

## คำนำ

ศาสตร์และเทคโนโลยีด้านรีโมตเซนซิงได้ถูกเริ่มนำมาใช้ในการสำรวจสิ่งต่าง ๆ ที่ปรากฏบนพื้นผิวโลกตั้งแต่ 40 ปีที่ผ่านมา แต่ในช่วงระยะเวลา 20 ที่ผ่านมานั้น พัฒนาการของเทคโนโลยีด้านนี้เป็นไปอย่างรวดเร็ว ทั้งในส่วนของวิธีการได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้น การพัฒนาขั้นตอนและเทคนิคในกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความซับซ้อนมากขึ้น รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในสาขาต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ในปัจจุบัน รีโมตเซนซิงกลายเป็นเครื่องมือที่สำคัญ ที่ทำให้เราได้เข้าใจถึงปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่กำลังมีการเปลี่ยนแปลงในโลกของเราเพิ่มมากยิ่งขึ้น เช่น การใช้ข้อมูลรีโมตเซนซิงเพื่อการสำรวจ การติดตามตรวจสอบสภาพภาพของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนการจัดการด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกระทำของมนุษย์ และผลกระทบที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามความเข้าใจอันถูกต้องถึงความสามารถและขีดจำกัดของรีโมตเซนซิงนั้น นับว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง

เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้ ผู้เขียนจึงมีความประสงค์ที่จะเน้นให้ผู้อ่านได้เข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดพื้นฐานด้านรีโมตเซนซิง ซึ่งถือได้ว่าเป็นหัวใจหลักในการนำศาสตร์และเทคโนโลยีด้านนี้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด โดยเนื้อหาของหนังสือเล่มนี้ ประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนของภาคทฤษฎี และ ภาคปฏิบัติ ในส่วนของภาคทฤษฎีนั้น จะกล่าวเน้นถึงหลักการพื้นฐานด้านรีโมตเซนซิง กระบวนการได้มาซึ่งข้อมูลรีโมตเซนซิง และหลักการพื้นฐานในการแปลตีความข้อมูลรีโมตเซนซิงด้วยสายตา (Visual interpretation) รวมทั้งการนำข้อมูลรีโมตเซนซิงไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ สำหรับเนื้อหาในส่วนของภาคปฏิบัติ จะเน้นการฝึกปฏิบัติเกี่ยวกับกระบวนการเตรียมข้อมูลรีโมตเซนซิงเบื้องต้น และฝึกทักษะการแปลตีความข้อมูลภาพดาวเทียมด้วยสายตาภายใต้โปรแกรมประมวลผลข้อมูลภาพเชิงเลข ERDAS IMAGINE 8.5 และโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView GIS 3.3

ผู้เขียนหวังว่าหนังสือความรู้พื้นฐานด้านรีโมตเซนซิงเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ทำงานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีด้านรีโมตเซนซิง นักเรียน นิสิต นักศึกษา และผู้ที่สนใจทั่วไป ให้มีความรู้ความเข้าใจในหลักการพื้นฐานด้านรีโมตเซนซิง และสามารถนำองค์ความรู้และทักษะที่ได้ไปปฏิบัติและประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมและเป็นรูปธรรม ผู้เขียนกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ด้านนี้ และขอขอบคุณนักวิชาการทุกท่านที่ผู้เขียนได้อ้างอิงถึง

หนังสือเล่มนี้อาจมีเนื้อหาบางตอนที่ยังไม่สมบูรณ์ ผู้เขียนยินดีน้อมรับคำวิจารณ์เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทั้งนี้ขอได้โปรดกรุณาแจ้งมายังผู้เขียนด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ดร.จรัญธร บุญญาภาพ

