



การพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าสำหรับดาวเทียมค้างฟ้า GOES
Development of a Precipitation Retrieval Algorithm for
the Geostationary Satellite GOES

อัจฉิมา ชานีรัตน์

Autjima Thaneerat

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Technology and Environmental Management
Prince of Songkla University

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าสำหรับดาวเทียมค้างฟ้า GOES
 ผู้เขียน นางสาวอัจจิมา ธานีรัตน์
 สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชินวัชร สุรัสวดี)

.....ประธานกรรมการ
 (ดร.วีระพงศ์ เกิดสิน)

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชินวัชร สุรัสวดี)

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระภาส คุณรัตนสิริ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น
 ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและ
 การจัดการสิ่งแวดล้อม

.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ _____

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชินวัชร สุรัสวดี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ _____

(นางสาวอัจฉิมา ธานีรัตน์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ _____

(นางสาวอัจฉิมา ธานีรัตน์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าสำหรับดาวเทียมค้างฟ้า GOES
ผู้เขียน	นางสาวอัจฉิมา ชานีรัตน์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าสำหรับอุปกรณ์รับรู้ในช่วงคลื่นอินฟราเรดแบบแพสซีฟ Imager บนดาวเทียมค้างฟ้า Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) ของประเทศสหรัฐอเมริกา อัลกอริทึมนี้ใช้วิธีเครือข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการฝึกและตรวจสอบความถูกต้องด้วยผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าทั่วโลก AMP (AMSU MIT Precipitation Retrieval Products) ที่ประมาณค่าจากการสังเกตของอุปกรณ์ตรวจวัดช่วงคลื่นไมโครเวฟ Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU)/Microwave Humidity Sounder (MHS) บนดาวเทียม NOAA-18 วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นศึกษาในพื้นที่ $60^{\circ}\text{S} - 60^{\circ}\text{N}$ และ $30^{\circ}\text{W} - 120^{\circ}\text{W}$ ใช้ข้อมูลทุกวันที่ 5, 15 และ 25 ของทุกเดือนใน พ.ศ. 2552 ผลการศึกษาพบว่า ค่าประมาณหยาดน้ำฟ้า GOES มีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 1 mm/h ขึ้นไป มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.648 สำหรับการเปรียบเทียบค่าประมาณหยาดน้ำฟ้า GOES กับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าจากการสังเกตของเรดาร์และมาตรวัดฝน National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Stage IV รายชั่วโมง รายวัน รายเดือน และรายปี แสดงให้เห็นว่า ค่าประมาณหยาดน้ำฟ้า GOES มีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 1 mm/h , 4 mm/day , 8 mm/month และ 144 mm/annual ขึ้นไปตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.624, 0.703, 0.706 และ 0.710 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การประมาณค่าหยาดน้ำฟ้า, เครือข่ายประสาทเทียม, ดาวเทียมค้างฟ้า Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES), ผลิตภัณฑ์อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (AMSU MIT Precipitation Retrieval Products)

Thesis Title	Development of a Precipitation Retrieval Algorithm for the Geostationary Satellite GOES
Author	Ms. Autjima Thaneerat
Major Program	Technology and Environmental Management
Academic	2014

ABSTRACT

The objective of this thesis is to develop a precipitation retrieval algorithm for the passive infrared sensor Imager aboard the United States Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) satellite. The algorithm employs the neural network method trained and evaluated using the AMSU MIT Precipitation retrieval products (AMP) estimated from observations of the passive microwave sensors Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) and Microwave Humidity Sounder (MHS) aboard the NOAA-18 satellite. This thesis focuses the area within 60°S - 60°N and 30°W - 120°W and employs data from days 5, 15, and 25 of all months during January to December in year 2009. Results show GOES estimates are useful for rates higher than 1 mm/h. The correlation coefficient between GOES estimates and AMP surface precipitation rates is 0.648. Comparisons of GOES precipitation retrievals with the radar precipitation retrieval of products National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Stage IV show that hourly, daily, monthly, and annual show GOES estimates are useful for rates higher than 1 mm/h, 4 mm/day, 8 mm/month and 144 mm/annual, respectively. And correlation coefficient are 0.624, 0.703, 0.706 and 0.710, respectively.

Keywords: Precipitation retrieval algorithm, neural network, Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES), AMSU MIT Precipitation retrieval products (AMP)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	(5)
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการรูป	(11)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(13)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	5
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	7
2.1 ดาวเทียม	7
2.2 เทคโนโลยีดาวเทียม	19
2.3 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา	25
2.4 ค่าทางสถิติที่ใช้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง	35
2.5 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	37
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	42
3.1 พื้นที่การศึกษา	42
3.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 วิธีการวิจัย	45
บทที่ 4 ผลและบทวิจารณ์ผลการวิจัย	56
4.1 ผลการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า	56
4.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม	64
4.3 วิจารณ์ผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า	80
บทที่ 5 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	81
5.1 สรุปผลการวิจัย	81
5.2 ข้อเสนอแนะ	83
เอกสารอ้างอิง	84
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก	90
ภาคผนวก ข	92
ประวัติผู้เขียน	104

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อมูลจำเพาะอุปกรณ์ตรวจวัด GOES Imager บนดาวเทียม GOES	13
2.2 ข้อมูลจำเพาะอุปกรณ์ตรวจวัด GOES Sounder บนดาวเทียม GOES	14
2.3 ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ตรวจวัด AMSU A/B บนดาวเทียม NOAA-18	16
3.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (mm/h) กับค่าอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียม GOES (K)	53
4.1 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม สำหรับช่วงกำหนดโดยหยาดน้ำฟ้าจริงจาก AMP (mm/h)	58
4.2 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม สำหรับช่วงกำหนดโดยค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/h)	65
4.3 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม สำหรับช่วงแบ่งโดยค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/day)	68
4.4 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม สำหรับช่วงแบ่งโดยค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/month)	70
4.5 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม สำหรับช่วงแบ่งโดยค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/annual)	72

รายการรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะวงโคจรของดาวเทียมอูคูนิยามิยา	9
2.2 ขอบเขตพื้นที่ที่ดำเนินการของดาวเทียม GOES	11
2.3 แบบจำลองดาวเทียม GOES-12	11
2.4 พื้นที่การสังเกตของดาวเทียม GOES-12 สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัด GOES Imager	12
2.5 แบบจำลองดาวเทียม NOAA-18	15
2.6 แถบวงโคจรของดาวเทียม NOAA-18	17
2.7 ข้อมูลจากดาวเทียม GOES-12 สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัด GOES Imager และดาวเทียม NOAA-18	18
2.8 คุณลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	20
2.9 การเปรียบเทียบการแพร่พลังงานรังสีของดวงอาทิตย์กับโลก	21
2.10 ค่าการส่งผ่านของพลังงานรังสีในแต่ละช่วงคลื่น	22
2.11 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	23
2.12 โครงสร้างสมองมนุษย์	26
2.13 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียม	27
2.14 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว	28
2.15 โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมหลายชั้น	29
2.16 รูปแบบเครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ	31
2.17 ฟังก์ชันการแปลงเชิงเส้น	32
2.18 ฟังก์ชันการแปลงแบบซิกมอยด์	33
2.19 ฟังก์ชันการแปลงแบบไฮเปอร์โบลิกแทนเจนต์	33
2.20 การกระจายของข้อมูลที่มีค่าการกระจายเหมือนกันแต่ระดับความสัมพันธ์ต่างกัน	36
3.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา	43
3.2 กระบวนการศึกษาวิจัยสำหรับการพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า	46
3.3 กระบวนการทำงานของเครือข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างแบบหลายชั้น	51

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 แผนภาพการกระจายระหว่างอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้และอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจริง AMP ในหน่วย mm/h	58
4.2 อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม (mm/h) โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด GOES ร่วมกับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าทั่วโลก AMP สำหรับเหตุการณ์พายุฝนในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน	59
4.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิความสว่างจากสี่ช่องสัญญาณอินฟราเรดของดาวเทียม GOES-12 (K)	61
4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิความสว่างจากสี่ช่องสัญญาณอินฟราเรดของดาวเทียม GOES-12 (K)	62
4.5 การเปรียบเทียบอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงจากผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าจริง AMP และค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม สำหรับเหตุการณ์พายุฝนในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน	63
4.6 แผนภาพการกระจายระหว่างอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV และอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม	66
4.7 การเปรียบเทียบอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงที่ประมาณค่าได้จากดาวเทียม GOES-12 ช่องสัญญาณ Imager กับค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV	73
4.8 การเปรียบเทียบอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันที่ประมาณค่าได้จากดาวเทียม GOES-12 ช่องสัญญาณ Imager กับค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV	75
4.9 การเปรียบเทียบอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนที่ประมาณค่าได้จากดาวเทียม GOES-12 ช่องสัญญาณ Imager กับค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV	77
4.10 การตรวจสอบผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีที่ประมาณค่าได้จากดาวเทียม GOES-12 ช่องสัญญาณ Imager เปรียบเทียบกับค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV ในช่วง พ.ศ. 2552	79

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ภัยพิบัติทางธรรมชาติเป็นปัญหาสำคัญ นับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้นทั่วทุกมุมโลก ส่งผลกระทบทั้งทางด้านเศรษฐกิจ ชีวิต และทรัพย์สินของประชาชนอย่างประเมินค่าไม่ได้ ในอดีตที่ผ่านมาประเทศไทยประสบปัญหาภัยพิบัติทางธรรมชาติบ่อยครั้ง ความเสียหายได้เกิดขึ้นในหลายพื้นที่ เช่น กรณีอุทกภัยน้ำท่วมและโคลนถล่มพื้นที่ 5 จังหวัดในเขตภาคเหนือตอนล่างช่วงปลายเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2549 นับได้ว่าเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติครั้งรุนแรงมากที่สุดในรอบกว่า 40 ปี (สมาคมอนุรักษ์สภาพแวดล้อมของกลุ่มอุตสาหกรรมน้ำมัน, 2549) ช่วงปลายเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากพายุไซลอนร้อนไหหมา (Haima) ส่งผลให้เกิดอุทกภัยน้ำท่วมฉับพลัน น้ำป่าไหลหลากและดินถล่มในพื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศไทย ประชาชนได้รับความเดือดร้อน 37,147 ครัวเรือน พื้นที่เกษตรเสียหายกว่า 53,227 ไร่ (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2554) ต่อมาช่วงปลายเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 ประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากพายุไซลอนนกเตน (Nock-Ten) ส่งผลให้เกิดอุทกภัยน้ำท่วมอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ในช่วงปลายเดือนเมษายน พ.ศ. 2551 ได้เกิดเหตุการณ์พายุไซโคลนนาร์กิส (Nargis) ในประเทศพม่า ถือเป็นภัยพิบัติครั้งรุนแรง ส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตกว่า 20,000 คน และมีผู้สูญหายกว่า 40,000 คน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2552) สำหรับกรณีประเทศสหรัฐอเมริกาได้เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น ช่วงปลายเดือนสิงหาคมใน พ.ศ. 2548 เกิดพายุเฮอริเคนแคทรินา (Katrina) ในมหาสมุทรแอตแลนติก ถือเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่มีมูลค่าความเสียหายสูงที่สุดและนับเป็นหนึ่งในห้าของพายุเฮอริเคนที่ทำให้มีผู้เสียชีวิตมากที่สุดในประวัติศาสตร์ของสหรัฐอเมริกา ในระหว่างการเกิดพายุและน้ำท่วมมีการประเมินมูลค่าการสูญเสียทรัพย์สินประมาณ 81 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ ถือได้ว่ามีจำนวนมากที่สุดในประวัติศาสตร์อเมริกา (Office of Senator Mary Landrieu, 2005) ต่อมาใน พ.ศ. 2552 เกิดพายุเฮอริเคนพัดถล่มประเทศเม็กซิโกและช่วงกลางเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556

ที่ผ่านมา เกิดพายุทอร์นาโดพัดถล่มทางตอนกลางของประเทศสหรัฐอเมริกาทำให้เกิดความเสียหายเป็นบริเวณกว้าง บ้านเรือนประชาชนมากกว่า 64,600 หลัง ไม่มีไฟฟ้าใช้ ส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตประชาชนมากถึง 53 ล้านคน (ไทยรัฐออนไลน์, 2556) ทั้งนี้ปัญหาภัยธรรมชาติเหล่านี้เป็นปัญหาเร่งด่วนที่จะต้องรีบดำเนินการแก้ไข การจัดเตรียมงบประมาณเพื่อบรรเทาความเสียหายที่เกิดขึ้นภายหลังคงไม่เพียงพอต่อการบรรเทาความเสียหายที่เกิดขึ้น แต่สามารถหาวิธีลดความรุนแรงและบรรเทาผลกระทบและความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นได้ โดยใช้มาตรการป้องกันความเสียหายและบริหารจัดการอย่างเป็นระบบ ทั้งนี้การพยากรณ์และเตือนภัยพิบัติถือเป็นมาตรการป้องกันความเสียหายและบรรเทาผลกระทบอย่างหนึ่ง

การพยากรณ์และเตือนภัยพิบัติทางธรรมชาติเป็นการประมาณลำดับขั้นตอนการเกิดภัยธรรมชาติ โดยพิจารณาปริมาณหยาดน้ำฟ้า และช่วงเวลาการเกิด ซึ่งแต่ละพื้นที่ปริมาณหยาดน้ำฟ้าจะแตกต่างกัน การเตือนภัยพิบัติเป็นการประกาศเตือนภัยล่วงหน้าก่อนเกิดภัยธรรมชาติในระยะเวลาอันใกล้เพื่อให้เตรียมการอย่างทันทั่วถึง ทั้งนี้การเตือนภัยพิบัติจะสัมฤทธิ์ผลเมื่อมีการเตือนอย่างทันเวลา มีความถูกต้องแม่นยำ และควรมีการให้ความรู้แก่ประชาชนในการเตรียมตัวและปฏิบัติตามแผนรับมือหลังการเตือนภัยพิบัติ

ข้อมูลหยาดน้ำฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่งที่สามารถเป็นข้อมูลเตือนภัยพิบัติได้ ข้อมูลหยาดน้ำฟ้าได้จากการตรวจวัดของมาตรวัดฝน เรดาร์ ดาวเทียม และอาจได้จากการคาดการณ์จากแบบจำลองการพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลข สำหรับข้อมูลจากมาตรวัดหยาดน้ำฟ้ามีขีดจำกัดหลายประการ เช่น ข้อมูลจากเรดาร์ภาคพื้นดินสามารถสังเกตครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างจำกัด และมีข้อจำกัดเรื่องการเบี่ยงเบนของคลื่นเรดาร์เมื่อผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น ภูเขาสูงทำให้ไม่สามารถตรวจจับเป้าหมายในห้วงบริเวณเงาของสิ่งกีดขวางได้ ส่วนสถานีวัดหยาดน้ำฟ้ามีขีดจำกัดด้านลม ลมอาจมีผลต่อความถูกต้องแม่นยำของหยาดน้ำฟ้าที่วัดได้ อีกทั้งถูกติดตั้งไว้เฉพาะจุดและแต่ละสถานีมีระยะทางห่างกัน นอกจากนี้ตำแหน่งที่ติดตั้งดังกล่าวอยู่บนแผ่นดินเท่านั้น ข้อมูลหยาดน้ำฟ้าจึงมีขีดจำกัดอยู่บนแผ่นดินเมื่อนำไปใช้สำหรับหาค่าหยาดน้ำฟ้าในพื้นที่อื่นๆ จึงทำให้ความถูกต้องแม่นยำลดลง สำหรับบางพื้นที่ข้อมูลหยาดน้ำฟ้าที่มีอยู่มีความถูกต้องแม่นยำต่ำ และเครื่องมือวัดที่มีอยู่สังเกตครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างจำกัดหรือมีความละเอียดเชิงเวลา (Temporal Resolution) ต่ำทำให้ต้องใช้ดาวเทียมหลายดวงจึงจะสามารถได้ข้อมูลหยาดน้ำฟ้าที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง

การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลหยาดน้ำฟ้าที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยจำเป็นต้องใช้แบบจำลองในการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้า ทั้งนี้เครือข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) ถือเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ด้านสิ่งแวดล้อม (Thirumalaiah and Deo, 1998) รวมถึงงานด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ

วิทยานิพนธ์นี้พัฒนาอัลกอริทึมเพื่อประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าสำหรับอุปกรณ์รับรู้ในช่วงคลื่นอินฟราเรดแบบแพสซีฟ Imager บนดาวเทียมค้างฟ้า Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) ของประเทศสหรัฐอเมริกา มีความถี่ในการสังเกตทุกครึ่งชั่วโมงทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงทิศทางและการเคลื่อนตัวของพายุได้ เนื่องจากมีความละเอียดเชิงเวลาสูง แต่ดาวเทียมค้างฟ้าช่วงคลื่นอินฟราเรด GOES ไม่สามารถตรวจวัดอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าได้โดยตรงสามารถวัดได้เพียงอุณหภูมิบริเวณส่วนบนของเมฆเท่านั้น การพัฒนาอัลกอริทึมนี้ใช้ผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าทั่วโลก AMSU MIT Precipitation Retrieval Products (AMP) ที่ประมาณค่าจากดาวเทียม NOAA-18 สำหรับฝึกและตรวจสอบความถูกต้อง โดยดาวเทียม NOAA-18 เป็นดาวเทียมวงโคจรใกล้ขั้วโลกจะสังเกตในช่วงคลื่นไมโครเวฟซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นที่ยาวสามารถสังเกตทะเลเมฆได้ทำให้ทราบอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าได้โดยตรง นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าประมาณหยาดน้ำฟ้า GOES กับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าจาก National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Stage IV ที่ประมาณค่าจากการสังเกตของเรดาร์และมาตรวัดฝนด้วย ทั้งนี้ข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากอัลกอริทึมดังกล่าวมีประโยชน์สำหรับการบริหารจัดการน้ำกสิกรรม และเตือนภัยพิบัติทางธรรมชาติ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าสำหรับใช้กับค่าอุณหภูมิความสว่างจากการสังเกตของดาวเทียมค้างฟ้า GOES ช่วงคลื่นอินฟราเรด
- 2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ากับค่าอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียม GOES

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) พัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าสำหรับอุปกรณ์รับรู้ Imager ช่วงคลื่นอินฟราเรด บนดาวเทียมค้างฟ้า GOES

2) พื้นที่การศึกษาครอบคลุมบางส่วนของทวีปอเมริกาใต้ไปจนถึงบางส่วนของประเทศเม็กซิโก ประเทศสหรัฐอเมริกา มหาสมุทรแอตแลนติก และมหาสมุทรแปซิฟิก (60°S - 60°N, 30°W - 120°W)

3) แหล่งข้อมูล

3.1) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม GOES จาก National Oceanic and Atmospheric Administration สืบค้นจาก <http://www.nsof.class.noaa.gov>

3.2) ข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าทั่วโลก AMP (AMSU MIT Precipitation Retrieval Products) จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชินวัชร สุรัสวดี ผู้อำนวยการบัณฑิตวิทยาลัยสหวิทยาการวิทยาศาสตร์ระบบโลกและการจัดการภัยธรรมชาติอันดามัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

4) ข้อมูลที่ใช้สำหรับการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าอยู่ในระหว่างเดือนมกราคม - ธันวาคม พ.ศ. 2552 โดยใช้ข้อมูลทุกวันที่ 5, 15 และ 25 ของแต่ละเดือน เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ศึกษามีจำนวนมากส่งผลให้มีข้อจำกัดด้านการประมวลผลข้อมูล จึงเลือกโดยใช้ตัวแทนของข้อมูลทุกต้นเดือน กลางเดือน และปลายเดือน ทั้งนี้ข้อมูลทุกวันที่ 5, 15 และ 25 ของทุกเดือนใน พ.ศ. 2552 ดังกล่าวคือ ตัวแทนของข้อมูลทุกต้นเดือน กลางเดือน และปลายเดือน ตามลำดับ

5) ค่าประมาณอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า GOES ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องจากผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP และเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Stage IV ที่ได้จากองค์กร National Oceanic and Atmospheric Administration สืบค้นจาก <http://www.nsof.class.noaa.gov> ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งประมาณค่าจากการสังเกตของเรดาร์และมาตรวัดฝน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้อัลกอริทึมที่ใช้ในการหาอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าสำหรับดาวเทียมค้างฟ้า GOES ช่วงคลื่นอินฟราเรด
- 2) ข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากอัลกอริทึมดังกล่าวจะเป็นประโยชน์สำหรับการบริหารจัดการน้ำ กสิกรรม รวมทั้งการเตือนภัยน้ำท่วมได้

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

- 1) หยาดน้ำฟ้า เป็นชื่อเรียกรวมของหยดน้ำหรือน้ำแข็งที่เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำแล้วตกลงมาสู่พื้นดินซึ่งประกอบด้วย ฝน ลูกเห็บ หิมะ ลูกปรายหิมะ เป็นต้น
- 2) GOES ย่อมาจาก Geostationary Operational Environmental Satellite ซึ่งเป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาของประเทศสหรัฐอเมริกา จะมีการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเมฆและพายุ นอกจากนี้ยังตรวจวัดอุณหภูมิผิวดิน ผิวน้ำทะเล และอุณหภูมิส่วนบนของเมฆด้วย
- 3) NOAA ย่อมาจาก National Oceanic and Atmospheric Administration ซึ่งเป็นหน่วยงานทางด้านอุตุนิยมวิทยาของสหรัฐอเมริกา และมีดาวเทียมหลายดวงอยู่ในความรับผิดชอบของ NOAA เช่น NOAA-15 ถึง NOAA-19 ดาวเทียม NOAA โคจรรอบโลกใช้เวลาประมาณ 14 รอบต่อวัน
- 4) NASA ย่อมาจาก National Aeronautics and Space Administration หรือเรียกว่า องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นหน่วยงานส่วนราชการที่มีหน้าที่รับผิดชอบโครงการอวกาศและงานวิจัยห้วงอากาศอวกาศ (Aerospace) ระยะยาวของสหรัฐอเมริกา คอยจัดการหรือควบคุมระบบงานวิจัยทั้งฝ่ายพลเรือนและฝ่ายทหาร
- 5) AMP ย่อมาจาก AMSU MIT Precipitation retrieval เป็นผลิตภัณฑ์ข้อมูลหยาดน้ำฟ้าจากดาวเทียม NOAA ในที่นี้เป็นดาวเทียม NOAA-18
- 6) AMSU ย่อมาจาก Advanced Microwave Sounding Unit เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดช่วงคลื่นความถี่ไมโครเวฟ อุปกรณ์นี้ถูกติดตั้งอยู่บนดาวเทียม NOAA และ MetOp
- 7) False Alarms ในวิทยานิพนธ์นี้หมายถึง การตรวจพบหยาดน้ำฟ้าที่ผิดพลาด

8) Algorithm เป็นกระบวนการทำงานที่ใช้การตัดสินใจ โดยนำหลักเหตุผลและคณิตศาสตร์มาช่วยเลือกวิธีการหรือขั้นตอนการดำเนินงานต่อไป จนกระทั่งถึงขั้นตอนสุดท้าย และเป็นวิธีการที่ใช้แยกย่อยและเรียงลำดับขั้นตอนของกระบวนการในการทำงานต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาและแก้ไขปัญหา

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

วิทยานิพนธ์นี้พัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าโดยใช้ข้อมูลการสังเกตของอุปกรณ์ตรวจวัด Geostationary Operational Environmental Satellite Imager (GOES Imager) บนดาวเทียมค้างฟ้า GOES-12 ซึ่งอยู่ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้และช่วงคลื่นอินฟราเรด และข้อมูลผลิตภัณฑ์อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMSU MIT Precipitation retrieval (AMP) เป็นข้อมูลอ้างอิง (Reference Data) ประมาณค่าจากการสังเกตช่วงคลื่นไมโครเวฟของอุปกรณ์ตรวจวัด AMSU บนดาวเทียม NOAA-18 วิทยานิพนธ์นี้จึงเป็นการใช้ข้อมูลจากการสังเกตของอุปกรณ์ตรวจวัดบนดาวเทียมที่มีช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแตกต่างกัน ดังรายละเอียดที่จะกล่าวในลำดับถัดไป

2.1 ดาวเทียม

ดาวเทียม (Satellite) หมายถึง วัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้นเลียนแบบดาวบริวารของดาวเคราะห์ เพื่อให้โคจรรอบโลกหรือรอบเทห์ฟากฟ้าอื่น มีอุปกรณ์สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอวกาศและถ่ายทอดข้อมูลนั้นมายังโลก วัตถุประสงค์ขณะดังกล่าวที่โคจรรอบโลกใช้เป็นอุปกรณ์โทรคมนาคมด้วย เช่น ถ่ายทอดคลื่นวิทยุและโทรทัศน์ข้ามทวีป (ศูนย์สารสนเทศราชบัณฑิตยสถาน, 2542)

ดาวเทียมมีหลายประเภทสามารถแบ่งแยกได้ตามประโยชน์การใช้งาน เช่น ดาวเทียมสื่อสาร ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ดาวเทียมบอกตำแหน่ง ดาวเทียมภารกิจพิเศษ สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา เนื่องจากเป็นดาวเทียมที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Satellite) เป็นดาวเทียมที่ติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพบรรยากาศโลกจากมุมสูงระยะทางไกล ลักษณะของภาพถ่ายดาวเทียมประเภทนี้สามารถ

มองเห็นสภาพอากาศ ทิศทาง และลำดับการเคลื่อนตัวของเมฆหรือพายุได้ทำให้มองเห็นภาพรวมของสภาพอากาศซึ่งปกคลุมเหนือพื้นผิว ตลอดจนทิศทางการเปลี่ยนแปลงทำให้สามารถช่วยเตือนภัยและพยากรณ์สภาพอากาศล่วงหน้าได้เป็นอย่างดี ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบ่งตามวงโคจรได้เป็น 2 ชนิดคือ

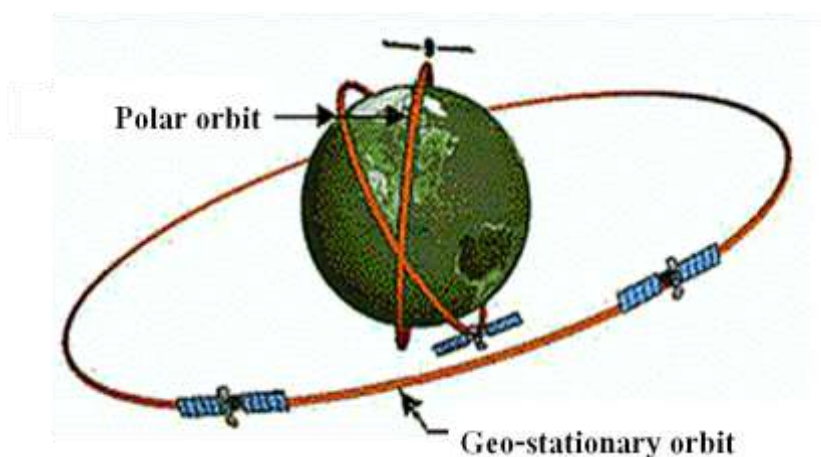
1) ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Meteorological Satellite) โคจรรอบโลกใช้เวลา 24 ชั่วโมง ไปพร้อมๆ กับการหมุนรอบตัวเองของโลก ดาวเทียมชนิดนี้จะอยู่ในตำแหน่งเส้นศูนย์สูตรของโลกมีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 35,800 km ทำให้ได้ภาพถ่ายที่ปกคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ เหมาะสำหรับการติดตามความเป็นไปของสภาพอากาศรุนแรงต่างๆ เช่น พายุหมุนเขตร้อน, แนวพายุฟ้าคะนอง ซึ่งจะให้ภาพได้ทุกๆ 30 นาที (สามารถใช้สัญญาณบังคับให้ส่งทุกๆ 15 นาทีได้) ดาวเทียมประเภทนี้มีข้อจำกัดในการใช้งานคือ ในช่วงเวลา 1 ปี จะไม่สามารถใช้งานได้ 2 ครั้งๆ ละไม่เกิน 1 วัน คือ เมื่อดวงอาทิตย์โคจรมาอยู่ด้านหลังดาวเทียมซึ่งจะทำให้สัญญาณวิทยุที่ออกมาจากดวงอาทิตย์รบกวนสัญญาณจากดาวเทียมจนไม่สามารถใช้งานได้ อีกทั้งยังสังเกตอยู่ในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ไปจนถึงช่วงคลื่นอินฟราเรด ช่วงคลื่นดังกล่าวไม่สามารถทะลุเมฆได้ทำให้ไม่สามารถตรวจวัดหยาดน้ำฟ้าได้โดยตรง สามารถตรวจวัดเพียงอุณหภูมิส่วนบนของเมฆเท่านั้น ซึ่งสามารถใช้ในการวิเคราะห์รูปร่าง ลักษณะ ชนิดและความสูงของเมฆได้ ดาวเทียมลักษณะนี้มีข้อดีที่ให้ความละเอียดเชิงเวลาสูง สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศได้ โดยการถ่ายภาพซ้ำเพื่อทำการเปรียบเทียบ

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาวงโคจรค้างฟ้า ได้แก่ GOES, METEOSAT, GOMS และ GMS ดาวเทียมโคจรจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออกด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วในการหมุนรอบตัวเองของโลก (11,000 km/h) จึงเสมือนว่าดาวเทียมดังกล่าวจะลอยตัวอยู่นิ่งตลอดเวลา ในขณะที่เดียวกันจะหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็ว 100 Evolutions/Minute โดยแกนการหมุนจะขนานกับแกนขั้วโลกเหนือ - ใต้ตลอดเวลา เนื่องจากอยู่ ณ จุดหนึ่งที่กำหนดไว้เหนือเส้นศูนย์สูตร จึงให้ภาพของบริเวณที่ต้องการได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอเหมาะสำหรับการติดตามความเป็นไปของสภาพอากาศอย่างยิ่ง

2) ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบโคจรใกล้ขั้วโลก (Near-Polar Orbiting Satellites) ตำแหน่งของดาวเทียมมีตำแหน่งสูงจากพื้นโลกประมาณ 800 - 1,400 km (400 - 800 Nautical Mile) ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก มีความสูงต่ำกว่าดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบค้างฟ้ามากทำให้ภาพจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบโคจรใกล้ขั้วโลกมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง แต่ข้อเสียของดาวเทียมประเภทนี้คือ พื้นที่การสังเกตเป็นแถบบริเวณแคบๆ แต่ละแถบมีความกว้าง (Swath Width)

ประมาณ 2,700 km ทำให้ได้ภาพถ่ายระดับภูมิภาคหรือประเทศเท่านั้น จึงเหมาะสำหรับใช้สังเกต รายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศระดับภูมิภาค และให้ภาพได้เพียงวันละ 2 ภาพ (12 ชั่วโมง ต่อ 1 ภาพ) จึงไม่เหมาะในการติดตามความเป็นไปของสภาพอากาศ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดาวเทียมประเภทนี้มีชื่อคือ สังเกตอยู่ในช่วงคลื่น ไมโครเวฟทำให้สามารถวัดปริมาณ หยาดน้ำฟ้าได้โดยตรง (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, 2554)

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรผ่านใกล้ขั้วโลก ได้แก่ ดาวเทียมในชุด TIROS, ESSA, ITOS, NOAA และ DMSP วิธีโคจรจะผ่านไปใกล้ขั้วโลกทั้งสองในทุกรอบการโคจรคือ โคจรในแนวเหนือ - ใต้ ขณะที่โลกหมุนรอบตัวเองในแนวตะวันออก - ตะวันตก ในรอบ 24 ชั่วโมง ดาวเทียมจะผ่านตำบลหนึ่งๆ รวม 2 ครั้ง ตัวอย่างเช่น ดาวเทียม NOAA ผ่านประเทศไทยตอนบน เมื่อ 09.00 น. UTC จะกลับมาโคจรผ่านประเทศไทยอีกครั้งในเวลา 21.00 น. UTC ดาวเทียมนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า “ดาวเทียมชนิดโคจรพร้อมดวงอาทิตย์” (Sun Synchronous Satellite) (ส่วนวิเคราะห์ ข้อมูลเรดาร์และดาวเทียม สำนักพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา, 2556)



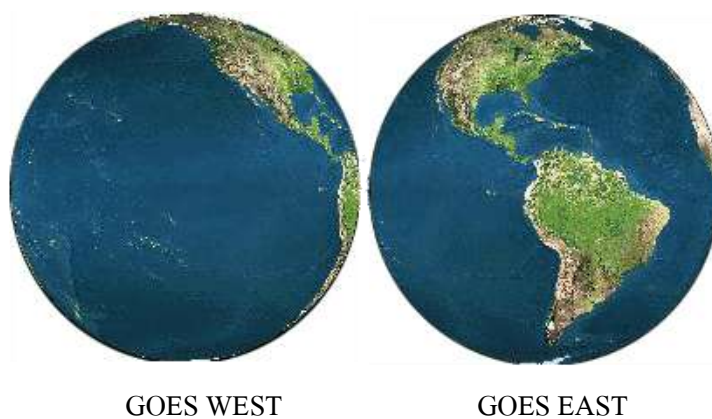
รูปที่ 2.1 ลักษณะวงโคจรของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา

(ภาพดัดแปลงจาก https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly_electronics/wiki/ea8e4, 28 กันยายน 2556)

2.1.1 ดาวเทียม GOES

ดาวเทียม GOES เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบวงโคจรค้างฟ้าของประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นโครงการความร่วมมือระหว่างองค์กร NOAA และ NASA โดยองค์กร NOAA เป็นเจ้าของโครงการ ในขณะที่องค์กร NASA รับผิดชอบเรื่องการออกแบบ พัฒนา และปล่อยยานอวกาศ ดาวเทียมสภาพอากาศแบบค้างฟ้าดวงแรก (GOES-1) ถูกปล่อยไปเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม พ.ศ. 2518 และเป็นส่วนสำคัญในการดำเนินการของ Nation Weather Service อย่างรวดเร็ว โดยโคจรอยู่ทางด้านทิศตะวันตกและทิศตะวันออกของทวีปอเมริกา ดาวเทียม GOES โคจรรอบโลกในแบบวงโคจรค้างฟ้าเหนือเส้นศูนย์สูตร มีคาบการหมุนรอบโลกเท่ากับคาบการหมุนรอบตัวเองของโลก สามารถเฝ้าดูโลกที่ตำแหน่งหนึ่งได้อย่างต่อเนื่อง เป็นระยะทาง 35,800 km เหนือพื้นโลก ดาวเทียม GOES ให้ผลการสำรวจโลกและสิ่งแวดล้อมต่างๆ ครึ่งชั่วโมง ให้ภาพที่ต่อเนื่องทำให้มีประโยชน์ในการติดตามพายุเฮอริเคน พายุทอร์นาโด และพายุต่างๆ ได้ (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2004)

ปัจจุบันดาวเทียม GOES ที่ดำเนินการอยู่ได้แก่ GOES-15 (GOES-West) อยู่ที่ตำแหน่งลองจิจูดที่ 135°E เฝ้าดูอเมริกาเหนือและมหาสมุทรแปซิฟิก GOES-13 (GOES-East) มีตำแหน่งลองจิจูดที่ 75°E เหนือเส้นศูนย์สูตร ครอบคลุมทั้งอเมริกาเหนือ อเมริกาใต้ และมหาสมุทรแอตแลนติกเกือบทั้งหมด ดาวเทียมทั้งสองดวงจะทำการถ่ายภาพเต็มของโลกทั้งกลางวันและกลางคืนมีพื้นที่ครอบคลุมประมาณ 20°E - 165°W ดังรูปที่ 2.2 สำหรับวิทยานิพนธ์นี้เป็นการใช้ข้อมูลดาวเทียมจาก GOES-12 (GOES-East) เนื่องจากระยะเวลาและขอบเขตพื้นที่ที่ศึกษาอยู่ในช่วงการดำเนินงานของดาวเทียม GOES-12 ซึ่งโคจรอยู่เหนือประเทศสหรัฐอเมริกาทางทิศตะวันออกของทวีปอเมริกา ดาวเทียม GOES-12 เริ่มดำเนินการเมื่อวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2546 และดำเนินการถึงวันที่ 14 เมษายน พ.ศ. 2553 ข้อดีของดาวเทียม GOES-12 คือ มีอุปกรณ์ถ่ายภาพและวัดรังสี ซึ่งการถ่ายภาพและวัดรังสีไปพร้อมๆ กันทำให้สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้มีการออกแบบระบบสร้างความสมดุลยานอวกาศแบบสามแกนทำให้อุปกรณ์ตรวจวัดสามารถจับภาพเมฆ สำรวจอุณหภูมิพื้นผิวโลกและส่วนการซึมผ่านของไอน้ำ สามารถใช้วัดชั้นบรรยากาศเพื่อให้ได้โครงสร้างความร้อนและไอน้ำในแนวตั้งได้ อีกทั้งมีการกวาดภาพที่ยืดหยุ่นทำให้สามารถถ่ายภาพพื้นที่เล็กๆ ได้ ดังรูปที่ 2.3



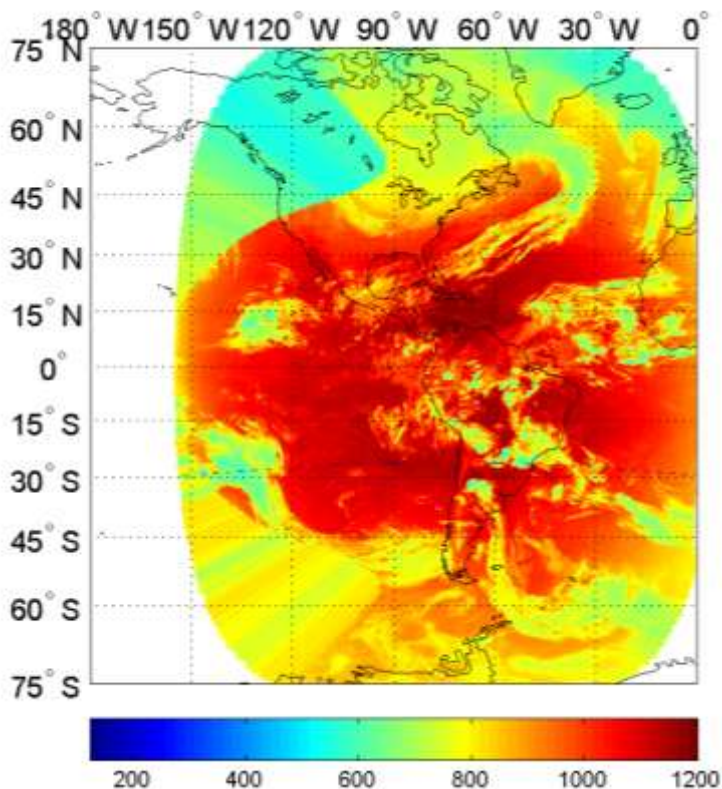
รูปที่ 2.2 ขอบเขตพื้นที่ที่ดำเนินการของดาวเทียม GOES

(ภาพจาก http://www.stevenswater.com/telemetry_com/geo_info.aspx, 28 กันยายน 2556)



รูปที่ 2.3 แบบจำลองดาวเทียม GOES-12 (GOES-East)

(ภาพจาก http://commons.wikimedia.org/wiki/File:GOES-8_thru_GOES-12_Spac0256.jpg, 28 กันยายน 2556)



รูปที่ 2.4 พื้นที่การสังเกตของดาวเทียม GOES-12 สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัด GOES Imager วันที่ 15 มกราคม 2552 เวลา 02.45 น. UTC ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ใช้ขอบเขตพื้นที่ 60°S - 60°N, 30°W - 120°W เป็นส่วนหนึ่งของขอบเขต GOES-EAST

ดาวเทียม GOES ใช้ประโยชน์ทางด้านอุตุนิยมวิทยาและการควบคุมการบิน โดยทางด้านอุตุนิยมวิทยานั้นสามารถสังเกตการกระจายตัวของกลุ่มเมฆรวมถึงสภาพไอน้ำในชั้นบรรยากาศโลกทั้งกลางวันและกลางคืนได้ สามารถตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิวดิน พื้นผิวน้ำทะเล และอุณหภูมิส่วนบนของเมฆ นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าวยังสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ระดับความสูง การกระจายตัว และชนิดของเมฆ รวมไปถึงการกระจายของหมอกหรือลมในชั้นบรรยากาศโลกได้ ข้อมูลจากดาวเทียม GOES ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง อาทิเช่น ศูนย์บริการสภาพอากาศแห่งชาติ (The National Weather Service) ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการติดตามพายุเฮอริเคน และถ่านภูเขาไฟ รวมทั้งดูการเคลื่อนตัวของเมฆทำให้ทราบในเรื่องของลมและอุณหภูมิเพื่อช่วยวิเคราะห์พื้นที่ที่มีข้อมูลจำกัด

อุปกรณ์ตรวจวัดสำหรับดาวเทียม GOES-12 คือ Geostationary Operational Environmental Satellite Imager (GOES Imager) และ Geostationary Operational Environmental Satellite Sounder (GOES Sounder) ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งสองชนิดมีจำนวนช่องสัญญาณ ขนาดความยาวคลื่น ความละเอียดเชิงพื้นที่และความละเอียดเชิงเวลาที่แตกต่างกัน อุปกรณ์ตรวจวัด GOES Imager ประกอบด้วย 5 ช่องสัญญาณ โดยมี 1 ช่องสัญญาณสำหรับช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ และ 4 ช่องสัญญาณสำหรับในช่วงคลื่นอินฟราเรด ดังตารางที่ 2.1 ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัด GOES Sounder ประกอบด้วย 19 ช่องสัญญาณ ซึ่งมี 1 ช่องสัญญาณสำหรับช่วงคลื่นที่มองเห็นได้และ 18 ช่องสัญญาณสำหรับช่วงคลื่นอินฟราเรด (สำนักงานกิจการอวกาศแห่งชาติ, 2551) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลจำเพาะอุปกรณ์ตรวจวัด GOES Imager บนดาวเทียม GOES-12 ถึง GOES-15 (ตารางดัดแปลงจาก The National Science Foundation, 2014)

ช่องสัญญาณ	ความยาวคลื่น (μm)	สเปกตรัม	ความละเอียดเชิงพื้นที่ (km)
1	0.550 - 0.750	Visible	1
2	3.800 - 4.000	Near Infrared	4
3	5.800 - 7.300	Thermal Infrared	4
4	10.200 - 11.200	Thermal Infrared	4
6	12.960 - 13.710	Thermal Infrared	8 (GOES-12/13) และ 4 (GOES-14/15)

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลจำเพาะอุปกรณ์ตรวจวัด GOES Sounder บนดาวเทียม GOES (ตารางดัดแปลงจาก National Aeronautics and Space Administration, 2014)

ช่องสัญญาณ	ความยาวคลื่น (μm)	สเปกตรัม	ความละเอียดเชิงพื้นที่ (km)
1	14.710	Longwave	10
2	14.370	Longwave	10
3	14.060	Longwave	10
4	13.640	Longwave	10
5	13.370	Longwave	10
6	12.660	Longwave	10
7	12.020	Longwave	10
8	11.030	Midwave	10
9	9.710	Midwave	10
10	7.430	Midwave	10
11	7.020	Midwave	10
12	6.510	Midwave	10
13	4.570	Shortwave	10
14	4.520	Shortwave	10
15	4.450	Shortwave	10
16	4.130	Shortwave	10
17	3.980	Shortwave	10
18	3.740	Shortwave	10
19	0.700	Visible	10

2.1.2 ดาวเทียม NOAA-18

ดาวเทียม NOAA-18 เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบวงโคจรใกล้ขั้วโลกของสหรัฐอเมริกา ดำเนินการเมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2548 จนถึงปัจจุบัน โคจรอยู่ที่ระดับความสูง 854 km โดยโคจรอยู่แนวเหนือ - ใต้ ใช้เวลา 102.120 Minute/Evolutions

อุปกรณ์ตรวจวัดบนดาวเทียม NOAA-18 มีอยู่หลายชนิด แต่อุปกรณ์ตรวจวัดที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าคือ Advanced Microwave Sounding Units (AMSU) ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดชนิดนี้อาศัยคลื่นสัญญาณไมโครเวฟ ใช้วัดระดับอุณหภูมิและความชื้นในชั้นบรรยากาศทั่วโลก สำหรับ AMSU ประกอบด้วย 2 หน่วยคือ AMSU-A และ AMSU-B (Microwave Humidity Sounder) โดย AMSU-A ประกอบด้วย 15 ช่องสัญญาณ ความถี่แต่ละช่องสัญญาณอยู่ใกล้กับความถี่ศูนย์กลางการดูดซับออกซิเจน มีความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 50 km ส่วน AMSU-B ประกอบด้วย 5 ช่องสัญญาณที่แถบความกว้างความถี่ใกล้กับการดูดซับของไอน้ำ มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 15 km ทั้งอุปกรณ์ตรวจวัดของ AMSU-A และ AMSU-B มีแถบความกว้างของการสังเกต (Swath Width) ประมาณ 2,200 km (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2004)

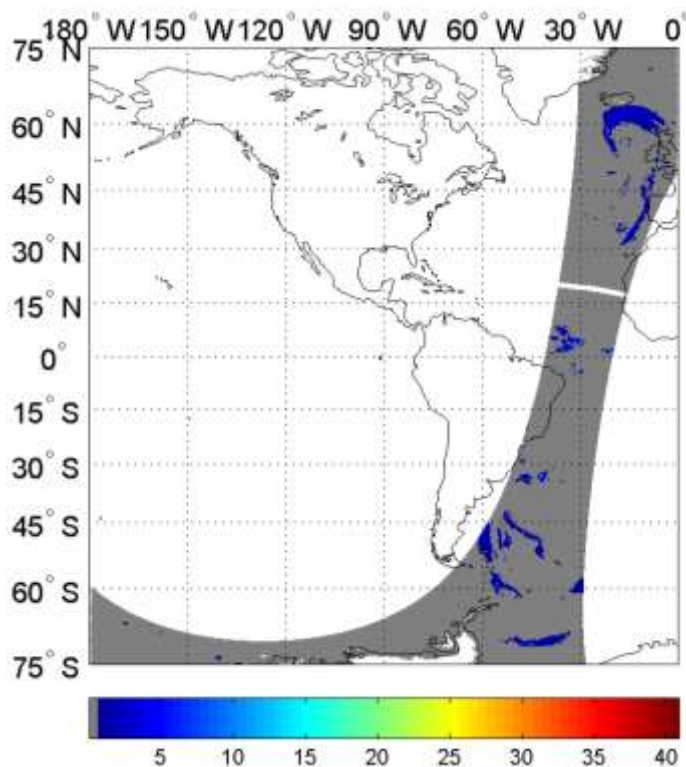


รูปที่ 2.5 แบบจำลองดาวเทียม NOAA-18

(ภาพจาก http://commons.wikimedia.org/wiki/File:NOAA-18_or_19_rendering.jpg, 28 กันยายน 2556)

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลจำเพาะอุปกรณ์ตรวจวัด AMSU A/B บนดาวเทียม NOAA-18 (ตารางดัดแปลง จาก Surussavadee and Staelin, 2008)

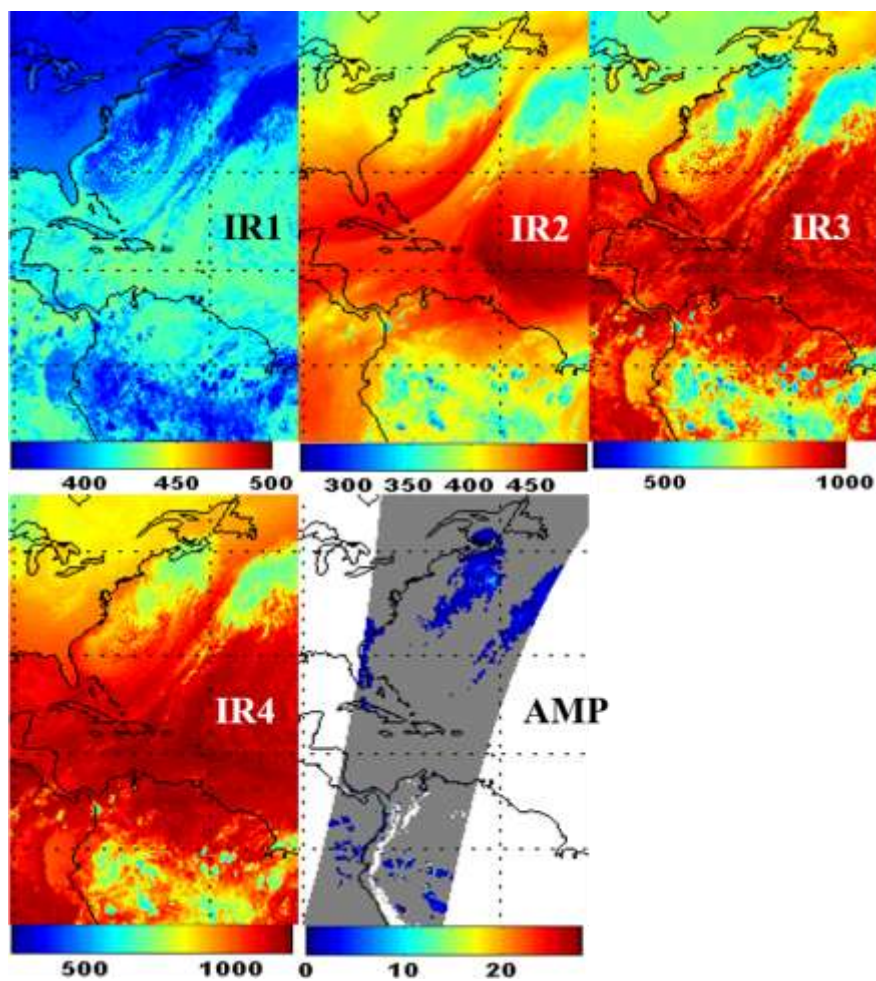
ช่องสัญญาณ	ความถี่ (MHz)	ความละเอียดเชิงพื้นที่ (km)	ช่องสัญญาณ	ความถี่ (MHz)	ความละเอียดเชิงพื้นที่ (km)
A1	23,800±72.500	50	A11	$f_0 \pm 322.200 \pm 48$	50
A2	31,400±50	50	A12	$f_0 \pm 322.200 \pm 22$	50
A3	50,300±50	50	A13	$f_0 \pm 322.200 \pm 10$	50
A4	52,800±105	50	A14	$f_0 \pm 322.200 \pm 4.5$	50
A5	53,592±115	50	A15	89±1 GHz	50
A6	54,400±105	50	B1	89±0.900 GHz	15
A7	54,940±105	50	B2	150±0.900 GHz	15
A8	55,500±87.500	50	B3	183.300±1 GHz	15
A9	$f_0 \pm 87.500$	50	B4	183.300±3 GHz	15
A10	($f_0 = 57,290.340$) $f_0 \pm 217$	50	B5	183.300±7 GHz	15



รูปที่ 2.6 แถบวงโคจรของดาวเทียม NOAA-18 สำหรับ 1 แถบโคจรวันที่ 15 มกราคม 2552 เวลา 03.05 - 05.00 น. UTC

2.1.3 ความสัมพันธ์ภาพถ่ายดาวเทียม GOES กับภาพถ่ายดาวเทียม NOAA-18

รูปที่ 2.7 แสดงภาพถ่ายดาวเทียม GOES-12 โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัด GOES Imager ในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 เวลา 05.45 น. UTC บริเวณทางด้านตะวันออกของประเทศสหรัฐอเมริกา โดย IR1 - IR4 คือ อุณหภูมิความสว่างในหน่วย K สำหรับสัญญาณอินฟราเรดช่องที่ 2, 3, 4 และ 6 ตามลำดับ และอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP ในหน่วย mm/h ที่ได้จากดาวเทียม NOAA-18 ในช่วงเวลาใกล้เคียงกันกับดาวเทียม GOES โดยความสัมพันธ์ระหว่างระดับอุณหภูมิส่วนบนของเมฆกับหยาดน้ำฟ้ามีความสัมพันธ์กันคือ ถ้ามีระดับอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดหยาดน้ำฝ้าน้อย แต่ถ้าระดับอุณหภูมิต่ำทำให้เกิดหยาดน้ำฟ้ามาก เมื่อพิจารณาจากรูป 2.7 จะเห็นได้ว่าดาวเทียม NOAA-18 เปลี่ยนตำแหน่งที่สังเกตไปเรื่อยๆ ทำให้มีความละเอียดเชิงเวลาที่ต่ำกว่าดาวเทียม GOES แต่การสังเกตในช่วงคลื่นไมโครเวฟสำหรับอุปกรณ์รับรู้ AMSU บนดาวเทียม NOAA-18 นั้นจะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าการสังเกตในช่วงคลื่นอินฟราเรดของดาวเทียม GOES เนื่องจากช่วงคลื่นไมโครเวฟสามารถแทรกซึมผ่านเมฆได้

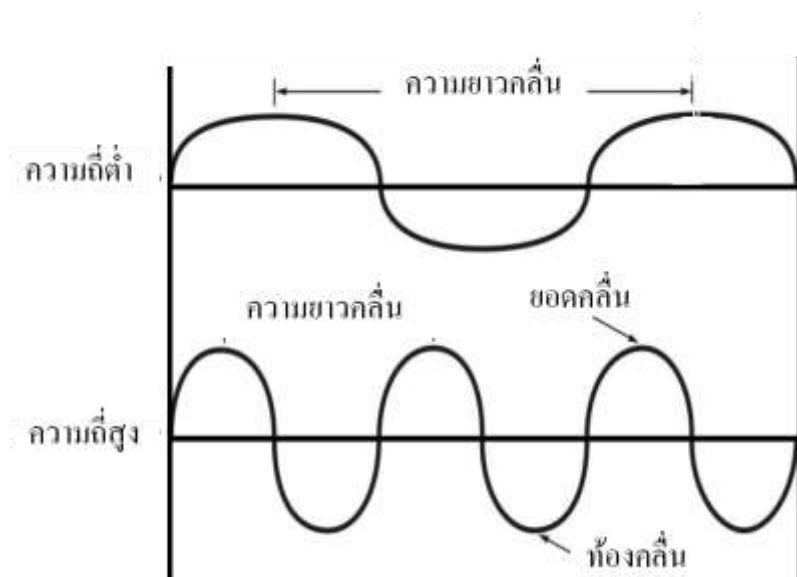


รูปที่ 2.7 ข้อมูลจากดาวเทียม GOES-12 สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัด GOES Imager และข้อมูลดาวเทียม NOAA-18 ในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 เวลา 05.45 น. UTC โดยมีจุดศูนย์กลางภาพประมาณ $75^{\circ}\text{W}/22.500^{\circ}\text{N}$ โดย IR1 - IR4 คือ อุณหภูมิความสว่าง ในหน่วย K สำหรับสัญญาณอินฟราเรดช่องที่ 2, 3, 4 และ 6 ตามลำดับ และ AMP คือ อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (mm/h) ช่วงวันและเวลาเดียวกันกับดาวเทียม GOES

2.2 เทคโนโลยีดาวเทียม

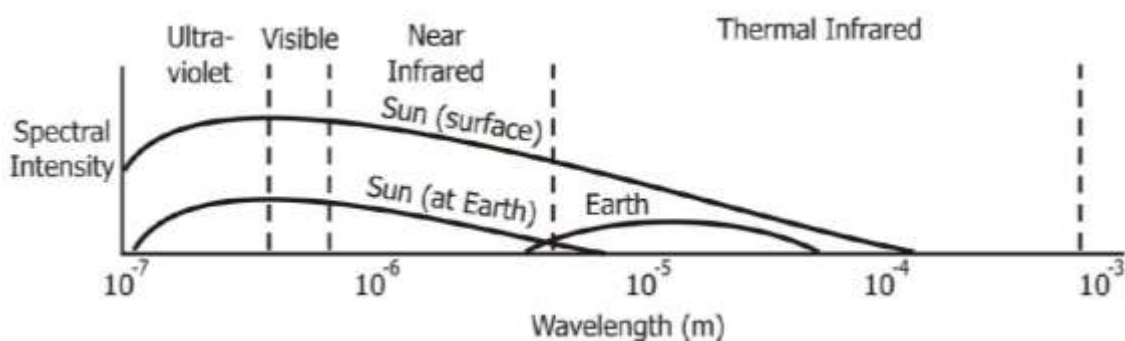
ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาใช้หลักการของการรับรู้จากระยะไกล หมายถึง การอธิบาย การศึกษาบางสิ่งโดยปราศจากการกระทำหรือสัมผัสกับวัตถุนั้นโดยตรง รวมทั้งตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุนั้นเป็นระยะทางไกล ดังนั้นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาจึงเป็นตัวอย่างหนึ่งของหลักการการรับรู้จากระยะไกล เนื่องจากเครื่องตรวจวัดพลังงานรังสีของดาวเทียมออกแบบเพื่อใช้ศึกษาพลังงานที่สะสมและการแผ่รังสีของโลก การใช้ข้อมูลซึ่งส่งมาจากดาวเทียมที่โคจรรอบตามสถานีรับภาคพื้นดินในแต่ละพื้นที่ที่สามารถตรวจวัดคุณสมบัติของโลก ซึ่งปราศจากการเข้าไปในพื้นที่ที่สนใจและทำการตรวจวัดโดยตรง

การแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation) เป็นพื้นฐานสำคัญของการรับรู้จากระยะไกล การแผ่รังสีคือการแพร่กระจายพลังงานในรูปแบบของคลื่นจากสสารทั้งหมดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ คลื่นพลังงานการแผ่รังสีไม่ใช่วัตถุเนื่องจากไม่มีมวล และสามารถส่งผ่านพลังงานจากสถานที่หนึ่งไปยังสถานที่อื่นๆ ได้ โดยคลื่นพลังงานการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้ามีรูปแบบของการปั่นป่วนภายในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในขณะที่คลื่นเคลื่อนผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะแกว่งตัวขึ้น - ลงอย่างเป็นระเบียบ รูปแบบการเกิดขึ้นและการทวนซ้ำของคลื่นมีลักษณะดังรูปที่ 2.8 โดยอุณหภูมิของวัตถุเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของแถบการแผ่พลังงานรังสีของวัตถุนั้น วัตถุใดที่อุณหภูมิพื้นผิวสูงมากกว่าจะแผ่พลังงานรังสีได้สูงกว่าและมีความยาวคลื่นสั้นกว่า ในขณะที่วัตถุที่เย็นกว่าจะแผ่พลังงานในแถบที่ต่ำกว่าและมีความยาวช่วงคลื่นที่มากกว่า ด้วยเหตุนี้ดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิพื้นผิวประมาณ 6,000 K จึงมีการแผ่พลังงานสูงสุดในความยาวคลื่นเท่ากับ 0.480 μm อยู่ในช่วงคลื่นแสงในแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนอุณหภูมิที่เย็นมากกว่าของพื้นผิวโลกที่มีอุณหภูมิประมาณ 300 K จะมีการแผ่พลังงานสูงสุดในความยาวคลื่นเท่ากับ 9.400 μm ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นอินฟราเรดในแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.8 คุณลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ภาพดัดแปลงจาก <http://www.rtafweather.com>, 13 ตุลาคม 2556)

