



SAR AMPLITUDE IMAGE - Sentinel-1 C-Band

ดาราศาสตร์ · GEOINFORMATICS SERIES

การรับรู้จากระยะไกลไมโครเวฟ

MICROWAVE REMOTE SENSING

เขียนโดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภูสิทธิ์ คำพิลังภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

MICROWAVE REMOTE SENSING

การรับรู้จากระยะไกลไมโครเวฟ

ผู้เขียน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภูษิต คุ้มคำ
จัดพิมพ์โดย	ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเฒ่า อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
พิมพ์	มีนาคม พุทธศักราช 2569
รูปแบบการพิมพ์	หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ (e-Book)

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

ภูษิต คุ้มคำ.

การรับรู้จากระยะไกลไมโครเวฟ = Microwave Remote Sensing / ภูษิต คุ้มคำ.--

มหาสารคาม : ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2569.

168 หน้า.

1. การรับรู้จากระยะไกลด้วยไมโครเวฟ. I. ชื่อเรื่อง.

621.3678

ISBN 978-974-19-6142-9

คำนำ

หนังสือเล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นเอกสารคำสอนรายวิชา 1209361 *Microwave Remote Sensing* ซึ่งเป็นหนึ่งในรายวิชาสำคัญของศาสตร์ด้านภูมิสารสนเทศและการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing and Geoinformatics) ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเข้าใจหลักการทำงานของระบบเรดาร์ดาวเทียมในย่านไมโครเวฟ ตลอดจนการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมเชิงเรดาร์ เช่น Sentinel-1, ALOS-2, และ RADARSAT-2 ในการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ทางภูมิศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และทรัพยากรธรรมชาติอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

ความพิเศษของเอกสารคำสอนเล่มนี้คือการรวบรวมองค์ความรู้ทั้งเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ โดยเรียบเรียงจากเอกสารทางวิชาการ งานวิจัยระดับนานาชาติ และกรณีศึกษาจริงในประเทศไทย เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจกลไกการโต้ตอบของคลื่นไมโครเวฟกับวัตถุ (Interaction of Microwaves with Targets) การประมวลผลภาพเรดาร์ด้วยซอฟต์แวร์มาตรฐาน เช่น SNAP ของ European Space Agency (ESA) ตลอดจนการใช้แพลตฟอร์ม *Google Earth Engine (GEE)* ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมแบบอัตโนมัติ ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาและต่อยอดความรู้ไปสู่การวิจัยเชิงลึกได้อย่างมั่นใจ

เนื้อหาในเล่มครอบคลุมตั้งแต่พื้นฐานของการแผ่คลื่นไมโครเวฟ การสะท้อน การกระเจิง และการดูดซับพลังงานของวัตถุ ไปจนถึงหัวข้อขั้นสูง เช่น การใช้เทคนิค InSAR เพื่อวิเคราะห์การทรุดตัวของพื้นที่เมือง การใช้ข้อมูล Polarimetric SAR ในการจำแนกชนิดพืชและธรณีวิทยา และการประยุกต์ใช้ Machine Learning และ Deep Learning ในการจำแนกพื้นที่จากข้อมูล SAR หนังสือเล่มนี้จึงมิได้เป็นเพียงตำราเรียน แต่ยังเป็นแหล่งอ้างอิงทางวิชาการสำหรับนักวิจัยและผู้สนใจด้านการสำรวจโลกด้วยไมโครเวฟ

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะช่วยเสริมสร้างความเข้าใจในเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลในย่านไมโครเวฟ และเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมเพื่อแก้ไขปัญหาทางสิ่งแวดล้อม การจัดการทรัพยากร และการวางแผนพัฒนาพื้นที่อย่างยั่งยืน ทั้งนี้ หนังสือเล่มนี้ยังคงเปิดกว้างสำหรับข้อเสนอแนะจากผู้อ่าน เพื่อนำไปพัฒนาเนื้อหาให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นในอนาคต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภูษิษฐ์ คำพิลัง

