสูง 98 กิโลเมตร วงโคจรเอียง 98.6 องศา กลับมาที่เดิมทุก 24 วัน โคจรผ่านอิเควเตอร์เวลา 6.00 น. ระบบของเรดาร์แซทเป็นระบบซา (SAR) ในช่วงคลื่นซีแบนด์ (5.6 เซนติเมตร)

โครงการในอนาคต

1. โครงการอีโอเอส

โครงการอีโอเอสมาจากคำว่า Earth Observing System (EOS) เป็นหนึ่งในโครงการสำรวจโลกที่เรียกว่า โครงการเอ็มทีพีอี (Mission to Planet Earth-MTPE) เป็นโครงการระดับนานาชาติที่ศึกษาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติของโลก ทั้งในเรื่องเหตุการณ์ธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องอยู่ในสิ่งแวดล้อมโลกโครงการนี้ใช้ระบบการสำรวจข้อมูลทั้งจากอวกาศและจากโลกโดยตรง

ระบบอีโอเอสเริ่มในปี พ.ศ. 2541 ดาวเทียมชุดแรกมี 6 ดวง ได้แก่เอเอ็ม 1 (AM-1) คัลเลอร์ (color) สำรวจสีของน้ำทะเล, เออีอาร์โอ 1 (AERO-1) สำรวจ aerosols ในบรรยากาศ, พีเอ็ม1 (PM-1) สำรวจ เมฆ, หิมะ, น้ำแข็ง, อุณหภูมิ, แหล่งผลิตบนพื้นทวีปและในมหาสมุทร, เอแอลที (ALT) สำรวจการหมุนเวียนของน้ำในมหาสมุทร, หิมะและดวงที่ 6 ซีเอชอีเอ็ม (CHEM) สำรวจสภาพทางเคมีในบรรยากาศ

ดาวเทียมเอเอ็ม 1 ซึ่งเป็นดวงแรกของโครงการมีอุปกรณ์สำรวจ 5 ระบบ ได้แก่ ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) สำรวจพืชพรรณธรรมชาติ, ชนิดของหิน, ภูเขาไฟ, เมฆ ระบบ CERES (Clouds and Earth's Radiant Energy System) ตรวจสอบความสมดุลของพลังงานการแผ่รังสีของโลกการแผ่รังสีที่ชั้นบนสุดของบรรยากาศ ระบบ MISR (Multi-Angle Imaging Spectro-Radiometer) เก็บข้อมูลภาพลักษณะภูมิประเทศของโลกข้อมูลเมฆและ aerosol ในบรรยากาศ แกะไขความผิดพลาดของข้อมูลที่เกิดจากบรรยากาศของ ASTER และ MODIS ระบบ MODIS (Moderate Resolution Imaging spectrometer) มีประโยชน์ในการศึกษาพื้นทวีปและมหาสมุทร, บริเวณเมฆปกคลุม, คุณสมบัติของเมฆ ระบบ MOPITT (Measurements of Pollution in The Troposphere) ตรวจสอบวัดคาร์บอนมอนนอกไซด์และมีเทนในบรรยากาศ

อุปกรณ์สำรวจในดาวเทียมดวงแรกคือ เอเอ็ม 1 นับว่ามีประสิทธิภาพในการทำงานได้ทั้งในด้านการศึกษาระบบนิเวศวิทยาและการเปลี่ยนแปลง ระบบอากาศและการหมุนเวียนของน้ำ การเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมีธรณี การศึกษากระบวนการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก

2. โครงการ ADEOS

โครงการ ADEOS มาจากคำว่า Advanced Earth Observing Satellite มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเทคโนโลยีด้านยานอวกาศในอนาคตและเทคโนโลยีทางการสื่อสารระหว่างวงโคจรเพื่อการส่งข้อมูล นอกจากนี้ยังให้ประโยชน์ในด้านการตรวจสอบสภาพการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมโลกในระดับนานาชาติ โครงการนี้เป็นความร่วมมือของประเทศญี่ปุ่น, สหรัฐอเมริกา, ฝรั่งเศส

อุปกรณ์สำรวจข้อมูลประกอบด้วย ระบบอุปกรณ์ขององค์การพัฒนาดาวาศแห่งชาติของญี่ปุ่น 2 ระบบได้แก่ ระบบ OCTS (Ocean Color and Temperature Scanner) อุปกรณ์นี้ใช้เก็บข้อมูลสีของน้ำในทะเล อุณหภูมิพื้นผิวทะเล สำรวจบริเวณที่มีความสมบูรณ์ในทะเลมหาสมุทรของโลกการหมุนเวียนของกระแส น้ำ ระบบ AVNIR (Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer) ตรวจสอบพื้นที่ทวีปและแนวชายฝั่งปรากฏการณ์ด้านสิ่งแวดล้อม เช่น พืชพรรณธรรมชาติ และสภาพการเป็นทะเลทราย

มีอุปกรณ์สำรวจอื่นๆ อีก 6 ระบบ เพื่อตรวจสอบสภาพอากาศเหนือมหาสมุทร, โอโซน, และก๊าซที่มีผลการสะท้อนความร้อนแบบเรือนกระจก กำหนดส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศที่ศูนย์อวกาศ Tanegashima ในต้นปี พ.ศ. 2539

คำถามท้ายบทที่ 1

1. จงกล่าวถึงวิวัฒนาการของวิชาสัมพัทธ์ระยะไกล (Remote Sensing) มาโดยสังเขป
2. โครงการแลนด์เซทปัจจุบันมีอุปกรณ์สำรวจข้อมูลที่ประเภทจอร์ชบาย
3. จงกล่าวถึงวงโคจรและอุปกรณ์สำรวจข้อมูลแลนด์เซท 4,5
4. ความเทียมสปีดมีอุปกรณ์สำรวจข้อมูลที่แตกต่างจากแลนด์เซทอย่างไร
5. ความเทียมสำรวจสมุทรศาสตร์ และความเทียมอุตุนิยมวิทยามีหลักการที่สำคัญในการออกแบบอุปกรณ์สำรวจข้อมูลอย่างไร
6. รายละเอียดภาพ (resolution) มีความสำคัญอย่างไรในการออกแบบอุปกรณ์สำรวจข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกล
7. ในปัจจุบันระบบอุปกรณ์สำรวจข้อมูลที่สำคัญมีอะไรบ้างและแต่ละประเภทมีวัตถุประสงค์ในการเก็บข้อมูลอย่างไร จงอธิบาย

บทที่ 2

ความเข้าใจเบื้องต้นและหลักการของวิชาสัมพัทธวะโยกล

ความหมายโดยทั่วไปของวิชาสัมพัทธวะโยกล เป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่หรือปรากฏการณ์ จากเครื่องมือบันทึกข้อมูล โดยปราศจากการสัมผัสวัตถุเป้าหมาย ใช้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยพลังงานแสงสว่าง พลังงานความร้อนและคลื่นวิทยุเป็นสื่อในการตรวจวัดข้อมูลซึ่งได้ออกมาเป็นค่าการสะท้อนพลังงาน

วิธีการตรวจวัดข้อมูลและการนำข้อมูลมาใช้จะต้องพิจารณาองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ ความแตกต่างในคุณสมบัติของการสะท้อนพลังงานของวัตถุในแต่ละช่วงคลื่น ข้อมูลด้านพื้นที่ซึ่งมีลักษณะรูปทรงพื้นฐานต่างๆ บนพื้นผิวโลกและข้อมูลที่มีความเปลี่ยนแปลงตามเวลา

ระบบสัมพัทธวะโยกล ที่ใช้แหล่งพลังงานธรรมชาติ (passive) ที่สำคัญ คือดวงอาทิตย์ วัตถุเป้าหมายได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์แล้วสะท้อนพลังงานสู่อุปกรณ์ตรวจวัด ข้อมูลส่วนระบบที่ใช้พลังงานที่สร้างขึ้นเอง (active) ได้แก่ ระบบเรดาร์

ภาพถ่ายทางอากาศนับเป็นอุปกรณ์ชิ้นแรกในการศึกษาวิชาสัมพัทธวะโยกลจากภาพ ใช้อย่างแพร่หลายในการทำแผนที่ภูมิประเทศ การศึกษาทางภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังใช้ในการสำรวจแหล่งน้ำมันและแร่ธาตุด้วย ภาพถ่ายทางอากาศได้จากการถ่ายภาพในช่วงคลื่นเห็นได้ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า การสร้างเครื่องมือที่สามารถถ่ายภาพในช่วงคลื่นอื่นได้ จึงน่าจะได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์อีกมากมาย การพัฒนาเทคโนโลยีในระยะหลังทำให้สามารถถ่ายภาพในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนและไมโครเวฟได้

2.1 หลักการของการแผ่รังสีและแหล่งพลังงาน

แหล่งพลังงานได้แก่ดวงอาทิตย์ แผ่รังสีและให้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีหลายรูปแบบได้แก่ รังสีแสงสว่าง, รังสีแกมมา, รังสีอัลตราไวโอเล็ต, รังสีเอ็กซ์, รังสีความร้อน, คลื่นวิทยุ เป็นต้น พลังงานเหล่านี้แผ่รังสีออกมาและเคลื่อนที่ตามทฤษฎีคลื่น (wave theory) ทฤษฎีนี้อธิบายการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก (harmonic) ซึ่งมีช่วงซ้ำและจังหวะเท่ากันในเวลาหนึ่ง มีความเร็วเท่ากับความเร็วแสงคือ 3×10^8 เมตร/วินาที ระยะทางจากยอดคลื่นถึงยอดคลื่นถัดไปเรียกว่าความยาวคลื่น (λ) และจำนวนยอดคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านจุดคงที่จุดหนึ่งต่อหน่วยเวลาเรียกว่าความถี่ (ν) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง c , ν และ λ แสดงได้ด้วยสมการ (1)

$$c = v\lambda \quad \dots\dots\dots(1)$$

โดย c = ความเร็วของแสงมีค่าคงที่ 3×10^8 เมตร/วินาที

v = ความถี่คลื่น, รอบ/วินาที หรือ เฮิรตซ์

λ = ความยาวคลื่น

หน่วยที่ใช้วัดความยาวคลื่นของสเปกตรัมคือไมโครเมตร (micrometer)

หรือ $\mu = 1 \times 10^{-6}$ เมตร

วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ (-273 องศาเซลเซียส) สามารถแปลงพลังงานและแผ่รังสีได้ การแผ่กระจายของพลังงานในแต่ละความยาวคลื่นมีความแตกต่างกัน การแผ่รังสีของดวงดาว เช่นดวงอาทิตย์ซึ่งให้พลังงานความร้อน และแสงสว่างต่อชีวิตบนโลก ดวงอาทิตย์มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.39×10^6 กิโลเมตร (Mather, 1987 : 17) มีระยะทางเฉลี่ยห่างจากโลก 150×10^6 กิโลเมตร มีสารที่เป็นองค์ประกอบสำคัญคือ ไฮโดรเจน และฮีเลียม การเปลี่ยนไฮโดรเจนเป็นฮีเลียมที่เกิดขึ้นในบริเวณแกนกลางของดวงอาทิตย์ทำให้เกิดพลังงานมากมายและแผ่รังสีออกสู่ภายนอก ที่บรรยากาศของโลก กำลังงาน (power) ที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ ซึ่งวัดได้จากพื้นผิวโลกมีค่าประมาณ 3.9×10^{22} เมกะวัตต์ ซึ่งหากมีการกระจายของพลังงานดวงอาทิตย์อย่างสม่ำเสมอ จะทำให้ได้ค่ากำลังเฉลี่ยของการส่งผ่านพลังงานที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลกต่อหน่วยพื้นที่มีค่าเท่ากับ 1367 วัตต์ต่อตารางเมตรค่านี้เรียกว่า ค่าคงที่ของพลังงานดวงอาทิตย์ (solar constant)

จากปริมาณพลังงานนี้ 35% สะท้อนกลับโดยพื้นผิวโลก (รวมทั้งเมฆและจากบรรยากาศ) 17% ดูดซับโดยบรรยากาศและ 47% ดูดซับโดยพื้นผิวโลก

จากกฎของสเตฟานและโบลซ์แมน (Stefan & Boltzman) ถ้าใช้ค่าคงที่ของพลังงานดวงอาทิตย์เท่ากับ 1367 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิของดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 5777 องศาเคลวิน นอกจากนี้ค่าโดยประมาณของอุณหภูมิดวงอาทิตย์อาจอยู่ระหว่าง 5500 องศาเคลวิน ถึง 6200 องศาเคลวิน การคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวของดวงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับแปลงพลังงานและสามารถเห็นได้ในแถบสเปกตรัมของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า การกระจายของพลังงานที่ปรากฏในแถบสเปกตรัมทำให้ทราบอุณหภูมิของแหล่งพลังงานได้

การอธิบายการแผ่รังสีของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า นอกจากทฤษฎีคลื่นแล้วอีกทฤษฎีหนึ่งที่ใช้อธิบายได้แก่ ทฤษฎีอนุภาค (particle theory) นั่นคือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยอนุภาคซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่ไม่ต่อเนื่องกัน (discrete unit) เรียกว่า โฟตอน (Photon) หรือควอนต้า (Quanta) ซึ่งอาจเขียนสมการพลังงาน แต่ละควอนตัมตามแนวคิดของพลังค์ ได้ตามสมการ (2)

$$E = h \nu \quad \text{.....(2)}$$

E = พลังงาน 1 ควอนตัม, จูลส์ (Joules, J)

h = ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant) 6.626×10^{-34} จูลส์.

วินาที (J. sec)

ν = ความถี่

แทนที่ ν จากสมการที่ 1 ลงในสมการที่ 2 จะได้

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{.....(3)}$$

จากสมการที่ 3 พลังงานที่ได้เป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวคลื่น พลังงานที่มีคลื่นยาวให้พลังงานต่ำส่วนพลังที่มีคลื่นสั้นให้พลังงานสูง หลักการนี้มีความสำคัญต่อการเก็บข้อมูลสัมผัสระยะไกล

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สำคัญอย่างไรก็ตามสสารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ (0 องศาเซลวิน หรือ -273 องศาเซลเซียส) เปล่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ดังนั้นวัตถุบนพื้นผิวโลกจึงเป็นแหล่งพลังงาน

พลังงานที่วัตถุเปล่งออกมานั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นผิวของวัตถุนั้น ทั้งนี้ตามกฎของสเตฟานและโบลซ์แมนในสมการ (4)

$$M = \sigma T^4 \quad \text{..... (4)}$$

M = พลังงานที่แผ่รังสีออกจากพื้นผิวของวัตถุ, วัตต์.เมตร⁻²

(Wm^{-2})

σ = ค่าคงที่ของสเตฟานและโบลซ์แมน (Stefan- Boltzman

Constant) 5.6697×10^{-8} วัตต์.เมตร⁻².องศาสัมบูรณ์⁴

($Wm^{-2} K^{-4}$)

T = อุณหภูมิ (องศาเซลวิน) ของวัตถุ

จากสมการที่ 4 พลังงานที่เปล่งออกมาจากวัตถุแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิยกกำลังสี่ นั่นคือพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และกฎการแผ่รังสีกรณีนี้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสีของวัตถุดำ (blackbody radiation)

วัตถุดำเป็นตัวแผ่รังสีที่มีลักษณะเป็นไปตามทฤษฎี, ไม่ใช่วัตถุในความเป็นจริง โดยกำหนดให้วัตถุดำสามารถดูดซับพลังงานทั้งหมดและเปล่งพลังงานทั้งหมดออกไปได้ ซึ่งวัตถุจริงไม่สามารถทำได้ เมื่อพลังงานทั้งหมดถูกเปล่งออกมาโดยมีความผันแปรตามอุณหภูมิของวัตถุนั้น การกระจายของสเปกตรัมของพลังงานก็ผันแปรตามไปด้วย โดยตำแหน่งความยาวคลื่นที่มีพลังงานสูงสุดของวัตถุดำเรียกว่า dominant wavelength ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของวัตถุนั้นตามกฎการแทนที่ของวิน (Wien's Displacement law) ดังสมการที่ 5

$$\lambda_m = \frac{A}{T} \dots\dots\dots(5)$$

λ_m = ช่วงความยาวคลื่นที่มีพลังงานสูงสุด (ไมโครเมตร)

A = 2898 ไมโครเมตร องศาเคลวิน

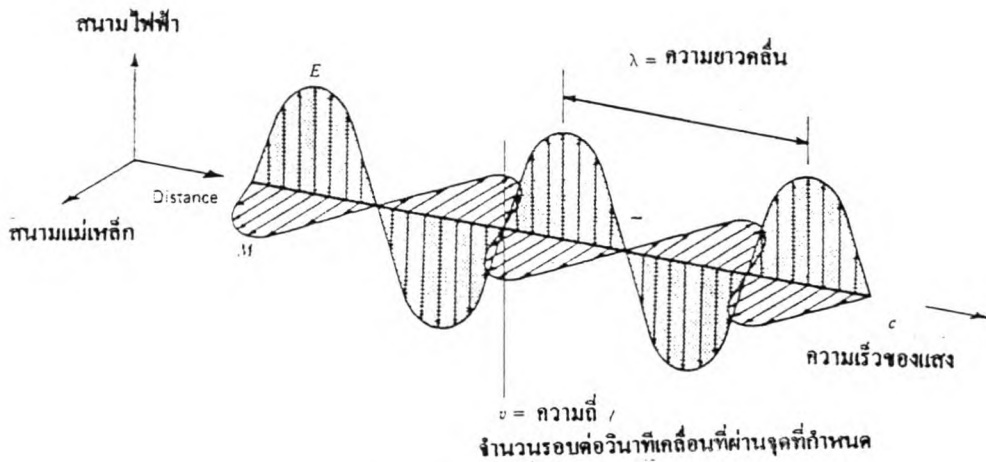
T = อุณหภูมิ องศาเคลวิน

2.2 พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

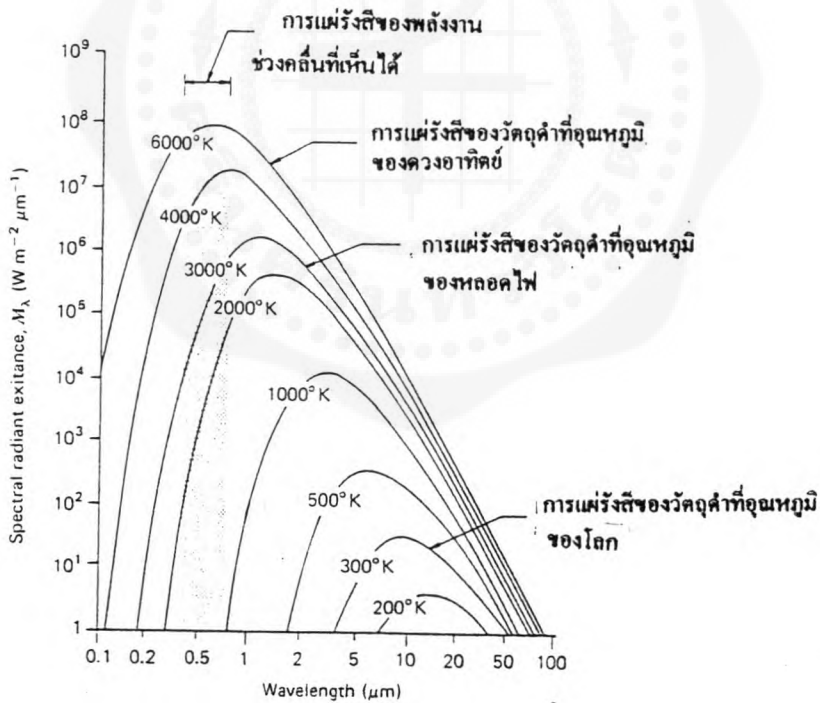
พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานทุกชนิดที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วของแสง โดยมีช่วงซ้ำแบบฮาร์โมนิก ซึ่งหมายถึงมีการเคลื่อนที่ด้วยเวลาและระยะทางเท่าๆกัน พลังงานนี้สามารถตรวจวัดได้เมื่อมีการทำปฏิกิริยากับสสาร พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยอนุภาคที่เรียกว่า โฟตอน (photon)

พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าอธิบายได้ด้วยความเร็ว ความยาวคลื่น และความถี่ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับแสงคือ 299,793 กิโลเมตรต่อวินาที หรือ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ที่จริงแล้วแสงเป็นรูปแบบหนึ่งของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีความยาวคลื่นเฉพาะ

ความยาวคลื่น (wavelength) หมายถึงระยะทางจากจุดใดจุดหนึ่งของคลื่นไปยังจุดเดิมของคลื่นถัดไปวัดโดยหน่วยเมตริก ที่ใช้บ่อยคือ ไมโครเมตร (micrometer) การแผ่รังสีของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อพิจารณาตามความยาวคลื่นมักแบ่งเป็นช่วงเรียกว่า ช่วงคลื่นหรือ แบนด์ (band) เช่น ช่วงคลื่นเห็นได้ (Visible band) อยู่ระหว่างความยาวคลื่น 0.4 - 0.7 ไมโครเมตร



รูปที่ 2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วย สนามแม่เหล็กไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก (ที่มา Lillesand & kiefer, 1994 : 4)



รูปที่ 2.2 การแผ่พลังงานของวัตถุดำโดยพิจารณาเปรียบเทียบจากความยาวคลื่นและอุณหภูมิ (ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 :8)

ตารางที่ 2.1 ระบบเมตริกสำหรับใช้กับระยะทาง

หน่วย	สัญลักษณ์	ระยะทาง
กิโลเมตร (kilometer)	กม. (km)	1000 เมตร = 10^3 เมตร
เมตร (meter)	ม. (m)	1.0 เมตร = 10^0 เมตร
เซนติเมตร (centimeter)	ซม. (cm)	0.01 เมตร = 10^{-2} เมตร
มิลลิเมตร (millimeter)	มม. (mm)	0.001 เมตร = 10^{-3} เมตร
ไมโครเมตร (micrometer)	um	0.000001 เมตร = 10^{-6} เมตร
นาโนเมตร (nanometer)	nm	= 10^{-9} เมตร
อังสตรอม (angstrom)	A^0	= 10^{-10} เมตร

(ที่มา Floyd F. Sabins, Jr., 1978 : 2)

ความถี่ (frequency) หมายถึงจำนวนของยอคคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งในเวลาที่กำหนด เดิมใช้หน่วยเป็นรอบต่อวินาที แต่ปัจจุบันใช้หน่วย เฮิรตซ์ (hertz) เป็นหน่วยความถี่ของ 1 รอบ (cycle) ต่อวินาที

ตารางที่ 2.2 หน่วยวัดความถี่

หน่วย	สัญลักษณ์	ความถี่ (รอบต่อวินาที)
เฮิรตซ์ (hertz)	Hz	1
กิโลเฮิรตซ์ (kilohertz)	KHz	10^3
เมกะเฮิรตซ์ (megahertz)	MHz	10^6
กิกะเฮิรตซ์ (gigahertz)	GHz	10^9

(ที่มา Floyd F. Sabins, Jr., 1978 : 3)

สเปกตรัมของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic spectrum) เป็นช่วงความถี่ของพลังงาน จากหน่วยกิโลเมตรไปจนถึงช่วงคลื่นนาโนเมตร ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3×10^8 เมตรต่อวินาที และสามารถเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศเช่นในอวกาศได้ สสารทุกชนิดสามารถแปลงพลังงานแผ่รังสีในช่วงคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าได้ โดยมีความเข้ม (intensity) สูงสุด ไน้มเอียง ไปทางช่วงคลื่นสั้นเมื่อยังมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหมายความว่าสสารที่มีอุณหภูมิสูงแปลงพลังงานแผ่รังสีออกมาอยู่ในช่วงคลื่นสั้นมากกว่าสสารที่มีอุณหภูมิต่ำ

พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีคลื่นสั้นที่สุดจนถึงยาวที่สุดมีดังนี้ รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเห็นได้ รังสีอินฟราเรด รังสีอินฟราเรดสะท้อน รังสีอินฟราเรดความร้อน ไมโครเวฟ เรดาร์

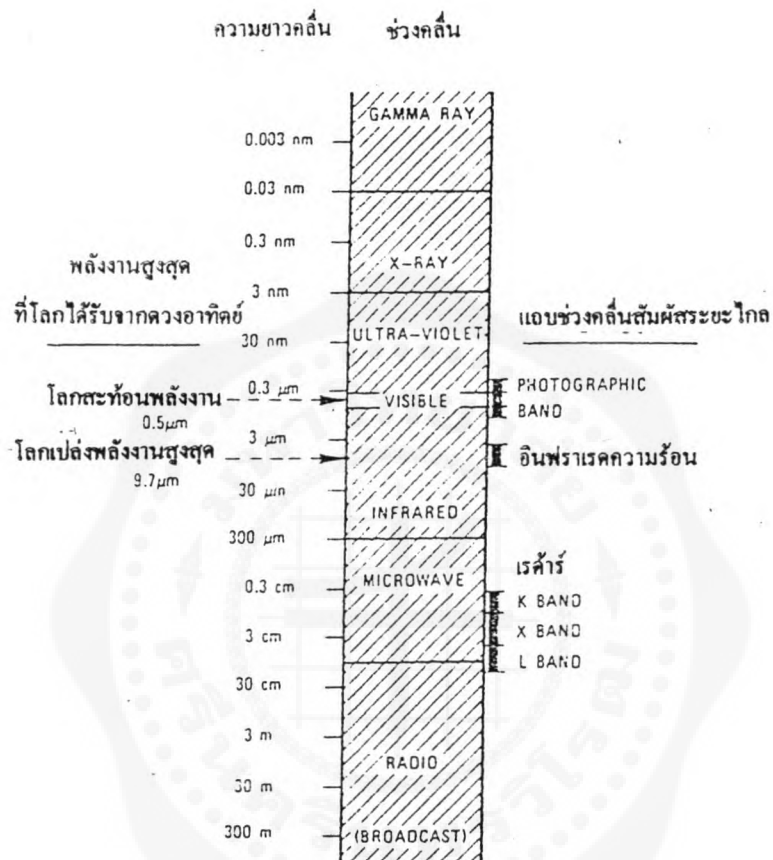
ช่วงความยาวคลื่นที่มีความสำคัญต่อระบบสัมผัสระยะไกลจากภาพได้แก่ ช่วงคลื่นออปติค (optical wavelengths) ซึ่งอยู่ระหว่างความยาวคลื่น 0.03-15 ไมโครเมตรในช่วงความยาวคลื่นนี้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถสะท้อนและหักเหได้เมื่อกระทบกับสสารที่เป็นของแข็ง เช่น กระจกหรือเลนส์ ความยาวคลื่น 0.38-3.0 ไมโครเมตร เป็นช่วงคลื่นของการสะท้อน ของสเปคตรัม (reflective) พลังงานที่อยู่ในช่วงคลื่นนี้มีต้นกำเนิดโดยการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และสะท้อนกลับเมื่อกระทบวัตถุบนพื้นผิวโลก พลังงานที่อยู่ระหว่างช่วงคลื่นทั้งสองนี้ยังแบ่งออกเป็น ช่วงคลื่นเห็นได้ (visible wavelengths) และช่วงคลื่นอินฟราเรดสะท้อน สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ระหว่างความยาวคลื่น 0.38-0.72 ไมโครเมตร จึงมักเรียกว่า ช่วงคลื่นเห็นได้ ระหว่างความยาวคลื่น 0.72 - 3.0 ไมโครเมตร เรียกว่าอินฟราเรดสะท้อน (reflected infrared) ในช่วงคลื่นนี้ยังแบ่งออกเป็น อินฟราเรดใกล้ (near infrared) 0.72 - 1.3 ไมโครเมตร อินฟราเรดกลาง (middle infrared) 1.3 - 3.0 ไมโครเมตร ความยาวคลื่นระหว่าง 3.0 - 7.0 ไมโครเมตรไม่มีชื่อเรียกเฉพาะ

ความยาวคลื่น 7.0 - 15.0 ไมโครเมตร เรียกว่าอินฟราเรดไกล (far infrared) หรือเรียกว่าอินฟราเรดความร้อน (Thermal infrared) ในช่วงความยาวคลื่นนี้ มีการแปลงพลังงานของพื้นผิวโลกและพลังงานที่ได้จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

สสารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ สามารถแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าได้ แต่ปริมาณพลังงาน และช่วงคลื่นที่ให้พลังงานสูงสุดนั้นผันแปรไปตามชนิดของสสารนั้น ๆ เช่นการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ให้พลังงานโลกสูงสุดที่ 0.5 ไมโครเมตร และโลกแปลงพลังงานสูงสุดที่ 9.7 ไมโครเมตร ตามทฤษฎีการแปลงพลังงานของวัตถุดำ โลกที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลวิน ให้พลังงานสูงสุดในช่วงคลื่นนี้ อย่างไรก็ตามดวงอาทิตย์ซึ่งมีอุณหภูมิ 6000 องศาเซลวิน ย่อมแผ่รังสีให้พลังงานสูงกว่าโลกในทุกช่วงคลื่นแต่เมื่อพิจารณาระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์กับโลกแล้วระยะทางที่ห่างไกลกันมากทำให้มีพลังงานน้อยกว่าที่เป็นจริงด้วยเหตุนี้ การเรียกชื่อ อินฟราเรดสะท้อน จึงเป็นพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์และสะท้อนกลับส่วนอินฟราเรดความร้อนเป็นพลังงานที่โลกแปลงพลังงานออกไปและสามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือตรวจวัดพลังงานความร้อน

ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 1 มิลลิเมตรถึง 300 เซ็นติเมตร เรียกว่า ช่วงคลื่นไมโครเวฟ (microwave) การแผ่รังสีช่วงความยาวคลื่นนี้สามารถผ่านทะลุเมฆได้ ซึ่งนับว่ามีความสำคัญต่อการเก็บข้อมูลในระบบสัมผัสระยะไกลมากมีเครื่องมือตรวจวัดบางชนิดสามารถวัดการแปลง

พลังงานในช่วงคลื่นนี้ ของพื้นผิวโลกนี้ได้ ส่วนใหญ่อยู่ปรกรณ์ที่ใช้ในช่วงคลื่นไมโครเวฟมักเป็นชนิดที่สร้างพลังงานขึ้นเองไม่ได้ใช้พลังงานธรรมชาติ ถัดจากช่วงคลื่นไมโครเวฟเป็นช่วงคลื่นวิทยุ



รูปที่ 2.3 พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงแถบช่วงคลื่นต่าง ๆ
(electromagnetic spectrum)

(ที่มา Floyd F. Sabin, Jr., 1978 : 4)

ตารางที่ 2.3 ช่วงคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น	รายละเอียด
รังสีแกมมา (Gamma ray)	< 0.03 นาโนเมตร	รังสีแกมมาเป็นพลังงานที่แผ่รังสีมาจากดวงอาทิตย์และถูกดูดซับทั้งหมดโดยบรรยากาศชั้นบน ไม่ได้ใช้ในการสำรวจข้อมูลสัมผักระยะไกล
รังสีเอ็กซ์ (x-ray)	0.03-3 นาโนเมตร	รังสีเอ็กซ์ที่ถูกดูดซับพลังงานโดยบรรยากาศทั้งหมด ไม่ได้ใช้ในการสำรวจข้อมูลสัมผักระยะไกล
รังสีอุลตราไวโอเลต (Ultraviolet-UV)	3 นาโนเมตร -0.4 ไมโครเมตร	รังสีอุลตราไวโอเลต ที่ความยาวคลื่นน้อยกว่า 0.3 ไมโครเมตร ถูกดูดซับทั้งหมด โดยบรรยากาศชั้นโอโซน
รังสีอุลตราไวโอเลต ในช่วงคลื่นที่สามารถ ถ่ายภาพได้ (Photographic UV)	0.3 - 0.4 ไมโครเมตร	รังสีอุลตราไวโอเลตที่ส่งผ่านบรรยากาศสามารถใช้ฟิล์มถ่ายรูป ถ่ายภาพได้แต่มีปัญหาในเรื่องการกระจายของแสงในบรรยากาศ
รังสีแสงสว่างในช่วง คลื่นเห็นได้ (Visible)	0.4 -0.7 ไมโครเมตร	ช่วงคลื่นที่สามารถเห็นได้ด้วยสายตาของมนุษย์หรือเรียกว่ารังสีแสงสว่างสามารถถ่ายภาพได้ ช่วงคลื่น 0.5 ไมโครเมตร โลกสะท้อนพลังงานสูงสุด
รังสีอินฟราเรด (infrared-IR)	0.7-300 ไมโครเมตร	ปฏิสัมพันธ์กับสารผันแปรตามความยาวคลื่นการส่งผ่านพลังงานผ่านช่วงคลื่นหน้าต่างบรรยากาศ (atmospheric window) มีบางช่วงคลื่นที่มีการดูดซับพลังงาน

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น	รายละเอียด
รังสีอินฟราเรดสะท้อน (Reflected IR)	0.7 - 3 ไมโครเมตร	ช่วงคลื่นที่มีการสะท้อนพลังงานจาก ดวงอาทิตย์ไม่ให้ข้อมูลการสะท้อนพลังงาน ความร้อนของวัตถุ ช่วงคลื่น 0.7-0.9 ไมโครเมตรถ่ายภาพได้โดยใช้ฟิล์มสี อินฟราเรด
รังสีอินฟราเรด ความร้อน (Thermal IR)	3 - 5, ... 8-14 ไมโครเมตร	ช่วงคลื่นหลักของหน้าต่างบรรยากาศ ในแถบช่วงคลื่นความร้อน อุปกรณ์ สำรวจ ข้อมูลใช้ scanner
ไมโครเวฟ (Microwave)	0.3 - 300 เซนติเมตร	ช่วงคลื่นนี้มีความยาวคลื่นสูง สามารถ แผ่พลังงานผ่านเมฆ หมอก การบันทึก ข้อมูลสัมผัส ระยะไกลอาจใช้พลังงาน ธรรมชาติและพลังงานที่มีเครื่องมือ สำรวจสร้างขึ้นเองได้
เรดาร์ (radar)	0.3-300 เซนติเมตร	การใช้ช่วงคลื่นไมโครเวฟในการ บันทึกข้อมูลโดยใช้พลังงานที่เครื่องมือ สร้างขึ้นเอง มีความยาวคลื่นต่าง ๆ ดัง นี้ Ka band 0.75-1.1 cm X band 2.4 -3.75 cm L band 15-30 cm
วิทยุ (radio)	>30	ช่วงคลื่นวิทยุ มีความยาวคลื่น ยาวที่สุด มีช่วงคลื่นเรดาร์ อยู่ในช่วงนี้ด้วย

2.3 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับบรรยากาศ

ในการเก็บข้อมูลสัมผัสระยะไกลบนพื้นผิวโลก พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศของโลกถึง 2 ครั้ง จึงจะผ่านเข้าสู่อุปกรณ์บันทึกข้อมูล โอกาสของความผันแปรของข้อมูลเมื่อผ่านบรรยากาศจึงเกิดขึ้นได้ บรรยากาศทำให้มีผลต่อการเก็บข้อมูล 2 เรื่อง ด้วยกันคือ การกระจายของพลังงาน (Scattering) และการดูดซับพลังงาน (absorption)

การกระจายของพลังงานเกิดขึ้นเมื่อการแผ่รังสีของพลังงานถูกสะท้อนหรือหักเหโดย สสารหรือวัตถุ (particles) ในบรรยากาศซึ่งสสารหรือวัตถุอาจเป็น โมเลกุลของก๊าซจนถึงผงฝุ่น ละอองและหยดน้ำขนาดใหญ่ จากข้อสมมติฐานการแผ่รังสีของพลังงานมีการกระจายไม่ว่าจะเป็นพลังงานที่มาจากดวงอาทิตย์หรือพลังงานที่ได้จากการสะท้อนของพื้นผิวโลก แต่ไม่ได้ทำให้พลังงานลดน้อยลง เพียงแต่เปลี่ยนทิศทาง การเปลี่ยนทิศทางนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นด้วย

การดูดซับพลังงานในบรรยากาศขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นการที่บรรยากาศดูดซับพลังงานไว้เป็นสาเหตุให้บรรยากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น

1. การกระจายของพลังงาน

การกระจายของพลังงานไม่ทำให้สูญเสียพลังงานเป็นเพียงการเปลี่ยนทิศทางของพลังงานในระบบสำรวจข้อมูลสัมผัสระยะไกล การกระจายของพลังงานเป็นสาเหตุที่ทำให้พลังงานจำนวนหนึ่งกระจายออกนอกมุมมอง(field of view) ของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลถ้ามุมมองมีขนาดกว้างมากการกระจายของพลังงานยังคงอยู่ในระยะที่สามารถบันทึกข้อมูลได้ แต่ถ้า มุมมองมีขนาดเล็กพลังงานของส่วนที่มีการกระจายอาจอยู่นอกขอบเขตในการบันทึกข้อมูลได้ อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดการกระจายของพลังงานทำให้ลดคุณภาพข้อมูลลงได้ทั้ง 2 ลักษณะ

การกระจายของพลังงานขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นของการแผ่รังสีของพลังงานกับขนาดของสสารหรือวัตถุที่ทำให้เกิด การสะท้อน การหักเห แบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1.1 การกระจายของพลังงานแบบเรย์เลห์ (Rayleigh) เกิดขึ้นเมื่อความยาวคลื่นของการแผ่รังสีมีมากกว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวัตถุ หรือ โมเลกุลของก๊าซหรือหยดน้ำ การกระจายของแสงประเภทนี้ทำให้ท้องฟ้าปรากฏเป็นสีน้ำเงิน เนื่องจากการแผ่รังสีในช่วงคลื่นสั้นของแสงสีน้ำเงินมีการกระจายของแสงมากกว่าการแผ่รังสีในช่วงความยาวคลื่นสีแดง การเห็นท้องฟ้าเป็นสีแดงในขณะที่ดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้าเกิดจากการกระจายของแสงแบบเรย์เล่ย์เช่นกัน ในขณะที่ดวงอาทิตย์อยู่ใกล้เส้นขอบฟ้าแสงเคลื่อนที่เป็นระยะทางยาวในบรรยากาศช่วงคลื่นสั้นมีการกระจายของแสงมาก คงเหลือแต่พลังงานที่แผ่รังสีในช่วงคลื่นยาวที่มีสีแดง, สัมเคินทางมาถึงสายตาของเรา

นอกจากนี้การกระจายของแสงแบบเรย์เล่ย์ ยังเป็นสาเหตุที่ทำให้ภาพมัวไม่คมชัด ในการถ่ายภาพอาจแก้ไขโดยใช้เลนส์กรองแสง(filter)ที่ไม่ยอมให้แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นผ่านเข้าไปได้

1.2 การกระจายของพลังงานเกิดขึ้นเมื่อความยาวคลื่นของการแผ่รังสีมีขนาดเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของวัตถุ (Mie Scattering) ioni และฝุ่นละอองเป็นสาเหตุสำคัญของการกระจายแสงชนิดนี้ ผลกระทบต่อการเก็บข้อมูลสัมผัสระยะไกลก็คือ การเก็บข้อมูลในช่วงคลื่นเห็นได้มีลักษณะมัวไม่คมชัด

1.3 การกระจายของพลังงานเกิดขึ้นเมื่อความยาวคลื่นของการแผ่รังสีมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของวัตถุ (Non selective Scattering) มักเกิดขึ้นเมื่อบรรยากาศมีฝุ่นละอองมาก ทำให้มีผลกระทบต่อการเก็บข้อมูลสัมผัสระยะไกล หยดน้ำก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการกระจายแบบนี้ โดยปรกติหยดน้ำมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ถึง 100 ไมโครเมตร และกระจายแสงในช่วงคลื่นเห็นได้รวมทั้งช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และอินฟราเรดกลาง การกระจายในลักษณะนี้ทำให้เกิดการกระจายของพลังงานในแต่ละช่วงคลื่นเท่า ๆ กัน ดังนั้นในช่วงคลื่นเห็นได้ จึงทำให้มีการกระจายของแสงในช่วงคลื่น สีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง เท่า ๆ กัน เป็นสาเหตุทำให้เรามองเห็นหมอกและเมฆเป็นสีขาว

2. การดูดซับพลังงาน

ในเรื่องของการกระจายของพลังงานในบรรยากาศนั้น การแผ่รังสีของพลังงานจะถูกสะท้อนและหักเหโดยวัตถุ เช่น ฝุ่นละออง หรือ โมเลกุลของก๊าซรวมทั้งไอน้ำหยดน้ำในบรรยากาศ ส่วนในเรื่องของการดูดซับพลังงานนี้เกี่ยวข้องในการเปลี่ยนพลังงานจากการแผ่รังสีเข้าสู่โมเลกุลของก๊าซและไอน้ำในบรรยากาศ ซึ่งสามารถดูดซับพลังงานไว้ได้ ตัวอย่างเช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถดูดซับพลังงานจากการแผ่รังสีได้ในหลายช่วงคลื่น นอกจากนี้ไอน้ำและโอโซนก็มีความสามารถดูดซับพลังงานไว้ได้เช่นกัน

ช่วงความยาวคลื่นที่พลังงานสามารถส่งผ่านบรรยากาศได้โดยไม่ถูกดูดซับไว้เรียกว่า หน้าต่างบรรยากาศ (atmospheric window) ปรากฏตามช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ดังรายละเอียดในตาราง

ตารางที่ 2.4 หน้าต่างบรรยากาศ

หน้าต่างบรรยากาศ	ช่วงคลื่น (ไมโครเมตร)
1	0.3-1.3
2	1.5-1.8
3	2.0-2.6
4	3.0-3.6
5	4.2-5.0
6	7.0-15.0

(ที่มา Swain & Davis, 1978 : 37)

การเก็บข้อมูลสัมผัสระยะไกลจากภาพได้ใช้ประโยชน์จากหน้าต่างบรรยากาศเป็นช่วงคลื่นที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเนื่องจากพลังงานสามารถส่งผ่านบรรยากาศได้โดยไม่ถูกดูดซับไว้ในบรรยากาศเป็นที่น่าสังเกตว่าช่วงคลื่นเห็นได้อยู่ในช่วงคลื่นใกล้เคียงกับหน้าต่างบรรยากาศและเป็นตำแหน่งที่ควมอาทิตย์ส่งพลังงานสูงสุด (0.5 ไมโครเมตร) ช่วงความยาวคลื่น 3 - 5 ไมโครเมตร และ 8 - 14 ไมโครเมตร เป็นช่วงที่ได้รับพลังงานความร้อนจากโลกโดยโลกเปล่งพลังงานสูงสุดที่ 9.7 ไมโครเมตร เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในช่วงความยาวคลื่นนี้เรียกว่า เครื่องมือตรวจวัดความร้อน (thermal scanner) ส่วนในช่วงความยาวคลื่น 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร ใช้อุปกรณ์เรดาร์ในการเก็บข้อมูล

การดูดซับพลังงานเกิดขึ้นที่บางช่วงคลื่น โดยโมเลกุลของก๊าซและไอน้ำดังนี้

1. ก๊าซออกซิเจนและโอโซน ดูดซับพลังงานที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่อุตราไวโอเลตลงมา และถูกดูดซับเกือบหมดในบรรยากาศชั้นสูงอยู่ระหว่าง 23 - 30 กิโลเมตร ส่วนช่วงคลื่น 0.1-0.3 ไมโครเมตรถูกดูดซับโดยก๊าซโอโซนในชั้นไอโอโนสเฟียร์ บางส่วนสะท้อนกลับสู่อวกาศ ทำให้ไม่มีรังสีเหล่านี้ลงมายังโลกเลย

2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีการดูดซับมากในช่วงคลื่นประมาณ 15 ไมโครเมตรในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์

3. ไอน้ำ ส่วนใหญ่อยู่ในชั้นล่างสุดของบรรยากาศที่หุ้มห่อพื้นผิวโลก คือในชั้นโทรโปสเฟียร์ ระดับต่ำกว่า 10 กิโลเมตร เป็นตัวดูดซับพลังงานจากดวงอาทิตย์ และโลกได้ดีที่สุดเกือบทุกช่วงคลื่น ยกเว้นช่วงคลื่นต่ำตั้งแต่ 0.7 ไมโครเมตรลงไป การดูดซับพลังงานสูงสุดปรากฏในช่วงคลื่นประมาณ 6 ไมโครเมตร

2.4 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับพื้นผิวโลก

เมื่อพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบลงสู่ตำแหน่งใดๆบนพื้นผิวโลกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมี 3 ลักษณะคือ การสะท้อน การดูดซับ และการส่งผ่านพลังงาน พลังงานที่สะท้อนขึ้นไปผ่านบรรยากาศอีกครั้งหนึ่งบางส่วนเข้าสู่อุปกรณ์สำรวจข้อมูลและถูกเปลี่ยนเป็นข้อมูลตัวเลขและส่งผ่านต่อไปยังสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน พลังงานที่ถูกดูดซับไว้โดยพื้นผิวโลกทำให้พื้นผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้นส่วนการส่งผ่านพลังงานทำให้มีการถ่ายเทพลังงานจากสสารชนิดหนึ่งไปยังสสารอีกชนิดหนึ่ง

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาทั้ง 3

$$E_T(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$$

$E_T(\lambda)$ = พลังงานที่ตกกระทบ

$E_R(\lambda)$ = พลังงานที่สะท้อน

$E_A(\lambda)$ = พลังงานที่ถูกดูดซับ

$E_T(\lambda)$ = พลังงานที่ส่งผ่าน

1. ผลของปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับพื้นผิวโลก

1.1 การสะท้อนพลังงานผิวน้ำแปรไปตามลักษณะพื้นผิวโลกและขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุเป็นองค์ประกอบ การสะท้อนพลังงานเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะคือ

การสะท้อนกลับหมดในทิศทางตรงกันข้าม เกิดขึ้นเมื่อมีพื้นผิวราบเรียบ มักเกิดกับแสงในช่วงคลื่นยาว

การสะท้อนแบบกระจายเกิดจากพื้นผิวค่อนข้างขรุขระมักเกิดในช่วงคลื่นเห็นได้

การสะท้อนแบบผสมเป็นลักษณะที่เกิดจริงตามธรรมชาติรวมการสะท้อนสองชนิด

1.2 การดูดซับพลังงาน การดูดซับพลังงานของพื้นผิวโลกเกิดขึ้น เช่นเดียวกับบรรยากาศ ปริมาณการดูดซับขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพื้นผิว และความยาวช่วงคลื่น เมื่อพื้นผิวโลกดูดซับพลังงานแล้วจะเปลี่ยนพลังงานให้อยู่ในรูปของความร้อนทำให้พื้นผิวโลกมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และกลายเป็นแหล่งต้นกำเนิดพลังงาน การแผ่พลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดหรืออินฟราเรดความร้อน สามารถตรวจวัดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน จึงเป็นประโยชน์ในการเก็บข้อมูลสัมผัสระยะไกล

1.3 การส่งผ่านพลังงาน เมื่อมีการดูดซับพลังงานปฏิกิริยาต่อมาก็คือการส่งผ่านพลังงาน มีความแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของพื้นผิววัตถุและความยาวช่วงคลื่น

จากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปฏิกิริยาทั้ง 3 เป็นสมการที่แสดงความสมดุลของพลังงาน พลังงานที่ตกกระทบประกอบด้วยพลังงานสะท้อน พลังงานที่ถูกดูดซับและพลังงานที่ส่งผ่าน

ประโยชน์ที่ได้จากปฏิกิริยาเหล่านี้ต่อการเก็บข้อมูลสัมผัสระยะไกลก็คือ การสะท้อน การดูดซับ และการส่งผ่านพลังงานของวัตถุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุแล้วยังขึ้นอยู่กับเงื่อนไขอื่นๆ ด้วยสิ่งนี้ทำให้เราสามารถจำแนกสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกันที่ปรากฏอยู่บนภาพถ่ายดาวเทียมได้

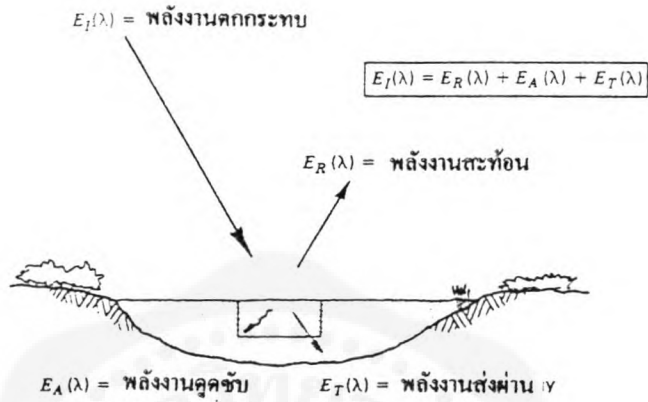
นอกจากนี้การสะท้อนการดูดซับ และการส่งผ่านพลังงาน ยังมีความยาวคลื่นแตกต่างกันด้วย แม้ว่าจะเป็นวัตถุชนิดเดียวกัน ในการจำแนกวัตถุที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมอาจไม่สามารถเห็นความแตกต่างหรือแยกแยะได้ในช่วงความยาวคลื่นหนึ่ง แต่ในอีกบางช่วงคลื่นอาจเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน

ในช่วงคลื่นเห็นได้ ความผันแปรของความยาวคลื่นที่ปรากฏในแถบช่วงคลื่นหรือสเปกตรัมเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของการมองเห็นปรากฏเป็นสี เช่น เราสามารถมองเห็นวัตถุที่สะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีน้ำเงินเป็นวัตถุที่มีสีน้ำเงิน เป็นต้น

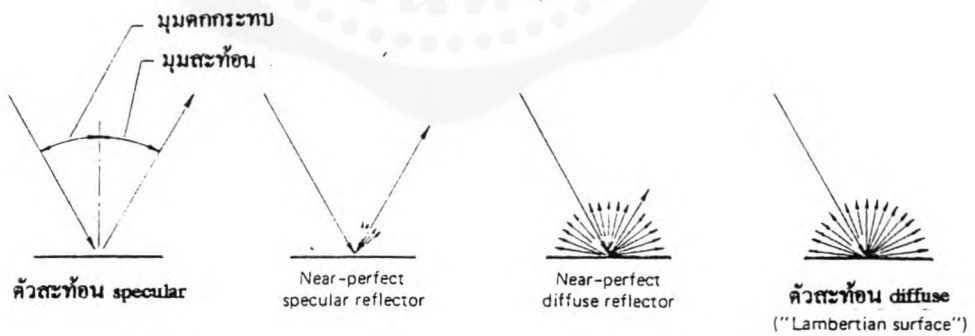
ในระบบของการเก็บข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลนั้น กระทำโดยการเก็บข้อมูลการสะท้อนพลังงานของวัตถุบนพื้นผิวโลกเป็นหลัก ดังนั้นคุณสมบัติการสะท้อนพลังงานของพื้นผิวโลกจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

$$E_R(\lambda) = E_I(\lambda) - [E_A(\lambda) + E_T(\lambda)]$$

จากสมการพลังงานสะท้อนเท่ากับพลังงานที่ตกกระทบลบด้วยพลังงานที่ถูกดูดซับและพลังงานที่ส่งผ่าน



รูปที่ 2.4 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเมื่อพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบสู่พื้นผิวโลก (ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 : 12)



รูปที่ 2.5 พื้นผิวกับการสะท้อนพลังงาน (ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 : 14)

2. พื้นผิวกับการสะท้อนพลังงาน

สภาพความขรุขระหรือราบเรียบของพื้นผิว มีผลต่อการสะท้อนในกรณีที่สภาพพื้นผิวราบเรียบ เป็นตัวสะท้อน ชนิดที่เรียกว่า specular มีการสะท้อนเหมือนกระจกโดยมีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน เมื่อพื้นผิวมีความขรุขระมีการสะท้อนในทุกทิศทางเท่ากันเป็นตัวสะท้อนที่เรียกว่า diffuse หรือเรียกพื้นผิวแลมเบิร์ต (Lambertian)

อย่างไรก็ตามในสภาพความเป็นจริงพื้นผิวโลกไม่ได้มีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งในการสะท้อนพลังงานแต่มีลักษณะของการสะท้อนทั้งสองร่วมกัน

รูป 2.5 แสดงพื้นผิวกับการสะท้อนพลังงาน ความขรุขระหรือความราบเรียบนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญ นอกจากนี้ความยาวคลื่นของพลังงานที่ตกกระทบก็มีผลต่อข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกล ตัวอย่างเช่น พลังงานหรือแสง ในช่วงความยาวคลื่นวิทยุซึ่งมีช่วงคลื่นยาวเมื่อตกกระทบพื้นผิวโลกในบริเวณที่เป็นภูเขาหินขรุขระก็อาจทำให้ข้อมูลภาพที่ได้มีเนื้อภาพละเอียด ในขณะที่ช่วงคลื่นสั้นเห็นได้ เมื่อแสงตกกระทบลงในพื้นทรายก็อาจทำให้ดูว่าเนื้อภาพหยาบได้กล่าวโดยสรุปก็คือเมื่อความยาวคลื่นของพลังงานที่ตกกระทบมีขนาดน้อยกว่าความผันแปรในเรื่องความสูงของพื้นผิว หรือขนาดของวัตถุ นั้น ๆ ที่ประกอบกันเป็นพื้นผิว ก็เรียกพื้นผิวนั้นว่าเป็นตัวสะท้อนพลังงานแบบกระจาย

การสะท้อนพลังงานแบบกระจายนี้มีคุณสมบัติที่ทำให้เกิดสีกับพื้นผิวที่สะท้อนในขณะที่ตัวสะท้อน แบบสเปคคิวลาร์ไม่มี ดังนั้นในการเก็บข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลจึงให้ความสำคัญในการวัดคุณสมบัติในการสะท้อนแสงแบบกระจายของพื้นผิวโลก

ลักษณะการสะท้อนพลังงานของพื้นผิวโลกนี้อาจคำนวณเป็นปริมาณการสะท้อนพลังงานได้โดยการหาสัดส่วนระหว่างพลังงานที่สะท้อนต่อพลังงานที่ตกกระทบเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\rho_{\lambda} = \frac{E_R(\lambda)}{E_I(\lambda)} \times 100$$

$$\rho_{\lambda} = \text{ค่าการสะท้อนพลังงาน (spectral reflectance)}$$

หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

$$E_R(\lambda) = \text{พลังงานสะท้อน}$$

$$E_I(\lambda) = \text{พลังงานตกกระทบ}$$

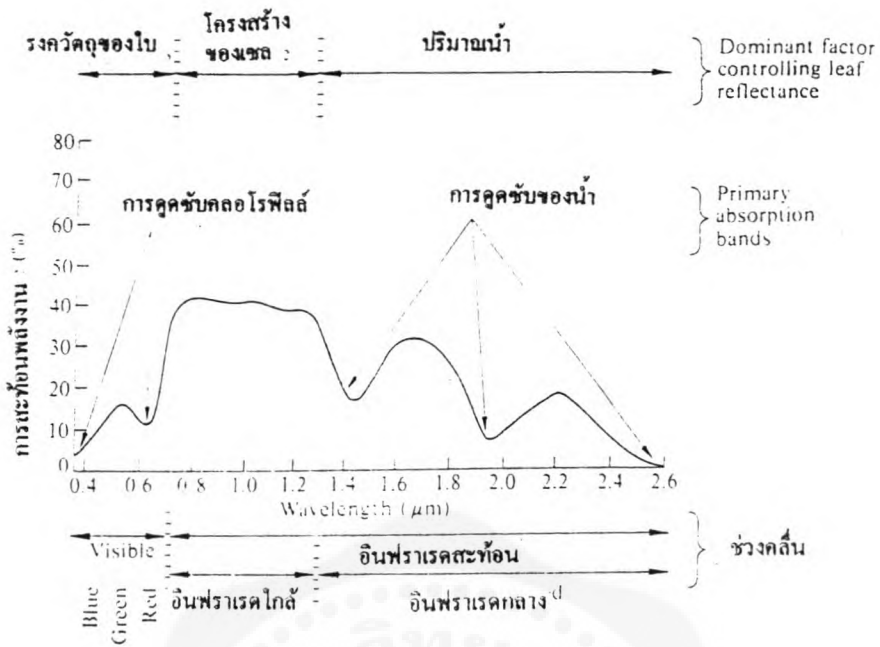
ในการศึกษาการสะท้อนของพลังงานของวัตถุบนพื้นผิวโลก เช่น การสะท้อนของพืชเมื่อนำค่าการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นมาเขียนลงในกราฟจะได้เส้นโค้งแสดงค่าการสะท้อนของพืช เรียกเส้นโค้งนี้ว่า เส้นโค้งแสดงการสะท้อนพลังงาน (spectral reflectance curve) หรือเรียกว่าลายเซ็นช่วงคลื่น (spectral signature) ในการเก็บข้อมูลสัมผัสระยะไกลสามารถใช้ประโยชน์จากเส้นโค้งแสดงการสะท้อนพลังงานได้โดยการเลือกเก็บข้อมูลในช่วงคลื่นที่วัตถุนั้นๆ มีการสะท้อนพลังงานมากที่สุด ซึ่งวิธีการนี้สามารถนำไปใช้เลือกเก็บข้อมูลในช่วงคลื่นที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการได้

3. การสะท้อนพลังงานของพืช

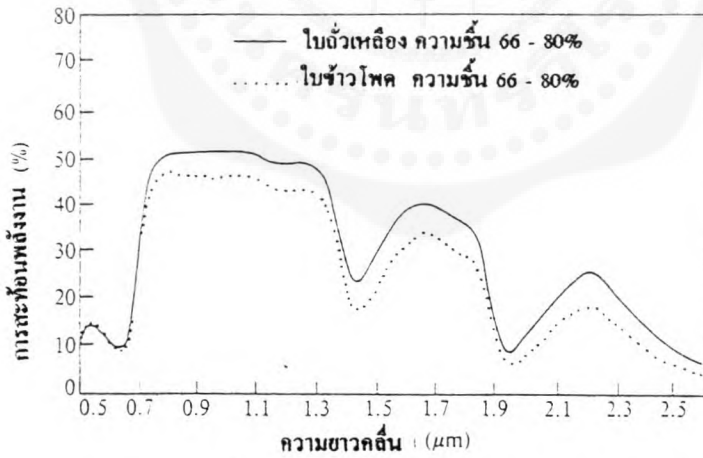
การสะท้อนพลังงานของพืชแตกต่างและผันแปรไปตามความยาวคลื่น พืชสีเขียวที่มีความสมบูรณ์กับพืชที่ไม่สมบูรณ์มีการสะท้อนที่แตกต่างกันด้วยสามารถเห็นได้จากเส้นโค้งของการสะท้อนพลังงาน ในช่วงคลื่นเห็นได้สิ่งที่ควบคุมการสะท้อนพลังของใบพืชได้แก่สารที่ทำให้เกิดสีในใบพืช (pigment) หรือคลอโรฟิลล์ ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มีการสะท้อนมากกว่าช่วงคลื่นอื่นๆ ใบพืชมีการดูดซับพลังงานน้อยมาก ช่วงคลื่นอินฟราเรดกลางน้ำในใบพืชเป็นตัวดูดซับพลังงานมากแต่เกิดขึ้นเฉพาะที่ในช่วงคลื่นนี้ เนื่องจากพืชสีเขียวมีน้ำในใบประกอบอยู่มาก

เมื่อพิจารณาในรายละเอียดการสะท้อนพลังงานของพืช ในช่วงคลื่นสีน้ำเงินและสีแดง พืชมีการสะท้อนพลังงานน้อยมากทั้งสองช่วงเนื่องจากพลังงานถูกดูดซับด้วยคลอโรฟิลล์ พลังงานที่ตกกระทบในช่วงคลื่นนี้มีศูนย์กลางอยู่ที่ 0.45 และ 0.65 ไมโครเมตร ส่วนในช่วงกลางระหว่างช่วงคลื่นสีน้ำเงินและสีแดงเป็นช่วงคลื่นสีเขียวซึ่งมีศูนย์กลางอยู่ที่ 0.54 ไมโครเมตรนั้นไม่มีการดูดซับด้วยคลอโรฟิลล์ดังนั้นพลังงานที่ตกกระทบในช่วงคลื่นนี้จึงมีการสะท้อนเป็นส่วนใหญ่มีการส่งผ่านพลังงานเพียงเล็กน้อย การสะท้อนพลังงานที่เกิดขึ้นในช่วงคลื่นสีเขียวของใบพืชที่สมบูรณ์ทำให้เรามองเห็นใบพืชเป็นสีเขียวแต่ในกรณีที่พืชไม่สมบูรณ์หรือเป็นโรคทำให้การผลิตคลอโรฟิลล์ลดลง ทำให้การดูดซับพลังงานลดน้อยลง พืชมีการสะท้อนพลังงานมากขึ้นโดยเฉพาะในช่วงคลื่นสีแดง ทำให้ใบพืชมีสีเหลือง

ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ พืชสมบูรณ์มีการสะท้อนพลังงานมากที่สุดที่ประมาณ 0.7 ไมโครเมตร มีการส่งผ่านพลังงานสูง และการดูดซับน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับในช่วงคลื่นเห็นได้ โดยทั่วไปแล้วพืชเกือบทุกชนิดมีการสะท้อน 45 - 50 เปอร์เซ็นต์ ส่งผ่านพลังงาน 45-50 เปอร์เซ็นต์ และดูดซับพลังงานน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ การสะท้อนพลังงานเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.6 การสะท้อนพลังงานในแต่ละช่วงคลื่นของพืชสีเขียว (ที่มา Swain & Davis, 1978 : 232)



รูปที่ 2.7 เส้นโค้งการสะท้อนพลังงานของข้าวโพด ถั่วเหลือง เปรียบเทียบระดับความชื้น (ที่มา Swain & Davis, 1978 : 236)

ในช่วง 0.7 ไมโครเมตรจนถึงประมาณ 1.4 ไมโครเมตร โครงสร้างภายในใบพืชเป็นตัวควบคุมการสะท้อน ในช่วงคลื่นนี้ พืชต่างชนิดกันมีโครงสร้างภายในใบพืชแตกต่างกัน ทำให้เส้นโค้งการสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้แตกต่างกันด้วยแม้ว่าในช่วงคลื่นเห็นได้ไม่สามารถเห็นความแตกต่าง ซึ่งข้อนี้เป็นประโยชน์ในการจำแนกชนิดของพืชได้