ธันวาคม 2551

# สารบัญเรื่อง

หน้า

## ส่วนที่ 1: ความรู้พื้นฐานด้านรีโมตเซนซิง

### บทที่ 1 บทนำและแนวคิดพื้นฐานของรีโมตเซนซิง

1.1	บทนำ	1
1.2	คำจำกัดความและความหมายของรีโมตเซนซิง	2
1.3	ข้อมูลด้านภูมิศาสตร์จากรีโมตเซนซิง	3
1.4	พื้นฐานของการสำรวจจากระยะไกล	4
1.4.1	พื้นฐานของรีโมตเซนซิงด้านภูมิศาสตร์	4
1.4.2	กระบวนการของการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล	5
1.5	ประเภทของระบบการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล	7
1.6	คุณสมบัติของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	8
1.7	การพัฒนาของเทคโนโลยีรีโมตเซนซิง	10
1.7.1	ก่อนยุคอวกาศ	11
1.7.2	ยุคอวกาศ	11
1.8	วิวัฒนาการของการสำรวจทรัพยากรโลกด้วยดาวเทียม	11
1.8.1	การสำรวจทรัพยากรโลกด้วยดาวเทียมระดับวิจัยและพัฒนา	12
1.8.1.1	เมอร์คิวรี (Mercury)	12
1.8.1.2	เจมินี (Gemini)	12
1.8.1.3	อพอลโล (Apollo)	12
1.8.1.4	สกายแล็บ (Skylab)	13
1.8.2	การสำรวจทรัพยากรโลกด้วยดาวเทียมระดับปฏิบัติงาน	13
1.8.2.1	กระสวยอวกาศ (Space Shuttle)	13
1.8.2.2	ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา	13
1.8.2.3	ดาวเทียมสำรวจสมุทรศาสตร์	15
1.8.2.4	ดาวเทียมสำรวจแผ่นดิน	16
1.9	ความเป็นมาของการสำรวจทรัพยากรด้วยดาวเทียมในประเทศไทย	21
1.10	การประยุกต์ข้อมูลรีโมตเซนซิงในประเทศไทย	23
	บรรณานุกรม	26

### บทที่ 2 หลักการเบื้องต้นของรีโมตเซนซิง

2.1	บทนำ	27
2.2	คุณลักษณะของการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า	27
2.2.1	คุณลักษณะการเคลื่อนที่แบบคลื่น	27

## สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
2.2.2 คุณลักษณะการเคลื่อนที่แบบอณู	28
2.3 ย่านความยาวของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า	29
2.4 กฎและทฤษฎีที่สนับสนุนหลักการของการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล	32
2.4.1 กฎของแพลงค์ และการแผ่รังสีของเทห์วัตถุดำ	32
2.4.2 กฎของสเตฟาน-โบลต์ซมานน์	32
2.4.3 กฎการแทนที่ของวิน	33
2.4.4 กฎของเคอร์ชอฟฟ์	34
2.4.5 กฎโคไซน์ของแลมเบิร์ต	35
2.5 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในชั้นบรรยากาศ	35
2.5.1 การดูดกลืน	36
2.5.2 การกระจัดกระจาย	38
2.5.3 การหักเห	39
2.6 ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้ากับวัตถุบนพื้นผิวโลก	39
2.6.1 ปฏิริยาหลักของแสงที่ตกกระทบวัตถุ	41
2.6.2 การสะท้อนพลังงานของพื้นโลก	42
2.6.2.1 การสะท้อนกลับหมดในทิศทางตรงกันข้าม	42
2.6.2.2 การสะท้อนแบบกระจาย	42
2.6.2.3 การสะท้อนพลังงานแบบผสม	42
2.7 การสะท้อนพลังงานของสิ่งปกคลุมพื้นผิวโลก	42
2.7.1 ลักษณะการสะท้อนพลังงานของพืช	44
2.7.2 ลักษณะการสะท้อนพลังงานของดิน	47
2.7.3 ลักษณะการสะท้อนพลังงานของน้ำ	49
2.7.4 สรุปการสะท้อนพลังงานของสิ่งปกคลุมพื้นผิวโลก	51
บรรณานุกรม	52
<b>บทที่ 3 ระบบบันทึกข้อมูลรีโมทเซนซิง</b>	
3.1 ประเภทของเครื่องวัดสัญญาณ	53
3.1.1 เครื่องวัดแบบกวาดภาพ	54
3.1.2 เครื่องวัดแบบไม่กวาดภาพ	57
3.2 เครื่องวัดสัญญาณในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นถึงช่วงคลื่นความร้อน	58
3.2.1 ระบบกวาดภาพหลายช่วงคลื่น	58
3.2.2 ระบบทำแผนที่เฉพาะเรื่อง	61
บรรณานุกรม	64

## สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 คุณสมบัติของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก</b>	
4.1 บทนำ	65
4.2 ประเภทของยานสำรวจ	65
4.3 วงโคจรของดาวเทียม	67
4.4 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก	68
4.4.1 ดาวเทียม LANDSAT	68
4.4.2 ดาวเทียม SPOT	88
4.4.3 ดาวเทียม MOS	98
4.4.4 ดาวเทียม ERS	102
4.4.5 ดาวเทียม JERS	108
4.4.6 ดาวเทียม IRS	112
4.4.7 ดาวเทียม RADARSAT	116
4.4.8 ดาวเทียม NOAA	121
4.4.9 ดาวเทียม IKONOS	127
4.4.10 ดาวเทียม QuickBird	130
บรรณานุกรม	132
<b>บทที่ 5 การแสดงภาพข้อมูลดาวเทียมเชิงเลข</b>	
5.1 รายละเอียดของข้อมูลดาวเทียมเชิงเลข	135
5.1.1 โครงสร้างของภาพ	135
5.1.2 ค่าความละเอียดของข้อมูลดาวเทียมเชิงเลข	136
5.1.3 ปริมาณของข้อมูล	142
5.2 รูปแบบเทปบันทึกข้อมูล	143
5.2.1 รูปแบบโครงสร้างของเทป	142
5.2.2 รูปแบบของการจัดเรียงข้อมูลดาวเทียม	144
5.3 อุปกรณ์และสื่อในการบันทึก จัดเก็บ และแจกจ่ายข้อมูล	145
5.4 การนำเข้าข้อมูลดาวเทียมสู่ระบบคอมพิวเตอร์	148
5.5 รายละเอียดการแสดงผลข้อมูลภาพ	149
5.5.1 ระบบการแสดงผลภาพ	149
5.5.2 รูปแบบของการแสดงผลภาพ	151
5.5.3 สรุปความแตกต่างระหว่าง ภาพ Pseudo Color และ True color	153

## สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
5.6 แผนภูมิแท่งและข้อมูลทางสถิติของข้อมูลภาพ	153
บรรณานุกรม	156
<b>บทที่ 6 การปรุงแต่งข้อมูลก่อนการแปลตีความด้วยสายตา</b>	
6.1 กระบวนการผสมสี	157
6.1.1 การผสมแสงสีแบบบวก	157
6.1.2 การผสมแสงสีแบบลบ	158
6.1.3 การบรรยายคุณลักษณะของสี	159
6.1.4 การให้ภาพสีผสมของภาพดาวเทียม	160
6.2 การปรับแก้ความเข้มของข้อมูลภาพ	161
6.3 การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพ	164
6.3.1 การเน้นภาพเชิงรังสี	164
6.3.1.1 Contrast Enhancement	165
6.3.1.2 Density Slice	169
6.3.2 การเน้นภาพเชิงพื้นที่	169
6.3.2.1 Low Pass Filtering	170
6.3.2.2 High Pass Filtering	170
6.4 การแก้ไขความคลาดเคลื่อนของภาพเชิงเรขาคณิต	171
6.4.1 ลักษณะความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิต	171
6.4.2 ขั้นตอนการแก้ไขความคลาดเคลื่อนของภาพเชิงเรขาคณิต	172
6.4.2.1 การเลือกจุดอ้างอิงทางภูมิศาสตร์	173
6.4.2.2 การแปลงค่าพิกัด	174
6.4.2.3 การสุ่มตัวอย่างซ้ำ	175
6.5 ข้อมูลภาพดาวเทียมหลังจากการปรับแก้ความคลาดเคลื่อน	176
6.6 การตัดต่อและการเชื่อมต่อข้อมูลภาพ	178
6.1.1 การตัดข้อมูลภาพ	178
6.6.2 การเชื่อมต่อข้อมูลภาพ	178
6.7 การเลือกและสร้างข้อมูลภาพในเชิงสถิติเพื่อการวิเคราะห์	179
บรรณานุกรม	182

## สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 7 หลักในการแปลตีความข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา</b>	
7.1 บทนำ	183
7.2 หลักในการแปลตีความภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยสายตา	183
7.3 องค์ประกอบในการตัดสินใจเพื่อจำแนกความแตกต่างของสิ่งที่ต้องการ	191
7.3.1 ลักษณะความแตกต่างทางแสง	191
7.3.2 ลักษณะความแตกต่างทางพื้นที่	193
7.3.3 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา	196
7.4 คุณสมบัติของนักแปลตีความ	197
7.4.1 ความรู้ภูมิหลัง	197
7.4.2 ความสามารถของสายตา	197
7.4.3 ความสามารถของจิตใจ	198
7.4.4 ประสบการณ์	198
7.5 คุณสมบัติของภาพ	198
7.5.1 รายละเอียดของภาพ	198
7.5.2 ความคมชัดของภาพ	200
7.5.3 มาตรฐานของภาพ	200
7.6 ความพร้อมของอุปกรณ์และข้อมูลเสริมประกอบ	201
7.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียม	201
7.6.2 ข้อมูลเสริมประกอบ	202
7.7 ขั้นตอนในการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยสายตา	203
7.7.1 การเตรียมการ	203
7.7.2 การเตรียมแผนที่ฐาน	203
7.7.3 การสำรวจภาคสนาม	203
7.7.4 การแปลตีความภาพถ่ายจากดาวเทียม	204
7.7.5 การตรวจสอบการปะปนกันระหว่างข้อมูล	204
7.7.6 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการแปลตีความ	205
7.7.7 การประมวลผลขั้นสุดท้าย	206
7.8 ประเภทของข้อมูลที่ได้จากการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียม	207
7.8.1 ข้อมูลทางด้านปริมาณ	207
7.8.2 ข้อมูลทางด้านคุณภาพ	208
บรรณานุกรม	210

## สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
<b>ส่วนที่ 2: บทปฏิบัติการโรมเตชนงเบ้องค่น</b>	
<b>บทปฏิบัติการที่ 1</b> การผลิตข้อมูลภาพถ่าจกควเทยม	211
1.1 การผลิตข้อมูลควเทยม	211
1.2 ข้อมูลควเทยมชนิดภาพพมพ์	215
1.3 การปรบแก้ความคลาดเคล่อนของข้อมูลควเทยม	216
1.4 รายละเอียดขอบภาพ	217
<b>บทปฏิบัติการที่ 2</b> กระบวนกรผสมสี	221
2.1 บทนำ	221
2.2 กรผสมแสงสีแบบบวก (Additive color composite)	221
2.3 กรผสมแสงสีแบบลบ (Subtractive color composite)	221
2.4 การบ้นทกข้อมูลช่วงคล่อนต่ง ๆ และกรนำไปใช้ประโยชน์	223
2.5 กรสร้งภาพสีผสมจกข้อมูลควเทยม	225
<b>บทปฏิบัติการที่ 3</b> แนะนำการใช้โปรแกรม ERDAS IMAGINE เบ้องค่น	227
3.1 ความสมารถของโปรแกรม ERDAS IMAGINE 8.5	227
3.2 องค์ประกอบของโปรแกรม ERDAS IMAGINE 8.5	229
3.3 แผนผังกรท่งนของโปรแกรม ERDAS IMAGINE	234
<b>บทปฏิบัติการที่ 4</b> กรเตรยมข้อมูลควเทยมเบ้องค่น	237
4.1 กรเตรยมข้อมูลภาพจกควเทยมเบ้องค่น	237
4.2 ขั้นตอนในการจัดเตรยมข้อมูลควเทยม	237
<b>บทปฏิบัติการที่ 5</b> กรเน้นภาพ	251
5.1 กรเน้นภาพ	251
5.2 กรเปล่ยนรูประดับสีเทาของข้อมูลภาพ	251
5.3 กรสร้งภาพสีผสม	254
5.4 ขั้นตอนในการเน้นข้อมูลภาพ	255
5.5 ขั้นตอนในการสร้งภาพสีผสม	258
<b>บทปฏิบัติการที่ 6</b> กรประกอบแผนที่	261
6.1 กรประกอบแผนที่	261
6.2 ขั้นตอนในการประกอบแผนที่ด้วย ERDAS IMAGING	262

## สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
<b>บทปฏิบัติการที่ 7</b> การแปลตีความข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา	275
7.1 บทนำ	275
7.2 หลักในการแปลตีความภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยสายตา	275
7.3 ขั้นตอนการแปลตีความภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยสายตาในห้องปฏิบัติการ	277
7.4 การจำแนกประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา	279
<b>ดัชนี</b>	293