รูปที่ 2.9 แสดงการเปรียบเทียบการแผ่พลังงานรังสีของดวงอาทิตย์กับโลกในลักษณะเส้นโค้ง 3 เส้น ซึ่งแทนการแผ่พลังงานรังสีของโลก ดวงอาทิตย์ และพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผิวโลก การแผ่พลังงานรังสีที่สำคัญที่สุดของโลกอยู่ในช่วงคลื่นยาว ในสัดส่วนของช่วงคลื่นอินฟราเรดหรือเรียกว่า อินฟราเรดความร้อน (Thermal Infrared) เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิพื้นผิวที่แผ่พลังงานรังสี ดังนั้นเครื่องวัดปริมาณการแผ่รังสีของดาวเทียมที่ตรวจวัดพลังงานในช่วงคลื่นนี้จึงใช้ศึกษาคุณสมบัติของความร้อนของโลกและบรรยากาศ จากรูปที่ 2.9 พบว่าความเข้มของการแผ่พลังงานรังสีของดวงอาทิตย์มีมากกว่าการแผ่พลังงานรังสีของโลกในทุกๆ ความยาวคลื่น ทั้งที่การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ต้องเดินทางผ่านอวกาศทำให้ความเข้มลดลง และเมื่อถึงพื้นโลกความเข้มของพลังงานก็ลดลง พลังงานการแผ่รังสีส่วนใหญ่ของดวงอาทิตย์อยู่ในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยดวงอาทิตย์สามารถแผ่พลังงานรังสีในช่วงคลื่นสั้นได้ โดยเฉพาะในช่วงคลื่นอินฟราเรดเรียกว่า อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น รวมทั้งพลังงานของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนกลับในช่วงคลื่นนี้ เครื่องวัดพลังงานการแผ่รังสีของดาวเทียมที่ตรวจวัดในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้และอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้นสามารถวัดปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนกลับ รวมทั้งพลังงานการแผ่รังสีของโลกและเมฆได้เป็นอย่างดี

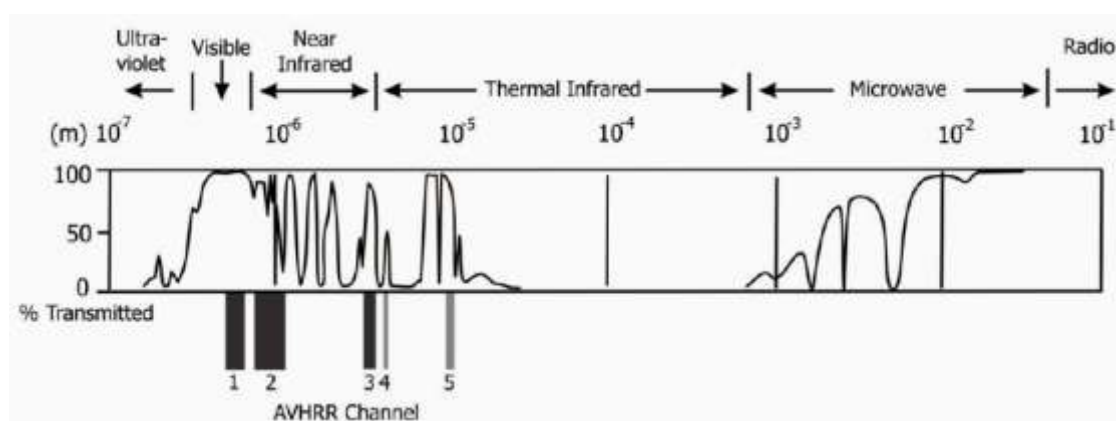


รูปที่ 2.9 การเปรียบเทียบการแผ่พลังงานรังสีของดวงอาทิตย์กับโลก

(ภาพดัดแปลงจาก <http://www.rtafweather.com>, 13 ตุลาคม 2556)

การส่งผ่านพลังงานของบรรยากาศ คลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าบางช่วงคลื่นส่งผ่านบรรยากาศได้ง่าย ในขณะที่บางส่วนถูกกักไว้ ความสามารถของบรรยากาศที่ยอมให้พลังงานการแผ่รังสีส่งผ่านเรียกว่า Transmissivity ดังรูปที่ 2.10 แสดงค่าการส่งผ่านของพลังงานรังสีในแต่ละช่วงคลื่น โดยบรรยากาศดูดซับพลังงานในแถบความยาวคลื่นในช่วงคลื่นเฉพาะ (Specific Wavelength Bands) โดยเฉพาะช่วงคลื่นอินฟราเรดและไมโครเวฟ ช่วงคลื่นที่ถูกดูดซับโดยแก๊สในบรรยากาศซึ่งปรากฏในแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรียกว่า Absorption Bands โดยแถบคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกดูดซับแสดงด้วยค่าการส่งผ่านที่ค่อนข้างต่ำ ตามแนวแถบของคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกดูดซับ บางช่วงคลื่นที่บรรยากาศทำตัวเสมือนสื่อโปร่งใสสามารถยอมให้คลื่นเหล่านั้นทะลุผ่านออกไปได้เรียกว่า หน้าต่างชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Windows) ดังรูปที่ 2.10 พบว่าช่วงคลื่นที่มองเห็นได้เป็นบริเวณที่พลังงานของดวงอาทิตย์ออกสู่อวกาศได้มากที่สุด ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ พลังงานรังสีช่วงคลื่นที่มองเห็นได้จากดวงอาทิตย์ส่งผ่านบรรยากาศได้อย่างอิสระโดยไม่ถูกดูดซับจากแก๊สในบรรยากาศ ในขณะที่เดียวกันช่วงคลื่นอินฟราเรดมีลักษณะเช่นเดียวกันคือ มีบางช่วงที่สามารถทะลุออกไปจากบรรยากาศได้

ช่วงคลื่นอินฟราเรดมีส่วนสำคัญอย่างมากต่อการรับรู้ระยะไกลเพราะช่วงคลื่นเหล่านี้เกิดขึ้นเช่นเดียวกับการแผ่พลังงานรังสีออกของพื้นผิวโลก ซึ่งพลังงานความร้อนที่แผ่รังสีจากโลกทะลุผ่านบรรยากาศและเข้าสู่อวกาศ มีเครื่องตรวจวัดพลังงานการแผ่รังสี สามารถตรวจจับพลังงานเหล่านี้ได้ (ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลเรดาร์และดาวเทียม สำนักพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา, 2556)

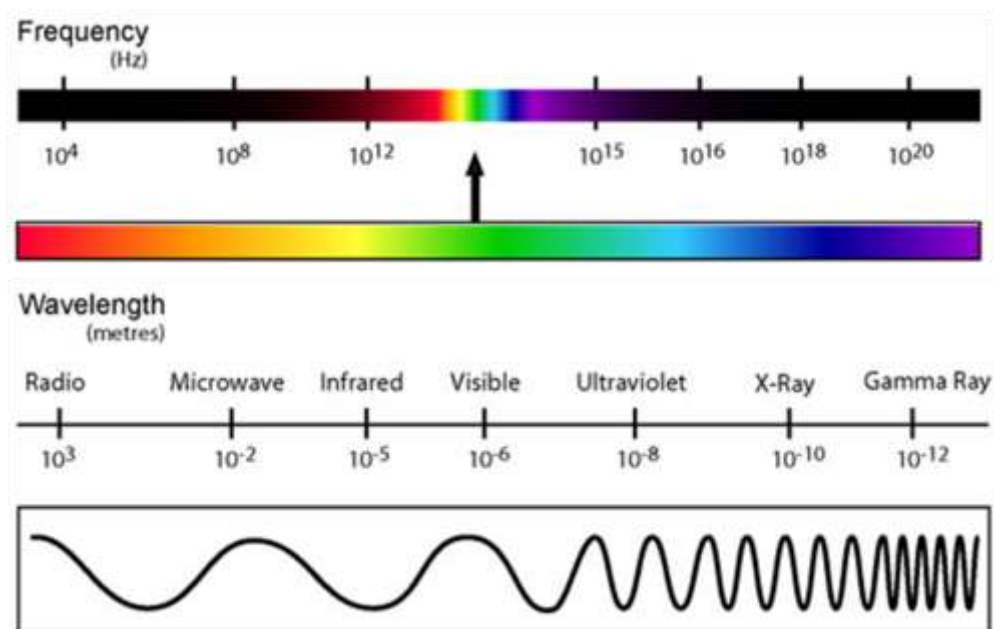


รูปที่ 2.10 ค่าการส่งผ่านของพลังงานรังสีในแต่ละช่วงคลื่น โดยความยาวคลื่นแสดงในแกนนอน และจำนวนเปอร์เซ็นต์ของการส่งผ่านพลังงานรังสีของบรรยากาศ แสดงในแกนตั้ง

(ภาพดัดแปลงจาก <http://www.rtafweather.com>, 13 ตุลาคม 2556)

ช่วงคลื่นอินฟราเรดมีส่วนสำคัญอย่างมากต่อการรับรู้ระยะไกลเพราะช่วงคลื่นเหล่านี้เกิดขึ้นเช่นเดียวกับการแผ่พลังงานรังสีออกของพื้นผิวโลก ซึ่งพลังงานความร้อนที่แผ่รังสีจากโลกทะลุผ่านบรรยากาศและเข้าสู่อวกาศ มีเครื่องตรวจวัดพลังงานการแผ่รังสี สามารถตรวจจับพลังงานเหล่านี้ได้ (ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลเรดาร์และดาวเทียม สำนักพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา, 2556)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) เป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในเวลาของความเข้มของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน แหล่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สำคัญมาจากดวงอาทิตย์ โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางจากดวงอาทิตย์มายังโลกด้วยความเร็วแสงประมาณ 300,000 km/sec ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นแบบแกว่งจะมีลักษณะเหมือนสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave) สำหรับรูปที่ 2.11 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามความยาวคลื่นต่างๆ โดยเรียงจากความยาวคลื่นน้อยไปหาความยาวคลื่นมาก ประกอบด้วย รังสีแกมมา (Gamma ray) รังสีเอ็กซ์ (X-Ray) อัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (Visible) โดยสายตาคมมนุษย์จะเห็นได้เฉพาะสัดส่วนเพียงเล็กน้อยของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเรียกว่า คลื่นที่มองเห็นได้ (Visible) คลื่นอินฟราเรด (Infrared) คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) และคลื่นวิทยุ (Radio Wave) (สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ, 2555)



รูปที่ 2.11 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากความยาวคลื่นมากไปความยาวคลื่นน้อยโดยเรียงจากซ้ายไปขวา (ภาพดัดแปลงจาก สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ, 2555)

ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการตรวจวัดสภาพอากาศของโลกมีอยู่ 3 ช่วงคลื่นคือ ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (Visible) ช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared) และช่วงคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) สำหรับช่วงคลื่นที่มองเห็นได้คือ ช่วงคลื่นแสงที่สายตาของมนุษย์สามารถมองเห็นเป็นแสงสีต่างๆ โดยแสงสีม่วงมีความยาวคลื่นน้อยที่สุด และแสงสีแดงมีความยาวคลื่นมากที่สุด การรับรู้จากระยะไกลโดยใช้ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้อาศัยการสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์ เมื่อแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์ส่องมายังวัตถุ คลื่นส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับไว้โดยวัตถุ อีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนออกมาทำให้เราสามารถวัดค่าพลังงานการสะท้อนนั้นได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับกลางวันและกลางคืนมีความแตกต่างกัน โดยในเวลากลางคืนดาวเทียมไม่สามารถวัดพลังงานการสะท้อนได้

ช่วงคลื่นอินฟราเรดมีความยาวคลื่นระหว่าง 0.750 - 1,000 μm มีความถี่อยู่ระหว่าง 10^{11} - 10^{14} Hz สามารถแบ่งช่วงความยาวคลื่นได้เป็น 3 ช่วงคือ 1) อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น (NIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 0.700 - 1.500 μm มักจะประยุกต์ใช้ในงานถ่ายภาพความร้อน 2) อินฟราเรดช่วงคลื่นกลาง (MIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 1.500 - 5.600 μm มักประยุกต์ใช้กับระบบนำวิถีของจรวด Missile 3) อินฟราเรดช่วงคลื่นยาว (FIR) จะมีความยาวคลื่นประมาณ 5.600 μm ขึ้นไป ซึ่งมีพลังงานความร้อนไม่มากจึงนิยมใช้ในการบำบัดผู้ป่วย เช่น อาการปวดเมื่อยเรื้อรัง และผู้ป่วยด้วยโรคความดันโลหิต รวมถึงการควบคุมน้ำหนัก (ศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2556)

ช่วงคลื่นไมโครเวฟมีความถี่อยู่ในช่วง 10^8 - 10^{12} Hz ซึ่งคลื่นจะไม่สะท้อนกลับในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์แต่จะทะลุออกนอกโลก การส่งคลื่นไมโครเวฟไปเป็นระยะทางไกลๆ ต้องมีสถานีถ่ายทอดเป็นระยะเพราะคลื่นไมโครเวฟเดินทางเป็นเส้นตรงและไปได้ไกลสุดประมาณ 80 km บนผิวโลกเท่านั้นเนื่องจากความโค้งของโลก สามารถส่งคลื่นไมโครเวฟไปยังดาวเทียมที่โคจรรอบโลกเพื่อสะท้อนคลื่นกลับมายังสถานีรับที่อยู่ห่างไกลออกไป คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นสั้นกว่าคลื่นวิทยุอยู่ในช่วง 0.300 - 30 cm ดังนั้นจึงมีพลังงานสูงกว่าคลื่นวิทยุ และสามารถเดินทางทะลุผ่านกลุ่มเมฆและฝนได้ดีกว่าคลื่นวิทยุ ในทางทหารมีชื่อเรียกเฉพาะสำหรับช่วงคลื่นไมโครเวฟบางชนิด เช่น K Band, C Band, P Band ทั้งนี้ประโยชน์ของคลื่นไมโครเวฟในชีวิตประจำวัน ได้แก่ เตาไมโครเวฟ คลื่นที่ใช้ในการสื่อสารโทรศัพท์มือถือ และการสื่อสารโทรคมนาคมอื่นๆ นอกจากนี้ยังใช้ในการรับรู้จากระยะไกล โดยใช้เทคนิคเรดาร์ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ องค์การมหาชน, 2548)

ช่วงคลื่นที่เหมาะสมต่อการสังเกตและประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าคือ ช่วงคลื่นไมโครเวฟเนื่องจากสามารถทะลุเมฆได้ และตรวจวัดได้ทุกสภาพอากาศโดยไม่มีผลต่อข้อจำกัดของเมฆ ฝน หิมะหรือเกลือค้ำแข็งในชั้นบรรยากาศ ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดในช่วงคลื่นแสงไม่สามารถมองเห็นเมฆได้ทำให้ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของเมฆเท่านั้น ข้อมูลที่นำไปประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าจึงมีความถูกต้องแม่นยำลดลง ทั้งนี้ช่วงคลื่นอินฟราเรดสามารถวัดอุณหภูมิบริเวณส่วนบนของเมฆได้ งานวิจัยนี้จึงใช้ช่วงคลื่นไมโครเวฟร่วมกับช่วงคลื่นอินฟราเรดเพื่อให้การประมาณค่ามีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

2.3 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองที่ใช้ในการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าเป็นแบบจำลองทางกายภาพ มีการใช้ตัวแปรทางอุณหพลศาสตร์ต่างๆ ในการใช้ฝึกอัลกอริทึมแบบจำลองเหล่านี้มีหลายประเภท แต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้ ทั้งนี้แบบจำลองบางประเภทมีความถูกต้องแม่นยำน้อยทำให้ผลที่ออกมาไม่มีความถูกต้องแม่นยำเนื่องจากเครือข่ายประสาทเทียมเป็นระบบแบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งหากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าและค่าอุณหภูมิความสว่าง พบว่ามีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear) (Surussavadee and Songsom, 2013) ดังนั้นจึงเลือกใช้เครือข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) ซึ่งเป็นแบบจำลองทางการสังเกต (Empirical Model) เป็นตัวประมาณค่าที่ฝึกและใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้อง

2.3.1 เครือข่ายประสาทเทียม

เครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการประมาณค่า การจำแนกรูปแบบ การทำนาย การควบคุม การหาความเหมาะสม และการจัดกลุ่ม เป็นต้น แบบจำลองนี้มีโครงสร้างภายในที่มีความซับซ้อนคล้ายกับโครงสร้างสมองของมนุษย์ ดังรูปที่ 2.12 แต่โครงสร้างสมองของมนุษย์มีเส้นประสาทน้อยกว่าเครือข่ายประสาทเทียม ดังรูปที่ 2.13 เครือข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ดังนี้

1) ข้อมูลป้อนเข้า (Input) เป็นข้อมูลที่เป็นตัวเลข หากเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพต้องแปลงให้อยู่ในรูปเชิงปริมาณที่เครือข่ายประสาทเทียมยอมรับได้

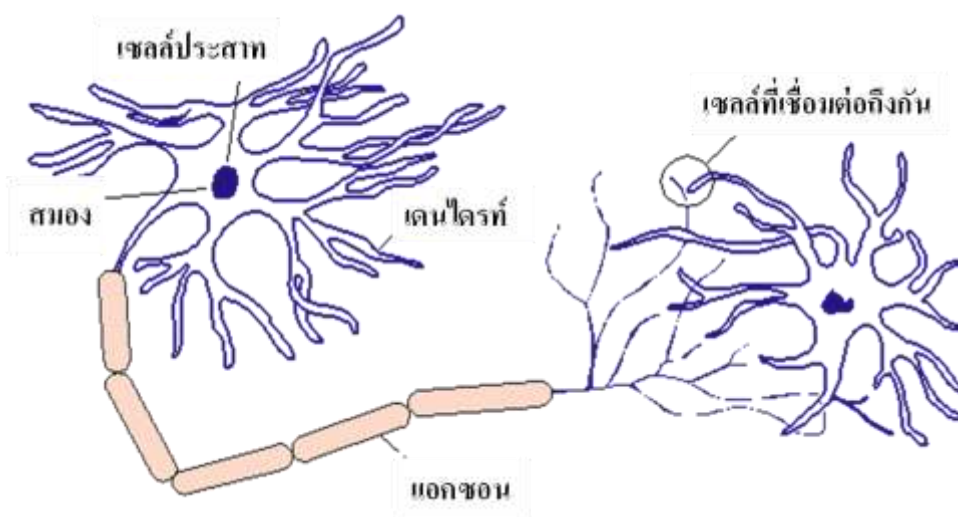
2) ข้อมูลส่งออก (Output) คือ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง (Actual Output) ได้จากระบวนการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียม

3) ค่าน้ำหนัก (Weights) คือ สิ่งที่ได้จากการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่าความรู้ (Knowledge) ค่านี้อาจถูกเก็บเป็นทักษะเพื่อใช้ในการจดจำข้อมูลอื่นๆ ที่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน

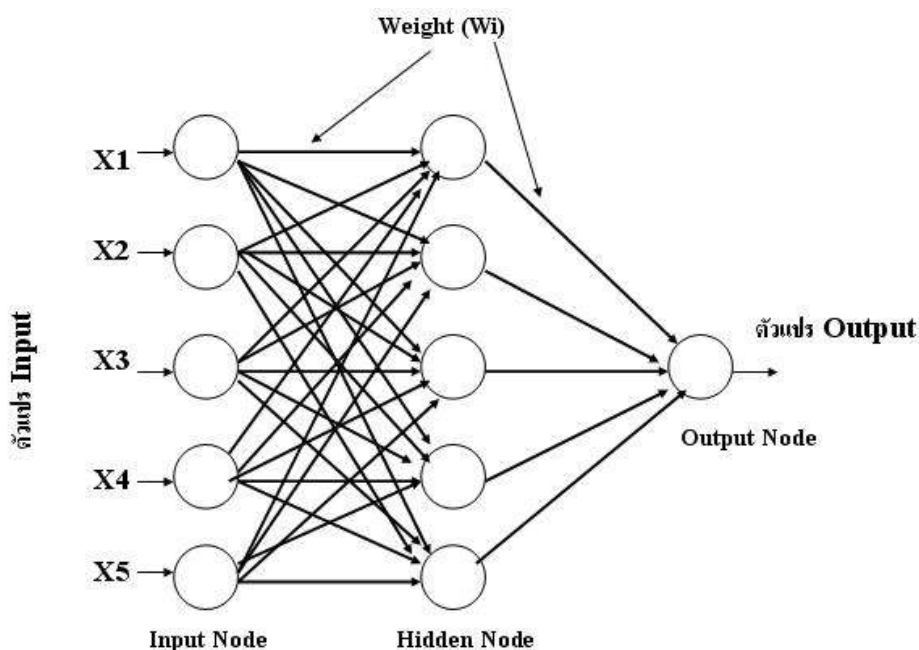
4) ฟังก์ชันผลรวม (Summation Function: S) เป็นผลรวมของข้อมูลป้อนเข้า (a) และค่าน้ำหนัก (w_i) สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.1

$$S = \sum_{i=1}^n a_i w_i \quad (2.1)$$

5) ฟังก์ชันการแปลง (Transfer Function) เป็นการคำนวณการจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทเทียม เช่น ซิกมอยด์ฟังก์ชัน (Sigmoid Function) และฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (Hyperbolic Tangent Function) (ชานวูฒิ ประกอบผล, 2552)



รูปที่ 2.12 โครงสร้างสมองมนุษย์ (ภาพดัดแปลงจาก Kenneth, et al., 2004)



รูปที่ 2.13 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) (ภาพจาก Turban, *et al.*, 2001)

2.3.1.1 ลักษณะของเครือข่ายประสาทเทียม

เครือข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยเซลล์ประสาทเทียม หรือ โหนดจำนวนมากเชื่อมต่อกันซึ่งการเชื่อมต่อแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยเรียกว่า ชั้น (Layer) ชั้นแรกเป็นชั้นนำข้อมูลเข้าเรียกว่า ชั้นนำเข้า (Input Layer) ส่วนชั้นสุดท้ายเรียกว่า ชั้นส่งข้อมูลออก (Output Layer) และชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าและชั้นส่งข้อมูลออกเรียกว่า ชั้นแอบแฝง (Hidden Layer) โดยทั่วไปชั้นแอบแฝงอาจมีมากกว่า 1 ชั้น ทั้งนี้สามารถแบ่งประเภทของเครือข่ายประสาทเทียมตามจำนวนชั้นของเครือข่ายประสาทเทียมได้ 2 แบบคือ เครือข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Perceptron) และเครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron)

1) เครือข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Perceptron) ประกอบด้วย ชั้นของเครือข่ายเพียงชั้นเดียว โดยจำนวนหน่วยชั้นนำเข้า (Input Layer) จะขึ้นอยู่กับจำนวนส่วนประกอบของข้อมูลนำเข้า (Input Data) และรูปแบบเงื่อนไข (Activation Function) ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลส่งออก (Output Data) ดังรูปที่ 2.14 เช่น ถ้าผลลัพธ์ที่ต้องการเป็น “ใช่” หรือ “ไม่ใช่” จะต้องใช้ Threshold Function (Maren, *et al.*, 1990) ดังสมการ 2.2

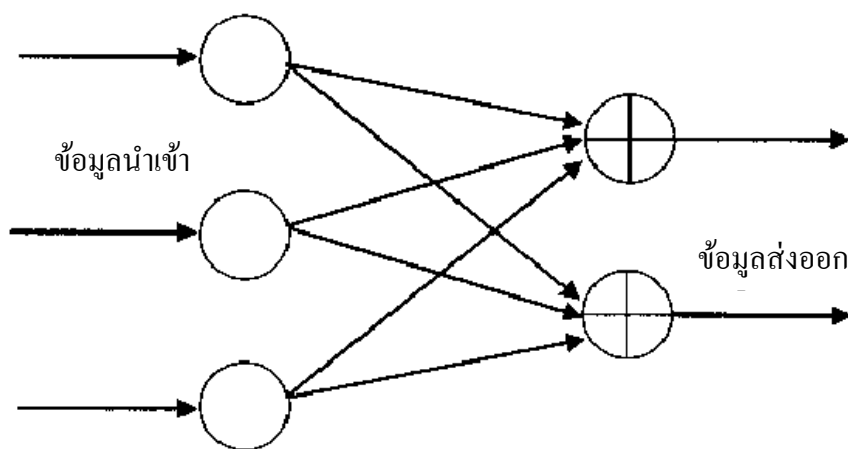
$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq T \\ 0 & \text{if } x < T \end{cases} \quad (2.2)$$

เมื่อ $T = \text{Threshold}$

ถ้าผลลัพธ์เป็นค่าตัวเลขที่ต่อเนื่องต้องใช้ Continuous Function เช่น Sigmoid Function ดังสมการ 2.3

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-\alpha x}} \quad (2.3)$$

เมื่อ x คือ ตัวแปรอินพุต
 T คือ ค่า Threshold

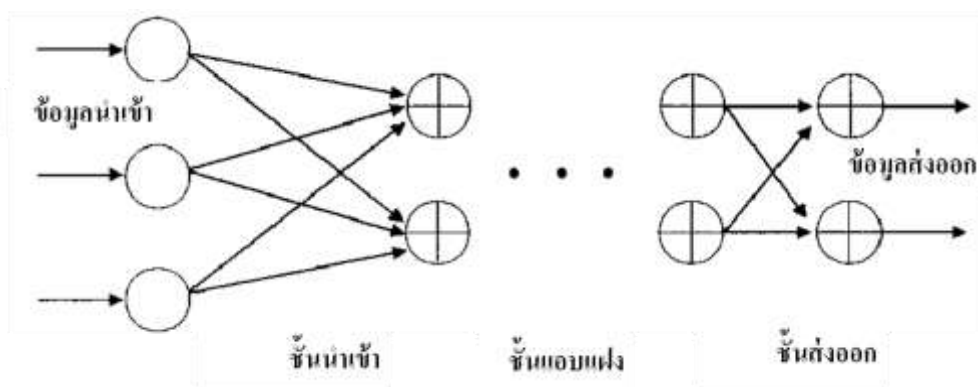


รูปที่ 2.14 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Perceptron)
 (ภาพดัดแปลงจาก ชนวนุฒิ ประกอบผล, 2552)

2) เครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron) หรือเครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back-Propagation Neural Network) เป็นวิธีการฝึกสอนเครือข่ายประสาทเทียมหลายชั้นแบบส่งผ่านไปข้างหน้า (Multilayer Feed-Forward Neural Network) ประกอบด้วย ชั้นนำเข้า ชั้นแอบแฝง และชั้นส่งข้อมูลออก โดยมีลักษณะการส่งผ่านข้อมูลแบบส่งไปข้างหน้าตามลำดับชั้น โดยในแต่ละชั้นจะมีเวกเตอร์เมทริกซ์ มีค่าความเอนเอียงของเวกเตอร์และมีเวกเตอร์ผลลัพธ์ ตัวอย่างของเครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น รูปที่ 2.15 (ชนาวุฒิ ประกอบผล, 2552) ชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 เรียกว่า ชั้นแอบแฝง ส่วนชั้นที่ 3 เรียกว่า ชั้นส่งข้อมูลออก สามารถเขียนได้ดังสมการ 2.4

$$a = f(W^3 f(Wf)(W^1 p + b^1) + b^2) + b^3 \quad (2.4)$$

เมื่อ	f	คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอน
	b	คือ ค่าความเอนเอียงของเวกเตอร์
	W	คือ ค่าน้ำหนักของเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดของแต่ละชั้น
	p	คือ ค่าเวกเตอร์ข้อมูลนำเข้า
	a	คือ ค่าเวกเตอร์ผลลัพธ์



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multiple-Layer Perceptron) ซึ่งประกอบด้วย ชั้นนำเข้า ชั้นแอบแฝง และชั้นส่งออก (ภาพดัดแปลงจาก ชนาวุฒิ ประกอบผล, 2552)

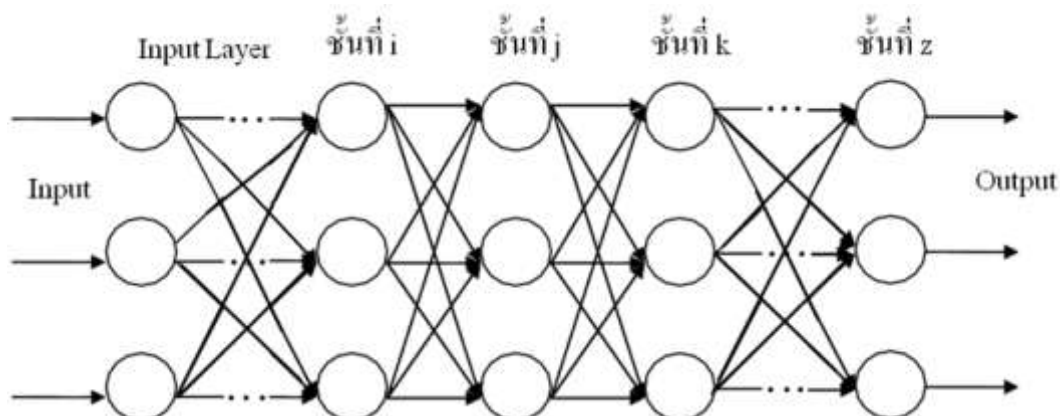
2.3.1.2 การทำงานของเครือข่ายประสาทเทียม

เมื่อมีข้อมูลนำเข้ามายังเครือข่ายประสาทเทียมข้อมูลนำเข้าจะคูณค่าน้ำหนักแต่ละขาของเครือข่ายประสาทเทียมซึ่งผลที่ได้จากข้อมูลนำเข้าทุกๆ ขาของเครือข่ายประสาทเทียมจะเอามารวมกันและเอามาเปรียบเทียบกับ Threshold ที่กำหนดไว้ ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่า Threshold เครือข่ายประสาทเทียมจะส่งผลลัพธ์ออกไป โดยผลลัพธ์นี้จะถูกส่งไปยังข้อมูลนำเข้าของเครือข่ายประสาทเทียมอื่นๆ ที่เชื่อมต่อกันในเครือข่าย ถ้าค่าน้อยกว่า Threshold จะไม่เกิดผลลัพธ์ สามารถเขียนได้ดังสมการ 2.5

$$\text{If } (\text{Sum } (\text{Input} \times \text{Weight}) > \text{Threshold}) \text{ then Output} \quad (2.5)$$