ในช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง มีการดูดซับพลังงานโดยน้ำในใบพืชที่ช่วงคลื่น 1.4, 1.9 และ 2.7 ไมโครเมตร โดยช่วงคลื่น 2.7 ไมโครเมตรมีการดูดซับสูงสุด การสะท้อนพลังงานสูงสุดที่ 1.6 และ 2.2 ไมโครเมตร การดูดซับพลังงานของใบพืชขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในใบ และความหนาของใบ เมื่อความชื้นในใบลดลง การสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดกลางเพิ่มขึ้น

กล่าวโดยสรุปการสะท้อนพลังงานของพืชมีความแตกต่างกันในช่วงคลื่นเห็นได้ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง ในช่วงคลื่นเห็นได้นั้นคลอโรฟิลล์ หรือธาตุสีที่มีอยู่ในใบมีความสำคัญในการดูดซับพลังงานมีการส่งผ่านพลังงานเพียงเล็กน้อย ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้โครงสร้างของใบเป็นตัวควบคุมการสะท้อน ประมาณครึ่งหนึ่งของพลังงานตกกระทบมีการสะท้อนกลับไป มีการดูดซับพลังงานเพียงเล็กน้อย ในช่วงคลื่นอินฟราเรดกลางปริมาณความชื้นในพืชเป็นตัวควบคุมการสะท้อน ในช่วงคลื่นนี้ น้ำในใบพืชดูดซับพลังงานเป็นส่วนใหญ่ที่เหลือจึงมีการสะท้อนกลับไป

4. การสะท้อนพลังงานของดิน

ดินแตกต่างจากพืชตรงที่ดินประกอบด้วยสสารหลายชนิดที่มีความสลับซับซ้อนมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกันตามชนิดของดิน ซึ่งมีผลต่อการดูดซับและการสะท้อนของดิน ปริมาณความชื้นในดิน อินทรีย์สาร เหล็กออกไซด์ จำนวนเปอร์เซ็นต์ของดินที่ประกอบด้วย ทราย โคลน ทรายละเอียด และความขรุขระของผิวดิน ล้วนมีผลต่อการสะท้อนพลังงานของดินทั้งสิ้น

เนื้อดิน (soil texture) ได้แก่ปริมาณสัดส่วนของ ดินเหนียว ทราย ทรายละเอียด โดยพิจารณาจากเส้นผ่าศูนย์กลางของวัตถุ ดินเหนียวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 0.002 มิลลิเมตร ทรายละเอียด 0.002 - 0.05 มิลลิเมตร และทราย 0.05 - 2.0 มิลลิเมตร การมีปริมาณสัดส่วนขององค์ประกอบเหล่านี้แตกต่างกันทำให้ได้ชนิดของดินที่แตกต่างกัน เช่น ถ้ามีดินเหนียวประกอบอยู่มาก ทำให้เนื้อดินแน่น มีทรายประกอบอยู่มากทำให้เป็นดินทราย ทำให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย เป็นต้น

ดินปนทรายความชื้นที่มีอยู่ในดินชนิดนี้ระเหยไปได้โดยง่ายเมื่ออากาศแห้งแล้ง ดินชนิดนี้จึงมีความชื้นน้อยเมื่ออากาศแห้ง การสะท้อนพลังงานมีมากการดูดซับพลังงานมีน้อยมาก หรืออาจไม่มีเลย ในกรณีที่มีความชื้นอยู่อาจมีการดูดซับพลังงานในช่วงคลื่น 1.4, 1.9 และ 2.7 ในช่วงคลื่นอินฟราเรดกลางลักษณะเดียวกับการดูดซับพลังงานของพืชเมื่อความชื้นของดินเพิ่มขึ้นการสะท้อนพลังงานของดินลดลง โดยเฉพาะในช่วงคลื่นที่มีการดูดซับพลังงานเหตุผลก็คือพลังงานถูกดูดซับโดยน้ำในดิน

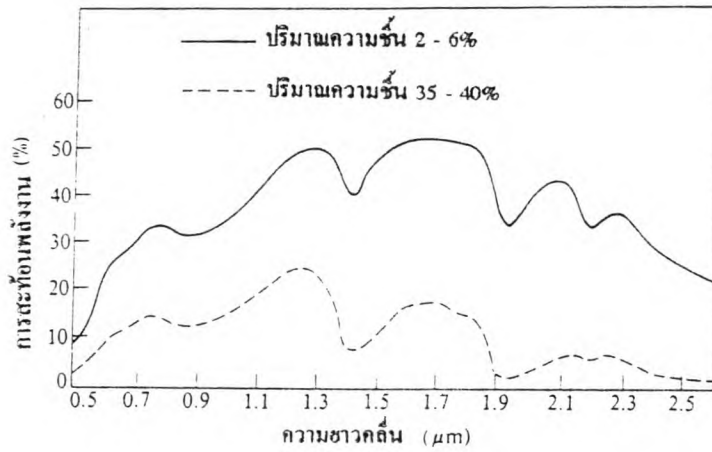
ในช่วงคลื่นเห็นได้ ดินที่มีความชื้นมีการสะท้อนพลังงานน้อยและเห็นในภาพถ่ายดาวเทียมเป็นบริเวณสีเข้ม เนื่องจากน้ำในดินดูดซับพลังงานไว้

เนื้อดินมีผลต่อการสะท้อนพลังงาน ทั้งในเรื่องของความสามารถในการเก็บ ความชื้น และขนาดของเม็ดดินที่มีผลต่อการสะท้อน ถ้าองค์ประกอบอื่นๆที่ ในขณะที่เม็ดดินลดขนาดลง จะทำให้พื้นผิวดินราบเรียบลง ทำให้ดินมีการสะท้อนพลังงานได้มากขึ้น ผลจากการคำนวณพบว่า ขนาดของเม็ดดินเพิ่มจาก 0.022 เป็น 0.65 มิลลิเมตร ทำให้การดูดซับพลังงานจากดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอย่างน้อยที่สุด 14 เปอร์เซ็นต์ (Swain & Davis, 1978 : 246) นอกจากนี้ยังได้พบว่า ปริมาณของทรายละเอียด (silt particle) ที่มีอยู่ในเนื้อดินมีผลต่อระดับของการสะท้อนพลังงาน ทั้งในช่วงคลื่นเห็นได้และช่วงคลื่นอินฟราเรดสะท้อนปริมาณของทรายละเอียดที่เพิ่มขึ้นทำให้การสะท้อนพลังงานเพิ่มขึ้นด้วย

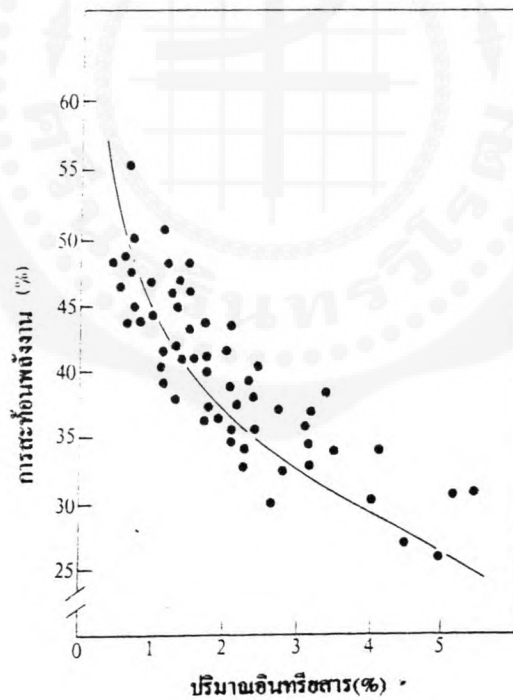
อินทรียสาร (organic matter) ที่มีอยู่ในดิน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการสะท้อนพลังงานของดิน อินทรียสารมีประโยชน์โดยตรงทางด้านเกษตรกรรม ปริมาณของอินทรียสารที่มีอยู่ในดินประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ทำให้เนื้อดินมีสีน้ำตาลหรือสีดำ ในดินที่มีอินทรียสารน้อยหรือไม่มีเลย ดินมีสีจางกว่า เป็นสีเทาจางหรือน้ำตาลอ่อน ปริมาณการสลายตัวของอินทรียสารมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีดินด้วย

ระบบการระบายน้ำและสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยเกี่ยวข้องกับการมีอินทรียสารในเนื้อดิน สภาพอากาศที่แตกต่างกันทำให้สีของเนื้อดินต่างกันทั้งที่ปริมาณอินทรียสารคงเดิม ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงตลอดปี มีระบบการระบายน้ำดี มีปริมาณอินทรียสารสูงเท่ากับดินในเขตอากาศหนาวเย็น มีแนวโน้มว่าสีของดินมีสีน้ำตาลแทนที่จะเป็นสีดำ ดังนั้นการพิจารณาการสะท้อนพลังงานของดินในส่วนของปริมาณอินทรียสารในเนื้อดินนั้น จึงต้องพิจารณาความสัมพันธ์ในเรื่องระบบการระบายน้ำและสภาพภูมิอากาศด้วย

เหล็กออกไซด์ ที่มีในดินทำให้ดินมีสีแดง ปริมาณเหล็กออกไซด์ที่มีมากขึ้น ทำให้การสะท้อนของดินลดลง โดยเฉพาะในช่วงคลื่นเห็นได้ และพบว่ามีผลกระทบต่อการสะท้อนพลังงานของดินถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ช่วงคลื่นที่มีผลมากที่สุดคือ 0.5 - 1.1 ไมโครเมตร เป็นที่น่าสังเกตว่าการมีอินทรียสารในดินก็มีผลกระทบต่อการสะท้อนพลังงานของดินในช่วงคลื่นเดียวกัน



รูปที่ 2.8 เส้น โค้งแสดงค่าการสะท้อนพลังงานของดินเหนียว
เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้น
(ที่มา Swain & Davis, 1978 : 245)



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินทรียสารและค่า
การสะท้อนพลังงาน
(ที่มา Seaim & Davis, 1978 : 247)

ในการวิเคราะห์ข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลหรือภาพถ่ายดาวเทียมนั้นบริเวณใดมีสีเข้มไม่อาจสรุปลงไปทันทีได้ว่า เป็นเพราะความชื้นในดินแต่อาจเกิดจากปริมาณอินทรีย์สาร ที่มีในเนื้อดินก็ได้ ที่ทำให้มีการสะท้อนพลังงานน้อย หรือเกิดจากปริมาณเหล็กออกไซด์ก็ได้ สิ่งที่ใช้ร่วมในการพิจารณาอีกประการหนึ่งก็คือ สภาพภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกันย่อมทำให้สภาพภูมิอากาศแตกต่างกันด้วย ซึ่งมีผลในการวิวัฒนาการของดิน

เมื่อเกิดปัญหาในการแปลภาพ พื้นที่ซึ่งเกิดมีสีเข้มอาจเกิดจากความชื้นในดินหรือปริมาณอินทรีย์สารก็ได้ อาจใช้วิธีการเปรียบเทียบภาพถ่ายในเวลาใกล้เคียงกันเพื่อผลการเปลี่ยนแปลง ถ้าพื้นที่ซึ่งเกิดมีสีจางลงแสดงว่าน่าจะเป็นเพราะความชื้นลดลงไม่ได้เกิดจากสภาพเนื้อดิน ถ้าพื้นที่ซึ่งเกิดยังคงมีสีเข้มเหมือนเดิมอยู่อาจใช้ภาพถ่ายในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนของบริเวณเดียวกันใช้ในการวิเคราะห์อีกครั้ง

ข้อมูลที่ได้จากช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนแตกต่างจากช่วงคลื่นอื่นๆ ตรงที่สามารถเก็บข้อมูลความร้อนของพื้นผิวโลกได้ ดินที่มีสีจางหรือสีเข้มก็ตาม ถ้ามีความชื้นอยู่ย่อมมีการระเหยทำให้สภาพอากาศเหนือดินเย็น ส่วนดินที่แห้งมีการดูดซับพลังงานและมีอุณหภูมิสูงกว่า เมื่อปรากฏในภาพถ่ายบริเวณที่แห้งเป็นสีจางหรือสีขาวในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบภาพในช่วงคลื่นสะท้อน กับช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน ถ้าพื้นที่ซึ่งเกิดยังคงมีสีเข้มอยู่ก็แสดงว่าเกิดจากความชื้นในดิน แต่ถ้าออกมาตรงกันข้าม คือ ในช่วงคลื่นสะท้อนเป็นสีเข้มและในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนเป็นสีจางก็อาจสรุปได้ว่าเป็นเพราะปริมาณอินทรีย์สารในเนื้อดิน แต่ดินแห้ง

อาจสรุปได้ว่า คุณสมบัติของดินเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการสะท้อนพลังงานของดิน ได้แก่ เนื้อดิน ความชื้น ความขรุขระของพื้นผิวดิน อินทรีย์สาร เหล็กออกไซด์ เหล่านี้เป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการสะท้อนพลังงานของดินที่มีมากน้อยแตกต่างกัน

5. การสะท้อนพลังงานของน้ำและหิมะ

การสะท้อนพลังงานของน้ำมีความผันแปรตามความยาวคลื่น โดยขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและสสาร ข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลในช่วงคลื่นอินฟราเรดเห็นตำแหน่งของแหล่งน้ำและขอบเขตได้ชัดเจน ส่วนหิมะได้ข้อมูลที่ดีในช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง

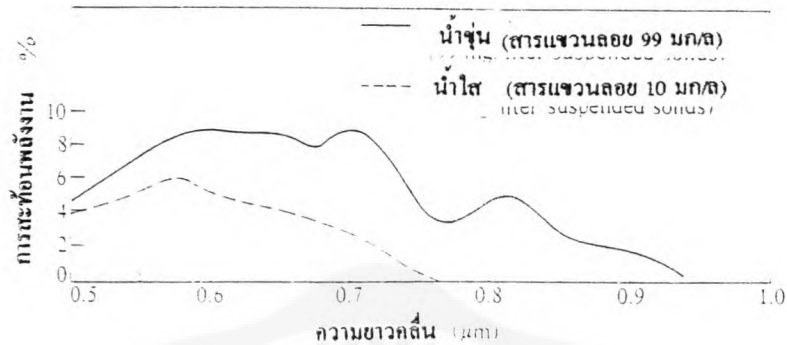
โดยธรรมชาติของน้ำดูดซับพลังงานที่ตกกระทบเกือบทั้งหมดทั้งในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และอินฟราเรดกลางแม้ว่าแหล่งน้ำนั้นเป็นแหล่งน้ำตื้นก็ตาม พลังงานที่สะท้อนในช่วงคลื่นทั้งสองจึงมีน้อยมาก ลักษณะเช่นนี้นับว่าเป็นประโยชน์ในการเก็บข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลเพราะมีความแตกต่างจากพืชพรรณธรรมชาติ และดินอย่างเห็นได้ชัด ทำให้สะดวกในการแปลความหมายและการทำแผนที่แหล่งน้ำ

ในช่วงคลื่นเห็นได้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและสสารมีความซับซ้อนมากขึ้นการสะท้อนพลังงานเกิดจากพื้นผิวน้ำและสสารที่เจือปนอยู่ในน้ำด้วยเช่น ตะกอนแขวนลอย (suspended materials) เป็นต้น การดูดซับและการส่งผ่านพลังงานของน้ำยังขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของสสารที่อยู่ในน้ำทั้งในสภาพที่เป็นอินทรีย์วัตถุและอนินทรีย์วัตถุ โดยปรกติน้ำใสมีการดูดซับพลังงานน้อยมากในช่วงคลื่นต่ำกว่า 0.6 ไมโครเมตร แต่มีการส่งผ่านพลังงานสูงเป็นที่น่าสังเกตว่า การส่งผ่านพลังงานของแหล่งน้ำธรรมชาติลดลงถ้ามีระดับความขุ่นของน้ำเพิ่มขึ้น การที่แหล่งน้ำมีการส่งผ่านพลังงานสูงแต่ดูดซับพลังงานน้อยอาจจะเป็นเครื่องบ่งชี้ได้ว่าแหล่งน้ำนั้นเป็นแหล่งน้ำตื้นและมีน้ำใส การสะท้อนของพลังงานที่บันทึกได้ในระบบสัมผัสระยะไกลอาจเกิดจากสสารที่เป็นทรายหินที่อยู่ใต้พื้นน้ำนั้น

จากผลการศึกษาของ Lepley, Foster และ Everett (Swain & Davis, 1978 : 256) ได้ประมาณความลึกของแหล่งน้ำใส 10 เมตร จากข้อมูลในช่วงคลื่น 0.5 - 0.6 ไมโครเมตร, 3 เมตรจากข้อมูล 0.6 - 0.7 ไมโครเมตร, 1 เมตรจากข้อมูล 0.7 - 0.8 ไมโครเมตร, 10 เซนติเมตรจากข้อมูล 0.8 - 1.1 ไมโครเมตร นอกจากนี้ผลการศึกษาของคนอื่นๆ ยังได้พบว่าข้อมูลแลนด์แชทในช่วงคลื่น 0.5 - 0.6 ไมโครเมตร เป็นข้อมูลที่ดีที่สุดในการวัดความลึกของน้ำ แต่มักใช้ได้ดีในบริเวณที่มีน้ำตื้นคือมีความลึกน้อยกว่า 5 - 15 เมตร

ในสภาพความเป็นจริงแหล่งน้ำของโลกในธรรมชาติไม่ใช่แหล่งน้ำใสแต่เป็นแหล่งน้ำที่มีการเจือปนของอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร บางประเภทก็มีลักษณะแขวนลอยตามผิวน้ำของแหล่งน้ำ สสารเหล่านี้เป็นสาเหตุของการเกิดการกระจาย การดูดซับของพลังงานที่ตกกระทบ และทำให้เกิดการผันแปรในการส่งผ่านพลังงาน น้ำขุ่นที่มีตะกอนแขวนลอยก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการสะท้อนพลังงานของแหล่งน้ำ จากผลการศึกษาพบว่าน้ำขุ่นมีการสะท้อนพลังงานได้ดีกว่าน้ำใส การสะท้อนพลังงานสูงสุดของน้ำขุ่นเกิดขึ้นในช่วงคลื่นยาวมากกว่าที่ปรากฏในน้ำใส

พืชในน้ำ เช่นสาหร่ายมีผลต่อการสะท้อนพลังงานเช่นกัน คลอโรฟิลล์ที่อยู่ในใบพืชทำให้การสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีน้ำเงินลดลงแต่มีการสะท้อนพลังงานเพิ่มขึ้นในช่วงคลื่นสีเขียว คลอโรฟิลล์และการสะท้อนพลังงานของพืชจึงมีความสัมพันธ์กัน มีการใช้เทคนิคสัมผัสระยะไกลในการศึกษาสำรวจสาหร่ายที่มีในแหล่งน้ำและความหนาแน่นของพืชน้ำชนิดนี้ด้วย แต่การศึกษาจำเป็นต้องทราบลักษณะทางด้านชีววิทยา วงจรชีวิตของพืชด้วย เช่นบางชนิดเกิดขึ้นในเขตน้ำลึกซึ่งการเก็บข้อมูลอาจไม่สามารถทำได้ หรือการมีวงจรชีวิตสั้นทำให้ข้อมูลที่ได้แตกต่างกันไปตามช่วงเวลา



รูปที่ 2.10 การสะท้อนพลังงานของน้ำขุ่นและน้ำใสในช่วงคลื่น 0.5 -1.0 ไมโครเมตร
(ที่มา Swain & Davis, 1978 : 257)

การสะท้อนพลังงานของหิมะ การศึกษาเรื่องหิมะโดยใช้ข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลเพื่อคาดการณ์ในเรื่องปริมาณน้ำที่เกิดจากการละลายของหิมะ เป็นสิ่งที่อยู่ในความสนใจของนักวิชาการอีกเรื่องหนึ่ง โดยเฉพาะในพื้นที่ภูเขาสูงที่ปรากฏอยู่ทั่วไปในโลก ในอดีตการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่เกิดจากการละลายของหิมะได้จากการวัดความลึกของหิมะในตำแหน่งต่าง ๆ หรือใช้วิธีการบินสำรวจเพื่อประมาณพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยหิมะ ในการศึกษาจากภาพถ่ายดาวเทียมในระยะแรกนั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากการสะท้อนพลังงานของหิมะและเมฆมีลักษณะที่คล้ายกันมาก โดยเฉพาะจากข้อมูลที่ได้จากแลนดแซท 1 ในช่วงคลื่น 0.5 - 1.1 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามการเก็บข้อมูลแบบหลายช่วงคลื่นจากดาวเทียมสกายแลปทำให้สามารถเห็นความแตกต่างระหว่างหิมะและเมฆได้เป็นครั้งแรกในช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง โดยเฉพาะระหว่าง 1.55 - 1.75 และ 2.10 - 2.35 ไมโครเมตร ในช่วงคลื่นนี้เมฆสะท้อนพลังงานสูงมากและปรากฏเป็นสีขาวในภาพดาวเทียม ในขณะที่หิมะสะท้อนพลังงานน้อยและปรากฏเป็นสีดำในภาพดาวเทียม

ช่วงคลื่นอินฟราเรดกลางเป็นช่วงคลื่นที่มีประโยชน์ในการทำแผนที่พื้นที่หิมะปกคลุม

2.5 การเก็บข้อมูลและการแปลความหมาย

จากความรู้ที่ได้ เราทราบว่าสสารทุกชนิดบนโลกที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์สามารถเปล่งพลังงานได้และสะท้อนพลังงานทั้งพืช ดิน น้ำ รวมทั้งสสารบนโลกอื่นๆ เมื่อมีเครื่องมือตรวจวัดการสะท้อนพลังงานเหล่านี้ก็สามารถศึกษา ปรากฏการณ์ตลอดจนสภาพแวดล้อมบนพื้นผิวโลกได้

การตรวจวัดพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทำได้ ทั้งโดยการถ่ายภาพและโดยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการถ่ายภาพนั้นเป็นวิธีง่าย และสะดวกราคาไม่แพง นอกจากนี้ยังเห็นรายละเอียดได้ชัดเจน

สำหรับเครื่องมือตรวจวัดอิเล็กทรอนิกส์ใช้สัญญาณไฟฟ้าในการตรวจวัดข้อมูล มีความสลับซับซ้อนและราคาแพงกว่าการถ่ายภาพ แต่มีข้อดีคือ ให้รายละเอียดได้มากกว่าและสามารถส่งผ่านข้อมูลได้

ในการเก็บข้อมูลสัมผัสระยะไกล มีทั้งข้อมูลที่ออกมาเป็นรูปภาพที่ได้จากการบันทึกลงบนฟิล์ม และสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่บันทึกลงบนเทปแม่เหล็กการแปลความหมายข้อมูลสัมผัสระยะไกลจึง มี 2 วิธี คือ การแปลความหมายด้วยสายตา (Visual interpretation) และการใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์ข้อมูล (Digital analysis) การแปลความหมายด้วยสายตามีข้อจำกัดในเรื่องสายตามนุษย์ในการแยกโทนสีในภาพ ความยุ่งยากในการจำแนกภาพที่คล้ายกันและต้องการแรงงานที่มีความชำนาญในการแปลภาพ ในขณะที่ข้อมูลมีรายละเอียดมากจึงมักใช้การแปลความหมายด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์

ภาพถ่ายดาวเทียมมีลักษณะแตกต่างจากภาพถ่ายโดยทั่วไปภาพถ่ายดาวเทียมประกอบด้วยจุดเล็ก ๆ จำนวนมากมายประกอบกันเป็นเนื้อภาพแต่ละจุดเรียกว่า จุดภาพ (picture element) หรือเรียกว่า pixel แต่ละจุดภาพมีค่าระดับสีเทาทุกจุดภาพ โดยค่าความเข้มนี้แตกต่างกันไปตามการสะท้อนพลังงานของวัตถุเป้าหมายบนพื้นผิวโลก

2.6 ข้อมูลอ้างอิง

การสำรวจข้อมูลสัมผัสระยะไกลมีความจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง เช่น การสังเกตและศึกษาปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับวัตถุเป้าหมายหรือพื้นที่ศึกษาแห่งนั้นก่อน ข้อมูลอ้างอิงอาจได้มาจากหลายทาง เช่น ข้อมูลแผนที่การสำรวจดินในพื้นที่ศึกษา รายงานการทดลองคุณภาพน้ำจากห้องปฏิบัติการ การปลูกพืช การใช้ที่ดิน ชนิดของพืชพรรณธรรมชาติ ปัญหามลพิษทางน้ำ หรืออาจใช้อุปกรณ์ เช่น แผนที่ ภาพถ่ายทางอากาศ เป็นต้น

นอกเหนือจากข้อมูลอ้างอิงที่นับว่ามีความสำคัญแล้ว อีกประการหนึ่งก็คือเป็นหัวใจของการศึกษาข้อมูลสัมผัสระยะไกลก็คือ การสำรวจพื้นที่ (ground truth) เพื่อความถูกต้องในการจำแนกข้อมูล

คำถามท้ายบทที่ 2

1. พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าคืออะไร มีความสำคัญต่อข้อมูลสัมผัสระยะไกลอย่างไร
2. ทฤษฎีสสารอธิบายการแผ่รังสีของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างไร
3. การกระจายของพลังงานมีกี่ประเภทอะไรบ้าง จงอธิบาย
4. การดูดซับพลังงานเกิดขึ้นได้อย่างไร จงอธิบาย
5. หน้าต่างบรรยากาศคืออะไร การเก็บข้อมูลสัมผัสระยะไกลใช้ประโยชน์ในเรื่องนี้อย่างไร
6. พื้นผิวของวัตถุบนพื้นผิวโลกกับการสะท้อนพลังงานมีความสัมพันธ์กันอย่างไร
7. จงกล่าวถึงการสะท้อนพลังงานของพืช
8. ปัจจัยที่มีอิทธิพลในการสะท้อนพลังงานของดินมีอะไรบ้าง
9. จงกล่าวถึงการสะท้อนพลังงานของน้ำและหิมะ

บทที่ 3

ภาพถ่ายทางอากาศกับการศึกษาลักษณะภูมิประเทศ

ภาพถ่ายทางอากาศนับเป็นข้อมูลสัมผัสระยะไกลในระยะเริ่มแรก นักภูมิศาสตร์ได้ใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์นี้ในการศึกษาสภาพพื้นที่ทั้งทางกายภาพและทางเศรษฐกิจ การทำความเข้าใจและการรู้จักใช้ภาพถ่ายทางอากาศจึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยการศึกษาทางด้านภูมิศาสตร์ได้กว้างขวาง และมีประสิทธิภาพ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการใช้ภาพถ่ายทางอากาศในการศึกษาลักษณะภูมิประเทศเพื่อทำความเข้าใจความคุ้นเคยกับการใช้ภาพถ่ายและใช้เป็นพื้นฐานในการแปลความหมายภาพถ่ายดาวเทียม ลักษณะที่สามารถคาดหมายได้จากการแปลความหมายจากภาพถ่ายทางอากาศได้แก่ ชนิดของหินพื้นฐาน ลักษณะภูมิประเทศ เนื้อดิน ระบบการระบายน้ำ สภาพน้ำท่วม ความลาดเทของพื้นที่ การใช้กล้องสเตรียโอสโคปทำให้สามารถเห็นภาพสามมิติของภาพถ่ายทางอากาศได้

แคมป์เบล (Campbell, 1978 : 57) ได้กล่าวถึงขั้นตอนพื้นฐานในการแปลความหมายเริ่มจากการสังเกต การตีความ และการตรวจสอบภาพถ่ายมีขั้นตอนพื้นฐาน 3 ประการที่ต้องคำนึงถึงในการแปลภาพ

1. การอ่านภาพถ่าย เป็นขั้นตอนของการสังเกต ตรวจสอบ ลักษณะเฉพาะของภาพถ่าย เช่นภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่บริเวณหนึ่งอ่านได้ว่าเป็นบริเวณที่มีสีจาง มีรูปร่างแตกต่างจากพื้นที่ใกล้เคียง มีลักษณะเป็นลูกเนินตามยาว
2. การวิเคราะห์ภาพถ่าย จากขั้นตอนแรกหลังจากการสังเกตตรวจสอบแล้วอาจจำแนกได้ว่าพื้นที่ที่สังเกตคืออะไร เช่น เป็นเนินทราย
3. การแปลความหมายภาพถ่าย จากขั้นตอนที่ 1 การอ่านภาพถ่ายขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์ภาพถ่าย ทำให้สามารถแปลความหมายได้เช่นบริเวณที่มีสีจาง มีรูปร่างเป็นลูกเนินตามยาว เป็นบริเวณเนินทรายที่มีระบบการระบายน้ำดีเป็นต้น

3.1 หลักการแปลภาพถ่ายทางอากาศ

ในการแปลภาพถ่ายทางอากาศมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาเกี่ยวข้องหลายประการได้แก่ รูปร่าง ขนาด รูปแบบ สี เนื้อภาพเงา ตำแหน่งที่ตั้ง และความสัมพันธ์ มีรายละเอียดดังนี้

1. รูปร่าง เกี่ยวข้องกับลักษณะทั่วไป โครงร่างหรือเส้นรอบรูปของวัตถุแต่ละชนิด ตัวอย่างสิ่งก่อสร้างที่เห็นได้ชัดได้แก่ อาคาร บ้าน เส้นทางคมนาคม พื้นที่เกษตร ลักษณะภูมิประเทศบางชนิดอาจมองเห็นได้ชัดเจน เช่น ภูเขาไฟ ลาวา เนินทราย ลำน้ำ เนินตะกอน รูปพัด ดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ

2. ขนาด มีการเปลี่ยนแปลงไปตามมาตราส่วนของภาพถ่ายการพิจารณาเรื่องขนาด ต้องคำนึงถึงความสูงของวัตถุด้วย มีวัตถุหลายชนิดที่เราไม่สามารถจำแนกได้จากภาพถ่ายทางอากาศถ้าวัตถุนั้นมีขนาดเล็กมาก มีบางกรณีที่เราเห็นได้ชัดเจนจากภาพถ่าย เช่น สนามบิน สนามฟุตบอล หรือ พื้นที่ที่มีการโค้งตัวของเปลือกโลก เป็นต้น

3. รูปแบบ (pattern) เกี่ยวข้องกับลักษณะการเรียงตัวของวัตถุ วัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้น และลักษณะภูมิประเทศตามธรรมชาติ มักจะมีการเรียงตัวที่มีลักษณะเฉพาะซึ่ง สามารถสังเกตเห็นได้ เช่น ลักษณะของเส้นโค้งหรือเส้นตรงของแนวรอยเลื่อน (Fault) รอยแตกของเปลือกโลก (fracture lineaments) คุ้งน้ำ (meander) รูปแบบของการระบายน้ำ (drainage pattern) ในส่วนของวัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น ทางรถไฟ ถนน เป็นรูปแบบที่เห็นได้ชัดเจนเช่นกัน

4. ความเข้มของสี หมายถึงสี และระดับความเข้มของสีที่ปรากฏในภาพ มีประโยชน์ในการแปลภาพมากเนื่องจากเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน ให้รายละเอียดได้ดีกว่าภาพขาวดำ ระดับความเข้มของสี (tone) ในภาพขาวดำใช้สีเทาแสดงความแตกต่างของระดับสีซึ่งแสดงถึงการสะท้อนแสงมากหรือน้อย ถ้าสีขาวแสดงว่ามีการสะท้อนแสงมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติในการสะท้อนแสงของวัตถุนั้นๆ มุมที่แสงตกกระทบกับวัตถุ และความไวของฟิล์มที่ใช้รวมทั้งขบวนการผลิตภาพด้วย ความแตกต่างของระดับความเข้มของสีใช้เป็นเครื่องชี้ความแตกต่างของดินและพืชพรรณธรรมชาติ ซึ่งทั้งสองประการนี้เป็นตัวชี้ในเรื่องความแตกต่างทางด้านธรณีวิทยาด้วย

5. เนื้อภาพ (texture) เกิดจากความถี่ของการเปลี่ยนระดับความเข้มของภาพเป็นผลรวมของระดับความเข้มของสี รูปร่าง ขนาด และรูปแบบ เนื้อภาพ เกิดจากการรวมหน่วยเล็ก ๆ ของลักษณะที่คล้ายๆ กัน ไว้ด้วยกัน การรวมกลุ่มนี้อาจปรากฏเป็นเนื้อภาพหลายชนิด เช่น เนื้อละเอียด หยาบ ราบเรียบ ขรุขระ เป็นต้น

เนื้อภาพใช้ในการอธิบายความหนาแน่นของระบบระบายน้ำได้ดี นอกจากนี้ยังใช้จำแนกความแตกต่างของธารลาวาด้วย ทั้งในเรื่องของอายุ และช่วงเวลา ของการผุกร่อนโดยลมฟ้าอากาศ ซึ่งมีผิวราบเรียบและขรุขระแตกต่างกัน

6. เงา เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการแปลภาพ วัตถุที่มีความสูงทำให้เกิดเงา เช่น ปล่องไฟ ต้นไม้ สะพาน แทงค์น้ำ ภูเขา ในพื้นที่ภูเขา การเกิดเงาทำให้ทราบตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และใช้ในการคาดคะเนความสูงของพื้นที่ได้ แต่เงาที่ปรากฏในภาพก็ทำให้มีข้อเสียตรงที่ทำให้ภาพในบริเวณนั้นขาดรายละเอียดไป

7. ตำแหน่งที่ตั้งเกี่ยวข้องกับที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ เช่นพืชบางชนิดขึ้นได้ดีในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำดีบางชนิดขึ้นได้ดี ในพื้นที่ลุ่มการแปลภาพจึงต้องคำนึงถึงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ด้วย

8. ความเกี่ยวพัน เกี่ยวข้องกับลักษณะที่มีความสัมพันธ์กัน เช่น เส้นทางคมนาคม กับ การตั้งถิ่นฐาน เส้นทางลำน้ำกับพืชพรรณธรรมชาติ เราสามารถใช้ประโยชน์จากความเกี่ยวพัน ในการแปลความหมายภาพถ่ายทางอากาศได้

3.2 องค์ประกอบในการแปลภาพถ่ายลักษณะภูมิประเทศ

การแปลความหมายภาพถ่ายทางอากาศสำหรับลักษณะภูมิประเทศมีสิ่งที่จะต้องพิจารณา ดังนี้

1. ลักษณะภูมิประเทศ (topography)
2. รูปแบบการระบายน้ำ (drainage pattern) และพื้นผิว (Texture)
3. การผุกร่อน (Erosion)
4. ระดับความเข้มของภาพ(Photo tone)
5. พืชพรรณธรรมชาติและการใช้ที่ดิน (Vegetation & Land use)

1. ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศและชนิดของหินพื้นฐานทำให้เกิดลักษณะเฉพาะที่ไม่เหมือนกัน สามารถเห็นความแตกต่างได้ในบริเวณขอบเขตภูมิประเทศทั้งสอง ภาพถ่ายทางอากาศแนวตั้งที่มีการซ้อนภาพ 60 เปอร์เซ็นต์ มักเห็นลักษณะภูมิประเทศสูงกว่าความเป็นจริง 3 หรือ 4 เท่า นอกจากนี้ slope มีความลึกชันกว่าปกติ ความคลาดเคลื่อนในแนวตั้งเกิดจากองค์ประกอบทางเรขาคณิตของตำแหน่งในขณะที่ยถ่ายภาพนั้น ระยะทางบนพื้นดินระหว่างจุดศูนย์กลางของภาพในขณะที่ถ่ายเรียกว่า ฐานถ่ายภาพในอากาศ (air base) อัตราส่วนระหว่างฐานถ่ายภาพในอากาศและระดับบิน (flying height) ใช้ในการพิจารณาความคลาดเคลื่อนในแนวตั้ง ถ้าอัตราส่วนของทั้งสองมีค่าสูงแสดงว่ามีความคลาดเคลื่อนสูงเช่นกัน

ตารางที่ 3.1 ความคลาดเคลื่อนของความลาดชันจากภาพสามมิติ (Slope Exaggeration)

ความลาดชันปกติ	ความลาดชันจากภาพถ่ายทางอากาศ (องศา)
0	0
2	6
5	15
10	28
15	39
30	60
45	72
60	79
90	90

2. รูปแบบการระบายน้ำและพื้นผิว

รูปแบบการระบายน้ำและเนื้อภาพที่ปรากฏบนภาพถ่ายทางอากาศเป็นเครื่องชี้ลักษณะภูมิประเทศและชนิดของหินพื้นฐาน นอกจากนี้ยังใช้พิจารณาลักษณะของดินและสภาวะของระบบ ระบายน้ำในบริเวณนั้น

รูปแบบการระบายน้ำ (Drainage Pattern) ที่พบบ่อย 7 ประเภทคือ

1.1 แบบกิ่งไม้ (Dendritic) ระบบระบายน้ำที่รวมสายใหญ่ และสาขาที่แตกกิ่งก้านสาขาออกไปอย่างอิสระในทุกทิศทางพบในโครงสร้างของหินที่มีลักษณะเหมือนกันตลอด เช่น หินชั้น และหินแกรนิต

1.2 แบบตั้งฉาก (Rectangular) มีลักษณะคล้ายกับ แบบกิ่งไม้ แต่มีโครงสร้างของหินพื้นฐานควบคุมการไหลของน้ำ ทำให้สาขาพบกันเป็นแบบตั้งฉาก มักพบในพื้นที่หินทรายที่มีการแตกตัวของหิน (joint) ปรากฏอยู่

1.3 แบบมุมฉาก (Trellis) ประกอบด้วยแม่น้ำสายหลัก 1 สาย มีสาขามาบรรจบกันเป็นมุมฉากและไหลลงสู่สายใหญ่ในลักษณะขนานกันพบในพื้นที่หินชั้นที่มีการโก่งตัว (Folded)

1.4 แบบรัศมี (Radial) เกิดจากแม่น้ำที่ไหลออกไปจากจุดศูนย์กลางเดียวกัน พบในพื้นที่ภูเขาไฟและภูเขารูปโดม

1.5 แบบศูนย์กลาง (Centripetal) เกิดในลักษณะตรงกันข้ามกับแบบรัศมี มีลำน้ำไหลเข้าสู่ศูนย์กลางเป็นลำน้ำสายสั้นๆ พบในพื้นที่หินปูนบริเวณที่มีหลุมยุบ (sinkhole) หุบภูเขาไฟ (crater) และพื้นที่ต่ำเป็นแอ่ง (depression)

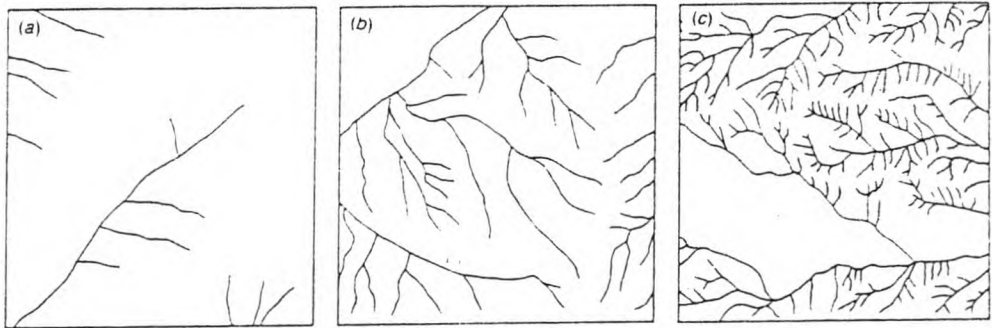
1.6 แบบวงกลม (Annular) การระบายของน้ำตามแนวระดับทางน้ำมี ทิศทางไหลบ่งคับด้วยรอยแยกของชั้นหิน ทางน้ำที่ไหลโอบภูเขาซัดเซาะเป็นวงโค้ง มีหลายทางไม่เชื่อมต่อกัน

1.7 แบบทิศทางไม่แน่นอน (Deranged) ลำน้ำมีทิศทางการไหลไม่แน่นอนพบทะเลสาบหรือแอ่งน้ำขนาดเล็กทั่วไป มีลำน้ำไหลลงสู่พื้นที่ต่ำเหล่านี้ มักพบในพื้นที่ อิทธิพลของธารน้ำแข็ง

สิ่งที่พบควบคู่กับระบบระบายน้ำก็คือพื้นผิวหรือเนื้อภาพที่ปรากฏทำให้ได้รายละเอียดที่ปรากฏบนภาพถ่ายทางอากาศ 2 ประการ คือ

1. ระบบระบายน้ำที่ให้พื้นผิวละเอียด พบในพื้นที่ ที่มีระบบระบายน้ำไม่ดี มีฝนตกมาก มีน้ำไหลผ่านมาก หินพื้นฐานมีความอ่อนตัวผุกร่อนพังทลายได้ง่าย เช่น หินดินดาน

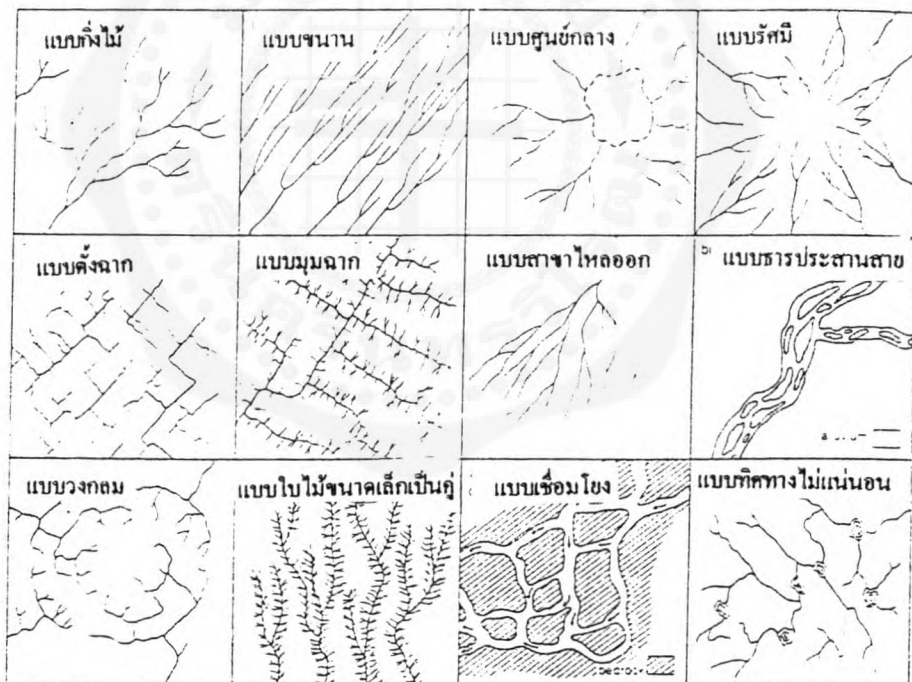
2. ระบบระบายน้ำที่ให้พื้นผิวหยาบ พบในพื้นที่ที่มีระบบระบายน้ำภายในดี มีน้ำไหลผ่านพื้นผิวน้ำไม่มาก หินพื้นฐานเป็นหินแข็ง เช่น หินแกรนิต



รูปที่ 3.1 ความหนาแน่นของระบบระบายน้ำ (drainage density)

(a) ต่ำ (b) กลาง (c) สูง

(ที่มา Andrew Goudie, 1985 : 137)



รูปที่ 3.2 ระบบระบายน้ำ (Drainage network)

(ที่มา Andrew Goudie, 1985 : 138)

3. การสุกร่อนพังทลาย

ร่องธาร (gully) เป็นเส้นทางระบายน้ำที่เล็กที่สุดที่สามารถเห็นได้บนภาพถ่ายทางอากาศ มีความกว้างประมาณ 1 เมตร ยาวประมาณ 100 เมตร เกิดจากการกระทำของน้ำในพื้นที่ที่มีฝนตกและมีน้ำไหลลงสู่ที่ต่ำอย่างรวดเร็วในขณะเดียวกันทำให้เกิดการพังทลายด้วย ในพื้นที่ที่มีกรวด ทราย มักมีรูปร่างแบบตัววี (V-shaped) ในพื้นที่ที่มีดินปนทรายมีรูปร่างแบบตัวยู (U-shaped)

4. ระดับความเข้มของภาพ

ระดับความเข้มของภาพหรือความสว่างความมืดในภาพ นอกจากขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศแล้ว ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางด้านการถ่ายภาพด้วย เช่น ชนิดของฟิล์ม ขบวนการในการผลิตภาพ องค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้แก่ สภาพอากาศ เช่น หมอก มุมดวงอาทิตย์ เงาของเมฆ เป็นต้น

การพิจารณาองค์ประกอบด้านภูมิประเทศ ในกรณีพื้นที่ไม่มีพืชพรรณธรรมชาติ บริเวณที่มีสีเทาจากมีแนวโน้มว่าเป็นที่สูงมีเนื้อดินหยาบดินมีความชื้นน้อยมีปริมาณอินทรีย์สารน้อย ความแตกต่างของระดับความเข้มในภาพจึงขึ้นอยู่กับสภาวะความชื้นในดิน และเนื้อดิน

5. พืชพรรณธรรมชาติและการใช้ที่ดิน

พืชพรรณธรรมชาติและพืชเกษตรกรรมสามารถใช้เป็นเครื่องชี้ความแตกต่างของสภาพพื้นที่ได้ เช่น พื้นที่ปลูกข้าว พื้นที่ปลูกพืชไร่ อยู่ในพื้นที่ที่แตกต่างกัน

พื้นที่ปลูกพืชเกษตร มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินตลอดทั้งปีเนื่องจากมีช่วงเวลาเพาะปลูก เก็บเกี่ยวและเตรียมดิน ระดับความเข้มของภาพจึงแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา

3.3 การวิเคราะห์ชนิดของหิน

การจำแนกชนิดของหินจากภาพถ่ายทางอากาศเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก หินที่แตกต่างกันให้ลักษณะของภาพถ่ายแตกต่างกันทั้งด้านองค์ประกอบ เนื้อหิน การสุกร่อน หินพื้นฐานโดยทั่วไปก็มักปกคลุมด้วยการทับถมตามธรรมชาติและมีพืชพรรณธรรมชาติขึ้นปกคลุม อย่างไรก็ตาม การศึกษา ลักษณะภูมิประเทศก็ให้ข้อมูลที่สำคัญในการจำแนกชนิดของหินได้ เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศเป็นสิ่งสะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการในการทับถมและพังทลายรวมทั้งการกำเนิดของหินและวิวัฒนาการตามลำดับต่อมาด้วย หลายครั้งที่การจำแนกลักษณะภูมิประเทศ นำไปสู่ความรู้ในเรื่องขบวนการเกิดหิน และการเกิดดิน จึงมีความจำเป็นที่ผู้แปลภาพควรมีความคุ้นเคยกับวิชาธรณีวิทยา ทำให้การแปลภาพมีความถูกต้องยิ่งขึ้น

1. หินอัคนี

1.1 หินอัคนีภายนอก มีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศแบบภูเขาไฟ ที่ประกอบด้วยภูเขาไฟ ธารลาวา (lava flows) เถ้าถ่าน (ash) ภูเขาไฟขนาดเล็ก (cinder cone) หุบภูเขาไฟ (craters) เป็นต้น ลักษณะภูมิประเทศมีสภาพขรุขระ ลาวาที่ลามาไหลมากให้ภาพ สี หรือระดับความเข้มที่มีลักษณะเฉพาะ การผุกร่อนด้วยลมฟ้าอากาศ (weathering) ที่เกิดขึ้นสังเกตได้จากความขรุขระของพื้นผิวลาวา เมื่อแยกชั้นลาวามักพบชั้นของ เถ้าถ่าน (ash, cinder) สลับอยู่กับลาวา อันแสดงถึงการระเบิดสลับกับการไหลของธารลาวา

หินอัคนีมักมีรูพรุน เกิดจากเมื่อเย็นลงอากาศหนีออกไปทำให้เป็นรูในเนื้อหิน ระบบการระบายน้ำพื้นผิวมีน้อยหรือไม่มีอยู่เลย บริเวณที่มีหินทัฟฟ์ (tuff) ที่มีเนื้อละเอียด มักพบระบบระบายน้ำแบบกิ่งไม้ (dendritic pattern) คล้ายกับบริเวณที่มีหินพื้นฐานเป็นหินดินดาน

พืชพรรณธรรมชาติ มีน้อยในบริเวณที่มีลาวาเกิดขึ้นใหม่ และเป็นเขตแห้งแล้ง มีพืชพรรณธรรมชาติมากในบริเวณที่มีลาวาเก่าและอยู่ในเขตร้อนชื้น และมีหนาแน่นในบริเวณที่มีดินดีที่พัฒนามาจากลาวา

ลาวามีความแตกต่างกันที่องค์ประกอบ และ อุณหภูมิ ทำให้เป็นหินเหลวที่มีความหนืด (viscosity) ไม่เหมือนกัน ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดขึ้นแตกต่างกันเป็นเพราะชนิดของลาวา ลาวาชนิดต่าง (basic lava) มีความหนืดต่ำ เย็นตัวช้า ทำให้เกิดหินบะซอลต์ที่มีผลึกขนาดเล็ก (aphanitic หรือ microcrystalline basalt) หินบะซอลต์มักมีรอยแตกแบบคอลัมน์ (columnar jointing)

การระเบิดของลาวาทำให้มีรอยแตกของเปลือกโลก (fissure eruptions) เกิดจากลาวาชนิดต่าง ตัวอย่างเช่น ที่ราบสูงเคคคานที่เกิดจากหินบะซอลต์ หุบภูเขาไฟที่ราบสูงเอธิโอเปีย ลักษณะภูมิประเทศเหล่านี้มีลักษณะเป็นที่ราบสูงที่มีผิวน้ำแบนราบจนถึงขรุขระ บริเวณตอนกลางมักมีผิวน้ำแบนราบเกิดจากลาวาที่มีความเหลว ส่วนบริเวณที่ขรุขระเกิดจากลาวาที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น ภูเขาไฟที่รู้จักกันดี เช่นภูเขาไฟในหมู่เกาะฮาวายเกิดจากลาวาชนิดต่าง ลาวาที่แข็งตัวมีรูปร่างแบบเกลียวเชือก (ropey) เมื่อลาวาเย็นตัวลงมีความหนืดมากขึ้น เมื่อแข็งตัวมีรูปร่างแบบแท่ง (blocky)

สีของภาพถ่ายทางอากาศมีแนวโน้มว่ามีสีเข้มจนถึงเข้มจัด โดยเฉพาะลาวาที่เพิ่งเกิดใหม่ ส่วนบะซอลต์ที่ผ่านกระบวนการผุกร่อนแล้ว รวมทั้งดินในบริเวณใกล้เคียงมักมีสีเทาเข้มหรือเทาจาง

ลาวาชนิดกรด (acidic lava) มีความหนืดมากกว่าลาวาชนิดด่าง เมื่อเย็นตัวลงฟองอากาศที่หนีออกไปทำให้เกิดรูพรุนเรียกหินชนิดนี้ว่า พัมมิช (pumice) การเย็นตัวอย่างรวดเร็วของลาวาชนิดนี้ทำให้เกิดหินที่มีเนื้อเหมือนแก้วเรียกว่า ออบซิเดียน (obsidian) มีสีดำเนื่องจากประกอบด้วยแมกนีไตต์ ลาวาชนิดกรดที่มีซิลิกาสูงมักเย็นตัวช้า ทำให้มีผลึกของควอทซ์และเฟลสปาร์เกิดขึ้นเรียกว่า ฟีนอคริสต์ (phenocrysts) เกิดหินที่เรียกว่า ไรโอไลต์ (rhyolite)

เมื่อภูเขาไฟระเบิด ซึ่งเกิดจากแรงดันมหาศาลภายในใต้พื้นโลก โดยเฉพาะจากลาวาที่มีความหนืดมาก ทำให้ระเบิดสู่อากาศอย่างรุนแรง กระจายภูเขาไฟแบบซับซ้อน (composite หรือ strato volcano) เกิดในลักษณะนี้โดยมี ธารลาวา (lava flow) สลับกับชั้นของสิ่งตกจมภูเขาไฟ (pyroclasts) โดยลาวาชนิดกรดที่มีความหนืดสูงมักมีรูปร่างแบบแท่ง มีผิวหน้าไม่สม่ำเสมอ ซิลิกาที่มีอยู่มากทำให้สีของลาวาค่อนข้างจาง เมื่อปรากฏในภาพถ่ายทางอากาศก็ทำให้มีสีจางเช่นกัน

ลาวาประเภทแอนดีไซต์มีลักษณะผสมระหว่าง ลาวาชนิดด่างและลาวาชนิดกรด มักแผ่เป็นบริเวณกว้าง มีความเหลวและลามไหลเป็นรูปเกลียวเชือก สีที่ปรากฏในภาพถ่ายมีตั้งแต่สีเทาจนถึงเทาเข้ม

เมื่อมีการระเบิดของภูเขาไฟ หินภูเขาไฟ (pyroclastic) ระเบิดขึ้นสู่อากาศและตกทับถมตกลงมาเป็นชั้นเล็กชั้นน้อยลงสู่พื้นดินอาจมีขนาดใหญ่มากกว่า 32 มิลลิเมตร ที่เรียกว่า บอมบ์ภูเขาไฟ (Volcanic bomb) ขนาดตั้งแต่ 32-4 มิลลิเมตร ที่มีขนาดใหญ่เรียกหินพัมมิช (pumice) ขนาดเล็กเรียกตะกอนภูเขาไฟหรือมูลภูเขาไฟ (cinder) ขนาด 4-0.25 มิลลิเมตร เรียกว่า tuff sand ขนาดเล็กกว่า 0.125 มิลลิเมตร เรียกว่า ฝุ่นภูเขาไฟ (tuff ash)

1.2 หินอัคนีภายใน

หินอัคนีมักมีเนื้อเดียวกันโดยตลอด ในเขตอากาศร้อนชื้นผลของการผุกร่อนพังทลายจากน้ำทำให้มีการขุดสีในบริเวณผิวหน้าจึงมักทำให้มีผิวเรียบกว่าในเขตอากาศแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง สิ่งที่ปรากฏอยู่เสมอก็คือรอยแตกในเนื้อหิน (joint) ซึ่งมักเห็นได้ง่ายจากภาพถ่ายทางอากาศ แม้ว่าจะมีพืชพรรณธรรมชาติปกคลุมอยู่ ก็ยังสามารถเห็นแนวแตกเป็นแนวเส้น (lineaments) ได้ชัดเจนโดยที่อาจจะมองไม่เห็นเมื่ออยู่ในพื้นที่

เนื่องจากเป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอดและยังมีความคงทนต่อการผุกร่อน ทำให้เกิดระบบระบายน้ำแบบกึ่งไม้ แต่การที่มีรอยแตกในเนื้อหิน รอยแตกเหล่านี้จึงเป็นตัวควบคุมทิศทางการไหลของน้ำที่สำคัญด้วย อาจทำให้เกิดลำน้ำแบบเส้นตรง ขนาน หรือเป็นเส้นวงกลมก็ได้

หินที่พบบ่อยได้แก่ แกรนิต แกรโนไดโอไรต์และไซไนต์ แหล่งของหินอัคนีภายในที่เรียกว่า ปื้นหินอัคนี (batholith) มักเชื่อมต่อกับแนวภูเขาชนิดโค้งตัวและแนวภูเขาขมักขนานกัน หินอัคนีรูปเห็ด (laccolith) และปื้นหินอัคนี เมื่อไหลผ่านพื้นผิวโลกขึ้นมาจะมีรูปร่างแบบโดมและมีขนาดใหญ่ และทำให้ระบบระบายน้ำในพื้นที่ที่มีรูปร่างแบบเป็นวงกลมหรือเป็นรูปรัศมี

การผุกร่อนโดยลมฟ้าอากาศที่เกิดขึ้นในเขตร้อนชื้นทำให้หินแกรนิตอยู่ในสภาพที่ไม่คงทนนัก ทำให้เกิดการสะสมตัวของดินและเกิดหินโคล์กระจัดกระจาย ในเขตอากาศแห้งแล้งแล้วผลของการผุกร่อนที่เกิดขึ้นเป็นเวลานาน แม้ว่าจะมีอากาศแห้งแล้ง หรืออยู่ในที่สูงก็อาจทำให้หินแกรนิตมีผิวเรียบได้ ในทางตรงกันข้ามในเขตอากาศร้อนชื้น การผุกร่อนที่เกิดขึ้นยังไม่สมบูรณ์และเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วก็อาจทำให้ หินแกรนิตมีผิวหน้าแหลมคมขรุขระได้เช่นกัน

หินชนิดกรด (acidic rocks) เช่น หินแกรนิต ไชไนต์ แกรโนไดโอไรต์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ของแร่ธาตุที่มีสีจางสูง ทำให้มีสีเทา ชมพู หรือเขียวอ่อน ปรากฏในภาพถ่ายทางอากาศเป็นสีเทาจางจนถึง เทาปานกลาง

หินชนิดด่าง (basic rocks) เช่น แกบโบร (gabbro) มีเปอร์เซ็นต์ของแร่ธาตุที่มีสีเข้มสูง เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก. ทำให้ปรากฏในภาพถ่ายทางอากาศเป็นสีเข้ม หรือ ดำ

2. หินชั้น

หินชั้นหรือหินตะกอน เกิดจากการสะสมของตะกอนทั้งที่เป็นอนินทรีย์สารและอินทรีย์สาร ตะกอนที่เกิดจากอนินทรีย์สารมีทั้งชนิดหยาบ (coarse clastics) เช่น กรวด ทราย และตะกอนชนิดละเอียด (fine clastics) เช่น ดินโคลน ส่วนตะกอนที่เกิดจากอินทรีย์สารได้ทั้งจากสัตว์และพืชที่มีอยู่ตามธรรมชาติเมื่อมีการผืนึกตัวและกาลเวลายาวนานทำให้เปลี่ยนสภาพและกลายเป็นหินได้

การสะสมของตะกอนในลักษณะที่ไม่ผืนึกตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Unconsolidated) พบในพื้นที่บริเวณเชิงเขา ทำให้เกิดภูมิประเทศต่าง ๆ เช่น เนินตะกอนรูปพัด เป็นต้น ส่วนการทับถมโดยมีการผืนึกตัวเองของวัตถุมีการสมานตัวจนเป็นเนื้อเดียวกัน (consolidated) อาจเกิดจากวัตถุขนาดต่าง ๆ กันมีการทับถมต่อเนื่องในช่วงเวลายาวนาน และผืนึกตัวกลายเป็นชั้นหิน โดยทั่วไปการสะสมของตะกอนชนิดนี้ มักมีชั้นปรากฏเป็นแนวในเนื้อหิน หรือเรียกว่า bedding หรือ banding ชั้นหินที่ปรากฏนี้อาจแสดงให้เห็นความแตกต่างของช่วงเวลาการตกทับถมของตะกอน

ตะกอนหยาบ (coarse clastics) ได้แก่ หินกรวด ทราย มักให้สีเทาจาง เหลือง หรือน้ำตาล และในภาพถ่ายทางอากาศเห็นเป็นสีเทาจางหรือเทาปานกลาง ทรายเห็นเป็นสีจางในภาพ ส่วนตะกอนละเอียด เช่น ดินโคลน เป็นที่มาของหินดินดาน หินชนิดนี้มีความคงทนต่ำ ในเขตอากาศชุ่มชื้นมักมีผิวเรียบ ส่วนในเขตแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้งมีการกัดกร่อนจนทำให้พื้นที่ภูเขา มีความสูงชัน เกิดภูมิประเทศแห้งแล้ง (badlands) โดยทั่วไปแล้วหินดินดานมักมีชั้นสลับกับหินทราย และหินปูน การผุกร่อนทั้งหลายเกิดขึ้นไม่เท่ากัน

ระบบระบายน้ำในพื้นที่หินชั้นที่เกิดจากตะกอนหยาบมีความหนาแน่นต่ำถึงปานกลาง ส่วนในพื้นที่หินดินดานมีความหนาแน่นสูง

หินปูนเป็นหินชั้นที่ละลายตัวได้ง่ายเมื่อมีน้ำ ในเขตอากาศร้อนชื้น ภูเขาหินปูนจึงมีลักษณะภูมิประเทศเฉพาะ เช่น ถ้ำ หินงอก หินย้อย ปรากฏอยู่ทั่วไป ทางน้ำไม่ปรากฏต่อเนื่องบนพื้นผิวเนื่องจากซึมลงใต้ผิวดิน บางบริเวณมีการทรุดตัวเป็นหลุมยุบ (sinkhole) ซึ่งเกิดจากหินปูนละลายโดยกระบวนการผุกร่อนทางเคมี เกิดเป็นลักษณะภูมิประเทศเรียกว่า พื้นที่หินปูน (karst topography) ในพื้นที่นี้พืชพรรณธรรมชาติเกิดขึ้นได้น้อย ในภาพถ่ายทางอากาศเห็นรายละเอียดของพื้นที่ได้ค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะหลุมหินปูน

3. หินแปร

ความร้อนและแรงกดดันเป็นองค์ประกอบสำคัญของการเกิดหินแปร (metamorphism process) หินชั้นหรือหินอัคนีที่แปรสภาพอาจยังสามารถเห็นสภาพดั้งเดิมได้ถ้าผ่านกระบวนการแปรสภาพที่ไม่รุนแรง หินที่ผ่านกระบวนการแปรสภาพแล้วมีความคงทนในระดับเดียวกัน หินควอร์ตไซต์มีความคงทนมากกว่าหินชนิดอื่นในสภาพอากาศที่ผันแปร ระบบระบายน้ำมีความหนาแน่นต่ำเนื่องจากหินมีความคงทนสูง ส่วนใหญ่ที่พบเป็นระบบระบายน้ำแบบกึ่งไม้ แบบวงกลม หรือ แบบมุมฉาก สีที่ปรากฏในภาพถ่ายเทอปานกลางมีพืชพรรณธรรมชาติน้อยหรือเกือบไม่มีเลย

หินอ่อน ในเขตอากาศแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้งมีความคงทนระดับเดียวกันกับหินควอร์ตไซต์ แต่ในเขตอากาศร้อนชื้นละลายตัวได้ง่าย ในภาพถ่ายทางอากาศมีผิวเรียบและสีจาง