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	การเก็บข้อมูลโดยการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล	6
1.2	กระบวนการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล	7
1.3	ประเภทของระบบการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลที่สัมพันธ์กับย่านความยาวคลื่นทั้ง 3 ประเภท	8
1.4	ขอบเขตรับสัญญาณจากดาวเทียม LANDSAT-5 ของสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน	22
2.1	การแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ประกอบด้วยคลื่นไฟฟ้า (E) และคลื่นแม่เหล็ก (M) ที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่	28
2.2	แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	30
2.3	การแผ่พลังงานออกจากเทอร์วัตดูลีดำที่อุณหภูมิของวัตถุประเภทต่างๆ	33
2.4	กฎโคไซน์ของแลมเบิร์ต และการสะท้อนพลังงาน	35
2.5	พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดที่มีปฏิสัมพันธ์กับชั้นบรรยากาศและพื้นผิวโลก	33
2.6	ปฏิสัมพันธ์ของชั้นบรรยากาศอันเนื่องมาจากการดูดกลืนที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	37
2.7	ส่วนขยายรายละเอียดแถบช่วงคลื่นที่ใช้ประโยชน์ด้านรีโมทเซนซิง	38
2.8	คุณลักษณะของการดูดกลืนในช่วงคลื่นอินฟราเรด โดยโมเลกุลในชั้นบรรยากาศ	38
2.9	กลไกปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้ากับวัตถุนบนพื้นผิวโลก	40
2.10	ปฏิภพของพลังงานที่ตกกระทบกับวัตถุนบนพื้นโลก	41
2.11	การสะท้อนกลับของพลังงานที่ตกกระทบกับวัตถุนบนพื้นโลกทั้ง 3 ลักษณะ	43
2.12	ลักษณะของพื้นผิวทั้ง 3 แบบ ที่มีความสำคัญต่อการแปลตีความภาพถ่ายเรดาร์	43
2.13	เปอร์เซ็นต์การสะท้อนพลังงานของวัตถุคลุมพื้นผิวโลก 3 ประเภทหลัก	44
2.14	ความสัมพันธ์ของการสะท้อนพลังงานของพืช ดิน และน้ำ	44
2.15	ลักษณะการสะท้อนพลังงานของพืชสีเขียวที่สมบูรณ์	45
2.16	การดูดกลืนพลังงานของคลอโรฟิลล์ในใบพืชในช่วงที่ตามองเห็น	45
2.17	ลักษณะการสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ของพืชต่างชนิด	46
2.18	การสะท้อนแสงของหญ้าและนาข้าวในช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น	46
2.19	ความแตกต่างของการสะท้อนพลังงานของพืชระหว่างหญ้าธรรมชาติและหญ้าเทียม	46
2.20	การดูดกลืนพลังงานของน้ำในใบพืชในช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น	47
2.21	ลักษณะการสะท้อนพลังงานของพืชที่ปกติและพืชที่ผิดปกติ	47
2.22	ลักษณะ Spectral signature ของหินและแร่ธาตุต่างๆ	49
2.23	การสะท้อนพลังงานของน้ำเมื่อน้ำมีปริมาณสารแขวนลอยที่แตกต่างกัน	50
2.24	การสะท้อนพลังงานของน้ำที่มีคลอโรฟิลล์ของพืชใต้น้ำหรือของแพลงตอนพืชที่มีอยู่ในน้ำ	50
3.1	การจำแนกประเภทเครื่องรับสัญญาณ	53

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.2	โครงสร้างของเครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสง	55
3.3	ขั้นตอนการเก็บบันทึกข้อมูล โดยการใช้เครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสง	56
3.4	ขั้นตอนการเก็บบันทึกข้อมูล โดยการใช้เครื่องกวาดภาพแบบพวยบรม	57
3.5	การกวาดภาพและอุปกรณ์ของระบบ MSS บนดาวเทียม LANDSAT	59
3.6	แสดงการกวาดภาพของกระจกแกว่งของระบบ MSS บนดาวเทียม LANDSAT	60
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง IFOV และการซ้อนทับของจุดภาพในข้อมูลระบบ MSS	61
3.8	ส่วนประกอบภายในของระบบ TM	62
3.9	ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์บันทึกในระบบ TM	63
4.1	ประเภทของยานสำรวจข้อมูลจากระยะไกล	67
4.2	แสดงวงโคจรของดาวเทียมของดาวเทียมสำรวจทรัพยากร โลก	68
4.3	รูปร่างลักษณะของดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3	71
4.4	แสดงเส้นทางการโคจรของดาวเทียม LANDSAT ในแต่ละวัน ณ เวลาท้องถิ่น	72
4.5	ลักษณะการโคจรของดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง LANDSAT-3 จากทิศเหนือสู่ทิศใต้ในเวลากลางวัน	72
4.6	ตำแหน่งของเส้นการโคจรต่างวันกัน ณ เส้นละติจูดที่ 40 องศาเหนือ	73
4.7	การซ้อนทับของข้อมูลระหว่างแนวโคจร ณ บริเวณใกล้ขั้วโลก	74
4.8	กล้อง RBV จำนวน 3 กล้อง ที่ติดตั้งบนดาวเทียม LANDSAT-1 และ 2	76
4.9	แสดงพื้นที่การบันทึกภาพด้วยกล้อง RBV 2 กล้อง บนดาวเทียม LANDSAT-3	77
4.10	รูปร่างลักษณะและส่วนประกอบหลักของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5	79
4.11	รูปร่างลักษณะและส่วนประกอบหลักของดาวเทียม LANDSAT-7	80
4.12	แสดงการติดต่อสื่อสารการถ่ายทอดข้อมูลของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5	81
4.13	การโคจรของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5	82
4.14	ลักษณะแนวโคจรในหนึ่งวันและลักษณะการบันทึกข้อมูลของดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5	83
4.15	ดัชนีภาพจากดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 บริเวณประเทศไทย	83
4.16	ตำแหน่งและพื้นที่ครอบคลุมในการรับสัญญาณขอสถานีรับสัญญาณดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5	84
4.17	ภาพประกอบอย่างง่าย ๆ ของระบบ ETM+ บนดาวเทียม LANDSAT-7	85
4.18	ภาพดาวเทียม SPOT-1 ถึง SPOT-3	90
4.19	การบันทึกข้อมูลพร้อมกันทั้ง 2 กล้องในแนวตั้งของอุปกรณ์บนดาวเทียม SPOT-1 ถึง 3	94
4.20	การปรับเอียงมุมของกระจกได้ถึง +/- 27 องศาจากแนวตั้ง เพื่อบันทึกภาพในแนวเอียง	94
4.21	แสดงการบันทึกข้อมูลแนวเอียง ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ได้บริเวณกว้างเพิ่มขึ้น	95
4.22	ระบบการถ่ายภาพแนวเอียง ที่บันทึกภาพพื้นที่เดียวกันจาก 2 แนวโคจร	95

