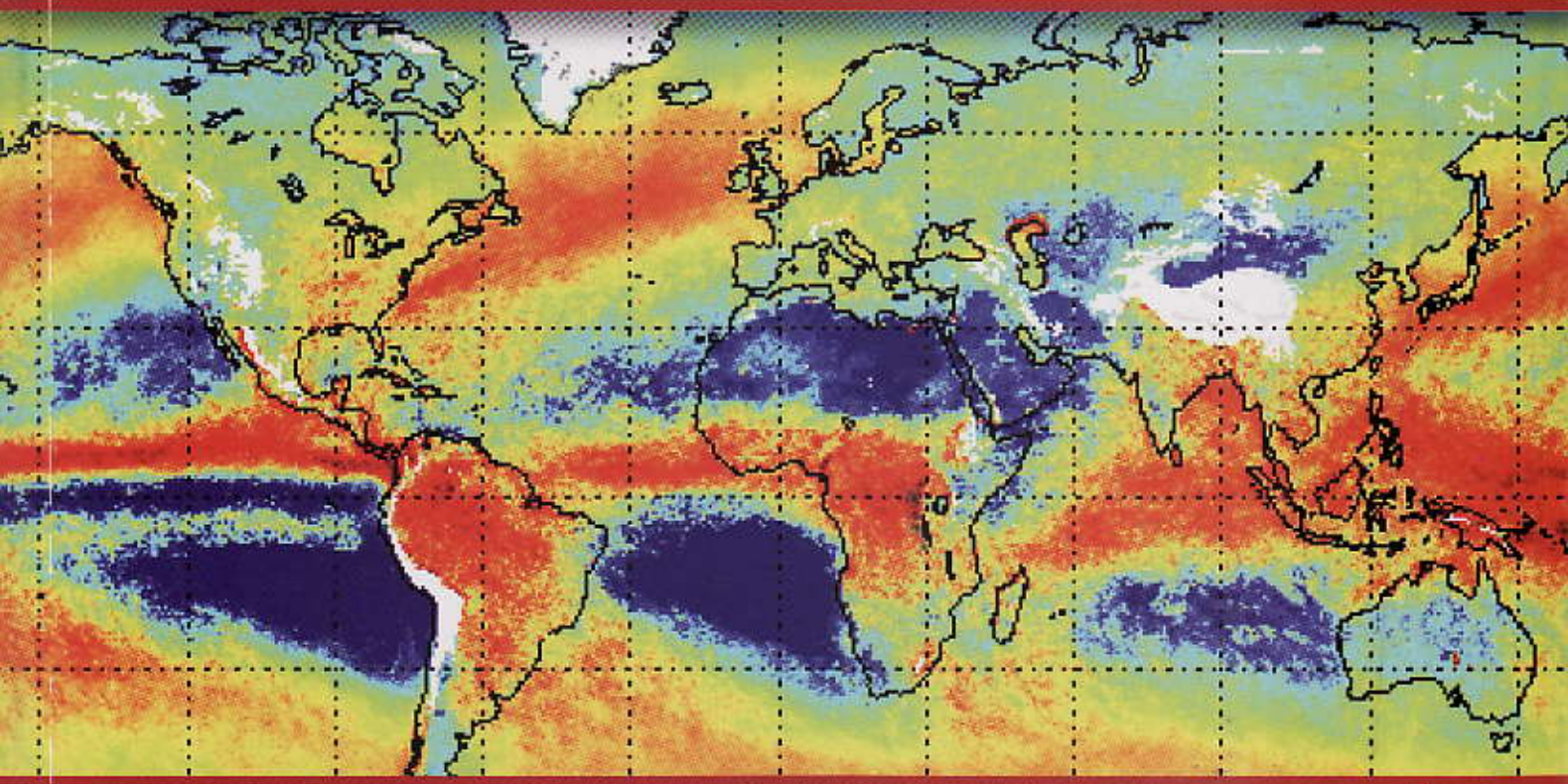
การรับรู้ระยะไกลหยาดน้ำฟ้าทั่วโลก ด้วยดาวเทียมคลื่นมิลลิมิเตอร์เวฟแบบแพสซิฟ และการพยากรณ์อากาศเชิงเลขความละเอียดสูงสำหรับประเทศไทย