ผู้เขียน/ผู้เรียบเรียง

พฤศจิกายน พ.ศ. 2568

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญภาพ	ฅ
สารบัญตาราง	ฐ
บทที่ 1 บทนำ (Introduction to Microwave Remote Sensing)	1
1.1 เนื้อหา	1
1.2 แนวคิด	1
1.3 วัตถุประสงค์	1
1.4 บทนำ	1
1.5 ชนิดของเครื่องวัดในย่านไมโครเวฟ	2
1.5.1 ย่านไมโครเวฟระบบพาสซีฟ	2
1.5.2 ย่านไมโครเวฟระบบแอกทีฟ	2
1.6 ระบบเรดาร์	4
1.6.1 ระบบเรดาร์ช่องเปิดจริง (Real Aperture Radar, RAR)	4
1.6.2 เรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ (Synthetic Aperture Radar: SAR)	6
1.7 การโพลาไรซ์ (Polarization)	7
1.8 ดาวเทียมในระบบไมโครเวฟ	10
1.9 ตัวอย่างรายละเอียดของดาวเทียม Sentinel-1 SAR	12
1.9.1 โหมด Strip map (SM)	13
1.9.2 โหมด Interferometric Wide swath (IW)	13
1.9.3 โหมด Extra Wide swath (EW)	13
1.9.4 โหมด Wave (WV)	13
1.9.5 ข้อมูล SENTINEL-1	13
1.10 เครื่องตรวจวัดในย่านไมโครเวฟในระบบ Active และ Passive	17
1.10.1 Active Microwave Remote Sensing	17
1.10.2 Passive Microwave Remote Sensing	17
คำถามท้ายบทที่ 1	20
เอกสารอ้างอิง	21

	หน้า
บทที่ 2 พื้นฐานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงไมโครเวฟ (Electromagnetic Fundamentals for the Microwave Region)	22
2.1 เนื้อหา	22
2.2 แนวคิด	22
2.3 วัตถุประสงค์	22
2.4 บทนำ	22
2.5 ลักษณะทางกายภาพ	24
2.5.1 คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ	24
2.5.2 รูปแบบของภาพถ่ายในระบบไมโครเวฟ (Radar image formation)	27
2.5.3 ความแยกชัดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution)	29
2.6 การพิจารณาพารามิเตอร์ของภาพถ่ายเรดาร์	31
2.6.1 ความยาวคลื่น (Wavelength)	31
2.6.2 การจัดขั้วคลื่น (Polarization)	33
2.6.3 มุมตกกระทบ (Incidence angle)	35
2.7 การแผ่พลังงานคลื่นไมโครเวฟ	37
2.8 การกระจัดกระจายกลับ (Radar Backscattering)	37
2.8.1 การกระจัดกระจายกลับสัญญาณเรดาร์ (Radar backscattering)	37
2.8.2 การกระเจิงความขรุขระของพื้นผิว (Surface Roughness)	38
2.8.3 ตัวอย่างของปฏิสัมพันธ์ของพลังงานเรดาร์ที่มีต่อพื้นผิวที่แบบต่างๆ	39
2.9 Geometric Distortion	44
2.9.1 การวางตัวข้าม (Layover)	44
2.9.2 การย่นย่อ (Foreshortening)	46
2.9.3 เงา (Shadowing)	47
2.9.4 ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสี (Radiometric distortion)	49
2.10 สเปกเคิล (Speckle)	50
2.10.1 การประมวลผลแบบหลายมุมมอง (Multi-Look Processing)	51
2.10.2 Speckle Reduction: การกรองภาพเชิงพื้นที่ (Spatial Filtering)	52
คำถามท้ายบทที่ 2	54
เอกสารอ้างอิง	55

	หน้า
บทที่ 3 การโต้ตอบระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัตถุ (Interaction of Microwaves with Targets)	57
3.1 เนื้อหา	57
3.2 แนวคิด (Concept)	57
3.3 วัตถุประสงค์การเรียนรู้	57
3.4 บทนำ	58
3.5 พารามิเตอร์ทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อการโต้ตอบ	58
3.5.1. ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant, ϵ)	58
3.5.2. ความชื้น (Moisture Content)	59
3.5.3. ความขรุขระของพื้นผิว (Surface Roughness)	60
3.5.4. โครงสร้างทางเรขาคณิตของวัตถุ (Target Geometry)	62
3.5.5 พืชพรรณ (Vegetation)	62
3.5.6 ความสูงชันและความลาดเอียงของภูมิประเทศ	62
3.5.7 แหล่งน้ำผิวดิน (Surface Water Bodies)	63
3.5.8 วัสดุพื้นผิวและองค์ประกอบธรณีวิทยา (Surface Material and Geology)	63
3.5.9 ปัจจัยสภาพอากาศและฤดูกาล (Weather and Seasonal Factors)	63
3.6 การกระเจิง (Scattering) ของพลังงานในระบบเรดาร์	63
3.6.1 การกระจัดกระจายพื้นผิว (Surface scattering)	63
3.6.2 การกระจัดกระจายเชิงปริมาตร (Volume scattering)	64
3.7 ประเภทของการโต้ตอบระหว่างคลื่นและวัตถุ	65
3.8 ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการสะท้อน	65
3.8.1 มุมตกกระทบ (Incidence Angle, θ_i)	65
3.8.2 ความยาวคลื่น (λ)	65
3.8.3 การจัดขั้วคลื่น (Polarization)	66
3.9 ตัวอย่างการตอบสนองของวัตถุประเภทต่าง ๆ	66
คำถามท้ายบทที่ 3	68
เอกสารอ้างอิง	69
บทที่ 4 เรขาคณิตภาพเรดาร์และการได้มาซึ่งข้อมูล (Radar Imaging Geometry and Data Acquisition)	70