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.23	ความสามารถในการกลับมาบันทึกภาพได้ถึง 7 แนวโคจรที่เส้นศูนย์สูตร และ 11 แนวโคจรที่ละติจูดที่ 45 องศา	95
4.24	ความสามารถในการบันทึกภาพในบริเวณพื้นที่เดียวกัน ได้ทุก ๆ 5 วัน	96
4.25	แสดงตำแหน่งและขอบเขตที่มีการรับสัญญาณของสถานีรับภาคพื้นดิน ของดาวเทียม SPOT	96
4.26	แสดงความสัมพันธ์ของแบนด์ต่างๆ ในดาวเทียม SPOT กับลักษณะการสะท้อนพลังงานของวัตถุบางชนิด	98
4.27	ดาวเทียม MOS-1 และ MOS-1b	99
4.28a	การบันทึกข้อมูลในระบบ MESSR	100
4.28b	การบันทึกข้อมูลในระบบ VTIR	100
4.28c	การบันทึกข้อมูลในระบบ MSR	100
4.29	รูปร่างลักษณะของดาวเทียม ERS-1	103
4.30	ลักษณะการบันทึกข้อมูลของดาวเทียม ERS-1	106
4.31	รูปร่างลักษณะของดาวเทียม JERS-1	109
4.32	ลักษณะการบันทึกข้อมูลของดาวเทียม JERS-1	111
4.33	รูปร่างลักษณะของดาวเทียม IRS-1C	112
4.34	รูปร่างลักษณะของดาวเทียม RADARSAT-1 และ RADARSAT-2	116
4.35	รูปแบบการบันทึกข้อมูลของดาวเทียม RADARSAT-1 และ RADARSAT-2	117
4.36	เปรียบเทียบระบบการบันทึกข้อมูลภาพ SAR ระหว่างดาวเทียม RADARSAT และ ERS	121
4.37	ความหลากหลายของความละเอียดเชิงพื้นที่ในข้อมูลภาพจากดาวเทียม RADARSAT	121
4.38	รูปร่างลักษณะและระบบบันทึกข้อมูลของดาวเทียม NOAA-15 ถึง 17	122
4.39	รูปร่างและองค์ประกอบต่างๆ ของดาวเทียม IKONOS-1	128
4.40	ลักษณะการ โคจรของดาวเทียม IKONOS-1	128
4.41	แสดงระบบการบันทึกข้อมูลของดาวเทียม IKONOS-1	129
4.42	กล้องบันทึกข้อมูลของดาวเทียม IKONOS	129
4.43	ภาพ Stereo pairs image จากข้อมูลภาพดาวเทียม IKONOS	130
4.44	ภาพดาวเทียม QuickBird และภาพ Orthorectified Imagery	131
5.1	ตัวอย่างโครงสร้างของภาพข้อมูลดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM	135
5.2	เปรียบเทียบภาพถ่ายระบบ Panchromatic และ ระบบ Multispectral	137
5.3	เปรียบเทียบพิสัยของช่วงคลื่น ในการบันทึกข้อมูลของดาวเทียมแต่ละระบบ	137
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง IFOV และการซ้อนทับของจุดภาพในข้อมูลดาวเทียม LANDSAT ระบบ MSS	138