เล่มที่ 1

ผศ.ดร. ชินวัชร์ สุรัสวดี

Ph.D. (Electrical Engineering) จาก
Massachusetts Institute of Technology (MIT) ประเทศสหรัฐอเมริกา

.577
ร9ก
57
ล2

- โนโลยีรุ่นใหม่ ของมูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในพระบรมราชูปถัมภ์ พ.ศ. 2555
- วิจัยระดับดีเด่น สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย ของสภาวิจัยแห่งชาติ พ.ศ. 2556
- ย์ตัวอย่างรุ่นใหม่ ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พ.ศ. 2556
- รางวัลบุคลากรดีเด่น ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พ.ศ. 2555
- รางวัลวิทยานิพนธ์ระดับดีเยี่ยม สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย ของสภาวิจัยแห่งชาติ พ.ศ. 2550
- Senior Member ของ Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
- ผู้ก่อตั้งเว็บไซต์ www.worldmeteorology.com และ โปรแกรม WMApp ใช้กับ Android และ iOS

สำนักหอสมุดกลาง CENTRAL LIBRARY

การรับรู้ระยะไกลหยาดน้ำฟ้าทั่วโลกด้วยดาวเทียมคลื่นมิลลิมิเตอร์เวฟแบบแพสซิฟ และการพยากรณ์อากาศเชิงเลขความละเอียดสูงสำหรับประเทศไทย เล่มที่ 1

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชินวัชร์ สุรัสวดี (Chinnawat Surussavadee)
ผู้อำนวยการ โครงการจัดตั้งบัณฑิตวิทยาลัยสหวิทยาการวิทยาศาสตร์ระบบโลกและการจัดการภัยธรรมชาติอันดามัน (ESSAND)
ผู้อำนวยการ สถานวิจัยสิ่งแวดล้อมและภัยธรรมชาติอันดามัน (ANED)
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

เลขทะเบียน M 0149061
วันลงทะเบียน 2 5 เม.ย. 2559
เลขเรียกหนังสือ 551.577 ส569ก 2557 ล.1 ฉ.2

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

ชินวัชร์ สุรัสวดี.

การรับรู้ระยะไกลหยาดน้ำฟ้าทั่วโลกด้วยดาวเทียมคลื่นมิลลิมีเตอร์เวฟแบบแพสซิฟและการพยากรณ์อากาศเชิงเลขความละเอียดสูงสำหรับประเทศไทย เล่มที่ 1.-- กรุงเทพฯ : สื่อสร้างสรรค์พัฒนา , 2557.

196 หน้า.

1. ดาวเทียม. I. ชื่อเรื่อง.

526.982

ISBN 978-616-91973-1-7

ชื่อหนังสือ การรับรู้ระยะไกลหยาดน้ำฟ้าทั่วโลกด้วยดาวเทียมคลื่นมิลลิมิเตอร์เวฟแบบแพสซิฟ และการพยากรณ์อากาศเชิงเลขความละเอียดสูงสำหรับประเทศไทย เล่มที่ 1

ชื่อผู้แต่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชินวัชร์ สุรัสวดี

ลิขสิทธิ์ของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชินวัชร์ สุรัสวดี

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 2,000 เล่ม มีนาคม พ.ศ. 2557

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

บริษัท สื่อสร้างสรรค์พัฒนา จำกัด

555 ถนนพุทธมณฑล สาย 2 แขวงศาลาธรรมสพน์

เขตทวีวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10170

โทร. 0 2887 4114 โทรสาร 0 2887 4114

สงวนลิขสิทธิ์หนังสือเล่มนี้ พระราชบัญญัติ พ.ศ. 2537 ห้ามคัดลอกเนื้อหา ภาพประกอบ รวมทั้งดัดแปลงเป็นแถบบันทึกเสียง ตลับวีดีทัศน์ หรือเผยแพร่ด้วยรูปแบบและวิธีการอื่นใดก่อนได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของลิขสิทธิ์เท่านั้น

คำนำ

หนังสือที่ปรากฏต่อท่านผู้อ่านขณะนี้ ผู้เขียนหนังสือและในฐานะเป็นผู้วิจัยได้ดำเนินการจนครบวงจรแล้ว ดังนี้

เล่มที่ 1 นำเสนอองค์ความรู้และทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย (บทที่ 1-6)