	หน้า
4.1 เนื้อหา	70
4.2 แนวคิด	70
4.3 วัตถุประสงค์	70
4.4 บทนำ	71
4.5 เรขาคณิตการถ่ายภาพ (Imaging Geometry)	71
4.5.1 มุมตกกระทบ (Incidence Angle)	71
4.5.2 พิสัยเอียง (Slant Range)	73
4.5.3 ระยะบนผิวดิน (Ground Range)	75
4.6 เรขาคณิตของการถ่ายภาพ SAR	76
4.6.1 การเกิด Foreshortening – Layover – Shadow	77
4.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Slant Range และ Ground Range Resolution	77
คำถามท้ายบทที่ 4	79
เอกสารอ้างอิง	80
บทที่ 5 การประมวลผลข้อมูลเรดาร์ (Basic Radar Data Processing)	81
5.1 เนื้อหา	81
5.2 แนวคิด	81
5.3 วัตถุประสงค์	81
5.4 บทนำ	82
5.5 ประวัติความเป็นมาของโปรแกรม SNAP (Sentinel Application Platform)	82
5.5.1 ต้นกำเนิดและวิวัฒนาการการรวมซอฟต์แวร์ (Legacy Consolidation): SNAP	83
5.5.2 สถาปัตยกรรมและคุณสมบัติเด่น	83
5.6 คุณสมบัติพื้นฐานของ SAR (Fundamental Characteristics of SAR)	84
5.6.1 เป็นระบบแหล่งกำเนิดพลังงานเอง (Active System)	84
5.6.2 ทำงานได้ในทุกสภาพอากาศ (All-Weather Capability)	84
5.6.3 มีความสามารถในการรับรู้โครงสร้างสามมิติ (Sensitivity to Surface Geometry)	84
5.6.4 วัดค่าทางกายภาพได้โดยตรง (Quantitative Physical Measurement)	85
5.6.5 มีความสามารถด้านโพลาไรเซชัน (Polarization Capability)	85

	หน้า
5.6.6 มีมิติด้านเฟสของคลื่น (Phase Information)	85
5.7 การทำ Speckle Filtering	85
5.7.1 การเตรียมแหล่งข้อมูลและการดาวน์โหลด (Data discovery and download)	85
5.7.2 การนำเข้าข้อมูลสู่โปรแกรมและการตรวจสอบ Metadata (Import and metadata check)	86
5.7.3 การคาลิเบรชเชิงรังสี (Radiometric calibration)	86
5.7.4 การลดมิติด้วย Multilook เพื่อปรับสมดุลความละเอียด/สัญญาณรบกวน (Multilooking)	86
5.7.5 การเลือกและประยุกต์ใช้ Speckle Filter (Filter selection and application)	87
5.7.6 การแปลงหน่วยเป็นเดซิเบลและการทำ Histogram Analysis (Convert to dB and histogram inspection)	88
5.7.7 การประเมินคุณภาพของการกรอง (Quality assessment)	88
5.7.8 การแก้ไขเชิงเรขาคณิตและการเตรียมส่งออก (Terrain correction and export)	88
5.7.9 การทำงานแบบอัตโนมัติ (Batch processing / Graph)	88
5.7.10 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ผลลัพธ์ (Application examples)	89
5.8 การติดตั้งโปรแกรม SNAP	89
คำถามท้ายบทที่ 5	94
เอกสารอ้างอิง	95
บทที่ 6 Interferometry และ Polarimetry (Advanced Topics)	96
6.1 เนื้อหา	96
6.2 แนวคิด	96
6.3 วัตถุประสงค์	96
6.4 บทนำ	97
6.5 หลักการ SAR Interferometry (InSAR)	97
6.5.1 Radar polarimetry	97
6.6 หลักการ Polarimetric SAR (PoSAR)	108