ทั้งนี้ต้องทราบค่าน้ำหนักและค่า Threshold สำหรับสิ่งที่เราต้องการเพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้จักซึ่งเป็นค่าที่ไม่แน่นอน แต่สามารถกำหนดให้คอมพิวเตอร์ปรับค่าเหล่านั้นได้โดยการสอนให้รู้จักรูปแบบของสิ่งที่เราต้องการเรียกว่า เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ เป็นกระบวนการย้อนกลับของการรู้จักในการฝึก Feed-Forward Neural Networks จะมีการใช้อัลกอริทึมแบบ Back-Propagation เพื่อใช้ในการปรับปรุงน้ำหนักคะแนนของเครือข่าย (Network Weight) หลังจากใส่รูปแบบข้อมูลสำหรับฝึกให้แก่เครือข่ายในแต่ละครั้งแล้ว ผลลัพธ์จากเครือข่ายจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คาดหวัง แล้วทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาด ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้จะถูกส่งกลับเข้าสู่เครือข่ายเพื่อใช้แก้ไขค่าน้ำหนักคะแนนต่อไป (วิทยา พรพัชรพงศ์, 2551)

เครือข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในเครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสม โดยการปรับค่าขึ้นอยู่กับความแตกต่างของผลลัพธ์ที่คำนวณได้กับค่าผลลัพธ์ที่ต้องการพิจารณา (Turban, *et al.*, 2001) ดังรูปที่ 2.16

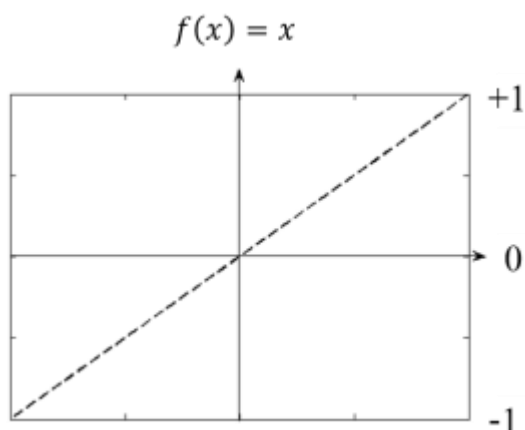


รูปที่ 2.16 รูปแบบเครือข่ายประสาทเทียมแพร่กระจายย้อนกลับ (ภาพดัดแปลงจาก Khaw, *et al.*, 1995)

2.3.2 ฟังก์ชันการแปลงค่า

เครือข่ายประสาทเทียมโดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ชั้นคือ ชั้นนำเข้า ชั้นแอบแฝงและชั้นส่งออก โดยชั้นแอบแฝงจะมีการใช้ฟังก์ชันการแปลง หรือบางครั้งเรียกว่าฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) โดยปกติฟังก์ชันการแปลง (Transfer Function) สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

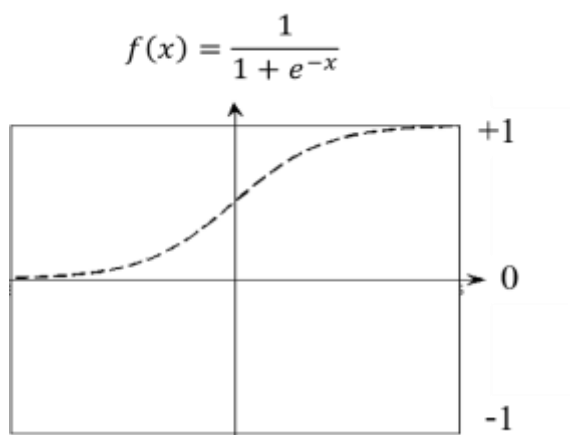
1) ฟังก์ชันการแปลงเชิงเส้น (Linear Transfer Function) ฟังก์ชันการแปลงเชิงเส้นสามารถเรียนรู้เพียงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างข้อมูลนำเข้าและข้อมูลส่งออก ดังนั้นจึงไม่สามารถหาคำตอบได้สำหรับบางกรณี อย่างไรก็ตามถ้าคำตอบที่ได้ไม่ใช่คำตอบที่ดีพอ ฟังก์ชันการแปลงเชิงเส้นจะหาค่าต่ำสุดของผลรวมค่าผิดพลาดกำลังสอง แต่ถ้าอัตราการเรียนรู้มีค่าน้อย เครือข่ายประสาทเทียมจะหาคำตอบที่ใกล้เคียงเท่าที่จะเป็นไปได้ที่แสดงลักษณะเชิงเส้นของลักษณะของเครือข่าย ฟังก์ชันการแปลงเชิงเส้นสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์และแสดงได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ฟังก์ชันการแปลงเชิงเส้น

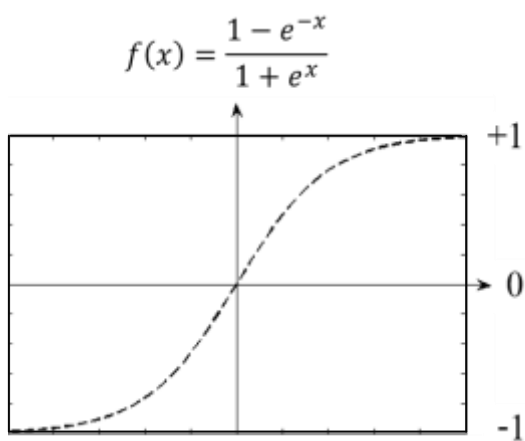
2) ฟังก์ชันการแปลงไม่ใช่เชิงเส้น (Nonlinear Transfer Function) ฟังก์ชันการแปลงไม่ใช่เชิงเส้น ประกอบด้วย ฟังก์ชันการแปลง 2 ชนิดคือ

2.1) ซิกมอยด์ฟังก์ชัน (Sigmoid Function) หรือฟังก์ชันการแปลงแบบซิกมอยด์ จะบีบช่วงข้อมูลป้อนเข้าที่ไม่จำกัดให้เป็นช่วงของข้อมูลส่งออกที่จำกัด โดยช่วงของข้อมูลส่งออกจะอยู่ในช่วง 0 - 1 ฟังก์ชันการแปลงแบบซิกมอยด์จะแสดงลักษณะของข้อเท็จจริงที่มีความชันเข้าใกล้ 0 เมื่อข้อมูลป้อนเข้ามีจำนวนมาก ขั้นตอนวิธีการฝึกฝนแบบแพร่ย้อนกลับมีวัตถุประสงค์เพื่อลดผลกระทบที่ส่งผลต่อขนาดของอนุพันธ์ไม่ให้มีผลกระทบต่อค่าน้ำหนักปัจจุบัน โดยขนาดของการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักถูกกำหนดโดยค่าปัจจุบันที่แยกออกมา ค่าปัจจุบันสำหรับค่าน้ำหนักและความโน้มเอียงแต่ละค่าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออนุพันธ์ของฟังก์ชันสัมพันธ์กับค่าน้ำหนักที่มีเครื่องหมายเดียวกัน สำหรับการกระทำซ้ำรอบสองและค่าปัจจุบันจะลดลงเมื่ออนุพันธ์ที่สัมพันธ์กับน้ำหนักเปลี่ยนแปลงเครื่องหมายจากการกระทำซ้ำรอบก่อน ถ้าอนุพันธ์เท่ากับ 0 แสดงว่าค่าปัจจุบันยังคงเดิม ฟังก์ชันการแปลงแบบซิกมอยด์สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์และแสดงได้ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ฟังก์ชันการแปลงแบบซิกมอยด์

2.2) ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (Hyperbolic Tangent Function) มีลักษณะเช่นเดียวกับฟังก์ชันการแปลงแบบซิกมอยด์ (Sigmoid Transfer Function) แตกต่างกันเพียงช่วงของข้อมูลส่งออกจะอยู่ในช่วง -1 และ $+1$ ฟังก์ชันการแปลงแบบไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์และแสดงได้ดังรูปที่ 2.19 (อรรถพล ศรีประดิษฐ์, 2555)



รูปที่ 2.19 ฟังก์ชันการแปลงแบบไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์

2.3.3 การเปรียบเทียบเครือข่ายประสาทเทียมกับการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์แบบทั่วไป

เครือข่ายประสาทเทียมมีวิธีการในการแก้ปัญหาที่หลากหลายกว่าการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์แบบทั่วไปซึ่งคอมพิวเตอร์ทั่วไปจะใช้อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาที่เป็นขั้นตอนชัดเจน ทำงานกับข้อมูลที่รู้แน่ชัด ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาที่มีอยู่อย่างจำกัด จากการเปรียบเทียบข้างต้น พบว่าโครงสร้างและประสิทธิภาพการทำงานของ การประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์แบบทั่วไปมีความแตกต่างจากเครือข่ายประสาทเทียมและการทำงานของสมองมนุษย์ ถึงแม้ว่าการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์แบบทั่วไปจะมีความเที่ยงตรงในการคำนวณและประมวลผลข้อมูลจำนวนมากให้กลายเป็นข่าวสารที่มีประโยชน์ต่อผู้ใช้แต่มีความฉลาดที่น้อยกว่าทำให้ไม่สามารถทำงานกับข้อมูลที่ปราศจากความสมบูรณ์ได้ ด้วยเหตุผลนี้จึงจำเป็นต้องนำแนวคิดเครือข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ และพัฒนาโปรแกรมให้สามารถทำงานเลียนแบบสมองของมนุษย์ได้หรือเพิ่มความสามารถให้กับ โปรแกรมโดยให้มีความสามารถประมวลผลโปรแกรมแบบคู่ขนานได้ นอกจากนี้การเรียนรู้ของเครือข่ายระบบประสาทแบบ “การเรียนรู้โดยปราศจากครูสอน” จัดเป็นจุดเด่นที่ทำให้แตกต่างจากการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์แบบทั่วไป เนื่องจากระบบสามารถนำเอาความรู้ที่เก็บอยู่ภายในมาผสมผสานกันและวินิจฉัยหาคำตอบโดยไม่ต้องมีผู้สอน และการเรียนรู้แบบนี้ส่งผลให้เครือข่ายประสาทเทียมมีความคล้ายมนุษย์มากที่สุด โปรแกรมจะสามารถเรียนรู้ชุดคำสั่งในการทำงานจากชุดข้อมูลฝึกหัด (Training Set) จะมีการจดจำค่าข้อมูลในอดีต เพื่อสั่งสมประสบการณ์และปรับค่าข้อมูลที่รับเข้ามา (Weight) เพื่อให้หาวิธีที่มีข้อผิดพลาดจากการฝึกหัดต่ำสุด (Training Error) โดยวิธีการปรับจะค่อยๆ ปรับไปทีละน้อย จนกว่าค่าความผิดพลาดจะลดน้อยลง

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์แบบทั่วไปกับเครือข่ายประสาทเทียมจะพบว่าเครือข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีกว่าและฉลาดกว่า จึงเป็นเหตุผลหนึ่งในการนำเครือข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้

2.4 ค่าทางสถิติที่ใช้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

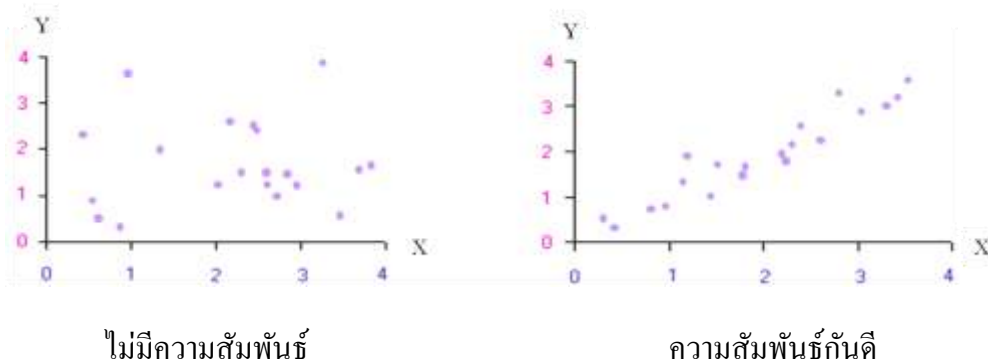
ค่าทางสถิติเป็นค่าที่ใช้สำหรับวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น โดยพิจารณาว่ามีความถูกต้องหรือมีความผิดพลาดมากน้อยเพียงใด ซึ่งค่าทางสถิติที่ใช้สำหรับการทำวิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และสัมพันธ์กันอย่างไร ความสัมพันธ์อาจเป็นไปในทิศทางเดียวกัน หรือทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งความสัมพันธ์ของตัวแปรและทิศทางของความสัมพันธ์นั้นสามารถทราบได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง -1 และ 1 ค่าสูงสุดมีค่าเป็น 1 หมายความว่าตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์กันมากที่สุดโดยจะมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น แต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเป็น 0 แสดงว่าตัวแปรนั้นไม่มีความสัมพันธ์กันเลย ทั้งนี้เครื่องหมายลบ (-) และเครื่องหมาย (+) ใช้บอกทิศทางของความสัมพันธ์ เครื่องหมายลบ หมายถึงความสัมพันธ์อยู่ในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือเมื่อค่าของ X มากขึ้น ค่าของ Y จะลดลง สำหรับเครื่องหมายบวก หมายถึงความสัมพันธ์อยู่ในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อค่าของ X มากขึ้น ค่าของ Y จะมากขึ้นด้วย ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สามารถหาได้ดังสมการที่ 2.6 และแสดงได้ดังรูปที่ 2.20

$$r = \frac{\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N [(X_i - \mu_X) \cdot (Y_i - \mu_Y)] \right)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (2.6)$$

เมื่อ	r	คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
	μ_X	คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล X
	μ_Y	คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล Y
	σ_X	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูล X
	σ_Y	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูล Y



รูปที่ 2.20 การกระจายของข้อมูล 2 ชุดที่มีค่ากลางและการกระจายเหมือนกันแต่ระดับความสัมพันธ์ต่างกัน (ภาพคัดแปลงจาก http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet2/knowledge_math/relation/relate2.htm, 15 ตุลาคม 2556)

2.4.2 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error)

ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เป็นค่าที่ใช้วัดความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงที่ได้จากการวัด (Truth) กับข้อมูลที่ได้จากการประมาณ (Estimate) ถ้าค่า RMSE มีค่าน้อยแสดงถึงข้อมูลที่ได้จากการประมาณมีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริง แต่หากมีค่ามากแสดงถึงตัวประมาณค่าไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน ค่า RMSE หาได้ดังสมการ 2.7

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (F_i - Q_i)^2}{N}} \quad (2.7)$$

เมื่อ	F_i	คือ ค่าที่ประมาณได้
	Q_i	คือ ค่าจริง
	N	คือ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการประมาณ

2.5 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้าในการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้า มีประโยชน์อย่างยิ่งในเชิงอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา Vicente, *et al.* (1998) ศึกษาการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียมค้างฟ้า GOES 8 - 9 ช่องสัญญาณ Imager ช่วงคลื่นอินฟราเรดที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 4 km และตรวจสอบความถูกต้องอัตราการตกของฝนรายชั่วโมงของค่าที่ประมาณได้ โดยใช้ผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน National Centers for Environmental Prediction (NCEP) ที่ความละเอียดเชิงเวลา 15 นาที ความละเอียดเชิงพื้นที่ 4 km พื้นที่ศึกษาคือ บริเวณ 48 รัฐของประเทศสหรัฐอเมริกาและพื้นที่มหาสมุทรใกล้เคียง ส่วนอัลกอริทึมที่ใช้คือ การวิเคราะห์การถดถอย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณได้ช่วงความละเอียดเชิงเวลา 1 ชั่วโมง เป็นประโยชน์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ ทั้งนี้อัลกอริทึมดังกล่าวสามารถประมาณค่าอัตราการตกของฝนได้ทุกที่ 1 - 6 ชั่วโมง มีประโยชน์ในการเตือนภัยน้ำท่วมได้ แต่การประมาณค่าดังกล่าวมีค่าสูงเกินไป เนื่องจากใช้วิธีการประมาณค่าแบบการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งมีข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้สำหรับการประมาณค่าเนื่องจากความแตกต่างของกระบวนการทางฟิสิกส์ที่เชื่อมโยงกับการเกิดหยาดน้ำฟ้าและข้อจำกัดของข้อมูลดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรดเนื่องจากสามารถวัดได้เพียงอุณหภูมิส่วนบนของเมฆเท่านั้น

Sorooshian, *et al.* (2000) ศึกษาการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าด้วยวิธีเครือข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรดและตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ข้อมูลหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์ TRMM ซึ่งวิธีการที่ใช้ประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าดังกล่าวเรียกว่า PERSIANN- GOES-IR-TRMM (PERSIANN-GT) มีขอบเขตพื้นที่คือ 30°S - 30°N, 90°E - 30°W ผลการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าพบว่า มีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดีกับข้อมูลฝนจากเรดาร์ TRMM แต่ผลิตภัณฑ์ PERSIANN-GT ให้ค่าการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนที่สูงกว่าสำหรับบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก

Kidd, *et al.* (2003) ได้ศึกษาวิธีการประมาณค่าอัตราการตกของฝนรายวันในทวีปแอฟริกาโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด GOES ช่องสัญญาณ 10.700 μm ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 4 km และตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ข้อมูลอัตราการตกของฝนจากดาวเทียม Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) ซึ่งเป็นดาวเทียมแพสซีฟไมโครเวฟ (Passive Microwave) มีความละเอียดเชิงเวลา 30 นาที และความละเอียดเชิงพื้นที่ 12 km นอกจากนี้ยังใช้ข้อมูลจากมาตรวัดฝนจำนวนประมาณ 169 ตัว ครอบคลุมทั่วทั้งทวีปแอฟริกา มาเปรียบเทียบกับโดย

กำหนดค่าเริ่มต้นของข้อมูลอุณหภูมิความสว่างของดาวเทียม GOES ในช่วง 75 - 329 K และข้อมูลฝนอยู่ในช่วง 0 - 51.100 mm/h สำหรับการประมาณค่าน้ำฝนอาศัยการสร้างสมมติฐาน โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียม GOES และข้อมูลฝนจากดาวเทียม DMSP ผลการศึกษาพบว่า การประมาณค่าปริมาณน้ำฝน โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียมอินฟราเรดร่วมกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากดาวเทียมแบบแพสซีฟไมโครเวฟให้ผลดีกว่าการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว ถึงแม้ว่าอัลกอริทึมที่ใช้ดังกล่าวจะไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุด แต่ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติทำให้ทราบว่าความละเอียดเชิงพื้นที่และความละเอียดเชิงเวลามีส่วนสำคัญที่ทำให้ค่าความผิดพลาดลดน้อยลง

Romanov, *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาวิจัยการพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าหิมะสำหรับดาวเทียมค้างฟ้า GOES เพื่อหาอัลกอริทึมในการประมาณค่าที่ดีที่สุด โดยใช้สมการถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ซึ่งทำการเปรียบเทียบข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมค้างฟ้า GOES กับข้อมูลจากดาวเทียม NOAA National Operational Hydrological Remote Sensing Center (NOHRSC) ผลจากการใช้อัลกอริทึมดังกล่าวพบว่า การประมาณค่าความสูงของหิมะ โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้า GOES ร่วมกับข้อมูลจาก NOHRSC ซึ่งเป็นดาวเทียมที่ใช้ช่วงคลื่นไมโครเวฟ จะให้ผลที่ดีกว่าการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว สังเกตได้จากค่า RMSE ที่น้อยลง

ที่ผ่านมาเคยมีการศึกษาวิจัยพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าฝนและหิมะสำหรับดาวเทียมค้างฟ้าช่วงคลื่นแสงหลายผลงานวิจัย แต่ปัญหาหลักที่พบคือ False Alarms เช่น Griffith, *et al.* (1995) ได้พัฒนา Precipitation Index (GPI) สำหรับดาวเทียมค้างฟ้า Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) ซึ่งเป็นดาวเทียมของประเทศสหรัฐอเมริกา เทคนิคดังกล่าวใช้หลักการว่าเมฆที่มีลักษณะเย็นจะทำให้เกิดฝนหรือหิมะ โดยการประมาณค่าฝนใช้การกำหนด Threshold สำหรับช่องสัญญาณอินฟราเรด แต่พบปัญหาคือ False Alarms เกิดขึ้นจากเมฆแบบ Cirrus Clouds ที่มีความเย็นแต่ไม่ทำให้เกิดฝนหรือหิมะ Arkin (1979) จึงเสนอวิธีการลด False Alarms โดยใช้หลักความสัมพันธ์ระหว่างความเย็นและความสว่างของเมฆกับความน่าจะเป็นของฝน สำหรับความน่าจะเป็นของฝนมีค่าต่ำสำหรับเมฆที่มีลักษณะเย็นและมีด (Cirrus) ส่วนเมฆที่มีลักษณะร้อนและสว่าง (Stratus) อัลกอริทึมดังกล่าวใช้ทั้งช่วงคลื่นที่มองเห็นได้และอินฟราเรด โดยมีการฝึกโดยใช้ข้อมูลฝนที่สังเกตจากระดับ ผลของอัลกอริทึมดังกล่าวพบว่า False Alarms มีค่าลดลง Adler (1988) ได้พัฒนาแบบจำลองเมฆหนึ่งมิติที่เชื่อมโยงอุณหภูมิบริเวณส่วนบนของเมฆกับอัตราการตกของฝนและพื้นที่ของฝน เทคนิคดังกล่าวเรียกว่า Convective Stratiform Technique

Staelin and Surussavadee (2007) ศึกษาวิจัยเพื่อหาคุณสมบัติและคุณลักษณะของอุปกรณ์รับรู้ช่วงคลื่นไมโครเวฟที่เหมาะสมกับการใช้บนดาวเทียมค้างฟ้า การศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่มีทั้งที่อยู่ในวงโคจรใกล้ขั้วโลกและวงโคจรค้างฟ้า ตำแหน่งบนโลกที่สังเกตโดยดาวเทียมแบบวงโคจรใกล้ขั้วโลกจะเปลี่ยนแปลงตามวงโคจร โดยช่วงคลื่นที่เหมาะสมต่อการสังเกตและประมาณค่าฝนและหิมะนั้นคือ ช่วงคลื่นมิลลิเมตรเวฟ เนื่องจากสามารถมองทะลุเมฆได้ และสามารถรับรู้อุณหภูมิและความชื้นในแต่ละระดับชั้นบรรยากาศ (Surussavadee, 2011; Surussavadee and Staelin 2008a, 2008b, 2009, 2010a, 2010b, 2011) แต่ปัจจุบันเครื่องมือวัดช่วงคลื่นมิลลิเมตรเวฟมีเฉพาะบนดาวเทียมแบบ Low Earth Orbit ทำให้ไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของพายุในพื้นที่หนึ่งๆ ได้ตลอดเวลา และปัจจุบันเครื่องมือวัดที่อยู่บนดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาค้างฟ้าใช้น้ำความถี่ช่วงคลื่นแสงซึ่งไม่สามารถมองทะลุเมฆได้ทำให้ความแม่นยำในการประมาณค่าฝนและหิมะนั้นน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาในเรื่องของการแยกแยะระหว่างเมฆที่มีฝนตกกับเมฆที่ไม่มีฝนตกจึงทำให้เกิด False Alarms ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อหาคุณสมบัติและคุณลักษณะของเครื่องมือวัดช่วงคลื่นมิลลิเมตรเวฟที่เหมาะสมกับการใช้บนดาวเทียมค้างฟ้า แต่ยังคงต้องใช้เวลาอีกหลายปีจึงจะมีการนำไปใช้งานจริงในอนาคต (Surussavadee, 2009)

G. DELGADO, *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาประมาณค่าปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ทวีปอเมริกาใต้อาศัยข้อมูลอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด GOES ร่วมกับข้อมูลหยาดน้ำฟ้าจากดาวเทียม Tropical Rainfall Measuring Mission satellite (TRMM) การศึกษาดังกล่าวใช้สมการถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression) เริ่มต้นโดยการแบ่งช่วงของอุณหภูมิความสว่างเพื่อแยกประเภทของเมฆที่มีฝนกับไม่มีฝน เพื่อตรวจวัดชนิดของเมฆที่เกิดฝน การศึกษาดังกล่าวมีการเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Vicente, *et al.* (1998) โดยใช้เทคนิค Hydroestimator Technique (HE) วิธีการแบบ Non-Linear Power Law เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนบนของเมฆกับข้อมูลฝนเรดาร์ แต่ HE ไม่ได้พิจารณาถึงชนิดของเมฆ จะศึกษาเมฆชนิด Convective เท่านั้น โดยอาศัยข้อมูลจากดาวเทียม GOES ที่อยู่ในช่วงคลื่น 10.700 μm กับข้อมูลของ Meteosat ในช่วงคลื่น 11.500 μm รวมทั้งความเร็วลม ความชื้น และข้อมูลระดับความสูง (Topography) ผลของการศึกษาพบว่า การประมาณค่าน้ำฝนจะเกิดผลดีกับช่วงอุณหภูมิที่กว้าง หลังจากที่มีการคำนวณค่าทางสถิติพบว่า การประมาณค่าน้ำฝนมีการประเมินที่สูงเกินไปในระหว่างการฝึกและต่ำเกินไปสำหรับกรณีทดสอบเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ HE พบว่า การประมาณค่าน้ำฝนให้ผลที่ดีกว่าสังเกตได้จากค่า RMSE

AMSU MIT Precipitation retrieval (AMP) เป็นอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าฝนและหิมะทั่วโลกโดยใช้คลื่นความถี่มิลลิเมตรเวฟ อัลกอริทึมดังกล่าวเป็นอัลกอริทึมแรกที่สามารถประมาณค่าฝนและหิมะบนพื้นที่ที่มีหิมะปกคลุมหรือทะเลน้ำแข็งได้ และผลของการประมาณค่าได้มีการตรวจสอบและพบว่าผลดังกล่าวค่อนข้างตรงกับค่าที่วัดจาก 787 มาตรวัดปริมาณน้ำฝนทั่วโลก (Surussavadee, 2011; Surussavadee and Staelin 2008a, 2008b, 2009, 2010a, 2010b, 2011)

Surussavadee and Songsom (2013) ศึกษาการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงโดยใช้การสังเกตของดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรดแบบแพสซีฟ MTSAT ร่วมกับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าทั่วโลก AMP โดยใช้การฝึกตัวประมาณแบบเครือข่ายประสาทเทียมเนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียมอินฟราเรด MTSAT มีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นกับค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า ทั้งนี้การศึกษามีการแยกพิจารณาในส่วนของขอบเขตพื้นที่ที่เป็นพื้นดินและพื้นน้ำด้วย ผลการศึกษาพบว่าจากการฝึกตัวประมาณค่าในกรณีพื้นดินและพื้นน้ำโครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมที่ให้ผลการประมาณค่าที่ดีที่สุดคือ มีจำนวนชั้นแอบแฝงจำนวน 3 ชั้นคือ ชั้นที่ 1 มีจำนวน 10 โหนด ชั้นที่ 2 มีจำนวน 5 โหนด และชั้นที่ 3 มีจำนวน 1 โหนดตามลำดับ ทั้งนี้ผลจากการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ที่ 2 และ 1 mm/h สำหรับพื้นดินและพื้นน้ำตามลำดับ โดยการประมาณค่าที่อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ามากกว่า 4 mm/h มีความถูกต้องแม่นยำสูงทั้งในกรณีพื้นดินและพื้นน้ำ สำหรับการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าที่ต่ำกว่า 4 mm/h ผลการประมาณค่าดังกล่าวจะมีการประมาณค่าที่สูงเกินไป ทั้งนี้อาจเนื่องจากการตรวจพบหยาดน้ำฟ้าที่ผิดพลาดจากอุปกรณ์รับรู้ Japanese Advanced Meteorological Imager (JAMI) ของดาวเทียมอินฟราเรด MTSAT (False Alarms)

Ouallouchel, *et al.* (2014) ศึกษาการใช้ข้อมูลดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด Meteosat Second Generation (MSG) ร่วมกับดาวเทียมแบบแพสซีฟไมโครเวฟ TRMM Microwave Imager (TMI) พื้นที่ศึกษาคือ ทางตอนเหนือของประเทศอาร์เจนตินา โดยใช้วิธีการเครือข่ายประสาทเทียมทั้งนี้จะมีการระบุพิกเซลที่มีฝนตกกับพิกเซลที่ไม่มีฝนตก โดยจะตรวจสอบความถูกต้องของพิกเซลที่มีฝนและไม่มีฝนกับข้อมูลหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากรีดาร์ TRMM ผลการศึกษาพบว่าจากการเปรียบเทียบค่าที่ประมาณได้โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรดร่วมกับข้อมูลจากดาวเทียมแบบแพสซีฟไมโครเวฟเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลรีดาร์ TRMM มีความสัมพันธ์กันในเกณฑ์ที่ดีกว่าใช้เฉพาะดาวเทียมอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว

ดังนั้นสำหรับการทำวิทยานิพนธ์นี้จึงได้พัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม GOES-12 วิธีที่ใช้คือ เครือข่ายประสาทเทียมที่ถูกฝึกและตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจาก AMP เป็นข้อมูลอ้างอิง

(Reference Data) และตรวจสอบความถูกต้องของผลการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าดังกล่าวโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Stage IV

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้า GOES ซึ่งมีวงโคจรอยู่กับที่ ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้และช่วงคลื่นอินฟราเรด ส่วนดาวเทียมอีกหนึ่งดวงที่ใช้คือ ดาวเทียม NOAA-18 วงโคจรมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา และอยู่ในช่วงคลื่นไมโครเวฟ สำหรับข้อมูลที่นำไปใช้งานจะต้องเป็นข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่งและเวลาใกล้เคียงกัน ทั้งนี้การพัฒนาอัลกอริทึมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ 1) การพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า 2) การตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม ซึ่งตรวจสอบความถูกต้องด้วยผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าทั่วโลก AMP และอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV ดังนั้นตอนวิธีการวิจัยที่จะกล่าวตามรายละเอียด

3.1 พื้นที่ศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้จะพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าสำหรับใช้กับข้อมูลดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด GOES รูปที่ 3.1 แสดงพื้นที่การศึกษาที่อยู่บริเวณละติจูด $60^{\circ}\text{S} - 60^{\circ}\text{N}$ และลองจิจูด $30^{\circ}\text{W} - 120^{\circ}\text{W}$ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของทวีปอเมริกาใต้ไปจนถึงบางส่วนของประเทศเม็กซิโก ประเทศสหรัฐอเมริกา มหาสมุทรแอตแลนติก และมหาสมุทรแปซิฟิก ดังแสดงในกรอบสี่เหลี่ยมข้างต้น ซึ่งอยู่ในขอบเขตของดาวเทียม GOES-EAST



รูปที่ 3.1 ขอบเขตบางส่วนของทวีปอเมริกาใต้ไปจนถึงบางส่วนของประเทศเม็กซิโก ประเทศสหรัฐอเมริกา มหาสมุทรแอตแลนติก และมหาสมุทรแปซิฟิก ($60^{\circ}\text{S} - 60^{\circ}\text{N}$, $30^{\circ}\text{W} - 120^{\circ}\text{W}$) เป็นส่วนหนึ่งของขอบเขต GOES-EAST

3.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

3.2.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม GOES

ข้อมูลดาวเทียม GOES ได้ข้อมูลมาจาก <http://www.nsof.class.noaa.gov> ซึ่งจัดทำโดย National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้ดาวเทียม GOES-12 (GOES-EAST) จากอุปกรณ์ตรวจวัด GOES Imager ซึ่งมีข้อมูลดาวเทียมเป็นรายครึ่งชั่วโมงดังนี้ 23.15, 23.45, 00.15, 00.45, 01.15, ..., 22.45 น. แต่จะไฟล์ข้อมูลจากการดาวน์โหลดประกอบด้วย ข้อมูลการแปลงจากระบบเลขฐานสองเป็นให้เป็นข้อมูลอุณหภูมิความสว่าง (Brightness Temperature) โดยใช้ข้อมูลจาก GOES Satellite Data-Imager (GVAR_IMG) ในระหว่างเดือนมกราคม - ธันวาคม พ.ศ. 2552 โดยใช้ข้อมูลทุกวันที่ 5, 15 และ 25

ของทุกเดือนใน พ.ศ. 2552 เนื่องจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม GOES ที่ใช้ศึกษามีจำนวนมากส่งผลให้มีข้อจำกัดด้านการประมวลผลข้อมูล ทั้งนี้ข้อมูลทุกวันที่ 5, 15 และ 25 ของทุกเดือนใน พ.ศ. 2552 ดังกล่าว ถือเป็นตัวแทนของข้อมูลทุกต้นเดือน กลางเดือน และปลายเดือน ตามลำดับ และใช้เฉพาะช่องสัญญาณอินฟราเรดเนื่องจากเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิความสว่างกับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า พบว่าข้อมูลที่ใช้ในอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าหยาดน้ำฟ้ามีเฉพาะข้อมูลอุณหภูมิความสว่างของช่องสัญญาณอินฟราเรดเท่านั้นเนื่องจากเปอร์เซ็นต์การสะท้อนสำหรับช่องสัญญาณที่มองเห็น ได้มีความสัมพันธ์กับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP ต่ำ หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลดังกล่าวไม่มีผลต่ออัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า เนื่องจากค่าการสะท้อนสำหรับช่องสัญญาณที่มองเห็น ได้มีการตอบสนองต่อแสงได้ดี หากพิจารณาในช่วงเวลากลางคืน พบว่าเมื่อมีแสงจากแหล่งกำเนิดแสงอื่นเข้ามายังตัวรับสัญญาณส่งผลให้ค่าการสะท้อนที่ดาวเทียมวัดได้มีความผิดพลาดไป (Surussavadee and Songsom, 2013) ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้เฉพาะข้อมูลช่องสัญญาณอินฟราเรดเท่านั้น

3.2.2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP

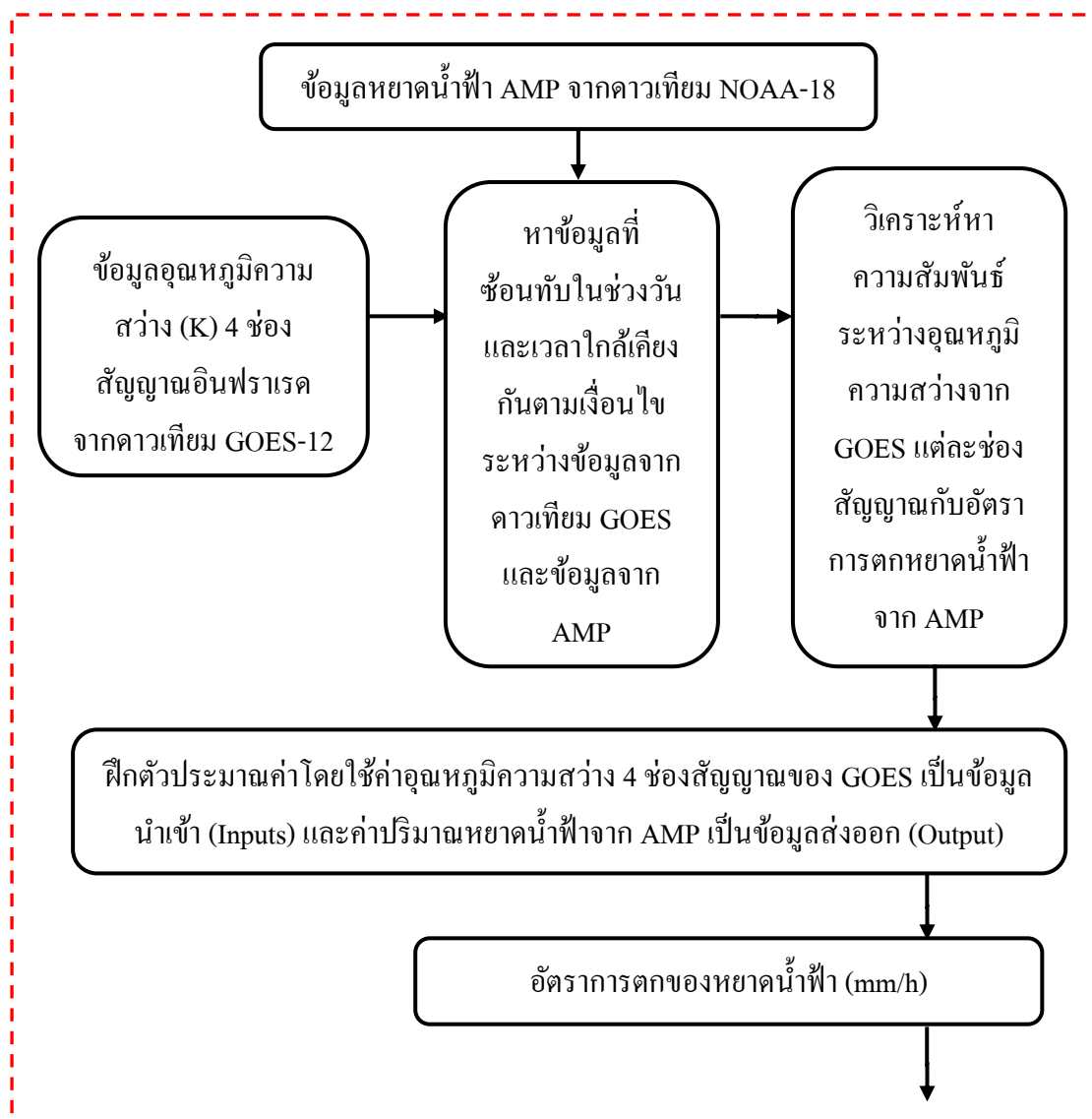
ข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMSU MIT Precipitation Retrieval Products (AMP) ได้ข้อมูลมาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชินวัชร สุรัสวดี ผู้อำนวยการบัณฑิตวิทยาลัยสหวิทยาการวิทยาศาสตร์ระบบโลกและการจัดการภัยธรรมชาติอันดามัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP เป็นค่าที่ได้จากประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าจากดาวเทียม ไมโครเวฟแบบแพสซีฟ ภายในผลิตภัณฑ์ AMP ประกอบด้วย อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ามีหน่วยเป็น mm/h เส้นทางการกระจายของฝน หิมะ เกล็ดน้ำแข็ง ความเร็วลมสูงสุดในแนวตั้ง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที เป็นต้น ทั้งนี้ข้อมูลจะครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกรวมถึงพื้นที่ขั้วโลก โดยการแสดงผลแบบใกล้เคียงเวลาจริง ในหนึ่งวันจะมีข้อมูลประมาณ 14 ไฟล์ตามคาบการโคจรของดาวเทียม (Surussavadee, 2008) สำหรับข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ อ้างอิงกับข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP ของดาวเทียม NOAA-18 ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 15 km

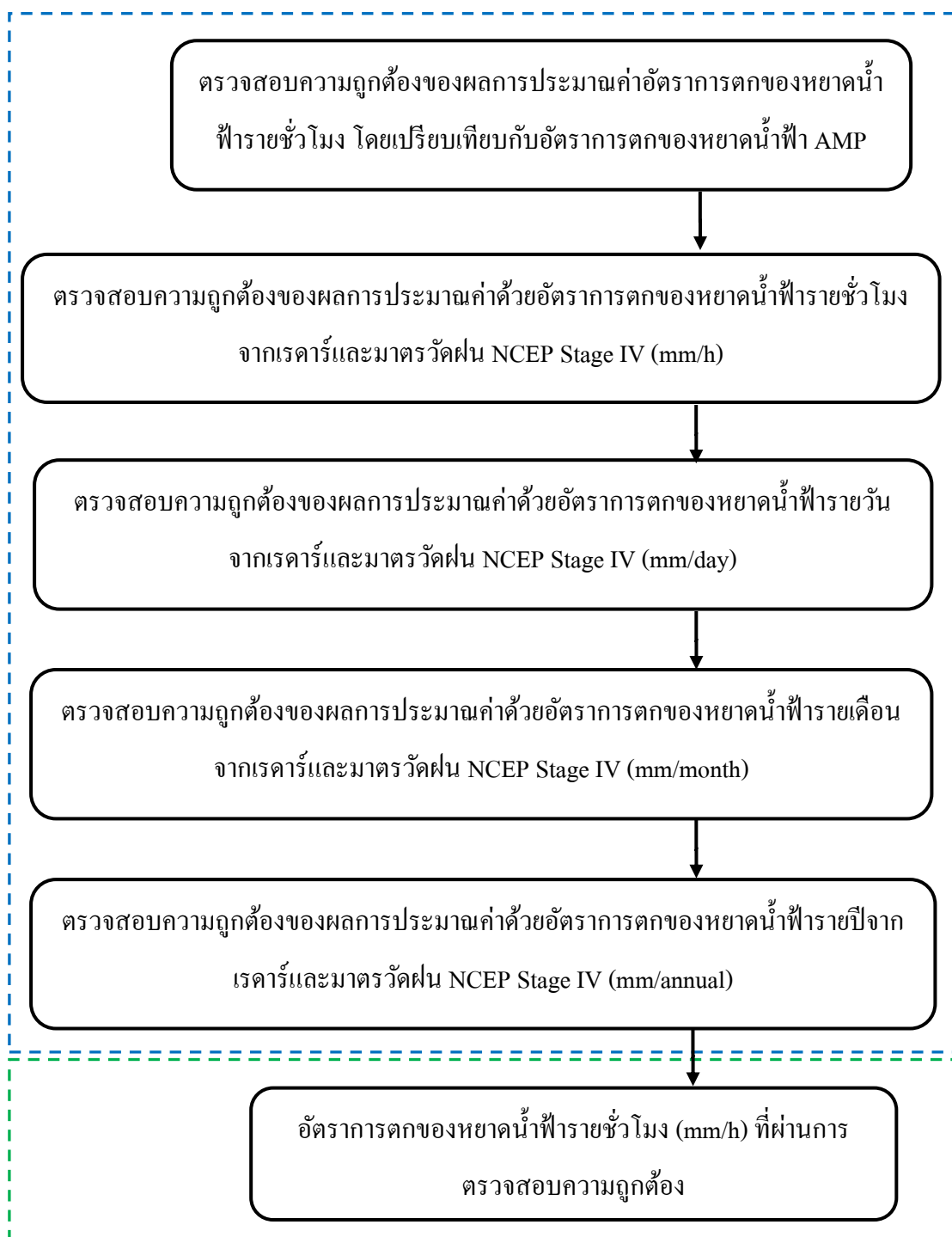
3.2.3 ข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV ข้อมูล NCEP ประกอบด้วย 4 Stage ได้แก่ NCEP Stage I, NCEP Stage II, NCEP Stage III และ NCEP Stage IV สำหรับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงจาก National Centers for Environmental Prediction Stage IV (NCEP Stage IV) เป็นข้อมูลจาก 12 River Forecast Centers (RFCs) ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดแบบ Multi-Sensor (Radar and Gauges) ครอบคลุมพื้นที่บริเวณประเทศสหรัฐอเมริกาหรือ Continental United States (CONUS) มีพิกัดทางภูมิศาสตร์อยู่ที่ $25^{\circ}\text{N} - 49^{\circ}\text{N}$ และ $67^{\circ}\text{W} - 125^{\circ}\text{W}$ สำหรับข้อมูลหยาดน้ำฟ้าจาก NCEP Stage IV จะให้ข้อมูลหยาดน้ำฟ้าสะสมทุกๆ 1, 6 และ 24 ชั่วโมง มีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 4 km Polar-Stereographic Grids สำหรับข้อมูลจาก NCEP Stage IV แตกต่างจากข้อมูล NCEP Stage II เนื่องจากข้อมูล NCEP Stage II จะไม่มี Manual Quality Control (QC) ในขณะที่ข้อมูลจาก NCEP Stage IV จะมี Manual Quality Control (The National Center for Atmospheric Research, 2014) ดังนั้นจึงตรวจสอบความถูกต้องอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึมดังกล่าว โดยเปรียบเทียบกับค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV

3.3 วิธีการวิจัย

กระบวนการศึกษาวิจัยวิทยานิพนธ์นี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ 1) การพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า และ 2) การตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมด้วยผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า โดยอาศัยข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP และอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV สำหรับพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า เริ่มจากขั้นตอนการเตรียมข้อมูล โดยนำข้อมูล Digital Number จากดาวเทียม GOES มาเลือกข้อมูลซ้อนทับกับข้อมูลของหยาดน้ำฟ้าของ AMP จากดาวเทียม NOAA-18 ภายใต้งี้อเนกประสงค์ของเวลาภายใน 15 นาที (± 15 นาที) และระยะทางห่างกันไม่เกิน 15 km เมื่อได้ข้อมูลภายใต้งี้อเนกประสงค์ดังกล่าว ข้อมูล Digital Number จะถูกแปลงไปเป็นข้อมูลอุณหภูมิความสว่างในหน่วยของ K (ดังตัวอย่างในภาคผนวก ข) โดยตัวประมาณค่าของวิทยานิพนธ์นี้ใช้เครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เนื่องจากวิธีเครือข่ายประสาทเทียมเหมาะสำหรับการประมวลผลข้อมูลที่มีจำนวนมากและมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนกัน ทั้งนี้ข้อมูลอุณหภูมิความสว่างดังกล่าวมี

ความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน และไม่เป็นเชิงเส้นกับค่าหยาดน้ำฟ้า ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้วิธีเครือข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้า โดยจะได้ตัวประมาณค่าที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน และผลลัพธ์ที่ได้คือ อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (mm/h) สามารถแสดงกระบวนการทำงานได้ดังรูปที่ 3.2





รูปที่ 3.2 กระบวนการศึกษาวิจัยสำหรับการพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ 1) ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล และพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับใช้ประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (กรอบสีแดง) 2) ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม

(กรอบสีน้ำเงิน) และ 3) ผลลัพธ์ที่ได้คือ อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมง (mm/h) ที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม (กรอบสีเขียว)

ข้อมูลดาวเทียม GOES ช่องสัญญาณอินฟราเรดต้องแปลงค่าจาก Digital Number เป็นค่าอุณหภูมิความสว่าง (Brightness Temperatures, T_B) ในหน่วย K ก่อน โดยใช้วิธีการแปลงค่าแบบ Look Up Table และ Spline Interpolation โดยจะเปรียบเทียบค่า Digital Number กับค่าที่ได้จากดาวเทียม GOES ของช่องสัญญาณอินฟราเรดที่ต้องการแปลง สำหรับวิธีการแปลงค่าแบบ Look Up Table คือ การแปลงค่าโดยการเปิดดูค่าตัวแปรจากตารางอ้างอิงในภาคผนวก ก ส่วน Spline Interpolation คือ การประมาณค่าในช่วงด้วยเส้นโค้ง กล่าวคือเป็นวิธีการประมาณค่าจากข้อมูลที่ทราบค่าโดยการรับข้อมูลนำเข้าหรือข้อมูลอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียม GOES เข้ามา เพื่อให้ได้ข้อมูลส่งออกตลอดช่วงข้อมูลที่ต้องการ ทั้งนี้จะใช้ข้อมูลจาก Header File (ดังภาคผนวก ก) โดยค่าการแปลงในแต่ละช่องสัญญาณจะแตกต่างกัน หากการแปลงค่าอุณหภูมิความสว่างไม่ถูกต้องส่งผลให้การประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าไม่ถูกต้องเช่นกัน

3.3.1 การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า

3.3.1.1 การเตรียมข้อมูล

1) การแปลงค่าข้อมูล Digital Number เป็นค่าอุณหภูมิความสว่าง

1.1) การแปลงค่าข้อมูล Imager GOES Variable Format (GVAR)

เป็นค่า Radiance

ข้อมูล Imager GVAR เป็นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม GOES ใช้อุปกรณ์รับรู้ GOES Imager ข้อมูลดังกล่าวเป็นแบบระบบเลขฐานสองที่มีขนาด 10 บิต (0 - 1023) โดยจะแปลงเป็นข้อมูล Radiance สำหรับค่าของตัวแปรแสดงดังภาคผนวก ก ทั้งนี้สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.1

$$R=(X-b)/m \quad (3.1)$$

เมื่อ	R	คือ Radiance ($mW[m^2-sr-cm^{-1}]$)
	X	คือ ค่า GOES Variable Format (GVAR)
	m	คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
	b	คือ ค่า Scaling Slope

1.2) การแปลงข้อมูล Imager GOES Variable Format (GVAR)

เป็นค่าอุณหภูมิความสว่าง

การแปลงข้อมูล Imager GVAR ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีขนาด 10 บิต เป็นข้อมูลอุณหภูมิความสว่างมี 3 ขั้นตอนดังนี้

1.2.1) แปลงค่า Imager GVAR เป็นค่า Radiance ดังข้อ 1.1)

1.2.2) แปลงค่าจากข้อมูล Radiance ให้เป็นข้อมูล Effective Temperature โดยใช้สมการของพลังค์ ดังสมการที่ 3.2

$$T_{\text{eff}} = \frac{(c_2 \times v)}{\ln[1+(c_1 \times v^3)/R]} \quad (3.2)$$

เมื่อ	c_1	คือ 1.191×10^{-5} (mW[m ² -sr-cm ⁻⁴])
	c_2	คือ 1.438 (K/cm ⁻¹)
	T_{eff}	คือ ค่า Effective Temperature (K)
	R	คือ Radiance (mW[m ² -sr-cm ⁻¹])
	V	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของคลื่นในแต่ละ

ช่องสัญญาณ

การแปลงค่า Effective Temperature (T_{eff}) เป็นค่าอุณหภูมิความสว่าง สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.3

$$T_B = \alpha + \beta \times T_{\text{eff}} \quad (3.3)$$

เมื่อ	T_B	คือ ค่าอุณหภูมิความสว่าง (K)
	T_{eff}	คือ ค่า Effective Temperature (K)
	α และ β	คือ ค่าสัมประสิทธิ์

1.3) การตรวจสอบการแปลงข้อมูลจาก Imager GOES Variable Format (GVAR) เป็นค่าอุณหภูมิความสว่าง

การตรวจสอบการแปลงค่าข้อมูลจาก Imager GVAR เป็นค่าอุณหภูมิความสว่างเพื่อให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.4

$$T_B = \alpha + \beta \times T_{\text{eff}} + \gamma \times T_{\text{eff}}^2 \quad (3.4)$$

เมื่อ	T_B	คือ ค่าอุณหภูมิความสว่าง (K)
	T_{eff}	คือ ค่า Effective Temperature (K)
	α, β และ γ	คือ ค่าสัมประสิทธิ์

(ที่มาข้อมูลจาก <http://www.oso.noaa.gov/goes/goes-calibration/gvar-conversion.htm>, 21 ตุลาคม 2556)

2) การซื้องับข้อมูล

เงื่อนไขการซื้องับกันระหว่างข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมค้างฟ้า GOES และข้อมูลหยาดน้ำฟ้าของ AMP จากดาวเทียม NOAA-18 มีเงื่อนไขดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1) เงื่อนไขของวันและเวลา

2.1.1) การศึกษาที่ใช้ข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม - ธันวาคม พ.ศ. 2552 เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเกิดลมมรสุมที่มีอิทธิพลต่อประเทศสหรัฐอเมริกาบ่อยครั้ง โดยใช้ข้อมูลทุกวันที่ 5, 15 และ 25 ของทุกเดือน เพื่อให้ข้อมูลครอบคลุมในแต่ละเดือน ซึ่งหากมีการเลือกวันที่มีความถี่มากเกินไปจะมีผลต่ออัลกอริทึมและหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ทำให้ไม่สามารถประมวลผลข้อมูลได้

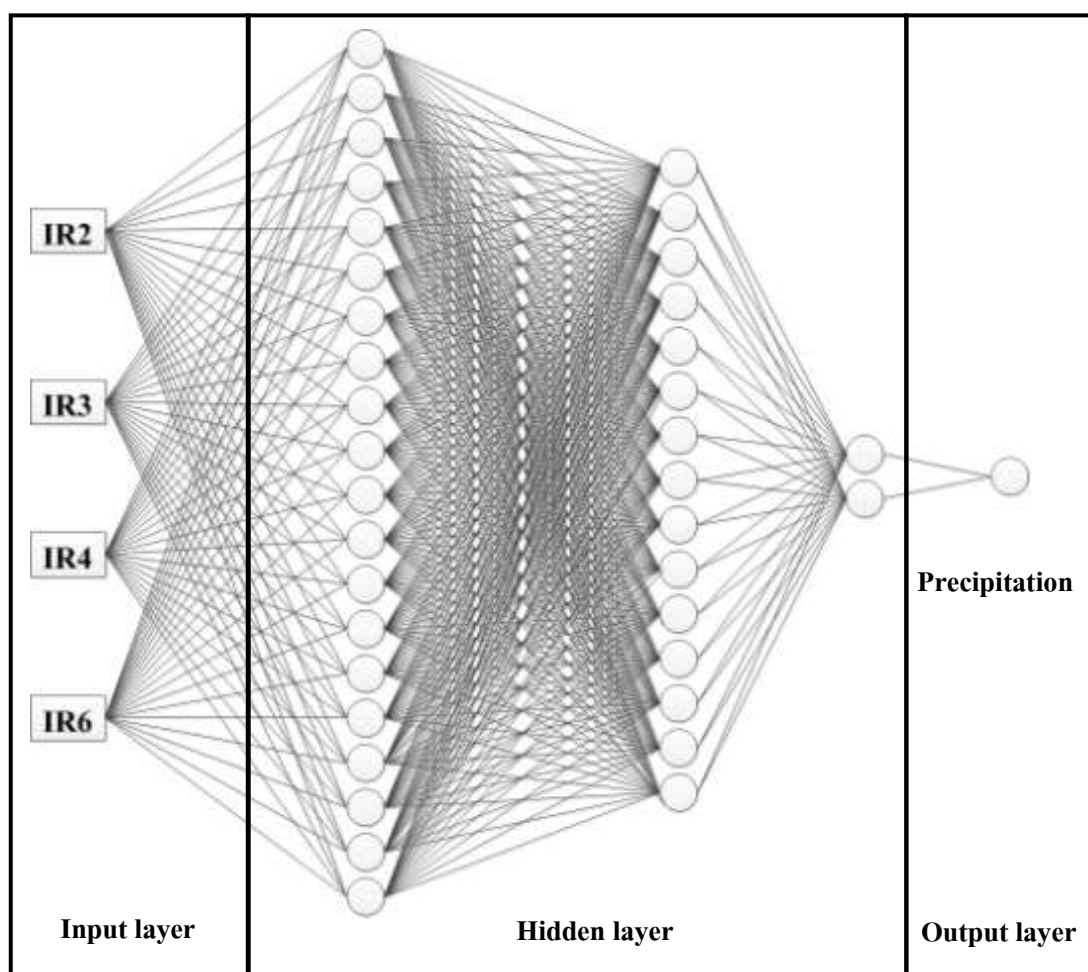
2.1.2) กำหนดระยะเวลาห่างเวลาของดาวเทียมทั้งสองห่างกัน ภายใน 15 นาที (± 15 นาที) กล่าวคือถ้าใช้ภาพถ่ายดาวเทียม GOES ในเวลา 08.45 น. ข้อมูลหยาดน้ำฟ้า AMP จากดาวเทียม NOAA-18 จะต้องอยู่ระหว่างเวลา 08.30 - 09.00 น. เป็นต้น

2.2) เงื่อนไขของระยะทาง

กำหนดให้ระยะทางระหว่างดาวเทียมค้างฟ้า GOES และดาวเทียม NOAA-18 ห่างกันไม่เกิน 15 km เนื่องจากความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลหยาดน้ำฟ้า AMP เท่ากับ 15 km

3.3.1.2 อัลกอริทึมสำหรับการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า

แบบจำลองที่ใช้ในการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าสำหรับวิทยานิพนธ์นี้คือ วิธีเครือข่ายประสาทเทียมประเภท Perceptron แบบ Feedforward Neural Network มีโครงสร้างแบบหลายชั้นเป็นตัวประมาณค่า โดยทำการสุ่มตัวอย่างคุณภาพแบบ Uniform Distribution คือ ค่าที่สุ่มทุกค่ามีโอกาสแสดงผลลัพธ์ออกมาเท่ากันและไม่มีรูปแบบผลลัพธ์ที่ออกมาตายตัว ซึ่งจะสุ่มตัวอย่างคุณภาพข้อมูลอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียม GOES ช่องสัญญาณอินฟราเรดและข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจริง AMP ช่วงวันที่ 5, 15 และ 25 ของแต่ละเดือนใน พ.ศ. 2552 แบบไม่ซ้ำกันมาจำนวนประมาณ 12 % จากข้อมูลทั้งสิ้นจำนวน 4,214,685 จุดภาพเป็นข้อมูลที่มีตำแหน่งและเวลาใกล้เคียงกัน กล่าวคือระยะเวลาของข้อมูลทั้งสองห่างกันภายใน 15 นาที (± 15 นาที) และระยะทางห่างกันไม่เกิน 15 km จุดภาพที่สุ่มมาดังกล่าวจะแบ่งออกเป็นสองส่วนที่ไม่ซ้ำกัน ได้แก่ ข้อมูลที่ใช้สำหรับฝึกจำนวน 60% ของข้อมูลที่สุ่ม และข้อมูลที่ใช้ทดสอบจำนวน 40% ของข้อมูลที่สุ่มมา โดยข้อมูลนำเข้าของเครือข่ายประสาทเทียมคือ ข้อมูลอุณหภูมิความสว่างทั้ง 4 ช่องสัญญาณอินฟราเรดจากดาวเทียม GOES ซึ่งมีหน่วยเป็น K ส่วนข้อมูลส่งออกของเครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้คือ ค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมง AMP ที่ได้จากดาวเทียม NOAA-18 สำหรับการทดสอบเครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการประมาณค่าดังกล่าวมีจำนวนชั้นแอบแฝง 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นที่ 1 มี 20 โหนด ชั้นที่ 2 มี 15 โหนด และชั้นที่ 3 มี 2 โหนด ส่วนข้อมูลส่งออกมี 1 โหนดคือ อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (mm/h) โดยชั้นซ่อน 2 ชั้นแรกใช้ฟังก์ชันการแปลงแบบซิกมอยด์ (Tangent Sigmoid) และชั้นซ่อนสุดท้ายใช้ฟังก์ชันการแปลงแบบเชิงเส้น (Linear) ซึ่งอัลกอริทึมที่ใช้ฝึกคือ Levenberg-Marquardt เครือข่ายประสาทเทียมที่เลือกมาดังกล่าวมีกระบวนการทำงานดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กระบวนการทำงานของเครือข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างแบบหลายชั้น (Multiple-Layer Perceptron) ประกอบด้วย ข้อมูลนำเข้า 4 โหนดคือ ข้อมูลอุณหภูมิความสว่างของดาวเทียม ค้างฟ้า GOES ทั้ง 4 ช่องสัญญาณอินฟราเรด โดยจำนวนชั้นแอบแฝงมี 3 ชั้น ชั้นที่ 1 มี 20 โหนด ชั้นที่ 2 มี 15 โหนด และชั้นที่ 3 มี 2 โหนด ส่วนข้อมูลส่งออกมี 1 โหนดคือ อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า