เล่มที่ 2 นำเสนอผลงานวิจัยและตัวอย่างการประยุกต์ใช้ (บทที่ 1-11)

ผลต่อเนื่องจากหนังสือสองเล่มดังกล่าว ผู้เขียนได้นำไปประยุกต์ใช้และให้บริการทางวิชาการแก่สังคมแล้ว สามารถดูได้ที่ http://www.worldmeteorology.com

ผลงานวิจัยที่ปรากฏในเล่มที่ 2 ในส่วนที่เกี่ยวกับอัลกอริทึมประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าทั่วโลกสำหรับดาวเทียมมิลลิมิเตอร์เวฟแบบแพสซิฟ AMSU MIT Precipitation Retrieval Algorithm (AMP) ที่ผู้เขียนและผู้ร่วมวิจัย (Prof. Dr. David H. Staelin) ได้พัฒนาขึ้น ประสบความสำเร็จเป็นอย่างมากและได้ทำให้เกิดความก้าวหน้าที่สำคัญของเทคโนโลยีด้านนี้ อัลกอริทึม AMP สามารถประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าทั่วโลกได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และเป็นอัลกอริทึมแรกของโลกที่สามารถประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าสำหรับพื้นที่ที่มีหิมะปกคลุมและทะเลน้ำแข็งได้สำเร็จ ถือได้ว่าเป็นอัลกอริทึมที่ทันสมัยที่สุดในปัจจุบัน การรับรู้ระยะไกลหยาดน้ำฟ้าจากดาวเทียมเป็นวิธีการเดียวที่จะได้ข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกทุกวัน คลื่นมิลลิมิเตอร์เวฟมีประสิทธิภาพสูงในการรับรู้หยาดน้ำฟ้าเนื่องจากสามารถแทรกซึมผ่านเมฆได้ ผลการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าจากดาวเทียมมิลลิมิเตอร์เวฟแบบแพสซิฟจึงมีประโยชน์เป็นอย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค ให้มีประสิทธิภาพ และมีประโยชน์ต่อการตรวจตราและการเตือนภัยธรรมชาติล่วงหน้า เช่น อุทกภัย วาตภัย ดินถล่ม และภัยแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปัญหาภัยธรรมชาติในปัจจุบันมีความรุนแรงมากขึ้นและเกิดขึ้นบ่อยครั้งขึ้นทั่วโลก

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาอุปกรณ์รับรู้คลื่นมิลลิมิเตอร์เวฟแบบแพสซิฟสำหรับใช้บนดาวเทียมเพื่อตรวจวัดหยาดน้ำฟ้าทั่วโลกนั้น สามารถทำนายความแม่นยำในการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าของอุปกรณ์รับรู้และให้คำตอบเกี่ยวกับข้อกำหนดที่เหมาะสมของอุปกรณ์รับรู้ก่อนที่จะผลิตและใช้งานจริง ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการพัฒนาโครงการดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาคลื่นมิลลิมิเตอร์เวฟแบบแพสซิฟได้มาก

นอกจากนี้ ผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาระบบพยากรณ์อากาศเชิงเลขความละเอียดสูงสำหรับประเทศไทย เป็นประโยชน์อย่างมากต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ การประกอบอาชีพ และการเตือนภัยธรรมชาติล่วงหน้า ผลงานวิจัยดังกล่าวทำให้เกิดความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านการพยากรณ์อากาศสำหรับประเทศไทย โดยสามารถให้ผลการพยากรณ์อากาศที่เป็นประโยชน์ล่วงหน้าประมาณ 10 ชั่วโมง ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 5 กิโลเมตร

จากประโยชน์และความก้าวหน้าทางวิชาการที่สำคัญดังกล่าวข้างต้น ทำให้ผู้เขียนเห็นถึงความจำเป็นในการนำเสนอหนังสือเป็นฉบับภาษาไทย เพื่อให้ประชาชนไทยได้มีโอกาสศึกษาอย่างกว้างขวาง ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือนี้จะเป็นประโยชน์กับนักศึกษาในมหาวิทยาลัย บุคลากรทางการศึกษา นักวิจัย ผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องในการแก้ไขปัญหาที่สำคัญของชาติ และผู้สนใจทั่วไป ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือการจุดประกายความคิดให้กับผู้อ่านโดยทั่วไปได้มีส่วนร่วมและร่วมกันพัฒนาองค์ความรู้และเทคโนโลยีทางด้านนี้ต่อไป ในอันที่จะก่อให้เกิดประโยชน์แก่ประชาชนไทยและมวลมนุษยชาติ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชินวัชร์ สุรัสวดี

มีนาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความท้าทายของการได้มาซึ่งข้อมูลหยาดน้ำฟ้าทั่วโลกที่ถูกต้องแม่นยำ	1
1.2 ความสำคัญและความท้าทายของการพยากรณ์อากาศที่ถูกต้องแม่นยำในเขตร้อน	3
1.3 ประเด็นหลักที่นำเสนอ	4
1.3.1 ผลงานวิจัยหลักเรื่องที่ 1	5
1.3.2 ผลงานวิจัยหลักเรื่องที่ 2	10
1.3.3 ผลงานวิจัยหลักเรื่องที่ 3	13
1.4 ลำดับการนำเสนอของหนังสือ	14
1.5 หน่วยที่ใช้	18
1.6 คำอุปสรรคของหน่วย (Unit Prefix)	19
บทที่ 2 หยาดน้ำฟ้า (Precipitation)	21
2.1 ความหมายและความสำคัญของหยาดน้ำฟ้า	21
2.2 วัฏจักรของน้ำ (Water Cycle)	22
2.3 โครงร่างในแนวดิ่งของบรรยากาศ	24
2.4 การเปลี่ยนสถานะของน้ำ	27
2.5 การอิ่มตัว (Saturation)	28
2.6 ความดันไอ (Vapor Pressure)	30
2.7 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) และจุดน้ำค้าง (Dew Point)	31
2.8 การก่อตัวของเมฆ	32
2.8.1 ผลของความโค้ง (Curvature Effect)	32
2.8.2 การเกิดนิวเคลียส (Nucleation)	33
2.9 เสถียรภาพของบรรยากาศ (Atmospheric Stability)	36
2.9.1 การเย็นลงและการร้อนขึ้นแบบแอเดียแบติก (Adiabatic Cooling and Warming)	36
2.9.2 การพิจารณาความมีเสถียรภาพของบรรยากาศ	39

หน้า

2.10 กลไกการยกตัวขึ้นของอากาศ 43
2.11 การจำแนกประเภทของเมฆ 44
2.12 กระบวนการหยาดน้ำฟ้า (Precipitation Process) 46
2.12.1 กระบวนการชนและรวมตัว (Collision-Coalescence Process) 47
2.12.2 กระบวนการเบอร์เจอรอน (Bergeron Process) 49
2.12.3 การงอกโดยสะสม (Accretion) และการรวมกลุ่ม (Aggregation) 51
2.13 ประเภทของหยาดน้ำฟ้า 52
บทที่ 3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) 56
3.1 บทนำ 56
3.2 จำนวนเชิงซ้อน (Complex Number) 57
3.3 ตัวดำเนินการ (Operator) และเอกลักษณ์ (Identity) ของเวกเตอร์ 58
3.4 สมการของ Maxwell (Maxwell's Equations) 60
3.5 สมการคลื่น (Wave Equation) และคำตอบของสมการของ Maxwell 62
3.6 สนามฮาร์มอนิกในเวลา (Time-Harmonic Field) 65
3.7 ความเร็วเฟส (Phase Velocity) 66
3.8 โพลาไรเซชัน (Polarization) 68
3.9 ทฤษฎีพอยน์ทติ้ง (Poynting's Theorem) 71
3.10 คุณสมบัติทางควอนตัม (Quantum) ของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า 74
3.11 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) 74
3.12 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสื่อแบบสูญเสียที่มีคุณสมบัติเดียวกัน (Lossy Homogeneous Media) 79
3.13 เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) 81
3.14 คลื่นที่ขอบเขตเชิงระนาบ 82
3.14.1 เวกเตอร์คลื่น (Wave Vector) 82
3.14.2 การสะท้อนและการเดินทางผ่านของคลื่นที่ขอบเขต 83