	หน้า
6.6.1 การจัดขั้วคลื่น (Polarization)	109
6.6.2 เรดาร์โพลาไรเมตริก	110
6.6.3 กลไกการกระเจิง (Scattering mechanism)	110
6.6.4 H- α Decomposition	111
6.6.5 H- α Classification	114
คำถามท้ายบทที่ 6	121
เอกสารอ้างอิง	122
บทที่ 7 การประยุกต์ใช้ Microwave Remote Sensing ในด้านต่าง ๆ (Applications)	124
7.1 เนื้อหา	124
7.2 แนวคิด	124
7.3 วัตถุประสงค์	124
7.4 บทนำ	124
7.4.1 การประยุกต์ใช้ SAR ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงพื้นที่สีเขียว ป่าไม้ และไฟป่า	125
7.4.2 การสำรวจและติดตามน้ำท่วม (Flood Monitoring and Assessment)	127
7.4.3 การประเมินโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure Monitoring)	133
7.4.4 การตรวจวัดการทรุดตัวของพื้นที่เมือง (Subsidence) ด้วย InSAR	135
7.4.5 การใช้ข้อมูล Polarimetric SAR ในการจำแนกชนิดพืชและธรณีวิทยา	137
7.5.5 การประยุกต์ใช้และข้อเสนอแนะ	125
7.5 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม	140
คำถามท้ายบทที่ 7	143
เอกสารอ้างอิง	144
บทที่ 8 แหล่งข้อมูลภาพถ่ายไมโครเวฟและการเข้าถึง	146
8.1 เนื้อหา	146
8.2 แนวคิด	146
8.3 วัตถุประสงค์ของบทเรียน	146
8.4 บทนำ	146
8.5 หน่วยงานและแหล่งข้อมูลภาพถ่ายไมโครเวฟ	147
8.5.1 ESA – European Space Agency	147

	หน้า
8.5.2 องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (NASA)	149
8.5.3 องค์การสำรวจอวกาศญี่ปุ่น (Japan Aerospace Exploration Agency: JAXA)	153
8.5.4 CSA – Canadian Space Agency Canadian Space Agency (CSA)	155
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8	160
เอกสารอ้างอิง	161
บรรณานุกรม	162

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบที่ 1.1 แสดงหลักการแนวคิดของระบบเรดาร์ช่องเปิดจริง	5
ภาพประกอบที่ 1.2 แสดงโครงสร้างของเรดาร์ช่องเปิดสี่เหลี่ยม	7
ภาพประกอบที่ 1.3 แสดงการโพลาริซ	10
ภาพประกอบที่ 1.4 แสดงรูปแบบของการบันทึกภาพของดาวเทียม SENTINEL 1	14
ภาพประกอบที่ 1.5 แสดงการย้อนกลับมายังข้อมูล ณ จุดเดิมของดาวเทียม S1 S2	15
ภาพประกอบที่ 1.6 แสดง Swatch width ของดาวเทียม Sentinel-1	15
ภาพประกอบที่ 1.7 แสดงกระบวนการในการสร้างภาพให้เป็นชินภาพขนาดเล็กในแนวขนาน เพื่อความสะดวกในการใช้งาน	16
ภาพประกอบที่ 2.1 แสดงแถบพลังงานในย่านสำรวจไมโครเวฟ	23
ภาพประกอบที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลภาพถ่ายในระบบ Optical และ ข้อมูลภาพถ่ายในระบบไมโครเวฟ	24
ภาพประกอบที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลการบันทึกภาพแบบ Down looking และ Side looking	25
ภาพประกอบที่ 2.4 แสดงการบันทึกภาพแบบ Side looking radar	26
ภาพประกอบที่ 2.5 แสดงการส่งคลื่นพลังงานเรดาร์จากเครื่องส่งและพลังงานที่สะท้อนกลับไปยังเครื่องรับ	27
ภาพประกอบที่ 2.6 แสดงรูปแบบทางกายภาพของคลื่นพลังงาน	27
ภาพประกอบที่ 2.7 Radar geometry	29
ภาพประกอบที่ 2.8 ความแยกชัดเชิงพื้นที่ของเรดาร์	30
ภาพประกอบที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นและความถี่	32
ภาพประกอบที่ 2.10 แสดงคุณลักษณะการทะลวงทะลวง (Penetration) และการสะท้อนกลับ (Backscattering) ของช่วงคลื่นต่างๆ เมื่อตกกระทบป่าไม้	33
ภาพประกอบที่ 2.11 แสดงรูปแบบของการจัดขั้วคลื่นในย่านสำรวจไมโครเวฟ	34
ภาพประกอบที่ 2.12 แสดงความแตกต่างของภาพที่ได้จากจัดขั้วคลื่นที่แตกต่างกัน	35
ภาพประกอบที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มุมตกกระทบ θ มุมก้ม (β) และมุมมอง φ	36
ภาพประกอบที่ 2.14 แสดงรูปแบบความขรุขระของพื้นผิวที่มีต่อการกระจายกลับของคลื่นพลังงานเรดาร์	38