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
5.5	แสดงภาพถ่ายดาวเทียม SPOT ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่และขนาดของจุดภาพแตกต่างกัน	139
5.6	แสดงขนาดของวัตถุและ IFOV	140
5.7	ค่าความสว่างของข้อมูล 8 bit และ 7 bit	140
5.8	แสดงภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดเชิงรังสีแตกต่างกัน	141
5.9	ภาพแสดงถึงความละเอียดทั้ง 4 ประเภทของข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT และ SPOT	142
5.10	ภาพแสดงการจัดเรียงข้อมูลดาวเทียมทั้ง 3 รูปแบบ	145
5.11	แสดงระบบการนำเข้าข้อมูลภาพ	149
5.12	ระบบการแสดงผลข้อมูลภาพ	150
5.13	ส่วนประกอบของระบบการแสดงผลภาพ Image Display System	150
5.14	ขั้นตอนการแสดงผลภาพ 8-bit Gray Scale	151
5.15	ขั้นตอนการแสดงผลภาพ 8-bit Pseudo-Color	152
5.16	ขั้นตอนการแสดงผลภาพ 24-bit True-Color	152
5.17	ภาพตัวอย่างแผนภูมิแท่ง จะแสดงถึงการกระจายค่าของข้อมูลในแต่ละแบนด์	154
5.18	แผนภูมิแท่งที่มีรูปร่างแบบ Bi-model histogram	154
5.19	แสดงค่าของข้อมูล แผนภูมิแท่ง และค่าทางสถิติของค่าระดับสีเทาที่คำนวณได้จากข้อมูล	155
6.1	แสดงการผสมแสงสีแบบบวก และการผสมแสงสีแบบลบ	158
6.2	แสดงสีเติมเต็มหรือสีตรงข้าม	159
6.3	ภาพสามมิติของสีแสดง สีเส้น ความอึมทัวสี และ ความสว่างของสี	160
6.4	ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการบันทึกการสะท้อนพลังงานของวัตถุ	163
6.5	ตัวอย่างของ Filtering kernels ขนาด 3 x 3 และ 5 x 5 Pixels	164
6.6	แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าของข้อมูลเดิมและข้อมูลใหม่ที่ได้จากการยืดข้อมูลภาพ	166
6.7	กราฟแท่งแสดงความถี่และกราฟเปรียบเทียบสำหรับการปรับเน้นภาพ โดยการยืดข้อมูลภาพ	167
6.8	เปรียบเทียบภาพที่ยังไม่มีการปรับเน้นภาพกับภาพที่ผ่านเทคนิคการเน้นภาพแบบต่างๆ	168
6.9	แสดงกราฟแท่งแสดงความถี่และกราฟเปรียบเทียบของภาพที่ไม่มีการปรับเน้นกับภาพที่ปรับเน้นด้วยเทคนิค Density Slice	169
6.10	แสดงตัวอย่างหน้าต่างกรองข้อมูลขนาด 3 x 3 แบบไม่ถ่วงน้ำหนัก และ 5 x 5 ถ่วงน้ำหนักที่ศูนย์กลาง	170
6.11	เปรียบเทียบภาพที่ผ่านการเน้นภาพเชิงพื้นที่ โดยใช้เทคนิค Low pass filtering และ High pass filtering	171
6.12	แสดงลักษณะความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตประเภทต่างๆ ของภาพจากดาวเทียม LANDSAT	172
6.13	ภาพเปรียบเทียบผลจากการซูมตัวอย่างซ้ำทั้ง 3 แบบ	176