หินชนวน มีความคงทนต่ำ บริเวณสันเขามีความลาดเทสูง ในเขตแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้งการผุกร่อนมีความรุนแรง ระบบระบายน้ำเป็นแบบกึ่งไม้ และแบบวงกลม สีในภาพถ่ายเทอปานกลาง เทาเข้มจนถึงดำ

หินชีสต์ ระบบระบายน้ำมักเป็นรูปกึ่งไม้ ซึ่งควบคุมโดยริ้วขนาน (foliation) และรอยแตก (joint) ในเขตอากาศร้อนชื้นมักมีพืชพรรณธรรมชาติหนาแน่น

หินไนส์ มีความคงทนกว่า ชีสต์และฟิลไลต์ แต่น้อยกว่า ควอร์ตไซต์ ลักษณะปรากฏโดยทั่วไปคล้ายกับหินอัคนีภายใน บริเวณที่เป็นหุบเขามักมีสีเข้มในภาพถ่าย และบริเวณยอดเขามีสีจางกว่า

3.4 วิธีการจำแนกลักษณะหินจากภาพถ่ายทางอากาศ

1 หินแกรนิต

ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่สูงประกอบด้วยที่ราบสูงและภูเขาต่อเนื่องกันเป็นพื้นที่กว้างใหญ่ ไม่มีชั้นหิน มียอดเขาสูงหลายระดับและมีลาดเขาชันมีภูเขารูปโดม มักพบรอยแตกมากไม่สม่ำเสมอ ความรอยแตกอาจมีแอ่งที่ต่ำมีการสะสมตัวของดินและมีพืชพรรณธรรมชาติ มีเส้นทางน้ำในพื้นที่นี้ด้วย

ระบบการระบายน้ำเป็นรูปกิ่งไม้ มีพื้นผิวหยาบ มีแนวโน้มลำน้ำไหลโค้งไปตามเนินเขา รูปโคม ลำน้ำสาขาไหลตามแนวรอยแตก (joint) มีร่องธาร (gully) น้อย ยกเว้นในพื้นที่ที่มีการสะสมตัวของดิน (residual soil) สึกมาก ๆ

มีพืชพรรณธรรมชาติน้อย ในเขตอากาศแห้งแล้ง ส่วนในเขตอากาศชุ่มชื้นมักพบป่าไม้ สลับกับหินโผล่ (outcrop) พืชพรรณธรรมชาติพบในบริเวณแอ่งตามแนวรอยแตก

หินแกรนิตมักจำแนกผิดเป็นหินทรายที่วางตัวในแนวราบความแตกต่างที่เด่นชัด ในการจำแนกหินแกรนิตและหินทรายสรุปได้ดังนี้ หินแกรนิตไม่มีชั้น หินทรายมีชั้น หินโผล่แกรนิตมีความสูงแตกต่างกัน หินโผล่ของหินทรายมักปรากฏเป็นที่ราบสูง หินแกรนิตหน้าผามีความโค้งมน หินทรายหน้าผาอยู่ในแนวตั้ง หินแกรนิตเมื่อแตกมีขนาดเล็กรูปร่างกลมมน หินทรายเมื่อแตกมีขนาดเล็กรูปเหลี่ยม รอยแตกหินแกรนิตไม่สม่ำเสมอ และมีแอ่งที่ต่ำปรากฏร่วมด้วย หินทรายรอยแตกมีทิศทางหลัก 2-3 แนว

2. ธารลาวา

ลักษณะภูมิประเทศ ธารลาวาในที่นี้ไม่รวมพื้นที่บะซอลต์ซึ่งมีลักษณะเฉพาะ ธารลาวาที่หลังไหลออกมาจากปากถ่องภูเขาไฟ รวมทั้งตะกอนภูเขาไฟ (cinder) และกรวย ภูเขาไฟ (lava cone) ลาวาหนืด (viscous lava) เป็นที่มาของหินไรโอไลต์และ แอนดีไซต์ มีความหนาและด้านข้างมีขอบชัน ลาวาเหลว (fluid lava) เป็นที่มาของหิน บะซอลต์ ธารลาวามีความบางกว่าลาวาหนืด หนาไม่เกิน 15 เมตร มีระบบการระบายน้ำดี

ความเข้มของภาพ บะซอลต์มีสีเข้ม แอนดีไซต์มีสีเข้มปานกลาง ไรโอไลต์มีสีเทาจาง ถ้าไม่มีการผุกร่อนสลายตัวไม่มีพืชขึ้น การใช้ประโยชน์จากที่ดิน ใช้ทำการเกษตรในพื้นที่ที่มีการสลายตัวของลาวาแล้ว

3. พื้นที่บะซอลต์ (flood basalt)

ลักษณะภูมิประเทศ พื้นผิวมีระดับเดียวกัน มักมีลำน้ำตัดผ่าน ทำให้เกิดหุบเขาลึก บางครั้งพบในบริเวณที่ราบสูง มีรอยแตกรูปแท่งหรือคอลัมน์ ในบริเวณหน้าผาและหุบเขา ระบบการระบายน้ำดี ร่องธารมีน้อยยกเว้นในบริเวณที่มีกัรสะสมดินหนา

ความเข้มของภาพ หินบะซอลต์ มีสีดำหรือสีเข้มเห็นได้ชัดเจนตามแนวหน้าผาและหุบเขา ตามพื้นดินมักมีพืชพรรณธรรมชาติโดยเฉพาะเมื่อบะซอลต์สลายตัวเป็นดิน

ในเขตแห้งแล้ง พื้นที่บะซอลต์ที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำมักใช้ทำการเกษตรเพื่อใช้การชลประทานช่วย

ข้อนำสังเกต ในบริเวณพื้นที่บะซอลต์มักเกิดแผ่นดินถล่ม (landslide) ในบริเวณหน้าผาโดยเฉพาะเมื่อลำน้ำไหลผ่านบริเวณพื้นที่ลาดเขา พื้นที่บะซอลต์มักจำแนกผิเป็นที่ราบสูงหินทราย ข้อแตกต่างที่ใช้จำแนกได้แก่ ระดับความเข้มของสี บะซอลต์มีสีเข้ม หินทรายมีสีจาง รอยแตกของหิน บะซอลต์มีรอยแตกรูปแท่งแบบคอลัมน์ หินทรายมีรอยแตก 2-3 ทิศทาง และมีบริเวณกว้างกว่า ระบบระบายน้ำ พื้นที่บะซอลต์มีระบบระบายน้ำในพื้นที่ หินทรายมีระบบระบายน้ำแบบกิ่งไม้และพื้นผิวมีความหนาแน่นต่ำ

4. หินทราย

ลักษณะภูมิประเทศมีเนื้อเดียวกันตลอด มีความแข็ง ลักษณะเนินเขาหรือภูเขาขุดป้าน เขียงเขามีความชันเป็นแนวตั้ง ระบบระบายน้ำมีพื้นผิวหยาบควบคุมโดยรอยแตก รูปแบบระบายน้ำแบบกิ่งไม้ มักพบการระบายน้ำแบบมุมฉากที่เกิดจากลำน้ำมีทิศทางตั้งฉากกัน เนื่องจากรอยแตกมีร่องธารน้อย มีหุบเขารูปตัววีในบริเวณที่มีการสะสมตัวของดิน

ระดับความเข้มของภาพ โดยทั่วไปมีสีจางขึ้นอยู่กับหินพื้นฐานมีการระบายน้ำภายในที่สีทั้งของดินและหิน หินทรายสีแดงในเขตแห้งแล้ง เมื่อถ่ายภาพอาจเห็นเป็นสีดำหรือสีเข้ม ดินไม้ที่ขึ้นหนาแน่นบนหินทรายในเขตอากาศชุ่มชื้นทำให้เกิดเป็นสีดำหรือสีเข้มในภาพ

พืชพรรณธรรมชาติในเขตแห้งแล้งมีน้อย ในเขตชุ่มชื้นมีป่าไม้ปกคลุมทั่วไป ดินมีการระบายน้ำดีทำให้ทำการเพาะปลูกได้

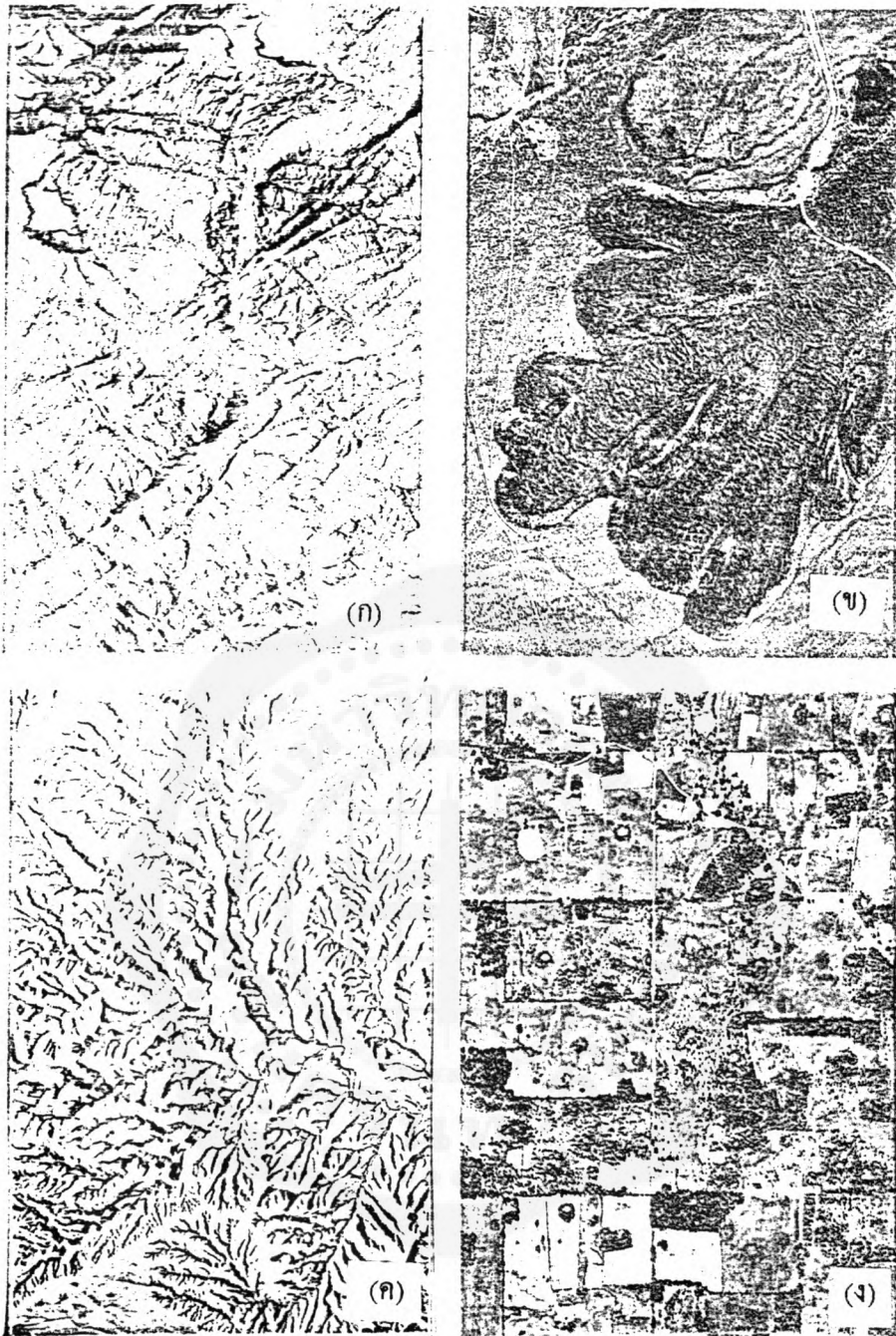
บางครั้งอาจจำแนกผิเป็นแกรนิต ในเขตชุ่มชื้นที่มีภูเขาหินทรายเป็นที่สูงมีผิเนื้อราบเรียบ บริเวณที่มีดินเลสปกคลุมมักใช้ทำการเกษตร

5. หินดินดาน

ลักษณะภูมิประเทศ ในเขตอากาศแห้งแล้งพื้นที่ถูกกัดเซาะโดยลำน้ำที่ไหลตัด ผ่านเขียงเขามากพบร่องธารอันเกิดจากน้ำไหลแรงแม้ว่ามีฝนตกในระยะสั้นๆ ในเขตอากาศชุ่มชื้นพื้นที่ลาดเขามีลักษณะค่อนข้างราบเรียบ ไม่ขรุขระเพราะการขัดสีโดยน้ำ เนินเขามีลักษณะกลมมน

ระบบระบายน้ำเป็นแบบกิ่งไม้ มีการไหลคลไคลงของลำน้ำ ระบบระบายน้ำมี พื้นผิวละเอียดถึงปานกลางในเขตอากาศชุ่มชื้น

ระดับความเข้มของภาพมีความผันแปรมากโดยทั่วไปมีสีเข้มเปรียบเทียบกับหินทรายและหินปูน ความแตกต่างในระดับความเข้มอาจเป็นแนวของชั้นหิน (bedding)



รูป 3.3 (ก) หินแกรนิตในเขตอากาศแห้งแล้ง
 (ข) ธารลาวาหนืด (viscous lava flow)
 (ค) หินคินดาน
 (ง) หินบุน
 (ที่มา Lillesand and Kiefer , 1994 : 249-256)

ในเขตอากาศแห้งแล้งไม่มีพืชขึ้นยกเว้นพืชพรรณในเขตทะเลทราย ในเขตอากาศชุ่มชื้นใช้ที่ดินในการเพาะปลูกและมีพื้นที่ป่าไม้หนาแน่นหินดินดานบางครั้งจำแนกผิดเป็นดินเล็ค

6. หินปูน

ลักษณะภูมิประเทศ หินปูนในเขตอากาศชุ่มชื้น พื้นผิวเป็นลูกคลื่นสลับด้วยหลุมยุบ (sinkhole) มีความลึก 3-15 เมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-50 เมตร

ระบบระบายน้ำแบบศูนย์กลางในแต่ละหลุมยุบ มีลำน้ำไหลบนพื้นผิวน้อย ลำน้ำจากพื้นที่ใกล้เคียงเมื่อผ่านพื้นที่หินปูนไหลลงใต้ดิน พบร่องธารในบริเวณที่มีการสะสมตัวของดิน

ระดับความเข้มของภาพ ขึ้นอยู่กับการพัฒนาของหลุมยุบ พื้นที่เป็นหลุมหรือแอ่งมักมีสีเข้มบริเวณที่มีการละลายของหินปูนไม่สามารถใช้พื้นที่ได้

7. หินชั้นในแนวราบ

หินชั้นต่างชนิดกันเรียงตัวสลับชั้นกัน ความทนทานต่อการสึกกร่อนไม่เท่ากัน หินที่มีความคงทนในบริเวณที่ราบสูงหรือภูเขาส่วนใหญ่เป็นหินทราย โดยเฉพาะในเขตอากาศชุ่มชื้น ส่วนในเขตอากาศแห้งแล้งหินที่มีความคงทนได้แก่ หินทรายและหินปูน

หินที่มีความคงทนและมีความหนามากกว่า 10 เมตร หรือมากกว่าขึ้นไปเห็นลักษณะเป็นชั้นบันไดได้ชัดเจนในภาพ เมื่อชั้นที่คงทนมีความหนา 2 - 3 เมตร สังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงของความลาดชันได้ยากในภาพ ในเขตอากาศชุ่มชื้นความแตกต่างของภูมิประเทศระหว่างหินต่างชนิดกันมีมากกว่าในเขตอากาศแห้งแล้ง

ระบบระบายน้ำเป็นแบบกึ่งไม้ ความหนาแน่นของพื้นผิวระบบระบายน้ำขึ้นอยู่กับชนิดของหิน

ระดับความเข้มของภาพมีความแตกต่างกัน อาจเป็นสาเหตุมาจากพืชพรรณธรรมชาติแตกต่างกัน ความสมบูรณ์ของพืชที่ขึ้นบนดินที่สลายตัวมาจากหินพื้นฐานที่ต่างกัน ในหินทรายและหินดินดานที่สลับชั้นกันในเขตอากาศชุ่มชื้นอาจมีป่าไม้ปกคลุมบนหินทราย และใช้พื้นที่ทำการเกษตรบนดินที่สลายตัวมาจากหินดินดาน

ข้อสังเกตหินทรายที่เรียงตัวเป็นชั้นตามแนวอนบนหินดินดานมักถูกจำแนกผิดเป็นพื้นที่บะซอลต์

8. หินชั้นในแนวเท

ลักษณะภูมิประเทศ หินชั้นต่างชนิดกันเรียงตัวสลับชั้นกันในแนวเท เทือกเขาที่วางตัวเป็นแนวเทอันเกิดจากการสึกกร่อนพังทลาย ทำให้เห็นชั้นหินโคลงพื้นพื้นผิวโลก เทือกเขาเป็นแนวตรงหรือเป็นแนวโค้ง

มีระบบระบายน้ำแบบมุมฉาก ลำน้ำสายใหญ่ตัดผ่านตามแนวหุบเขาและลำน้ำสาขาไหลตัดผ่านไปตามแนวเขา และตามแนวหน้าผาบรรจบกับลำน้ำสายใหญ่เป็นมุมฉาก

ระดับความเข้มของภาพผันแปรไปตามชนิดของหิน พืชพรรณธรรมชาติ สิ่งที่มีปรากฏอยู่ในบริเวณที่มีชั้นหินมีแนวเอียงในเขตอากาศชุ่มชื้นก็คือป่าไม้บนเทือกเขาหินทราย และทำการเกษตรในหุบเขาหินดินดาน

9. หินแปร

หินแปรที่พบทั่ว ๆ ไป ได้แก่ ควอร์ตไซต์ หินชนวน หินอ่อน ไนส์ และชีสต์ เคมีเป็นหินชั้นหรือหินอัคนีแต่ได้แปรสภาพเนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดจากความร้อนและความกดดันที่เพิ่มมากขึ้น แร่ธาตุที่มีอยู่ในเนื้อหินมีการแปรสภาพและเกิดแร่ธาตุใหม่รวมทั้งเนื้อหิน โครงสร้างเดิมก็เปลี่ยนไป ประมาณว่าการแปรสภาพเกิดขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 100 องศาเซลเซียส และความกดดันเท่ากับความกดดันที่อยู่ลึกลงไปจากพื้นผิวโลก 3 กิโลเมตร ส่วนการแปรสภาพเกิดได้สูงสุดเมื่ออุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และมีความกดดันระดับลึก 35 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก ถ้าภาวะอุณหภูมิและความกดดันสูงกว่านี้เกิดหินหลอมละลายหรือแมกมา (magma) ภายใต้มันโลกเกิดหินอัคนี

หินแปรส่วนใหญ่มีแนวหรือแถบเห็นได้ชัดเจนจากการตรวจสอบในพื้นที่จริง และการแปลภาพถ่ายสำหรับหินแปรทำได้ยุ่งยากกว่าหินอัคนีและหินชั้นจึงจำเป็นต้องใช้การตรวจสอบในสนามและข้อมูลอ้างอิงประกอบ

3.5 วิธีการจำแนกลักษณะภูมิประเทศจากภาพถ่ายทางอากาศ

1. ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดจากกระบวนการน้ำไหล

น้ำเป็นตัวการธรรมชาติที่ทำให้เกิดการผุกร่อนพังทลาย การพัดพาไป การขนย้ายวัตถุหรือตะกอน รวมทั้งการทับถม ลักษณะภูมิประเทศที่เด่นได้แก่ เนินตะกอนรูปพัด (alluvial fans) ที่ราบน้ำท่วมถึง (flood plain) ดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ (delta) ความสามารถในการพังทลายหรือพัดพาตะกอนทั้งดินและหิน ขึ้นอยู่กับความเร็วของน้ำและขนาดของวัตถุ

1.1 เนินตะกอนรูปพัด มีความลาดเท 2 - 15 เปอร์เซ็นต์จากยอด มีรูปร่างคล้ายพัด ระบบการระบายน้ำภายในดี มีร่องธารน้อย มีเส้นทางระบายน้ำมากมาย ระดับความเข้มของภาพมีสีเทาจาง เส้นทางน้ำมีสีเข้มกว่า ไม่มีพืชพรรณธรรมชาติ ในเขตอากาศชุ่มชื้นอาจมีการเพาะปลูก

1.2 ที่ราบน้ำท่วมถึง มีความลาดเทต่ำ พื้นที่โดยทั่วไปเป็นพื้นราบ มีคันดินธรรมชาติ (natural levee) มีระดับสูงกว่าพื้นที่โดยรอบเล็กน้อย มีแม่น้ำสายใหญ่ไหลผ่านบนพื้นที่ราบอันกว้างใหญ่ มีแม่น้ำสายรองเข้ามาสมทบบริเวณใกล้ขอบที่ราบและไหลมาบรรจบกับลำน้ำสายใหญ่ มีระดับความเข้มของสีที่ซับซ้อนในภาพ แสดงให้เห็นถึงดินที่มีชนิดต่าง ๆ และมีความชื้นแตกต่างกัน ตะกอนหัวหาด (point bar deposit) มีสีจางสลับด้วยสีเข้ม ในบริเวณแอ่งที่ต่ำ คันดินธรรมชาติ มีสีจางกว่าพื้นที่รอบ ๆ ทะเลสาบรูปแอก (oxbow lake) ที่มีน้ำขังมีระดับสีเทาเป็นรูปแบบเดียวกัน และถ้ามีดินอินทรียสารมีสีเข้ม

1.3 ดินคอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ พื้นที่มีระดับพื้นราบใกล้เคียงกันล้อมรอบด้วยพื้นที่สูง และมีน้ำ โดยทั่วไปเคลด้า มีรูปร่างแบนท้านก และแบบรูปพัด เคลด้ามีรูปท้านกมีลำน้ำสายหลัก 1 สาย หรือ หลายสายและไหลออกไปเป็นรัศมีคล้ายรูปพัด มีระดับความเข้มของภาพผันแปรขึ้นอยู่กับดินและความชื้น เคลด้ารูปพัดมีแนวโน้มสีจางและมีรูปแบบของลำน้ำถักเปีย (braided pattern) แสดงเส้นทางน้ำเก่า

2. ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดจากลม

สภาพภูมิประเทศเกิดจากการผุกร่อนพังทลาย การพัดพาหรือการขนย้ายวัตถุ การทับถมของวัตถุที่ไม่ได้มีการสมานเนื้อวัตถุ ตัวการธรรมชาติก็คือ ลม การทับถมโดยลมทำให้เกิดภูมิประเทศต่อไปนี้

2.1 เนินทราย เป็นลูกเนิน เนินเขา หรือภูเขาที่เกิดจากทราย มีระบบ ระบายน้ำดี ถ้าไม่มีพืชพรรณธรรมชาติปกคลุม เนินทรายในภาพถ่ายทางอากาศมีสีเทาจาง มักมีสีตัดกันชัดเจนระหว่างเนินทรายและพืชพรรณธรรมชาติ เนินทรายที่มีการเคลื่อนที่ไม่มีพืชปกคลุม

2.2 ดินเลิส (loess) เลิสเป็นดินละเอียดที่ทับถมโดยลมมีการสะสมตัวมีความหนา และไม่มีลำน้ำตัดผ่าน มักมีผิวหน้าเป็นลูกคลื่นโดยมียอดขนานห่างกันประมาณ 500 - 1,000 เมตร ในบริเวณที่มีลำน้ำตัดผ่านมีลำน้ำมากมายและรูปแบบคล้ายกิ่งไม้ ร่องธารเป็นรูปตัวยู ท้องน้ำกว้างและเป็นพื้นราบสองฝั่งยังมีความลึกชัน ระดับความเข้มของภาพมีสีจางเนื่องจากการระบายน้ำดี สีตัดกันระหว่างท้องน้ำในร่องธาร ริมฝั่งและบริเวณที่สูงชันข้างที่มีพืชพรรณธรรมชาติ

3. ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดจากธารน้ำแข็ง

ในเขตละติจูดสูงและเขตพื้นที่สูงเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำมีหิมะ และธารน้ำแข็งปกคลุม การทับถมและการละลายของน้ำแข็งทำให้เกิดสภาพภูมิประเทศต่าง ๆ โดยวัตถุที่ธารน้ำแข็งพัดพามา ดังนี้

3.1 การทับถมตอนปลายธารน้ำแข็ง (end moraine) ทำให้ภูมิประเทศเป็นเนินเขา และแอ่งที่ต่ำเรียงตัวไม่เป็นระเบียบขาดความต่อเนื่อง เกิดจากการทับถมของตะกอนที่มาจาก ธารน้ำแข็ง (gl) ระบบระบายน้ำไม่มีทิศทางแน่นอน มีทะเลสาบและที่ลุ่มน้ำขัง มีระดับความสูง ต่าง ๆ กัน ระดับความเข้มของภาพ มีลักษณะเป็นจุด ๆ ในภาพ ลีจางหรือเข้มนั้นอยู่กับลักษณะ ภูมิประเทศ พื้นผิวดิน และปริมาณความชื้น การเกษตรทำในพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ ถ้ามากกว่านี้มักเป็นพื้นที่ป่าไม้

3.2 การทับถมในเขตที่ราบของธารน้ำแข็ง (ground moraine) เป็นที่ราบลูกฟูก ไม่มี เส้นทางระบายน้ำธรรมชาติ มีสภาพเป็นแอ่งที่ต่ำระบบระบายน้ำไม่ดี เนื่องจากเป็นพื้นราบและ ภูมิประเทศมีอายุใหม่มาก เมื่อมีฝนตกมักไหลไปตามพื้นผิวดิน เนื่องจากไม่มีเส้นทาง ระบายน้ำ ถ้าทำการเกษตรต้องขุดเส้นทางระบายน้ำ ระดับความเข้มของภาพมีลักษณะเป็นจุดๆ ในภาพ สลับสีเข้มนั้นและจางเห็นได้ชัดเจน

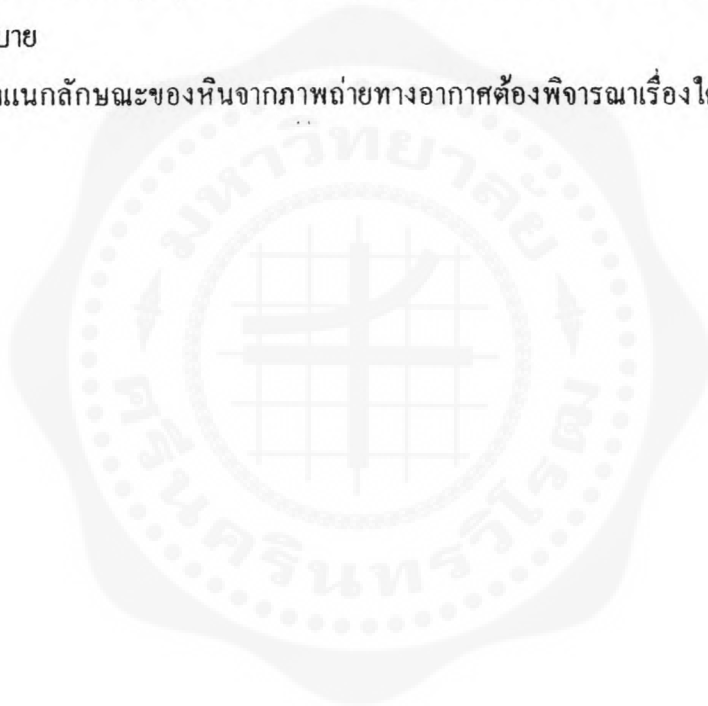
3.3 ครัมลิน (drumlins) เป็นการทับถมในเส้นทางเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็ง เป็นเนินกรวดที่มีลักษณะเป็นรูปร่างรียาวไปตามแนวทางเคลื่อนตัวของธารน้ำแข็ง ประกอบด้วย กรวดทรายปนโคลนกันลูกเนินกระจัดกระจายบนพื้นราบ ระบบระบายน้ำไม่ปรากฏบนครัมลิน เนื่องจากเป็นลูกเนินขนาดเล็ก การระบายน้ำไม่ดีมีที่ลุ่มชื้นแฉะอยู่ในแอ่งที่ต่ำระหว่างครัมลินมี การผุกร่อนพังทลายแบบผิวแผ่น (sheet erosion) มากกว่าการกัดกร่อนแบบริ้วธาร (rill) และร่อง ธาร (gully) ระดับความเข้มของภาพบริเวณครัมลินและแอ่งที่ต่ำมีระดับความเข้มแตกต่างกัน เนื่องจากมีพืชพรรณธรรมชาติและความชื้นในดินแตกต่างกัน

3.4 เนินกรวดท้ายธารน้ำแข็ง (esker) เป็นแนวสันกรวดสันทราย เกิดจากการทับ ถมเมื่อธารน้ำแข็งละลายมีความสูง 5 - 20 เมตร กว้าง 50 - 100 เมตร มีความยาว 100 เมตรถึง 2 - 3 กิโลเมตร ความลาดชันด้านข้าง 30 - 40 เปอร์เซ็นต์ ระดับความเข้มของภาพแตกต่างจาก ภูมิประเทศใกล้เคียงเนื่องจากมีพืชพรรณธรรมชาติต่างกัน

3.5 ลูกเนิน (kame) มีรูปทรง แบบกรวยมีลักษณะกระจัดกระจาย พื้นที่ลูกเนิน สลับแอ่งที่ต่ำ มีร่องธารน้อย บางบริเวณเป็นพื้นที่ลุ่มชื้นแฉะ ระดับความเข้มของภาพมีลีจาง

คำถามท้ายบทที่ 3

1. ขั้นตอนพื้นฐานในการแปลภาพถ่ายทางอากาศ มีอะไรบ้างจงอธิบาย
2. จงกล่าวถึงหลักการแปลภาพถ่ายทางอากาศ
3. ภาพถ่ายทางอากาศที่ใช้ในการศึกษาลักษณะภูมิประเทศต้องพิจารณาในเรื่องใดบ้าง
4. รูปแบบการระบายน้ำและลักษณะโครงสร้างของหินมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร
5. การวิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศให้ประโยชน์จากภาพถ่ายทางอากาศได้อย่างไร
จงอธิบาย
6. การจำแนกลักษณะของหินจากภาพถ่ายทางอากาศต้องพิจารณาเรื่องใดบ้าง จงอธิบาย



บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา

การวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมมี 2 วิธีคือ การวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ ในบทนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์ประเภทแรก

4.1 หลักการวิเคราะห์

ภาพถ่ายดาวเทียมมีทั้งชนิดภาพสีและขาวดำ การวิเคราะห์จึงต้องอาศัยความสามารถของผู้แปลภาพซึ่งถือเป็นสิ่งสำคัญที่สุด หากมีความรู้หรือคุ้นเคยกับสภาพพื้นที่นั้นๆ จะทำให้การวิเคราะห์ภาพมีความถูกต้องและรวดเร็ว นอกจากนี้ข้อมูลอ้างอิงมีความสำคัญเช่นกัน หลักการวิเคราะห์มีดังนี้

1. ความเข้มของสีและสี ระดับความเข้มของสีมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ การทำมุมของแสง และการเรียงตัวของวัตถุ เช่น ป่าไม้อาจมีสีเขียวกัน แต่มีความเข้ม, จางแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับป่าที่สมบูรณ์ ป่าทึบหรือป่าโปร่ง
2. ขนาด ขนาดของวัตถุที่ปรากฏในภาพมีความสัมพันธ์กับมาตราส่วนของภาพ อาจนำวัตถุที่มีรูปร่างคล้ายกันมาเปรียบเทียบขนาดเพื่อดูความแตกต่างหรือเทียบขนาดกันได้ เช่น สนามบิน - ลานคอนกรีต, เส้นทางคมนาคม ถนน - คลอง เป็นต้น
3. รูปร่าง รูปร่างของวัตถุที่ปรากฏบนพื้นผิวโลก อาจมีลักษณะการกระจายสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอ เช่น เนินทรายในเขตทะเลทราย, พื้นที่ทำการเกษตร, แหล่งชุมชน
4. เนื้อภาพ (texture) หรือความหยาบ - ละเอียดของภาพ เป็นผลมาจากความสม่ำเสมอของการเรียงตัวของวัตถุ เช่นพื้นที่สวนยางพารา มีเนื้อภาพละเอียดเนื่องจาก ปลูกเป็นแถว เว้นระยะสม่ำเสมอและมีอายุใกล้เคียงกัน ส่วนพืชไร่ หรือพืชสวนมีความแตกต่างกันหรือลักษณะภูมิประเทศที่เป็นหินคินคานมีการกัดเซาะร่องธารมากมายทำให้มีเนื้อภาพแตกต่างจาก หินอื่น ๆ
5. รูปแบบ (pattern) ลักษณะการจัดเรียงตัวของวัตถุปรากฏเด่นชัด ระหว่างความแตกต่างตามธรรมชาติ และสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น พื้นที่หินปูนมีการกัดเซาะเป็นหลุมลึกมากมาย หรือ แหล่งชุมชนที่มีรูปแบบการกระจายของสิ่งก่อสร้างที่แตกต่างกันเห็นได้ชัดเจน
6. ความสูงและเงา เงาของวัตถุใช้ในการพิจารณาความสูงและมุมของดวงอาทิตย์ด้วยการพิจารณาในข้อนี้อาจคาดคะเนช่วงเวลาการถ่ายภาพ ทิศทางการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เก็บข้อมูล

7. ตำแหน่ง หรือที่ตั้งของวัตถุที่พบตามธรรมชาติ เช่น บริเวณชายทะเลก็มักพบป่าชายเลน พื้นที่บนภูเขาก็มักพบป่าสน เป็นต้น

8. ความเกี่ยวพัน (association) สภาพธรรมชาติหรือสภาพแวดล้อมต่างๆ มักมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของมนุษย์ เช่น บริเวณเส้นทางลำน้ำมักพบการตั้งถิ่นฐานตามแนวยาว ในเขตภูเขาหรือที่สูงก็มักพบการทำไร่เลื่อนลอย เป็นต้น

นอกจากหลักการวิเคราะห์ทั้ง 8 ประการแล้ว ผู้วิเคราะห์ต้องมีความรู้ ความเข้าใจคุณสมบัติของภาพถ่ายดาวเทียมแต่ละประเภทว่ามีศักยภาพในการตรวจวัดข้อมูลชนิดใดได้หรือไม่ หรือมีข้อบกพร่องในการตรวจวัดข้อมูลประเภทใด เพื่อจะได้เลือกใช้ข้อมูลให้เหมาะกับงานเฉพาะด้าน

4.2 วิธีการวิเคราะห์ทางภูมิศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา เพื่อการศึกษาทางภูมิศาสตร์ มักใช้ในการทำแผนที่จำแนกลักษณะภูมิประเทศ ระบบระบายน้ำ การใช้ที่ดิน ธรณีวิทยา พืชพรรณธรรมชาติ เป็นต้น มีขั้นตอนของการดำเนินงานดังนี้

1. ใช้แผ่นพลาสติกใส (Polyester film) วางลงบนภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณที่จะแปลภาพ ดึงเทปขาวเฉพาะส่วนบนของภาพหรือเฉพาะด้านที่ต้องการความสะดวกในการเขียน เพื่อสามารถเปิดดูรายละเอียดของภาพที่อยู่ด้านล่างได้

ในกรณีที่ภาพถ่ายดาวเทียมมีมาตราส่วนเดียวกับแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Map) ของกรมแผนที่ทหารเช่น 1 : 50,000 , 1 : 250,000 ให้ใช้แผ่นพลาสติกใสทาบบนแผนที่ภูมิประเทศ เพื่อกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Control points) เช่น ที่ตั้งในหมู่บ้าน อำเภอ จังหวัด ฯลฯ เมื่อต้องการกำหนดตำแหน่งดังกล่าวลงในแผนที่แปลภาพด้วยแล้วจึงใช้แผ่นพลาสติกใสที่ได้กำหนดตำแหน่งแล้ววางทาบบนภาพถ่ายดาวเทียมตามวิธีการที่ได้กล่าวในตอนต้น

2. การวิเคราะห์ระบบระบายน้ำ ใช้ปากกาสำหรับเขียนแผ่นใสลากตามเส้นทางลำน้ำ ใช้ลักษณะที่ต่างกันของเส้นแสดงรายละเอียด เช่น ลำน้ำถาวรใช้เส้นทึบ ลำน้ำชั่วคราวใช้เส้นประ แสดงความแตกต่างดังกล่าว นอกจากนี้ต้องกำหนดลำดับของลำน้ำ (stream order) ด้วย ควรกำหนดขอบเขตของลำน้ำลำดับ 1,2 หรือ 3 โดยพิจารณาจากสันปันน้ำของแต่ละลำดับ

3. การวิเคราะห์เรื่องการใช้ที่ดิน ใช้ปากกา กำหนดขอบเขตของบริเวณในภาพที่มีลักษณะคล้ายกันเป็นประเภทเดียวกัน ในพื้นที่ทำการเกษตรต้องพิจารณารูปแบบของการใช้ที่ดิน

พื้นที่ทำการเกษตรที่ปลูกพืชต่างชนิดกันหรือปลูกในช่วงเวลาแตกต่างกันจะเห็นภาพลักษณะเป็นตารางที่มีระดับความเข้มของสีแตกต่างกัน พื้นที่ตัวเมือง ถนนหรือพื้นที่ว่างเปล่า มีรูปแบบเฉพาะแตกต่างกันแต่การสะท้อนพลังงานสูงทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีสีจาง เช่น ฟ้าจาง หรือขาว ถ้าการดูดซับมีมาก พื้นที่มีน้ำหรือความชื้นสูงมักมีสีเข้มหรือดำ การกำหนดขอบเขตในภาพเป็นการกำหนดบริเวณที่มีค่าระดับการสะท้อนพลังงานใกล้เคียงกัน

4. การวิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศและธรณีวิทยา โดยหาความสัมพันธ์ ระหว่างลักษณะภูมิประเทศกระบวนการทางธรณีวิทยากับระดับความเข้มของสีและเนื้อภาพ ทั้งนี้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดขอบเขตประเภทของลักษณะภูมิประเทศ แล้วใช้ปากกา กำหนดขอบเขต

5. การวิเคราะห์เรื่องพืชพรรณธรรมชาติ สิ่งปกคลุมดินและอื่น ๆ หาความสัมพันธ์ระหว่างพืชพรรณธรรมชาติ ความสมบูรณ์ การเจริญเติบโต กับ ระดับความเข้มของสี เนื้อภาพ การกระจาย รูปแบบการจัดเรียงตัว เพื่อจำแนกชนิดและขอบเขตของพืชพรรณธรรมชาติ แล้วใช้ปากกา กำหนดขอบเขต

6. ใช้ข้อมูลอ้างอิง เช่น แผนที่ภูมิประเทศ 1 : 50,000 หรือ 1 : 250,000 ภาพถ่ายทางอากาศ แผนที่จำแนกประเภทของดิน แผนที่การใช้ที่ดิน แผนที่ธรณีวิทยา และข้อมูลเอกสารงานวิจัยอื่น ๆ เพื่อประกอบการวิเคราะห์

7. การสำรวจพื้นที่จริง เป็นความจำเป็นอย่างยิ่ง หลังจากการจำแนกพื้นที่ในห้องปฏิบัติการแล้ว ต้องตรวจสอบความถูกต้อง (ground truth) เพื่อให้การวิเคราะห์ได้ผลสมบูรณ์ หากมีอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งจีพีเอส (Global Positioning System) ใช้ในขณะที่ออกภาคสนามเพื่อระบุตำแหน่งพิกัดในสนามที่แน่นอน ก็จะทำให้การตรวจสอบรวดเร็วและถูกต้อง

8. ในกรณีภาพเรดาร์ การแปลความหมายข้อมูลภาพแตกต่างจากภาพถ่ายดาวเทียมโดยทั่วไป เช่น ภาพถ่ายเรดาร์ระบบซาร์ (Synthetic Aperture Radar - SAR) บริเวณที่มีความชื้นมีการสะท้อนสูงกว่าบริเวณที่ไม่มีความชื้น (รูป 8.8 บทที่ 7) การแปลความหมายภาพเรดาร์จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาในแนวทางเฉพาะซึ่งจะไม่กล่าวในหนังสือเล่มนี้

4.3 รายการขอรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ข้อมูลภาพดาวเทียมแต่ละภาพมีรายละเอียดปรากฏอยู่ เพื่อให้ผู้ใช้ได้ทราบรายละเอียดของข้อมูล ทั้งในเรื่องของวันเวลาในการเก็บข้อมูลตำแหน่งของพื้นที่ที่ปรากฏในภาพ ฯลฯ ผู้ใช้จึงควรทำความเข้าใจกับรายละเอียดเหล่านี้เพื่อเป็นประโยชน์ในการแปลความหมายและเป็นข้อมูลประกอบในการนำไปใช้งาน โดยปกติข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่รับภาพและผลิตโดยกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมมีชื่อกำกับอยู่บนสุดของภาพ โดยใช้คำว่า Thailand Remote Sensing Center รายละเอียดอื่นๆ ได้แก่

Landsat - 5 TM	หมายถึงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากแฉก 5 โดยใช้ระบบ Thematic Mapper
Band 1	หมายถึงแบนด์ 1 จากจำนวนทั้งหมดของระบบ TM จำนวน 7 แบนด์ในกรณีที่ใช้ข้อมูลแบนด์เดียวภาพเป็นภาพขาวดำ
Band 2,3,4	หมายถึงแบนด์ 2,3,4 จำนวน 3 แบนด์ ในระบบของการผลิต ภาพของกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยเทียมใช้ระบบ BGR คือแบนด์แรกใช้สีน้ำเงิน (Blue) แบนด์ที่สอง สีเขียว(Green) แบนด์ที่สามใช้สีแดง (Red) ภาพนี้จึงเป็นภาพสีผสมเท็จ (False color Composite - FCC)
Scene ID	ระบุหมายเลขของภาพ
52208 - 030725	
Acquire 1990-03-18	วันที่ทำการเก็บข้อมูลหรือถ่ายภาพ วันที่ 18 มีนาคม 2533
Orbit 32146	วงโคจรที่ 32146 ของดาวเทียมนับตั้งแต่ดาวเทียมถูกส่งขึ้นสู่วงโคจร
Heading 189.0	ทิศทางการโคจรของดาวเทียม โคจรไปในทิศทางอะซิมุต 189.0 องศา (หรือ 9 องศาจากแนวตั้ง)
Sun EL/Az :	ค่ามุมความสูงของดวงอาทิตย์ (sun elevation)
46.82 /123.14	จากพื้นระนาบ (horizon)เท่ากับ 46.82 องศา และมุมอะซิมุตของ ดวงอาทิตย์มีค่าเป็นองศาจากทิศเหนือ 123.14 องศา
GICS	ระบบการผลิตข้อมูลดาวเทียมย่อจาก Geocoded Image Correction System แบ่งเป็น 2 ประเภท คือการผลิตฟิล์ม และเทปคอมพิวเตอร์ Compatible Tape, CCT)
MQS	ระบบการผลิตข้อมูลดาวเทียม ย่อมาจาก Micro Quick Look System แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ Quick Look (QL 1 แผ่นมีฟิล์มขาวดำ ขนาด 240 มม. จำนวน 9 ภาพ) และMicrofiche (MF 1 แผ่น มีภาพสี ขนาดเล็ก 84 ภาพ
BPS	ระบบการผลิตข้อมูลเอ็มเอสเอส ย่อมาจาก Bulk Processing System ผลิตได้ทั้งฟิล์มสี,ขาว-ดำ และเทปคอมพิวเตอร์
METDAS	ระบบการผลิตข้อมูลของดาวเทียม โนอา มาจาก Meteorological Data Analysis System ผลิตข้อมูลเฉพาะเทปคอมพิวเตอร์

BULK FULLSCENE ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม 185 x 185 กิโลเมตร ขนาดเต็มภาพ
 มาตรฐาน 1:250,000

SYSTEMATIC GEOCODED ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่มีมาตรฐาน 1: 50,000 มี
 ขนาดเท่ากับแผนที่ 1: 50,000 1 ระวัง

BULK QUADRANT ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่มีขนาด 1 ใน 4 ของภาพเต็ม

WRS Worldwide Reference System ระบบที่กำหนดแนวโคจรสำหรับ
 แลนค์แซท 1,2,3 มี 251 แนวเริ่มจากแนว 001 จากตะวันออกไป
 ตะวันตกแลนค์แซท 4,5 กำหนดแนวโคจร (path) 233 แนวเริ่ม
 จากแนว 001-233 จากตะวันออกไปตะวันตก แนว 001 ผ่านอิคว
 เตอร์ที่ลองจิจูด $64^{\circ} 36'$ ตะวันตก แลนค์ 1 ของแต่ละแนวโคจร
 เริ่มที่ละติจูด $80^{\circ} 47'$ เหนือ

Center N/E :25.99
 /100.24

ศูนย์กลางของภาพมีพิกัดภูมิศาสตร์
 ละติจูด 25.99 องศา ลองจิจูด 100.24 องศา

4.4 สรุปคุณสมบัติของข้อมูลดาวเทียมเพื่อใช้ในการแปลภาพ

เป็นตารางแสดงคุณสมบัติของภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อใช้ประกอบในการแปลความหมายและวิเคราะห์

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซททีเอ็ม

ช่วงคลื่น (แบนด์)	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	ความเหมาะสมในการใช้งาน
1	0.45 - 0.52 (สีน้ำเงิน)	การสำรวจแหล่งน้ำ การทำแผนที่ชายฝั่งทะเล การจำแนกดิน และพืชพรรณธรรมชาติ การทำแผนที่ชนิดของป่าไม้ การจำแนกสิ่งก่อสร้างต่างๆ
2	0.52 - 0.60 (สีเขียว)	ออกแบบเพื่อตรวจวัดการสะท้อนพลังงานของพืช การจำแนกพืช และความสมบูรณ์ของพืช การจำแนกสิ่งก่อสร้าง
3	0.63 - 0.69 (สีแดง)	ออกแบบเพื่อตรวจวัดการดูดซับของคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในพืช เพื่อช่วยในการจำแนกชนิดของพืช การจำแนกสิ่งก่อสร้าง
4	0.76 - 0.90 (อินฟราเรดใกล้)	มีประโยชน์ในการตรวจสอบชนิดของพืช ความสมบูรณ์และมวลพืชเพื่อการสังเกตขอบเขตของแหล่งน้ำการจำแนกความชื้นในดิน
5	1.55 - 1.75 (อินฟราเรดกลาง)	เป็นตัวชี้ปริมาณความชื้นในพืชและในดินมีประโยชน์ในการจำแนกให้เห็นความแตกต่างระหว่างหิมะและเมฆ
6	10.4 - 12.5 (อินฟราเรดความร้อน)	มีประโยชน์ในการวิเคราะห์พืชที่ไม่สมบูรณ์ การจำแนกความชื้นในดินการทำแผนที่เกี่ยวกับความร้อน (thermal mapping)
7	2.08 - 2.35 (อินฟราเรดกลาง)	มีประโยชน์ในการจำแนกแร่ธาตุและชนิดของหินและใช้ในการตรวจสอบปริมาณความชื้นในพืช

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของข้อมูลความเค็มแลนค์แซทเอ็มเอสเอส

ช่วงคลิ่น (เบนค์)	ความยาวคลิ่น (ไมโครเมตร)	ความเหมาะสมในการใช้งาน
4	0.50 - 0.60	สามารถผ่านทะลุน้ำได้มากกว่า ช่วงคลิ่นอื่น ใช้ในการตรวจตะกอนหรือความขุ่นขึ้นในน้ำแสดงความแตกต่างของพีชพรรณสีเกี่ยวกับสิ่งปกคลุมอย่างอื่นแสดงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา
5	0.60 - 0.70	แสดงความแตกต่างของสิ่งก่อสร้างกับลักษณะความสูงต่ำของภูมิประเทศใช้สำหรับแยกประเภทของพีชพรรณสีเขียวเมื่อรวมอยู่กับสิ่งปกคลุมหลาย ๆ อย่าง
6	0.70 - 0.80	เหมาะสำหรับจำแนกความแตกต่างของลักษณะการใช้ที่ดินและใช้ตรวจปริมาณมวลชีวะสีเขียว
7	0.80 - 1.10	แสดงความแตกต่างของส่วนที่เป็นน้ำกับส่วนที่ไม่เป็นน้ำได้ดีแยกความแตกต่างระหว่างพีชพรรณกับดินได้ ธรณีสัมฐานและโครงสร้างทางธรณีวิทยา

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของข้อมูลความเค็มมอส - 1

ช่วงคลิ่น	ความยาวคลิ่น (ไมโครเมตร)	ความเหมาะสมในการใช้งาน
1	0.51 - 0.59	ศึกษาพีช น้ำและตะกอน
2	0.61 - 0.69	แยกประเภทและความหนาแน่นของป่า ศึกษาสิ่งก่อสร้าง
3	0.72 - 0.80	ศึกษาพีช ธรณีสัมฐาน
4	0.80 - 1.10	ศึกษาดิน ธรณีวิทยา และธรณีสัมฐาน แยกน้ำและสิ่งที่ไม่ใช่น้ำ

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของข้อมูลดาวเทียมสปอตเอ็มแอลเอ

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	ความเหมาะสมในการใช้งาน
1	0.50 - 0.59	ศึกษาพืช น้ำและตะกอน
2	0.61 - 0.68	แยกป่าไม้และสิ่งก่อสร้าง
3	0.79 - 0.89	ศึกษาภูมิประเทศ ดินและ ธรณีวิทยา แยกส่วนที่เป็นน้ำ และไม่เป็นน้ำ

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติของข้อมูลดาวเทียมสปอตพีแอลเอ

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	ความเหมาะสมในการใช้งาน
1	0.51 - 0.73	ใช้ประโยชน์คล้ายรูปถ่ายทางอากาศ

(ที่มา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2534)

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติของข้อมูลแลนด์แชทที่เอ็มในการศึกษาธรณีสัณฐาน

แบนด์	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	การใช้ประโยชน์ด้านธรณีสัณฐาน
1	0.45 - 0.52	ศึกษาตะกอนในบริเวณแนวชายฝั่งและปากแม่น้ำ ตะกอนแขวนลอยในทะเลสาบและแม่น้ำ จำแนกแหล่งตะกอน การวัดความลึกของทะเล (Bathymetry) คุณสมบัติพื้นผิวของน้ำแข็งและหิมะ อินทรีย์สารในดิน
2	0.52 - 0.60	ศึกษาเรื่องดิน การพังทลาย ดินเป็นพิษ Soil toxicity การทำแผนที่ชนิดของหินที่มีแร่ในกลุ่มลิโมไนต์ โดยทำอัตราส่วน 2/4 และการศึกษาเรื่องสีของดินในเขตทะเลทราย
3	0.63 - 0.69	การทำแผนที่พืชพรรณธรรมชาติการจำแนกพื้นที่การเพาะปลูกเพื่อศึกษาการพังทลายของดิน การศึกษาความสัมพันธ์ธรณีชีววิทยาโดยทำอัตราส่วน 3/4 การแยกชนิดของหิน (หินที่มีแร่เหล็กมาก)และการศึกษาโครงสร้าง
4	.79 - 0.90	การกำหนดขอบเขตแหล่งน้ำ (ทะเลสาบ, แม่น้ำ, ที่ลุ่ม) ระบบระบายน้ำ การทำแผนที่ธรณีชีววิทยา
5	1.55 - 1.75	การทำแผนที่ชนิดของหินการทำแผนที่ความชื้นในดิน การทำอัตราส่วน 4/5 แยกหินที่มี แร่เหล็กและมีน้ำประกอบ การทำอัตราส่วน 5/7 แยกความแตกต่างของแร่ดินเหนียว

แบนด์	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	การใช้ประโยชน์ด้านธรณีสารสนเทศ
6	10.4 - 12.5	การทำแผนที่ชนิดของหินการศึกษาทางธรณีวิทยา การทำแผนที่ตะกอน การศึกษาน้ำใต้ดิน การทำแผนที่ภูมิประเทศ ความลึกของน้ำในทะเลสาบ การจำแนกชนิดของหินที่มีแร่ในกลุ่มซิลิเกต
7	2.08 - 2.35	การจำแนกชนิดของหิน หินแปร กลุ่มแร่ดินเหนียว คาร์บอเนต การเปลี่ยนแปลงทางด้านไฮโดรเทอร์มอล

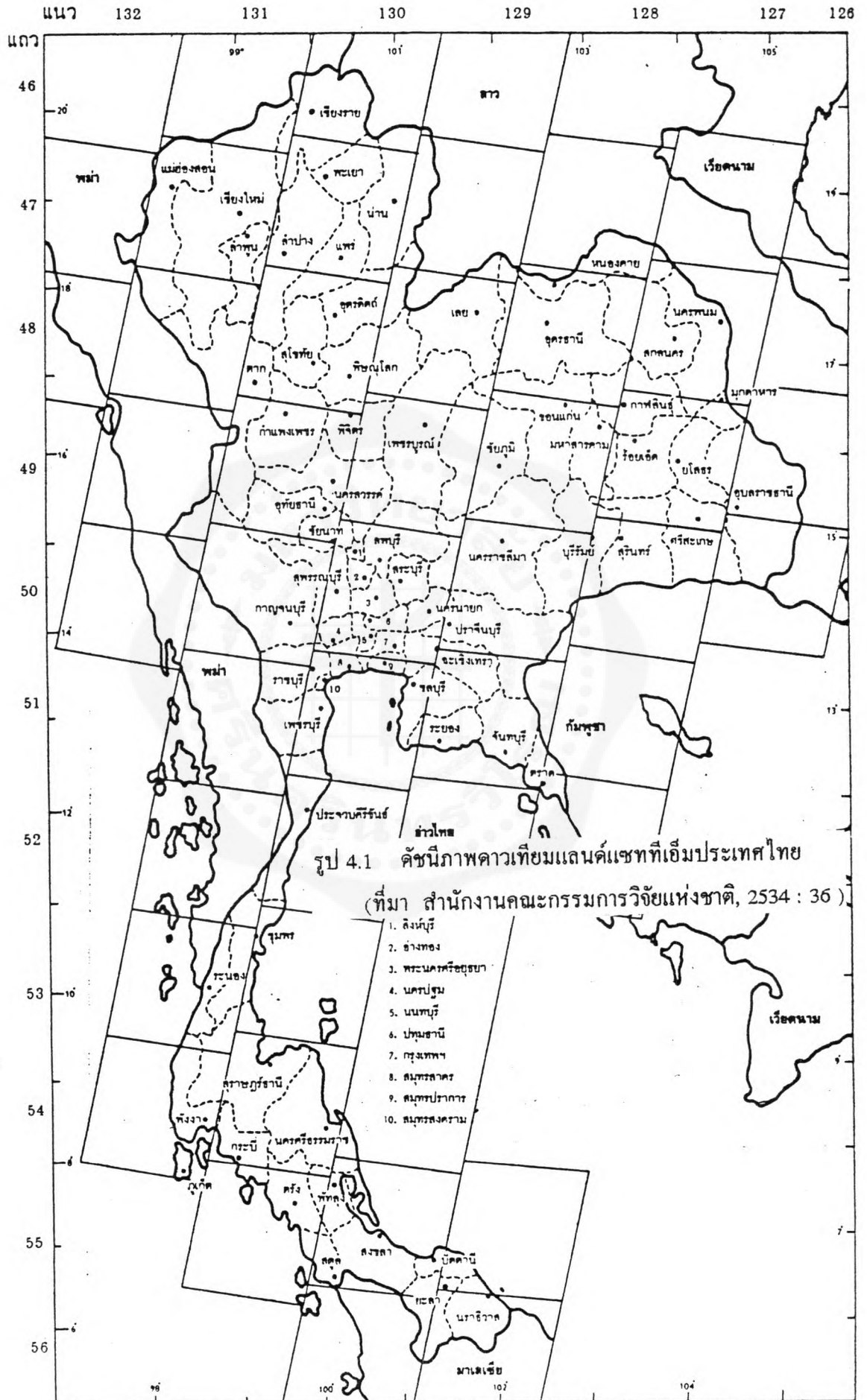
(ที่มา : Apisit Eiumnoh, 1988 : I12)

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติของภาพสีผสมของแลนด์แซททีเอ็ม

แบนด์/น้ำเงิน เขียว แดง (BGR)	คุณสมบัติ
1-2-3	ให้สีธรรมชาติ คือ พืชพรรณเป็นสีเขียว ใช้ศึกษาความขุ่นข้นของตะกอนน้ำตื้นและพื้นที่ชายฝั่ง
3-4-5	พืชพรรณเป็นสีเขียว ให้รายละเอียดความแตกต่างของความชื้นของดิน มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ดินและพืชพรรณ
3-5-4	พืชพรรณสีแดงและส้มแสดงขอบเขตพื้นดิน และน้ำแยกป่าชายเลน (สีแดง) ออกจากป่าบก (สีส้ม) ให้ลักษณะคลองระบายน้ำ
2-5-4	พืชพรรณสีส้มแยกพื้นที่ป่าชายเลน(สีแดง) ได้ชัดเจน
4-5-7	พืชพรรณสีฟ้าให้รายละเอียดความชื้นที่แตกต่างตามลักษณะพื้นที่

(ที่มา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2534 : 26)

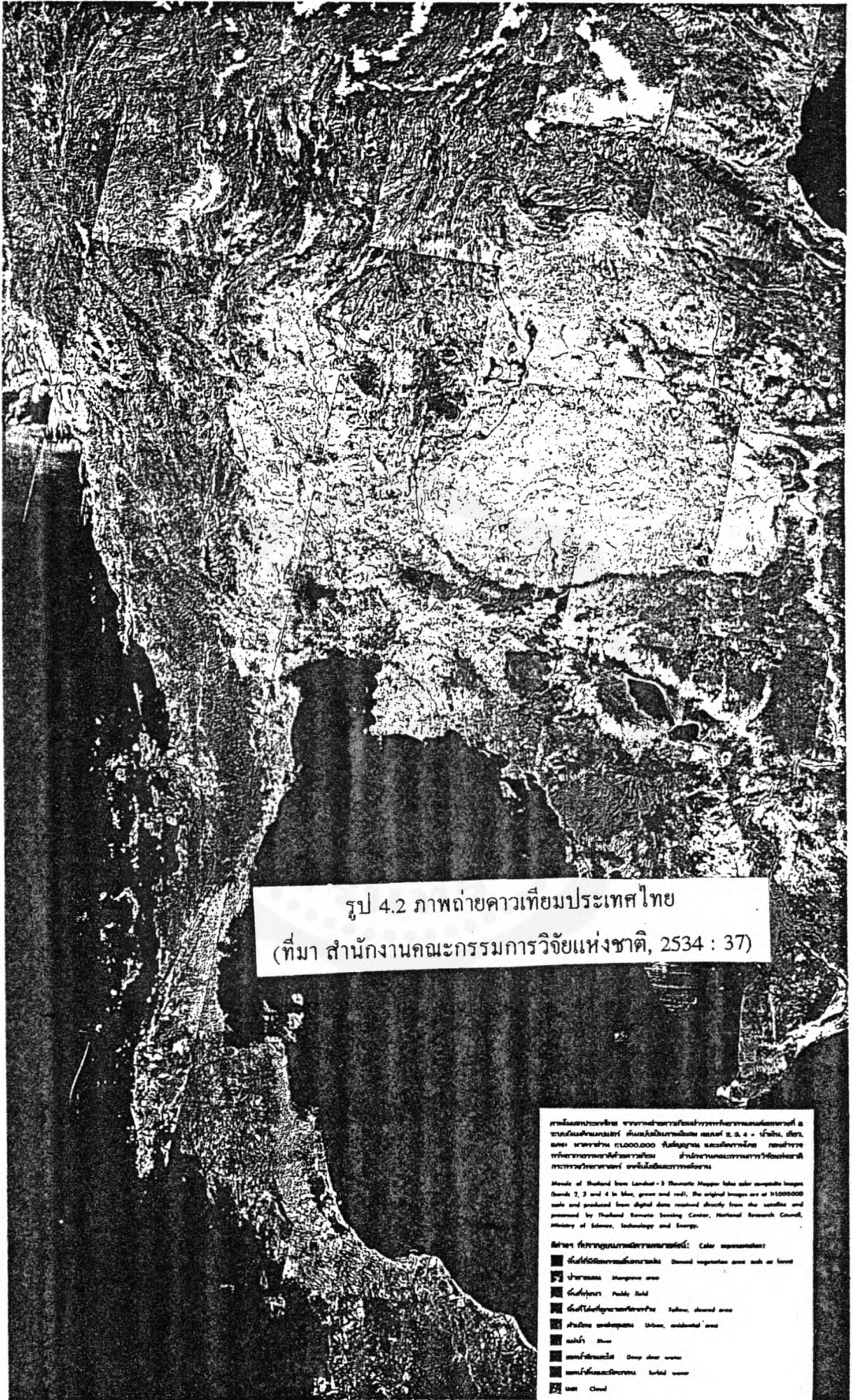
ดัชนีภาพจากดาวเทียม LANDSAT บริเวณประเทศไทย
INDEX OF LANDSAT IMAGERY OVER THAILAND



รูป 4.1 ดัชนีภาพดาวเทียมแลนดส์แซทที่เื่อมประเทศไทย

(ที่มา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2534 : 36)

1. สิงห์บุรี
2. อ่างทอง
3. พระนครศรีอยุธยา
4. นครปฐม
5. นนทบุรี
6. ปทุมธานี
7. กุฉินารายณ์
8. สมุทรสาคร
9. สมุทรปราการ
10. สมุทรสงคราม



รูป 4.2 ภาพถ่ายดาวเทียมประเทศไทย
(ที่มา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2534 : 37)

แผนที่ประเทศไทย จากภาพถ่ายดาวเทียมที่ประมวลผลด้วยวิธี ๔
แบนด์สีเทียม (สีน้ำเงิน, สีเขียว และ สีแดง) และ สีเทา
ขนาด ๓๓๖๖ x ๓๓๖๖ พิกเซล และมีความละเอียด ๓๐ เมตร
ที่กรุงเทพฯ โดยความร่วมมือจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และพลังงาน

Map of Thailand from Landsat - 5 Thematic Mapper false color composite images
bands 2, 3 and 4 in blue, green and red. The original images are at 30000000
scale and produced from digital data received directly from the satellite and
processed by Thailand Remote Sensing Center, National Research Council,
Ministry of Science, Technology and Energy.