ภาพประกอบที่ 2.15 แสดงรูปแบบของการกระจายกลับเชิงปริมาณของพลังงานเรดาร์ เมื่อกระทำต่อสิ่งปกคลุมดินชนิดป่าไม้	39
ภาพประกอบที่ 2.16 แสดงรูปแบบการ backscattering ของพื้นผิวแบบกระจก	41
ภาพประกอบที่ 2.17 แสดงรูปแบบการ backscattering ของพื้นผิวแบบขรุขระ	42
ภาพประกอบที่ 2.18 แสดงรูปแบบการ backscattering ของพื้นผิวแบบเชิงปริมาตร	43
ภาพประกอบที่ 2.19 แสดงรูปแบบการ backscattering ของพื้นผิวแบบ Double bounce	44
ภาพประกอบที่ 2.20 แสดงความคลาดเคลื่อนทางเลขาคณิตแบบวางตัวตรงข้าม (Layover)	46
ภาพประกอบที่ 2.21 แสดงความคลาดเคลื่อนทางเลขาคณิตแบบยื่นย่อ	47
ภาพประกอบที่ 2.22 แสดงความคลาดเคลื่อนทางเลขาคณิตแบบเงา (Shadow)	49
ภาพประกอบที่ 2.23 ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสี (Radiometric distortion)	50
ภาพประกอบที่ 2.24 แสดงสัญญาณรบกวนจุดกระในภาพถ่ายเรดาร์	51
ภาพประกอบที่ 2.25 แสดงการลดจุดกระด้วยกระบวนการประมวลผลแบบหลายมุมมอง (Multi-look processing) ในภาพถ่ายเรดาร์	52
ภาพประกอบที่ 2.26 แสดงการลดจุดกระด้วยกระบวนการกรองภาพ (Spatial filtering) บน ภาพถ่ายเรดาร์	53
ภาพประกอบที่ 3.1 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและปริมาณความชื้น ของดิน โดยค่าการสะท้อนเพิ่มขึ้นตามความชื้น	59
ภาพประกอบที่ 3.2 แสดงความแตกต่างของค่าสัญญาณ backscatter ระหว่างดินแห้งกับดิน เปียก จากข้อมูล Sentinel-1	60
ภาพประกอบที่ 3.3 เปรียบเทียบรูปแบบการสะท้อนของพื้นผิวเรียบและขรุขระต่อคลื่น ไมโครเวฟ	61
ภาพประกอบที่ 3.4 เปรียบเทียบรูปแบบการสะท้อนเมื่อความขรุขระของพื้นผิวเพิ่มขึ้นต่อ คลื่นไมโครเวฟ	61
ภาพประกอบที่ 3.5 กลไกการสะท้อนแบบ double bounce ซึ่งเป็นกรณีเฉพาะของพื้นที่ เมืองหรือโครงสร้างแนวตั้งที่ส่งผลให้ค่าการสะท้อนสูงกว่าปกติ	62
ภาพประกอบที่ 3.6 แสดงการสะท้อนสัญญาณเรดาร์จากพื้นผิวแบบต่างๆ	64
ภาพประกอบที่ 3.7 แสดงการกระจายเชิงปริมาตร	64
ภาพประกอบที่ 4.1 Simplified Geometry of a SAR	73
ภาพประกอบที่ 4.2 แสดงพิสัยเอียง (Slant range)	75