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อินวิชร์ สุรัสวดี

หน้า

3.14.3 มุมวิกฤติ (Critical Angle) 89

3.14.4 มุมบรูสเตอร์ (Brewster Angle) และการสะท้อนเท่ากับศูนย์ 90

บทที่ 4 สายอากาศ (Antenna) 92

4.1 บทนำ 92

4.2 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ 93

4.2.1 แบบรูปของการแผ่รังสีที่ถูกทำให้เป็นมาตรฐาน 94

4.2.2 มิติของลำ (Beam Dimension) 98

4.2.3 มุมตันและประสิทธิภาพของลำ 99

4.2.4 สภาพเจาะจงทิศทางและอัตราขยายของสายอากาศ 100

4.3 การสื่อสารข้อมูลระหว่างสายอากาศฝ่ายส่งและฝ่ายรับ 101

4.4 ผลเฉลยแบบสถิต (Static) ของสมการของ Maxwell 102

4.4.1 สนามไฟฟ้าสถิต 103

4.4.2 สนามแม่เหล็กสถิต 105

4.5 การแผ่รังสีโดยกระแสและประจุพลวัต 106

4.6 สายอากาศแบบเฮิร์ทเซียนไดโพล (Hertzian Dipole) 108

4.7 สายอากาศแบบไดโพลสั้น (Short-Dipole Antenna) 111

4.8 สายอากาศโลหะแบบยาว (Long Wire Antenna) 113

4.9 แถวลำดับของสายอากาศไดโพล 113

4.9.1 แถวลำดับของสองไดโพล 114

4.9.2 แถวลำดับของไดโพล 117

4.10 สายอากาศแบบช่อง 118

บทที่ 5 การวัดรังสีคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Radiometry) 125

5.1 บทนำ 125

5.2 ความแรงรังสี (Radiance) การรับอาบรังสี (Irradiance) และการเปล่งรังสี (Radiance Exitance) 125

หน้า

5.3 การแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation) 127
5.3.1 กฎการแผ่รังสีจากวัตถุดำของ Planck (Planck's Black-Body Radiation Law) 128
5.3.2 กฎของ Stefan-Boltzmann (Stefan-Boltzmann Law) 130
5.3.3 กฎการกระจัดของ Wien (Wien's Displacement Law) 130
5.3.4 กฎการแผ่รังสีของ Wien (Wien Radiation Law) 130
5.3.5 กฎของ Rayleigh-Jeans (Rayleigh-Jeans Law) 131
5.4 อุณหภูมิความสว่าง (Brightness Temperature) 131
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับอุณหภูมิ 132
5.6 อุณหภูมิสายอากาศ (Antenna Temperature) 133
5.7 การกระทำระหว่างกัน (Interaction) ของคลื่นไมโครเวฟกับองค์ประกอบของบรรยากาศ 135
5.7.1 การดูดซับและการปลดปล่อยโดยก๊าซในบรรยากาศ 135
5.7.2 เอกซ์ทิงชันและการปลดปล่อยโดยเมฆและไฮโดรมิทีออร์ 137
5.7.3 ค่าคงที่ไดอีเลคตริค (Dielectric Constant) ของน้ำแข็งและตัวประกอบน้ำแข็ง (Ice Factor) $F(\lambda)$ 139
5.7.4 ฟังก์ชันเฟส (Phase Function) 142
5.8 การสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflection) 143
5.9 สมการการถ่ายโอนรังสี (Radiative Transfer Equation) 144
5.9.1 สมการการถ่ายโอนรังสีในกรณีบรรยากาศที่ไม่มีการกระเจิง 144
5.9.2 ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก (Weighting Function) 146
5.9.3 สมการการถ่ายโอนรังสีในกรณีบรรยากาศทั่วไป 147
5.9.4 วิธีการกระเจิงตามลำดับ (Successive Orders of Scattering Method) 149
บทที่ 6 วิธีการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing Method) 156
6.1 สัญกรณ์คณิตศาสตร์ (Mathematical Notation) 156

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชินวัชร์ สุริยวงศ์

หน้า

6.2 ระบบรับรู้คลื่นด้วยสายอากาศแบบช่อง (Aperture Antenna) 158
6.2.1 สายอากาศแบบช่องเติมเต็ม (Filled-Aperture Antenna) 162
6.2.2 การสังเคราะห์ช่องแบบแพสซิฟ (Passive Aperture Synthesis) 163
6.2.3 การทำให้ภาพคมชัดขึ้น (Image Sharpening) 168
6.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) 171
6.4 เครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network; NN) 177
บรรณานุกรม 182
ประวัติของผู้เขียน 187