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
6.14	ภาพข้อมูลดาวเทียมที่ผ่านขั้นตอนการปรับแก้ความเพี้ยนทั้ง 3 ลักษณะ	177
6.15	การตัดข้อมูลจากภาพเดิมด้วยการกำหนดจำนวน Pixel และ Line ที่ต้องการ	179
7.1	วัตถุหรือรูปแบบการใช้ที่ดินประเภทเดียวกัน ที่แสดงในลักษณะการรวมกลุ่มกันของจุดภาพ	184
7.2	ภาพช่วงคลื่นเดียวที่แสดงให้เห็นถึงระดับการสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันของวัตถุ	192
7.3	แสดงลักษณะความหยาบละเอียดของเนื้อภาพ บริเวณพื้นที่เกษตรกรรมของภาพ	192
7.4	เงาของตึกที่เกิดขึ้นในภาพถ่าย ทำให้สูญเสียรายละเอียดของภาพบริเวณนั้น	193
7.5	แสดงความแตกต่างระหว่างรูปร่างของวัตถุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น	194
7.6	แสดงความแตกต่างระหว่างขนาดของวัตถุ ในมาตราส่วนที่แตกต่างกัน	194
7.7	รูปแบบการจัดเรียงตัวเชิงพื้นที่ของวัตถุในหลายระดับ	195
7.8	แสดงตัวอย่างรูปแบบการจัดเรียงตัวเชิงพื้นที่ของพื้นที่เกษตรกรรม	195
7.9	ภาพดาวเทียม SPOT ระบบ MLA (321:RGB) บริเวณแหลมตะลุมพุก จังหวัดนครศรีธรรมราช	196
7.10	ภาพบริเวณเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์	197
7.11	ตัวอย่างแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม มาตราส่วน 1:50,000	200
7.12	ลักษณะของเครื่อง PROCOM II	201
7.13	ระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้สนับสนุนกระบวนการแปลตีความภาพถ่ายจากดาวเทียม	202
7.14	ภาพดาวเทียม IKONOS มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 เมตร	208
7.15	ภาพตัวอย่างการวัดระยะทางและคำนวณเนื้อที่สนามฟุตบอล จากภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS	208
7.16	การสร้างแผนที่เฉพาะเรื่องจากการแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงคุณภาพ	209

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความยาวช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	30
2.2	แสดงค่าสภาพเปล่งรังสีเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 20 C ในเขตชุมชนชนบทและชุมชนเมือง	34
4.1	ประเภทของยานสำรวจและวัตถุที่สังเกต	66
4.2	กำหนดการส่งดาวเทียมชุด LANDSAT ขึ้นสู่วงโคจร และระบบบันทึกข้อมูลที่ติดตั้ง	69
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งตามเส้นละติจูดกับบริเวณซ้ำซ้อน	74
4.4	ลักษณะการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่บันทึกด้วยระบบ RBV ในแต่ละช่วงคลื่น	75
4.5	เปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบ RBV ในดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3	77
4.6	การประยุกต์ใช้ข้อมูลระบบ MSS ในแต่ละช่วงคลื่น ของดาวเทียม LANDSAT-1 ถึง 3	78
4.7	ลักษณะการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่บันทึกในแต่ละช่วงคลื่นของระบบ TM และ ETM+	86
4.8	ลักษณะที่สำคัญบางประการของดาวเทียม LANDSAT	87
4.9	กำหนดการส่งดาวเทียมชุด SPOT ขึ้นสู่วงโคจร และระบบบันทึกข้อมูลที่ติดตั้ง	89
4.10	ระบบบันทึกข้อมูลของดาวเทียม SPOT-1 ถึง 5	92
4.11	การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ HRV HRVIR และ HRG ของดาวเทียม SPOT-1 ถึง 5	97
4.12	การประยุกต์ใช้ข้อมูลของดาวเทียม MOS	101
4.13	ลักษณะที่สำคัญบางประการของดาวเทียม MOS	102
4.14	ลักษณะที่สำคัญบางประการของดาวเทียม ERS	107
4.15	อุปกรณ์บันทึกข้อมูลและวัตถุประสงค์ในการใช้ประโยชน์	108
4.16	ลักษณะที่สำคัญบางประการของดาวเทียม JERS	111
4.17	ระบบบันทึกข้อมูล LISS-I และ LISS-II และการประยุกต์ใช้ประโยชน์	114
4.18	รายละเอียดของระบบบันทึกข้อมูล LISS-III, PAN, และ WiFS	115
4.19	เปรียบเทียบความสามารถของระบบในดาวเทียม RADARSAT-1 และ 2	118
4.20	เปรียบเทียบความสามารถของระบบในดาวเทียม RADARSAT-1 และ 2	119
4.21	รูปแบบการบันทึกข้อมูลของดาวเทียม RADARSAT	120
4.22	ลักษณะที่สำคัญบางประการของดาวเทียม TIROS-N/NOAA	125
4.23	การใช้ประโยชน์ข้อมูลจากระบบ AVHRR/3	127
5.1	จำนวนบิตที่ใช้กับอุปกรณ์บันทึกข้อมูลบนดาวเทียมแต่ละประเภท	141
6.1	ภาพสีผสมของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM และระบบ ETM+	161
6.2	ค่า Degree of freedom หรือ ค่า k (จำนวนจุด GCP ที่ใช้ในแต่ละรูปแบบสมการแปลงพิกัด)	174

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่	
7.1 ระบบการกำหนดประเภทการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากข้อมูลดาวเทียมของ U.S. Geological Survey	185
7.2 ระบบการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification) ของกรมพัฒนาที่ดิน	186