ภาพประกอบที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Ground range กับ Slant range	76
ภาพประกอบที่ 4.4 แสดงผลของเรขาคณิตการถ่ายภาพแบบ Slant Range ที่ทำให้เกิดความบิดเบือนของข้อมูลเรดาร์	78
ภาพประกอบที่ 5.1 แสดงเปรียบเทียบภาพ Sentinel-1 (VV) ก่อนและหลังการประยุกต์ Speckle Filter (Refined Lee, window = 5x5)	87
ภาพประกอบที่ 5.2 แสดงกระบวนการฝังการ Pre-processing ข้อมูล SAR	89
ภาพประกอบที่ 5.3 ซอฟต์แวร์ที่สามารถดาวน์โหลดได้ตามความต้องการ	90
ภาพประกอบที่ 5.4 แสดงขั้นตอนในการเริ่มต้นการติดตั้ง	91
ภาพประกอบที่ 5.5 แสดงขั้นตอนการติดตั้งหลังจากยอมรับข้อตกลงเบื้องต้นในการติดตั้ง	91
ภาพประกอบที่ 5.6 แสดงตำแหน่งที่ผู้ใช้ต้องการลงซอฟต์แวร์และองค์ประกอบตามต้องการ	92
ภาพประกอบที่ 5.7 การเลือกองค์ประกอบของซอฟต์แวร์	93
ภาพประกอบที่ 5.8 แสดงขั้นตอนในการลงซอฟต์แวร์เสร็จสมบูรณ์ จากนั้นให้คลิก Finish	93
ภาพประกอบที่ 6.1 แสดงกระบวนการในการเกิดสเปกเคิล (Speckle)	98
ภาพประกอบที่ 6.2 แสดงขั้นตอนการวัดระยะทางด้วยสัญญาณ SAR	99
ภาพประกอบที่ 6.3 แสดงชนิดของ Radar Interferometry	100
ภาพประกอบที่ 6.4 แสดง อินเทอร์เน็ตโรมเมทรีสำหรับภูมิภาค	101
ภาพประกอบที่ 6.5 แสดงตัวเลือกการรวบรวมข้อมูล I	102
ภาพประกอบที่ 6.6 แสดงตัวเลือกการรวบรวมข้อมูล II	103
ภาพประกอบที่ 6.7 แสดงอินเทอร์เน็ตโรมเมทรีดิฟเฟอเรนเชียล	104
ภาพประกอบที่ 6.8 แสดงอินเทอร์เน็ตโรมเมทรีดิฟเฟอเรนเชียลและภูมิภาค	105
ภาพประกอบที่ 6.9 แสดงการแกะเฟส	107
ภาพประกอบที่ 6.10 แสดงการจัดซื้อคลื่นทั้งการส่งและการรับ	110
ภาพประกอบที่ 6.11 แสดงกลไกของการกระเจิง	111
ภาพประกอบที่ 6.12 แสดงค่ามุม α (alpha angle) และความสัมพันธ์กับประเภทการกระเจิงหลักในข้อมูล Polarimetric SAR	113
ภาพประกอบที่ 6.13 แสดงการจำแนก H- α 9 โซน	116
ภาพประกอบที่ 6.14 ขั้นตอนการเข้าถึงข้อมูล	117
ภาพประกอบที่ 6.15 แสดงขั้นตอนในการทำ Pre-processing	117
ภาพประกอบที่ 6.16 แสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูล	118

	หน้า
ภาพประกอบที่ 6.17 แสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูล	118
ภาพประกอบที่ 6.18 แสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูล	119
ภาพประกอบที่ 6.19 แสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูล	119
ภาพประกอบที่ 6.20 แสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูล	120
ภาพประกอบที่ 7.1 แสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล	129
ภาพประกอบที่ 7.2 แสดงสัมประสิทธิ์การกระจุกกลับ จากสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภท	129
ภาพประกอบที่ 7.3 แสดงแผนที่ผลการจำแนกด้วย (a) Random Forest, (b) KDTree KNN และ (c) Maximum Likelihood	131
ภาพประกอบที่ 7.4 แสดงผลการนำพื้นที่น้ำท่วมขังที่สกัดได้มาซ้อนทับกับ (a) Random Forest, (b) KDTree KNN และ (c) Maximum Likelihood	132
ภาพประกอบที่ 8.1 แสดงหน้าจอหลักของ Copernicus Data Space Ecosystem	147
ภาพประกอบที่ 8.2 แสดงหน้าจอหลักของการสืบค้นข้อมูลจาก Copernicus Data Space Ecosystem	148
ภาพประกอบที่ 8.3 แสดงหน้าจอหลักของ Sentinel-1 Product Specification	149
ภาพประกอบที่ 8.4 แสดงหน้าจอหลักของภารกิจ UAVSAR / NISAR	150
ภาพประกอบที่ 8.5 แสดงหน้าจอหลักของภารกิจ UAVSAR / NISAR	151
ภาพประกอบที่ 8.6 แสดงหน้าจอหลักของ Earthdata และ ASF Vertex	152
ภาพประกอบที่ 8.7 แสดงหน้าจอหลักของ Earthdata และ ASF Vertex	153
ภาพประกอบที่ 8.8 แสดงหน้าจอหลักของ JAXA	154
ภาพประกอบที่ 8.9 แสดงหน้าจอหลักของ RADARSAT-2 Canada	155
ภาพประกอบที่ 8.10 แสดงหน้าจอหลักของ EODMS	156
ภาพประกอบที่ 8.11 แสดงหน้าจอหลักของ Soil moisture	157
ภาพประกอบที่ 8.12 แสดงหน้าจอหลักของ ESA Soil Moisture	157

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงเครื่องวัดไมโครเวฟ และเป้าหมายที่ทำการวัดและศึกษา	3
ตารางที่ 1.2 แสดงชื่อดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในย่านไมโครเวฟและรายละเอียด	10
ตารางที่ 1.3 แสดงรายชื่อดาวเทียมในย่าน Active และ Passive	18
ตารางที่ 2.1 แสดงความแตกต่างของแบนด์ต่างๆ ในย่านไมโครเวฟและการประยุกต์ใช้	36
ตารางที่ 2.2 แสดงตัวกรองที่นิยมใช้	53
ตารางที่ 3.1 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อน	66
ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลสรุปของการตอบสนองจากวัตถุประเภทต่างๆ	67
ตารางที่ 6.1 แสดงความแตกต่างของค่า $H-\alpha$ Plane	114
ตารางที่ 6.2 แสดงตัวอย่างของการจำแนกโซน $H-\alpha$	115
ตารางที่ 7.1 แสดงบทความวิจัยเพิ่มเติมที่มีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในย่านไมโครเวฟ	141
ตารางที่ 8.1 แสดงแหล่งข้อมูล SAR Data Source	158