สีเทา คือ บริเวณน้ำในทะเลและชายฝั่ง Color representation

- สีน้ำเงิน สีเขียว และ สีแดง Digital composite false color or false
- ป่าธรรมชาติ Mangrove area
- พื้นที่ปลูกข้าว Paddy field
- สีน้ำเงิน สีเขียว และ สีเทา Urban, industrial area
- สีน้ำเงิน Blue
- สีน้ำเงิน Deep blue water
- สีน้ำเงิน Shallow water
- สีน้ำเงิน Shallow water
- สีน้ำเงิน Cloud



รูป 4.3 ภาพถ่ายดาวเทียมจีเอ็มเอส
วันที่ 12 มิถุนายน 2538
(ที่มา กรมอุตุนิยมวิทยา)

คำถามท้ายบทที่ 4

1. จงกล่าวถึงหลักการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา
2. วิธีการวิเคราะห์ทางภูมิศาสตร์มีขั้นตอนอย่างไร
3. คุณสมบัติที่สำคัญของข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซททีเอ็่มที่แตกต่างจากข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซททีเอ็่มเอสเอสไอได้แก่อะไรบ้าง
4. การผสมสีของข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซททีเอ็่ม แต่ละแบนด์ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านใด ยกตัวอย่างประกอบ
5. ข้อมูลดาวเทียมมอสมิคุณสมบัติในการศึกษาเรื่องใด จงอธิบาย
6. จงกล่าวถึงการใช้ประโยชน์ของข้อมูลแลนด์แซททีเอ็่ม ทางด้านธรณีสารสนเทศเปรียบเทียบกับข้อมูลดาวเทียมสปอต

บทที่ 5

คอมพิวเตอร์กับระบบข้อมูลสมัยสาระยะไกล

5.1 ระบบคอมพิวเตอร์โดยทั่วไป

เนื่องจากข้อมูลภาพดาวเทียม มีวิธีเก็บข้อมูลเป็นหน่วยปริมาณของการสะท้อนพลังงานของวัตถุในพื้นที่ขนาดเล็กที่เรียกว่าจุดภาพ สะท้อนพลังงานเข้าสู่อุปกรณ์สำรวจข้อมูล ตัวเลขที่ได้จึงเป็นตัวเลขกำกับหรือประจำจุดภาพนั้น ๆ ทำให้สามารถใช้วิธีการคำนวณกับข้อมูลตัวเลขเหล่านั้นได้ การวิเคราะห์สามารถจัดกระทำในเครื่องคำนวณที่มีประสิทธิภาพ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งต่างจากการถ่ายภาพปกติ หรือ ภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งไม่มีข้อมูลตัวเลขกำกับ เป็นเพียงภาพถ่ายแสดงการเปลี่ยนแปลงของโทนสีเท่านั้น ความรู้ความเข้าใจระบบคอมพิวเตอร์ จะช่วยให้มีความเข้าใจการวิเคราะห์ข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น

ระบบคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 5 ประการดังนี้

1. ตัวเครื่องหรือฮาร์ดแวร์ หมายถึงตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งแบ่งออกเป็นอุปกรณ์รับข้อมูล หน่วยประมวลผล การประมวลผลของคอมพิวเตอร์จำเป็นต้องใช้ หน่วยควบคุม หน่วยความจำหลัก หน่วยคำนวณและส่วนที่เป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูล

อุปกรณ์รับข้อมูล เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับป้อนคำสั่ง ข้อมูลหรือสอบถามข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ ได้แก่ แป้นพิมพ์, เมาส์ (mouse), เครื่องอ่านฟลอปปีดิสก์, เครื่องอ่านเทปแม่เหล็ก เครื่องถ่ายข้อมูล (scanner) เป็นต้น

หน่วยประมวลผล ทำหน้าที่ประมวลผลตามคำสั่งหลังจากได้รับข้อมูล เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมา หน่วยประมวลผลแบ่งหน้าที่เป็น 3 ส่วน คือ หน่วยความจำหลัก หน่วยคำนวณ และหน่วยควบคุม

หน่วยความจำหลัก เป็นหน่วยบันทึกข้อมูลหรือคำสั่ง ซึ่งประกอบด้วยหน่วยความจำข้อมูลเข้า หน่วยความจำปฏิบัติการ หน่วยความจำข้อมูลออก และหน่วยความจำโปรแกรม คำพิจารณา ลักษณะของหน่วยความจำตามความถาวรของข้อมูล อาจแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

1. แรม (Random Access Memory - Ram) เป็นชิป (chip) หรืออุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นชิ้นหรือแผ่นเล็กๆ บางๆ ปกติทำด้วยซิลิคอน ประกอบด้วยส่วนของ อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้เพื่อทำหน้าที่จัดการในส่วนของหน่วยความจำ

2. รอม (Read Only Memory -ROM) เป็นชิปหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลหรือคำสั่งโปรแกรมอย่างถาวร ไม่สามารถบันทึกซ้ำได้สามารถอ่านมาใช้ได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น

หน่วยคำนวณ ทำหน้าที่ด้านคำนวณทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบ ตัดสินใจในทางตรรกศาสตร์ (logic) หน่วยนี้เรียกว่า ALU (Arithmetic Logic Unit) เมื่อป้อนข้อมูลผ่านเข้าทางหน่วยรับข้อมูลและเข้าสู่หน่วยความจำหลักแล้ว การประมวลผลจะทำในส่วนของหน่วยคำนวณโดยการย้ายข้อมูลจากหน่วยความจำหลักไปทำงานในหน่วย ALU เมื่อได้ผลลัพธ์กลับไปที่หน่วยความจำหลักแล้วจึงส่งไปยังอุปกรณ์ส่งข้อมูล

หน่วยควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานโดยตรงของระบบทั้งหมด เมื่อรวมเอาหน่วยคำนวณและหน่วยควบคุมไว้ด้วยกันเรียกว่าหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit) หรือซีพียู

อุปกรณ์ส่งข้อมูล เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แสดงผล เช่น จอภาพ, เครื่องพิมพ์ ดิสก์ไดรฟ์ ฯลฯ

2. โปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ หมายถึง โปรแกรมหรือชุดคำสั่งซึ่งบอกคอมพิวเตอร์ว่าต้องทำอะไร โปรแกรมดังกล่าวเขียนด้วยภาษาเครื่อง (machine language) ซึ่งคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจและทำงานได้ โปรแกรมชุดคำสั่งนี้มี 2 ประเภทด้วยกันคือ ประเภทแรกเรียกว่า โปรแกรมระบบปฏิบัติการ (Operating system-OS) ทำหน้าที่ควบคุมการปฏิบัติการของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างผู้ใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น ระบบดอส (DOS) ระบบยูนิกซ์ (Unix) เป็นต้น ประเภทที่สองเรียกว่า โปรแกรมประยุกต์ (application program) โปรแกรมชนิดนี้เขียนขึ้นเพื่อใช้งานเฉพาะด้าน เช่น โปรแกรมสำหรับงานด้านการพิมพ์ โปรแกรมด้านการวิเคราะห์ทางสถิติ, โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นต้น

3. ข้อมูล หมายถึง รายละเอียดที่อยู่ในรูปตัวเลข, รูปภาพ, ตัวหนังสือ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์

4. กระบวนวิธี หมายถึง ขั้นตอนในการใช้คอมพิวเตอร์ ที่จะบอกผู้ใช้ให้ทราบว่าต้องจัดกระทำกับข้อมูลที่ได้รับมาอย่างไร และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ต้องการ

5. บุคลากร หมายถึง ผู้ปฏิบัติงาน ตามกระบวนวิธีการต่าง ๆ เช่น การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การพัฒนาโปรแกรม หรือซอฟต์แวร์

5.2 ระบบเลขจำนวน

ระบบเลขจำนวนที่ใช้กันแพร่หลาย มี 4 ระบบดังนี้

1. ระบบเลขฐานสิบ ประกอบด้วยตัวเลข 10 จำนวนคือ 0,1,2,3,...,9 ตัวอย่างเลขฐานสิบ เช่น $170 = (1 \times 10^2) + (7 \times 10^1) + (0 \times 10^0)$

2. ระบบเลขฐานแปด ประกอบด้วยตัวเลข 8 จำนวน คือ 0,1,2,3,...7 ตัวอย่างเลขฐานแปด เช่น $(125)_8$ เทียบได้กับเลขฐานสิบดังนี้

$$\begin{aligned}(125)_8 &= (1 \times 8^2) + (2 \times 8^1) + (5 \times 8^0) \\ &= 64 + 16 + 5 \\ &= 85 \text{ (เลขฐานสิบ)}\end{aligned}$$

3. ระบบเลขฐานสิบหก ประกอบด้วยตัวเลข 16 จำนวน คือ 0,1,2,3,...9 , A,B,C,D,E,F ตัวอย่างเลขฐาน 16 เช่น $(4 \text{ C } 5 \text{ D.AF})_{16}$

$$\begin{aligned}(4 \text{ C } 5 \text{ D.AF})_{16} &= (4 \times 16^3) + (12 \times 16^2) + (5 \times 16^1) + (13 \times 16^0) \\ &\quad + (10 \times 16^{-1}) + (15 \times 16^{-2}) \\ &= 16,384 + 3,072 + 80 + 13 + 0.625 + 0.058 \\ &= 19,549.68 \text{ (เลขฐานสิบ)}\end{aligned}$$

4. ระบบเลขฐานสอง ประกอบด้วยตัวเลข 2 จำนวน คือ 0 และ 1 ตัวอย่างเลขฐานสอง เช่น (1011.10)

$$\begin{aligned}(1011.10)_2 &= (1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 1^0) \\ &\quad + (1 \times 2^{-1}) + (0 \times 2^{-2}) \\ &= 8 + 2 + 1 + 0.5 + 0.5 \\ &= 11.75 \text{ (เลขฐานสิบ)}\end{aligned}$$

5.3 บิตและจุดภาพ

ข้อมูลภาพถ่ายขาวเทียมนประกอบด้วยพื้นที่ภาพขนาดเล็กที่เรียกว่า จุดภาพ (pixel หรือ Picture element) แต่ละจุดภาพมีข้อมูลตัวเลขค่าระดับสีเทา (gray level) กำกับอยู่ ข้อมูลตัวเลขเหล่านี้นำมาวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ได้ การวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ก็คือการนำค่าระดับสีเทาของทุกจุดในภาพผ่านเข้ารับการจำแนกโดยคอมพิวเตอร์เพื่อจัดกลุ่มข้อมูลที่มีค่าใกล้เคียงกันเป็นข้อมูลประเภทเดียวกัน

ขนาดของพื้นที่จุดภาพมีผลต่อรายละเอียดภาพ พื้นที่จุดภาพยังมีขนาดเล็กทำให้ได้ภาพที่มีรายละเอียดชัดเจนมากขึ้น เช่นเดียวกับภาพถ่ายทางอากาศที่สามารถย่อขยายได้ ภาพขาวเทียมนก็สามารถปรับสเกลที่ต้องการ โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบระบบเลขจำนวน

ฐานสอง	ฐานแปด	ฐานสิบ	ฐานสิบหก
000	0	0	0
001	1	1	1
010	2	2	2
011	3	3	3
100	4	4	4
101	5	5	5
110	6	6	6
111	7	7	7
1000	10	8	8
1001	11	9	9
1010	12	10	A
1011	13	11	B
1100	14	12	C
1101	15	13	D
1110	16	14	E
1111	17	15	F

ข้อมูลตัวเลขของแต่ละจุดภาพเป็นจำนวนที่กำหนดขนาดด้วยบิต (bits) ที่ใช้เป็นตัวแทนของค่าสะท้อนพลังงานของแต่ละจุดภาพ แต่ละจุดภาพมีจำนวน 5 หรือ 6 หรือ 8 บิต ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าระดับสีเทา 32,64 และ 256 ตามลำดับ จำนวนบิตมากให้รายละเอียดของข้อมูลได้มากกว่าจำนวนบิตน้อย เช่น ข้อมูลแลนด์แซทเอ็มเอสเอส มี 6 บิต แลนด์แซทเอ็ม 8 บิต จำนวนบิตที่กำหนดจึงเป็นความสามารถที่จะเก็บข้อมูลได้มากหรือน้อย

คำว่าบิต (bit) ย่อมาจากคำว่า Binary digit เป็นหน่วยพื้นฐานของเลขฐานสองซึ่งมีเพียง 2 ค่าเท่านั้น คือ เลข 1 (เปิด) และเลข 0 (ปิด) โดยการใช้ตัวเลขทั้งสองนี้ก็สามารถแทนค่าจำนวนมากของข้อมูลได้ กลุ่มของบิตที่แทนค่าระดับสีเทาของแต่ละจุดภาพเรียกว่า ไบต์ (byte) หรือเรียกว่า word length สำหรับตัวเลขบิตเริ่มจากขวาไปซ้าย

ตารางที่ 5.2 บิตและค่าระดับสีเทา

บิต/คุณภาพ(bit/pixel)	จำนวนระดับสีเทา	ระดับสีเทา	
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
5	32	0	31
6	64	0	63
7	128	0	127
8	256	0	255
9	512	0	511

ข้อมูลระดับสีเทาของแต่ละคุณภาพ อยู่ในรูปของตัวเลขเต็มจำนวนบันทึกไว้ตามระบบเลขฐานสอง การเก็บข้อมูลได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนบิต เช่น ข้อมูลแลนด์แซทเอ็มเอสเอส เก็บข้อมูลได้ 6 บิต นั่นคือเก็บค่าระดับสีเทาได้ 0 - 63 (0 - 111111) หรือ 64 ระดับ ข้อมูลแลนด์แซทที่เอ็มเก็บข้อมูลได้ 8 บิต ค่าระดับสีเทา 0 - 255 (0 - 11111111) หรือ 256 ระดับ

5.4 ระบบการเก็บข้อมูลสัมผัสระยะไกล

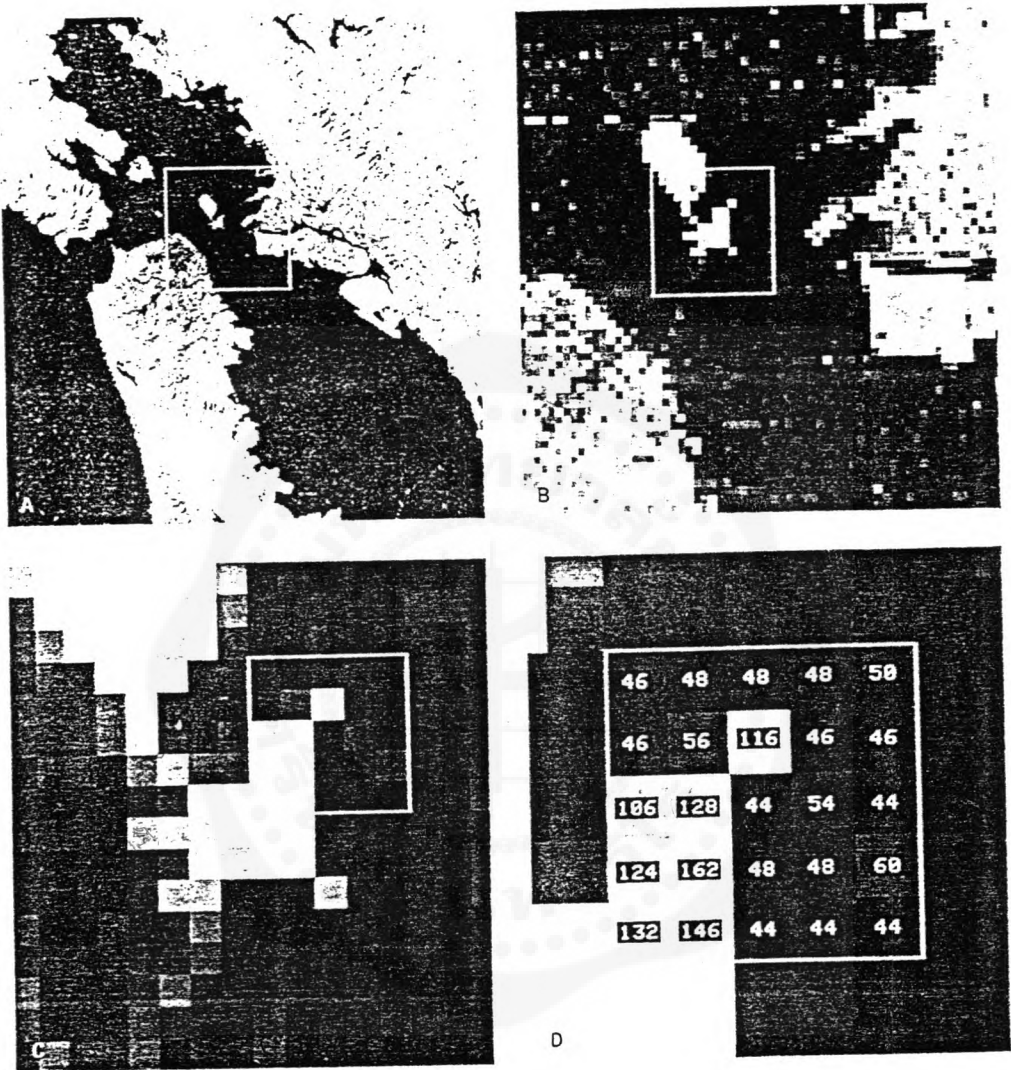
ระบบการเก็บข้อมูลมี 2 ระบบดังนี้

1. ระบบการเก็บข้อมูลที่ใช้อุปกรณ์ 1 ตัวต่อแนวกวาดภาพ เก็บข้อมูลตามแนวเส้นตรง หรือเรียกว่าระบบวิสก์บรูม (Whiskbroom) อุปกรณ์มีการเคลื่อนไหวกวาดเก็บข้อมูลไปตามแนวกวาดภาพ (scan line) อุปกรณ์อยู่ในลักษณะตั้งฉากบนดาวเทียมหรือเครื่องบิน การเก็บข้อมูลที่ใช้ระบบนี้ได้แก่ แลนด์แซทเอ็มเอสเอส มีอุปกรณ์ 6 ตัวต่อแบนด์กวาดเก็บข้อมูลไปพร้อม ๆ กัน 6 แนว จำนวน 4 แบนด์ รวมอุปกรณ์ 24 ตัว แลนด์แซทที่เอ็มมีอุปกรณ์แบนด์ละ 16 ตัวยกเว้นแบนด์ 6 มีอุปกรณ์ 4 ตัว รวมอุปกรณ์ 100 ตัว

2. ระบบการเก็บข้อมูลที่ใช้อุปกรณ์ติดตั้งถาวรไม่เคลื่อนที่ มีอุปกรณ์จำนวนมากบันทึกข้อมูลไปพร้อม ๆ กัน หรือเรียกว่าระบบพูชบรูม (Pushbroom) การเก็บข้อมูลที่ใช้ระบบนี้ได้แก่ ระบบของเอชอาร์วีของดาวเทียมสปอต ระบบแพนโครมาติคของสปอตใช้อุปกรณ์ 6,000 ตัว ส่วนระบบหลายช่วงคลื่นใช้อุปกรณ์ 3,000 ตัวต่อแบนด์

เนื่องจากอุปกรณ์ติดตั้งโดยไม่มี การเคลื่อนที่ ข้อมูลที่ได้จึงเป็นข้อมูลที่เก็บพร้อมกันเป็นแถว หรือเป็นลักษณะข้อมูล 1 มิติ (one dimension)

ข้อดีของอุปกรณ์ชนิดนี้ก็คือ อุปกรณ์มีความคงทนในการใช้งานได้นานเนื่องจากติดตั้งถาวรไม่เคลื่อนที่ เครื่องมือมีน้ำหนักเบา แต่ต้องใช้อุปกรณ์จำนวนมากในการเก็บข้อมูล



รูป 5.1 จุดภาพของแลนด์แชท แสดงค่าระดับสีเทาตั้งแต่ 0 (เข้มที่สุด) ถึง 255 (ขาวที่สุด)
(ที่มา Strahler & Strahler, 1992 : 556)

5.5 ข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกล

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมประกอบด้วยข้อมูลตัวเลขสองมิติ ซึ่งเก็บข้อมูลเป็นพื้นที่ เรียกว่า จุดภาพมีขนาดแตกต่างกันตามประสิทธิภาพของอุปกรณ์สำรวจข้อมูล เช่น ระบบแลนค์แซทเอ็มเอสเอสมีขนาด 80 เมตร x 80 เมตร ระบบแลนค์แซททีเอ็มมีขนาด 30 เมตร x 30 เมตร ระบบสปอตเอ็มแอลเอ็มมีขนาด 20 เมตร x 20 เมตร ระบบสปอต แพนโคโรมาติกมีขนาด 10 เมตร x 10 เมตร ระบบมอสเอ็มอีเอสเอสอาร์ มีขนาด 50 เมตร x 50 เมตร

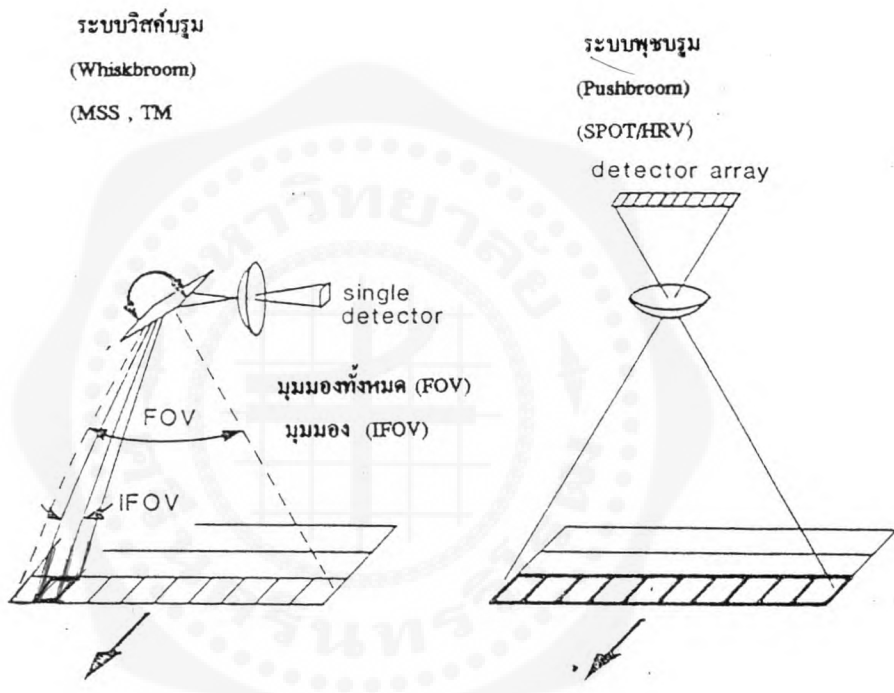
ข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกล เรียกชื่อแตกต่างกันหลายชื่อ แต่มีความหมายในเรื่องเดียวกันก็คือเป็นค่าสะท้อนพลังงานของวัตถุนบนพื้นผิวโลก ที่อุปกรณ์สำรวจเก็บข้อมูลได้ เช่น

1. ค่าระดับสีเทา (gray level - GL)
2. ค่าความส่องสว่าง (brightness value - BV)
3. ค่าดีเอ็น (digital number - DN)
4. ค่าจุดภาพ (pixel value - PV)

ปริมาณข้อมูลขึ้นอยู่กับจำนวนจุดภาพ แต่ละระบบมีรายละเอียดภาพ (resolution) แตกต่างกัน ทำให้ได้ปริมาณข้อมูลไม่เท่ากัน ปกติข้อมูลที่มีรายละเอียดภาพสูงมีปริมาณข้อมูลมาก ภาพถ่ายดาวเทียม 1 ภาพ ประกอบไปด้วยจุดภาพที่เรียงตัวเป็นแถวในแนวนอน (row) และเรียงตัวในแนวตั้งเป็นคอลัมน์ (column) ตำแหน่งของจุดกำเนิดภาพอยู่ที่มุมบนด้านซ้ายของภาพ

ระบบแลนค์แซทเอ็มเอสเอส 1 ภาพ ครอบคลุมพื้นที่ 185 กม. x 185 กม. มีข้อมูล 2,340 บรรทัด 3,240 คอลัมน์ เป็นจำนวนจุดภาพ $3,240 \times 2,340 = 7.6$ ล้านจุดภาพต่อแบนด์ ข้อมูลระบบนี้มี 4 แบนด์ / ภาพ มีจำนวนจุดภาพทั้ง 4 แบนด์ ประมาณ 30.4 ล้านจุดภาพ

ระบบแลนค์แซททีเอ็ม 1 ภาพ ครอบคลุมพื้นที่ 185 กม. x 185 กม. มีข้อมูล 5,667 บรรทัด 6,167 คอลัมน์ เป็นจำนวนจุดภาพ $5,667 \times 6,167 = 34.9$ ล้านจุดภาพต่อแบนด์ข้อมูล ระบบนี้มี 7 แบนด์ต่อภาพ มีจำนวนจุดภาพทั้ง 7 แบนด์ ประมาณ 244.3 ล้านจุดภาพ (เฉพาะแบนด์ 6 มีรายละเอียดภาพ 120 เมตร)



รูป 5.2 ระบบอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Sensor scanning methods)

(ที่มา Robert A. Schowengerdt, 1983 : 6)

5.6 รูปแบบของการจัดเรียงข้อมูล

ข้อมูลสัณฐานระยะไกลในระบบหลายช่วงคลื่น (multispectral) บันทึกลงในเทปแม่เหล็ก การจัดเรียงข้อมูลโดยทั่วไปมี 3 แบบ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานของข้อมูลนั้น

1. การจัดเรียงข้อมูลตามลำดับจุดภาพ (Band interleaved by pixel - BIP) วิธีการนี้เป็นการบันทึกข้อมูลเริ่มจากจุดภาพที่ 1 ของแบนด์ที่ 1 ตามด้วยจุดภาพ ที่ 1 ของแบนด์ที่ 2 จุดภาพที่ 1 ของแบนด์ที่ 3 จุดภาพที่ 1 ของแบนด์ที่ 4 ในกรณีที่ข้อมูลแลนด์แซทเอ็มเอสเอสที่มี 4 แบนด์ การเรียงลำดับขั้นต้นก็จะครบตามจำนวนแบนด์หลังจากนั้นเริ่มจากจุดภาพที่ 2 ของแบนด์ที่ 1 ไปจนถึงจุดภาพที่ 2 ของแบนด์ที่ 4 แล้วขึ้นต้นจุดภาพที่ 3 ของแบนด์ที่ 1 ต่อไป

2. การจัดเรียงข้อมูลตามลำดับบรรทัดภาพ (Band interleaved by line - BIL) วิธีการนี้เริ่มบันทึกข้อมูลจากบรรทัดที่ 1 ของแบนด์ที่ 1 บรรทัดที่ 1 ของแบนด์ที่ 2 บรรทัดที่ 1 ของแบนด์ที่ 3 บรรทัดที่ 1 ของแบนด์ที่ 4 ในกรณีข้อมูลแลนด์แซทเอ็มเอสเอสที่มี 4 แบนด์ ก็จะกลับมาบันทึก บรรทัดที่ 2 ของแบนด์ที่ 1 ถึงบรรทัดที่ 2 ของแบนด์ที่ 4 ต่อไป

3. การจัดเรียงข้อมูลตามแบนด์ (Band sequential - BSQ) โดยการบันทึกข้อมูลเรียงตามลำดับตั้งแต่แบนด์ที่ 1 เป็นต้น ไปจนถึงแบนด์สุดท้าย

การจัดเรียงข้อมูลแต่ละแบบก็เพื่อความเหมาะสมกับวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ถ้าการวิเคราะห์แบบเรียงตามลำดับจุดภาพ การจัดเรียงแบบบีไอพีก็เหมาะสมเนื่องจากข้อมูลแต่ละจุดภาพของทุกแบนด์ได้จัดเรียงต่อเนื่องกันอยู่แล้ว ในกรณีที่การวิเคราะห์ต้องข้อมูลทีละแบนด์ การจัดเรียงแบบบีเอสคิวก็เหมาะสมกว่าเพราะไม่ต้องนำข้อมูลในแบนด์ถัดไปที่ไม่เกี่ยวข้องมาการวิเคราะห์อย่างไรก็ตามการจัดเรียงแบบบีไอแอลมีความเหมาะสมและให้ความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลและใช้กว้างขวางมากกว่า 2 วิธีแรก

การจัดเรียงข้อมูลตามลำดับจุดภาพ (BIP)

บันทึกข้อมูล #	บรรทัดภาพ #	จุดภาพ #							
		1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	1	2	3	4	1	2	3	4
2	2	1	2	3	4	1	2	3	4
⋮	⋮								
⋮	⋮								

การจัดเรียงข้อมูลตามลำดับบรรทัดภาพ (BIL)

บันทึกข้อมูล #	บรรทัดภาพ #	จุดภาพ #				
		1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4	4
5	2	1	1	1	1	1
⋮	⋮					
⋮	⋮					

การจัดเรียงข้อมูลตามแบนด์ (BSQ)

บันทึกข้อมูล #	บรรทัดภาพ #	จุดภาพ #				
		1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	1	1	1	1
⋮	⋮					
⋮	⋮					
⋮	1	2	2	2	2	2
⋮	2	2	2	2	2	2
⋮	⋮					
⋮	⋮					

รูป 5.3 การจัดเรียงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับข้อมูลหลายช่วงคลื่น
(ที่มา Robert A. Schowengerdt, 1983 : 226)

คำถามท้ายบทที่ 5

1. ระบบคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปมีองค์ประกอบที่สำคัญอะไรบ้าง
2. บิทและจุดภาพคืออะไร จงอธิบาย
3. จงกล่าวถึงการเก็บข้อมูลสัมผัสระยะไกล
4. ค่าระดับสีเทาคืออะไร จงอธิบายอย่างละเอียด
5. รูปแบบของการจัดเรียงข้อมูลสัมผัสระยะไกล มีอะไรบ้าง จงอธิบาย



บทที่ 8

การวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์

ข้อมูลดาวเทียมประกอบด้วยจุดภาพ (picture element หรือ pixel) ขนาดเล็กที่มีค่าระดับสีเทา (gray-level) กำกับอยู่ เป็นข้อมูลตัวเลขการสะท้อนพลังงานของวัตถุหรือลักษณะ (features) ต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกเรียกได้หลายชื่อ เช่น ค่าดีเอ็น (Digital Number - DN) หรือค่าความสว่าง (Brightness value - BV) ข้อมูลดาวเทียมเป็นข้อมูลตัวเลขที่เก็บในรูปของเทปแม่เหล็ก (Computer compatible tape - CCT)

การวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ก็คือการนำข้อมูลค่าระดับสีเทาของทุกจุดภาพผ่านเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ครั้งละ 1 จุดภาพเพื่อทำการวิเคราะห์ เครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งมีโปรแกรมการวิเคราะห์ข้อมูลบรรจุอยู่ก็จะทำหน้าที่วิเคราะห์และบันทึกผลที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละจุดภาพไว้ ผลรวมทั้งหมดจะออกมาเป็น ข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม เป็นภาพใหม่หรือจะเป็นข้อมูลใหม่ที่จะถูกบันทึกไว้ในเทปคอมพิวเตอร์และแสดงผลด้วยภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

การแก้ไขข้อมูลและการสร้างภาพกลับคืน (Image Rectification and Restoration) การปรับปรุงคุณภาพข้อมูล (Image Enhancement) และการจำแนกประเภทข้อมูล (Image Classification)

6.1 การแก้ไขข้อมูลและการสร้างภาพกลับคืน

การดำเนินงานในขั้นตอนแรกนี้มีจุดประสงค์เพื่อแก้ไขทำให้ข้อมูลมีความถูกต้อง จากข้อมูลเดิมที่มีความบิดเบือนหรือไม่มีคุณภาพ ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการเก็บข้อมูล

กระบวนการที่เกี่ยวข้องในการแก้ไขข้อมูล ได้แก่

การแก้ไขความผิดพลาดทางเรขาคณิต (Geometric correction) การแก้ไขระดับสีเทา (Radiometric Correction) การแก้ไขคลื่นรบกวน (Noise removal)

1. การแก้ไขความผิดพลาดทางเรขาคณิต

ข้อมูลดิบโดยทั่วไปมักมีความคลาดเคลื่อนในเรื่องตำแหน่งหรือรูปร่างของพื้นที่ ซึ่งเรียกว่าเป็นความผิดพลาดหรือความบิดเบี้ยวทางเรขาคณิต (geometric distortions) ซึ่งทำให้เกิดปัญหาที่ไม่สามารถใช้ภาพถ่ายดาวเทียมนั้นเป็นแผนที่ได้ ความบิดเบี้ยวนี้เกิดจากความผันแปรไม่คงที่ของ ความสูง การทรงตัว และความเร็วของดาวเทียมที่ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูล นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ความผิดพลาดที่เกิดจากการถ่ายภาพมุมกว้างที่เกิดขึ้น

กับภาพที่ถ่ายจากเครื่องบินมากกว่าภาพที่ถ่ายจากดาวเทียม ลักษณะส่วนโค้งของพื้นผิวโลก การหักเหของแสงอันเนื่องจากสภาพอากาศ และเกิดจากอุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่มีความบกพร่อง ลักษณะความผิดพลาดทางเรขาคณิตมี 2 ประเภทคือ

ความผิดพลาดทางเรขาคณิตที่เกิดขึ้นเป็นระบบ ความผิดพลาดในลักษณะนี้ สามารถคาดหมายได้ล่วงหน้า เกิดขึ้นสม่ำเสมอและคงที่ วิธีการแก้ไข ทำได้โดยใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ สาเหตุเกิดจากความผิดพลาดของอุปกรณ์กวาดรับข้อมูล ความเร็วของกระจกไม่คงที่ แนวกวาดภาพเฉียง เนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม

ความผิดพลาดทางเรขาคณิตที่เกิดขึ้นไม่เป็นระบบไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ สาเหตุเกิดจาก ดาวเทียมมีความเร็ว การทรงตัวและระดับความสูงไม่คงที่ ทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน ไปจากตำแหน่งบนพื้นผิวโลก

1.1 การตรึงตำแหน่งพิกัด เนื่องจากข้อมูลภาพดาวเทียมไม่ใช่แผนที่ แต่บ่อยครั้งที่ข้อมูลดาวเทียมถูกนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลแผนที่และการใช้งานร่วมกับข้อมูลอื่นๆ เพื่อประกอบเป็นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ การแก้ไขภาพดาวเทียมให้มีคุณสมบัติทางมาตราส่วนและโปรเจกชันของแผนที่เรียกว่าเป็นการแก้ไขความผิดพลาดทางเรขาคณิตและถ้ามีการใช้ข้อมูลภาพดาวเทียมในวันที่ที่แตกต่างกันหรือคนละวันและผู้ใช้มีความประสงค์ที่จะวัดความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ต้องนำข้อมูลดาวเทียมเหล่านี้มาหาตำแหน่งที่สอดคล้องกัน โดยหาจุดพิกัดในตำแหน่งเดียวกัน เรียกวิธีการนี้ว่า การตรึงตำแหน่งพิกัด

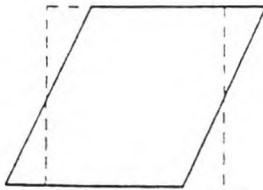
กระบวนการแก้ไขความผิดพลาดทางเรขาคณิต ประกอบด้วย การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง ระบบพิกัดและสามารถอ้างอิงกับตำแหน่งบนพื้นผิวโลกได้ รวมทั้งการประมาณค่า ระดับสีเทา ของจุดภาพที่มีการแก้ไขตำแหน่งพิกัดแล้ว เพื่อให้ได้ภาพดาวเทียมที่มีความถูกต้องทั้งตำแหน่งและค่าสะท้อนแสงของแต่ละจุดภาพ วิธีการในการแก้ไขตำแหน่งใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (ground control point - GCP) ส่วนวิธีการในการแก้ไขค่าสะท้อนพลังงานเรียกว่าการหาค่าใหม่ (resampling)

การเลือกจุดควบคุมภาคพื้นดินจะต้องปรากฏที่ชัดเจน มีตำแหน่งที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ระหว่างภาพดาวเทียมกับแผนที่ โดยการเลือกจุดภาพในภาพดาวเทียมระบุตำแหน่งของพิกัดเป็นคอร์ดัมน์และแฉว กับจุดพิกัดภาคพื้นดินในแผนที่ระบบยูทีเอ็ม หรือพิกัดละติจูดและลองจิจูด การเลือกจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของข้อมูล

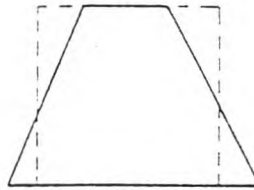
1.2 การหาค่าใหม่ (Resampling Process) หลังจากการกำหนดตำแหน่งที่ถูกต้องของจุดควบคุมภาคพื้นดินในภาพถ่ายดาวเทียมแล้ว การแปลงค่าสะท้อนพลังงานจากภาพเดิมให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องเป็นวิธีการที่เรียกว่า การหาค่าใหม่ ก็เริ่มต้นโดยมีขั้นตอนดังนี้

DISTORTION EVALUATED FROM TRACKING DATA

DISTORTION EVALUATED FROM GROUND CONTROL



การหมุนของโลก



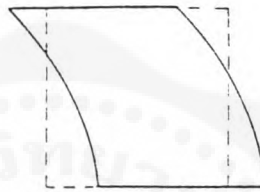
ความผันแปรของความสูง



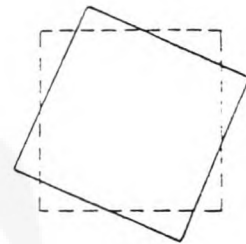
การโคลงตัว



ความเร็วของดาวเทียม

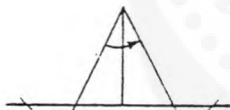


การหมุน

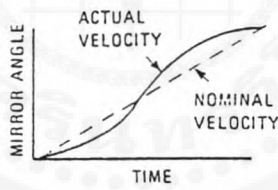


การต่ำ

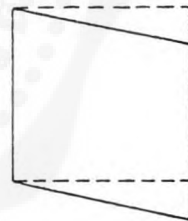
ก. ความผิดพลาดไม่เป็นระบบ



ความผิดพลาดของอุปกรณ์กวาดภาพ



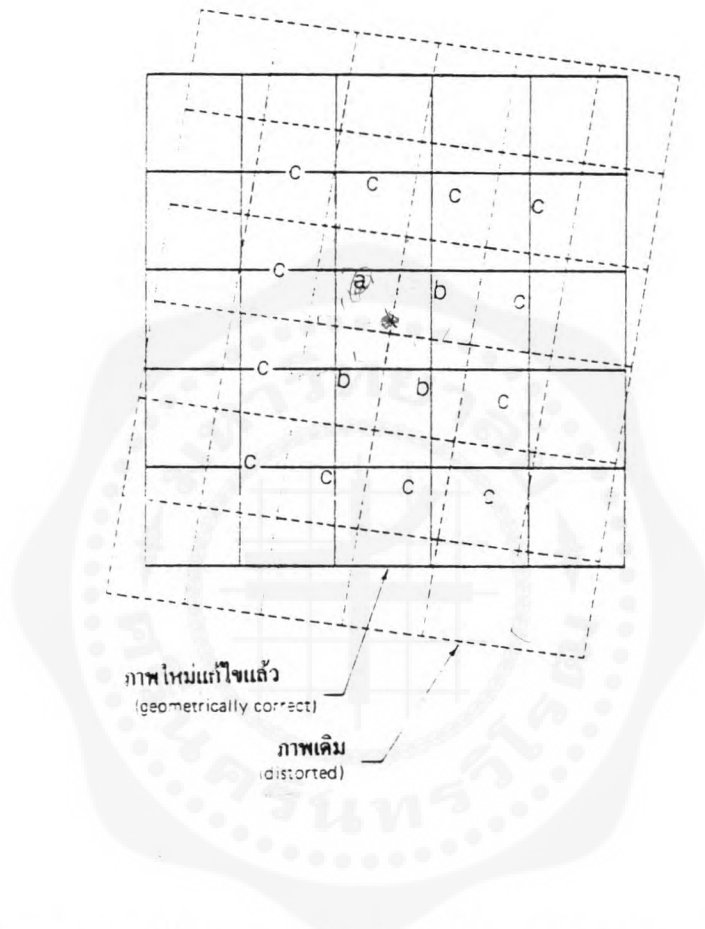
ความผันแปรความเร็วกระจก



การเอียงของแนวกวาด

ข. ความผิดพลาดเป็นระบบ

รูปที่ 6.1 ความผิดพลาดทางเรขาคณิต
(ที่มา Floyd F. Sabins, Jr, 1978 : 147)



รูปที่ 6.2 การหาค่าใหม่ (resampling) การแก้ไขความผิดพลาดทางเรขาคณิต
(ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 : 529)

1. จุดพิกัดของแต่ละจุดภาพในภาพใหม่ นำมาใช้ในการพิจารณาค่าแห่งของจุดภาพให้สอดคล้องกับภาพเดิม

2. โดยปกติแล้ว ตำแหน่งของจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทากำกับอยู่จะไม่ตรงกับตำแหน่งในภาพเดิมการกำหนดค่าระดับสีเทาที่แก้ไขใหม่ได้จากการตรวจสอบค่าระดับสีเทาที่อยู่รอบๆ ตำแหน่งนั้น ๆ ของภาพเดิม

วิธีการหาค่าใหม่มี 3 วิธีดังนี้

1. การหาค่าใหม่จากตำแหน่งที่ใกล้ที่สุด (Nearest neighbour resampling) จากรูปประกอบข้างต้น จุดภาพ a ซึ่งเป็นภาพเดิมที่แก้ไข เมื่อกำหนดจุดควบคุมภาพพื้นดินแล้วทิศทางตำแหน่งเดิมของภาพถูกเปลี่ยนแปลงให้มีความถูกต้องทางเรขาคณิตค่าระดับสีเทาจำเป็นต้องใส่เข้าไปเป็นข้อมูลของจุดภาพนี้ด้วย ค่าเดิมคือ a เมื่อแปลงตำแหน่งแล้ว ยังคงอยู่ใกล้เคียงกัน จุดภาพในตำแหน่งใหม่จึงใช้ค่าสะท้อนพลังงาน a ด้วย

วิธีการนี้เป็นการหาค่าใหม่อย่างง่าย และหลีกเลี่ยงการแปลงค่าระดับสีเทาเดิม แต่อย่างไรก็ตามลักษณะรายละเอียดของภาพที่ปรากฏอาจจะผิดจากตำแหน่งเดิมไป เป็นพื้นที่ถึงครึ่งจุดภาพก็ได้ ซึ่งอาจทำให้ภาพที่ได้มีข้อบกพร่อง ภาพมีลักษณะสะดุดไม่เรียบ

2. การหาค่าใหม่จากจุดภาพใกล้เคียงจำนวน 4 จุดภาพ (Bilinear interpolation) เป็นวิธีการหาค่าใหม่ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยพิจารณาค่าระดับสีเทาของ จุดภาพจำนวน 4 จุดภาพที่อยู่รอบๆ จุดภาพที่ต้องการแปลงค่า วิธีการนี้ภาพที่ได้มีความราบเรียบ กว่าวิธีแรก ตัวอย่าง จากภาพประกอบ จุดภาพ a, b, b, b ถูกนำมาหาค่าใหม่ อย่งไรก็ตาม เนื่องจากวิธีนี้เป็น การเปลี่ยนค่าระดับสีเทา ของข้อมูลดั้งเดิมอาจทำให้มีปัญหาเมื่อมีการวิเคราะห์ ด้วยเหตุนี้วิธีการหาค่าใหม่มักทำเมื่อผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์

3. การหาค่าใหม่จากจุดภาพใกล้เคียงจำนวน 16 จุดภาพ (Cubic convolution) เป็นอีกวิธีหนึ่งในการหาค่าใหม่โดยการพิจารณาจำนวนจุดภาพในตำแหน่งของจุดภาพที่เป็นปัญหา ในลักษณะเป็นพื้นที่รูปเหลี่ยม 4×4 จุดภาพ ข้อดีของวิธีนี้ก็คือ ภาพใหม่ที่ได้ ลักษณะเรียบ ไม่มีรอยสะดุดเหมือนวิธีแรก และช่วยให้ภาพมีความคมชัดมากกว่าวิธีที่สอง

2. การแก้ไขระดับสีเทา

การวัดค่าระดับสีเทามีองค์ประกอบที่สำคัญคือ การได้รับแสงหรือพลังงาน เงื่อนไขของสภาพอากาศ มุมของการตรวจวัดข้อมูล รวมทั้ง ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ขณะตรวจวัดข้อมูล สำหรับองค์ประกอบทางด้านมุมของการตรวจวัดข้อมูล (viewing geometry) อุปกรณ์ ที่ติดตั้งบนเครื่องบินมีผลกระทบมากกว่าอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนดาวเทียม ในกรณีข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่อยู่ในช่วงคลื่นเห็นได้ และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ มักนำมาใช้ทำโมเสค

หรือภาพต่อ ภาพ ที่ได้มามีความแตกต่างในเรื่องเวลาของการเก็บข้อมูลหรือเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการสะท้อนพลังงานของพื้นผิวโลกในช่วงเวลาที่ต่างกัน ในตำแหน่งที่ต่างกัน การใช้งานลักษณะที่กล่าวมาแล้ว มีความจำเป็นต้องแก้ไขภาพ โดยวิธีการแก้ไขมุมความสูงของดวงอาทิตย์ (sun elevation correction) นอกจากนี้สภาพอากาศมีผลต่อการสะท้อนพลังงานของพื้นผิวโลก เนื่องจาก บรรยากาศมีการกระจายแสงในช่วงคลื่นสั้นได้ดี ทำให้ภาพที่ได้ไม่คมชัด ซึ่งต้องมีการแก้ไขการสะท้อนพลังงาน โดยบรรยากาศ (haze compensation procedures)

2.1 การแก้ไขมุมความสูงของดวงอาทิตย์เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดฤดูกาลต่างๆ เมื่อทำการแก้ไขแล้วข้อมูลดาวเทียมที่ได้จากตำแหน่งของการรับแสงที่มีมุมของการรับแสง (solar illumination angle) ที่ต่างกันถูกนำมาปรับให้มีค่าปกติ (normalized) โดยการคำนวณค่าการสะท้อนพลังงานโดยสมมติว่าดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่ง Zenith ซึ่งเป็นตำแหน่งสูงสุดในท้องฟ้าของแต่ละวันที่มีการเก็บข้อมูล การแก้ไขทำได้โดยการหารค่าระดับสีเทาของแต่ละจุดภาพโดยค่า sine ของมุมความสูงดวงอาทิตย์ (solar elevation angle) ในช่วงเวลาและตำแหน่งของการถ่ายภาพนั้น นอกจากนี้อาจทำได้โดยการหาค่ามุมดวงอาทิตย์ (Sun's angle) จาก Zenith โดยใช้ค่ามุม 90 องศาลบด้วยค่ามุมความสูงของดวงอาทิตย์ ในกรณีนี้ค่าระดับสีเทาแต่ละจุดภาพหารด้วย cosine ของมุมดวงอาทิตย์ (sun's angle) จากตำแหน่ง Zenith

ระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ ใช้ประกอบในกระบวนการแก้ไขเพื่อปรับค่าระดับสีเทาให้เป็นปกติ (normalized) อันเนื่องมาจากความเปลี่ยนแปลงในเรื่องฤดูกาล โดยปกติระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์เป็นหน่วยดาราศาสตร์ (astronomical units - A.U) มีค่าประมาณ 149.6×10^6 กิโลเมตร การเปล่งพลังงานของดวงอาทิตย์ (irradiance) ที่ตกกระทบลงสู่พื้นโลกมีค่าลดลงเป็นกำลังสองของระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

เมื่อนำอิทธิพลของมุมดวงอาทิตย์ในตำแหน่ง Zenith (Solar zenith angle) ร่วมกับระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่พลังงานตกกระทบ (irradiance) สู่พื้นผิวโลกได้สมการดังนี้

$$E = \frac{E_0 \cos \theta_0}{d^2}$$

เมื่อ $E =$ พลังงานดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบสู่พื้นผิวโลกในหนึ่งหน่วยพื้นที่
(normalized solar irradiance)

$E_0 =$ พลังงานของดวงอาทิตย์เมื่อโลกและดวงอาทิตย์มีระยะห่างเฉลี่ย
(solar irradiance at mean earth-sun distance)

$\theta_0 =$ มุมดวงอาทิตย์จากตำแหน่ง Zenith

(sun's angle from the Zenith)

$d =$ ระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

(earth - sun distance, A.U)

2.2 การแก้ไขการกระจายของพลังงานโดยบรรยากาศ ความผันแปรของได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ส่วนหนึ่งเป็นผลกระทบที่เกิดจากบรรยากาศ ซึ่งทำให้มีผลต่อการวัดการสะท้อนพลังงาน

ประการแรก ทำให้ลดปริมาณพลังงานที่ตกกระทบพื้นผิววัตถุ ประการที่สอง บรรยากาศเป็นตัวสะท้อนพลังงานเสียเองทำให้เกิดการกระจายของพลังงาน (path radiance) เข้าสู่ระบบอุปกรณ์สำรวจข้อมูล ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$L_{\text{tot}} = \frac{\rho ET}{\pi} + L_p$$

$L_{\text{tot}} =$ การสะท้อนพลังงานทั้งหมดที่ตรวจวัดได้โดยอุปกรณ์สำรวจ

(total spectral radiance measured by sensor)

$\rho =$ การสะท้อนพลังงานของวัตถุเป้าหมาย (reflectance of target)

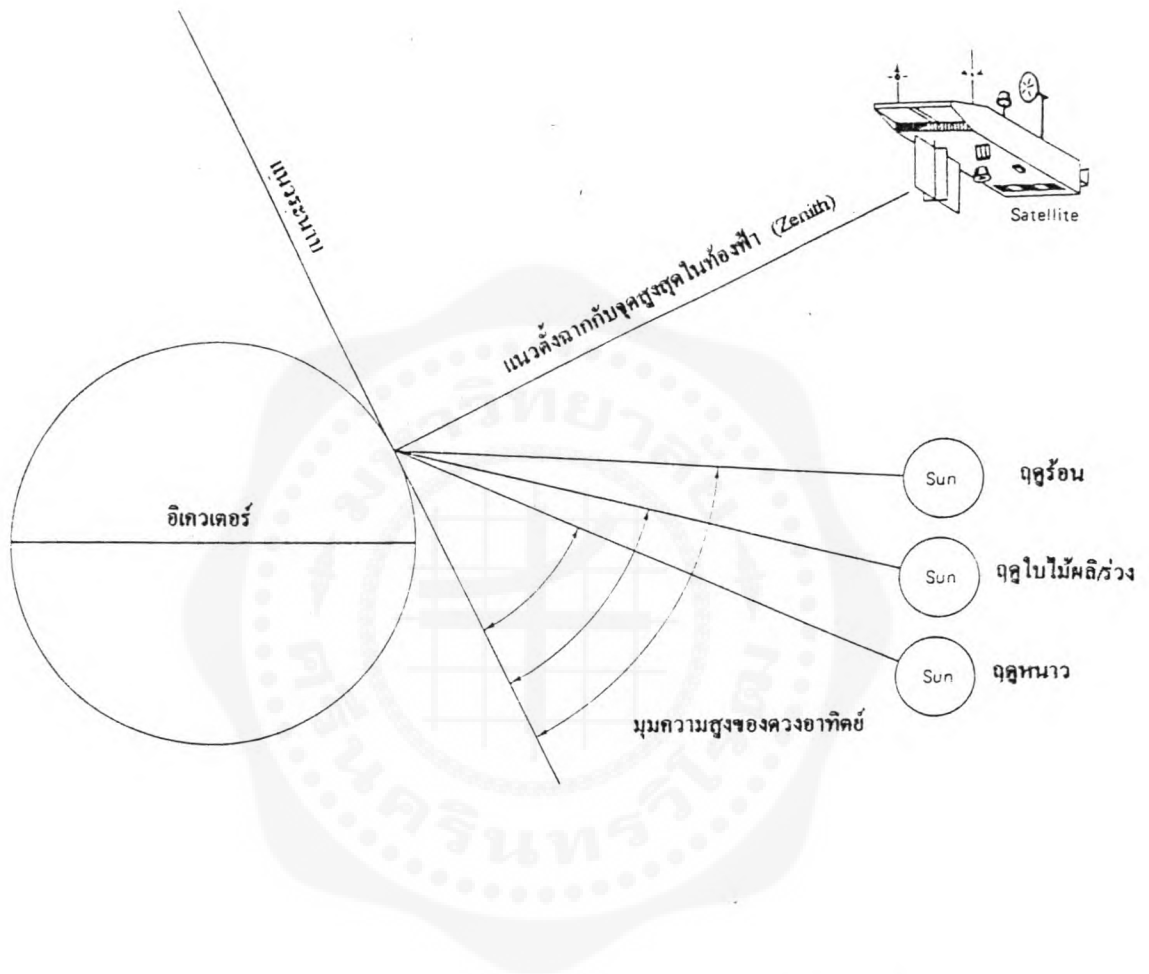
$E =$ พลังงานที่ตกกระทบบนวัตถุ (irradiance on the target)

$T =$ การส่งผ่านโดยบรรยากาศ (transmission of atmosphere)

$L_p =$ พลังงานที่สะท้อนโดยบรรยากาศ (path radiance)

จากสมการจะเห็นว่า บรรยากาศเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการสะท้อนพลังงานนอกเหนือจากการสะท้อนพลังงานของวัตถุเป้าหมาย เมื่ออุปกรณ์สำรวจบันทึกข้อมูลการสะท้อนพลังงานโดยบรรยากาศเข้าไปด้วยทำให้ภาพไม่คมชัด มีวามเหมือนมีหมอกปกคลุมพื้นที่นั้น วิธีการแก้ไขเรียกว่ากระบวนการแก้ไขการกระจายของพลังงานโดยบรรยากาศ (haze compensation procedures)

การแก้ไขมี 2 วิธี Chavaz (1975) ได้ใช้ในการแก้ไขข้อมูลแลนด์แซทเอ็มเอสเอส ทั้ง 2 วิธีนั้นใช้ความรู้พื้นฐานจากความจริงที่ว่าแบนด์ 7 ไม่มีผลกระทบจาก บรรยากาศ เนื่องจากบรรยากาศมีการกระจายแสงมากในช่วงคลื่นสั้น แสงกระจายในช่วงคลื่นนี้น้อยที่สุด



รูปที่ 6.3 มุมความสูงของดวงอาทิตย์ (solar elevation angles) ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล (ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 : 532)

วิธีแรกเลือกพื้นที่ในภาพที่มีเงาที่เกิดจากสภาพภูมิประเทศนำค่าสะท้อนพลังงาน จากบริเวณดังกล่าวในแบนด์ 7 และแบนด์ 4 พลอต ลงในกราฟ โดยให้แกนค่านหนึ่งเป็นข้อมูลแบนด์ 7 แกนอีกข้างหนึ่งเป็นข้อมูลแบนด์ 4 ดังรูป ลากเส้นตรงให้อยู่ในแนวการกระจายของข้อมูล โดยใช้วิธี least square technique ถ้าไม่มีการกระจายของพลังงานในบรรยากาศ (haze) ในแบนด์ที่ 4 เส้นตรงนี้จะผ่านไปยังจุดตัด จากรูป 6.4ก พบว่า มีการกระจายของพลังงานซึ่งทำให้ภาพไม่คมชัด การแก้ไขใช้ค่าระดับสีเทาที่ขาดหายไป ในแบนด์ที่ 4 (เมื่อเปรียบเทียบกับแบนด์ที่ 7) ลบออกจากค่าระดับสีเทาของทุกจุดภาพในแบนด์ที่ 4 ตลอดทั้งภาพ ถ้ามีข้อมูลแบนด์ 5, 6 ของบริเวณเดียวกันก็นำมาแก้ไขด้วยวิธีการเช่นนี้ทำให้ภาพคมชัด ตามปกติ

วิธีการที่สองผ่านข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์สร้างฮิสโตแกรมของแบนด์ที่ 7 ในบริเวณที่มีเงาซึ่งมีค่าระดับสีเทาเท่ากับศูนย์ ในแบนด์ที่ 4 ไม่มีค่าเป็นศูนย์ ข้อมูลช่วงที่ขาดหายไปจากรูป 6.4 ข ของแบนด์ที่ 4 เนื่องจาก haze ให้ใช้ค่าระดับสีเทาที่ขาดหายไป ลบออกจาก ค่าระดับสีเทาที่เหลือทุกจุดภาพตลอดทั้งภาพ หลังจากแก้ไขแล้วภาพมีความคมชัดมากขึ้น มีข้อควร ระมัดระวังคือความผิดพลาดอาจเกิดขึ้นได้ถ้าสภาพอากาศไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งภาพ

3. การแก้ไขคลื่นรบกวน

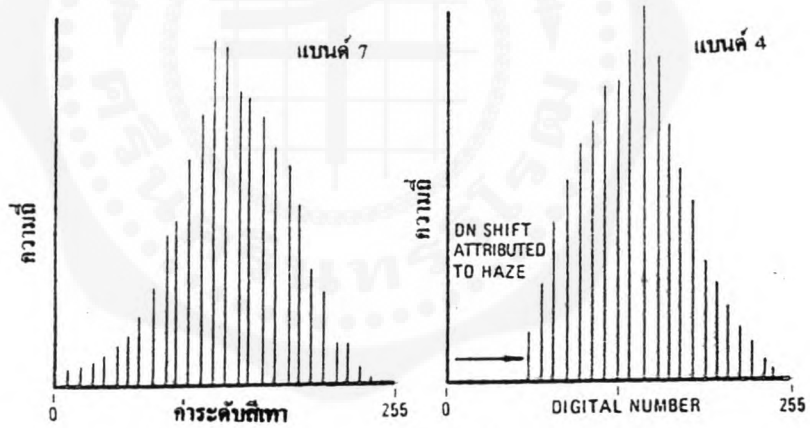
คลื่นรบกวน (noise) ทำให้ข้อมูลไม่มีคุณภาพ หรืออาจทำให้ไม่ได้รับข้อมูลเลยที่มาของคลื่นรบกวนได้แก่ อุปกรณ์สำรวจทำงานผิดพลาด มีการรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ของอุปกรณ์ มีความผิดพลาดระหว่างการส่งผ่านข้อมูลและการบันทึกข้อมูล จุดประสงค์ของการแก้ไขก็เพื่อการสร้างภาพกลับคืนให้เหมือนข้อมูลภาพจริงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ คลื่นรบกวนอาจเกิดขึ้นได้ทั้งแบบที่เป็นระบบและไม่เป็นระบบก็ได้ดังนี้

3.1 ข้อมูลบรรทัดภาพขาดหายไป (line drop) หรือขาดหายไปเป็นบางส่วน เช่น ข้อมูลแลนด์แซทเอ็มเอสเอสทีเก็บข้อมูลที่หลาย ๆ เส้นไปพร้อม ๆ กัน ปรากฏว่าอุปกรณ์สำรวจข้อมูลตัวใดตัวหนึ่งทำงานผิดพลาดอาจไม่ได้ทำการบันทึกข้อมูลทำให้เกิดเป็นเส้นสีดำในภาพ ปัญหานี้แก้ไขได้โดยเติมข้อมูลหรือค่าระดับสีเทาที่หายไปโดยใช้ค่าเฉลี่ย (average) ของจุดภาพที่อยู่บนบรรทัดบนและบรรทัดล่างแล้วใส่ข้อมูลเข้าไปก็ทำให้ภาพเป็นปกติได้

3.2 ข้อมูลบรรทัดภาพที่มีค่าสูงหรือต่ำกว่าปกติทำให้เกิดเป็นแนวหรือแถบ (striping หรือ banding) ในภาพอุปกรณ์บันทึกข้อมูลทำงานผิดพลาดทำให้ได้ค่าระดับสีเทาสูงกว่าหรือต่ำกว่าปกติการแก้ไขในกรณีนี้ใช้วิธีการปรับข้อมูลในบรรทัดภาพที่ผิดปกติ (describing procedure) โดยการสร้างภาพฮิสโตแกรมของข้อมูลค่าระดับสีเทาในแต่ละบรรทัดภาพ นำมาหาค่าเฉลี่ย (mean) มัชฐาน (median) และปรับฮิสโตแกรมของบรรทัดภาพที่เป็นปัญหา



ก. กราฟแบบ 7,4 จากข้อมูลภาพที่มีเงาข้อมูลแบบ 4 มีการกระจายของแสงโคขบรยากาศ



ข. ฮิสโตแกรมสำหรับแบบ 7 และ 4 ช่วงที่ขาดข้อมูลแบบ 4 เกิดจากการกระจายของแสงโคขบรยากาศ

รูปที่ 6.4 วิธีการแก้ไขการสะท้อนพลังงานโคขบรยากาศ
(ที่มา Floyd F. Sabin, Jr., 1978 : 245)

3.3 การเลื่อนตำแหน่งของแนวบรรทัดภาพ (scan line offset) ข้อมูลควาเทียมบางภาพมีความผิดปกติโดยเกิดเป็นแถบยื่นออกมาในแนวระนาบทั้งที่ในสภาพพื้นที่จริงไม่มีข้อมูลดังกล่าว วิธีการแก้ไข โดยการจัดแถวในจุดเริ่มต้นของบรรทัดภาพใหม่

3.4 การกระจายของข้อมูลจุดภาพผิดปกติ (bit error) เกิดขึ้น โดยจุดภาพที่อยู่ใกล้เคียงกัน มีค่าระดับสีเทาแตกต่างกัน อย่างเห็นได้ชัด โดยแตกต่างกันเกินกว่า ข้อมูลที่แท้จริง เป็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับข้อมูลอย่างทันทีทันใด คลื่นรบกวนชนิดนี้ทำให้ภาพเหมือนกับมีหิมะตก การแก้ไขใช้วิธีที่เรียกว่า หน้าต่างปรับค่าระดับสีเทา (moving window) โดยจุดภาพที่มีคลื่นรบกวนอาจแทนที่ด้วยค่าเฉลี่ยของจุดภาพ ที่อยู่โดยรอบ โดยใช้จุดภาพ 3 x 3 จุดภาพ หรือ 5 x 5 จุดภาพ