3.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม

วิทยานิพนธ์นี้พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากข้อมูลดาวเทียมค้างฟ้า GOES ช่องสัญญาณ Imager ช่วงคลื่นอินฟราเรด ตรวจสอบความถูกต้องของค่าประมาณอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากอัลกอริทึมดังกล่าว โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลหยาดน้ำฟ้าทั่วโลก AMP และเปรียบเทียบกับข้อมูลหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV ซึ่งครอบคลุมบริเวณพื้นที่ส่วนหนึ่งของประเทศสหรัฐอเมริกาและบริเวณพื้นที่มหาสมุทรใกล้เคียง (25°N - 49°N, 67°W - 125°W) อ้างอิงตามพื้นที่จากข้อมูลเรดาร์และมาตรวัด

ฝน NCEP Stage IV โดยตรวจสอบความถูกต้องค่าหยาดน้ำฟ้าเป็นรายชั่วโมง รายวัน รายเดือน และรายปี ตามลำดับ ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 4 km

3.3.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงเปรียบเทียบกับค่าหยาดน้ำฟ้า AMP (mm/h)

การตรวจสอบความถูกต้องของผลการประมาณค่าเมื่อได้ค่าประมาณอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงจากอัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุดแล้ว จะวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างค่าอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด GOES แต่ละช่องสัญญาณเปรียบเทียบกับค่าอัตราหยาดน้ำฟ้าจาก AMP จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากดาวเทียม GOES กับค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP ดังตารางที่ 3.1 แสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (mm/h) กับค่าอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียม GOES (K) ช่องสัญญาณอินฟราเรด ค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือเมื่อค่าอุณหภูมิความสว่างสูงขึ้นอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจะลดลง ในทางกลับกันเมื่อค่าอุณหภูมิความสว่างลดลงอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจะสูงขึ้น

ตารางที่ 3.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (mm/h) กับค่าอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียม GOES (K)

ช่องสัญญาณ GOES			
IR2	IR3	IR4	IR6
-0.176	-0.236	-0.270	-0.274

3.3.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงเปรียบเทียบกับค่าหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/h)

การตรวจสอบค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงได้ทำการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าจากข้อมูลดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด GOES ซึ่งมีข้อมูลทุกๆ ครึ่งชั่วโมง ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 4 km เปรียบเทียบกับค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV สำหรับข้อมูลดาวโพลคมมาจากเว็บไซต์ของ National Center for Atmospheric Research ได้ข้อมูลมาจาก <http://data.eol.ucar.edu/codiac/dss/id=21.093> โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 4 km ทั้งนี้จะหาค่าความสัมพันธ์อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงทางสถิติ

เพื่อวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง ได้แก่ การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย โดยจะสุ่มแบบไม่ซ้ำกันเพื่อหาค่าความสัมพันธ์จำนวนทั้งสิ้น 200,000 จุดภาพ

3.3.2.3 การตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้ารายวัน
เปรียบเทียบกับค่าหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/day)

การตรวจสอบค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวัน ค่าประมาณของหยาดน้ำฟ้ารายวันดังกล่าว ได้มาจากการแปลงค่าประมาณอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมง โดยจะเปรียบเทียบกับค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันของเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV ซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงของเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV ซึ่งเปรียบเทียบข้อมูลทุกๆ วันที่ 5, 15 และ 25 ของทุกเดือนใน พ.ศ. 2552 จากนั้นหาค่าความสัมพันธ์อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันทางสถิติ โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย โดยทำการสุ่มจำนวนจุดภาพแบบไม่ซ้ำกันมาจำนวน 300,000 จุดภาพ เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ทางสถิติดังกล่าว

3.3.2.4 การตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้ารายเดือน
เปรียบเทียบกับค่าหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/month)

ตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้ารายเดือน โดยการนำข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันจากที่ประมาณค่าได้ข้างต้น และค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV ดังกล่าวมาแปลงให้เป็นค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือน โดยเปรียบเทียบข้อมูลรายเดือนของ พ.ศ. 2552 แล้วหาค่าความสัมพันธ์อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนทางสถิติ โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย สำหรับจำนวนจุดภาพในการหาค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวสุ่มแบบไม่ซ้ำกันมาจำนวนทั้งสิ้น 300,000 จุดภาพ

3.3.2.5 การตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้ารายปี
เปรียบเทียบกับค่าหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/annual)

การตรวจสอบค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีจากข้อมูลอัตรา
การตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนข้างต้นเปรียบเทียบกับค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีของ
เรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV โดยหาค่าความสัมพันธ์อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือน
ทางสถิติ ได้แก่ หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย
และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย สำหรับตัวอย่างจุดภาพในการหาค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวสุ่มแบบไม่
ซ้ำกันมาทั้งสิ้นจำนวน 300,000 จุดภาพ

บทที่ 4

ผลและบทวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า โดยวิธีการใช้เครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าจากข้อมูลดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด GOES ร่วมกับข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าทั่วโลก AMP เมื่อพิจารณาจากค่าความสัมพันธ์ทางสถิติ ผลการศึกษาสามารถแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

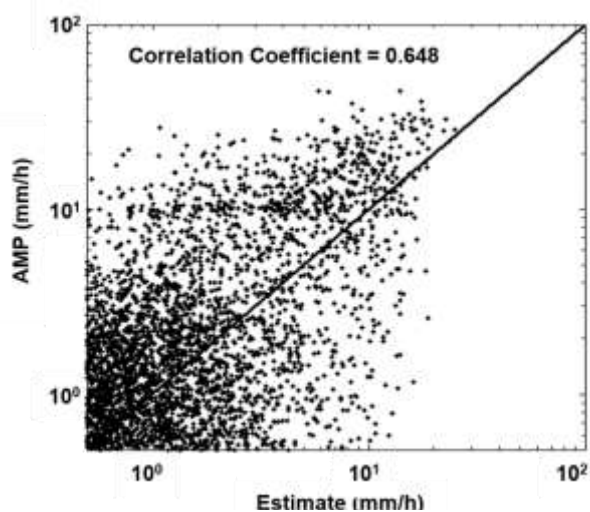
4.1 ผลการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า

4.1.1 ผลการเปรียบเทียบอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าระหว่างค่าหยาดน้ำฟ้าจากผลิตภัณฑ์ AMP กับค่าหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณได้

การทดสอบเครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าดังกล่าวมีหลายคำตอบ เช่น ใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบมีจำนวนชั้นแอบแฝง 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นที่ 1 มีจำนวน 5 โหนด และชั้นที่ 2 มีจำนวน 2 โหนด พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) มีค่าประมาณ 0.644 จากนั้นทดสอบเปลี่ยนจำนวนชั้นแอบแฝงเป็น 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นที่ 1 มีจำนวน 10 โหนด ชั้นที่ 2 มีจำนวน 4 โหนด ชั้นที่ 3 มีจำนวน 2 โหนด และทดสอบเปลี่ยนจำนวนชั้นแอบแฝงชั้นที่ 1 มีจำนวน 10 โหนด ชั้นที่ 2 มีจำนวน 5 โหนด ชั้นที่ 3 มีจำนวน 2 โหนด พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 0.645 และ 0.647 ตามลำดับ แต่เครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าสำหรับวิทยานิพนธ์นี้มีจำนวนชั้นแอบแฝง 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นที่ 1 มีจำนวน 20 โหนด ชั้นที่ 2 มีจำนวน 15 โหนด และชั้นที่ 3 มีจำนวน 2 โหนด ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.648 ดังรูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพการกระจายอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (mm/h) ระหว่างอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้

รายชั่วโมง (แกนนอน) และอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจริงรายชั่วโมงจาก AMP (แกนตั้ง) ในรูปแบบสเกลลอการิทึมฐานสิบโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมสำหรับประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า จากข้อมูลอุณหภูมิความสว่างของดาวเทียมค้างฟ้า GOES ช่องสัญญาณอินฟราเรด ร่วมกับข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าจริง AMP สำหรับฝึกและตรวจสอบอัลกอริทึม

ตารางที่ 4.1 แสดงค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้ ซึ่งประเมินโดยใช้ผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าจาก AMP (mm/h) เป็นค่าจริงสำหรับเปรียบเทียบช่วงค่า โดยจะเห็นได้ว่า หากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่ามากกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (mm/h) เช่น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.751 ซึ่งมีค่าสูงกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (mm/h) ในช่วง 0.25 - 0.5 mm/h แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำต่ำ หากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (mm/h) เช่น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.501 มีค่าอยู่ในช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (mm/h) ช่วง 1 - 2 mm/h แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และหากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (mm/h) เช่น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 7.612 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (mm/h) ในช่วง 8 - 16 mm/h แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่สูง พบว่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าในช่วงที่สูงกว่า 1 mm/h อัลกอริทึมดังกล่าวสามารถประมาณค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยอัลกอริทึมจะมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูงสำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 8 mm/h ขึ้นไป กล่าวคือถ้าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ายังมีปริมาณสูงขึ้นไปจะส่งผลให้การประมาณค่ามีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.1 แผนภาพการกระจายของอัตราการตกหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้ (แกนนอน) และอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (แกนตั้ง) ในหน่วย mm/h

ตารางที่ 4.1 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม สำหรับช่วงกำหนดโดยหยาดน้ำฟ้าจาก AMP (mm/h)

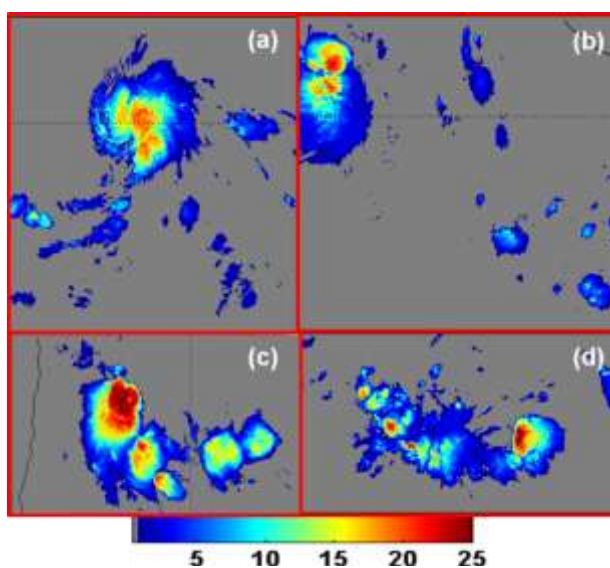
AMP (mm/h)	RMSE (mm/h)	Mean Error (AMP-Estimate)
0.25 - 0.5	0.751	0.407
0.5 - 1	1.020	0.619
1 - 2	1.501	1.073
2 - 4	2.427	1.975
4 - 8	4.157	3.675
8 - 16	7.612	6.896
16 - 44	14.823	13.479

หมายเหตุ

- ตัวอักษรเอียง หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ต่ำ
 ตัวอักษรธรรมดา หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้
 ตัวอักษรหนา หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูง

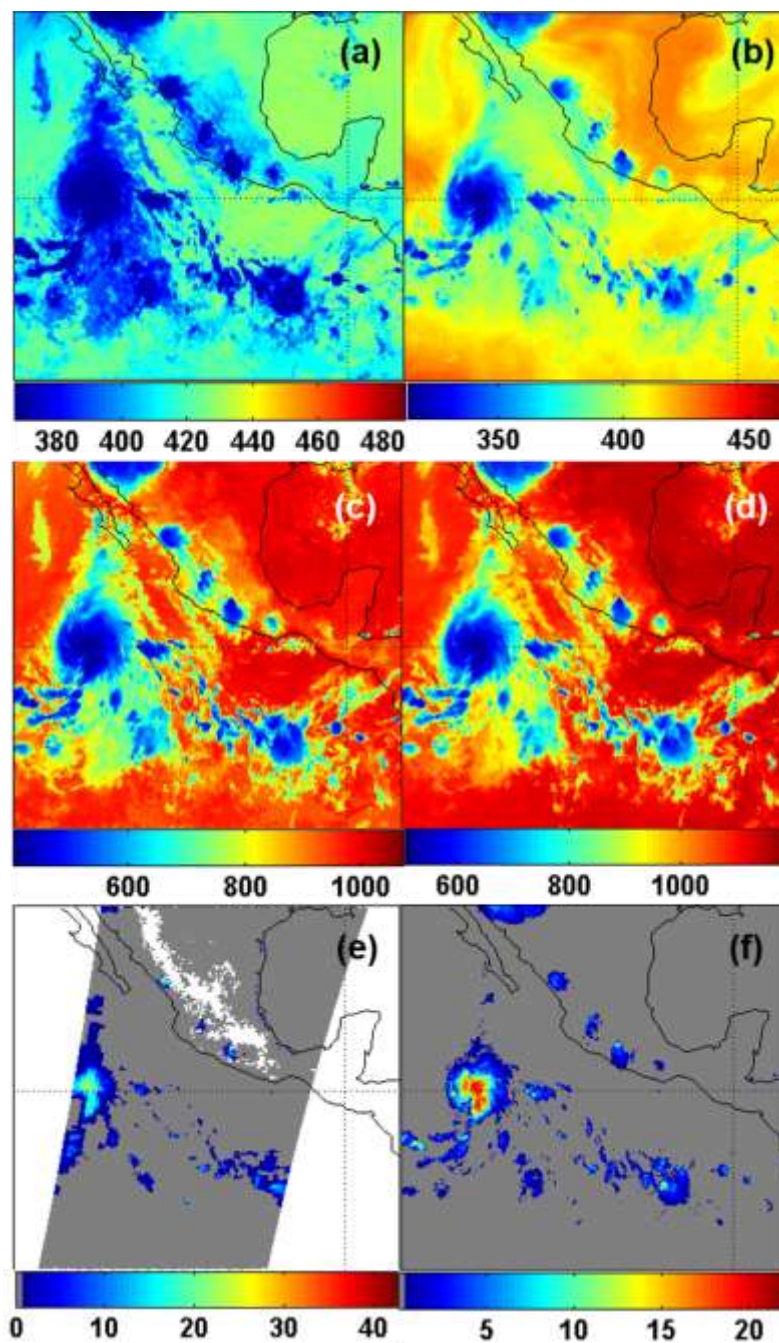
4.1.2 การประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP

รูปที่ 4.2 (a) - (d) แสดงให้เห็นถึงอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้รายชั่วโมงจากข้อมูลดาวเทียม GOES-12 (mm/h) ช่องสัญญาณอินฟราเรดซึ่งใช้อัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้พัฒนาขึ้น โดยรูปที่ (a)-(b) แสดงพายุที่ก่อตัวขึ้นบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก ในวันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2552 ช่วงเวลา 08.45 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $110^{\circ}\text{W}/17^{\circ}\text{N}$) และวันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2552 ช่วงเวลา 08.45 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $45^{\circ}\text{W}/12^{\circ}\text{N}$) ตามลำดับ รูปที่ (c) แสดงพายุที่ก่อตัวขึ้นบริเวณสาธารณรัฐอาร์เจนตินา ในวันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ. 2552 ช่วงเวลา 05.39 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $58^{\circ}\text{W}/23^{\circ}\text{S}$) และรูปที่ (d) แสดงพายุที่ก่อตัวขึ้นบริเวณสาธารณรัฐโคลอมเบียในวันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2552 ช่วงเวลา 06.15 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $80^{\circ}\text{W}/7.500^{\circ}\text{N}$)

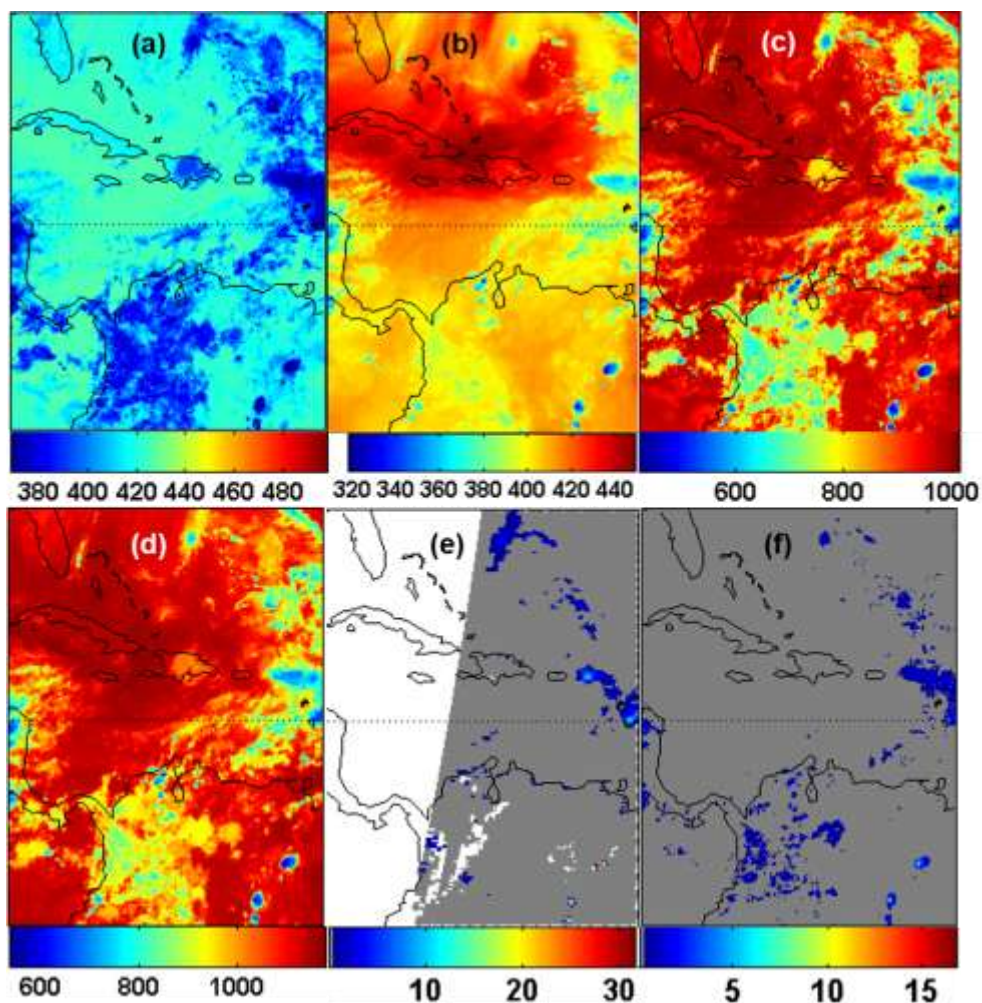


รูปที่ 4.2 อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม (mm/h) โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด GOES ร่วมกับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าทั่วโลก AMP สำหรับเหตุการณ์พายุฝนในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน โดยรูปที่ (a) วันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2552 เวลา 08.45 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $110^{\circ}\text{W}/17^{\circ}\text{N}$) รูปที่ (b) วันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2552 เวลา 08.45 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $45^{\circ}\text{W}/12^{\circ}\text{N}$) รูปที่ (c) วันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ. 2552 เวลา 05.39 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $58^{\circ}\text{W}/23^{\circ}\text{S}$) และ รูปที่ (d) วันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2552 เวลา 06.15 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $80^{\circ}\text{W}/7.500^{\circ}\text{N}$)

รูปที่ 4.3 - 4.4 แสดงถึงการเปรียบเทียบอุณหภูมิความสว่างของดาวเทียม GOES-12 ช่องสัญญาณอินฟราเรด (K) ค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจาก AMP (mm/h) และค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณได้ (mm/h) ในวันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2552 เวลา 08.45 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $105^{\circ}\text{W}/11^{\circ}\text{N}$) และวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 06.15 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $75^{\circ}\text{W}/15^{\circ}\text{N}$) ตามลำดับ โดยรูปที่ (a), (b), (c) และ (d) แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิความสว่างของดาวเทียม GOES-12 (K) ช่องสัญญาณอินฟราเรดช่องที่ 2, 3, 4 และ 6 ตามลำดับ ส่วนรูปที่ (e) แสดงอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจาก AMP (mm/h) และรูปที่ (f) แสดงอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้ (mm/h) จากรูปที่ 2 จะเห็นพายุบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกซึ่งอยู่ทางด้านตะวันตกของประเทศเม็กซิโก โดยพายุดังกล่าวเป็นพายุหมุนเขตร้อนที่ก่อตัวขึ้นบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก จะเห็นได้ว่าตำแหน่งและลักษณะของพายุที่ได้จากการประมาณค่า (รูปที่ f) กับตำแหน่งและลักษณะของพายุที่ได้จากอัตราหยาดน้ำฟ้า AMP (รูปที่ e) มีตำแหน่งและลักษณะพื้นฐานของหยาดน้ำฟ้าใกล้เคียงกัน โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิความสว่างทั้งสี่ช่องสัญญาณของดาวเทียม GOES จะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือบริเวณที่อัตราหยาดน้ำฟ้าสูงจะมีค่าอุณหภูมิความสว่างต่ำและบริเวณที่อัตราหยาดน้ำฟ้าต่ำจะมีค่าอุณหภูมิความสว่างสูง

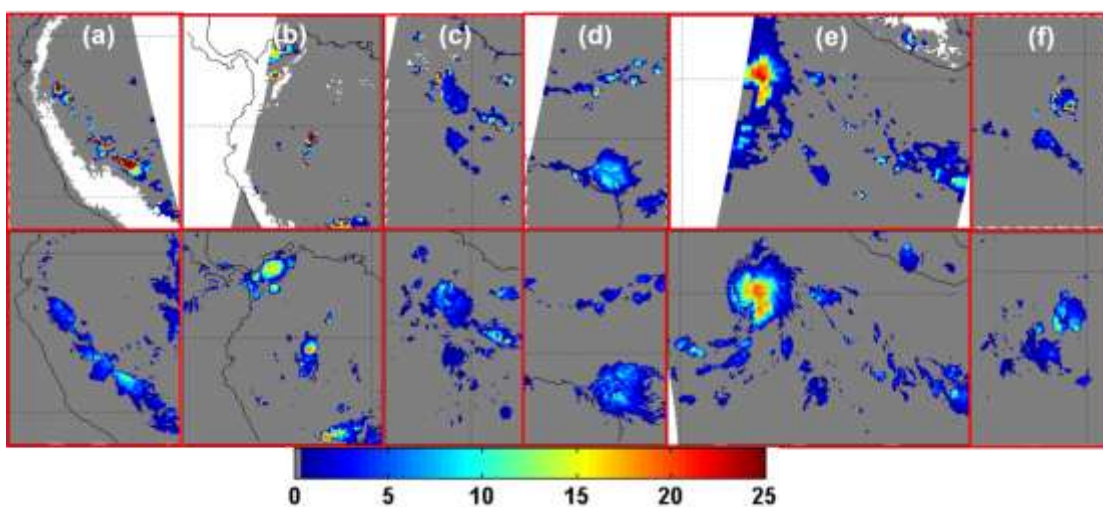


รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิความสว่างจากสี่ช่องสัญญาณอินฟราเรดของดาวเทียม GOES-12 (K) โดยรูปที่ (a)-(d) เป็นค่าอุณหภูมิความสว่างของดาวเทียม GOES ช่องที่ 2, 3, 4 และ 6 ตามลำดับ รูปที่ (e) เป็นผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าจริง AMP (mm/h) และรูปที่ (f) เป็นค่าประมาณอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากอัลกอริทึม (mm/h) ช่วงวันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2552 เวลา 08.45 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ 105°W/11°N)



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิความสว่าง 4 ช่องสัญญาณอินฟราเรดของดาวเทียม GOES-12 (K) โดยรูปที่ (a) - (d) เป็นค่าอุณหภูมิความสว่างของดาวเทียม GOES ช่องที่ 2, 3, 4 และ 6 ตามลำดับ รูปที่ (e) เป็นผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าจริง AMP (mm/h) และรูปที่ (f) เป็นค่าประมาณอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากอัลกอริทึม (mm/h) วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 06.15 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ 75°W/15°N)

รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงจากผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าจริง AMP (แถวบน) และค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม (แถวล่าง) สำหรับเหตุการณ์พายุฝนในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน โดยรูปที่ (a) วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 18.45 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $75^{\circ}\text{W}/9^{\circ}\text{S}$) รูปที่ (b) วันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 06.15 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $70^{\circ}\text{W}/5^{\circ}\text{S}$) รูปที่ (c) วันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2552 เวลา 05.45 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $60^{\circ}\text{W}/2^{\circ}\text{S}$) รูปที่ (d) วันที่ 25 มิถุนายน พ.ศ. 2552 เวลา 03.45 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $38^{\circ}\text{W}/2^{\circ}\text{N}$) รูปที่ (e) วันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2552 เวลา 08.45 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $105^{\circ}\text{W}/15^{\circ}\text{N}$) และรูปที่ (f) วันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2552 เวลา 06.15 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $65^{\circ}\text{W}/2^{\circ}\text{S}$) จะเห็นว่าตำแหน่งและลักษณะของพายุที่ได้จากการประมาณค่า (แถวล่าง) กับตำแหน่งและลักษณะของพายุที่ได้จากอัตราหยาดน้ำฟ้า AMP (แถวบน) มีตำแหน่งและลักษณะพื้นฐานของหยาดน้ำฟ้าใกล้เคียงกัน แต่ผลการประมาณค่าดังกล่าวพบว่ามีความเอนเอียง (Bias) ต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อย เนื่องจากช่วงคลื่นอินฟราเรดไม่สามารถทะลุผ่านเมฆได้ อาจมีผลต่อการประมาณค่าดังกล่าว



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงจากผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าจริง AMP (แถวบน) และค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม (แถวล่าง) สำหรับเหตุการณ์พายุฝนในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกัน รูปที่ (a) วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 18.45 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $75^{\circ}\text{W}/9^{\circ}\text{S}$) รูปที่ (b) วันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 06.15 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $70^{\circ}\text{W}/5^{\circ}\text{S}$) รูปที่ (c) วันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2552 เวลา 05.45 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $60^{\circ}\text{W}/2^{\circ}\text{S}$) รูปที่ (d) วันที่ 25 มิถุนายน พ.ศ. 2552

เวลา 03.45 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $38^{\circ}\text{W}/2^{\circ}\text{N}$) รูปที่ (e) วันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2552
 เวลา 08.45 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $105^{\circ}\text{W}/15^{\circ}\text{N}$) และรูปที่ (f) วันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2552
 เวลา 06.15 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $65^{\circ}\text{W}/2^{\circ}\text{S}$) ตามลำดับ

4.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม

4.2.1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่าหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/h)

วิทยานิพนธ์นี้ได้ตรวจสอบความถูกต้องของค่าประมาณอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากการเลือกอัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าดังกล่าว โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลหยาดน้ำฟ้าจริงจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV ซึ่งครอบคลุมพื้นที่บริเวณส่วนหนึ่งของประเทศสหรัฐอเมริกาและบริเวณพื้นที่มหาสมุทรใกล้เคียง ($25^{\circ}\text{N} - 49^{\circ}\text{N}$, $67^{\circ}\text{W} - 125^{\circ}\text{W}$) อ้างอิงตามพื้นที่จากข้อมูลเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV ทั้งนี้ตรวจสอบความถูกต้องค่าหยาดน้ำฟ้าเป็นรายชั่วโมง รายวัน รายเดือน และรายปี ตามลำดับ ใน พ.ศ. 2552 ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 4 km

ผลการตรวจสอบค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงจากการหาค่าความสัมพันธ์อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงทางสถิติ ได้แก่ การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยแสดงผลดังตารางที่ 4.2 โดยจะเห็นได้ว่า หากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่ามากกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/h) เช่น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.821 ซึ่งมีค่าสูงกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/h) ในช่วง 0.25 - 0.5 mm/h แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำต่ำ หากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/h) เช่น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.401 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/h) 1 - 2 mm/h แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และหากค่ารากที่สองของความ

คลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/h) เช่น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3.825 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/h) ในช่วง 4 - 8 mm/h แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่สูง