บทที่ 1

บทนำ

(Introduction to Microwave Remote Sensing)

1.1 เนื้อหา

การศึกษาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในระบบไมโครเวฟ การบันทึก สื่อบันทึก รูปแบบการใช้งาน ตลอดจนดาวเทียมที่ใช้สำหรับบันทึกภาพถ่ายในย่านสำรวจไมโครเวฟ

1.2 แนวคิด

การสำรวจข้อมูลจากระยะไกลประกอบด้วย 2 ระบบใหญ่ๆ ได้แก่ ระบบ Passive และ Active โดยการสำรวจข้อมูลในย่านไมโครเวฟเป็นแบบ Active ซึ่งไม่ต้องอาศัยพลังงานจากดวงอาทิตย์ดังนั้นจึงทำให้สามารถทำการบันทึกภาพได้ทั้งกลางวันและกลางคืนและทะเลหิมะและเมฆหมอกต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อให้บัณฑิตสามารถอธิบายหลักการเบื้องต้นของการได้มาซึ่งภาพถ่ายจากดาวเทียมในระบบไมโครเวฟได้

1.3.2 เพื่อให้บัณฑิตสามารถจำแนกประเภทของดาวเทียมและภาพถ่ายจากดาวเทียมในระบบไมโครเวฟได้

1.3.3 เพื่อให้บัณฑิตสามารถประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียมในระบบไมโครเวฟได้อย่างเหมาะสม

1.4 บทนำ

ไมโครเวฟรีโมทเซนซิงซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในงานสังเกตการณ์โลก เนื่องจากความสามารถในการทะลุผ่านเมฆและฝน ทำให้สามารถเก็บข้อมูลของพื้นผิวโลกได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกสภาพอากาศ เทคโนโลยีนี้ไม่เพียงแต่ช่วยให้เราเข้าใจปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ซับซ้อน เช่น การเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศและทรัพยากรธรรมชาติ แต่ยังเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพในการวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในระยะยาว บทนี้จึงมุ่งเน้นให้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหลักการ ทำงานของไมโครเวฟรีโมทเซนซิง ประกอบด้วยการอธิบายคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ และการประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ เพื่อเป็นรากฐานให้กับผู้เรียนในการพัฒนาความเข้าใจ และการประยุกต์ใช้ข้อมูลรีโมทเซนซิงในงานวิจัยและการจัดการทรัพยากรในอนาคต

พลังงานในช่วงคลื่นไมโครเวฟ มีลักษณะเด่น 2 ประการ คือ ประการแรกสามารถทะลุผ่านบรรยากาศในทุกสภาพอากาศ เช่น ขณะฝนตก หิมะตก กลุ่มเมฆหมอกควันต่างๆ การแปลงพลังงานไมโครเวฟจากวัตถุบนพื้นผิวโลก ไม่มีส่วนสัมพันธ์หรือเป็นลักษณะเดียวกันกับพลังงานในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นหรือในช่วงคลื่นความร้อน ตัวอย่าง เช่น พื้นผิวที่เห็นว่ามี ความขรุขระในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น อาจจะเป็นผิวนราบเรียบเมื่ออยู่ในช่วงไมโครเวฟ

1.5 ชนิดของเครื่องวัดในย่านไมโครเวฟ

เครื่องวัดในย่านไมโครเวฟมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิด พาสซีฟ เมื่อพลังงานจากดวงอาทิตย์มาตกกระทบได้มีการกระเจิงกลับมายังเครื่องวัด และชนิดแอกทีฟ ใช้พลังงานที่สร้างขึ้นเองจากเครื่องตรวจวัด ส่งพลังงานมาตกกระทบวัตถุใดๆที่อยู่บนพื้นโลก แล้วการกระเจิงกลับมายังเครื่องตรวจวัด