6.2 การปรับปรุงคุณภาพข้อมูล

โดยปกติแล้วการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลเกี่ยวข้องกับเทคนิคในการเพิ่มความคมชัดของภาพหรือต้องการเน้นลักษณะต่างๆ (features) ที่ปรากฏในภาพ วัตถุประสงค์ก็คือเพื่อสร้างภาพใหม่ และเพิ่มปริมาณของข้อมูลหรือสารสนเทศ (information) ที่จะนำมาจำแนกหรือแปลความหมาย

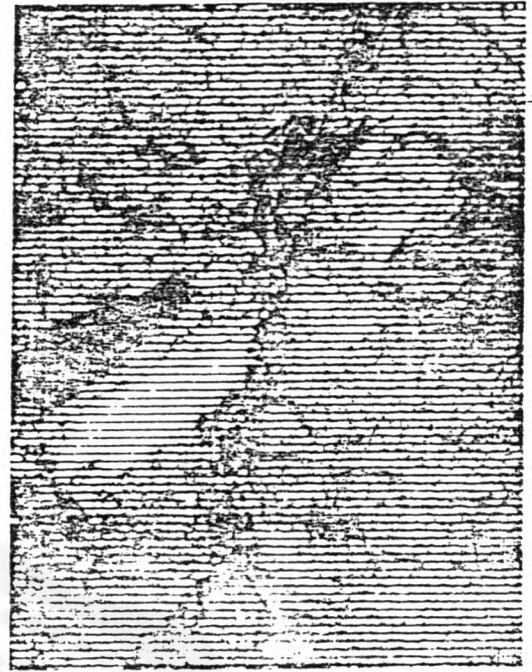
การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลทำได้ทั้งที่เป็นจุด (point operation) โดยการขยายค่าระดับสีเทาของแต่ละจุดภาพ และเป็นบริเวณ (local operation) ทำการขยายค่าระดับสีเทาของแต่ละจุดภาพโดยมีพื้นฐานจากค่าระดับสีเทาของจุดภาพใกล้เคียง และการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลทั้ง 2 แบบนี้ อาจทำกับภาพแบนด์เดียวซึ่งเป็นภาพขาวดำหรือภาพที่มีข้อมูลหลายแบนด์หรือภาพสีผสมก็ได้ การเลือกวิธีการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานเฉพาะด้านนับเป็นศิลปะอย่างหนึ่ง

โดยทั่วไปแล้วการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลมักกระทำภายหลังที่ข้อมูลผ่านกระบวนการแก้ไขและการสร้างภาพกลับคืนแล้ว โดยเฉพาะคลื่นรบกวนที่ปรากฏในข้อมูลเป็นสิ่งที่ต้องแก้ไขถ้าไม่ทำก่อน ภาพที่ออกมาก็จะมีคลื่นรบกวนปรากฏอยู่ด้วยซึ่งจะเป็นปัญหามากขึ้น

การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลประกอบด้วยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

การสร้างความคมชัดของข้อมูลภาพ (Contrast manipulation) การปรับเนื้อภาพ (Spatial feature manipulation) และการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลโดยใช้ข้อมูลภาพหลายแบนด์ (Multi - image manipulation)

1 18 18 20 19 19 19 19 19 19 22 18 18 22 22
 19 21 19 18 18 19 18 13 18 21 19 23 25 19
 16 20 25 24 23 21 21 21 20 21 18 18 18 20
 16 23 31 32 25 23 19 20 20 20 19 19 19 19
 16 17 28 26 22 22 22 23 20 19 20 23 22 23
 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 14 19 18 18 18 21 20 20 20 20 20 20 20 20
 19 20 18 18 18 20 19 20 22 20 20 20 22 19
 20 21 18 17 17 18 21 24 19 20 20 21 22 18
 19 19 21 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19
 19 19 19 19 21 19 19 21 19 18 18 18 20 18
 12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 18 18 21 21 18 18 21 17 21 19 14 19 18 18
 18 18 21 20 15 19 20 20 19 14 19 18 19 16
 18 18 18 16 18 16 18 18 17 19 18 16 17 17
 15 19 15 15 18 18 18 18 14 21 17 17 20 19
 18 19 16 16 20 19 15 16 20 16 16 20 16 17
 18 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 18 20 20 20 20 20 21 18 19 16 16 16 16 15
 19 18 18 20 18 20 18 19 16 19 18 18 19 15
 15 18 16 18 16 18 18 17 19 18 16 18 16 17
 19 17 18 18 18 18 18 17 19 17 17 19 19 17
 20 18 19 16 16 20 16 19 19 16 19 19 16 17
 24 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 19 21 19 18 19 15 16 16 15 20 15 16 15 20
 19 16 19 18 18 18 20 19 16 17 17 17 17 14
 18 18 16 18 18 21 18 19 17 18 18 17 21 21
 18 18 18 18 18 18 15 16 16 16 15 18 17 20
 19 16 20 16 19 18 18 18 20 18 18 18 18 18
 30 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 15 16 16 16 16 16 16 14 22 26 25 19 20 21
 19 20 20 21 18 20 18 18 18 20 21 20 25 25
 19 18 18 21 21 18 18 18 21 21 18 18 18 18
 18 18 20 19 20 18 17 19 18 20 20 18 20 18
 18 18 21 18 18 20 18 18 18 20 20 19 16 20



ก ก่อนแก้ไขข้อมูล

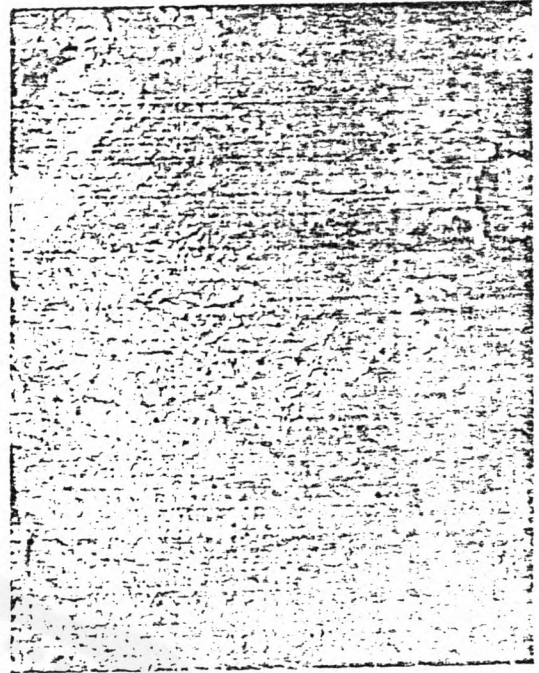
1 18 18 20 19 19 19 19 19 19 22 18 18 22 22
 19 21 19 18 18 19 18 13 18 21 19 23 25 19
 16 20 25 24 23 21 21 21 20 21 18 18 18 20
 16 23 31 32 25 23 19 20 20 20 19 19 19 19
 16 17 28 26 22 22 22 23 20 19 20 23 22 23
 5 15 18 23 22 20 22 21 22 20 20 20 22 21 22
 14 19 18 18 18 21 20 20 20 20 20 20 20 20
 19 20 18 18 18 20 19 20 22 20 20 20 22 19
 20 21 18 17 17 18 21 24 19 20 20 21 22 18
 19 19 21 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19
 19 19 20 20 20 19 20 19 20 19 16 19 19 18
 12 18 18 21 21 18 18 21 17 21 19 14 19 18 18
 18 18 21 20 15 19 20 20 19 14 19 18 19 16
 18 18 18 16 18 16 18 18 17 19 18 16 17 17
 15 19 15 15 18 18 18 18 14 21 17 17 20 19
 18 19 16 16 20 19 15 16 20 16 16 20 16 17
 18 19 20 18 20 20 18 17 20 16 16 18 16 16
 20 20 20 20 20 20 21 18 19 16 16 16 16 15
 19 18 18 20 18 20 18 19 16 19 18 18 19 16
 15 18 16 18 16 18 13 17 19 18 16 18 16 17
 19 17 18 18 18 18 19 17 19 17 17 19 19 17
 20 18 19 16 16 20 16 19 19 16 19 19 16 17
 24 20 20 19 17 18 18 16 18 17 18 17 18 16 19
 19 21 19 18 19 15 16 16 15 20 15 16 15 20
 19 16 19 18 18 18 20 19 16 17 17 17 17 14
 18 18 16 18 18 21 18 19 17 18 18 17 21 21
 18 18 18 18 18 18 15 16 16 16 15 18 17 20
 19 16 20 16 19 18 18 18 20 18 18 18 18 18
 30 17 16 18 16 18 17 17 16 21 22 22 19 19 20
 15 16 16 16 16 16 16 14 22 21 25 19 20 21
 19 20 20 21 18 20 18 18 18 20 21 20 25 25
 19 18 18 21 21 18 18 18 21 21 18 18 18 18
 18 18 20 19 20 18 17 19 18 20 20 18 20 18
 18 18 21 18 18 20 18 18 18 20 20 19 16 20



ข หลังแก้ไขข้อมูล

รูปที่ 6.5 การแก้ไขข้อมูลบรรทัดภาพขาดหายไป
 (ที่มา Floyd F. Sabins, Jr., 1978 : 241)

1	22	17	20	18	23	26	26	26	26	25	22	27	24	24	
	24	24	25	24	26	30	30	26	24	28	24	25	19	19	
	23	21	22	32	31	26	27	22	24	23	23	22	23	20	
	13	15	24	32	27	23	24	22	18	23	22	23	23	19	
	16	21	30	31	25	23	24	23	23	24	23	23	22	22	
→	5	18	20	36	40	26	24	26	22	20	26	24	22	28	22
	16	19	33	31	27	25	25	23	20	23	24	29	25	26	
	19	16	20	24	27	27	25	22	25	25	23	31	25	30	
	17	18	21	20	22	23	24	23	22	22	23	23	28	23	
	23	19	18	20	16	19	24	24	23	23	23	23	24	24	
	23	24	18	20	18	18	23	27	24	23	22	22	23	23	
12	44	44	40	40	44	44	44	44	48	44	40	44	36	44	
	21	21	21	21	24	21	20	27	20	22	19	19	19	22	
	24	20	18	23	25	22	24	23	23	24	23	19	20	19	
	22	22	23	23	23	22	23	19	23	20	17	23	23	20	
	19	17	23	23	17	20	18	24	19	17	19	17	19	18	
	18	18	19	17	19	18	20	19	20	18	17	18	16	18	
18	36	36	36	36	32	40	32	40	36	44	36	36	36	40	
	20	18	17	17	20	18	17	17	20	18	17	19	18	18	
	25	24	18	20	20	19	18	25	20	18	18	20	18	17	
	23	21	23	23	23	23	22	23	20	18	18	18	19	17	
	18	18	24	18	19	20	18	17	17	19	17	19	18	19	
	18	18	17	20	20	18	20	19	19	20	17	19	19	17	
24	44	36	40	32	36	44	36	44	36	44	36	44	44	36	
	22	18	18	20	18	20	19	20	18	17	19	18	19	17	
	20	12	20	21	19	20	20	20	19	19	20	18	14	15	
	23	24	23	23	16	19	17	19	18	21	18	17	18	18	
	23	18	19	16	24	16	19	20	17	16	18	18	19	13	
	18	20	18	17	23	22	22	23	18	20	17	17	25	23	
30	36	36	44	36	40	32	36	32	36	32	32	40	44	44	
	18	19	20	19	19	19	19	19	19	22	18	18	22	22	
	19	21	19	18	19	19	18	13	18	21	19	23	25	19	
	16	20	25	24	23	21	21	21	20	21	18	18	18	20	
	16	23	31	32	25	23	19	20	20	20	19	19	19	19	
	16	17	28	26	22	22	22	23	20	19	20	23	22	23	



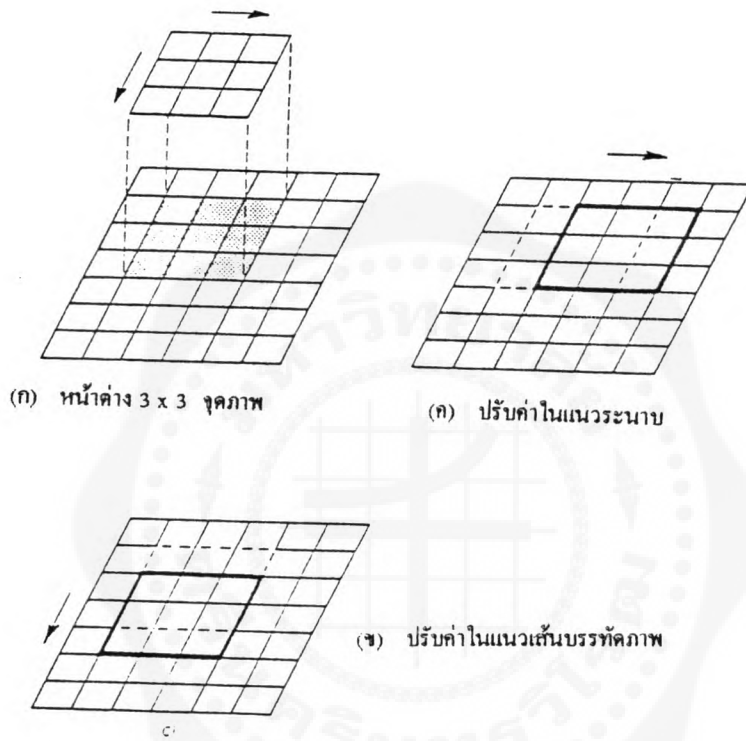
ก. ก่อนการแก้ไขข้อมูล

1	22	17	20	18	23	26	26	26	26	25	22	27	24	24
	24	24	25	24	26	30	30	26	24	28	24	25	19	19
	23	21	22	32	31	26	27	22	24	23	23	22	23	20
	13	16	24	32	27	23	24	22	18	23	22	23	23	19
	16	21	30	31	25	23	24	23	23	24	23	23	22	22
6	18	20	36	40	26	24	26	22	20	26	24	22	28	22
	16	19	33	31	27	25	25	23	20	23	24	29	25	26
	19	16	20	24	27	27	25	22	25	25	23	31	25	30
	17	18	21	20	22	23	24	23	22	22	23	23	28	23
	23	19	18	20	16	19	24	24	23	23	23	23	24	24
	23	24	18	20	18	18	23	27	24	23	22	22	23	23
12	22	22	20	20	22	22	22	22	24	22	20	22	18	22
	21	21	21	21	24	21	20	27	20	22	19	19	19	22
	24	20	18	23	26	22	24	23	23	24	23	19	20	19
	22	22	23	23	23	22	23	19	23	20	17	23	23	20
	19	17	23	23	17	20	18	24	19	17	19	17	19	18
	18	18	19	17	19	18	20	19	20	18	17	18	16	18
18	18	19	18	18	16	20	16	20	18	22	18	18	18	20
	20	18	17	17	20	18	17	17	20	18	17	19	18	18
	25	24	18	20	20	19	18	25	20	18	18	20	18	17
	23	21	23	23	23	23	22	23	20	18	18	18	19	17
	18	18	24	18	19	20	18	17	17	19	17	19	18	19
	18	18	17	20	20	18	20	19	19	20	17	19	19	17
24	22	18	20	16	18	22	18	22	18	22	18	22	22	18
	22	18	18	20	18	20	19	20	18	17	19	18	19	17
	20	12	20	21	19	20	20	20	19	19	20	18	14	15
	23	24	23	23	16	19	17	19	18	21	18	17	18	18
	23	18	19	18	24	18	19	20	17	16	18	18	19	13
	18	20	18	17	23	22	22	23	18	20	17	17	25	23
30	18	18	22	18	20	16	18	16	18	16	16	20	22	22
	18	18	20	19	19	19	19	19	19	22	18	18	22	22
	19	21	19	18	18	19	18	13	18	21	19	23	25	19
	16	20	25	24	23	21	21	21	20	21	18	18	18	20
	16	23	31	32	25	23	19	20	20	20	19	19	19	19
	16	17	28	26	22	22	22	23	20	19	20	23	22	23



ข. หลังการแก้ไขข้อมูล

รูปที่ 6.6 การแก้ไขข้อมูลบรรทัดภาพมีค่าสูงหรือต่ำกว่าปกติ
(ที่มา Floyd F. Sabins, Jr., 1978 : 243)

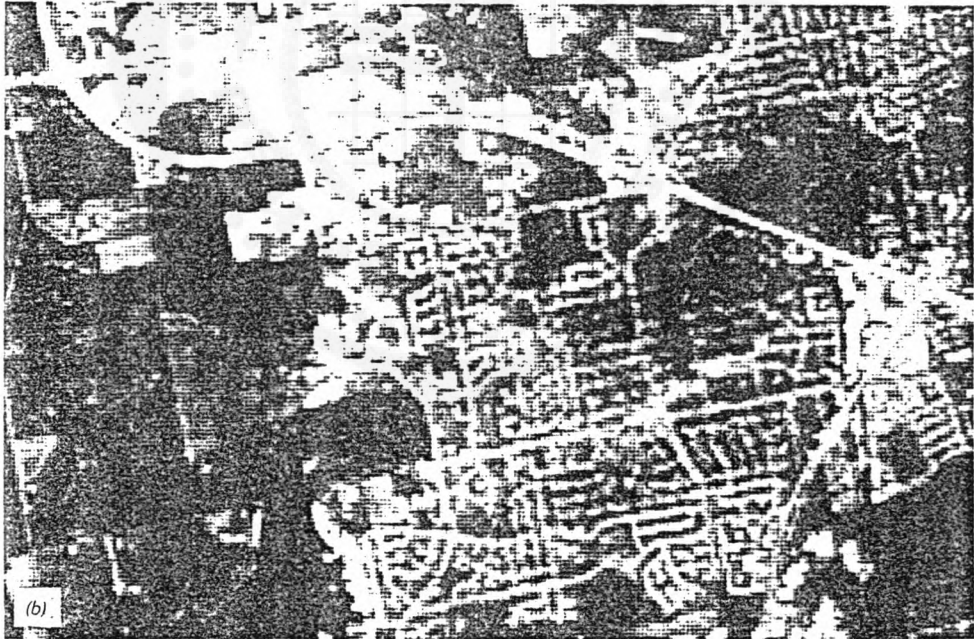


รูปที่ 6.7 แสดงแนวความคิดเรื่องหน้าต่างปรับค่าระดับสีเทา

(ก) หน้าต่าง 3 x 3 จุดภาพ (ค) ปรับค่าในแนวระนาบ

(ข) ปรับค่าในแนวเส้นบรรทัดภาพ

(ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 : 540)



รูปที่ 6.8 การแก้ไขการกระจายของข้อมูลจุดภาพผิดปกติ (bit error)
(ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 : 541)

1. การสร้างความคมชัดของข้อมูลภาพ

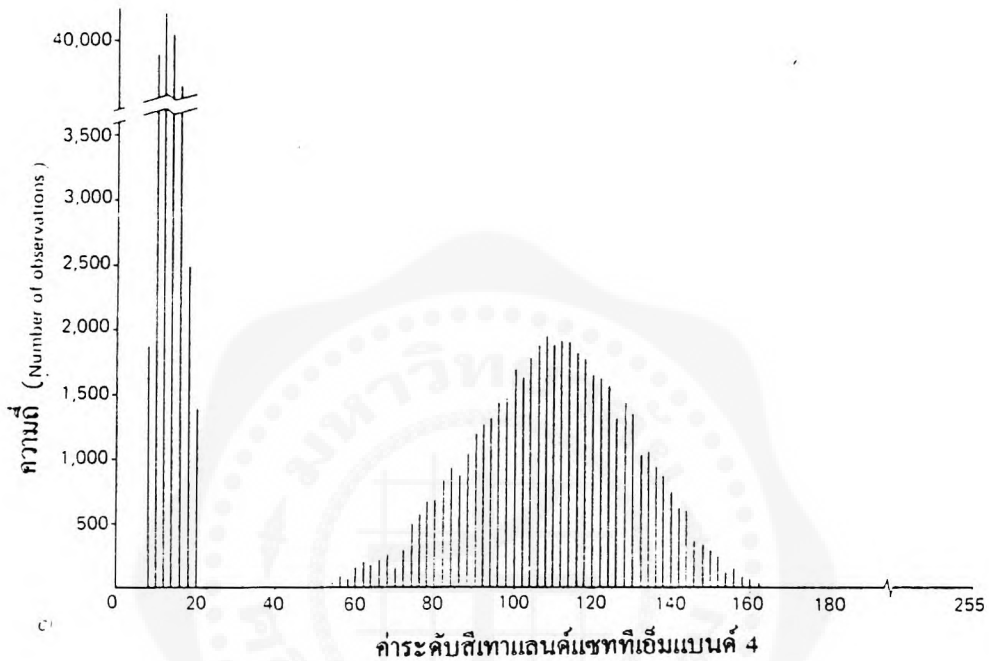
การสร้างความคมชัดของข้อมูลภาพมี 3 วิธีดังนี้

1.1 การกำหนดค่าระดับสีเทา (Gray-level thresholding) โดยกำหนดค่าเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลการสะท้อนพลังงานออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่หนึ่งสำหรับจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ กลุ่มที่สองสำหรับจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาสูงกว่าค่าที่กำหนด ตัวอย่างเช่น ข้อมูลที่เอ็มเบนด์ 4 ต้องการแยกบริเวณพื้นดินและพื้นน้ำออกจากกันอย่างชัดเจน จากฮิสโตแกรม พบว่าข้อมูลแยกจากกันชัดเจนมาก ข้อมูลส่วนที่เป็นน้ำมีการดูดซับพลังงานมากในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ค่าสะท้อนพลังงานต่ำ ในขณะที่แผ่นดินมีการสะท้อนพลังงานสูงมาก อาจกำหนดค่าระดับสีเทา 40 เป็นค่าที่กำหนดไว้ (threshold) และค่านี้แยกข้อมูล 2 กลุ่มออกจากกัน

1.2 การแบ่งกลุ่มค่าระดับสีเทา (level slicing) เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล โดยการนำค่าระดับสีเทาในแนวแกน x ของฮิสโตแกรมมาแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ (slices) ทำให้ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ และกำหนดให้กลุ่มย่อยๆ นั้นมีค่าระดับสีเทาเพียงค่าเดียวเหมือนกันทุกจุดภาพ ตัวอย่างเช่น ถ้ามีการแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 กลุ่ม ก็จะมีค่าสะท้อนพลังงานหรือค่าระดับสีเทาเพียง 5 ระดับเท่านั้น ข้อมูลภาพที่ได้ใหม่จึงมีลักษณะเหมือนกับแผนที่ที่มีเส้นชั้นความสูง แต่ละระดับอาจมีสีที่แตกต่างกันได้ วิธีการนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในข้อมูลภาพดาวเทียมอินฟราเรดความร้อนทั้งนี้เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

1.3 การยืดค่าระดับสีเทา (Contrast stretching) เมื่อต้องการให้ภาพมีความคมชัด อุปกรณ์สำรวจข้อมูลอาจมีความสามารถในการบันทึกข้อมูล 256 ระดับหรืออุปกรณ์บางชนิดอาจไม่สามารถบันทึกได้ครบ การใช้วิธีการนี้จึงเป็นการขยายค่าระดับสีเทา ให้มีช่วงกว้างมากขึ้น ผลที่ได้ ข้อมูลแสดงความแตกต่างได้ชัดเจนในส่วนของคุณสมบัติที่ต้องการศึกษาการยืดค่าระดับสีเทา แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

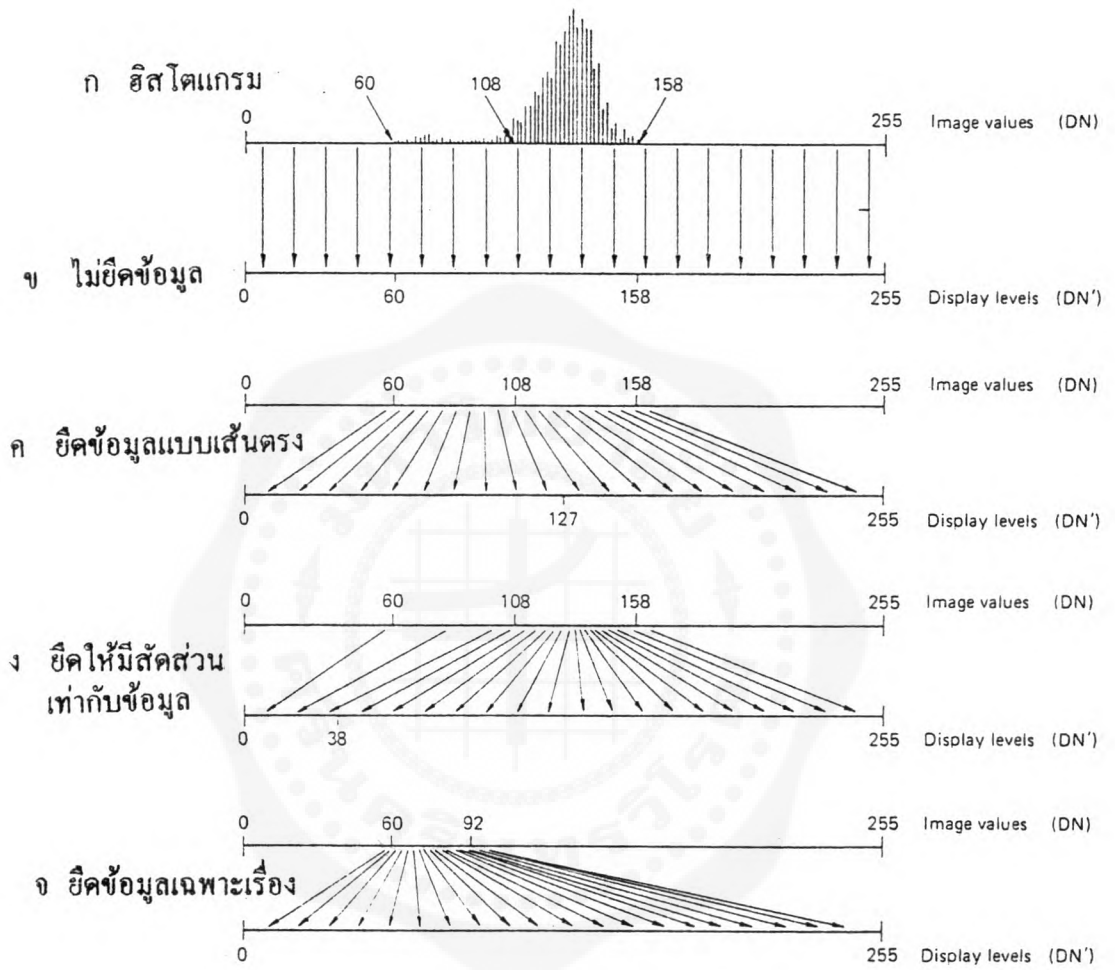
1. การยืดข้อมูลแบบเส้นตรง (linear stretch) เป็นการขยายค่า ระดับสีเทาให้ครบ 256 ระดับมีลักษณะเป็นการขยายอย่างสม่ำเสมอ ทำให้สามารถเห็นรายละเอียดและแปลความหมายได้ชัดเจนมากขึ้น ตัวอย่างเช่น จากฮิสโตแกรมข้อมูลกระจายระหว่าง 60 - 158 ค่าระดับ สีเทานี้ ถ้านำไปใช้จะเห็นข้อมูลเพียงส่วนน้อยของข้อมูลเต็มที่สามารถมองเห็นได้ ข้อมูลที่ไม่ได้แสดงคือ 0 - 59 และ 159 - 255 นอกจากนี้โทนสีของภาพก็อยู่ในช่วงที่แสดงค่าได้น้อย ทำให้ลดความสามารถที่จะแปลความหมายเพื่อแยกแยะรายละเอียดเมื่อนำค่านี้มาขยายให้เต็มจาก 60 - 158 เป็น 0 - 255 จะทำให้สามารถมองเห็นรายละเอียดได้ชัดเจน บริเวณที่มีสีจาง (light tone) ก็จะมีระดับเพิ่มขึ้น บริเวณที่มีสีเข้ม (dark tone) ก็จะมีระดับความเข้มแตกต่างกันหลายระดับ ซึ่งเป็นการเพิ่มรายละเอียดของข้อมูล



รูปที่ 6.9 การกำหนดค่าระดับสีเทา = 40 เป็นเกณฑ์ในการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม (ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 : 545)

2. การยืดให้มีสัดส่วนเท่ากับข้อมูล (histogram equalized stretch) วิธีนี้เป็นการปรับปรุงการยืดข้อมูลแบบเส้นตรงที่มีข้อบกพร่องที่ยังไม่สามารถแสดงค่าได้ดี ที่จะเป็นตัวแทนของข้อมูลที่แท้จริง วิธีการนี้จึงให้ความสำคัญกับจำนวนข้อมูลที่ปรากฏ ในส่วนที่มีจำนวนข้อมูลอยู่มากบริเวณนั้นจะถูกยืดออกให้มีพิสัยกว้างขึ้นเพื่อให้มีการเพิ่มความคมชัด ในส่วนที่มีข้อมูลน้อยถูกยืดออกในสัดส่วนที่น้อยกว่า

3. การยืดข้อมูลเฉพาะเรื่อง (special stretch) ใช้กับการวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะเรื่องที่ต้องการรายละเอียดเพิ่มขึ้นอาจนำมายืดให้มีค่าระดับสีเทามากขึ้น โดยกำหนดให้แสดงค่าเต็ม 256 ระดับ จาก 60 - 120 ยืดเป็น 0 - 255 เป็นต้น



รูปที่ 6.10 การสร้างความคมชัดของข้อมูลภาพโดยการยืดค่าระดับสีเทา

(contrast stretch enhancement)

(ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 : 547)

2. การปรับเนื้อหาภาพ

จุดประสงค์เพื่อให้ได้ภาพที่แสดงข้อมูลที่ต้องการเป็นการเน้นข้อมูลอย่างหนึ่ง ประกอบด้วย การกรองปรับภาพและการเน้นขอบภาพ

2.1 การกรองปรับภาพ (spatial filtering) เป็นวิธีปรับเนื้อหาภาพที่มีความถี่ในการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลภาพ (spatial frequency) หลายแบบ ความถี่ในการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลภาพหมายถึงความหยาบหรือความละเอียดของการเปลี่ยนแปลงโทนสีที่ปรากฏในภาพ พื้นที่ภาพความถี่ต่ำมีความถี่ในการเปลี่ยนแปลงข้อมูลสูง (high spatial frequency) จะมีโทนสีหยาบ "rough" ซึ่งหมายความว่าค่าระดับสีเทาในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดในพื้นที่เพียงไม่กี่จุดภาพ เช่น สีแยกถนน แนวชายฝั่ง พื้นที่ที่มีความถี่ในการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลต่ำ (low spatial frequency) พื้นที่ในภาพมีความราบเรียบ "smooth" ค่าระดับสีเทามีการเปลี่ยนแปลงน้อย หึ่งๆ ที่มีจำนวนจุดภาพมาก เช่น พื้นที่การเกษตรขนาดใหญ่ พื้นที่แหล่งน้ำ การกรองปรับภาพเป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ที่เรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า convolution ซึ่งมีกระบวนการดังนี้

ใช้หน้าต่างปรับค่าระดับสีเทา ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์หรือมีการให้ค่าน้ำหนัก weighting factors) หน้าต่างมีขนาด 3×3 , 5×5 หรือ 7×7 ผ่านหน้าต่างปรับค่าเข้าสู่จุดภาพตลอดทั้งภาพ และค่าระดับสีเทาที่อยู่ในจุดภาพศูนย์กลางเป็นค่าใหม่

การกรองปรับภาพมี 2 วิธีดังนี้

1. การกรองปรับภาพโดยใช้ตัวกรองข้อมูลที่มีความถี่ต่ำ (low pass filter) หมายความว่า เป็นการกรองภาพที่มีค่าระดับสีเทามีการเปลี่ยนแปลงน้อย โดยการใช้หน้าต่างจุดภาพ (moving window) สมมติว่ามีขนาด 3×3 จุดภาพผ่านเข้าสู่ข้อมูลภาพตลอดทั้งภาพแล้วสร้างภาพใหม่ขึ้นโดยใช้ค่าระดับสีเทาที่แก้ไขแล้ว จุดภาพที่เป็นศูนย์กลางได้ค่าระดับสีเทาใหม่จากค่าเฉลี่ยของ 9 จุดภาพในภาพต้นฉบับ

2. การกรองปรับภาพโดยใช้ตัวกรองข้อมูลที่มีความถี่สูง (high pass filter) เป็นการกรองภาพโดยเน้นในส่วนที่มีความถี่สูงหรือที่มีค่าระดับสีเทาเปลี่ยนแปลงมาก มีวิธีการทำโดยการนำค่าที่ได้จากการกรองภาพความถี่ต่ำมาลบออกจากภาพต้นฉบับ ข้อมูลที่มีความถี่สูงทำให้เห็นรายละเอียดของข้อมูลได้มาก

		LOW PASS		
1/9x	1	1	1	
	1	1	1	
	1	1	1	

		HIGH PASS		
1/9x	-1	-1	-1	
	-1	8	-1	
	-1	-1	-1	

รูป 6.11 แสดงการกรองภาพโดยใช้หน้าค่าต่างคุณภาพ Low-pass filter และ High - pass filter (ที่มา Robert A. Schowengerdt, 1983 : 77)

2.2 การเน้นขอบภาพ (Edge enhancement) เป็นการปรับเนื้อภาพเพื่อเน้นลักษณะที่เป็นเส้นหรือขอบของพื้นที่ต่างๆภาพที่ได้จากการเน้นขอบภาพยังคงรักษาความคมชัดในส่วนที่เน้นและให้ข้อมูลภาพในส่วนที่มีความถี่ต่ำด้วย ขั้นตอนในการเน้นขอบภาพ เริ่มจากการกรองปรับภาพโดยใช้ข้อมูลภาพเดิม ใช้หน้าค่าปรับค่าระดับสีเทาขนาด 3×3 แล้วนำภาพใหม่ที่ได้ไปลบจากภาพเดิมจะได้ภาพความถี่สูง แล้วนำภาพที่มีความถี่สูงนี้ไปบวกกับภาพเดิมจะได้ภาพเน้นขอบภาพที่ผ่านการเน้นขอบภาพแล้วใช้ประโยชน์ได้ดีในการศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีลักษณะเป็นเส้น (lineament) นอกจากนี้การเน้นขอบภาพที่ซับซ้อนขึ้นไปยังสามารถกำหนดทิศทางได้

6.3 การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลโดยใช้ข้อมูลหลายแบนด์

การปรับปรุงคุณภาพข้อมูลในหัวข้อนี้ เป็นวิธีการที่นำข้อมูลครั้งละหลายแบนด์มาผ่านกระบวนการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถจำแนกให้เห็นความแตกต่างได้หรือเน้นข้อมูลเฉพาะเรื่องใดเรื่องหนึ่ง วิธีการนี้ประกอบด้วย

การทำอัตราส่วน (Ratioing) การลดขนาดข้อมูลโดยวิธี Principal component และการแปลงข้อมูลเรื่องสี (color space transformation)

1. การทำอัตราส่วน

วิธีการทำอัตราส่วน เป็นการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลโดยการนำค่าระดับสีเทาของข้อมูลภาพเดียวกันแต่ต่างแบนด์มาหารกัน วิธีการแปลงข้อมูลภาพควาเทียมนี้เป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไปเนื่องจากมีข้อดี คือ สามารถนำค่าระดับสีเทาที่แสดงเปรียบเทียบของเส้นโค้งแสดงค่าการสะท้อนพลังงานระหว่างช่วงคลื่น (spectral reflectance curve) ของวัตถุต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกที่แตกต่างกันนำมาหาสัดส่วนกันได้ นอกจากนี้ข้อมูลระดับสีเทาที่มีผลกระทบจากความแตกต่างของการได้รับพลังงานซึ่งเกิดจากอยู่ในสภาพภูมิประเทศที่แตกต่างกัน เมื่อนำข้อมูลมาทำอัตราส่วนหรือนำมาหารกันก็สามารถลดความแตกต่างนี้ได้โดยไม่มีผลต่อข้อมูล ด้วยผลดีทั้ง 2

ประการนี้ทำให้มีการใช้กันแพร่หลายในการศึกษาทางด้านภูมิศาสตร์พืช (biogeography) และ การศึกษารรณีวิทยา

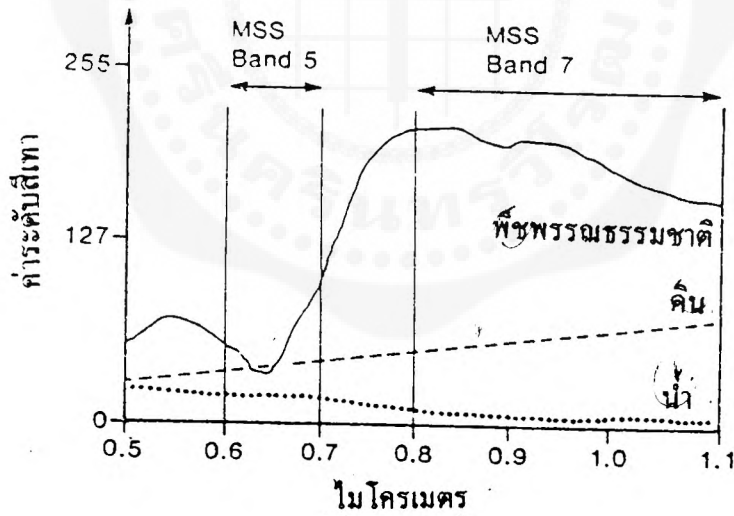
รูป 6.12 เส้นโค้งแสดงค่าการสะท้อนพลังงานระหว่างช่วงคลื่นหรือตายเซ็นช่วงคลื่น (spectral signature) ของวัตถุ 3 ชนิดคือ พืช ดิน และน้ำ ความแตกต่างของเส้นโค้งได้จาก ความชันของความลาดเท (slope) ระหว่างข้อมูลแลนด์แซทแบนด์ 5 และแบนด์ 7

เมื่อนำข้อมูลค่าระดับสีเทา ของพืชแบนด์ 7 หารด้วยแบนด์ 5 ค่าที่ได้เป็น + และจะ ต้องมีค่ามากกว่า 1

เมื่อนำข้อมูลค่าระดับสีเทา ของน้ำแบนด์ 7 หารด้วยแบนด์ 5 ค่าที่ได้จะน้อยกว่า 1.0

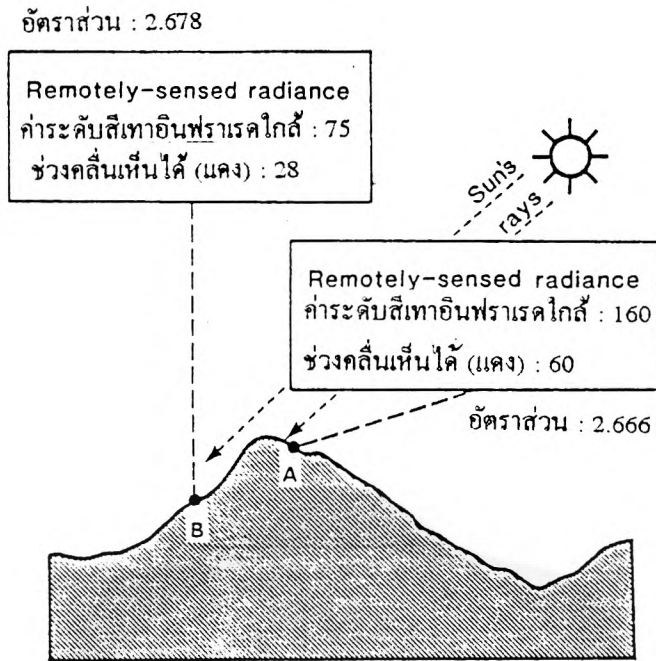
เมื่อนำข้อมูลค่าระดับสีเทา ของดินแบนด์ 7 หารด้วยแบนด์ 5 ค่าที่ได้จะมากกว่า 1.0

แสดงให้เห็นว่ายังมีมีความแตกต่างของค่าระดับสีเทามากเท่าใด ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำ อัตราส่วนก็ยังยิ่งมีมากขึ้น



รูปที่ 6.12 การทำอัตราส่วน (ratioing) ของข้อมูลแลนด์แซทเอ็มเอสเอส แบนด์ 5 และแบนด์ 7 สังเกตเส้นโค้งแสดงค่าการสะท้อนพลังงาน ระหว่าง ช่วงคลื่น 0.8 - 1.1 และ 0.6 - 0.7 ไมโครเมตร

(ที่มา Paul M. Mather, 1987 : 191)



รูปที่ 6.13 การทำอัตราส่วน (ratioing) ของข้อมูลช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นเห็นได้ (สีแดง) เพื่อแสดงว่าลักษณะภูมิประเทศไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างเมื่อนำข้อมูลมาทำอัตราส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน (ที่มา Paul M. Mather, 1987 : 192)

รูปที่ 6.13 ตำแหน่ง A และตำแหน่ง B มีค่าระดับสีเทาแตกต่างกัน ที่ B มีการสะท้อนพลังงานเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ ของตำแหน่ง A แต่เมื่อนำค่าระดับสีเทา ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นเห็นได้ (สีแดง) มาหาค่าอัตราส่วน ทั้งตำแหน่ง A และ B ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการทำอัตราส่วนจึงลดผลกระทบที่เกิดจากสภาพภูมิประเทศ

การทำอัตราส่วนที่ซับซ้อนมากขึ้น ได้แก่การทำ NDVI เพื่อศึกษาเรื่องพืชซึ่งมาจากคำว่า Normalized Difference Vegetation Index โดยมีสูตรดังนี้

$$NDVI = \frac{b7 - b5}{b7 + b5}$$

เมื่อ b7 , b5 ได้แก่ข้อมูลแชนแนลแซทเทอไมเอสเอสแบนด์ 7 และแบนด์ 5 นอกจากนี้ข้อมูลที่นำมาทำ NDVI ได้อีกคือ ข้อมูล TIROS/NOAA AVHRR แบนด์ 1,2 ใช้สูตรดังนี้

$$NDVI = \frac{ch2 - ch1}{ch2 + ch2}$$

$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3}$$

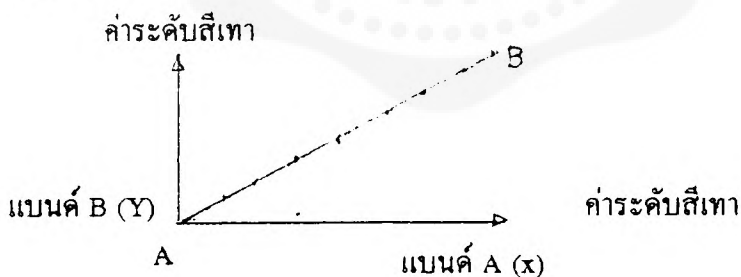
เมื่อ TM3 , TM4 ได้แก่ข้อมูลแลนด์แซทที่เอ็มแบนด์ 3 ,4 นอกจากนี้ยังใช้ในการศึกษาอื่น ๆ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Vegetation bright} &= \frac{\text{MSS7}}{\text{MSS5}} \\ \text{color index} &= \frac{\text{MSS4}}{\text{MSS5}} \\ \text{Temporal ratio} &= \frac{\text{MSS7 (1980)}}{\text{MSS7 (1990)}} \end{aligned}$$

2. การลดขนาดข้อมูลโดยวิธี Principal component

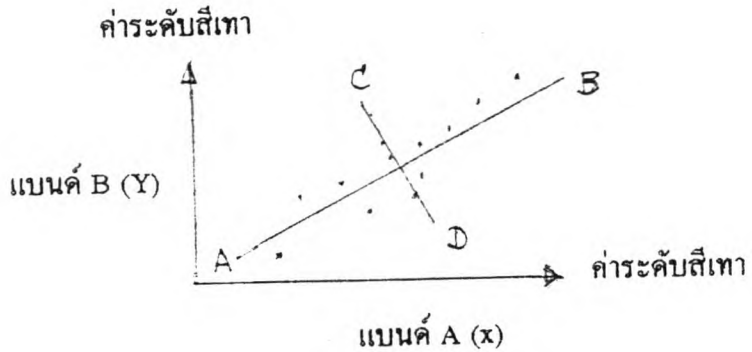
ในข้อมูลสัมผัสระยะไกลนั้น แบนด์ที่อยู่ใกล้กันมักจะมีข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กัน ข้อมูลหลายแบนด์ เช่น ข้อมูลในช่วงคลื่นเห็นได้และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ของบริเวณที่มีพืชพรรณธรรมชาติ ข้อมูลสองแบนด์นี้แสดงสหสัมพันธ์ทางลบ (negative correlation) และข้อมูลในช่วงคลื่นเห็นได้ทั้งสองแบนด์แสดงสหสัมพันธ์ทางบวก (positive correlation) ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการสะท้อนพลังงานในแต่ละช่วงคลื่นของพืช

การที่มีสหสัมพันธ์ต่อกันระหว่างแบนด์แสดงว่ามีข้อมูลซ้ำซ้อนกันมาก ในกรณีที่มีข้อมูลหรือตัวแปร 2 ตัว เช่น x,y ที่มีสหสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์เมื่อพลอตลงในกราฟจะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง



รูปที่ 6.14 แสดงความสัมพันธ์แบบเส้นตรงที่มี 1 มิติ
(one - dimension) แกนเดียว (single axis)

ในกรณีที่ข้อมูลไม่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ก็อาจพลอตกราฟข้อมูลได้ดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 6.15 แสดงสหสัมพันธ์สูงในทางบวกระหว่างข้อมูล X,Y ในลักษณะ 2 มิติ

(two-dimension) โดยมีแกนหลัก (major axis) AB แกนรอง (minor axis) CD

แกนหลัก AB แสดงทิศทางหลักของความสัมพันธ์ CD เป็นแกนรองแสดงความสัมพันธ์แกนที่สอง

จาก 2 รูป แสดงการใช้แกนหลัก AB แทนค่าข้อมูล X,Y โดยมีวัตถุประสงค์ 2 ประการคือ

1. เพื่อเป็นการลดขนาดของข้อมูลเนื่องจากแกน AB แทนข้อมูล X,Y
2. ข้อมูลที่ได้จากพิกัด (coordinate) บน AB ให้ข้อมูลมากกว่าที่ได้จาก

ข้อมูลดิบ X,Y

ภายหลังจากการทำ principal component ข้อมูลเดิมหลายแบนด์จะถูกเปลี่ยนหรือแปลงออกมาเป็นภาพใหม่ PC1, PC2, PC3 เป็นต้น สำหรับ principal component อันแรก (PC1) จะรวมเอาข้อมูลไว้มากที่สุดในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป สามารถนำข้อมูลที่ได้ผ่านการแปลงข้อมูล principal component มาใช้เหมือนเป็นข้อมูลดั้งเดิมได้ โดยมีความแตกต่างจากข้อมูลเดิมตรงที่มีจำนวนข้อมูลลดลงจากเดิม การวิเคราะห์ทำได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นลดการใช้งานคอมพิวเตอร์ลง

3. การแปลงข้อมูลเรื่องสี

ข้อมูลภาพควมเทียมปกติแสดงสีโดยใช้สีหลักคือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) โดยใช้ลูกบาศก์สี (color cube) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการผสมสีหลักดังรูปมีข้อควรทำความเข้าใจว่า เรื่องสีต่อไปนี้เป็นลักษณะของคลื่นสีของแสงซึ่งแตกต่างจากเรื่องสีที่เราใช้กันโดยทั่วไป

รูปลูกบาศก์สีกำหนดโดยระดับสว่าง (bright level) ของแม่สีแต่ละสี โดยที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลมีความจุ 8 บิตต่อจุดภาพ ช่วงพิสัยของข้อมูลแต่ละจุดภาพจึงมีได้ตั้งแต่ 0 -255 หรือ

256 ระดับ เมื่อรวม 3 สี ก็สามารถผสมสีได้ 256^3 เท่ากับ 16,777,216 สี แต่ละจุดภาพสามารถแสดงตำแหน่งได้ ในลักษณะ 3 มิติในลูกบาศก์สี

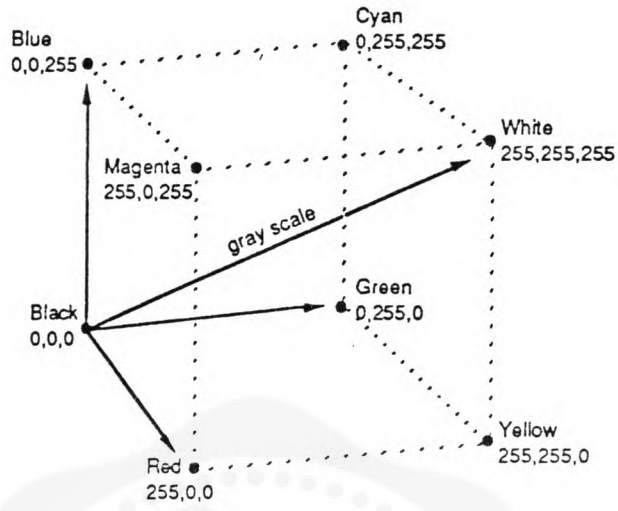
เส้นตรงที่ลากจากจุดเริ่มต้นของมุมใดมุมหนึ่งของลูกบาศก์ไปยังมุมตรงข้ามเรียกชื่อว่า เส้นสีเทา (gray line) การใช้สีในกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพควมเทียมด้วยคอมพิวเตอร์ ใช้กันอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น การกำหนดให้แสดงสีผสมปกติโดยให้ ข้อมูลแลนด์แซทที่เอ็มแบนด์ 1,2,3 เป็นสีน้ำเงิน เขียว แดง หรือการกำหนดให้แสดงสีผสมเท็จ (false color composite) โดยให้ข้อมูลแลนด์แซทที่เอ็มแบนด์ 2,3,4 เป็นสี น้ำเงิน เขียว แดง ตามลำดับ

รูปหกเหลี่ยมสีเป็นแบบจำลองอีกวิธีหนึ่งในการอธิบายเรื่องสีโดยเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า IHS ซึ่งย่อมาจาก Intensity - Hue - Saturation เป็นการแปลงข้อมูลสี RGB ให้เป็น IHS โดยการทำให้โปรเจกชันรูปลูกบาศก์สีลงบนพื้นราบให้ตั้งฉากกับเส้นสีเทา (gray line) และอยู่ตรงข้ามกับมุมที่อยู่ไกลที่สุดของจุดกำเนิดสี ผลของการทำโปรเจกชันจะได้รูปหกเหลี่ยมสี Intensity หมายถึง ความสว่างของสี Hue หมายถึง ค่าเฉลี่ยของความยาวคลื่นของแสงที่ปรากฏในสีนั้น หรือช่วงคลื่นที่เรามองเห็น Saturation หมายถึง ความบริสุทธิ์ของสี หรือความเข้มข้นของสี 100 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างเช่น สีชมพูมี ความเข้มข้นของสีต่ำ

ทุก ๆ จุดภาพในลูกบาศก์สีสามารถนำมาแปลงข้อมูลให้เป็นตำแหน่งใด ๆ ในรูปหกเหลี่ยมสี ซึ่งถือว่าเป็นการแปลงข้อมูลจาก RGB เป็น IHS ทั้งนี้โดยผ่านกระบวนการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์

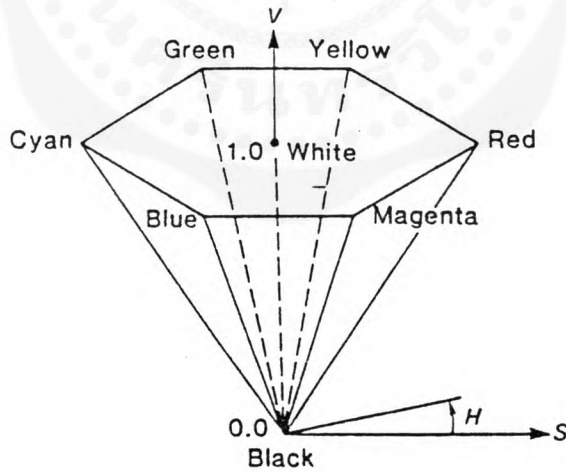
การแบ่งกลุ่มค่าระดับสีเทาในลูกบาศก์สี (Density slicing) คล้ายกับวิธีการแบ่งกลุ่มค่าระดับสีเทา (level slicing) ในเรื่องการสร้างความคมชัดของข้อมูลภาพ (Contrast manipulation) ซึ่งเป็นการแบ่งค่าระดับสีเทาออกเป็นกลุ่มข้อมูลแล้วให้แต่ละกลุ่มมีค่าระดับสีเทาเพียงค่าเดียว ทำให้ข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมีค่าระดับสีเทาเท่ากันข้อมูลมีการ กระจายน้อยลง

การแบ่งกลุ่มค่าระดับสีเทาในลูกบาศก์สี จึงเป็นการนำข้อมูลภาพควมเทียม 1 แบนด์ และกำหนดพิสัย (range) ที่ต้องการให้เป็นค่าเดียวในลูกบาศก์สี แต่ละช่วงของพิสัยเรียกว่า slice ซึ่งหมายถึง ชิ้นส่วนบาง ๆ ของข้อมูล หรือเป็นส่วนของข้อมูล 1 ชิ้นนั่นเอง พิสัยตั้งแต่ 0 - 255 โดยปกติแบ่งออกเป็นส่วนของข้อมูลได้หลายส่วน



รูปที่ 6.16 ลูกบาศก์สี (RGB color Cube)

(ที่มา ESRI, 1992 : 7 - 21)

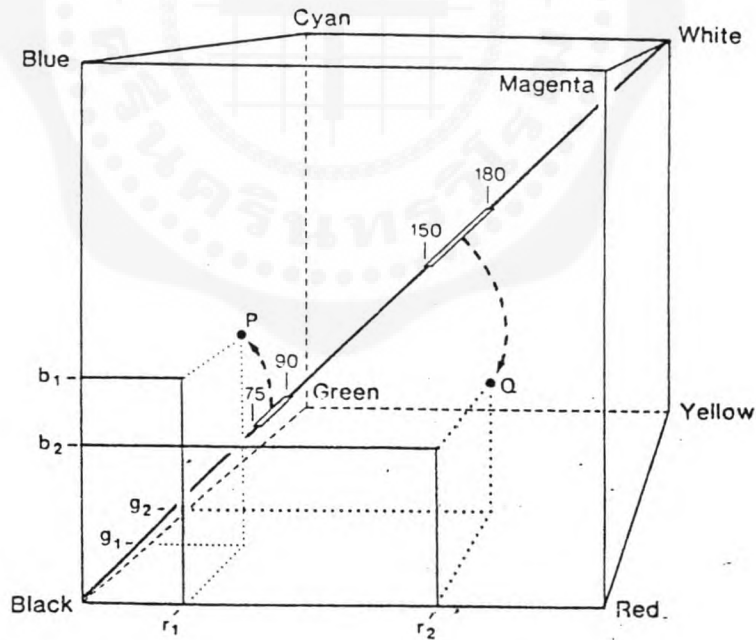


รูปที่ 6.17 รูปหกเหลี่ยมสี (hexcone color model)

(ที่มา Paul M. Mather, 1987 : 158)

วิธีการเน้นภาพโดยการผสมสีภาพ

ข้อมูล	ภาพสีผสมเท็จ	พีชพรรณธรรมชาติ
	B G R	สี
MSS	4 5 7	แดง
MESSR	1 2 4	แดง
TM	2 3 4	แดง
SPOT	3 4 5	เขียว
	1 2 3	แดง
	1 3 2	เขียว



รูปที่ 6.18 การแบ่งกลุ่มค่าระดับสีเทาในลูกบาศก์สี (Density Slicing) ค่าระดับสีเทาระหว่าง 75 - 90 อยู่ที่จุด P ในลูกบาศก์สี ค่าระดับสีเทาระหว่าง 150 - 180 อยู่ที่จุด Q (ที่มา Paul M. Mather, 1987 : 175)

จากรูป 6.18 ค่าระดับสีเทา 75 - 90 กำหนดให้อยู่ในตำแหน่ง P และ 150 -180 อยู่ในตำแหน่ง Q ของลูกบาศก์สี หมายความว่าจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทา 75 - 90 แสดงโดยสีซึ่งอยู่ในตำแหน่ง P ซึ่งเป็นสีที่เกิดจากการผสมของสีแดง (r_1) สีน้ำเงิน (b_1) สีเขียว (g_1) ส่วนจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทา 150 -180 อยู่ในตำแหน่ง Q ซึ่งเป็นสีที่เกิดจากการผสมของสีแดง (r_2) สีน้ำเงิน (b_2) สีเขียว (g_2) เป็นต้น

การแบ่งกลุ่มค่าระดับสีเทาในลูกบาศก์สีมีผลดังนี้คือ

1. เป็นการลดระดับสีของภาพ โดยนำค่าระดับสีเทาหลาย ๆ ค่ารวมกันแล้วแทนด้วยสีเดียว
2. เพื่อเป็นการปรับปรุงการแปลความหมายจากภาพได้ดีขึ้น ถ้ามีการจัดกลุ่มข้อมูลที่เหมาะสม

8.4 การจำแนกประเภทข้อมูล

วัตถุประสงค์ของการจำแนกประเภทข้อมูลก็คือ การนำจุดภาพทุกจุดภาพในข้อมูลภาพดาวเทียม จัดเข้ากลุ่มข้อมูลแต่ละกลุ่มข้อมูลคือประเภทของพื้นที่หรือวัตถุ ที่ปกคลุมพื้นโลก การจัดกลุ่มข้อมูลขึ้นอยู่กับค่าจุดภาพแต่ละกลุ่มข้อมูลจึงมีความแตกต่างกันในเรื่องการสะท้อนช่วงคลื่น (spectral reflectance) และคุณสมบัติในการเปล่งพลังงานของวัตถุ (emittance properties)

กระบวนการในการจำแนกข้อมูลหรือเรียกว่า pattern recognition มีที่มาจากลักษณะของข้อมูลภาพดาวเทียม ที่เก็บข้อมูลที่ละจุดภาพและเก็บข้อมูลครั้งละหลายช่วงคลื่นในเวลาเดียวกันเช่น ระบบแลนด์แซทเอ็มเอสเอส ครั้งละ 4 ช่วงคลื่นเป็นต้น จุดภาพที่ 1 ของแบนด์ที่ 1,2,3,4 ก็จะมีข้อมูลไปพร้อมกันเพียงต่างกันที่ช่วงคลื่น (spectral band) เท่านั้น ถ้าจุดภาพที่ 1 เป็นข้อมูลเรื่องน้ำ ข้อมูลที่ปรากฏใน 4 แบนด์ก็จะเป็นข้อมูลน้ำเช่นกัน คำว่า "pattern" ในที่นี้ก็คือกลุ่มของข้อมูลที่ได้จากทั้ง 4 แบนด์ x_1, x_2, x_3, x_4 หรือหมายถึงกลุ่มของข้อมูลที่ได้จากการสะท้อนและเปล่งพลังงานของแต่ละจุดภาพที่อยู่ในช่วงคลื่นต่าง ๆ กัน

กระบวนการในการจำแนกข้อมูลอาจทำได้โดยใช้ข้อมูลช่วงคลื่น (spectral) ของแต่ละจุดภาพเป็นหลักหรือการใช้พื้นที่ (spatial) ที่อยู่รอบๆ จุดภาพเข้าร่วมในการพิจารณา ซึ่งในเรื่องนี้ต้องพิจารณาเรื่องเนื้อภาพ (image texture) รูปร่าง ขนาด ของพื้นที่บนพื้นโลกและปัจจัยอื่น ๆ ประกอบด้วย ซึ่งวิธีนี้มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีแรก อีกวิธีหนึ่งโดยการใช้เรื่องเวลา (temporal) ช่วยให้เห็นความแตกต่างได้ชัดเจนถ้าใช้ข้อมูลที่ต่างวันที่ ต่างฤดูกาล สามารถเห็นความเปลี่ยนแปลง ระยะเวลาการเพาะปลูก การเจริญเติบโตของพืช พื้นที่ภายหลังการเก็บเกี่ยว เป็นต้น

การจำแนกข้อมูลอาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. การจำแนกข้อมูลโดยกำหนดพื้นที่ข้อมูลตัวอย่าง (Supervised Classification)

มีขั้นตอนดังแสดงในรูป 6.20 ดังนี้

ขั้นที่ 1 การกำหนดพื้นที่ข้อมูลตัวอย่าง (Training areas) ผู้วิเคราะห์เลือกหรือกำหนดพื้นที่ข้อมูลตัวอย่างให้กับคอมพิวเตอร์ โดยเลือกให้ครอบคลุมทั่วทั้งภาพ

ขั้นที่ 2 การจำแนกข้อมูล ข้อมูลแต่ละจุดภาพถูกจำแนกเข้ากลุ่ม ถ้าข้อมูลจุดภาพใดไม่สามารถจัดเข้าพวกได้ ก็ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม ไม่สามารถจำแนกได้ (unknown) การพิจารณาจัดเข้าพวกนี้จะนำทุกจุดภาพมาจำแนกและเครื่องคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลที่ได้จำแนกแล้ว เพื่อผลิตออกมาเป็นภาพดาวเทียมใหม่

ขั้นที่ 3 ขั้นผลิตข้อมูล หลังจากผ่าน 2 ขั้นตอนมาแล้ว ข้อมูลที่ได้ทำการจำแนกเสร็จแล้วแสดงผลออกมาเป็นภาพดาวเทียมใหม่ที่มีการจำแนกแล้ว โดยออกมาเป็นภาพหรือเทปคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป หรือนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลอื่นในการศึกษาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

การเลือกพื้นที่ข้อมูลตัวอย่าง

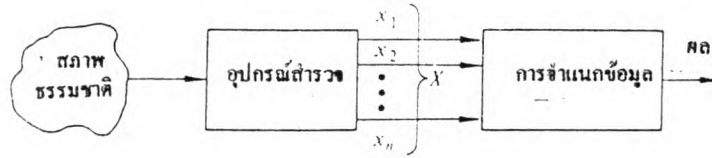
การเลือกพื้นที่ข้อมูลตัวอย่างเป็นทั้งวิทยาศาสตร์และศิลปะ ซึ่งต้องการผู้วิเคราะห์ที่มีความเข้าใจลักษณะของข้อมูลในพื้นที่ มีข้อมูลอ้างอิงที่เชื่อถือได้และมีความรู้ทางด้านสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา และที่สำคัญคือกระบวนการทำงานของคอมพิวเตอร์ที่แสดงผลขั้นตอนการจำแนกข้อมูล