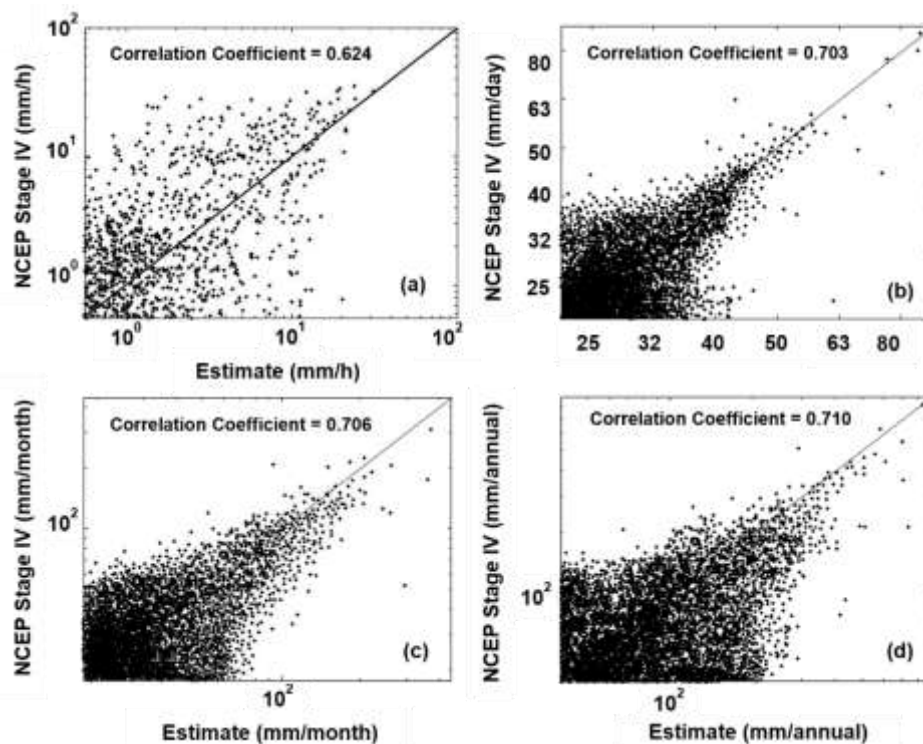
จากตารางที่ 4.2 พบว่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าในช่วงที่สูงกว่า 1 mm/h อัลกอริทึมดังกล่าวสามารถประมาณค่าได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยอัลกอริทึมจะมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูงสำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 4 mm/h ขึ้นไป กล่าวคือถ้าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงมีปริมาณสูงกว่า 4 mm/h ขึ้นไปส่งผลให้การประมาณค่าจะยังมีความแม่นยำมากขึ้น อีกทั้งพบว่าข้อมูลหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึมที่เลือกมาดังกล่าวกับข้อมูลหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 0.624 แสดงในรูปแบบสเกลลอการิทึมฐานสิบ ดังรูปที่ 4.6 (a)

ตารางที่ 4.2 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม สำหรับช่วงกำหนดโดยค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/h)

NCEP Stage IV (mm/h)	RMSE (mm/h)	Mean Error (NCEP Stage IV-Estimate)
0.25 - 0.5	0.821	0.403
0.5 - 1	1.028	0.603
1 - 2	1.401	1.066
2 - 4	2.683	2.104
4 - 8	3.825	3.724
8 - 16	7.274	6.543
16 - 44	14.329	13.210

หมายเหตุ

- ตัวอักษรเอียง หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ต่ำ
 ตัวอักษรธรรมดา หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้
 ตัวอักษรหนา หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูง



รูปที่ 4.6 แผนภาพการกระจายระหว่างอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (แกนตั้ง) และอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม (แกนนอน) โดยรูปที่ (a) เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV กับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้รายชั่วโมง รูปที่ (b) เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV กับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้รายวัน รูปที่ (c) เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV กับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้รายเดือน และรูปที่ (d) เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV กับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้รายปี ตามลำดับ

4.2.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้ารายวันเปรียบเทียบกับค่าหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/day)

ผลการตรวจสอบค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันจากการหาความสัมพันธ์อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันทางสถิติ ได้แก่ การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย แสดงผลดังตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า หากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่ามากกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/day) เช่น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3.870 ซึ่งมีค่าสูงกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/day) ในช่วง 1 - 2 mm/day แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำต่ำ หากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/day) เช่น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 7.644 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/h) ช่วง 4 - 8 mm/day แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และหากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/day) เช่น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 15.808 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/h) ในช่วง 16 - 25 mm/h แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่สูง

จากตารางที่ 4.3 พบว่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าในช่วงที่สูงกว่า 8 mm/day อัลกอริทึมดังกล่าวสามารถประมาณค่าได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยอัลกอริทึมจะมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูงสำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 16 mm/day ขึ้นไป กล่าวคือ ถ้าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันมีปริมาณสูงกว่า 16 mm/day ขึ้นไปส่งผลให้การประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าจะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นและพบว่าข้อมูลหยาดน้ำฟ้ารายวันที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึมที่เลือกมาดังกล่าวกับข้อมูลหยาดน้ำฟ้ารายวันจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 0.703 ดังรูปที่ 4.6 (b)

ตารางที่ 4.3 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ของ อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม สำหรับช่วงแบ่งโดยค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/day)

NCEP Stage IV (mm/day)	RMSE (mm/day)	Mean Error (NCEP Stage IV-Estimate)
1 - 2	3.870	1.851
2 - 4	5.704	3.857
4 - 8	7.644	6.364
8 - 16	12.854	9.135
16 - 25	15.807	15.241
25 - 36	24.281	23.954
36 - 49	34.563	34.135
49 - 64	47.024	46.532
64 - 81	61.208	59.327
81 - 110	75.289	73.943

หมายเหตุ

- ตัวอักษรเอียง หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ต่ำ
 ตัวอักษรธรรมดา หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้
 ตัวอักษรหนา หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูง

4.2.3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้ารายเดือน เปรียบเทียบกับค่าหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/month)

ผลการตรวจสอบค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนจากการหาค่า ความสัมพันธ์อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนทางสถิติ ได้แก่ การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย แสดงผลดังตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า หากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่า มากกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/month) เช่น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 6.517 ซึ่งมีค่าสูงกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/month) ที่อยู่ในช่วง 2 - 4

mm/month แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำต่ำ หากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากรเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/month) เช่น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 14.101 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากรเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/month) ช่วง 8 - 16 mm/month แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และหากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากรเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/month) เช่น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 34.088 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากรเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/month) ในช่วง 36 - 49 mm/month แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่สูง

จากตารางที่ 4.4 พบว่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าในช่วงที่สูงกว่า 8 mm/month อัลกอริทึมดังกล่าวสามารถประมาณค่าได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยอัลกอริทึมจะมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูงสำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 36 mm/month ขึ้นไป กล่าวคือถ้าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนมีปริมาณสูงกว่า 36 mm/month ขึ้นไปส่งผลให้การประมาณค่าหยาดน้ำฟ้ามีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น อีกทั้งพบว่าข้อมูลหยาดน้ำฟ้ารายเดือนที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึมที่เลือกมาดังกล่าวกับข้อมูลหยาดน้ำฟ้ารายเดือนจากรเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 0.706 ดังรูปที่ 4.6 (c)

ตารางที่ 4.4 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของ อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม สำหรับช่วงแบ่งโดยค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/month)

NCEP Stage IV (mm/month)	RMSE (mm/month)	Mean Error (NCEP Stage IV-Estimate)
2 - 4	6.517	3.857
4 - 8	10.151	7.921
8 - 16	14.102	12.845
16 - 25	19.702	18.025
25 - 36	27.562	26.250
36 - 49	34.088	33.825
49 - 64	47.413	46.230
64 - 81	61.910	57.271
81 - 100	77.241	73.027
121 - 144	113.840	111.845
144 - 445	121.780	119.028

หมายเหตุ

- ตัวอักษรเอียง หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ต่ำ
 ตัวอักษรธรรมดา หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้
 ตัวอักษรหนา หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูง

4.2.4 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้ารายปี เปรียบเทียบกับค่าหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/annual)

ผลการตรวจสอบค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีจากการหาค่า ความสัมพันธ์อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีทางสถิติ ได้แก่ การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย แสดงผลดังตาราง ที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า หากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่ามากกว่าช่วงค่าอัตราการ ตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/annual) เช่น ค่ารากที่สอง

ของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 79.402 ซึ่งมีค่าสูงกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/annual) ในช่วง 49 - 64 mm/annual แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำต่ำ หากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/annual) เช่น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 167.422 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/annual) ช่วง 144 - 169 mm/annual แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และหากค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/annual) เช่น ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 221.504 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าช่วงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/annual) ในช่วง 225 - 256 mm/annual แสดงว่าผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่สูง

จากตารางที่ 4.5 อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าในช่วงสูงกว่า 144 mm/annual อัลกอริทึมดังกล่าวสามารถประมาณค่าได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยอัลกอริทึมจะมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูงสำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 225 mm/annual ขึ้นไป กล่าวคือถ้าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีมีปริมาณสูงกว่า 225 mm/annual ขึ้นไป ส่งผลให้การประมาณค่าจะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นและพบว่าข้อมูลหยาดน้ำฟ้ารายปีที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึมที่เลือกมาดังกล่าวกับข้อมูลหยาดน้ำฟ้ารายปีจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 0.710 ดังรูปที่ 4.6 (d)

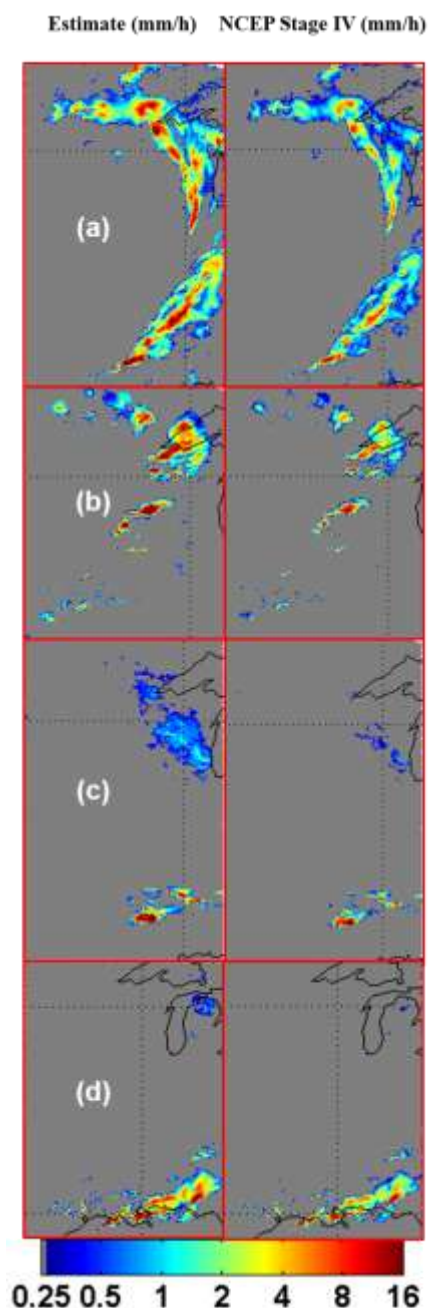
ตารางที่ 4.5 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของ อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึม สำหรับช่วงแบ่ง โดยค่าอัตราการ ตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (mm/annual)

NCEP Stage IV (mm/annual)	RMSE (mm/annual)	Mean Error (NCEP Stage IV-Estimate)
49 - 64	79.402	63.757
64 - 81	85.910	80.271
81 - 100	151.251	119.894
121 - 144	160.075	142.231
144 - 169	167.422	158.542
169 - 196	182.638	173.084
196 - 225	198.870	194.814
225 - 256	221.504	217.920
256 - 289	248.873	232.070
289 - 324	272.860	268.944
324 - 361	316.297	309.762
361 - 400	344.190	326.045
400 - 441	371.462	362.604
441 - 932	412.783	407.862

หมายเหตุ

- ตัวอักษรเอียง หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ต่ำ
- ตัวอักษรธรรมดา หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้
- ตัวอักษรหนา หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูง

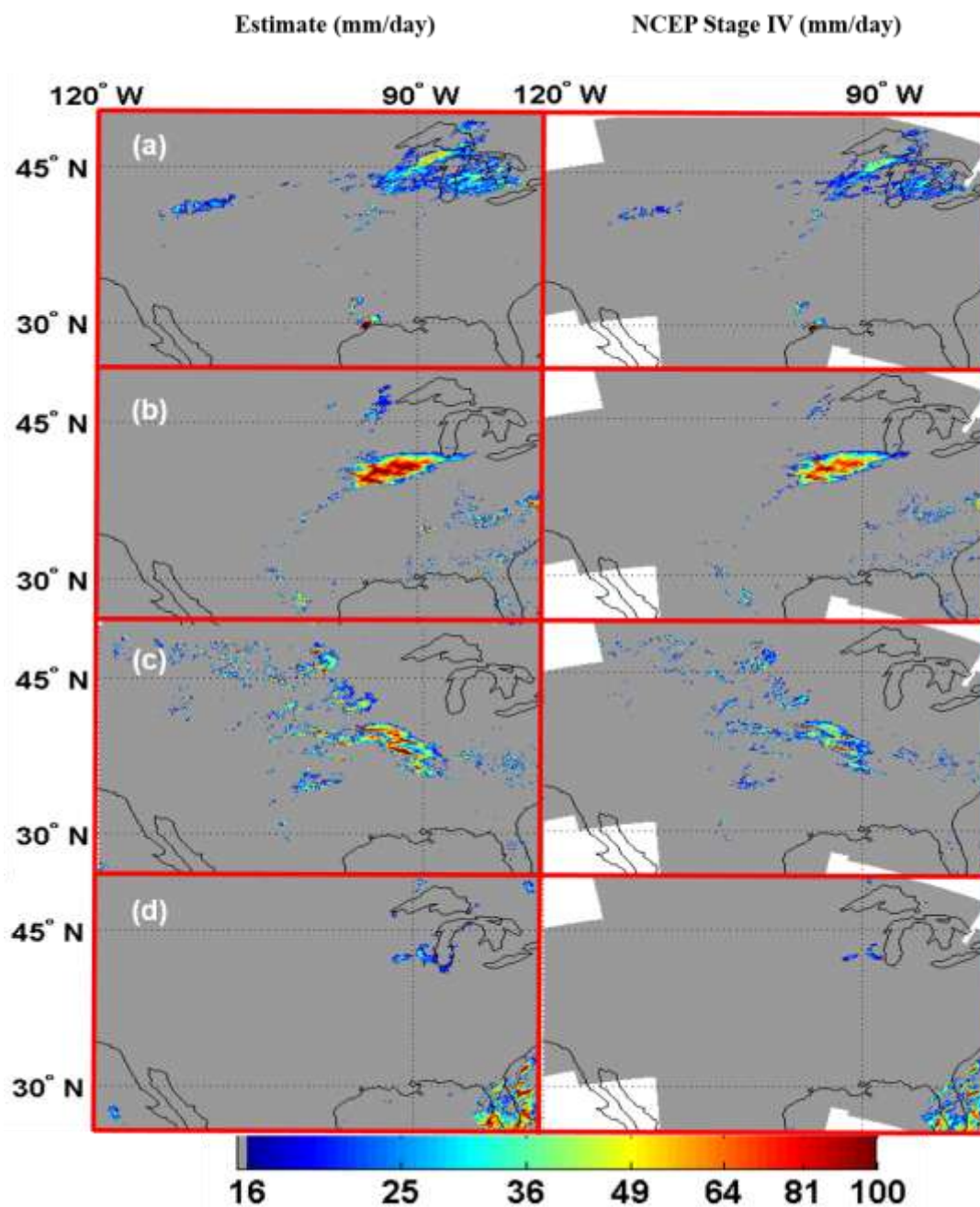
4.2.5 การประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงที่ประมาณค่าได้จากดาวเทียม GOES-12 ช่องสัญญาณ Imager (คอลัมน์ซ้าย) กับค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงจาก NCEP Stage IV (คอลัมน์ขวา) รูปที่ (a) วันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2552 ช่วงเวลาของ GOES-12 เท่ากับ

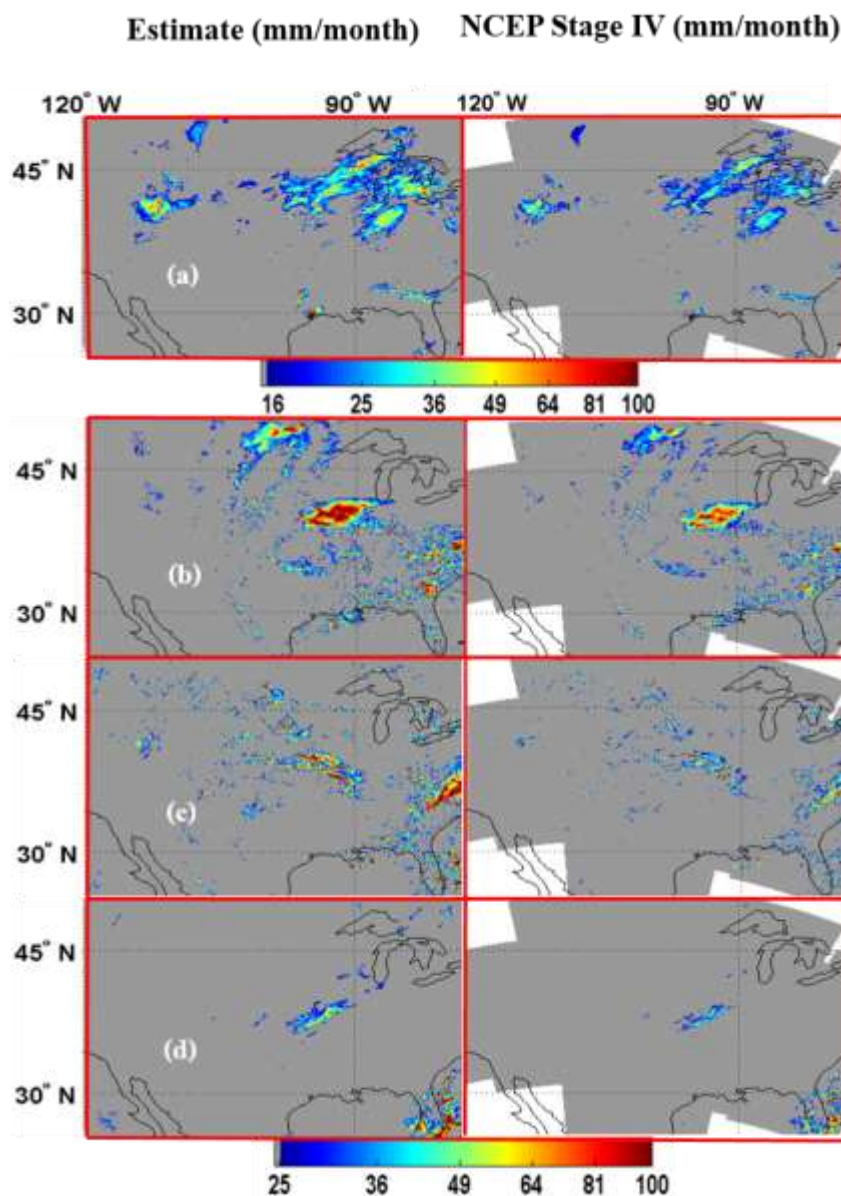
03.15 น. UTC และช่วงเวลาของ NCEP เท่ากับ 03.00 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพอยู่ที่ประมาณ $95^{\circ}\text{W}/39^{\circ}\text{N}$) รูปที่ (b) วันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2552 ช่วงเวลาของ GOES-12 เท่ากับ 03.45 น. UTC และช่วงเวลาของ NCEP เท่ากับ 04.00 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพอยู่ที่ประมาณ $97^{\circ}\text{W}/45^{\circ}\text{N}$) รูปที่ (c) วันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2552 ช่วงเวลาของ GOES-12 เท่ากับ 15.15 น. UTC และช่วงเวลาของ NCEP เท่ากับ 15.00 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพอยู่ที่ประมาณ $92^{\circ}\text{W}/42^{\circ}\text{N}$) และรูปที่ (d) วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2552 ช่วงเวลาของ GOES-12 เท่ากับ 05.45 น. UTC และช่วงเวลาของ NCEP เท่ากับ 06.00 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพอยู่ที่ประมาณ $88^{\circ}\text{W}/37^{\circ}\text{N}$) ตามลำดับ

รูปที่ 4.7 (a), (b), (c) และ(d) แสดงอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมง ในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกันคือ รูปที่ (a) วันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2552 ช่วงเวลาของ GOES-12 เท่ากับ 03.15 น. UTC และช่วงเวลาของ NCEP เท่ากับ 03.00 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $95^{\circ}\text{W}/39^{\circ}\text{N}$) รูปที่ (b) วันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2552 ช่วงเวลาของ GOES-12 เท่ากับ 03.45 น. UTC และช่วงเวลาของ NCEP เท่ากับ 04.00 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $97^{\circ}\text{W}/45^{\circ}\text{N}$) รูปที่ (c) วันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2552 ช่วงเวลาของ GOES-12 เท่ากับ 15.15 น. UTC และช่วงเวลาของ NCEP เท่ากับ 15.00 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $92^{\circ}\text{W}/42^{\circ}\text{N}$) และรูปที่ (d) วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2552 ช่วงเวลาของ GOES-12 เท่ากับ 05.45 น. UTC และช่วงเวลาของ NCEP เท่ากับ 06.00 น. UTC (จุดศูนย์กลางภาพประมาณ $88^{\circ}\text{W}/37^{\circ}\text{N}$) จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งและลักษณะรูปร่าง ลักษณะของพายุที่ได้จากการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงจากอัลกอริทึม ดังกล่าว (คอลัมน์ซ้าย) กับตำแหน่งและรูปร่างลักษณะลักษณะลักษณะของพายุที่ได้จากข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมง NCEP Stage IV (คอลัมน์ขวา) มีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงที่ประมาณค่าได้จะมีค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่สูงกว่าค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV เล็กน้อยและรูปร่างลักษณะลักษณะของพายุมีลักษณะใหญ่กว่าพายุที่ได้จากอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV



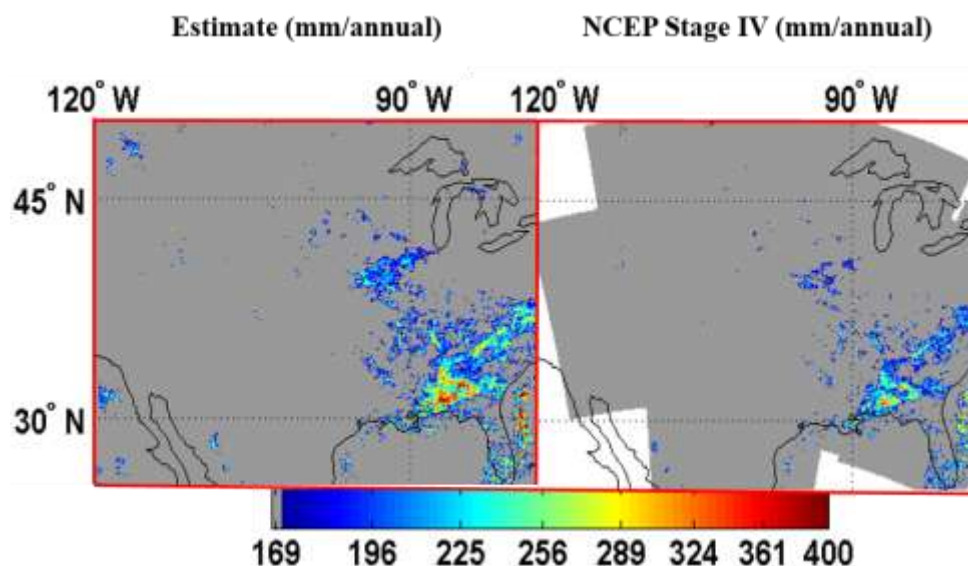
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันที่ประมาณค่าได้จากดาวเทียม GOES-12 ช่องสัญญาณ Imager (คอลัมน์ซ้าย) กับค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (คอลัมน์ขวา) (a) อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันของวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2552 (b) อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันของวันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 (c) อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันของวันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2552 และ (d) อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันของวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2552 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันที่ประมาณค่าได้จากข้อมูลดาวเทียม GOES-12 (คอลัมน์ซ้าย) และค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (คอลัมน์ขวา) รูปที่ (a) อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันของวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2552 รูปที่ (b) อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันของวันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 รูปที่ (c) อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันของวันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2552 และรูปที่ (d) อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันของวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2552 จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งและลักษณะรูปร่างพื้นฐานของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้า GOES-12 (รูปคอลัมน์ซ้าย) กับตำแหน่งและรูปร่างลักษณะพื้นฐานของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวัน NCEP Stage IV (รูปคอลัมน์ขวา) มีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้จากดาวเทียม GOES-12 จะมีค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันสูงกว่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายวันจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV เล็กน้อย การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมค้างฟ้าช่องสัญญาณอินฟราเรดในการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ามีข้อดีคือ สามารถเห็นหยาดน้ำฟ้าได้อย่างต่อเนื่องถือเป็นข้อจำกัดของข้อมูลหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน ดังรูปที่ 4.8 (c) และรูปที่ 4.8 (d)



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนที่ประมาณค่าได้จากดาวเทียม GOES-12 ช่องสัญญาณ Imager (คอลัมน์ซ้าย) กับค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนจากเรดาร์ และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (คอลัมน์ขวา) (a) อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนของเดือนเมษายน พ.ศ. 2552 (b) อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2552 (c) อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนของเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552 และ (d) อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนของเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2552 ตามลำดับ

รูปที่ 4.9 แสดงการตรวจสอบความถูกต้องของค่าประมาณหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้รายเดือน (คอลัมน์ซ้าย) เปรียบเทียบกับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (คอลัมน์ขวา) รูปที่ (a) แสดงอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนของเดือนเมษายน พ.ศ. 2552 รูปที่ (b) แสดงอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2552 รูปที่ (c) แสดงอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนของเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552 และรูปที่ (d) แสดงอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนของเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2552 จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าตำแหน่งและลักษณะรูปร่างพื้นฐานของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้า GOES-12 (รูปคอลัมน์ซ้าย) กับตำแหน่งและรูปร่างลักษณะพื้นฐานของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือน NCEP Stage IV (รูปคอลัมน์ขวา) มีลักษณะใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.10 การตรวจสอบผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีที่ประมาณค่าได้จากดาวเทียม GOES-12 ช่องสัญญาณ Imager (ด้านซ้าย) เปรียบเทียบกับค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (ด้านขวา) ในช่วง พ.ศ. 2552

รูปที่ 4.10 แสดงการตรวจสอบความถูกต้องของค่าประมาณหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้รายปี (รูปด้านซ้าย) เปรียบเทียบกับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV (รูปด้านขวา) จะเห็นได้ว่าตำแหน่งและลักษณะรูปร่างพื้นฐานของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้า GOES-12 (รูปด้านซ้าย) กับตำแหน่งและรูปร่างลักษณะพื้นฐานของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปี NCEP Stage IV (รูปด้านขวา) มีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้จากดาวเทียม GOES-12 จะมีค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีสูงกว่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายปีจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV จะเห็นได้ว่าบางพื้นที่ที่มีการตกของหยาดน้ำฟ้าในกรณีที่ประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากดาวเทียม GOES แต่ตรงกันข้ามในพื้นที่และตำแหน่งเดียวกันค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝนกลับไม่มีอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าซึ่งแสดงให้เห็นว่าการประมาณค่าที่ได้จากอัลกอริทึมดังกล่าวมีการประมาณค่าที่สูงกว่าเล็กน้อย

4.3 วิจารณ์ผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า

การศึกษาครั้งนี้มีค่าความสัมพันธ์เชิงสถิติโดยรวมสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าโดยใช้ดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรดร่วมกับดาวเทียมช่วงคลื่นไมโครเวฟ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Kidd, *et al.* (2003) พบว่าการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรดร่วมกับดาวเทียมช่วงคลื่นไมโครเวฟมีค่าความสัมพันธ์เชิงสถิติสูงกว่าการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรดหรือดาวเทียมช่วงคลื่นไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Surussavadee and Songsom (2013) พบว่าค่าความสัมพันธ์เชิงสถิติสำหรับการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงมีความใกล้เคียงกัน กล่าวคือการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับดาวเทียมช่วงคลื่นไมโครเวฟมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 0.648 ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Surussavadee and Songsom มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 0.640 สำหรับพื้นดิน โดยอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงที่ประมาณค่าได้สูงกว่า 1 mm/h สามารถประมาณค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เช่นเดียวกัน แต่ผลการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าสูงกว่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจริงเล็กน้อยอาจเป็นผลมาจากดาวเทียมค้างฟ้าช่วงคลื่นอินฟราเรดมีความยาวคลื่นที่สั้นส่งผลให้ไม่สามารถตรวจวัดอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าได้โดยตรง วัดได้เพียงอุณหภูมิบริเวณส่วนบนของเมฆเท่านั้นจึงทำให้ผลการประมาณค่าดังกล่าวมีค่าสูงกว่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจริง

การประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายเดือนโดยใช้ดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรดโดยใช้วิธีเครือข่ายประสาทเทียมเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Soroosh, *et al.* (2000) พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 0.706 ซึ่งมีค่าต่ำกว่างานวิจัยของ Soroosh ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 0.770 เนื่องจากงานวิจัยของ Soroosh มีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำกว่า กล่าวคือดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรดมีความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 28 km แต่การศึกษาครั้งนี้ดาวเทียมค้างฟ้า GOES มีความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 4 km ส่งผลให้การประมาณค่าดังกล่าวมีค่าความถูกต้องเชิงสถิติต่ำกว่า ทั้งนี้จากการศึกษาของ Vicente, *et al.* (1998) พบว่าค่าความสัมพันธ์เชิงสถิติสำหรับการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าขึ้นอยู่กับค่าความละเอียดเชิงพื้นที่เช่นกัน กล่าวคือหากค่าความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำส่งผลให้ค่าความสัมพันธ์เชิงสถิติจะมีค่าสูงกว่าค่าที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง

บทที่ 5

บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า โดยใช้วิธีเครือข่ายประสาทเทียมเนื่องจากข้อมูลอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียม GOES ความสัมพันธ์แบบซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้นกับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า ทั้งนี้ใช้ข้อมูลการสังเกตของอุปกรณ์ตรวจวัดบนดาวเทียมที่มีช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแตกต่างกัน กล่าวคือใช้ข้อมูลอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียมค้างฟ้า GOES ช่องสัญญาณ Imager ในช่วงคลื่นอินฟราเรดของประเทศสหรัฐอเมริกาที่สังเกตทั้งสิ้นจำนวน 5 ช่องสัญญาณ ได้แก่ 1) ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (Visible) ช่วงความยาวคลื่น 0.550 - 0.750 μm 2) ช่วงคลื่นย่านใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) ช่วงความยาวคลื่น 3.800 - 4.000 μm 3) ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal Infrared) ช่วงความยาวคลื่น 5.800 - 7.300 μm 4) ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal Infrared) ช่วงความยาวคลื่น 10.200 - 11.200 μm และ 5) ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal Infrared) ช่วงความยาวคลื่น 12.960 - 13.710 μm โดยช่องสัญญาณในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 km ส่วนช่องสัญญาณอื่นๆ มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 4 km สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้ข้อมูลเฉพาะช่องสัญญาณอินฟราเรดเท่านั้นเนื่องจากช่องสัญญาณในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้มีการตอบสนองต่ออัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าต่ำเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าทั่วโลก AMP ที่ประมาณค่าจากดาวเทียม NOAA-18 เป็นดาวเทียมวงโคจรใกล้ขั้วโลกสังเกตในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งมีข้อดีคือ อยู่ในช่วงคลื่นที่ยาวสามารถสังเกตทะลุเมฆได้ทำให้ทราบอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าได้โดยตรงแตกต่างจากดาวเทียมค้างฟ้าที่ไม่สามารถสังเกตทะลุเมฆได้ทำให้ทราบเฉพาะอุณหภูมิบริเวณส่วนบนของเมฆเท่านั้น แต่ดาวเทียมประเภทนี้มีข้อดีที่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงและทิศทางของพายุได้ตลอดเวลาทำให้สามารถนำไปใช้สำหรับการพยากรณ์และเตือนภัยพิบัติทางธรรมชาติได้

ความถูกต้องแม่นยำในการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าของเครือข่ายประสาทเทียมขึ้นอยู่กับทฤษฎีการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม หากปัจจัยนำเข้ามีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ต้องการประมาณค่าสูง จะช่วยให้ผลการประมาณค่าดังกล่าวมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้ข้อมูลอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียมค้างฟ้า GOES-12 ช่องสัญญาณอินฟราเรดเป็นข้อมูลนำเข้า ทั้งนี้การประมาณค่าจะขึ้นอยู่กับการลองผิดลองถูกกับจำนวนโหนดชั้นแอบแฝงของเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งการศึกษานี้พบว่าเครือข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างของชั้นแอบแฝงที่ให้ผลการประมาณค่าเหมาะสมที่สุดคือ ชั้นที่ 1 มีจำนวน 20 โหนด ชั้นที่ 2 มีจำนวน 15 โหนด และชั้นสุดท้ายมีจำนวน 2 โหนด กำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอนแต่ละชั้นเป็นแบบ Tan-Sigmoid ส่วนข้อมูลนำออกคือ อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจริง AMP (mm/h) มีฟังก์ชันการถ่ายโอนเป็นแบบเชิงเส้น (Linear) ผลการศึกษาพบว่า การประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าโดยใช้อัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ที่อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 1 mm/h ขึ้นไป โดยอัลกอริทึมดังกล่าวมีความแม่นยำสูงขึ้นที่อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 8 mm/h ขึ้นไป และอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 0.648

นอกจากนี้จากการตรวจสอบความถูกต้องของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึมดังกล่าวเปรียบเทียบกับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV พบว่าเมื่อเทียบกับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจริงจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP Stage IV ทั้งรายชั่วโมง รายวัน รายเดือน และรายปี ค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าได้มีค่าประมาณสูงกว่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจริงจากเรดาร์และมาตรวัดฝน NCEP เล็กน้อย โดยมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 1 mm/h, 4 mm/day, 8mm/month และ 144 mm/ annual ขึ้นไปตามลำดับ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 0.624 0.703 0.706 และ 0.710 ตามลำดับ ทั้งนี้ข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากอัลกอริทึมที่ถูกพัฒนามาดังกล่าวสามารถเป็นประโยชน์สำหรับการบริหารจัดการน้ำ กสิกรรม รวมทั้งการเตือนภัยน้ำท่วมได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การศึกษาแบบจำลองสำหรับประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม ข้อมูลนำเข้ามีความสำคัญอย่างยิ่ง สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ข้อมูลนำเข้าคือข้อมูลอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียมค้างฟ้า GOES ควรมีการตรวจสอบการแปลงค่าอุณหภูมิความสว่างดังกล่าวให้ถูกต้อง

2) อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นดังกล่าวจำนวน โหนดของชั้นแอบแฝงในเครือข่ายประสาทเทียมมีผลต่อค่าความถูกต้องในการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า ถ้าหากจะนำอัลกอริทึมดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นๆ ที่มีลักษณะที่แตกต่างกันควรคำนึงถึงจำนวน โหนดของชั้นแอบแฝงในเครือข่ายประสาทเทียมด้วยเช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (2554). “สรุปรายงานสถานการณ์สาธารณภัย.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://disaster.go.th/dpm/flood/flood54/flood54.html> (วันที่ 26 ธันวาคม 2556).
- ชินวัชร สุรัสวดี. (2552). รายงานการวิจัยเรื่อง การประเมินผลการพยากรณ์ความละเอียดสูงสำหรับประเทศไทย, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร.
- ไทยรัฐออนไลน์. (2556). “ทอร์นาโดถล่มสหรัฐอเมริกา.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.thairath.co.th/content/oversea/383549> (วันที่ 26 ธันวาคม 2556).
- ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. (2555). “สเปกตรัมที่มองเห็นได้.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/explorescience/light/index.htm> (วันที่ 13 ตุลาคม 2556).
- วิทยา พรพัชรพงศ์. (2551). “เครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks-ANN).” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <https://www.gotoknow.org/posts/163433> (วันที่ 15 ตุลาคม 2556).
- ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ (LESA). (2003). “คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.rmutphysics.com/PHYSICS/oldfront/100/2/emw1.htm> (วันที่ 13 ตุลาคม 2556).
- ศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. (2012). “รังสีอินฟราเรด (Infrared).” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_classroom/Solarenergy/Assignment/SolEn54/SolEn54_Doc/5_Infrared/ (วันที่ 12 ตุลาคม 2556).
- ศูนย์ภูมิภาค สำนักพัฒนาอุนิยมวิทยา. (2554). “วารสารอุนิยมวิทยา 2554.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.tmd.go.th/service/magazine.php?MagID=21> (วันที่ 26 ธันวาคม 2556).
- ศูนย์สารสนเทศ ราชบัณฑิตยสถาน. (2542). “ดาวเทียม.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://rirs3.royin.go.th/new-search/word-search-all-x.asp> (วันที่ 28 กันยายน 2556).
- สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). (2555). “สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www0.tint.or.th/nkc/nkc55/content55/nstkc55-060.html> (28 กันยายน 2556).

- สมาคมอนุรักษ์สภาพแวดล้อมของกลุ่มอุตสาหกรรมน้ำมัน. (2549). “ภัยพิบัติในประเทศไทย.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://iesg.or.th/> (วันที่ 28 กันยายน 2556).
- ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลเรดาร์และดาวเทียม สำนักพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา. (2556). “ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://www.satda.tmd.go.th/RadarSat_Document//Document_satellite/ (วันที่ 25 กันยายน 2556).
- สำนักกิจการอวกาศแห่งชาติ. (2551). “ลักษณะวงโคจรของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly_electronics/wiki/ea8e4/ (28 กันยายน 2556).
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2548). “พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.rmutphysics.com/charud/oldnews/201/sattelite/8.htm> (28 กันยายน 2556).
- อรรถพล ศรีประดิษฐ์. (2555). “เซลล์ประสาทเทียม (Artificial Neuron).” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Auttapon_Sripradit/fulltext/ (วันที่ 11 ตุลาคม 2556).
- Adler, R. F. and Negri, A. J. (1988). “A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall.” *J. Appl. Meteorol.*, 27, 30-51.
- Anagnostou, E. N., Negri, A. J., and Adler, R. F. (2006). “A satellite infrared technique for diurnal rainfall variability studies.” *J. Geophys. Res.*, 104, 31477-31488.
- Ashouri, H., Hsu, K. L., Sorooshian, S., and Braithwaite, D. (2014). “PERSIANN-CDR: Daily Precipitation Climate Data Record from Multi-Satellite Observations for Hydrological and Climate Studies.” *Amer. Meteor. Soc.*, vol. 96, pp. 69-83.
- Bellon, S., Lovejoy, S., and Austin, G. L. (1980). “Combining satellite and radar data for the short-range forecasting of precipitation.” *Monthly Weather Review*, 108, 1554-1556.
- Griffith, C. G., Woodley, W. L., Grube, P. G., Martin, D. W., Stout, J. and Sikdar, D. N. (1978). “Rain estimation from geo synchronous satellite imagery-visible and infrared studies.” *Mon. Weather Rev.*, vol. 106, pp. 1153-1171.
- Gunter's space page. (2012). “NOAA 18, 19 (NOAA N).” (Online) Available on http://space.skyrocket.de/doc_sdat/noaa-n.htm (28 September 2013).

- Kidd, C., Kniveton, D. R., Todd, M. C., and Bellerby, T. J. (2003). "Satellite rainfall estimation using combined passive microwave and infrared algorithms." *J Hydrometeorol*, 4(6), 1088-1104.
- Machado, A. T., Angelis, C. F., and Bottino, M. J. (2008) "Basis for a Rainfall Estimation Technique Using IR-VIS Cloud Classification and Parameters over the Life Cycle of Mesoscale Convective Systems." *J Appl Meteorol Clim.*, vol. 47, no. 5, pp. 1500-1517.
- National Aeronautics and Space Administration. (2014). "Sounder." (Online) Available on <http://goes.gsfc.nasa.gov/text/databook/section04.pdf> (10 April 2015).
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2004). "geostationary satellite GOES." (Online) Available on <http://www.nsof.class.noaa.gov> (16 October 2013).
- Office of Senator Mary Landrieu. (2005). Hurricane Katrina Disaster Relief and Economic Recovery Act.
- Ouallouche, F., Lazri, M., Ameer, S., Brucker, J. M., and Sehad, M. (2014). "Infrared and Microwave Image Fusion for Rainfall Detection over Northern Algeria." *International Journal of Image Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*, 6(6), 11.
- Romanov, P., and Dan, T. (2007). "Enhanced algorithm for estimating snow depth from geostationary satellites." *Remote Sens. Environ.*, 108.1 (2007): 97-110.
- Sorooshian, S., Hsu, K.L., Gao, X., Gupta, H. V., and Braithwaite, D. (1997). "Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks." *J Appl Meteorol Clim*, 36, 1176-1190.
- Sorooshian, S., Hsu, K.L., Gao, X., Gupta, H. V., Imam, B., and Braithwaite, D. (2000). "Evaluation of PERSIANN System Satellite-Based Estimates of Tropical Rainfall." *Amer. Meteor. Soc.*, 81(9), 2035-2046.
- Stevens Water Monitoring Systems, Incorporate. (1911). "GOES-12." (Online) Available on http://www.stevenswater.com/telemetry_com/geo_info.aspx (28 September 2013).
- Surussavadee, C. (2012). "AMSU MIT Precipitation Retrieval Products (AMP)." (Online) Available on <http://web.mit.edu/surusc/www/AMP/> (10 July 2012).

- Surussavadee, C. (2011). "Evaluation of high-resolution weather forecasts in tropics using satellite passive millimeter-wave observations.", *Proceeding of Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Vancouver, BC, Canada: 24-29 July, 2011.
- Surussavadee, C., and Staelin, D. H. (2008a). "Global Millimeter-Wave Precipitation Retrievals Trained With a Cloud-Resolving Numerical Weather Prediction Model, Part I: Retrieval Design." *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 46(1), 99-108.
- Surussavadee, C., and Staelin, D. H. (2008b). "Global Millimeter-Wave Precipitation Retrievals Trained With A Cloud-Resolving Numerical Weather-Prediction Model, Part II: Performance Evaluation." *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 46(1), 109-118.
- Surussavadee, C., and Staelin, D. H. (2009). "Satellite Retrievals of Arctic and Equatorial Rain and Snowfall Rates Using Millimeter Wavelengths." *Geosci. Remote Sens., IEEE Transactions on*, 47(11), 3697-3707.
- Surussavadee, C., and Staelin, D. H. (2010a). "Global precipitation retrievals using the NOAA AMSU millimeter-wave channels: Comparisons with rain gauges." *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 49(1), 124-135.
- Surussavadee, C., and Staelin, D. H. (2010b). "Correcting microwave precipitation retrievals for near-surface evaporation.", *Proceeding of Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS*, Honolulu Hawaii, USA: 25-30 July, 2010.
- Surussavadee, C., and Staelin, D. H. (2011). "Evaporation Correction Methods for Microwave Retrievals of Surface Precipitation Rate." *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 49(12), 4763-4770.
- Surussavadee, C., and Songsom, V. (2013) "Infrared geostationary satellite precipitation retrievals trained with AMSU MIT millimeter-wave precipitation retrieval products.", *Proceeding of IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Chiang Mai, Thailand: 23 November, 2013.
- The National Center for Atmospheric Research. (2014). "GCIP/EOP Surface: Precipitation NCEP/EMC 4KM Gridded Data (GRIB) Stage IV Data." (Online) Available on <http://data.eol.ucar.edu/codiac/dss/id=21.093> (10 November 2014).
- The National Science Foundation. (2014). "GOES Imager characteristics." (Online) Available on http://wx.db.erau.edu/faculty/mullerb/Wx365/GOES_imager.pdf (15 December 2014).

- Vicente, G. A., Scofield, R. A., and Menzel, W. P. (1998). "The operational GOES infrared rainfall estimation technique." *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 79(9), 1883-1898.
- Weinreb, M. P., Johnson, R. X., Baucom, J. G., and Bremer, J. C. (1999). "GOES 8–10 calibration experience." *Adv. Space Res.*, 23(8), 1367-1375.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางภาคผนวก ก ตัวแปรที่ใช้สำหรับแปลงข้อมูลจากดาวเทียม GOES-12 ช่องสัญญาณ Imager
GOES Variable Format (GVAR) เป็นค่า Radiance

ช่องสัญญาณ	m	b	v	α	β
2	227.389	68.217	2562.450	-0.651	1.002
3	38.838	29.129	1536.430	-4.765	1.012
4	5.229	15.685	933.210	-0.360	1.001
6	5.530	16.589	751.910	-0.253	1.001

(ที่มาข้อมูลจาก <http://www.oso.noaa.gov/goes/goes-calibration/gvar-conversion.htm>, 21 ตุลาคม 2556)

ภาคผนวก ข

ตารางภาคผนวก ข ตัวอย่างการแปลงค่าจาก Digital Number เป็นค่าอุณหภูมิความสว่าง (T_B) ในหน่วย K สำหรับสี่ช่องสัญญาณอินฟราเรด (IR) ของดาวเทียม GOES-12

Digital Number				Brightness Temperature (K)			
IR2	IR3	IR4	IR6	T_{B2}	T_{B3}	T_{B4}	T_{B6}
928	480	512	512	369.850	292.368	285.669	266.938
928	480	544	544	369.291	292.368	285.669	271.054
928	480	544	544	369.291	292.368	285.669	271.054
928	480	544	544	369.291	292.368	285.669	271.054
928	480	544	544	370.403	292.368	285.669	271.054
928	512	512	512	369.291	292.368	289.744	266.938
928	512	512	512	369.850	292.368	289.744	266.938
928	512	512	512	369.291	292.368	289.744	266.938
928	480	512	512	369.291	292.368	285.669	266.938
928	480	512	512	369.291	292.368	285.669	266.938
928	512	512	512	368.725	292.368	289.744	266.938
960	512	544	544	368.725	293.754	289.744	271.054
928	480	512	512	369.291	292.368	285.669	266.938
928	512	512	512	369.291	292.368	289.744	266.938
928	512	512	512	370.403	292.368	289.744	266.938
928	512	512	512	370.403	292.368	289.744	266.938
928	512	512	512	369.850	292.368	289.744	266.938
928	544	512	512	369.291	292.368	293.668	266.938
928	512	512	512	369.291	292.368	289.744	266.938
928	512	512	512	368.725	292.368	289.744	266.938
928	480	544	544	369.291	292.368	285.669	271.054
928	480	576	576	369.291	292.368	285.669	275.040
928	512	576	576	369.291	292.368	289.744	275.040
960	512	544	544	369.850	293.754	289.744	271.054
928	512	544	544	369.850	292.368	289.744	271.054

Digital Number				Brightness Temperature (K)			
IR2	IR3	IR4	IR6	T _{B2}	T _{B3}	T _{B4}	T _{B6}
928	480	544	544	369.291	292.368	285.669	271.054
928	512	544	544	369.291	292.368	289.744	271.054
928	512	512	512	369.850	292.368	289.744	266.938
928	480	544	544	369.850	292.368	285.669	271.054
928	480	544	544	369.291	292.368	285.669	271.054
928	512	512	512	370.403	292.368	289.744	266.938
928	512	544	544	369.850	292.368	289.744	271.054
928	512	544	544	369.850	292.368	289.744	271.054
928	512	544	544	368.725	292.368	289.744	271.054
928	512	512	512	368.725	292.368	289.744	266.938
928	512	512	512	369.850	292.368	289.744	266.938
928	544	512	512	368.725	292.368	293.668	266.938
928	544	544	544	369.291	292.368	293.668	271.054
960	544	544	544	369.850	293.754	293.668	271.054
928	512	512	512	369.291	292.368	289.744	266.938
928	512	512	512	369.291	292.368	289.744	266.938
928	512	544	544	369.291	292.368	289.744	271.054
928	512	544	544	369.291	292.368	289.744	271.054
928	448	512	512	368.725	292.368	281.426	266.938
960	480	512	512	370.403	293.754	285.669	266.938
960	480	480	480	369.850	293.754	285.669	262.678
928	480	512	512	369.291	292.368	285.669	266.938
960	480	544	544	369.850	293.754	285.669	271.054
960	480	544	544	369.850	293.754	285.669	271.054
928	480	544	544	369.850	292.368	285.669	271.054
960	480	544	544	369.850	293.754	285.669	271.054
928	480	512	512	369.291	292.368	285.669	266.938
960	512	512	512	369.850	293.754	289.744	266.938

Digital Number				Brightness Temperature (K)			
IR2	IR3	IR4	IR6	T _{B2}	T _{B3}	T _{B4}	T _{B6}
928	480	576	576	369.851	292.369	285.670	275.040
960	512	576	576	369.851	293.755	289.745	275.040
928	480	544	544	369.292	292.369	285.670	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	576	576	369.851	292.369	289.745	275.040
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	480	544	544	369.292	292.369	285.670	271.054
960	480	544	544	369.851	293.755	285.670	271.054
928	480	512	512	370.404	292.369	285.670	266.938
928	512	512	512	369.292	292.369	289.745	266.938
928	512	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	512	512	369.851	292.369	289.745	266.938
928	512	512	512	369.292	292.369	289.745	266.938
960	480	512	512	369.292	293.755	285.670	266.938
928	480	512	512	369.292	292.369	285.670	266.938
928	480	512	512	370.404	292.369	285.670	266.938
928	480	416	416	369.851	292.369	285.670	253.653
928	480	448	448	370.404	292.369	285.670	258.257
928	512	512	512	369.851	292.369	289.745	266.938
960	512	544	544	369.851	293.755	289.745	271.054
960	480	576	576	368.726	293.755	285.670	275.040
928	480	512	512	369.851	292.369	285.670	266.938
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	448	448	369.292	292.369	289.745	258.257
928	512	448	448	369.851	292.369	289.745	258.257
928	512	512	512	369.292	292.369	289.745	266.938

Digital Number				Brightness Temperature (K)			
IR2	IR3	IR4	IR6	T _{B2}	T _{B3}	T _{B4}	T _{B6}
960	480	448	448	370.404	293.755	285.670	258.257
928	480	512	512	369.851	292.369	285.670	266.938
928	480	544	544	369.851	292.369	285.670	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	448	544	544	369.851	292.369	281.427	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	512	512	369.851	292.369	289.745	266.938
928	512	512	512	369.292	292.369	289.745	266.938
960	512	448	448	369.851	293.755	289.745	258.257
928	512	512	512	369.292	292.369	289.745	266.938
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	480	544	544	369.292	292.369	285.670	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
928	512	512	512	369.851	292.369	289.745	266.938
928	480	544	544	369.851	292.369	285.670	271.054
928	480	544	544	369.292	292.369	285.670	271.054
928	512	544	544	368.152	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	544	544	544	369.292	292.369	293.669	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	512	512	369.292	292.369	289.745	266.938
928	512	512	512	369.851	292.369	289.745	266.938

Digital Number				Brightness Temperature (K)			
IR2	IR3	IR4	IR6	T _{B2}	T _{B3}	T _{B4}	T _{B6}
928	512	512	512	369.851	292.369	289.745	266.938
960	480	512	512	369.851	293.755	285.670	266.938
960	480	544	544	368.726	293.755	285.670	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
960	512	544	544	369.851	293.755	289.745	271.054
960	480	512	512	369.292	293.755	285.670	266.938
960	480	512	512	369.851	293.755	285.670	266.938
928	480	512	512	369.851	292.369	285.670	266.938
928	480	512	512	369.851	292.369	285.670	266.938
928	480	512	512	370.404	292.369	285.670	266.938
960	480	544	544	369.851	293.755	285.670	271.054
960	512	544	544	369.292	293.755	289.745	271.054
960	512	544	544	369.851	293.755	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	480	544	544	369.292	292.369	285.670	271.054
960	480	576	576	369.851	293.755	285.670	275.040
960	512	576	576	369.851	293.755	289.745	275.040
960	512	576	576	369.292	293.755	289.745	275.040
960	512	576	576	369.851	293.755	289.745	275.040
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	480	544	544	369.851	292.369	285.670	271.054
928	448	544	544	369.292	292.369	281.427	271.054
928	480	512	512	368.726	292.369	285.670	266.938
928	512	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
928	480	544	544	369.851	292.369	285.670	271.054
928	512	576	576	369.851	292.369	289.745	275.040
928	480	576	576	369.292	292.369	285.670	275.040
928	480	512	512	369.292	292.369	285.670	266.938

Digital Number				Brightness Temperature (K)			
IR2	IR3	IR4	IR6	T _{B2}	T _{B3}	T _{B4}	T _{B6}
928	512	576	576	368.726	292.369	289.745	275.040
928	544	576	576	369.292	292.369	293.669	275.040
928	544	576	576	368.726	292.369	293.669	275.040
928	512	576	576	368.726	292.369	289.745	275.040
928	480	576	576	370.404	292.369	285.670	275.040
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	512	512	369.292	292.369	289.745	266.938
928	512	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	576	576	369.292	292.369	289.745	275.040
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	512	512	369.851	292.369	289.745	266.938
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
928	544	544	544	368.726	292.369	293.669	271.054
928	544	544	544	369.851	292.369	293.669	271.054
928	512	512	512	369.851	292.369	289.745	266.938
928	512	512	512	369.292	292.369	289.745	266.938
960	512	544	544	368.726	293.755	289.745	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
960	512	448	448	369.851	293.755	289.745	258.257
928	512	544	544	370.404	292.369	289.745	271.054

Digital Number				Brightness Temperature (K)			
IR2	IR3	IR4	IR6	369.292	292.369	293.669	275.040
960	512	512	512	368.726	292.369	293.669	275.040
928	512	512	512	368.726	292.369	289.745	275.040
960	512	512	512	370.404	292.369	285.670	275.040
960	512	512	512	369.851	292.369	289.745	271.054
928	544	448	448	369.292	292.369	289.745	271.054
960	512	448	448	369.292	292.369	289.745	266.938
928	512	512	512	368.726	292.369	289.745	271.054
928	512	512	512	369.292	292.369	289.745	271.054
928	544	512	512	369.851	292.369	289.745	271.054
960	544	448	448	369.292	292.369	289.745	275.040
928	544	448	448	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	448	448	369.851	292.369	289.745	266.938
960	544	448	448	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	512	512	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	512	512	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	448	448	368.726	292.369	289.745	271.054
928	480	448	448	368.726	292.369	293.669	271.054
928	480	512	512	369.851	292.369	293.669	271.054
928	512	512	512	369.851	292.369	289.745	266.938
928	512	512	512	369.292	292.369	289.745	266.938
928	512	512	512	368.726	293.755	289.745	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	544	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.851	293.755	289.745	258.257
960	512	512	512	370.404	292.369	289.745	271.054
960	512	512	512	368.726	292.369	289.745	275.040
928	512	544	544	369.292	292.369	293.669	275.040

Digital Number				Brightness Temperature (K)			
IR2	IR3	IR4	IR6	368.726	292.369	289.745	275.040
928	512	512	512	370.404	292.369	285.670	275.040
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	544	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	544	544	544	369.292	292.369	289.745	266.938
928	512	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	544	576	576	369.851	292.369	289.745	271.054
960	512	576	576	369.292	292.369	289.745	275.040
928	512	576	576	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	576	576	369.851	292.369	289.745	266.938
928	512	608	608	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	544	576	576	368.726	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	368.726	292.369	293.669	271.054
928	480	480	480	369.851	292.369	293.669	271.054
928	480	480	480	369.851	292.369	289.745	266.938
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	266.938
928	512	544	544	368.726	293.755	289.745	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	576	576	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
928	512	480	480	369.851	293.755	289.745	258.257
928	512	480	480	370.404	292.369	289.745	271.054
928	480	480	480	368.726	292.369	289.745	275.040
928	512	544	544	369.292	292.369	293.669	275.040
928	512	544	544	368.726	292.369	293.669	275.040
928	480	512	512	368.726	292.369	289.745	275.040

Digital Number				Brightness Temperature (K)			
IR2	IR3	IR4	IR6	369.851	292.369	289.745	271.054
928	480	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	266.938
928	512	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
960	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
960	544	480	480	369.851	292.369	289.745	271.054
960	512	480	480	369.292	292.369	289.745	275.040
960	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
960	512	576	576	369.851	292.369	289.745	266.938
928	512	576	576	369.292	292.369	289.745	271.054
960	512	576	576	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	576	576	369.292	292.369	289.745	271.054
928	480	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
928	544	544	544	368.726	292.369	293.669	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	293.669	271.054
928	480	576	576	369.851	292.369	289.745	266.938
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	266.938
928	512	544	544	368.726	293.755	289.745	271.054
928	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	480	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.851	293.755	289.745	258.257
928	512	608	608	370.404	292.369	289.745	271.054
928	480	608	608	368.726	292.369	289.745	275.040
928	512	608	608	369.292	292.369	293.669	275.040
928	480	576	576	368.726	292.369	293.669	275.040
928	512	544	544	368.726	292.369	289.745	275.040
928	512	576	576	370.404	292.369	285.670	275.040
928	512	512	512	369.851	292.369	289.745	271.054

Digital Number				Brightness Temperature (K)			
IR2	IR3	IR4	IR6	369.292	292.369	289.745	266.938
928	512	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
928	480	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	480	576	576	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	576	576	369.292	292.369	289.745	275.040
960	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
960	512	576	576	369.851	292.369	289.745	266.938
928	544	576	576	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	576	576	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	576	576	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	576	576	368.726	292.369	289.745	271.054
928	544	576	576	368.726	292.369	293.669	271.054
928	544	544	544	369.851	292.369	293.669	271.054
928	512	576	576	369.851	292.369	289.745	266.938
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	266.938
928	576	576	576	368.726	293.755	289.745	271.054
928	544	576	576	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	544	480	480	368.726	292.369	289.745	271.054
928	544	480	480	369.851	293.755	289.745	258.257
928	512	480	480	370.404	292.369	289.745	271.054
928	544	576	576	368.726	292.369	289.745	275.040
928	512	576	576	369.292	292.369	293.669	275.040
928	512	576	576	368.726	292.369	293.669	275.040
960	512	576	576	368.726	292.369	289.745	275.040
928	512	544	544	370.404	292.369	285.670	275.040
928	544	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	480	512	512	369.292	292.369	289.745	266.938

Digital Number				Brightness Temperature (K)			
IR2	IR3	IR4	IR6	369.292	292.369	289.745	271.054
960	512	480	480	369.851	292.369	289.745	271.054
960	512	544	544	369.292	292.369	289.745	275.040
928	512	576	576	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	576	576	369.851	292.369	289.745	266.938
928	512	576	576	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	576	576	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	512	576	576	368.726	292.369	289.745	271.054
928	512	576	576	368.726	292.369	293.669	271.054
928	512	576	576	369.851	292.369	293.669	271.054
928	512	608	608	369.851	292.369	289.745	266.938
960	512	576	576	369.292	292.369	289.745	266.938
928	544	576	576	368.726	293.755	289.745	271.054
960	512	544	544	369.851	292.369	289.745	271.054
960	544	544	544	369.292	292.369	289.745	271.054
928	544	544	544	368.726	292.369	289.745	271.054
928	512	544	544	369.851	293.755	289.745	258.257
928	512	544	544	370.404	292.369	289.745	271.054
960	544	544	544	368.726	292.369	289.745	275.040
928	544	480	480	369.292	292.369	293.669	275.040
928	544	480	480	368.726	292.369	293.669	275.040
928	544	480	480	368.726	292.369	289.745	275.040
928	544	480	480	370.404	292.369	285.670	275.040
960	544	448	448	369.851	292.369	289.745	271.054
960	512	480	480	369.292	292.369	289.745	271.054
960	512	480	480	369.292	292.369	289.745	266.938