1.5.1 ย่านไมโครเวฟระบบพาสซีฟ

พื้นผิวโลกจะแผ่รังสีไมโครเวฟ (Microwave radiation) ซึ่งเกิดจากการแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation) ของพื้นผิวโลก เมื่อเปรียบเทียบกับ การแผ่รังสีของวัตถุดำ (Blackbody) ในย่านที่ตามองเห็น การแผ่รังสีทั้งสองขึ้นอยู่กับกฎของพลังค์ ในขณะที่การแผ่รังสีความร้อนอธิบายได้โดยใช้กฎการถ่ายเทรังสี โดยอาศัยกฎของเรย์เลย์จิน (Rayleigh Jeans Radiation Law) โดยที่การแผ่รังสีความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุนั้นวัตถุนั้น (Real Body) มักเรียกว่า วัตถุสีเทา (Gray Body) มีสภาพเปล่งรังสี (Emissivity, ϵ) น้อยกว่าวัตถุดำ สภาพเปล่งรังสี หมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังเปล่งรังสีทั้งหมดของวัตถุกับกำลังเปล่งรังสีทั้งหมดของวัตถุกับกำลังเปล่งรังสีของวัตถุดำแบบสมบูรณ์ อนุกรมเดียวกัน สภาพเปล่งรังสีของวัตถุเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับสภาพยอมให้ผ่าน (Permittivity) ความขรุขระของพื้นผิวความถี่ การโพลาไรซ์ (Polarization) มุกตกกระทบ สิ่งเหล่านี้มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิความสว่าง (Brightness Temperature)

ย่านไมโครเวฟระบบพาสซีฟใช้เครื่องตรวจวัดที่เรียกว่า เครื่องวัดคลื่นไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ (Microwave Radiometer) มีสายอากาศ (Antenna) เป็นตัวรับสัญญาณ สายอากาศเป็นตัวแปลงที่มีความถี่สูงให้เป็นคลื่นวิทยุ หรือใช้เป็นเครื่องมือรับส่งคลื่นวิทยุได้ ใช้กับระบบแอกทีฟและพาสซีฟในย่านไมโครเวฟ

1.5.2 ย่านไมโครเวฟระบบแอกทีฟ

ย่านไมโครเวฟระบบแอกทีฟมีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้นเองจากเครื่องตรวจวัด แล้วรับคลื่นพลังงานที่การกระเจิงกลับเข้าสู่เครื่องตรวจวัดอีกครั้ง เครื่องตรวจวัดชนิดแอกทีฟ ได้แก่ ไมโครเวฟสแคตเทอโรมิเตอร์ (Microwave Scatter Meter) ไมโครเวฟอัลติมิเตอร์ (Altimeter) และเรดาร์ถ่ายภาพ

(Imaging Radar) ไมโครเวฟสแคตเทอโรมิเตอร์ ตรวจวัดปริมาณความชื้นในดิน ความขรุขระของพื้นผิว การกระจายของน้ำแข็งในทะเล การกระจายของหิมะ มวลชีวภาพ อุณหภูมิผิวน้ำทะเล ใอน้ำความเข้มข้นของหยาดน้ำฟ้า คลื่นในมหาสมุทร ไมโครเวฟอัลติมิเตอร์ ตรวจวัดความสูงต่ำของผิวน้ำทะเล จีอออยด์ (Geoids) ความสูงของคลื่นในมหาสมุทร การเปลี่ยนแปลงของกระแสน้ำในมหาสมุทร ความเร็วลม รายละเอียดดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงเครื่องวัดไมโครเวฟ และเป้าหมายที่ทำการวัดและศึกษา

ประเภทเครื่องวัด	ชนิดเครื่องมือ	เป้าหมายการตรวจวัด
พาสซีฟ	ไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์	ลมไกลผิวน้ำทะเล, อุณหภูมิผิวน้ำทะเล, สภาวะของทะเล
		ความเค็มน้ำทะเล, น้ำแข็งทะเล
		ไอน้ำ, ปริมาณน้ำในเมฆ, โอโซน, ละอองลอย
แอกทีฟ	ไมโครเวฟสแคตเทอโรมิเตอร์	ความชื้นในดิน, ความขรุขระของพื้นผิว
		น้ำแข็งทะเลและทะเลสาบ, หิมะ
		มวลชีวภาพ, สภาวะทะเล
แอกทีฟ	ไมโครเวฟอัลติมิเตอร์	คลื่นในมหาสมุทร, ลมไกลผิวน้ำทะเล (ทิศทางและความเร็ว)
		ความสูงผิวน้ำทะเลและจีอออยด์
		ความสูงคลื่น, กระแสน้ำ, น้ำขึ้น-น้ำลง, ความเร็วลม
แอกทีฟ	เรดาร์ถ่ายภาพ (SAR)	ภาพผิวน้ำโลก, ภูมิประเทศ, ธรณีวิทยา
		คลื่นทะเล, ลมไกลผิวน้ำทะเล
		ภูมิประเทศใต้น้ำ, การเฝ้าตรวจน้ำแข็งทะเล

(ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2562)