วัตถุประสงค์ของกระบวนการเลือกพื้นที่ข้อมูลตัวอย่างก็เพื่อให้ได้มาซึ่งกลุ่มของข้อมูลสถิติที่สามารถอธิบายรูปแบบการสะท้อนพลังงานของสิ่งปกคลุมผิวโลกหรือวัตถุบนพื้นผิวโลกแต่ละชนิดได้

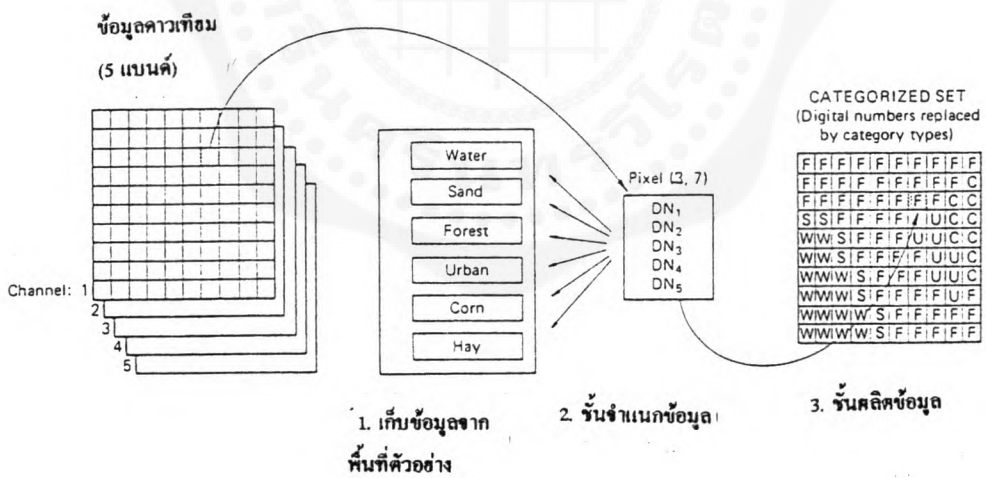
ในพื้นที่ข้อมูลตัวอย่าง สมมติว่ามีแหล่งน้ำเพียงแห่งเดียวและมีค่าระดับสีเทาเหมือนกันตลอดทั้งภาพ การมีพื้นที่ข้อมูลน้ำเพียงแห่งเดียวก็สามารถเป็นตัวแทนของแหล่งน้ำได้ สรุปได้ว่ามีชนิดของสิ่งปกคลุมผิวโลก หรือลักษณะภูมิศาสตร์ 1. ชนิดคือน้ำหรือมี กลุ่มข้อมูล (information class) 1 ชนิด คือ น้ำ และมีกลุ่มช่วงคลื่น (spectral class) 1 ชนิด

แต่ถ้าในกรณีที่บางภาพมีแหล่งน้ำทั้งที่เป็นบริเวณน้ำใส น้ำขุ่น ก็จะมีกลุ่มข้อมูล 1 ชนิด คือ น้ำ และมีกลุ่มช่วงคลื่น 2 ชนิดเป็นต้น

ในกรณีพื้นที่การเกษตร ประเภทของข้อมูลมีหลายประเภทซึ่ง หมายถึง พืชชนิดต่าง ๆ ที่เพาะปลูก พืชแต่ละชนิดก็อาจมีการสะท้อนพลังงานหลายชนิด กลุ่มช่วงคลื่น ที่แตกต่างกันมาจาก วันที่เพาะปลูกต่างกัน ความชื้นของดิน สภาพอากาศ สภาพพื้นที่ เป็นต้น



รูปที่ 6.19 ระบบการวิเคราะห์เพื่อการจำแนกข้อมูล
(ที่มา Swain & Davis, 1978 : 138)



รูป 6.20 ขั้นตอนการจำแนกข้อมูลโดยกำหนดพื้นที่ตัวอย่าง

(Supervised Classification)

(ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 : 589)

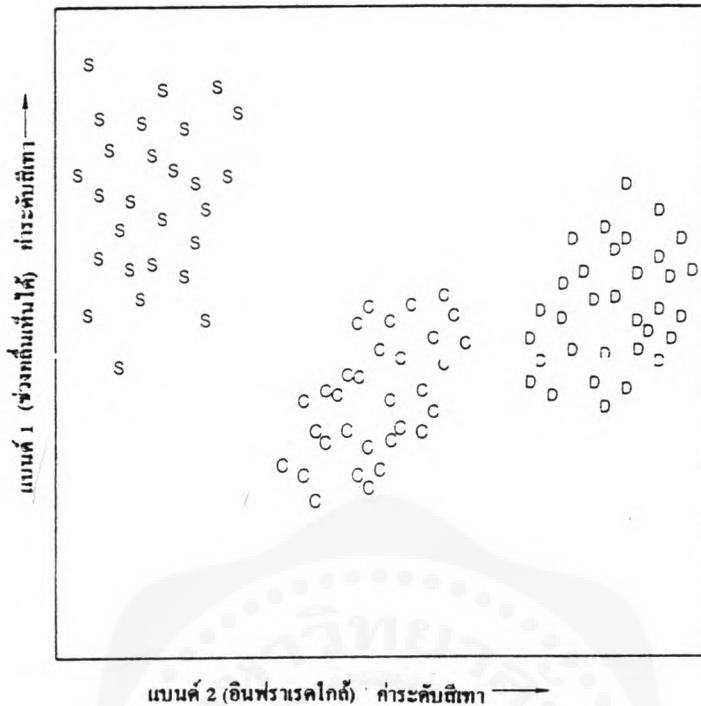
การเลือกพื้นที่ข้อมูลตัวอย่างจึงมีข้อควรพิจารณาดังนี้

1. ต้องมีกลุ่มช่วงคลื่น (spectral classes) เพียงพอที่จะเป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลสถิติที่จะใช้ในการจำแนกข้อมูล
2. การเลือกพื้นที่ข้อมูลตัวอย่างต้องมีความเป็นเอกพันธ์ (homogeneous) พยายามหลีกเลี่ยงบริเวณจุดภาพที่เป็นขอบหรือรอยต่อของข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน ค่าสะท้อนพลังงานที่อยู่ในพื้นที่ล้อมกรอบซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้เลือกแล้วใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลในการคำนวณทางสถิติ
3. โดยทฤษฎีการเลือกจำนวนจุดภาพ ใช้สูตร $n + 1$ เมื่อ n = จำนวนแบนด์ ในกรณีใช้ข้อมูล 2 แบนด์ จำนวนค่าสุดของจุดภาพในพื้นที่ข้อมูลตัวอย่าง = 3 ถ้าน้อยกว่านี้จะไม่สามารถเป็นตัวแทนของข้อมูลได้ โดยปกติประมาณ $10n$ หรือ $100n$ จุดภาพ ใช้ในการคำนวณ-mean vectors และ covariance matrices ค่าสถิติของทั้ง 2 ตัวมีจำนวนจุดภาพที่ใช้เป็นข้อมูลตัวอย่างมาก ก็จะทำให้ค่าที่เป็นตัวแทนทางสถิติของแต่ละประเภทช่วงคลื่นได้ดี
4. การเลือกตำแหน่ง (location) ของพื้นที่ข้อมูลตัวอย่างกำหนดให้ทั่วถึงทั้งภาพ และหลาย ๆ ตำแหน่งเป็นการดีกว่าที่จะเลือกเพียงตำแหน่งเดียว ตัวอย่างเช่นเลือก 20 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 40 จุดภาพดีกว่าเลือกตำแหน่งเดียวแต่ 600 จุดภาพเป็นต้น
5. การใช้ฮิสโตแกรมช่วยในการตัดสินใจเลือกพื้นที่ข้อมูลตัวอย่างโดยใช้ฮิสโตแกรมเพื่อดูการกระจายของข้อมูล ซึ่งอาจเป็นกลุ่มข้อมูลชนิดเดียวกัน แต่อาจมีกลุ่มช่วงคลื่นหลายชนิดก็ได้ ซึ่งค่าระดับสีเทาที่ต่างกันอาจมาจากสาเหตุของการได้รับและการสะท้อนพลังงานแตกต่างกัน หรืออาจมาจากสาเหตุอื่น ๆ

2. การจำแนกข้อมูลโดยพิจารณาการรวมกลุ่มค่าระดับสีเทา (Unsupervised Classification)

การจำแนกข้อมูลวิธีนี้ไม่ได้ใช้การกำหนดพื้นที่ตัวอย่าง แต่พิจารณาค่าระดับสีเทาของแต่ละจุดภาพที่มีการรวมกลุ่ม (Clustering) ตามธรรมชาติของข้อมูลมีหลักการพื้นฐานว่าค่าระดับสีเทา ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันนี้จะต้องอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันในพื้นที่กราฟ 2 มิติ ซึ่งแสดงข้อมูล 2 แบนด์ ดังรูป 6.21

การรวมกลุ่มของแต่ละประเภทข้อมูลเป็นไปตามค่าระดับสีเทาซึ่งเรียกว่า กลุ่มช่วงคลื่น (spectral classes) จากรูป 6.21 พล็อตค่าระดับสีเทาของจุดภาพในพื้นที่ป่าไม้ จะเห็นการกระจายของข้อมูล 3 กลุ่มจากการเปรียบเทียบข้อมูลควาเทียบกับข้อมูลอ้างอิงภาคพื้นดินพบว่า มีป่าไม้ผลัดใบ (D) ป่าสน (C) และป่าไม้ผสมของทั้งสองกลุ่ม (S) ซึ่งการจำแนกโดยวิธีกำหนดพื้นที่ตัวอย่างอาจไม่เห็นป่าประเภทที่ 3 การจำแนกโดยวิธีนี้ จึงมีข้อได้เปรียบสามารถจำแนก กลุ่มค่าสะท้อนพลังงาน (spectral classes) ที่แตกต่างกันที่มีอยู่ในข้อมูลได้



รูปที่ 6.21 การรวมกลุ่มตามค่าระดับสีเทาของข้อมูล 2 มิติ
(ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 : 605)

ผู้วิเคราะห์เป็นผู้กำหนดกลุ่มข้อมูลโดยการเลือกตามค่าสะท้อนพลังงานให้กับคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นจึงกำหนดพื้นที่ที่มีค่าสะท้อนพลังงานหลากหลาย (heterogeneous) ให้ครอบคลุมทุกกลุ่มข้อมูลจากภาพดาวเทียม คอมพิวเตอร์จะแบ่งกลุ่มข้อมูลตามค่าสะท้อนพลังงานแล้วคำนวณหา mean vector แต่ละจุดภาพถูกกำหนดให้เข้ากลุ่มที่มี mean vector ใกล้ที่สุด

6.5 ทฤษฎีการจำแนกประเภทข้อมูล

วิธีการจำแนกประเภทข้อมูลใช้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีหลายวิธี เนื่องจากข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลสามารถเก็บข้อมูลได้คราวละหลายช่วงคลื่นจึงมีจำนวนข้อมูลมากมาย และสามารถแสดงได้หลายมิติ วิธีการที่ง่ายที่สุดในการดูการกระจาย (distribution) ของค่าที่วัดได้จากข้อมูล 2 ชนิดก็คือการพลอตกราฟของข้อมูลทั้ง 2 ชนิด ดังรูป 6.22

จากรูปเป็นการพลอตกราฟพื้นที่รับน้ำของแม่น้ำกับปริมาณน้ำไหล เพื่อหาข้อสมมติฐานพื้นที่รับน้ำของแม่น้ำ (river basin) ผลจากกราฟพบว่าแม่น้ำจำแนกได้ 2 ชนิดคือ ชนิดแรกแม่น้ำที่มีพื้นที่รับน้ำขนาดเล็กและมีปริมาณน้ำ (discharge) อยู่ในระดับต่ำ ชนิดที่สองแม่น้ำที่มีพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่และมีปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์สูง ผลจากการพลอตกราฟนี้ ทำให้สามารถใช้เป็นแนวความคิดพื้นฐานในการศึกษาได้ว่า

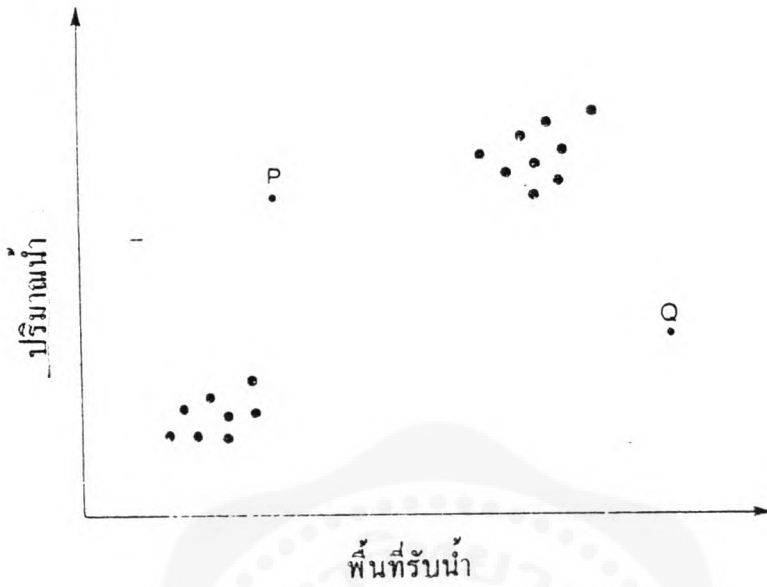
ประการแรก การเป็นตัวแทน (representation) ของข้อมูลที่ถูกคัดเลือกในที่นี้คือ พื้นที่รับน้ำและปริมาณน้ำ การคัดเลือกตัวแทนของข้อมูลจึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้วิเคราะห์ว่าต้องการศึกษาเรื่องใด

ประการที่สองการใช้พื้นที่ระหว่างแกน X , Y ของระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian) ทำให้พื้นที่ 2 มิติ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (measurement space) ที่แสดงการกระจายและการรวมกลุ่มข้อมูล ความผันแปรของปริมาณน้ำ แสดงโดยการเปลี่ยนตำแหน่งตามแกน X และความผันแปรของปริมาณน้ำแสดงโดยการเปลี่ยนตำแหน่งตามแกน Y

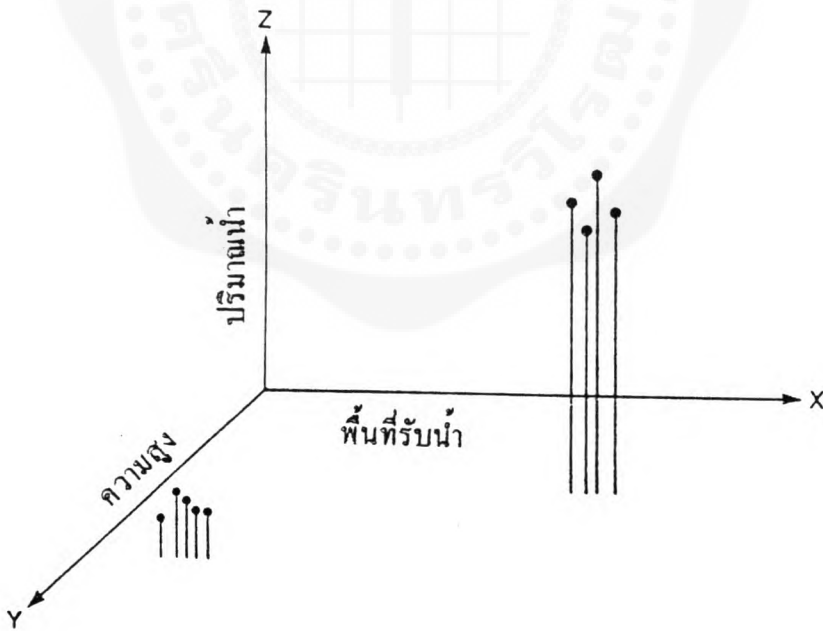
ดังนั้นตำแหน่งของจุดในพื้นที่ 2 มิติ จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณ (magnitude) ของข้อมูลตัวแปร 2 ชนิด คือพื้นที่กับปริมาณน้ำ

รูป 6.23 แสดงความสัมพันธ์ 3 มิติ โดยมีความสูงจากระดับน้ำทะเลเพิ่มเข้ามา พบว่าแม่น้ำที่มีพื้นที่รับน้ำขนาดเล็กมีปริมาณน้ำน้อยและตั้งอยู่ในที่สูง ส่วนแม่น้ำที่มีพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่มีปริมาณน้ำมากตั้งอยู่ในพื้นที่ระดับต่ำ ข้อมูลแบ่งเป็น 2 กลุ่มเหมือนภาพแรกแต่มีข้อมูลชัดเจนในเรื่องความสูงเพิ่มขึ้น

ระยะทางของแต่ละจุดจากจุดศูนย์กลางของ 2 กลุ่มข้อมูลสามารถใช้เป็นพื้นฐานของการกำหนดตำแหน่งหรือการตัดสินใจในการจำแนกข้อมูล โดยปกติการตัดสินใจที่มีข้อมูล 3 มิติขึ้นไปมีข้อยุ่งยากแต่การทำงานของระบบคอมพิวเตอร์สามารถทำงานกับข้อมูลที่มีหลายมิติได้ อย่างไรก็ตามการจำแนกประเภทข้อมูลก็ต้องใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการตัดสินใจ



รูปที่ 6.22 แสดงการกระจายของข้อมูล
(ที่มา Paul M. Mather, 1987 : 279)



รูปที่ 6.23 มิติของข้อมูลพื้นที่รับน้ำ(X) ความสูงจากระดับน้ำทะเล(Y) และปริมาณน้ำ
(Z)
(ที่มา Paul M. Mather, 1987 : 280)

ต่อไปนี้เป็นทฤษฎีการจำแนกข้อมูล

1. การจำแนกโดยกำหนดระยะทางน้อยที่สุดจากค่าเฉลี่ย (Minimum distance to means classifier) วิธีการนี้เป็นการจำแนกอย่างง่าย ๆ โดยใช้ค่าเฉลี่ย (mean) ของค่าระดับสีเทาในแต่ละแบนด์และแต่ละประเภทข้อมูลนำมาวิเคราะห์ ค่าเหล่านี้นำมาใช้เป็น mean vector ของแต่ละประเภทข้อมูล โดยพิจารณาจากข้อมูล 2 มิติ ของตำแหน่งพิกัดที่ปรากฏในไดอะแกรมการกระจาย (scatter diagram) หรือในกราฟ

จุดภาพที่ไม่สามารถจำแนกได้ อาจนำมาพิจารณาใหม่โดยการคำนวณระยะทางระหว่างข้อมูลจุดภาพกับค่าเฉลี่ยของแต่ละประเภทข้อมูล

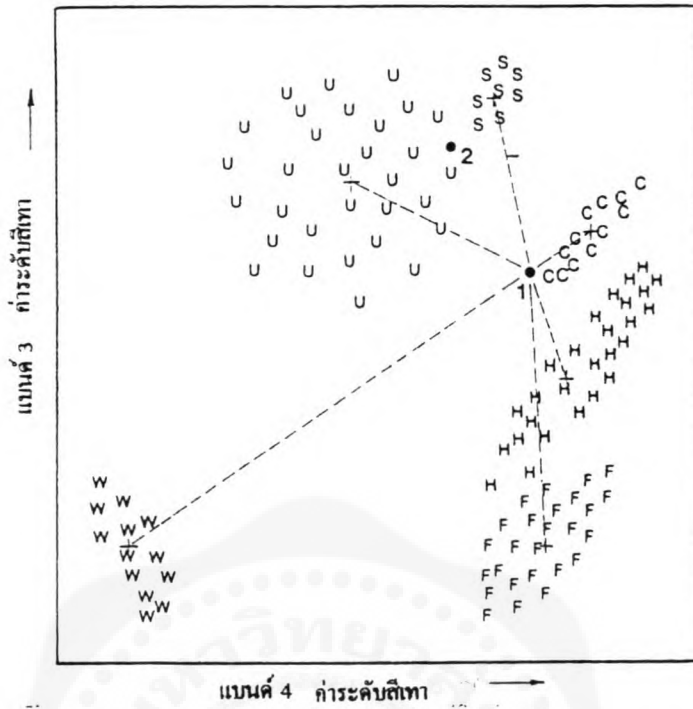
รูป 6.24 จุดภาพหมายเลข 1 เป็นจุดภาพที่ไม่สามารถจำแนกได้ เมื่อพิจารณาระยะทางจากค่าเฉลี่ย (mean) ของแต่ละกลุ่มพบว่ากลุ่มที่ใกล้ที่สุด คือข้าวโพด (c) จุดภาพหมายเลข 1 จึงถูกจำแนกเข้ากลุ่มนี้

วิธีการนี้เป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนแต่มีข้อจำกัด ที่สำคัญที่สุดก็คือการจำแนกอาจผิดพลาดได้ เนื่องจากแต่ละกลุ่มข้อมูลมีความแปรปรวน (variance) บางกลุ่มข้อมูลมีการกระจายมากจากรูปเดียวกันจุดภาพหมายเลข 2 อยู่ใกล้กับตำแหน่งค่าเฉลี่ยของทราย (s) ทั้ง ๆ ที่น่าจะอยู่ในกลุ่มของตัวเมือง (U) มากกว่า เพราะข้อมูลในกลุ่มตัวเมืองมีการกระจายมากกว่า เนื่องจากปัญหาในเรื่องนี้ วิธีการนี้จึงไม่นิยมใช้เมื่อกลุ่มข้อมูลอยู่ใกล้กันมากและมีความแปรปรวนสูง

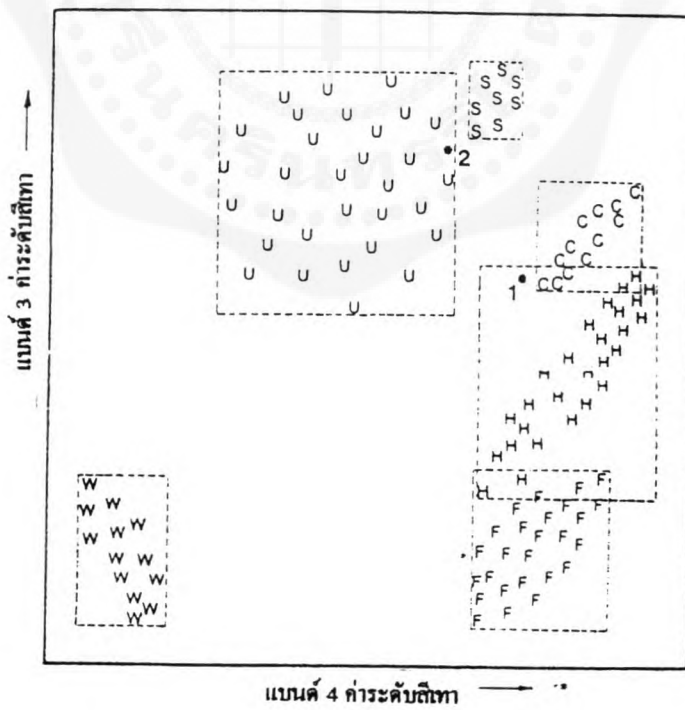
2. การจำแนกโดยกำหนดค่าสูงสุดต่ำสุด (Parallelepiped classifier) ในกรณีที่ข้อมูลมีความแปรปรวนมาก อาจแก้ไขได้โดยการกำหนดพิสัย (range) ของค่าระดับสีเทาในแต่ละกลุ่มพิสัย ได้จากค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าจุดภาพหรือค่าสะท้อนพลังงานในแต่ละแบนด์และปรากฏเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในไดอะแกรมการกระจายของข้อมูล

รูป 6.25 จุดภาพที่ไม่สามารถจำแนกได้ เมื่อใช้วิธีการจำแนกโดยกำหนดค่าสูงสุดต่ำสุด จุดภาพตกอยู่ในพื้นที่ตัดสินใจใดก็ได้ถือว่าอยู่ในกลุ่มข้อมูลนั้น เช่นหมายเลข 1 เป็นข้อมูลในกลุ่มเฮย์ (H) หมายเลข 2 อยู่ในกลุ่มตัวเมือง (U) ส่วนจุดภาพโคอยู่นอกกรอบพื้นที่จัดเป็นจุดภาพที่ไม่สามารถจำแนกได้ วิธีการนี้เป็นการจำแนกข้อมูลที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

ความยุ่งยากของวิธีการนี้เกิดขึ้น เมื่อพื้นที่ของการตัดสินใจในรูปสี่เหลี่ยมซ้อนกัน การซ้อนกันของข้อมูลเกิดจากข้อมูลมีสหสัมพันธ์ (correlation) หรือข้อมูลมีความแปรปรวนร่วม (covariance) สูง ความแปรปรวนร่วม เป็นความแปรปรวนของข้อมูลค่าสะท้อนพลังงานที่เกิดขึ้นคล้าย ๆ กันใน 2 แบนด์ ทำให้ข้อมูลมีการกระจายเป็นรูปตามแนวยาว และเกาะกลุ่มโน้มเอียงไปในทิศทางใดทางหนึ่ง ปรากฏในไดอะแกรมแสดงการกระจายข้อมูล



รูปที่ 6.24 การจำแนกข้อมูลโดยกำหนดระยะทางน้อยที่สุดจากค่าเฉลี่ย
(ที่มา Lillesand & Kiefer, 1994 :591)



รูปที่ 6.25 การจำแนกข้อมูลโดยกำหนดค่าสูงสุดต่ำสุด
(ที่มา Lillesand & kiefer, 1994 : 592)

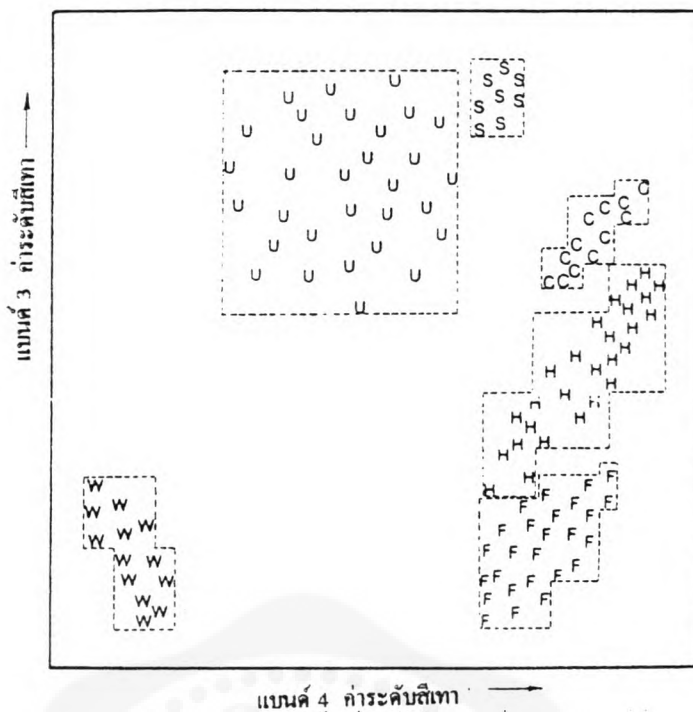
รูปที่ 6.26 ข้าวโพด (C) และเฮย์(H)มีความแปรปรวนร่วมเป็นบวก หมายความว่าจุดภาพนี้มีค่าระดับสีเทาสูงในแบนด์ 3 ก็ปรากฏเป็นจุดภาพที่มีค่าสูงในแบนด์ 4 ด้วย และจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาดำในแบนด์ 3 ก็มีค่าดำในแบนด์ 4 ด้วยเช่นกัน น้ำ (W) มีความแปรปรวนร่วมเป็นลบ (negative covariance) หมายความว่าจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาสูงในแบนด์ 3 มีค่าระดับสีเทาดำในแบนด์ 4 ด้วย ตัวเมือง (U) ไม่มีความแปรปรวนร่วม ข้อมูลมีการกระจายเกือบเป็นวงกลม

การมีความแปรปรวนร่วม เป็นการยากที่พื้นที่ขอบเขตของการตัดสินใจจะพอดีกับการกระจายของข้อมูล เช่น จุดภาพหมายเลข 1 ถูกจำแนกเป็น เฮย์ทั้งที่ควรเป็นข้าวโพด การแก้ปัญหาก็คือ ใช้การแบ่งพื้นที่การตัดสินใจเป็นขั้น (step) โดยใช้ขอบเขตเป็นขั้นตามข้อมูลที่มีก็สามารถแก้ปัญหาได้ ดังรูป 6.26

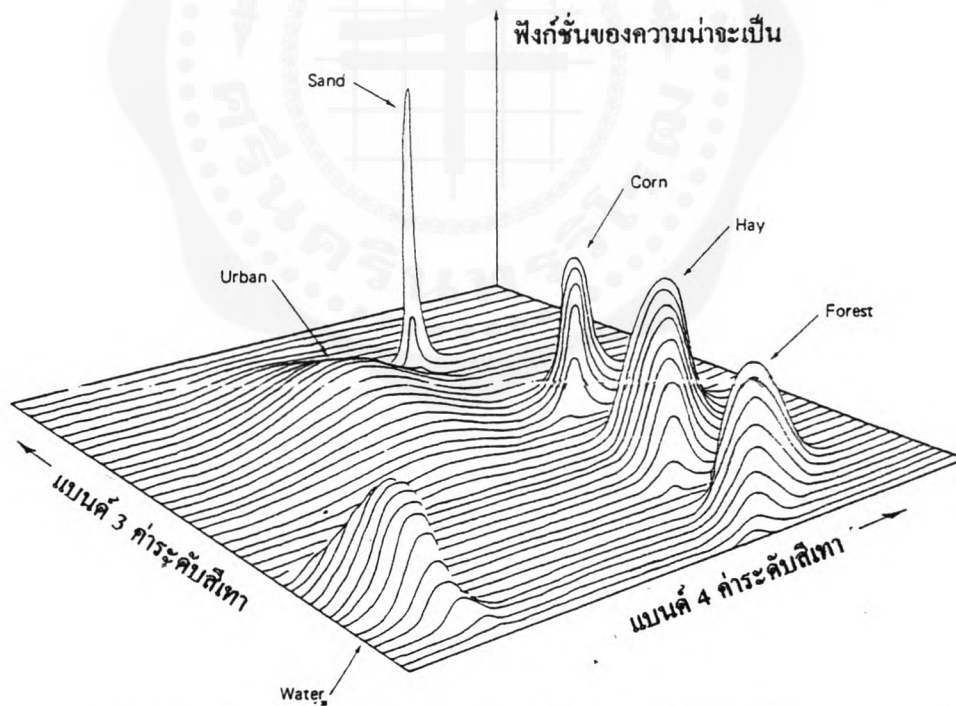
3. การจำแนกโดยวิธีการกระจายข้อมูลแบบโค้งปกติ (Gaussian maximum likelihood classifier) การวิเคราะห์ในลักษณะนี้มีข้อสมมติฐานว่าการกระจายของข้อมูลแบบโค้งปกติ ภายใต้ข้อสมมติฐานนี้การกระจายของข้อมูลค่าระดับสีเทา สามารถอธิบายได้โดยใช้ mean vector และ covariance matrix โดยใช้พารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ใช้วิธีการคำนวณทางสถิติความน่าจะเป็น (probability) ของค่าระดับสีเทาที่อยู่ในแต่ละกลุ่มข้อมูล

จากรูป 6.27 กราฟ 3 มิติ แสดงค่าความน่าจะเป็น (probability value) แกนในแนวตั้ง เป็นการจำแนกข้อมูลจุดภาพที่จะเป็นสมาชิกของกลุ่มข้อมูลกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง พื้นที่ที่เป็นรูประฆังเป็นฟังก์ชันของความน่าจะเป็น (probability density functions) และแต่ละกลุ่มข้อมูลก็จะมีฟังก์ชันของกลุ่มนั้น ข้อมูลจุดภาพถูกจัดเข้าอยู่ในกลุ่มข้อมูลที่มีความน่าจะเป็นสูงสุดหรือ ถูกจัดเป็นจุดภาพที่ไม่สามารถจำแนกได้ถ้าค่าความน่าจะเป็นต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้โดยผู้วิเคราะห์

ในการจำแนกข้อมูลชนิดนี้ได้กำหนดพื้นที่ของการตัดสินใจเป็นรูปวงรี (ellipsoidal) โดยเรียก Equiprobability contour. ในไดอะแกรมการกระจายของข้อมูล



รูป 6.26 การจำแนกข้อมูลโดยกำหนดค่าสูงสุดต่ำสุด และการใช้ขอบเขต
พื้นที่การตัดสินใจเป็นขั้น (Step) (ที่มา Lillesand & Kiefer 1994 : 593)



รูปที่ 6.27 การจำแนกโดยวัดการกระจายข้อมูลแบบโค้งปกติ
(ที่มา Lillesand & Kiefer 1994 : 594)

คำถามท้ายบทที่ 6

1. เหตุใดจึงต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์
2. การแก้ไขและการสร้างภาพกลับคืน มีความจำเป็นหรือไม่ และกระบวนการแก้ไขข้อมูลมีอะไรบ้าง จงอธิบาย
3. การปรับปรุงคุณภาพข้อมูล คืออะไร และมีวิธีการอย่างไร
4. การยื่ค่าระดับสีเทา มีวิธีการอย่างไร จงอธิบาย
5. จงกล่าวถึงการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล โดยใช้ข้อมูลหลายแบนด์
6. การจำแนกประเภทข้อมูลมีวิธีการอย่างไร จงอธิบาย
7. ทฤษฎีการจำแนกข้อมูลมีอะไรบ้าง อธิบาย



บทที่ 7

การใช้ประโยชน์ข้อมูลสัมผัสระยะไกล

ในอดีตการสำรวจพื้นที่การเปลี่ยนแปลงสภาพธรรมชาติ การศึกษาทางด้านธรณีวิทยา การทำแผนที่ภูมิประเทศ และงานสำรวจพื้นผิวโลก โดยทั่วไปใช้เวลายาวนานและสิ้นเปลืองแรงงานข้อมูลที่ได้รับมักล้าสมัย เนื่องจากระยะเวลาดำเนินงานใช้เวลามากทำให้ไม่สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสภาพธรรมชาติของโลกอย่างรวดเร็วได้ ข้อมูลสัมผัสระยะไกลเป็นข้อมูลที่สามารถมองเห็นโลกทั้งหมดในเวลาอันรวดเร็ว ข้อมูลทันสมัยการศึกษาที่เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ธรรมชาติของโลก (Earth Science) เช่น ภูมิศาสตร์ ธรณีวิทยา ธรณีวิทยา สมุทรศาสตร์ รวมทั้งงานการทำแผนที่ การใช้ที่ดิน พืชพรรณธรรมชาติ การสำรวจอุทกภัย การสำรวจด้านโบราณคดี และงานอื่นๆ อีกมากมายข้อมูลที่ได้นอกจากใช้ในการศึกษาวิเคราะห์วิจัยแล้วยังมีประโยชน์อย่างยิ่งในการวางแผนงานจัดการด้านสิ่งแวดล้อมโลกในอนาคตอีกด้วย ต่อไปนี้เป็นการใช้ประโยชน์ข้อมูลสัมผัสระยะไกลในสาขาต่าง ๆ

7.1 ธรณีสารสนเทศและดิน

1. ธรณีสารสนเทศ

การใช้ข้อมูลสัมผัสระยะไกลในการศึกษาลักษณะภูมิประเทศกระบวนการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกการกำเนิดและวิวัฒนาการของกระบวนการธรรมชาติ ซึ่งอาจเรียกว่า การศึกษาทางด้านธรณีสารสนเทศมีการใช้ข้อมูลดาวเทียมศึกษาอย่างกว้างขวางและแพร่หลาย แต่มีข้อจำกัดบางประการเช่น การขาดแคลนข้อมูลภาพดาวเทียมซึ่งมีราคาสูง การผลิตภาพไม่เหมาะกับการใช้งานทางด้านธรณีสารสนเทศการขาดความเข้าใจในศักยภาพของข้อมูลภาพดาวเทียมและความไม่คุ้นเคยในการจำแนกลักษณะภูมิประเทศจากอากาศ

การศึกษาทางด้านธรณีสารสนเทศ นอกจากการจำแนกลักษณะภูมิประเทศแล้ว ยังเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สภาพภูมิประเทศที่มองเห็นและกระบวนการที่ทำให้เกิดภูมิประเทศโดยไม่สามารถมองเห็นได้ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะภูมิประเทศและกระบวนการที่ทำให้เกิดขึ้น นอกจากนี้การแปลความหมายข้อมูลดาวเทียมจะต้องมีการสำรวจในพื้นที่จริงเสมอ

การแปลภาพและการทำแผนที่ธรณีสารสนเทศ ประการแรกจะต้องมีการวิเคราะห์อย่างมีระบบในการรวบรวมลักษณะภูมิประเทศที่ปรากฏในข้อมูลภาพเพื่อการทำแผนที่จำแนกลักษณะภูมิประเทศเป็นหมวดหมู่ การศึกษาพื้นที่ขนาดใหญ่ การสำรวจต่างๆ ส่วนของพื้นที่อาจไม่จำเป็น และการเลือกพื้นที่สำรวจควรอยู่ในขั้นตอนของการเตรียมการสำรวจ

การวิเคราะห์ภูมิประเทศโดยการวัดสัณฐาน (morphometric analysis) มีความสำคัญเป็นอันดับสองในการแปลความหมายและการทำแผนที่ การวัดสัณฐานหรือทรวดทรงลักษณะแผ่นดินของผิวโลกอย่างละเอียดถูกต้องอาจวัดโดยอาศัยวิธีการทางสถิติและคณิตศาสตร์ เพื่อให้เห็นทรวดทรงมิติทั้งทางด้านยาว ด้านกว้าง และด้านสูง เช่น ความสูงของลานตะพักหรือพื้นที่ขั้นบันได (terrace) หน้าผา ช่วงความสูงต่ำในพื้นที่ ความลึกชันของพื้นที่ลาด (slope) และแนวเท (dip) ความหนาแน่นของระบบระบายน้ำสิ่งเหล่านี้สามารถใช้ภาพถ่ายทางอากาศในแนวตั้งในการศึกษาได้ ซึ่งลักษณะเหล่านี้ยังเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาเรื่องการพังทลาย พื้นที่ลุ่มน้ำ (drainage basin) สำหรับงานทางด้านชลศาสตร์ การใช้ภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียมสามารถใช้ประโยชน์ได้ถูกต้องรวดเร็วกว่าการสำรวจในสนามหรือการใช้แผนที่ลักษณะภูมิประเทศ

นอกจากนี้การใช้ข้อมูลดาวเทียมสามารถทำแผนที่เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงตามเวลา การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในเรื่องของการตกตะกอน และการพังทลายในแม่น้ำ การขัดสี (abrasion) การงอกพอกพูน (accretion) ที่เกิดขึ้นตามชายฝั่ง การเปลี่ยนแปลงเส้นทางเดินของธารน้ำแข็ง การเปลี่ยนแปลงของเนินทรายในทะเลทราย การศึกษาอัตราการพังทลายของพื้นที่ การใช้ภาพถ่ายที่เรียงตามลำดับระยะเวลา และถ่ายต่างเวลามีระยะห่างที่เหมาะสม เพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงของลักษณะภูมิประเทศ การศึกษาพื้นที่โดยเฉพาะในพื้นที่ราบ ไม่เพียงตำแหน่งปัจจุบันของชายฝั่งทะเล หรือแม่น้ำได้ถูกบันทึกไว้แต่ตำแหน่งเดิมก็สามารถตรวจสอบได้เหล่านี้เป็นตัวอย่างของการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัณฐานของพื้นผิวโลก (morphodynamic phenomena) การใช้ข้อมูลดาวเทียมสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างได้ผลสมบูรณ์

เกณฑ์ (criteria) ในการแปลความหมายทางด้านธรณีสัณฐานมี 3 ประการ ได้แก่ ความสูงต่ำของพื้นที่หรือรูปแบบ (relief หรือ form) เกี่ยวข้องกับรูปร่างของลักษณะภูมิประเทศทั้งที่ปรากฏในแนวราบและแนวตั้ง ซึ่งเห็นได้ชัดในภาพสเตอริโอหรือภาพสามมิติ ประการที่สองได้แก่ ระดับความเข้ม (density) ของภาพในภาพขาวดำเรียกว่าความเข้มของสีเทา (gray tone) หรือในภาพสีเป็นโทนสีหรือความเข้มของสี (colour tone) ระดับความเข้มที่ปรากฏสามารถใช้ในการจำแนกภูมิประเทศ ประการสุดท้าย ตำแหน่งที่ตั้ง (location) หรืออาจเรียกว่า ทิวทัศน์ภูมิประเทศ

อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ (Apisit Eiumnoh, 1988 : I11 - I18) ได้ศึกษาวิวัฒนาการของลักษณะภูมิประเทศในที่ราบลุ่มเจ้าพระยา โดยใช้ข้อมูลการแปลความหมายภูมิประเทศ

จากภาพดาวเทียมแลนด์แซทเอ็มเอสเอสและทีเอ็มทั้งภาพขาวดำและภาพสีผสมเท็งพื้นที่ศึกษา อยู่ระหว่างละติจูด 13 - 16 องศาเหนือและ 99 - 102 องศาตะวันออก

อุปกรณ์ที่ใช้ได้แก่แผนที่ภูมิประเทศ 1 : 250,000 ข้อมูลแลนด์แซทเอ็มเอสเอส ภาพสีโปร่งใส แบนด์ 4,5,7 มาตรฐาน 1 : 1,000,000 และภาพขาวดำ แบนด์ 4,5,7 ข้อมูลแลนด์แซทเอ็มเอสเอสภาพขาวดำทุกแบนด์ยกเว้น แบนด์ 6 และภาพสีผสมแบนด์ 2,4,5 และ 2,3,4

ผลจากการศึกษามีดังนี้

1. ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดจากกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในโลก (Endogenic process) มี 2 ชนิด คือ แนวรอยเลื่อนและหน้าผารอยเลื่อนปรากฏอยู่ทางด้านตะวันออกของพื้นที่ และเห็นได้ชัดเจนในลักษณะเป็นแนวเส้นตรงในภาพดาวเทียมเอ็มเอสเอสขาวดำโดยเฉพาะแบนด์ 7 และภาพสีผสมเท็งแบนด์ 4,5,7 แนวรอยเลื่อนอยู่ในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ในพื้นที่ภูเขา

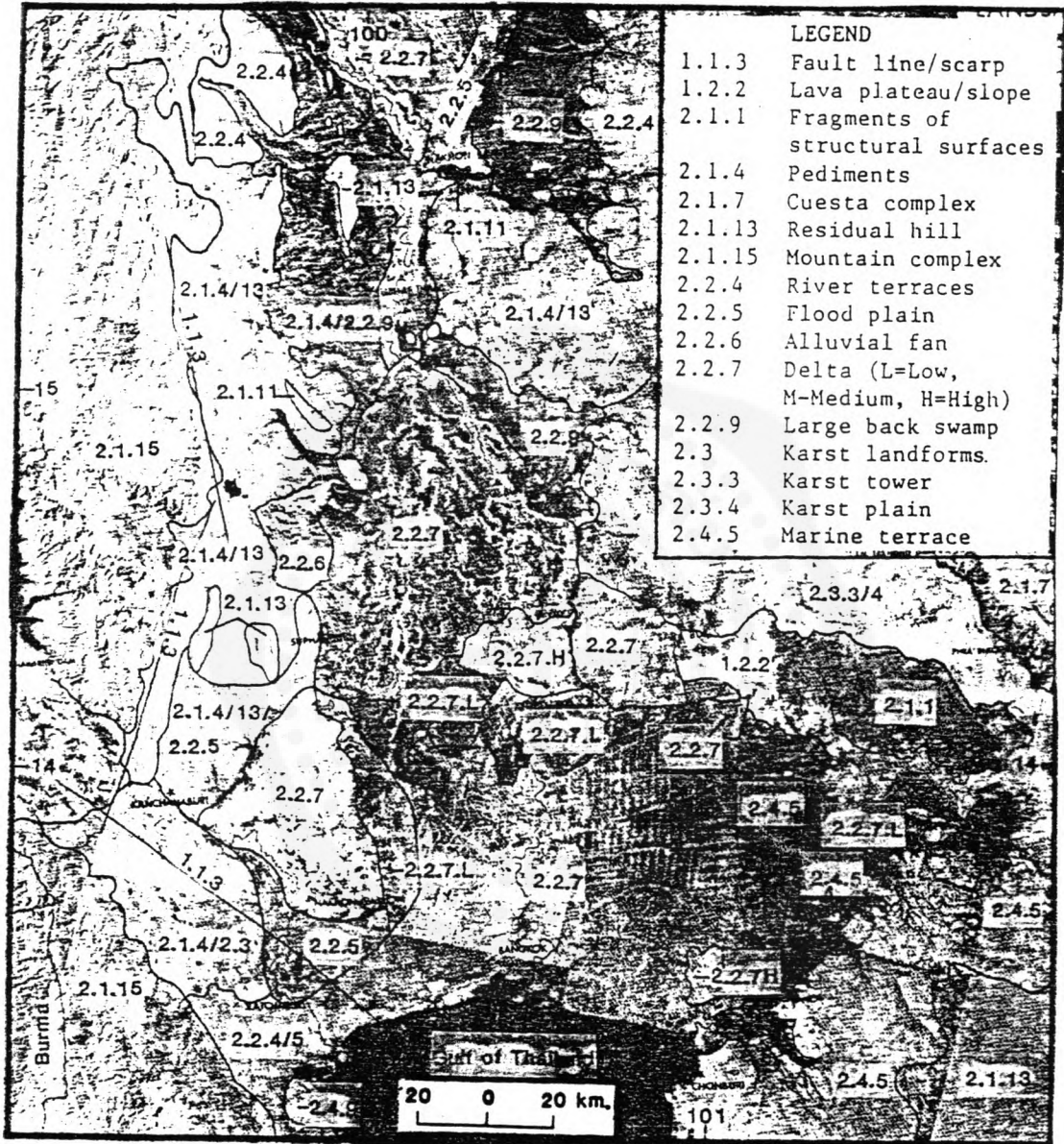
2. ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดจากกระบวนการภายนอกโลก (Exogenic process) พื้นที่ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในลักษณะนี้ โดยแบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ พื้นที่ที่มีการพังทลาย พื้นที่เกิดจากการกระทำของน้ำ พื้นที่หินปูนและพื้นที่ชายฝั่งทะเล

3. การวิวัฒนาการของพื้นที่

ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาของแม่น้ำเจ้าพระยาในระยะแรก มีรอยเลื่อนขนาดใหญ่เกิดขึ้นทางด้านตะวันตก และมีน้ำทะเลท่วมถึง แม่น้ำปิงไหลลงสู่ทะเลและเกิดเคลด้าบริเวณจังหวัดตากมีพื้นที่ 80 x 130 ตารางกิโลเมตร แม่น้ำน่านไหลลงสู่ทะเลทางทิศเหนือ แม่น้ำปิงและน่านพบกันเป็นแม่น้ำเจ้าพระยาที่นครสวรรค์

ขั้นตอนที่ 2 แม่น้ำเจ้าพระยามีความคดโค้งเป็นคู้่งน้ำ แม่น้ำเจ้าพระยาไหลตัดผ่านพื้นที่หินแข็งทำให้เกิดลานเศษหิน (pediments) เนินตะกอนรูปพัด และเนินเขาที่ผ่านการกัดเซาะทั้ง 2 ฝั่งของแม่น้ำ และมีการทับถมของตะกอน เนื่องจากมีพื้นที่จำกัดและเป็นหินแข็งจึงไม่มีเคลด้าเกิดขึ้น มีการกัดเซาะทำให้เกิดคู้่งน้ำมีความยาวประมาณ 50 กิโลเมตร และลำน้ำไหลไปทางตะวันตก

ขั้นตอนที่ 3 เคลด้าแรกของแม่น้ำเจ้าพระยาก็คือ เคลด้าชยันนาทเกิดจากตะกอนที่แม่น้ำเจ้าพระยาพัดพามาปล่อยลงสู่ทะเล ด้านตะวันตกของที่ราบมีการพังทลายและการทับถมมีลานเศษหิน (pediment) และเนินตะกอนรูปพัดเกิดขึ้นใหม่บริเวณขอบของเคลด้า แม่น้ำป่าสักไหลลงมาและปล่อยตะกอนลงสู่เจ้าพระยาเคลด้า



รูป 7.1 ลักษณะภูมิประเทศของที่ราบเจ้าพระยาจากภาพโมเสคของ
 แลนด์แซทแบนด์ 7
 (ที่มา Apisit Eiumnoh, 1988 : I - 17)

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนก่อนข้างซับซ้อน เมื่อเจ้าพระยาเคลด้ายขยายออกไปในทะเล อันเนื่องจากการทับถมของตะกอน มีที่ราบขั้นบันไดชายฝั่งหรือลานตะพักทะเล (marine terrace) เกิดขึ้นทางด้านตะวันออกมีการจมตัว และมีเคลด้ายขนาดเล็กที่ซับซ้อนเกิดขึ้น ทางด้านตะวันตกกาญจนบุรีเคลด้ายเกิดขึ้นในบริเวณที่มีน้ำทะเลตื้นและขยายพื้นที่เข้ามาในเจ้าพระยาเคลด้ายแม่น้ำที่ไหลลงมารวมในที่ราบเจ้าพระยาได้แก่ แม่น้ำ บางปะกงทางตะวันออก เจ้าพระยาตอนกลาง แม่น้ำคลองทางด้านตะวันตก

การใช้ข้อมูลดาวเทียมในการทำแผนที่อุทกธรณีสัณฐาน (hydrogeomorphological mapping) เพื่อหาแหล่งน้ำใต้ดินโดย หน่วยงานรีโมทเซนซิงแห่งชาติอินเดีย (Bhattacharya & Reddy, 1991 : 361 - 368) โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมของศูนย์อวกาศและรีโมทเซนซิงแห่งอินเดีย (IRS) ในประเทศอินเดียมีการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการสำรวจหาแหล่งน้ำใต้ดินอย่างกว้างขวางโดยใช้ภาพที่มีมาตราส่วน 1: 250,000 ใช้ภาพควบคู่กับภาพแลนด์แชทที่เอ็ม แบ่งหน่วยพื้นที่ออกเป็นชนิดของหิน ภูมิประเทศและโครงสร้างของหิน Integrated -Lithologic - Landform - Structure Units (ILLS) เป็นหน่วยพื้นฐานในการพิจารณาหาแหล่งน้ำใต้ดิน และได้นำภาพถ่ายดาวเทียมมาตราส่วน 1: 50,000 ทำแผนที่เส้นทางลำน้ำซึ่งแผนที่นี้ใช้ในการสำรวจการเคลื่อนไหลของลำน้ำใต้ดินในบริเวณใกล้พื้นผิว เนื่องจากสามารถดูร่องน้ำเดิมที่หายไปและลำน้ำใต้ดินที่ไหลออกสู่พื้นผิวโลก

ประสิทธิ์และคณะ (2522) ใช้ข้อมูลดาวเทียมแลนด์แชท 2 ในการจำแนกตะกอนดินแขวนลอยในอ่างเก็บน้ำที่เหนือเขื่อนภูมิพลโดยใช้ข้อมูล फिल्मเนกาตีฟ 70 ม.ม. เพื่ออัปเดตข้อมูลเป็นภาพข้อมูลเทปแม่เหล็ก ข้อมูลมีรายละเอียดคมชัดของแสงอาทิตย์ขณะทำการบันทึก 36 องศา มุมอาซิมุทขณะนั้น 128 องศา กรรมวิธีในการวิเคราะห์ทำโดยการหาอัตราส่วนระหว่างข้อมูลที่เป็นตัวแทนของน้ำใสกับน้ำที่มีตะกอนเจือปน ซึ่งสามารถชี้แนะถึงความแตกต่างของบริเวณตะกอนดินเจือจางและตะกอนดินค่อนข้างมากได้

Ching (1991 : 197 - 200) หน่วยงานสำรวจ และข้อมูลดินประเทศนิวซีแลนด์ ได้ใช้ข้อมูลดาวเทียมสปอตในการทดลองทำแผนที่ภูมิประเทศ โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสปอตแพนโครมาติกหรือภาพขาวดำ 2 ภาพ ที่บันทึกบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของนครเวสต์ลิงตัน ถ่ายภาพในเดือนเมษายน พ.ศ. 2531 บริเวณทดลองมีภูมิประเทศหลากหลายตั้งแต่เนินเขาถึงที่ราบ และมีสิ่งคลุมดินเป็นแหล่งน้ำ ทุ่งหญ้า ป่าไม้ เป็นต้น

วิธีการในการทดลองใช้ แบบจำลองภูมิประเทศ (Digital Terrain Models - DTM) 2 แบบ แบบจำลองแรกใช้พื้นที่ 100 เมตร x 100 เมตร โดยวัดจากภาพถ่ายทางอากาศ แบบจำลองที่สองใช้พื้นที่ 100 เมตร x 100 เมตร จากภาพถ่ายดาวเทียมสโตนใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน 26 จุด ผลจากการทดลองพบว่าการทำแผนที่มาตราส่วนเล็กสามารถทำได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสโตน ดีทีเอ็มสามารถทำเส้นชั้นความสูงที่มีระยะห่าง 30 เมตร และลักษณะภูมิประเทศสำคัญ ๆ สามารถใช้เป็นข้อมูลในการทำแผนที่ 1 : 50,000 ได้

2. ดิน

ดินมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจในฐานะที่เป็นแหล่งผลิตอาหารของมนุษย์ ความรู้ในเรื่องดินจึงมีความสำคัญต่อการเกษตรกรรม โดยทั่วไปแล้วดินประกอบด้วยวัตถุซึ่งสลายตัวมาจากหินพื้นฐานที่อยู่ภายใต้พื้นผิวโลกดินมีคุณสมบัติอย่างไรขึ้นอยู่กับวัตถุแม่ดินเป็นสำคัญ การศึกษาเรื่องดินโดยใช้ข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลใช้ในการทำแผนที่ดิน เริ่มแรกใช้ภาพถ่ายทางอากาศ แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพมีความสำคัญ การใช้ภาพถ่ายสีช่วยในการทำแผนที่ดินเริ่มมีความสำคัญในปีพ.ศ. 2503 จากการวิจัยพบว่าการใช้ภาพถ่ายทางอากาศที่เป็นภาพสีให้ข้อมูลสภาพของดินดีกว่าภาพถ่ายขาวดำ

เนื่องจากดินประกอบด้วยแร่ธาตุและอินทรีย์สาร รวมทั้งความชื้น ในการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม จึงอาจคาดคะเนได้ว่าดินต่างชนิดกันน่าจะมีการสะท้อนพลังงานแตกต่างกัน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการในช่วงความยาวคลื่น 0.32 - 1.0 ไมโครเมตร ที่ทดลองดินชุ่มน้ำและดินแห้งของดิน 3 ชนิดคือ เซอร์โนเซ็ม (Chernozem หรือ Mollisol) พีคัลเฟอร์ (pedalfer หรือ spodosol) ดินเลทเทอไรท์ (lateritic หรือ oxisol) พบว่าดินแห้งมีการสะท้อนพลังงานสูงกว่าดินชุ่มน้ำ

การศึกษความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของดินกับสภาพของดินทำโดยโครงการเอชซีเอ็มเอ็ม (Heat Capacity Mapping Mission - HCMM) ซึ่งได้พัฒนาจากโครงการ Application Explorer Mission - A (AEM - A) เป็นระบบดาวเทียมที่โคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ ความสูงของวงโคจร 600 กิโลเมตร ระบบสำรวจเรียกว่า เอชซีเอ็มอาร์ (Heat Capacity Mapping Radiometer - HCRM) มี 2 ช่วงคลื่น คือ ช่วงคลื่นเห็นได้ - อินฟราเรดใกล้ 0.5 - 1.1 ไมโครเมตร และอินฟราเรดความร้อน 10.5 - 12.5 ไมโครเมตร มีรายละเอียดภาพ 500 เมตร แนวกวาดภาพกว้าง 700 กิโลเมตร ดาวเทียมส่งขึ้นโคจรในวันที่ 26 เมษายน 2521 งานสำรวจและวิจัยเกี่ยวกับดินที่สำคัญคือ การวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ยุโรปในโครงการเทลลัส (Tellus)

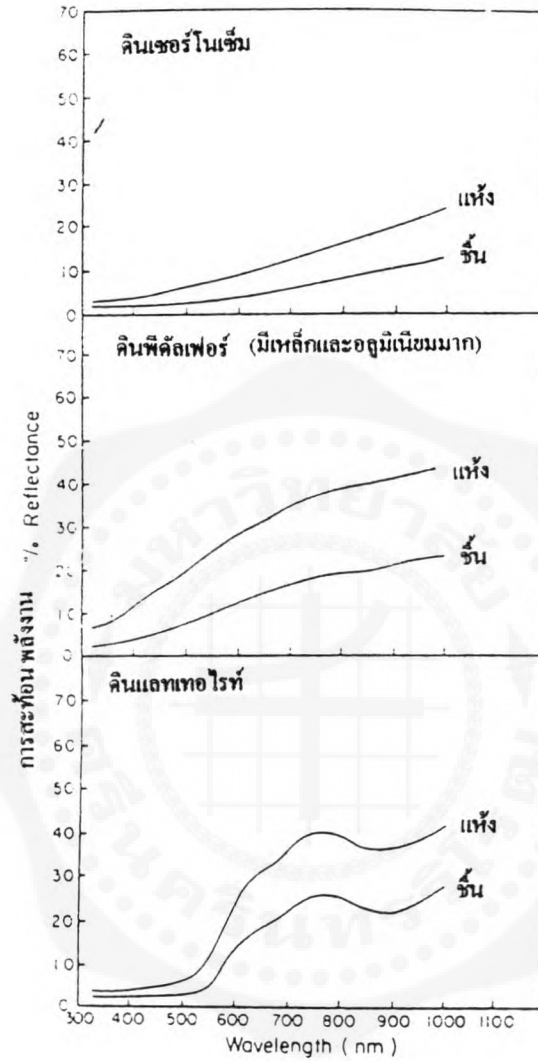
เพื่อทำแผนที่ความผันแปร ของอุณหภูมิระหว่างวันของดิน โดยการสำรวจภาคพื้นดิน แบบจำลองอุณหภูมิ (thermal intertia) ของดินสามารถสร้างขึ้นได้โดยการคาดหมายความผันแปรของความชื้นในดินที่ดินชั้นบน (top soil) และได้ข้อสรุปว่า ดินที่มีน้ำมากหรือมีความชื้นมากมีความผันแปรของอุณหภูมิพื้นผิวดินต่ำ

การสะท้อนพลังงานของดินมีหลักการดังนี้คือ

1. ความชื้นในดินที่เพิ่มมากขึ้นอาจเป็นสาเหตุให้ลดการสะท้อนพลังงาน
2. การเพิ่มขนาดของเม็ดดิน (particle size) เป็นสาเหตุให้ลดการสะท้อนพลังงาน เป็นการเพิ่มความหยาบของพื้นผิว (surface roughness)
3. การเพิ่มอินทรียสารในดินทำให้ลดการสะท้อนพลังงาน
4. การเพิ่มปริมาณเกลือออกไซด์ในดินทำให้การสะท้อนพลังงานลดลง

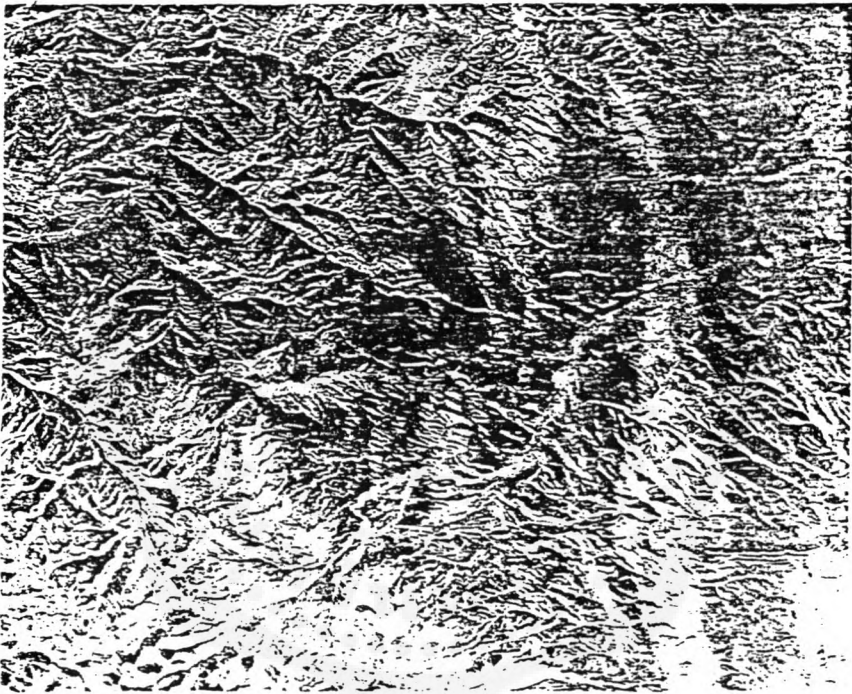
การศึกษาเรื่องดินในข้อมูลสัมผัสระยะไกลช่วงคลื่นไมโครเวฟมี 2 ระบบที่ใช้ คือระบบที่ใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์หรือพลังงานจากธรรมชาติและระบบพลังงานที่สร้างขึ้นเอง ระบบ ที่สร้างพลังงานเองคือระบบเรดาร์ โดยปกติใช้ระบบซาร์ (SAR) โดยการปล่อยพลังงานไมโครเวฟและสะท้อนกลับเมื่อกระทบกับพื้นผิวโลกเข้าสู่ระบบเรดาร์ของดาวเทียม โดยปกติใช้ศึกษาในเรื่อง ความชื้นในดิน ความขรุขระของดิน (soil roughness) และเนื้อดิน (soil texture) ยังมีความชื้นมากทำให้มีการสะท้อน (backscatter) มากยิ่งขึ้น จากรูป 7.3 เป็นภาพจากดาวเทียมซีแซท ช่วงคลื่นแอลแบนด์ ระบบซาร์ของพื้นที่แห้งแล้งในรัฐไวโอมิง สหรัฐอเมริกา ในวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2521 แนวสีขาวในภาพเกิดจาก กลุ่มเมฆฝนในพื้นที่ และพื้นที่ซึ่งมีสีจางในภาพเกิดจากบริเวณที่มีฝนตก ซึ่งทำให้มีการสะท้อนพลังงานเพิ่มขึ้น

ความหยาบของพื้นผิวดินและเนื้อดิน มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ความหยาบของพื้นผิวดินอาจเกิดจากขนาดของเม็ดดินใหญ่ขึ้นทำให้การสะท้อนพลังงานเพิ่มขึ้น จากข้อมูลภาพเรดาร์ระบบซาร์ เมื่อขนาดของความหยาบพื้นผิวมีมากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวช่วงคลื่นเรดาร์ (ช่วงคลื่นแอลแบนด์) หมายความว่า ขนาดของความหยาบพื้นผิว (Surface roughness) มีมากกว่า 12 เซนติเมตร ถ้าน้อยกว่า 12 เซนติเมตรพื้นผิวเรียบ



รูปที่ 7.2 การสะท้อนพลังงานของดินเซอร์โนเซ็ม พีคัลเฟอร์ และแลทเทอไรท์
ในห้องปฏิบัติการ

(ที่มา E.C. Barret & L.F. Curtis, 1982 : 222)



รูปที่ 7.3 ภาพจากดาวเทียมซีแซทระบบซาร์ (SAR) บริเวณรัฐไวโอมิง สหรัฐอเมริกา
วันที่ 1 สิงหาคม 2521 บริเวณที่มีสีจาง เป็นพื้นที่ที่มีฝนตกไม่นานความชื้นใน
ดินทำให้มีการ สะท้อน (backscatter) สูง

(ที่มา Ray Harris, 1987 : 150)

การพังทลายของดินนับเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่ง สถาบันรีโมทเซนซิงของอินเดีย (Saha et. al, 1991 : 369 - 372) ได้ใช้ข้อมูลดาวเทียมของอินเดียและใช้สมการดิน (Universal Soil Loss Equation - USLE) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Wischmeier และ Smith ในปีพ.ศ. 2508 ในการคำนวณการพังทลายของดิน และได้รวบรวมข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินสิ่งปกคลุมดิน ข้อมูลความลาดเอียงซึ่งรวบรวมจากแผนที่ภูมิประเทศ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน สภาพอากาศ ศึกษาการพังทลายของดินบริเวณตะวันตกและพื้นที่เชิงเขาหิมาลัย ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า บริเวณที่มีความลาดชันมากและพื้นที่ที่มีการกัดเซาะมีพืชพรรณเป็นทุ่งหญ้าป่าโปร่งจนถึงพื้นที่ว่างเปล่ามีการพังทลายรุนแรง มีอัตราการพังทลาย 165 - 600 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี การพังทลายในระดับปานกลาง 25 - 165 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี ระดับต่ำน้อยกว่า 5 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลได้ใช้การวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้ชุดซอฟต์แวร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ ระดับกลางระบบ VAX - 11/780

7.2 ธรณีวิทยา

การใช้ประโยชน์ข้อมูลสัมผัสระยะไกลในการศึกษาธรณีวิทยา ได้ใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายทางอากาศอย่างกว้างขวาง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลสำคัญที่ได้จากการศึกษาภาพถ่ายดาวเทียมก็คือข้อมูลด้านธรณีวิทยาโครงสร้าง(structural geology) ได้แก่กลุ่มของเส้น (lineaments) บนพื้นผิวโลกในภาพซึ่งเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งภาพเรดาร์ มีประโยชน์โดยเฉพาะการศึกษาโครงสร้างพื้นที่ เพราะพลังงานเรดาร์ที่กระทบพื้นผิวสะท้อนกลับ ส่วนบริเวณที่ไม่ได้รับพลังงานปรากฏเป็นเงาในภาพ ดังนั้น ในพื้นที่ที่มีรอยคดโค้งและรอยเลื่อน สามารถเห็นโครงสร้างได้โดยดูจากเงา

นอกจากนี้การใช้ข้อมูลสัมผัสระยะไกลในด้านธรณีวิทยายังสามารถจำแนกชนิดของหินที่ปรากฏบนพื้นผิวโลกโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ ข้อมูลการจำแนกชนิดของหินมีประโยชน์อย่างยิ่งในการทำแผนที่ธรณีวิทยาในพื้นที่ซึ่งมีพืชพรรณเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีพืชพรรณเลย การวิเคราะห์ชนิดของหินมี 2 ประการต้องคำนึงถึงได้แก่ การพิจารณาความแตกต่างและการพิสูจน์ความเหมือนกัน การพิจารณาความแตกต่างหรือการวิเคราะห์ความแตกต่างขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของภาพดาวเทียม เช่น ความเข้ม (tone) สี (colour) พื้นผิวหรือเนื้อภาพ (texture) และสิ่งเหล่านี้ช่วยให้สามารถทำแผนที่แสดงลักษณะพื้นผิวของพื้นที่ศึกษา การพิสูจน์ความเหมือนกันเป็นสิ่งสำคัญลำดับต่อมาในการตัดสินใจว่าเป็นหินชนิดใด การวิเคราะห์ในเรื่องความแตกต่างอาจทำได้โดยการแปลภาพด้วยสายตาและการใช้คอมพิวเตอร์ การวิเคราะห์ความเหมือนกันมีความยุ่งยากกว่าต้องการข้อมูลมากขึ้นในเรื่องของการสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นต่าง ๆ ของหิน

จากการศึกษาของ William 1983 (Ray Harris, 1987 : 132 - 133) ซึ่งใช้เครื่องมือวัดการสะท้อนพลังงานในสนาม (spectrometer) ได้ข้อสรุปดังนี้

1. หินที่ประกอบด้วยแร่ลิโมนีท์ ซึ่งมีเหล็กออกไซด์ แสดงลักษณะการดูดซับพลังงานในช่วงคลื่นต่ำกว่า 0.5 ไมโครเมตร ซึ่งเกิดจากการดูดซับพลังงานของเหล็กในช่วงคลื่นสั้น อีกช่วงหนึ่งที่มีการดูดซับพลังงานอยู่ระหว่าง 0.85 และ 0.95 ไมโครเมตร

2. คาร์บอนเนตและแร่ดินเหนียว (clay mineral) มีช่วงดูดซับพลังงานชัดเจนในช่วงคลื่น 2.1 - 2.5 ไมโครเมตร แร่ดินเหนียว เช่น คาโอลิไนท์ (kaolinite) อลูไนท์ (alunite) ที่ประกอบอยู่ในหินที่เกิดจากพลังงานความร้อน (hydrothermal) มีช่วงการดูดซับพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง แบนด์ 7 ของระบบที่เอ็มอยู่ระหว่าง 2.08 - 2.35 ไมโครเมตร

3. การเพิ่มขึ้นของปริมาณซิลิกาทำให้มีการดูดซับเลื่อนจาก 8 - 14 ไมโครเมตร ในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนไปยัง ช่วงคลื่นสั้น ดังนั้นการมีซิลิกาเพิ่มขึ้น สามารถตรวจได้ถ้าการดูดซับพลังงานสูงสุดลดลงที่ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน

ในพื้นที่ซึ่งมีพืชขึ้นปกคลุม การวิเคราะห์ทางธรณีวิทยาอาจทำได้โดยการวิเคราะห์พืชพรรณธรรมชาตินับเป็นการศึกษาธรณีวิทยาพฤกษศาสตร์ (geobotany) จากการศึกษานี้ของ Labovitz และคณะในปี พ.ศ. 2528 (Ray Harris, 1987 : 135) โดยใช้อุปกรณ์วัดการสะท้อนพลังงานของดิน โอ๊ค และต้นทิวลิปปอปลาร์ เมื่อตรวจสอบผลกระทบของแร่ธาตุ ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว สังกะสี ผู้ศึกษาได้เลือกพื้นที่ที่มีแร่ธาตุและไม่มีแร่ธาตุ จากรัฐนิวเจอร์ซีย์ถึงจอร์เจีย และใช้อุปกรณ์วัดการสะท้อนพลังงานโดยกำหนดให้อยู่ในช่วงคลื่นเดียวกับ ระบบที่เอ็มแบนด์ 3,4, และ 5 พบว่า พืชที่ปลูกในพื้นที่ดินซึ่งมีแร่ธาตุ มีการสะท้อนพลังงานของใบพืชสูงกว่าที่ปลูกในพื้นที่ดินที่ไม่มีแร่ธาตุ และสูงสุดในตอนปลายฤดูร้อนและต้นฤดูใบไม้ผลิ อย่างไรก็ตามผลของการศึกษานี้ไม่สามารถเปรียบเทียบหรืออ้างอิงได้กับการใช้ข้อมูลดาวเทียมโดยตรงเนื่องจากไม่สามารถเทียบเคียงกับขนาดของจุดภาพได้

1. การสำรวจแหล่งแร่

ข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซทที่ใช้ประโยชน์ในการสำรวจแหล่งแร่ ใช้ประโยชน์ในงานต่อไปนี ทำแผนที่ระบบรอยแตกของเปลือกโลก (fracture system) ที่ควบคุมแหล่งแร่ ทั้งในบริเวณเล็ก ๆ และพื้นที่ใหญ่ ๆ ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวโลกที่มีผลร่วมกับแหล่งแร่ ช่วยให้ข้อมูลพื้นฐานในการทำแผนที่ธรณีวิทยา

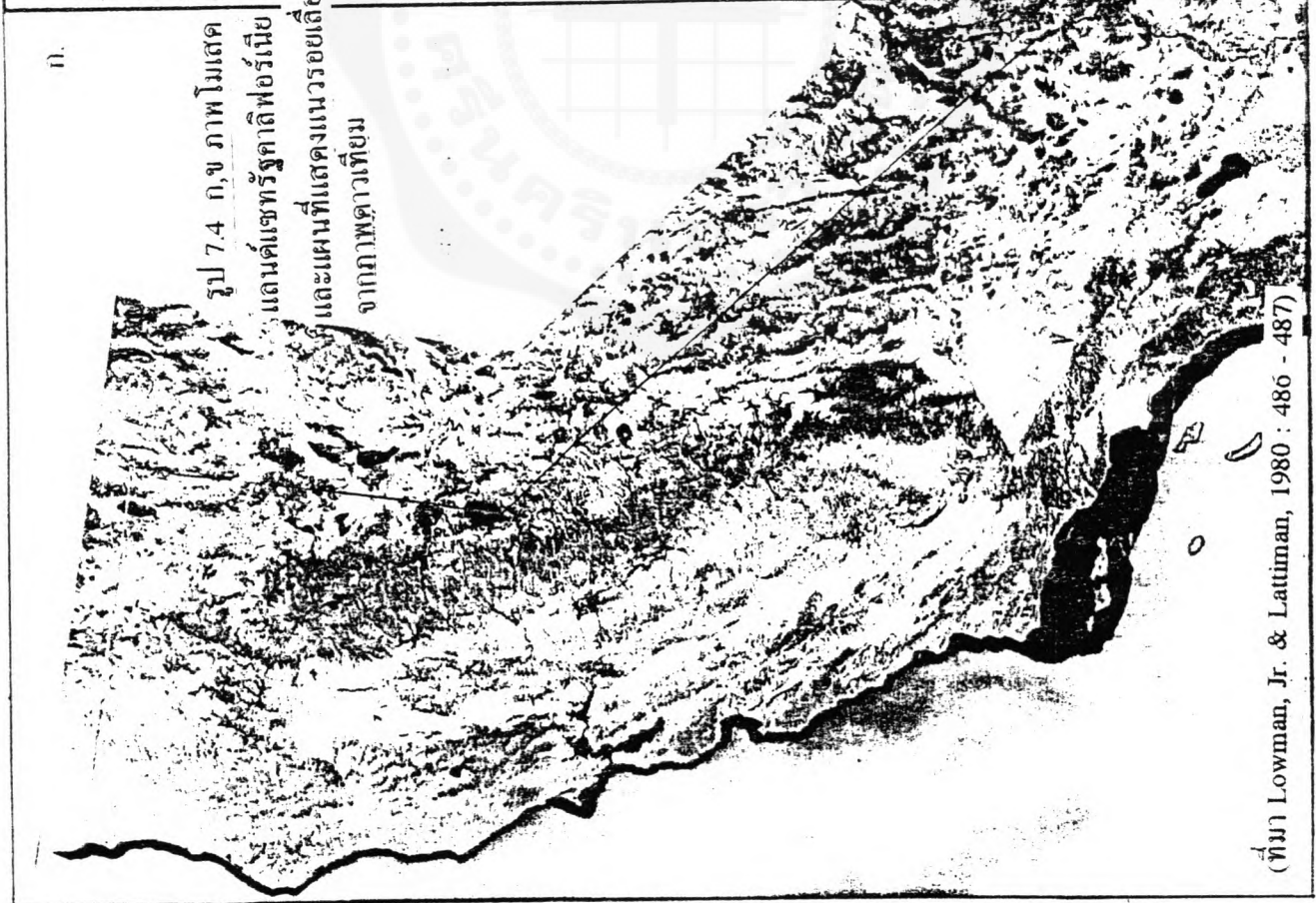
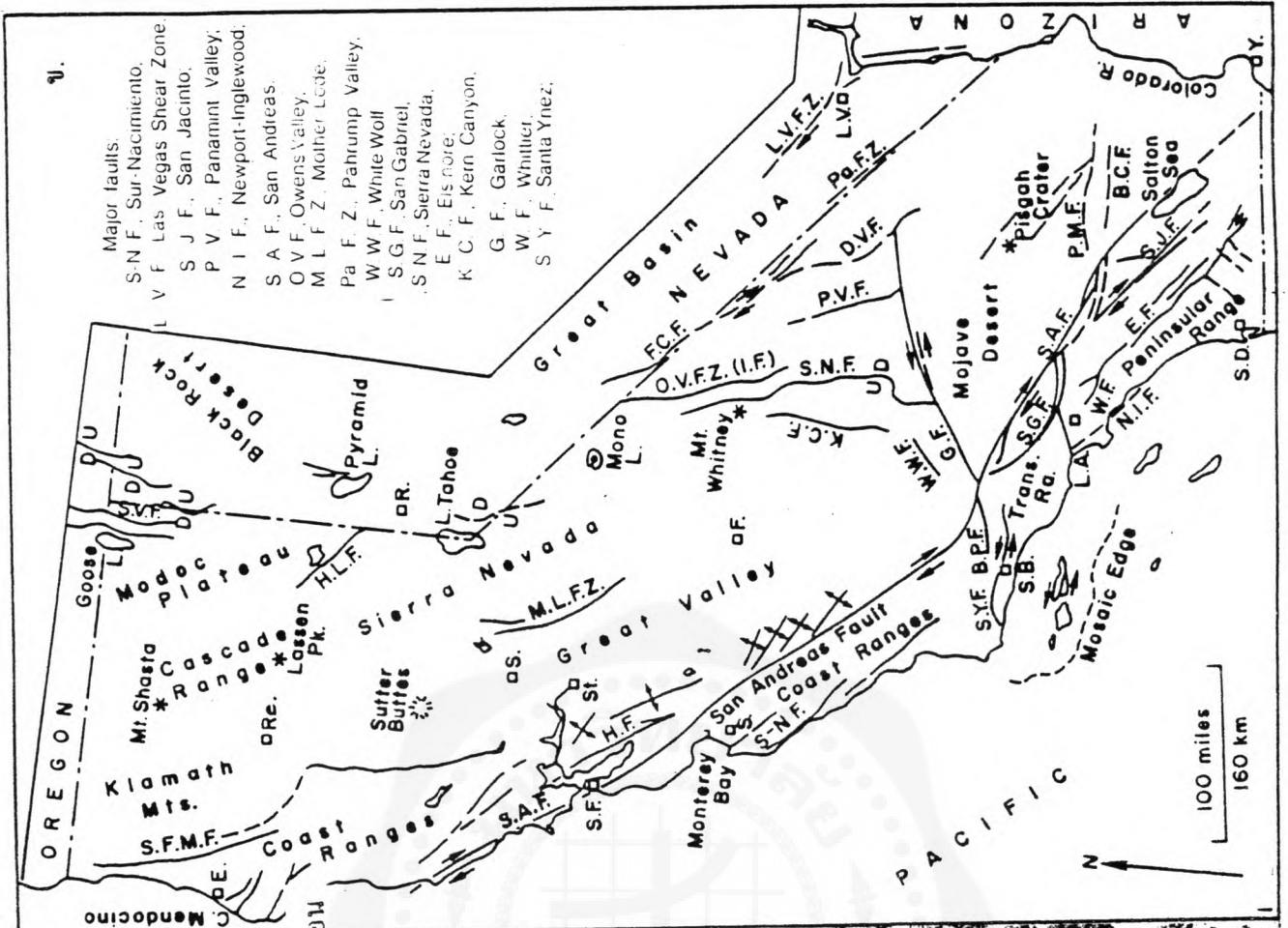
การสำรวจแหล่งน้ำมันเดิมใช้ภาพถ่ายทางอากาศ แต่มักมีปัญหาเนื่องจากต้องใช้เวลา นานในการผลิต พื้นที่ใหญ่ต้องใช้ภาพมาก เป็นหมื่น ๆ ภาพ แต่หากใช้ภาพถ่ายดาวเทียมอาจใช้ เพียงไม่กี่ภาพ และสามารถแปลภาพได้ภายใน 2 - 3 วัน หรือภายในสัปดาห์เท่านั้น จากภาพ ถ่ายดาวเทียมสามารถเห็น โครงสร้างขนาดใหญ่และโครงสร้างขนาดเล็กที่มีขนาดแค่ 1 กิโลเมตรก็ สามารถเห็นได้ ในพื้นที่ซึ่งไม่มีแผนที่ภูมิประเทศ การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์เซทนำมา ขยายก็สามารถให้รายละเอียดทางด้านข้อมูลภูมิศาสตร์ได้อย่างดี

ภายหลังจากการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการศึกษาพื้นที่ชั้นตอนแรกแล้ว ขั้นตอนต่อ มาก็คือการใช้ภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายเรดาร์เพื่อศึกษารายละเอียดของพื้นที่มีกลุ่มสำรวจ ภาคพื้นดินเพื่อทำแผนที่และเก็บตัวอย่างหิน โฟสในบริเวณที่กำหนด มีการสำรวจทางด้านธรณี ฟิสิกส์ การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อช่วยในการสำรวจโครงสร้างของพื้นที่ มีการสำรวจทางด้าน แรงโน้มถ่วง การสำรวจคลื่นแผ่นดินไหว

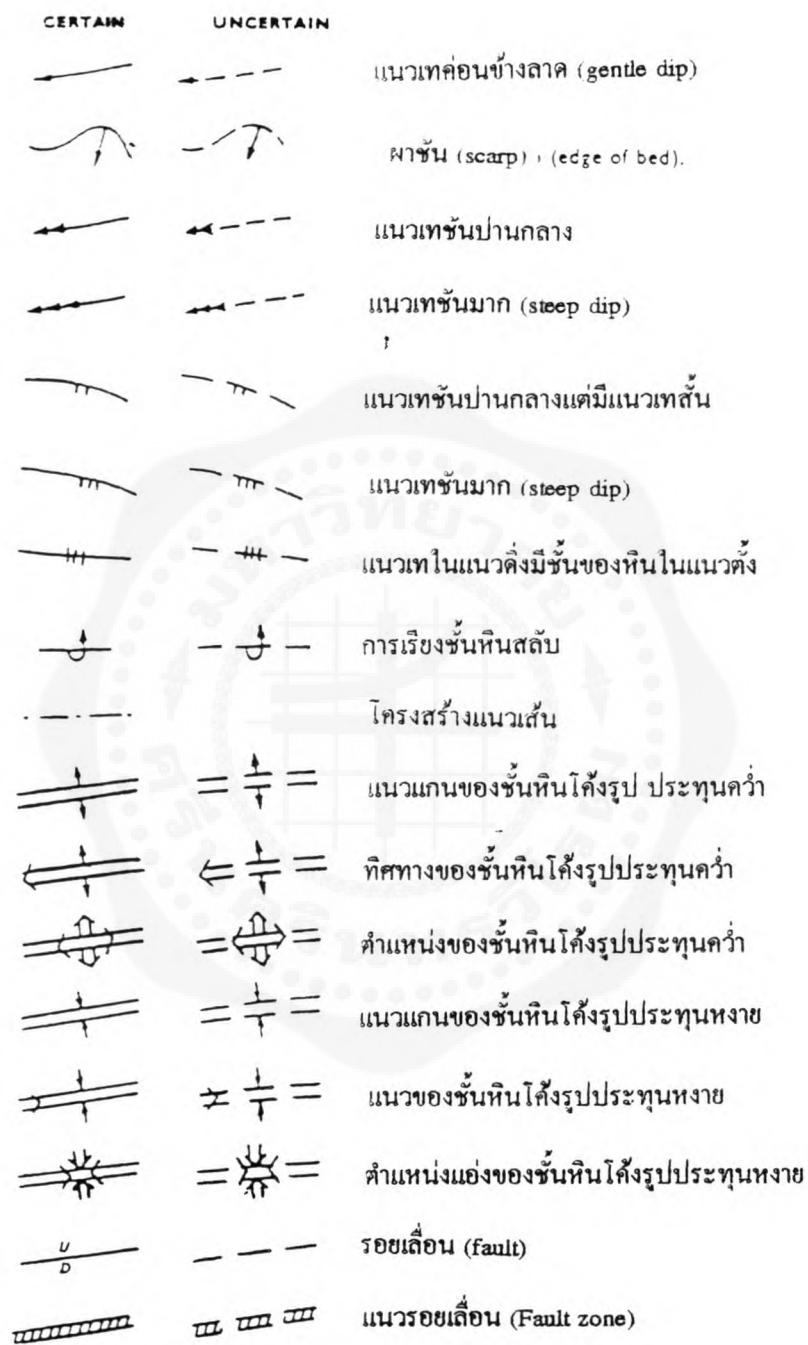
2. การทำแผนที่แนวโครงสร้างทางธรณีวิทยา

แหล่งแร่และพื้นที่ทำเหมืองแร่มักพบตามแนวที่มีความยาวเป็นร้อย ๆ กิโลเมตร การทำแผนที่บริเวณดังกล่าวจึงมีประโยชน์ในการศึกษาทางธรณีวิทยา การใช้ภาพถ่ายดาวเทียม มีประโยชน์ในการทำแผนที่ทั้งบริเวณใหญ่และพื้นที่ขนาดเล็ก โครงสร้างแนวเส้นถูกควบคุม โดยแนวรอยเลื่อนและเป็นโซนของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง มีการเคลื่อนตัวเป็นระยะ ๆ และ มักมีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่ การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์อาจนำลักษณะแนวเส้น ตรงเหล่านี้ มาวิเคราะห์เพื่อให้ได้รายละเอียดเพิ่มขึ้นได้

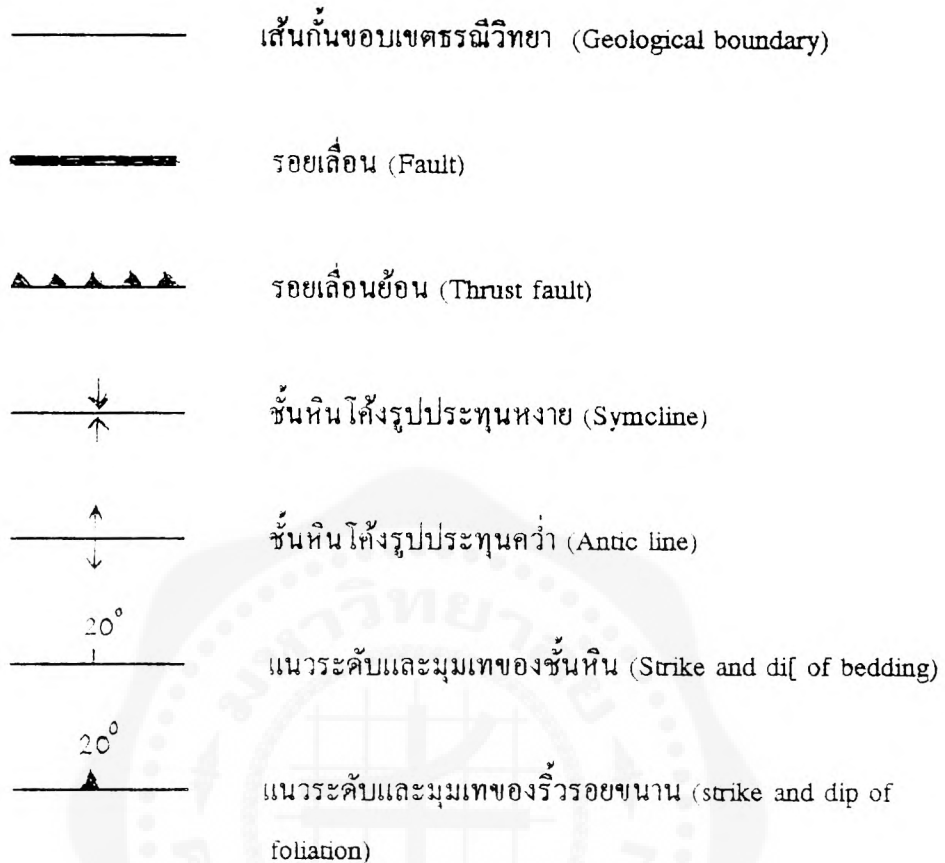
ตัวอย่างการทำแผนที่แสดงแนวรอยเลื่อนในรัฐคาลิฟอร์เนีย ภาพถ่ายดาวเทียมเป็น ข้อมูล ที่ใช้ประโยชน์ได้อย่างดียิ่งในการทำแผนที่ดังกล่าวเนื่องจากเป็นพื้นที่กว้างใหญ่ การใช้ ภาพถ่ายดาวเทียมสามารถทำได้รวดเร็วและครอบคลุมเนื้อที่ได้เป็นบริเวณกว้างรูป 7.4 ก. เป็น ภาพโมเสคของภาพถ่ายดาวเทียมสี่ผสมจำนวน 42 ภาพ บริเวณพื้นที่รัฐคาลิฟอร์เนีย รูป 7.4 ข.เป็น แผนที่แสดงแนวรอยเลื่อนจากภาพถ่ายดาวเทียม



(ที่มา Lowman, Jr. & Lattiman, 1980 : 486 - 487)



รูป 7.5 สัญลักษณ์ในการแปลภาพถ่ายทางอากาศด้านธรณีวิทยา
 (ที่มา E.C. Barret & L.F. Curtis, 1982 : 238)



รูป 7.6 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนที่ธรณีวิทยาทั่วไป

7.3 บรรยากาศ

ข้อมูลสัมผัสระยะไกลที่ใช้ศึกษาเรื่องสภาพอากาศ เริ่มจากการใช้ภาพถ่ายเมฆที่ถ่ายจากพื้นดิน ต่อมาเป็นภาพถ่ายจากบอลลูน และเครื่องบินช่วงเวลาที่ใช้ดาวเทียมสำรวจบรรยากาศ เริ่มขึ้นเมื่อมีการส่งดาวเทียมที่ออกแบบเพื่อสำรวจสภาพอากาศโดยเฉพาะ คือดาวเทียมไทรอส 1 ขึ้นสู่วงโคจรในเดือนเมษายน พ.ศ. 2503 ปัจจุบันมีดาวเทียมสำรวจสภาพอากาศมากกว่า 100 ดวง

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา มี 2 ประเภท คือ ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ที่มีวงโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ วงโคจรใกล้ขั้วโลก สามารถตรวจสอบสภาพอากาศในเขตขั้วโลก และเขตละติจูดกลางได้ ดาวเทียมชนิดนี้ ได้แก่ดาวเทียมโนอา ปฏิบัติงานในลักษณะดาวเทียมฝ่าแผ่นโคจร สวนทางกับดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาประเภทที่สอง เป็นดาวเทียมที่มีวงโคจรสัมพันธ์กับ

การโคจรของโลก (geostationary) ดาวเทียมหมุนรอบตัวเองและเคลื่อนที่รอบโลก ใช้เวลา 24 ชั่วโมง อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตร 35,800 กิโลเมตร ได้แก่ดาวเทียม GMS, GOES, METEOSAT และ INTELSAT

การใช้ประโยชน์ข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลในการศึกษาสภาพอากาศเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำในบรรยากาศ เช่น ความชื้น ไอน้ำ ปริมาณน้ำฝน เมฆ หิมะ และเกี่ยวข้องกับการรับพลังงานจากดวงอาทิตย์ เช่น อุณหภูมิของอากาศ เป็นต้น

การตรวจสอบปริมาณน้ำฝนได้ใช้ระบบเรดาร์สามารถคาดหมายความหนาแน่นของฝนในพื้นที่ที่ต้องการได้ ข้อมูลเหล่านี้เป็นประโยชน์ในการจัดการลำน้ำ และการควบคุมการพังทลายของดิน ซึ่งปริมาณฝนที่ตกเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งนอกจากนี้ระบบเรดาร์สามารถประมาณปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งข้อมูลมีประโยชน์ในการทำนายปริมาณน้ำในแม่น้ำลำธาร การตรวจวัดปริมาณน้ำฝนตามสถานีวัดต่างๆ อาจผิดพลาดได้เนื่องจากสถานีวัดอยู่ห่างไกลกัน

การตรวจสอบน้ำแข็งและหิมะ น้ำแข็งในที่นี้ได้แก่น้ำแข็งบนแผ่นดิน และน้ำแข็งในทะเล (sea ice) ในเขตภูเขาสูงน้ำอยู่ในสภาพของหิมะ เมื่อปกคลุมภูเขาและที่สูงเป็น บริเวณกว้างเรียกว่า ทุ่งหิมะ ความรู้ในเรื่องการแพร่กระจายของทุ่งหิมะ และปริมาตรในรูปของน้ำมีประโยชน์ในการทำนายปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำและน้ำที่สะสมอยู่ได้ ซึ่งมีผลต่อโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำ การชลประทาน การควบคุมปริมาณน้ำ การจัดการลำน้ำ การอุตสาหกรรม สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ และปัจจัยอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อเศรษฐกิจของประเทศ การตรวจสอบน้ำแข็งในทะเลนับว่ามีความสำคัญต่อการคมนาคมการเดินทางเรือในกลุ่มประเทศทวีปยุโรปและอเมริกา

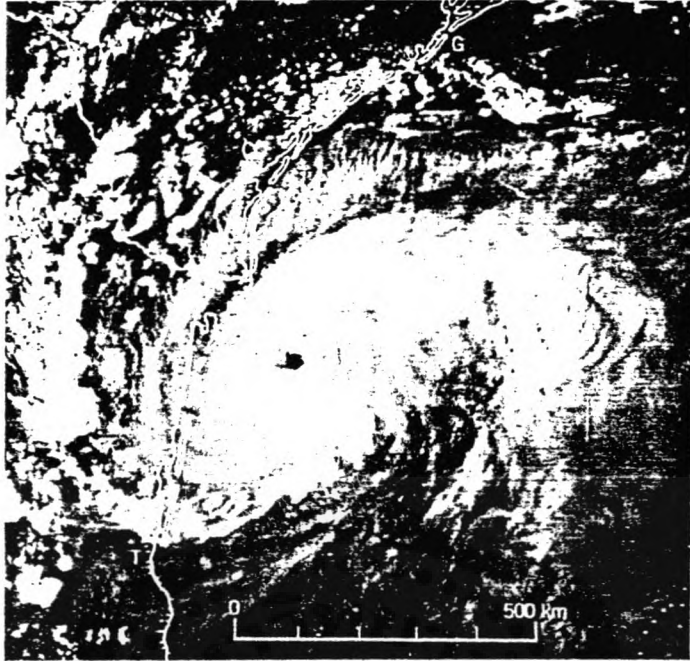
ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกล โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์พื้นที่ที่มีหิมะปกคลุมซึ่งมีความถูกต้อง สามารถกำหนดตำแหน่งแนวหิมะซึ่งใช้ในการทำนายปริมาณน้ำ และตรวจสอบกระบวนการละลายของหิมะในฤดูใบไม้ผลิ และฤดูร้อน สิ่งที่น่าจะยังเป็นปัญหาอยู่ก็คือการแยกแยะออกจากน้ำแข็งและหิมะ จากการวิจัยโดยใช้ข้อมูลของสกายแลปซึ่งมีอุปกรณ์สำรวจข้อมูลหลายช่วงคลื่น ข้อมูลจากช่วงคลื่น 1.55 - 1.75 ไมโครเมตร สามารถแยกแยะออกจากน้ำแข็งและหิมะได้ ซึ่งช่วงคลื่นดังกล่าวอยู่ในช่วงคลื่นของข้อมูลแลนด์แซททีเอ็มแบนด์ 5

ในการสำรวจสภาพอากาศในพื้นที่ขนาดใหญ่ ดาวเทียมสำรวจสภาพอากาศที่นิยมใช้กันแพร่หลายก็คือดาวเทียมโนอา ซึ่งให้ข้อมูล หิมะและน้ำแข็ง โดยเฉพาะแผนที่หิมะ และหิมะน้ำแข็งและการสะท้อนพลังงาน สำหรับในประเทศไทย ได้ใช้ข้อมูลดาวเทียม จีเอ็มเอส (Geostationary Meteorological Satellite) ซึ่งโคจรสัมพันธ์กับโลก และตรวจสอบสภาพอากาศได้ครอบคลุมพื้นที่กว้างขวาง และดาวเทียมโนอาซึ่งมีวงโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ ข้อมูลจากดาวเทียมทั้งสองช่วยให้การติดตามสภาพอากาศ การเคลื่อนตัวของพายุ และให้ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์อากาศด้วย

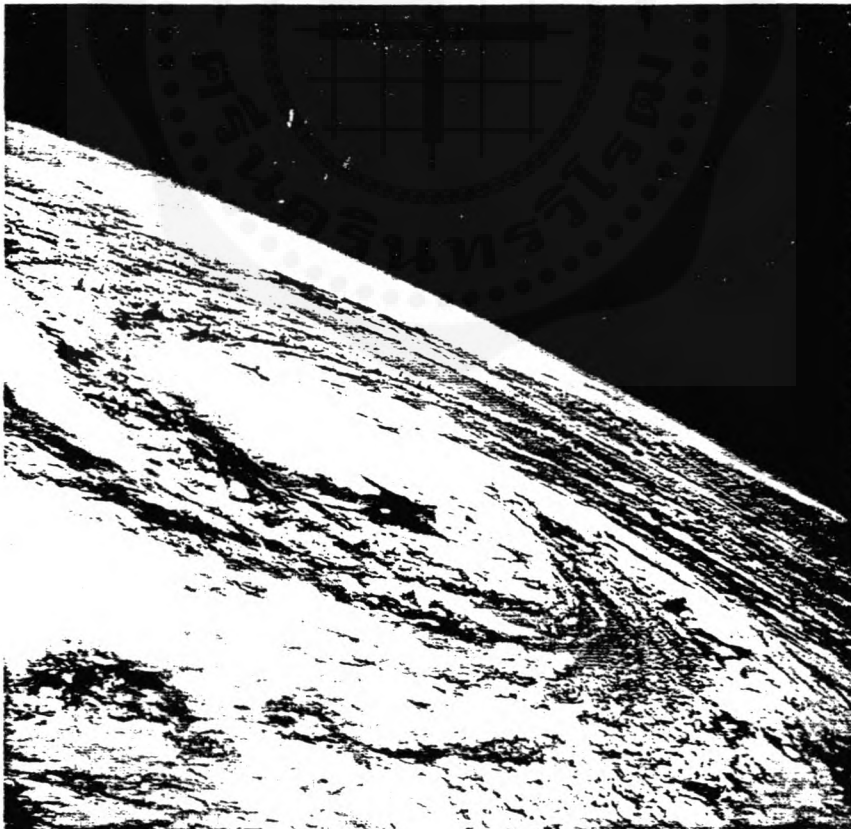
Yasunari และคณะ (Yasunari et. al, 1991 : 352) ได้ศึกษาพื้นที่ที่มีหิมะปกคลุมในทวีปยุโรป โดยใช้ข้อมูลเอสเอ็มเอ็มอาร์ (Scanning Multi - channel Microwave Radiometer - SMMR) จากดาวเทียม Nimbus 7 ผลจากการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่มีหิมะมีบริเวณเพิ่มขึ้นและปกคลุมพื้นที่มากที่สุด ประมาณ 45 องศาเหนือในเดือนธันวาคม และเริ่มลดลงในเดือนกุมภาพันธ์ เดือนเมษายนพื้นที่ที่มีหิมะปกคลุมลดลงถึงประมาณ 50 องศาเหนือ

Loubersac และคณะ (1991 :269 - 273) ใช้ข้อมูลดาวเทียมสปอตในการศึกษาพายุไซโคลนซอลตีในหมู่เกาะคุก โดยใช้ข้อมูลภาพก่อนและหลังมาเปรียบเทียบกันโดยการแปรภาพด้วยสายตา และการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ พื้นที่ศึกษาชื่อเกาะ Aitutaki อยู่ในหมู่เกาะคุกมีลักษณะเป็นเกาะปะการัง (atoll) และเกาะที่มีภูเขาไฟขนาดเล็กมีพื้นที่ 16.8 ตารางกิโลเมตร ยอดสูงสุด 119 เมตร และทะเลสาบน้ำเค็มหรือลากูนมีพื้นที่ 66 ตารางกิโลเมตร และล้อมรอบด้วยเกาะปะการัง (barrier reef) การวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังพายุไซโคลนเคลื่อนที่ผ่านก็คือ บริเวณที่เป็นเกาะปะการังและทะเลสาบที่มีน้ำตื้นน้อยกว่า 3 เมตร พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของการสะท้อนพลังงาน บริเวณที่มีสีจางมีพื้นที่ประมาณ 15.2 เปอร์เซ็นต์ บริเวณที่มีสีดำหรือสีเข้ม 17 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่า 1 ใน 3 ของพื้นที่น้ำตื้นของเกาะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงโดยพายุไซโคลน และมีการพังทลายชายฝั่งและพืชพรรณธรรมชาติ

การใช้ข้อมูลสัมผัสระยะไกลติดตามการก่อตัวของพายุ สามารถติดตามได้ตลอดเวลา และเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการพยากรณ์อากาศและป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ จากรูป 7.6 การเกิดพายุเฮอริเคนอนิด้า เหนือบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวเม็กซิโก ภาพจากดาวเทียม GOES วันที่ 1 กันยายน 1977 เห็นวงกลมเล็ก ๆ ตรงกลางมวลเมฆ บริเวณนี้คือตาพายุ ในขณะที่ถ่ายภาพอยู่ห่างจากเมืองบราวสวิลล์ในเท็กซัส 170 กิโลเมตร รูป 7.7 ภาพถ่ายจากยานอวกาศพอลโล 7 บริเวณที่เกิดพายุเฮอริเคนแกลดิส วันที่ 17 ตุลาคม 1968 ที่ความสูงประมาณ 180 กิโลเมตร จากภาพเห็นกลุ่มเมฆฝนคิวโมโลนิมบัสหมุนเป็นรูปกังหันรอบ ๆ ตาพายุ และเห็นกลุ่มเมฆแผ่นเซอโรสเตรตัส ในบริเวณยอดเมฆ



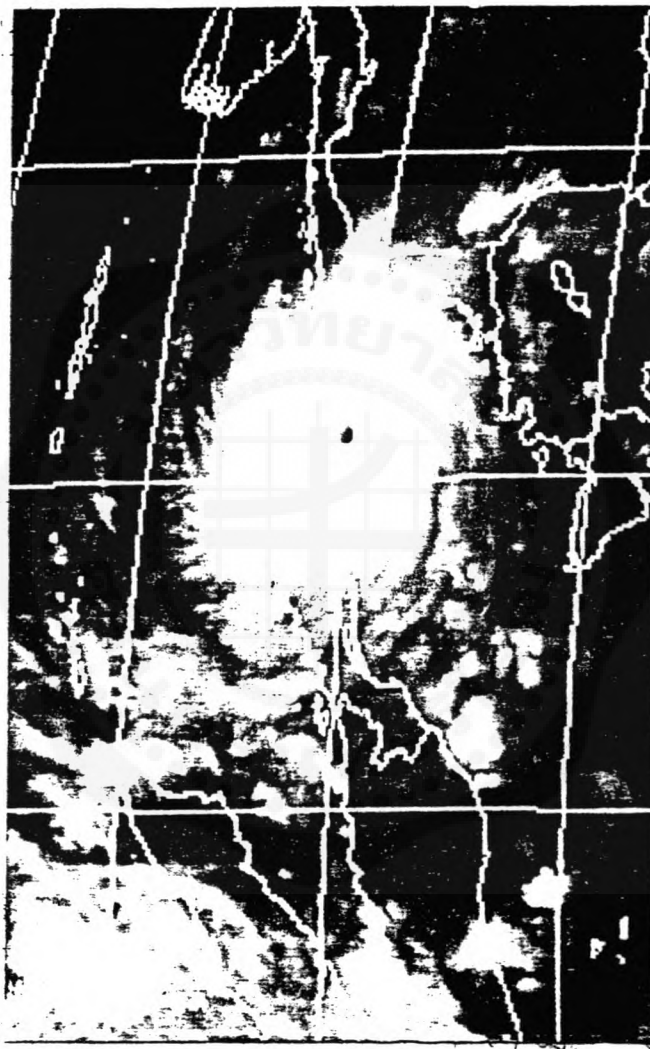
รูป 7.6 พายุเฮอริเคนอนิต้า (Amita) จากดาวเทียม GOES
(ที่มา Strahler & Strahler, 1992 : 136)



รูป 7.7 พายุเฮอริเคนแกลดีส (Gladys) จากอพอลโล 7
(ที่มา Strahler & Strahler, 1992 : 132)



รูปที่ 7.8 พายุไซโคลน ก่อตัวทางชายฝั่งตะวันออกของมหาสมุทร
แปซิฟิก ภาพจากโนอา 2
(ที่มา Strahler & Strahler, 1992 : 135)



รูป 7.9 พายุไต้ฝุ่นเกย์ วันที่ 4 พฤศจิกายน เวลา 6.32
ภาพจากดาวเทียมจีเอ็มเอส (GMS)
(ที่มา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2534 : 265)

รูป 7.8 การเกิดพายุไซโคลนในระยะก่อตัวเต็มที่ บริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิก จะเห็นเมฆขาวหมุนแบบกังหัน แนวปะทะอากาศเย็นทำให้เกิดแถบของเมฆหนาเป็นแนวโค้งลง ไปทางใต้และตะวันตกเฉียงใต้ของศูนย์กลางไซโคลน

จะเห็นได้ว่า ข้อมูลสัมผัสระยะไกลมีประโยชน์อย่างยิ่งที่ใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติใน ส่วนที่เกิดขึ้นในบรรยากาศทำให้สามารถคาดหมาย พยากรณ์ สภาพอากาศ ตลอดจนใช้ข้อมูลที่ได้ในการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้

การใช้ภาพถ่ายเทียมติดตามการเคลื่อนที่ของพายุเกย์ (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2534 : 262) เริ่มก่อตัวตั้งแต่วันที่ 31 ตุลาคม 2532 เป็นหย่อมความกดอากาศต่ำกำลังแรง และเปลี่ยนเป็นพายุดีเปรสชันเมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน และได้เคลื่อนตัวช้า ๆ เข้าหาชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทย วันที่ 2 พฤศจิกายน ได้ทวีกำลังแรงเป็นพายุโซนร้อนเกย์ มีระยะห่างจากเกาะสมุย 120 กิโลเมตร ได้เคลื่อนตัวต่อไปทางตะวันตกเฉียงเหนือเข้าสู่ฝั่ง ในวันที่ 4 พฤศจิกายน ได้เคลื่อนตัวขึ้นฝั่งที่ อ. ปะทิว จังหวัดชุมพร ทำความเสียหายอย่างมาก ทั้งบ้านเรือนสิ่งก่อสร้างและพืชผลทางเกษตรต่าง ๆ และพายุอ่อนกำลังลงเคลื่อนที่ผ่านประเทศไทยไปยังพม่าผ่านอันดามัน ประมาณค่าเสียหายที่เกิดขึ้นถึง 11,687 ล้านบาท

7.4 การใช้ที่ดิน

ความรู้ในเรื่องการใช้ที่ดิน และสิ่งปกคลุมดินนับว่ามีประโยชน์สำหรับงานด้านการบริหารการวางแผนและการสำรวจที่เกี่ยวกับพื้นที่ นอกจากการจำแนกการใช้ที่ดินเช่น เป็นพื้นที่การเกษตรพื้นที่ป่าไม้ การจำแนกสิ่งปกคลุมดิน (Landcover) ก็เป็นลักษณะหนึ่งที่ปรากฏในข้อมูลภาพถ่ายเทียม เช่น พื้นที่ทุ่งหญ้า ธารน้ำแข็ง บ้านเรือน พื้นที่แห้งเดียวกันมี 2 ลักษณะควบคู่กันของการใช้ที่ดินที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของมนุษย์และมีสิ่งปกคลุมดิน เช่น การใช้ที่ดินเป็นพื้นที่ป่าไม้ สิ่งปกคลุมดินก็คือ ชนิดต้นไม้เป็นต้น

หน่วยงานสำรวจทางธรณีวิทยาของสหรัฐอเมริกา (USGS) ได้สร้างระบบของการจำแนกการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลสัมผัสระยะไกล ได้แบ่งชนิดของการใช้ที่ดินออกเป็น 9 ประเภทหลักดังนี้ พื้นที่เมืองหรือมีสิ่งก่อสร้าง พื้นที่เกษตรกรรม ทุ่งหญ้า ป่าไม้ แหล่งน้ำ ที่ลุ่ม เขตแห้งแล้ง ทุนดรา พื้นที่หิมะและน้ำแข็ง และได้แยกรายละเอียดของแต่ละประเภทโดยมีรายละเอียดดังตาราง 7.1 แต่ละประเภทหลักระดับที่ 1 อาจจำแนกออกเป็นระดับ 2 และ 1 ประเภทในระดับ 2 แบ่งย่อยออกเป็นประเภทย่อยๆ ได้อีกเช่น ในตาราง

การใช้ข้อมูลสัมผัสระยะไกล เพื่อช่วยในการศึกษาเรื่องการใช้ที่ดินแต่ละระดับมีหลักเกณฑ์ของการใช้ข้อมูลดังนี้ ระดับที่ 1 ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลที่ให้รายละเอียดกว้าง ๆ เช่น ข้อมูลแลนด์แซทเอ็มเอสเอส เพื่อให้จำแนกประเภทหลัก ๆ ของการใช้ที่ดิน ระดับที่ 2 ใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วนเล็กข้อมูลแลนด์แซทเอ็มเอสเอส ข้อมูลดาวเทียมสปอต ซึ่งจะให้รายละเอียดข้อมูลเพิ่มขึ้น ระดับที่ 3 ใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วนปานกลาง และระดับที่ 4 ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาตราส่วนใหญ่ ซึ่งขั้นตอนนี้ต้องการรายละเอียดมากที่สุด

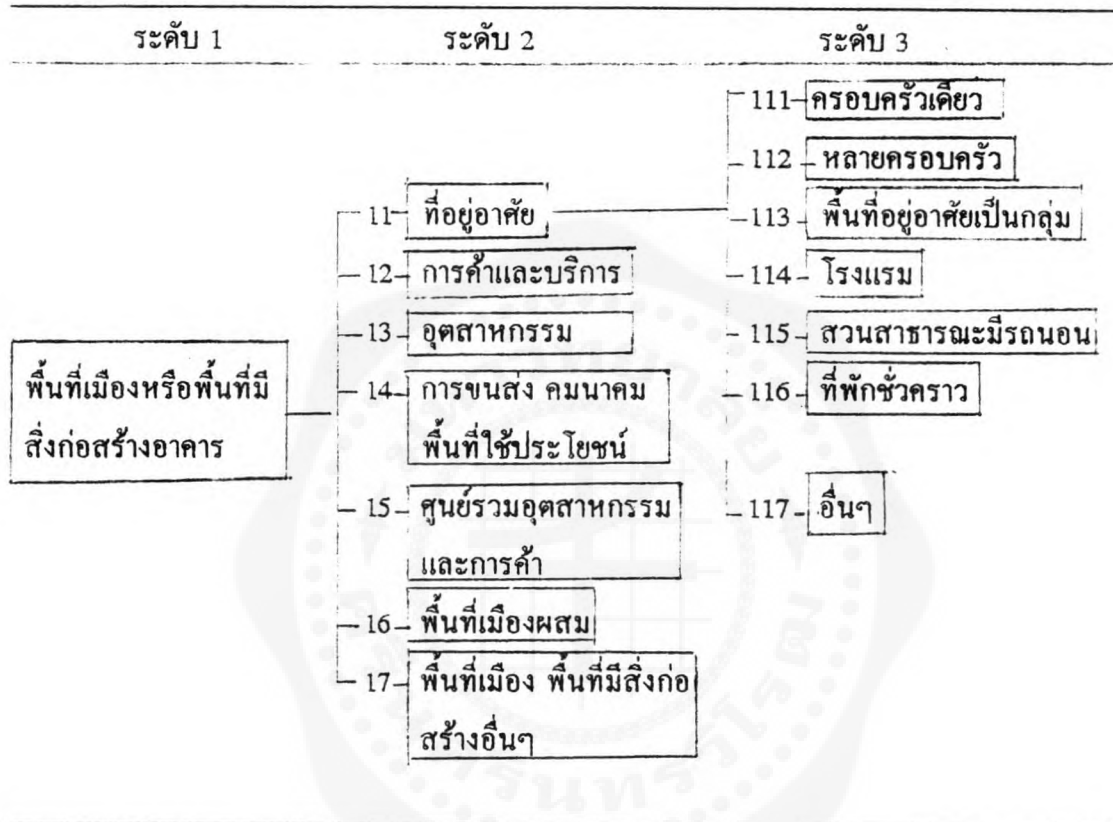
ตารางที่ 7.1 ระบบการจำแนกการใช้ที่ดิน/สิ่งคลุมดินของ USGS

ระดับ 1	ระดับ 2
1. พื้นที่เมืองหรือพื้นที่มีสิ่งก่อสร้างอาคาร	11 ที่อยู่อาศัย
	12 การค้าและบริการ
	13 อุตสาหกรรม
	14 การขนส่ง/คมนาคม
	15 ศูนย์รวมอุตสาหกรรมและการค้า
	16 พื้นที่แบบผสมเมืองหรือพื้นที่มีสิ่งก่อสร้าง
2. พื้นที่เกษตรกรรม	21 พื้นที่เพาะปลูกและทุ่งหญ้า
	22 สวนผลไม้
	23 พื้นที่เลี้ยงสัตว์
	24 พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ
3. พื้นที่ทุ่งหญ้า	31 ทุ่งหญ้าที่มีพืชประเภทต้นหญ้า
	32 ทุ่งหญ้าที่มีไม้พุ่ม
	33 ทุ่งหญ้าผสม
4. พื้นที่ป่าไม้	41 พื้นที่ป่าไม้ผลัดใบ
	42 พื้นที่ป่าไม้เขียวตลอดปี
	43 พื้นที่ป่าผสม
5. น้ำ	51 ลำน้ำและคลอง
	52 ทะเลสาบ
	53 อ่างเก็บน้ำ
	54 อ่าวและปากแม่น้ำ
6. ที่ลุ่ม	61 ที่ลุ่มมีป่าไม้
	62 ที่ลุ่มไม่มีป่าไม้

ระดับ 1	ระดับ 2
7. พื้นที่แห้งแล้ง	71 พื้นที่ราบดินเค็ม
	72 ชายหาด
	73 พื้นที่ปกคลุมด้วยทรายแต่ไม่ใช่ชายหาด
	74 หินโผล่
	75 เหมือง บ่อหินและกรวด
	76 พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง
	77 พื้นที่แห้งแล้ง
8. ทุนครา	81 ทุนคราประกอบด้วยไม้พุ่ม
	82 ทุนคราประกอบด้วยต้นหญ้า
	83 ทุนคราไม่มีพืช
	85 ทุนคราผสม
9. พื้นที่มีหิมะหรือน้ำแข็ง	91 ทุ่งหิมะ
	92 ธารน้ำแข็ง

USGS : United States Geological Survey

ตารางที่ 7.2 ตัวอย่างการจำแนกการใช้ที่ดิน/ สิ่งคลุมดินระดับ 1-3



Bruce Foster (1991 : 215 - 220) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวเมืองซินีเยออสเตรเลียระหว่างปี พ.ศ. 2529 - 2532 โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมสปอตและแลนด์แซททีเอ็ม ซึ่งมีรายละเอียดภาพ 20 และ 30 เมตร ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลดาวเทียมสามารถใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของการใช้ที่ดินได้ ข้อมูลที่ทันสมัยสามารถนำไปใช้ในการวางแผนการใช้ที่ดินระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ เช่น เส้นทางคมนาคมหลัก ที่ตั้งโรงเรียน โรงพยาบาล ศูนย์ธุรกิจการค้า

การคำนวณงานเริ่มจากการตั้งตำแหน่งพิกัด (register) ข้อมูลหลายวันที่เก็บข้อมูลลงในแผนที่ตารางกริด และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ ใช้ NDVI (Normalized Vegetation Index) กับข้อมูลแลนด์แซททีเอ็มช่วงคลื่นสีแดงแบนด์ 3 และ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้แบนด์ 4 และทำการคำนวณโดยใช้สูตร

$$NDVI = \frac{\text{แบนด์ 4} - \text{แบนด์ 3}}{\text{แบนด์ 4} + \text{แบนด์ 3}}$$

การคำนวณหา NDVI เพื่อใช้วัดปริมาณของพืชในภาพ ซึ่งมีค่าพิสัยตั้งแต่ -1 ถึง +1 ซึ่ง +1 หมายถึงพืชปกคลุมหนาแน่นและสมบูรณ์ -1 หมายถึงพื้นที่ไม่มีพืช โดยการเปรียบเทียบ NDVI ของแต่ละวันที่ของแต่ละจุดภาพ ก็อาจสามารถทราบได้ว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในการปลูกพืชอย่างไร ผลจากการวิเคราะห์แบ่งพื้นที่ออกได้ 10 ประเภท เช่น พื้นที่การค้าไม่เปลี่ยนแปลง พื้นที่เปลี่ยนแปลงการปลูกพืชตามฤดูกาล พื้นที่ปลูกพืชลดลงเนื่องจากมีบ้านเรือนเพิ่มขึ้น เป็นต้น

7.5 พืชพรรณธรรมชาติ

พืชพรรณธรรมชาติเป็นทรัพยากรธรรมชาติอีกชนิดหนึ่งซึ่งถูกมนุษย์ทำลายจนมีจำนวนลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงติดตามมาทั้งในเรื่องสภาพอากาศ ความแห้งแล้งของพื้นที่ การขาดแคลนน้ำ เป็นต้น เทคโนโลยีสมัยระยะไกลสามารถใช้ในการตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณธรรมชาติอย่างได้ผล

การใช้ข้อมูลสมัยระยะไกลเพื่อสำรวจพื้นที่ป่าไม้ในประเทศไทยกรมป่าไม้ได้ใช้ข้อมูลแลนด์สแทท 5 ระบบที่เฝ้าสำรวจเนื้อที่ป่าไม้ได้ข้อสรุปเนื้อที่ป่าไม้ลดลงตลอดมาตั้งแต่ พ.ศ. 2504 - 2536 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 7.3 พื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทย พ.ศ. 2504 - 2536

พ.ศ.	พื้นที่ป่าไม้	
	ไร่	เปอร์เซ็นต์
2504	171,017,812.5	53.33
2516	138,578,125	43.21
2519	124,010,625	38.67
2521	109,515,000	34.15
2525	97,875,000	30.52
2528	94,291,349	29.40
2531	89,877,182	28.03
2532	89,635,625	27.95
2534	85,436,284	26.64
2536	83,450,623	26.02

(ที่มา รงชัย จารุพัฒน์, 2537 : 119)

Murai และ Honda (1991 : 3 - 8) ได้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม โนอาเอวีเอชอาร์อาร์ในการทำแผนที่พืชพรรณธรรมชาติของโลก เพื่อศึกษาพื้นที่ป่าไม้ของโลกยังคงมีเหลืออยู่เท่าไร ข้อมูลถูกนำมาทำดัชนีพืชพรรณธรรมชาติของโลก (Global Vegetation Index -GVI) ทำให้ได้ภาพโมเสคเป็นรายสัปดาห์ของภาพที่มีดัชนีพืชพรรณธรรมชาติ (Normalized Vegetation Index - NVI) โดยมีขนาดของจุดภาพ 20 กิโลเมตร ผลจากการศึกษาแบ่งพืชพรรณธรรมชาติออกเป็น 8 ชนิด ได้แก่ ป่าร้อนชื้น ป่าดงดิบ ป่าไม้ผลัดใบ ทุนดรา ทุ่งหญ้า (รวมทั้งพื้นที่เกษตรกรรม) เขตกึ่งทะเลทราย ป่าสนและทะเลทราย โดยมีพื้นที่ป่าไม้ ได้แก่ ป่าร้อนชื้น ป่าดงดิบ ป่าไม้ผลัดใบ พื้นที่ทุ่งหญ้าได้แก่ทุนดราและทุ่งหญ้า พื้นที่ทะเลทราย ได้แก่ เขตกึ่งทะเลทราย ทะเลทรายในเขตที่สูงและทะเลทราย รวมพื้นที่ 3 ประเภทใหญ่ ๆ ประมาณ 1 ใน 3 ของพื้นที่ส่วนที่เป็นแผ่นดินของโลก

ชนิดของป่าไม้และดัชนีพืชพรรณธรรมชาติ

- | | |
|------------------------|--|
| 1. ป่าร้อนชื้น | เอ็นวีไอคงที่และมีค่าสูงตลอดปี |
| 2. ป่าดงดิบ | เอ็นวีไอคงที่และมีค่าสูงในฤดูร้อนแต่มีค่าต่ำในฤดูหนาว |
| 3. ป่าไม้ผลัดใบ | เอ็นวีไอมีค่าสูงในฤดูร้อนแต่มีค่าต่ำในฤดูหนาว |
| 4. ทุนดรา | เอ็นวีไอสูงเฉพาะฤดูร้อนและน้อยกว่า 0.1 ในฤดูหนาว |
| 5. ทุ่งหญ้า | เอ็นวีไอปานกลาง พิสัยระหว่าง 0.1 และ 0.25 มียอดสูงหนึ่งหรือสองครั้ง |
| 6. พืชพรรณกึ่งทะเลทราย | เอ็นวีไอเกือบเป็นศูนย์ยกเว้นมี 2 - 3 เดือนในฤดูร้อนมีเล็กน้อย |
| 7. ทะเลทรายในเขตภูเขา | ทะเลทรายอยู่ในระดับสูงมากกว่า 3,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลมีเอ็นวีไอเป็นศูนย์ |
| 8. ทะเลทราย | เอ็นวีไอเป็นศูนย์ตลอดปี |

ตารางที่ 7.4 การกระจายพืชพรรณธรรมชาติของโลก

ประเภท	เอเชียและ ยุโรป	โอเชียเนีย	อเมริกา เหนือ	อเมริกาใต้	แอฟริกา	รวม (%)
ป่าร้อนชื้น	2.30	4.10	1.98	30.87	1.88	5.94
ป่าดงดิบ (Evergreen)	4.19	10.03	6.15	31.75	11.85	10.12
ป่าไม้ผลัดใบ	21.08	4.52	25.01	9.99	14.97	17.99
ทุนดรา	5.17	0.00	2.78	0.00	0.00	2.85
ทุ่งหญ้า	36.49	21.76	40.45	15.20	25.04	31.05
กึ่งทะเลทราย	12.94	50.36	17.10	6.49	11.21	14.86
ป่าภูเขาป่าสน (Alpine Forest)	2.23	0.00	0.03	1.61	0.01	1.13
ทะเลทราย	15.06	9.23	6.50	4.08	35.03	16.00
รวม (%)	100	100	100	100	100	100

(ที่มา Murai & Honda, 1991 :8)

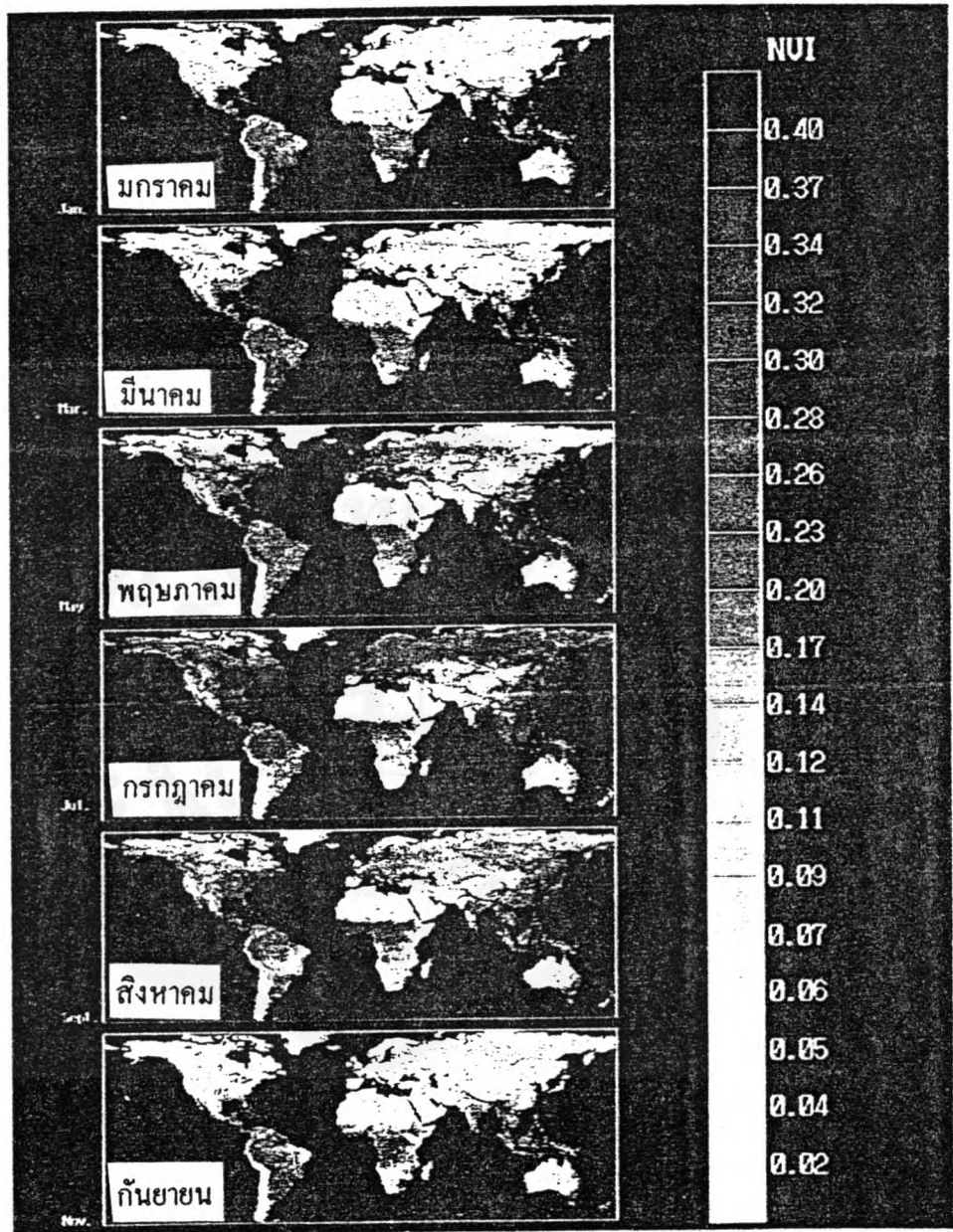
Tateishi และ kajiwara (1991 : 9 - 14) ได้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม โนอา เอวีเอซอร์อาร์ ช่วงคลื่น 1 และ 2 ในการศึกษาพืชพรรณธรรมชาติของโลกโดยใช้ข้อมูล จีวีไอ (Global Vegetation Index - GVI) ในปี พ.ศ. 2530 ได้พบว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้รายเดือนที่เป็นภาพสีผสมให้ข้อมูลมากมายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณธรรมชาติตามฤดูกาลของโลก และแบ่งชนิดสิ่งปกคลุมโลก (Land cover) ออกเป็น 13 ชนิด โดยได้ใช้การวิเคราะห์แบบ cluster analysis ช่วงคลื่นเห็นได้และอินฟราเรดใกล้ให้ข้อมูลการตรวจสอบสิ่งปกคลุมดินมากที่สุด แต่ข้อมูลช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนและไมโครเวฟให้ข้อมูลไม่คิดว่ามีเมฆหรือพื้นที่ที่ไม่ได้รับแสงอาทิตย์

ในปัจจุบัน โนอา เอวีเอชอาร์อาร์ เป็นเพียงอุปกรณ์สำรวจเพียงชนิดเดียวที่ให้ข้อมูลเป็นที่น่าพอใจในการตรวจสอบสิ่งปกคลุมโลก มีรายละเอียดภาพต่ำ มุมมองของกรถ่ายภาพแต่ละครั้ง (IFOV) ของเอวีเอชอาร์อาร์ 1.1 x 1.1 กิโลเมตร ในแนวคิงและ 6.9 x 2.4 กิโลเมตรในแนวเฉียง ข้อมูลที่ได้จากขนาดของจุดภาพในมุมมองของการถ่ายภาพแต่ละครั้งเรียกว่า ข้อมูล LAC (Local Area Coverage) ข้อมูล LAC ไม่ได้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกเนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องการส่งผ่านข้อมูลของดาวเทียมโนอา ดังนั้นข้อมูล GAC (Global Area Coverage) จึงผลิตขึ้นมาโดยเลือกข้อมูล LAC จำนวน 4 จุดภาพแรกจากข้อมูล LAC 5 x 3 จุดภาพเพื่อที่จะลดขนาดข้อมูล ข้อมูล GAC 1 จุดภาพจึงมีขนาด 1.1 x 4.4 กิโลเมตร สำหรับข้อมูลในแนวคิงทั้งที่มีค่าจุดภาพที่กำหนดไว้ 4 x 4 กิโลเมตร

วิธีการวิเคราะห์ใช้ข้อมูล GAC ทำแผนที่และมีการคำนวณหาเอ็นไอวี (Normalized Vegetation Index) จากข้อมูลแบนด์ 1 และแบนด์ 2 โดยใช้สูตร

$$NVI = \frac{ch2 - ch1}{ch2 + ch1}$$

Dymond และคณะ (Dymond et.al,1991 : 112 - 113) ได้ใช้ข้อมูลดาวเทียมสปอตสำรวจพื้นที่ราบหุบเขาในบริเวณเกาะใต้ของประเทศนิวซีแลนด์ เพื่อทำแผนที่แสดง บริเวณที่มีพืชพรรณธรรมชาติปกคลุม พื้นที่ดังกล่าวเป็นที่ราบมีทุ่งหญ้าปกคลุม จากการสำรวจพื้นที่ 60 x 60 ตารางเมตร และข้อมูลจากสปอตทำการคำนวณหาค่าดัชนีพืชพรรณธรรมชาติ (NVI) ซึ่งได้จากการนำข้อมูลช่วงคลื่นอินฟราเรดลบด้วย ข้อมูลช่วงคลื่นสีแดง และหารด้วยผลบวกของช่วงคลื่นทั้งสอง ผลจากการศึกษาพบว่าพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการเก็บความชื้นได้ดี ส่วนพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมน้อยกว่า 60 เปอร์เซ็นต์มีเนื้อดินตื้นและมีหินผสม ในอนาคตข้อมูลนี้อาจนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการวางแผนปรับปรุงดิน



รูป 7.10 แสดงเอ็นวีไอรายเดือนในปี 1987 สีเข้มมีค่าเอ็นวีไอสูง

(ที่มา Shunji Murai, 1991 : 10)

ป่าชายเลนนับเป็นพืชพรรณธรรมชาติที่สำคัญอย่างหนึ่งของไทย ระบบนิเวศวิทยาเฉพาะที่ใช้เป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งทะเลได้ตามธรรมชาติ นับว่าเป็นประโยชน์ในด้านเป็นแหล่งผลิตทรัพยากรด้านการประมงที่สำคัญ การตัดทำลายป่าไม้ชายเลน ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ป่าชายเลนเพื่อการเลี้ยงกุ้งของเกษตรกรทำให้เกิดปัญหาแก่ระบบนิเวศวิทยาชายฝั่งทะเล ประมาณว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของป่าชายเลนในประเทศไทย ได้ถูกทำลายโดยเปลี่ยนไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ในช่วง 25 ปีที่ผ่านมา สุวิทย์ วิบูลย์เศรษฐ์ และ Shunji Murai (1991 : 279 - 281) ได้ศึกษาปัญหาของแหล่งทรัพยากรป่าชายเลนโดยใช้ข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซทเอ็มเอสเอสในพื้นที่ 100 ตารางกิโลเมตร ที่อำเภอขลุง จันทบุรี ภาพวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2518 และข้อมูลแลนด์แซทเอ็มเอสเอสพื้นที่บริเวณเดียวกัน เก็บข้อมูลวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2531 จากการเปรียบเทียบข้อมูลภาพปี พ.ศ. 2518 กับภาพปี พ.ศ. 2531 พบว่ามีป่าชายเลนถูกทำลายถึง 60 เปอร์เซ็นต์

ป่าชายเลนซุนดาแบนส์ซึ่งเป็นป่าชายเลนที่ใหญ่ที่สุดในโลก มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 6000 ตารางกิโลเมตร อยู่ทางฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของบังคลาเทศ Chaudhury (1991 : 286 - 291) ได้ศึกษาสภาพนิเวศวิทยาของป่าชายเลนแห่งนี้โดยใช้ข้อมูลแลนด์แซทและสปอต การทำแผนที่ชนิดของป่าชายเลนโดยใช้ข้อมูลแลนด์แซทเอ็มเอสเอส ของวันที่ 3 มกราคม พ.ศ. 2520 และข้อมูลแลนด์แซทวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2527 จากการเปรียบเทียบข้อมูลทั้งสองพบว่าระหว่างปี พ.ศ. 2520 ถึง 2527 ป่าชายเลนมีปริมาณพืชลดลง การจำแนกป่าชายเลนได้ใช้ข้อมูลสปอตวันที่ 4 มกราคม พ.ศ. 2530 การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปในการวิเคราะห์ข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกล Atlas version 3.0 จากการจำแนกโดยวิธี Unsupervised แบ่งพื้นที่ป่าชายเลนออกเป็น 7 ประเภท โดยแบ่งเป็นพื้นที่ชนิดพันธุ์ 6 ชนิด และพื้นที่แหล่งน้ำ และได้พบว่าป่าชายเลนชนิด *Heritiera* มีปริมาณลดลงในขณะที่พันธุ์ *Excoecaria* มีปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป การค้นพบดังกล่าวนี้มีความสำคัญเนื่องจากเป็นข้อมูลที่ได้จากสปอตซึ่งมีรายละเอียดภาพสูงทำให้สามารถตรวจสอบสภาพนิเวศวิทยาของป่าชายเลนที่มีการเปลี่ยนแปลงได้

7.6 สมุทรศาสตร์

การใช้ข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลในการศึกษาค้นคว้าทางด้านสมุทรศาสตร์สามารถทำได้โดยการให้ข้อมูลเรื่อง อุณหภูมิของน้ำ ระดับน้ำและสีของน้ำ จากการขยายขอบเขตชายฝั่ง ทะเลออกไป 200 ไมล์ ทำให้ท้องทะเลกลายเป็นแหล่งทรัพยากรที่สำคัญที่แต่ละประเทศให้

ความสนใจมากขึ้น ข้อมูลในเรื่องของการเป็นแหล่งผลิตอาหาร สภาพชีววิทยา ปริมาณของ แพลงคันทันพืช (phytoplankton) เป็นอันดับแรกของลูกโซ่อาหารในท้องทะเล แพลงคันทันสัตว์ (zooplankton) ที่เป็นอาหารของปลาขนาดเล็ก ตลอดจนสัตว์น้ำขนาดใหญ่ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของมนุษย์

การตรวจสอบอุณหภูมิพื้นผิวทะเลสามารถทำได้โดยใช้ข้อมูลสัมผักระยะไกล อุณหภูมิของท้องทะเลให้ข้อมูลไม่เพียงการเคลื่อนไหวของน้ำในทะเลมหาสมุทรเท่านั้น แต่ยังให้ข้อมูลด้านการประมงด้วย ดาวเทียมจีเอ็มเอส (Geostationary Meteorological Satellite-GMS) เป็นตัวอย่างดาวเทียมที่ให้ข้อมูลด้านการประมงให้แก่เรือประมงของญี่ปุ่น

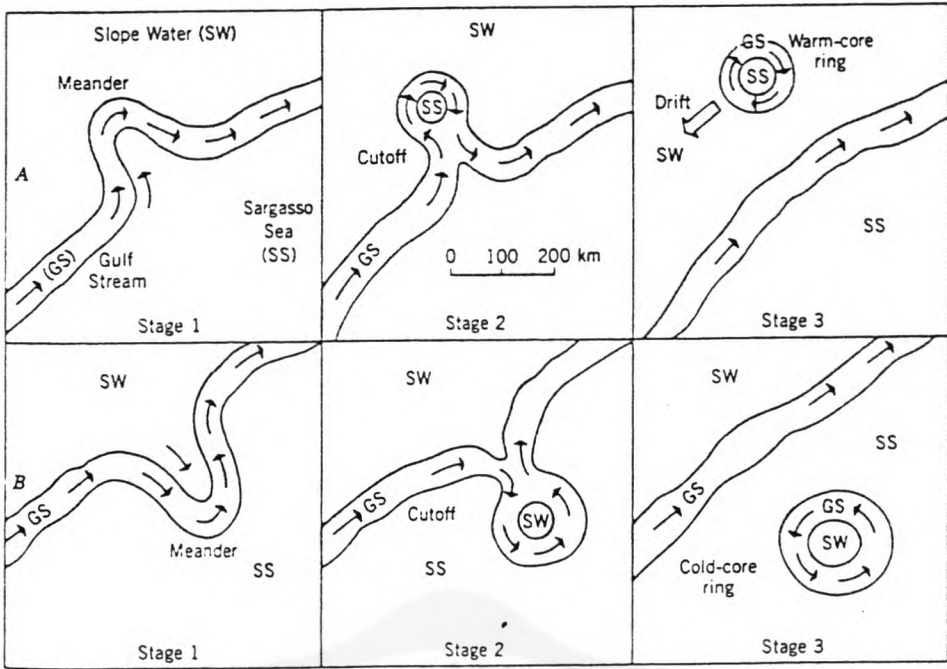
สีของน้ำทะเลเป็นข้อมูลที่ทำให้ทราบในเรื่องแหล่งทรัพยากรในทะเล และมหาสมุทรได้สีของน้ำทะเลขึ้นอยู่กับสสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำ ส่วนใหญ่เป็นแพลงคันทันพืชและแร่ธาตุต่างๆ แพลงคันทันพืชเป็นสาหร่ายขนาดเล็กมากไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีรงควัตถุชื่อ คลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสารสีเขียวทำหน้าที่ช่วยสังเคราะห์แสง มีคุณสมบัติดูดซับพลังงานในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน เมื่อเกิดวอดอร์บลูม (water-bloom) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่สาหร่ายเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากมายในระยะเวลาอันสั้นๆ จนทำให้น้ำทะเลเปลี่ยนสีจากน้ำเงินเป็นสีเขียวซึ่งมีสาเหตุมาจากการลดลงของแสงสีน้ำเงินในช่วงคลื่นเห็นได้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้สามารถตรวจวัดได้โดยใช้อุปกรณ์สำรวจข้อมูลทางด้านสมุทรศาสตร์ และใช้เป็นดัชนีในการพิจารณาความสมบูรณ์ของทรัพยากรทางทะเล

Dupouy (1991 : 313 - 318) ได้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมนิมบัสซีแซทซีเอสตรวจวัดสีของน้ำทะเล ดาวเทียมนิมบัสโคจรในระดับสูง 800 กิโลเมตรและครบรอบทุก 90 นาที มีวงโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ในแต่ละวันผ่านตำแหน่งเดิมในเวลาเดิมอุปกรณ์สำรวจสามารถครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งหมดของโลกสามารถกวาดภาพได้พื้นที่ประมาณ 1 ล้านตารางกิโลเมตร ภายใน 2 นาที รายละเอียดภาพ 825 x 825 เมตร สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การเกิดวอดอร์บลูมหรือการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายขนาดเล็กอย่างรวดเร็วในระยะเวลาสั้นๆ

การนำข้อมูลภาพมาทำภาพโมเสคเพื่อทำแผนที่โลกแสดงแหล่งผลิตในทะเลและมหาสมุทร ทำให้สามารถเห็นความแตกต่างของพื้นที่แหล่งผลิตอาหารได้ เมื่อนำภาพดาวเทียมซีแซทซีเอสจำนวน 40 รูป บริเวณเกาะกาลิโดเนีย โดยเลือกภาพที่ไม่มีเมฆปกคลุมระหว่างปี พ.ศ. 2521 - 2528 ทำการแก้ไขความผิดพลาดทางเรขาคณิตและผลกระทบจากบรรยากาศแล้วทำการวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์ พบว่าในแต่ละฤดูสาหร่ายขนาดเล็กซึ่งอยู่บนผิวน้ำของน้ำทะเลในระดับ 20 เมตรซึ่งตรวจวัดได้โดยระบบซีแซทซีเอสมีรูปแบบที่ซับซ้อน เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนของกระแสน้ำและสภาวะทางด้านอุณหภูมิตามวิทยา

การใช้ข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลติดตามการเคลื่อนไหวของกระแสน้ำในมหาสมุทร ดังรูป 7.12 เป็นภาพสี่ผสมที่จางจากความเทียมโนอา โดยกำหนดให้กระแสน้ำเย็นใช้สีเขียว สีน้ำเงิน สีม่วง กระแสน้ำอุ่น ใช้สีเหลือง สีแดง สีส้ม จากรูปกระแสน้ำอุ่นกัลฟ์สตรีมไหลเลียบชายฝั่งสหรัฐอเมริกาขึ้นไปทางเหนือพบกับกระแสน้ำเย็นซึ่งมาจากขั้วโลกไหลเลียบชายฝั่งมา กระแสน้ำทั้งสองที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันอุปกรณ์สำรวจข้อมูลของดาวเทียมโนอา ตรวจสอบวัดความแตกต่างได้และได้พบว่า กระแสน้ำทั้งสองเคลื่อนที่เข้าหาและผสมผสานกัน ตามทฤษฎีในรูป 7.11 ทำให้เกิดศูนย์กลางกระแสน้ำอุ่น (Warm core ring - WR) หมุนเวียนเข้าไปในกระแสน้ำเย็น และเกิดศูนย์กลางของกระแสน้ำเย็น (cold core ring - CR) หมุนเวียนเข้าไปอยู่ในกระแสน้ำอุ่น ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนจากภาพถ่ายดาวเทียมโนอา รูป 7.12





รูป 7.11 แสดงการปะทะกันของกระแสน้ำอุ่นกัลฟสตรีม (GS) และกระแสน้ำเย็น ทำให้เกิดการหมุนเวียนการผสมผสาน ทำให้เกิดศูนย์กลางของกระแสน้ำอุ่นและศูนย์กลางกระแสน้ำเย็น



รูป 7.12 ภาพจากดาวเทียม โนอา ภาพสีผสมเท็จ แสดงศูนย์กลางกระแสน้ำอุ่น(WR) ล้อมรอบด้วยกระแสน้ำเย็น และศูนย์กลางกระแสน้ำเย็น(CR) ล้อมรอบด้วยกระแสน้ำอุ่น (ที่มา Strahler & Steahler, 1992 : 89 - 90)

การศึกษารูปแบบการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยในอ่าวบ้านคอนช่วงการเกิด และหลังการเกิดอุทกภัยภาคใต้ ปี พ.ศ. 2531 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2534 : 161 - 163) ได้ใช้ทปข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซททีเอ็ม วันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531 ซึ่งเป็น ช่วงเวลาระหว่างเกิดอุทกภัย และวันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2532 หลังเกิดเหตุการณ์นั้น ประมาณ 2 เดือน และใช้ข้อมูลประกอบได้แก่ ภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลธรณีวิทยา แผนที่ ภูมิประเทศ

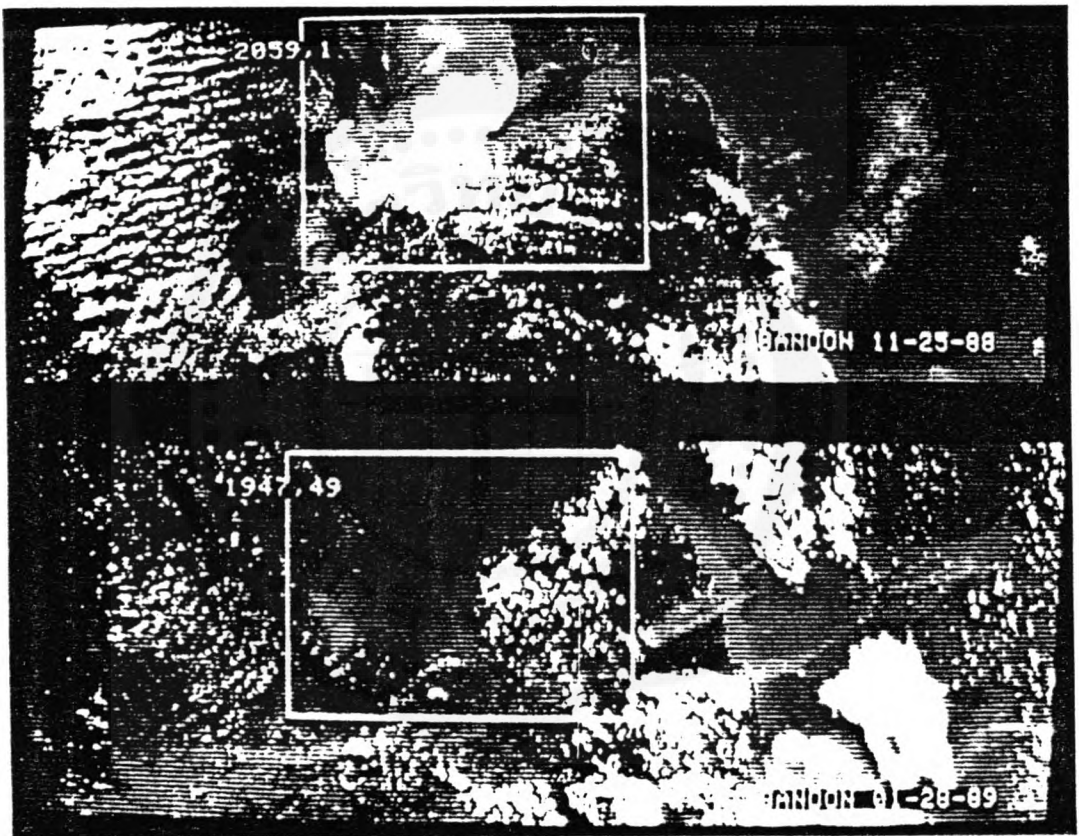
บริเวณพื้นที่ศึกษา อ่าวบ้านคอนตั้งอยู่ประมาณ ละติจูด $9^{\circ} 11' - 9^{\circ} 24'$ เหนือและ ลองจิจูด $99^{\circ} 13' - 99^{\circ} 41'$ ตะวันออก อยู่ระหว่างอำเภอไชยาและอำเภอกอนสักจังหวัด สุราษฎร์ธานี ทางฝั่งตะวันออกของภาคใต้ ชายฝั่งทะเลของอ่าวบ้านคอนยาว 102 กิโลเมตร เป็นบริเวณที่มีป่าชายเลนและพื้นที่ดินคอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำที่ใหญ่ที่สุดของชายฝั่งทะเล ด้านนี้

ผลจากการศึกษา ในระหว่างอุทกภัย การแพร่กระจายของตะกอนเป็นไปตามอิทธิพล ของน้ำที่ระบายมาจากแผ่นดิน จากแม่น้ำและน้ำที่ไหลท่วมทันออกมาตามแนวชายฝั่ง มากกว่า อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงหรือกระแสน้ำชายฝั่ง มวลน้ำที่มีความปั่นป่วนสูงและมีอิทธิพลมากที่สุด คือมวลน้ำจากปากแม่น้ำตาปี บริเวณอ่าวบ้านคอนเป็นซอกทะเล (estuary) ชนิดหนึ่ง อิทธิ พลของน้ำขึ้นน้ำลงจึงมีการเปลี่ยนแปลงไปตามการไหลของแม่น้ำจากลุ่มน้ำตาปี พุมดวง ตะกอนจากแม่น้ำนี้เองที่มาทับถมกันเป็นดินปากแม่น้ำแบบเพี้ยนก

7.7 ภัยธรรมชาติ

ภัยธรรมชาติเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่อาจเกิดขึ้นได้ทุกขณะสาเหตุอาจมาจากสภาพ ธรรมชาติ เช่น แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด พายุหรืออาจเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งทำลาย ความสมดุลย์ของธรรมชาติ เช่นการทำลายป่า ทำให้เกิดน้ำท่วมหรือน้ำหลากอย่างรุนแรงจากที่ สูงลงสู่ที่ราบต่ำเชิงเขาเกิดแผ่นดินถล่มตามมาเช่นที่เกิดขึ้นในภาคใต้ ของประเทศไทย เป็นต้น

อุปกรณ์สำรวจข้อมูลสัมผัสระยะไกล สามารถตรวจสอบภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว โลกได้ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อมนุษย์ช่วยให้มีโอกาสรีบล่วงหน้าและป้องกันการสูญ เสียชีวิตได้ เช่น กรณีการเคลื่อนตัวของพายุในท้องทะเลและเคลื่อนที่ขึ้นสู่ฝั่ง



รูป 7.13. เปรียบเทียบการแพร่กระจายของตะกอนในอ่าวบ้านคอน ระหว่าง
การเกิดอุทกภัยวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531 และหลัง
เกิดเหตุการณ์วันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2532
(ที่มา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2534 : 160)

1. แผ่นดินถล่ม

Rosenqvist และคณะ (1991 : 274 - 278) ได้ศึกษาเรื่องแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นในภาคใต้ของประเทศไทย ข้อมูลที่ใช้ได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายสโตร์ระบบหลายช่วงคลื่น บันทึกหลังจากเกิดเหตุการณ์แล้ว 2 เดือน ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2532 เหตุเกิดในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2531 สามารถเห็นพื้นที่แผ่นดินถล่มได้จากภาพถ่ายเทียม ข้อมูลแลนด์แซททีเอ็ม บันทึกข้อมูลภาพพื้นที่ดังกล่าวก่อนเกิดเหตุการณ์ 8 เดือน ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2531 เพื่อใช้จำแนกพืชพรรณธรรมชาติในบริเวณพื้นที่ศึกษา แบ่งพืชพรรณออกเป็น 4 ชนิด ข้อมูลแลนด์แซทเอ็มเอสเอส บันทึกข้อมูลในเดือนเมษายน พ.ศ. 2527 4 ปีก่อน เกิดเหตุการณ์เพื่อใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลแลนด์แซททีเอ็มเพื่อประมาณการเปลี่ยนแปลงในเรื่องการใช้ที่ดินในช่วงเวลาการบันทึกภาพที่แตกต่างกัน แบบจำลองภูมิประเทศหรือดีทีเอ็ม(digital terrain model)สร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศเพื่อคำนวณค่าการลาดเอียงของพื้นที่ดังกล่าว และใช้แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1 : 250,000 แสดงชนิดของหิน

ตารางที่ 7.5 พื้นที่จำแนกตามชนิดของพืชพรรณธรรมชาติที่ปกคลุม และพื้นที่แผ่นดินถล่ม

ชนิดของพืชพรรณธรรมชาติ	พื้นที่ทั้งหมด		แผ่นดินถล่ม		ความถี่ (%)
	เฮกตาร์	%	เฮกตาร์	%	
พื้นที่ว่าง	1610	4	190	7	11.8
พืชพรรณเบาบาง	3460	8	385	15	11.1
ยางพารา	10850	25	770	29	7.1
ป่าร้อนชื้น	21200	48	960	36	4.5
พื้นที่มีเมฆปกคลุม	6520	15	340	13	5.2

(ที่มา Rosenqvist et. al, 1991 : 276)



ก



รูป 7.14 พื้นที่ได้รับความเสียหายจากแผ่นดินถล่ม

(ที่มา Rosenqvist et. al, 1991 : 275)

จากรูป 7.14 ก. พื้นที่แผ่นดินถล่มในเขตภูเขา รูป ข. ผลจากแผ่นดินถล่มทำให้มีการเคลื่อนตัวของชั้นดินทำให้เห็นรากของต้นยางพาราซึ่งมีรากค้ำและไม่สามารถยึดดินได้พื้นที่จึงพังทลายได้ง่าย รูป ค. ภาพถ่ายจากดาวเทียมสปอต บริเวณที่แผ่นดินถล่มเห็นเป็นสีขาว บริเวณสีเข้มแสดงพืชพรรณธรรมชาติ

ผลจากการศึกษาสรุปได้ว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างพืชปกคลุมและแผ่นดินถล่ม เมื่อใดที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากสภาพป่าไม้ พื้นที่ที่มีการเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม แต่ถ้าต้นไม้เจริญเติบโตอัตราการเสี่ยงก็ลดลง ในพื้นที่ดังกล่าวมีการปลูกยางพาราซึ่งถือว่าเป็นพืชที่ไม่เหมาะสำหรับปลูกในพื้นที่ลาดชัน เนื่องจากมีรากค้ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับป่าไม้ที่มีอยู่เดิมทำให้ยางพาราไม่สามารถใช้รากยึดดินเพื่อป้องกันการพังทลายได้ นอกจากนี้การเกิดแผ่นดินถล่มยังมีสาเหตุจากฝนตกหนัก และสภาพทางธรณีวิทยาเป็นหินแกรนิตซึ่งมีการสลายตัวอยู่ก่อนแล้ว (Unconsolidated)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2534 : 290) ได้ใช้ข้อมูลสัมพัทธ์ระยะไกลในการค้นหาพื้นที่บริเวณที่มีแผ่นดินถล่ม อันเนื่องมาจากการเกิดอุทกภัย เนื่องจากมีฝนตกหนักติดต่อกันที่ตำบลกะทูน อำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2531 พื้นที่ศึกษาอยู่ในตำบล กะทูน มีพื้นที่ 18.5 ตารางกิโลเมตร อยู่ในแผนที่ภูมิประเทศ 1 : 50,000 ระวัง 4956

สภาพภูมิประเทศและธรณีวิทยาประกอบด้วยทิวเขานครศรีธรรมราช ทอดตัวในแนวเหนือใต้ ผ่านจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราชลงไปถึงจังหวัดสตูล ยอดสูงสุดคือ เขาหลวง 1,835 เมตรจากระดับน้ำทะเล

สาเหตุที่ทำให้แผ่นดินถล่ม (สถิตย์ วัชรกิตติ 2534 : 7 - 10) สืบเนื่องมาจากปัจจัยสำคัญ 3 ประการ คือ ประการแรกการเกิดฝนตกชุกหนักติดต่อกันอย่างผิดปกติ ประการที่สองพื้นที่ตามไหล่เขาที่เกิดแผ่นดินถล่มส่วนใหญ่จะใช้ปลูกยางพาราซึ่งมีรากไม่ยึดดิน ประการที่สาม เกิดจากสภาพหิน โครงสร้างของหินและสภาพพื้นที่ ดินเกิดจากการสลายตัวของหินแกรนิต บริเวณที่เกิดแผ่นดินถล่มมีความลาดชัน 40 - 70 เปอร์เซ็นต์

2. ไฟป่า

ภัยธรรมชาติอีกชนิดหนึ่งที่ทำลายพืชพรรณธรรมชาติและระบบนิเวศวิทยาป่าไม้ได้กว้างขวางและรุนแรงก็คือไฟป่าในช่วงฤดูแล้ง ปลายฤดูหนาวและฤดูร้อนในประเทศไทยมักเกิดไฟป่า และพบเกิดในป่าประเภทผลัดใบ เช่น ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง ป่าไผ่ จากการศึกษาไฟป่า บริเวณห้วยขาแข้งด้วยภาพดาวเทียม (สุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์และคณะ, 2537 : 1) พบว่าป่าเต็งรังบริเวณทางเข้าเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง มีการผลัดใบประมาณเดือนมกราคม หลังจากนั้นมักเกิดไฟป่าผิวดิน ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย

เนื่องจากใบไม้แห้งและหญ้าแห้งมีปริมาณจำกัด ในปัจจุบันการเพิ่มของประชากรที่อาศัยอยู่โดยรอบทำให้เกิดไฟป่าที่ไม่ได้เกิดขึ้นเอง ตามธรรมชาติ ไฟไหม้ลุกลามเข้าไปในพื้นที่ป่าผลัดใบอื่น ๆ ที่เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ โดยเฉพาะป่าที่มีไม้ไผ่ขึ้นปะปนทำให้เกิดไฟเรือนยอด ทำให้เกิดผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อระบบนิเวศวิทยา

การใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมติดตามไฟป่าทำได้รวดเร็วมีประสิทธิภาพและความถูกต้องสูง วิธีการศึกษาใช้วิธีการวิเคราะห์ภาพสีผสมแบนด์ 4,5,7 (น้ำเงิน เขียว แดง) และคำนวณพื้นที่ไฟไหม้ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

ผลจากการศึกษา ภาพสีผสมแบนด์ 3,5,4 (น้ำเงิน เขียว แดง) และแบนด์ 4,5,7 (น้ำเงิน เขียว แดง) ให้รายละเอียดของเปลวไฟที่กำลังลุกไหม้อย่างชัดเจน และทิศทางที่ไฟกำลังลามไปยังป่าผลัดใบ พื้นที่ที่เกิดไฟป่าเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 6 มีนาคม และ 7 เมษายน พ.ศ. 2537 ครอบคลุมพื้นที่ 15,625 ไร่, 308,750 ไร่ และ 390,625 ไร่ตามลำดับ รวมพื้นที่เกิดไฟป่าทั้งหมด 715,000 ไร่ หรือ 41 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง ภาพจากแลนด์แซททีเอ็ม ช่วงคลื่นอินฟราเรดแบนด์ 4,5,7 ให้รายละเอียดไฟไหม้ป่าอย่างชัดเจน

คำถามท้ายบทที่ 7

1. จงกล่าวถึงการใช้ประโยชน์ด้านธรณีสารสนเทศจากข้อมูลสัมผัสระยะไกล
2. การสะท้อนพลังงานมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอะไรบ้าง
3. คุณสมบัติของภาพดาวเทียมแบนด์ใดที่เหมาะสมในการศึกษาธรณีวิทยา เพราะเหตุใด
4. ความเข้มที่ใช้ตรวจสอบสภาพอากาศที่สำคัญมีอะไรบ้าง มีการใช้งานอย่างไร จงยกตัวอย่างประกอบ
5. จงกล่าวถึงหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนกการใช้ที่ดิน
6. การศึกษาสภาพพืชพรรณธรรมชาติใช้ข้อมูลจากดาวเทียมใดบ้าง มีวิธีการวิเคราะห์หาค่า NVI อย่างไร
7. จงกล่าวถึงประโยชน์ของข้อมูลสัมผัสระยะไกลทางด้านสมุทรศาสตร์
8. ข้อมูลสัมผัสระยะไกลใช้ในการศึกษาเรื่องภัยธรรมชาติได้อย่างไรบ้าง จงอธิบาย

บทที่ 8

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบการวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ที่กำลังเป็นที่นิยมแพร่หลายในปัจจุบัน คือ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ เป็นข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ และปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนพื้นที่นั้น ๆ ไม่ว่าจะเป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ เช่น สภาพธรรมชาติโดยทั่วไป และปรากฏการณ์ที่มนุษย์สร้างขึ้นเมื่อนำมารวมกับเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่มีความก้าวหน้ามากขึ้น ในปัจจุบันทำให้มีการสร้างระบบการวิเคราะห์ข้อมูลขึ้น ปัจจุบันมีซอฟต์แวร์หลายชนิดที่ผลิตขึ้นอยู่กับโปรแกรมซอฟต์แวร์ของแต่ละบริษัทผลิตขึ้นมาซึ่งมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามหลักการเบื้องต้นโดยทั่วไปก็คือการนำข้อมูลที่มีอยู่มากมายมาเก็บรวบรวมไว้ในคอมพิวเตอร์ให้เป็นหมวดหมู่ เมื่อต้องการแก้ไขก็สามารถทำได้โดยง่าย เมื่อทำการวิจัยเรื่องใดก็เรียกข้อมูลเฉพาะที่ต้องการใช้ออกมา อย่างไรก็ตามขั้นตอนที่ยังยากอยู่ในระยะของการสร้างฐานข้อมูล ข้อมูลสัมพันธ์ระยะไกลสามารถนำมาเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ในระบบนี้ได้

ความหมายของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System -GIS) หมายถึงระบบที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการทำงานประกอบไปด้วยการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ การแสดงผล โดยทั่วไประบบนี้ประกอบด้วย ฐานข้อมูลทางด้านพื้นที่และฐานข้อมูลด้านรายละเอียดของพื้นที่นั้น

ฐานข้อมูลพื้นที่ (spatial database) อธิบายเกี่ยวกับตำแหน่งและรูปร่างของสภาพภูมิศาสตร์ที่ปรากฏบนพื้นผิวโลก ลักษณะข้อมูลเป็นเชิงปริมาณ เช่น จุด (point) เส้น (line) พื้นที่ (polygon)

ฐานข้อมูลลักษณะพื้นที่ (attribute database) เป็นข้อมูลคำอธิบายลักษณะและคุณสมบัติของข้อมูลพื้นที่

วิธีการบันทึกข้อมูลพื้นที่ (Spatial data)

การบันทึกข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มี 2 วิธีที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ การบันทึกข้อมูลแบบตาราง (raster) และการบันทึกข้อมูลที่กำหนดตำแหน่งโดยพิกัด (vector)

1. ข้อมูลตาราง (raster data) เป็นการเก็บข้อมูลลงในตารางเล็ก ๆ ที่เกิดจากเส้นคู่ในแนวนอนที่เรียกว่า แถว (row) และเส้นคู่ในแนวตั้งที่เรียกว่าคอลัมน์ (column) ทำให้เกิดเป็นพื้นที่ตารางขนาดเล็กที่สามารถบรรจุข้อมูลลงในตารางเหล่านี้ ข้อมูลเป็นตัวเลขแทนค่าที่กำหนดขึ้น ลักษณะข้อมูลสัมพันธ์ระยะไกลเป็นข้อมูลแบบตาราง ตัวเลขในตารางก็คือ ค่าจุดภาพหรือค่าสะท้อนพลังงาน

2. ข้อมูลกำหนดตำแหน่งโดยพิกัด (vector data) การบันทึกข้อมูลลักษณะนี้พื้นที่บนพื้นผิวโลกถูกบันทึกลงในแผนที่ 2 มิติ คือ มีการกำหนดแกนในแนวนอน (X) แกนในแนวตั้ง (Y) และกำหนดจุด, เส้น หรือพื้นที่ลงไปบนแผนที่ 2 มิติ ทำให้สามารถบันทึกข้อมูลโดยรู้ตำแหน่งที่แน่นอนได้โดยใช้จุดพิกัด (Coordinate)

วิธีการบันทึกข้อมูลลักษณะพื้นที่

ข้อมูลลักษณะพื้นที่เป็นคำอธิบายสภาพภูมิศาสตร์นั้น ๆ เช่น พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่การใช้ที่ดิน ธรณีวิทยา ซึ่งแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดปลีกย่อยเฉพาะของพื้นที่นั้น ๆ เช่น พื้นที่ป่าไม้มีรายละเอียดในเรื่อง ขนาดของพื้นที่และชนิดของพันธุ์ไม้ เป็นต้น การเก็บข้อมูลอยู่ในรูปของตัวเลข ตัวอักษร และโดยทั่วไปมักอยู่ในลักษณะตารางข้อมูล

นอกจากนี้การเชื่อมโยงข้อมูลทั้ง 2 ประเภท ก็นับว่ามีความสำคัญในขั้นตอนการดำเนินงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

การวิเคราะห์และซ้อนข้อมูล

ในขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์โดยนำข้อมูลแต่ละประเภทมาซ้อนข้อมูลตามจุดประสงค์ของการดำเนินงาน ข้อมูลอาจประกอบด้วย ชั้นข้อมูลลำน้ำ ชั้นข้อมูลเขตการปกครอง, ชั้นข้อมูลการใช้ที่ดิน, ชั้นข้อมูลธรณีวิทยา, ชั้นข้อมูลพื้นที่ป่าไม้ แต่ละชั้น (layer) อาจมีการบันทึกข้อมูลแยกตามชนิดข้อมูลที่บันทึก เช่น ข้อมูลที่บันทึกเป็นจุด ได้แก่ ตำแหน่งของจุดพิกัด ข้อมูลที่บันทึกเป็นเส้น ได้แก่ เส้นทางลำน้ำ ข้อมูลที่บันทึกเป็นพื้นที่ ได้แก่ การใช้ที่ดิน ชั้นข้อมูลเหล่านี้แยกกันบันทึกในแต่ละชั้นแต่เมื่อวิเคราะห์จะนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาซ้อนข้อมูลกันเมื่อทราบลักษณะพื้นที่และองค์ประกอบด้านต่าง ๆ ของข้อมูลแล้วผู้ดำเนินงานก็จะใช้ข้อมูลที่ได้ช่วยในการตัดสินใจในการดำเนินงานหรือแก้ปัญหา

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จึงเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่ช่วยในเรื่องการตัดสินใจในการแก้ปัญหาต่าง ๆ โดยเฉพาะปัญหาที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ภาคผนวก



ภาคผนวก

การฝึกภาคปฏิบัติ

หลักสูตรวิชา ภูมิ 413 สัมผัสระยะไกลจากภาพ มีเวลาบรรยาย 2 ชั่วโมงและเวลาปฏิบัติ 3 ชั่วโมงรวม 5 ชั่วโมง ใน 1 สัปดาห์ สำหรับภาคปฏิบัตินี้ ผู้เขียนได้กำหนดระยะเวลาสำหรับปฏิบัติการ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 การฝึกในห้องปฏิบัติการ

ส่วนที่ 2 การศึกษาดูงานนอกสถานที่ 1 ครั้ง

ส่วนที่ 3 การฝึกงานภาคสนาม 1 ครั้ง

ส่วนที่ 1 การฝึกในห้องปฏิบัติการ ได้แก่การฝึกแปลภาพถ่ายทางอากาศซึ่งเป็นข้อมูลสัมผัสระยะไกลอย่างหนึ่ง เพื่อสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการแปลภาพถ่ายดาวเทียม การฝึกทำแผนที่ธรณีสัณฐานจากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศและข้อมูลอ้างอิง และการฝึกแปลภาพถ่ายดาวเทียมที่ละแบนด์เพื่อให้สามารถเห็นความแตกต่างของคุณสมบัติการเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ในแต่ละแบนด์ รวมทั้งการฝึกแปลภาพถ่ายดาวเทียมสีผสม

ส่วนที่ 2 การศึกษาดูงานนอกสถานที่ ได้แก่การดูงานตามหน่วยงานที่ปฏิบัติงานด้านนี้ โดยเฉพาะ เช่น สถานีรับสัญญาณดาวเทียมลาดกระบัง และหน่วยงานที่ทำงานด้านวิเคราะห์ข้อมูลสัมผัสระยะไกลต่าง ๆ

ส่วนที่ 3 การฝึกงานภาคสนาม ภายหลังจากการฝึกแปลภาพในห้องปฏิบัติการแล้ว มีการฝึกงานภาคสนาม เพื่อพิสูจน์ทราบ ในพื้นที่จริง(ground truth) การฝึกงานในส่วนนี้จะช่วยเพิ่มประสบการณ์ในการอ่านข้อมูลสัมผัสระยะไกล และนำมาใช้กับสถานการณ์ที่เป็นจริงในห้องถัดไปได้

ปฏิบัติการชุดที่ 1

การแปลภาพถ่ายทางอากาศ 1.

เอกสารประกอบ บทที่ 3 ภาพถ่ายทางอากาศกับการศึกษาลักษณะภูมิประเทศ

อุปกรณ์

1. ภาพสเตริโอแกรม (stereogram)
2. กล้องมองภาพสามมิติแบบเลนส์หรือแบบกระเป๋า (lens หรือ Pocket stereoscope)
3. ข้อมูลอ้างอิงตำราด้านธรณีฐานและธรณีวิทยา

เวลา

2 ชั่วโมง

รายละเอียด

ปฏิบัติการชุดนี้เป็นการฝึกแปลภาพถ่ายทางอากาศเพื่อให้เห็นความแตกต่างของภาพถ่ายในภูมิประเทศที่แตกต่างกัน โดยใช้ภาพถ่ายคู่ (stereogram) ของลักษณะภูมิประเทศต่อไปนี้

1. ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดจากการกระทำของลม
2. ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดจากการกระทำของน้ำใต้ดิน
3. ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดจากกระบวนการน้ำไหล
4. ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดจากการกระทำของธารน้ำแข็ง
5. ภูเขาไฟ
6. การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแรงโน้มถ่วงของโลก (mass wasting)
7. โครงสร้างของหิน

การฝึกแปลภาพครั้งที่ 1 นี้เพื่อให้บัณฑิตมีความสังเกตและสามารถแยกความแตกต่างที่ปรากฏในภาพ

ปฏิบัติการชุดที่ 2

การแปลภาพถ่ายทางอากาศ (2)

เอกสารประกอบ บทที่ 3 ภาพถ่ายทางอากาศกับการศึกษาลักษณะภูมิประเทศ

- อุปกรณ์
1. ภาพถ่ายทางอากาศแสดงสภาพภูมิประเทศต่าง ๆ ในประเทศไทย
 2. กล้องมองภาพสามมิติแบบกระจกเงา (mirror stereoscope)
 3. แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1: 50,000, 1: 250,000
 4. แผ่นพลาสติกใส (polyester film)
 5. ปากกาเขียนแผ่นใส 1 ชุด
 6. ข้อมูลอ้างอิง ตำราด้านธรณีสงฐานและธรณีวิทยา

เวลา 3 ชั่วโมง

รายละเอียด ปฏิบัติการแปลภาพถ่ายทางอากาศชุดที่ 2 นี้ เพื่อให้ใช้กล้องสเตอริโอ สโคป แปลภาพภูมิประเทศโดยเน้นพื้นที่ในประเทศไทยจำนวน 3 บริเวณใช้ภาพจำนวน 6 ภาพ (2/1 บริเวณ) โดยมีภาพซ้อน 60 % แล้วแปลภาพลงในแผ่นพลาสติกใสกำหนดสัญลักษณ์ (legend) และเครื่องหมายต่าง ๆ และทำแผนที่ 2 ชนิด คือ

1. แผนที่ภูมิประเทศ กำหนดขอบเขตพื้นที่ภูมิประเทศแต่ละประเภท
2. แผนที่การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน กำหนดขอบเขตบริเวณที่มีความแตกต่าง

ในการทำแผนที่ 2 ชนิด ใช้สัญลักษณ์และหมายเลขกำกับแยกประเภท และมีคำอธิบายสัญลักษณ์ประกอบในแผนที่

ปฏิบัติการชุดที่ 3

การทำแผนที่ธรณีสัณฐานจากแผนที่ภูมิประเทศ

เอกสารประกอบ บทที่ 3 ภาพถ่ายทางอากาศกับการศึกษาลักษณะภูมิประเทศ

อุปกรณ์ 1. แผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Map) มาตรฐานส่วน 1 : 50,000 และ
1 : 250,000

2. กระดาษเขียนแบบ (Tracing paper) ใช้ทำแผนที่

3. โต๊ะแสง

4. ปากกาเขียนแบบ หรือปากกาเมจิกเส้นเล็ก

5. สีไม้, ดินสอ

6. ข้อมูลอ้างอิง เช่น แผนที่ธรณีวิทยา ข้อมูลอื่น ๆ

เวลา

4 ชั่วโมง

รายละเอียด

การทำแผนที่ธรณีสัณฐานจากแผนที่ภูมิประเทศ เพื่อให้มีความคุ้นเคยในการอ่านแผนที่ภูมิประเทศ และแปลความหมายออกมาเป็นแผนที่แสดงสภาพภูมิประเทศต่าง ๆ โดยใช้เส้นชั้นความสูงในการกำหนดชนิดของพื้นที่ที่เลือกแผนที่ที่แสดงภูมิประเทศที่แตกต่างกัน และแสดงภูมิประเทศชัดเจน โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

ที่ราบ (plain) ภูมิประเทศที่เป็นที่ราบ อาจราบเรียบหรือเป็นลูกคลื่นก็ได้ ปรากฏความสูงต่ำของพื้นที่ในบริเวณนั้นแตกต่างกันไม่เกิน 150 เมตร

ที่ราบสูง (plateau) ที่ราบบนที่สูงกว่าระดับผิวโลกโดยรอบ ตั้งแต่ 300 เมตรขึ้นไป

เนินเขา (hill) พื้นที่มีระดับสูงชันจากบริเวณรอบ ๆ มีความต่างระดับของพื้นที่ประมาณตั้งแต่ 150 เมตรถึง 600 เมตร

ภูเขา (mountain) พื้นที่มีระดับสูงชันจากบริเวณรอบ ๆ ตั้งแต่ 600 เมตรขึ้นไป นอกจากนี้ต้องแสดงเส้นทางลำน้ำด้วย

การปฏิบัติการชุดที่ 4

การแปลภาพถ่ายดาวเทียมทีละแบนด์

เอกสารประกอบ	บทที่ 3 ภาพถ่ายทางอากาศกับการศึกษาลักษณะภูมิประเทศ บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา
อุปกรณ์	<ol style="list-style-type: none"> 1. ภาพถ่ายดาวเทียมแลนแซททีเอ็ม แบนด์ 1 - 7 (ยกเว้นแบนด์ 6) กำหนดพื้นที่ 2 บริเวณ ใช้ภาพ 2 ชุด 2. แว่นขยาย 3. แผนที่ภูมิประเทศ 1: 50,000 หรือ 1: 250,000 4. แผ่นพลาสติกใส (polyester film) 5. ปากกาเขียนแผ่นใส 1 ชุด 6. โต๊ะแสง 7. ข้อมูลอ้างอิงเช่น แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่ดิน แผนที่การใช้ที่ดิน ข้อมูลอื่นๆ
เวลา	4 ชั่วโมง
รายละเอียด	<p>ฝึกการแปลภาพแลนด์แซททีเอ็ม ขาว - ดำ โดยใช้ คุณสมบัติของภาพแต่ละแบนด์ประกอบในการแปลภาพ โดยกำหนดพื้นที่บริเวณพื้นดิน 1 บริเวณและพื้นที่ติดชายทะเล 1 บริเวณ เพื่อดูความแตกต่างในการเก็บข้อมูลของแต่ละแบนด์ในพื้นที่พื้นดินและแหล่งน้ำ หลังจากนั้นทำแผนที่ 2 ชนิดคือ</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. แผนที่ภูมิประเทศ จำแนกตามสภาพภูมิประเทศกำหนดขอบเขตและหมายเลขกำกับลักษณะภูมิประเทศแต่ละชนิด 2. แผนที่การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (land use & land over) กำหนดประเภทและขอบเขตแล้วใช้หมายเลขกำกับและมีคำอธิบายสัญลักษณ์ (legend) ประกอบในระวางของแผนที่ทั้ง 2 ชนิด

ปฏิบัติการชุดที่ 5

การแปลสภาพดาวเทียมแลนด์แซทส์ผสมครั้งที่ 1

เอกสารประกอบ	บทที่ 3 ภาพถ่ายทางอากาศกับการศึกษาลักษณะภูมิประเทศ บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา
อุปกรณ์	<ol style="list-style-type: none"> 1. ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทส์ที่เอ็มสี่ผสมเต็มภาพ (Full scene) แบบด์ 2. แวนชยาย 3. แผนที่ภูมิประเทศ 1 : 250,000 4. แผ่นพลาสติกใส (polyester film) 5. ปากกาเขียนแผ่นใส 1 ชุด 6. โต๊ะแสง 7. ข้อมูลอ้างอิงเช่น แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่ดิน แผนที่การใช้ที่ดินข้อมูลอื่นๆ
เวลา	4 ชั่วโมง
รายละเอียด	<p>การฝึกแปลภาพเต็มภาพ 185 x 185 ตารางกิโลเมตร เพื่อสร้างแผนที่ 2 ชนิด คือ</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. แผนที่ภูมิประเทศ (landform) จำแนกตามสภาพ ภูมิประเทศใช้หมายเลขกำกับลักษณะภูมิประเทศแต่ละชนิด กำหนดสัญลักษณ์ 2. แผนที่การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (land use & land cover) จำแนกตามลักษณะการใช้ที่ดินการเกษตร อุตสาหกรรมเมือง ป่าไม้ เป็นต้น กำหนดสัญลักษณ์โดยใช้หมายเลขกำกับและมีคำอธิบายสัญลักษณ์ (legend) ประกอบระวางของแผนที่ทั้ง 2 ชนิด

ปฏิบัติการชุดที่ 6

การแปลภาพดาวเทียมแลนด์แซทสิฟสมครั้งที่ 2

เอกสารประกอบ	บทที่ 3 ภาพถ่ายทางอากาศกับการศึกษาลักษณะภูมิประเทศ บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา
อุปกรณ์	<ol style="list-style-type: none"> 1. ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทสิฟสม (Geocoded) 2. เว้นขยาย 3. แผนที่ภูมิประเทศ 1 : 50,000 4. แผ่นพลาสติกใส (polyester film) 5. ปากกาเขียนแผ่นใส 1 ชุด 6. โต๊ะแสง 7. ข้อมูลอ้างอิง เช่น แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่ดิน แผนที่การใช้ที่ดิน ข้อมูลอื่น ๆ
เวลา	4 ชั่วโมง
รายละเอียด	<p>การฝึกแปลภาพมาตราส่วนใหญ่ ครอบคลุมพื้นที่เท่ากับแผนที่ 1:50,000 จำนวน 1 ไร่วางเหมาะสำหรับการศึกษารายละเอียดของข้อมูลเพื่อสร้างแผนที่ 2 ชนิด</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. แผนที่ภูมิประเทศ (Landform) จำแนกตามสภาพภูมิประเทศ กำหนดสัญลักษณ์และใช้หมายเลขกำกับภูมิประเทศแต่ละชนิด 2. แผนที่การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (Land use & Landcover) จำแนกการใช้ที่ดินโดยกำหนดประเภทใช้หมายเลขกำกับ และมีคำอธิบายสัญลักษณ์ (legend) ประกอบในการระวางของแผนที่ทั้ง 2 ชนิด

ปฏิบัติการครั้งที่ 7

การฝึกสำรวจภาคสนาม

เอกสารประกอบ	<p>บทที่ 3 ภาพถ่ายทางอากาศกับการศึกษาลักษณะภูมิประเทศ</p> <p>บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา</p> <p>บทที่ 7 หัวข้อ 7.2 การใช้ประโยชน์ข้อมูลสัมผัสระยะไกลด้านธรณีวิทยา</p>
อุปกรณ์	<ol style="list-style-type: none"> 1. ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทที่เอ็มสี่ผสมเต็มภาพ (Full Scene) 2. อุปกรณ์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก จีพีเอส(Global Positioning System-GPS) 3. เข็มทิศ 4. แว่นขยาย 5. แผนที่ภูมิประเทศ 1 : 250,000 6. แผ่นพลาสติกใส (Polyester film) 7. ปากกาเขียนแผ่นใส 1 ชุด 8. โต๊ะแสง 9. เอกสารอ้างอิง เช่น แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่ดิน แผนที่การใช้ที่ดิน ข้อมูลอื่น ๆ
เวลา	<ol style="list-style-type: none"> 1. 4 ชั่วโมงสำหรับทำงานในห้องปฏิบัติการและ 2. 1-2 วัน สำหรับการออกภาคสนาม
รายละเอียด	<p>ปฏิบัติการชุดนี้ทำงานแปลภาพในห้องปฏิบัติการและออกภาคสนามในพื้นที่จริง (ground truth) เพื่อตรวจสอบการแปลภาพ และนำ ข้อมูลภาคสนามมาปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้อง และสร้างแผนที่ 2 ชนิดคือ</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. แผนที่ภูมิประเทศ (Land form) โดยการจำแนกภูมิประเทศใช้ข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยาประกอบและกำหนดขอบเขตภูมิประเทศแต่ละชนิด ใช้หมายเลขกำกับ และให้รายละเอียด (legend) 2. แผนที่การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (Land use & Land cover) จำแนกการใช้ที่ดินโดยกำหนดประเภทและขอบเขตใช้หมายเลขกำกับ แสดงรายละเอียด (Legend)

แบบฟอร์มการสำรวจภาคสนาม

ข้อมูลตำแหน่งสำรวจ

จุดสำรวจที่.....วัน/เดือน/ปี/เวลา.....
 พิกัดภูมิศาสตร์.....พิกัดกริดยูทีเอ็ม.....
 หมู่บ้าน.....ตำบล.....อำเภอ.....
 จังหวัด.....ถนน.....กม.ที่.....
 จุดสำรวจอยู่ใกล้ถนน.....ระยะห่างจากถนน (เมตร).....

สภาพภูมิศาสตร์

ลักษณะภูมิประเทศ.....
 อุณหภูมิ.....ปริมาณน้ำฝน.....
 ทิศทางลมและสภาพอากาศโดยทั่วไป.....
 ระดับความสูง.....
 ระบบระบายน้ำ.....
 พืชพรรณธรรมชาติ.....

การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

ลักษณะการใช้ที่ดิน ณ. จุดสำรวจ.....
 สิ่งปกคลุมดิน ณ. จุดสำรวจ.....
 สภาพการใช้ที่ดินโดยทั่วไปบริเวณนี้.....

รายละเอียดจากภาพถ่ายเทียม

ระดับสี, ความหายบละเอียดของเนื้อหา, รูปแบบที่ปรากฏในภาพ

- 1.....พื้นที่จริงคือ.....
- 2.....พื้นที่จริงคือ.....
- 3.....พื้นที่จริงคือ.....
- 4.....พื้นที่จริงคือ.....
- 5.....พื้นที่จริงคือ.....

บรรณานุกรม

- การประชุมสัมมนา " ดร.เสถียรย์ วัชรกิตติอนุสรณ์" ครั้งที่ 2 การประยุกต์ใช้ข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ล้อม ขอนแก่น 17-19 กรกฎาคม, 2534.
- คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ,สำนักงาน. จากห้วงอวกาศสู่พื้นแผ่นดินไทย, เมษายน,2534.
- คาราศรี คาวเรือง, ดร. รีมอทเซนซิงพื้นฐาน. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) สิงหาคม, 2533
- ธงชัย จารุพัฒน์ การใช้ภาพจากดาวเทียม LANDSAT-5 (TM) สํารวจตรวจสอบสภาพความเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ในประเทศไทย. กรมป่าไม้. สิงหาคม, 2537 หน้า 119-122
- ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคลการ, ดร. และคณะ. รายงานเทคนิค การจำแนกตะกอนดินแขวนลอยในอ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อนภูมิพล โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์. ธันวาคม, 2522.
- สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ และรัศมี สุวรรณวีระกำจร. "การศึกษาไฟฟ้าบริเวณห้วยขาแข้งด้วยภาพจากดาวเทียม" ใน จุลสารดาวเทียม. ฉบับที่ 48 เมษายน, 2537 หน้า 1-10.
- สำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม, กอง.การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม. กันยายน, 2536
- Barret, E.C. and L.F. Curtis. 1982. Introduction to Environmental Remote Sensing. 2 nd ed London, Chapman and Hall.
- Bhattacharya, A. and P.R. Reddy. Hydrogeomorphological Mapping for Ground Water Prospect in India Using IRS Imagery. Applications of Remote Sensing In Asia and Ocenia, ToKyo. P 361-368.

- Campbell, K. Vincent. 1978. Air Photo Interpretation Laboratory Manual. Bangkok, Asian Institute of Technology
- Chaudhuri, M.U. 1991. Monitoring The Ecological Status of the Mangrove Forests of Sunderbans in Bangladesh. Application of Remote Sensing in Asia and Oceania Tokyo .P. 286-291.
- Ching, N.P. 1991. Mapping from SPOT Stereo Imagery. Application of Remote Sensing in Asia and Oceania. Tokyo. p. 197-200.
- CNES. SPOT Satellite-based remote sensing System. Toulous, France.
- Dupouy, C. 1991. Satellite Ocean Color Use for Oceanic Resources. Applications of Remote Sensing in Asia and Oceania. Tokyo. P.313-318
- Dymond, J.R. and others. 1991. Mapping Percentage Vegetation Cover using Spot Satellite Data. Applications of Remote Sensing in Asia and Oceania. Tokyo. P. 112-113
- Eiumnoh, Apisit. 1988. Evolution of Chao Phraya Landforms. Proceeding of The Ninth Asian Conference on Remote Sensing. Bangkok. November. 23-29. PI1-1
- Forster, Bruce. 1991. Application of Normalized Vegetation Index Differencing for Urban Change Monitoring. Applications of Remote Sensing in Asia and Oceania. Tokyo. P. 215-220.
- Goudie, Andrew. 1985. The Encyclopaedic Dictionary of Physical Geography. New York, Basil Blackwell Ltd.
- Harris, Ray. 1987. Satellite Remote Sensing An Introduction. London, Routledge and Kegan Paul.

- Lillesand, Thomas M. and Ralph W. Kiefer. 1987. Remote Sensing and Image Interpretation. 2nd ed New York, John Wiley & Sons.
- Lillesand, Thomas M and Ralph W. Kiefer. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. 3rd ed. New York, John Wiley & Sons.
- Loubersac, L., A.L Dahl and L.D' OZouville. 1991. Comparison of Two Spot Images Acquired Before and After A Cyclone. Applications of Remote Sensing In Asia and Oceania. Tokyo. P. 269-273.
- Lowman, Jr., Paul D. and Lawrence Lattiman. 1980. Geomorphology. Remote Sensing in Geology. New York, John Wiley & Sons. P. 486-487.
- Mather, Paul M. 1987. computer Processing of Remotely-Sensed Images. Chichester, John Wiley & Sons.
- Murai Shunji and Yoshiaki Honda. 1991. World Vegetation Map from NOAA GVI data. Applications of Remote Sensing in Asia and Oceania Tokyo. P.3-8.
- NASDA Advanced Earth Observing Satellite (ADEOS) August' 94. Tokyo, Japan.
- Rosenqvist, Ake and others. 1991. Landslide Disaster in Southern Thailand. Applications of Remote Sensing in Asia and Oceania. Tokyo. p. 274-278.
- Sabins, F.F., Jr. 1978. Remote sensing Principles and Interpretation. San Francisco, W.H Freeman and Company.
- Saha, S.K., M.Kudrat and S.K Bhan. 1991. Erosional Soil Loss Predictions Using Digital Satellite Data and Universal Soil Loss Equation. Applications of Remote Sensing in Asia and Oceania. Tokyo. P. 369-372.

Schowengerdt, Robert A. 1983. Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing. New York. Academic Press.

Strahler, Alan H. and Arthur N. Strahler. 1992. Modern Physical Geography. 4 th ed. New York, John Wiley & Sons.

Swan, Philip H. and Shirley M. Davis.1978. Remote Sensing: Quantitative Approach. New York, Mc Graw-Hill.

Tateishi,Ryutaro and Koji Kajiwara. 1991. Global Land Cover Classification by NOAA GVI data. Applications of Remote Sensing in Asia and Oceania. Tokyo. P. 9-14.