



การพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าสำหรับดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด  
Development of A Precipitation Retrieval Algorithm for  
Infrared Geostationary Satellites

วีรนนท์ สงสม

Veeranun Songsom

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

2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์      การพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าสำหรับดาวเทียมค้างฟ้า  
                                 อินฟราเรด

ผู้เขียน                นายวีรนนท์ สงสม

สาขาวิชา              เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

---

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

**คณะกรรมการสอบ**

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

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พันธ์ ทองชุมนุม)

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

..... กรรมการ  
(ดร.ชิติพร จันทร์วิเมลิอง)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและ  
การจัดการสิ่งแวดล้อม

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วน  
เกี่ยวข้องทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ \_\_\_\_\_

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชินวัชร สุรัสวดี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ \_\_\_\_\_

(นายวิรัตน์ สงสม)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ \_\_\_\_\_

(นายวีรนนท์ สงสม)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าสำหรับดาวเทียมค้างฟ้า อินฟราเรด
ผู้เขียน	นายวีรพันธ์ สงสม
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2555

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าสำหรับดาวเทียมค้างฟ้าคลื่นอินฟราเรด Multifunctional Transport Satellite (MTSAT) ของประเทศญี่ปุ่น อัลกอริทึมนี้พัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องโดยผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าทั่วโลก AMSU MIT Precipitation Retrieval (AMP) ที่ประมาณค่าจากการสังเกตของอุปกรณ์รับรู้คลื่นไมโครเวฟ Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU)/Microwave Humidity Sounder (MHS) บนดาวเทียม NOAA – 18 และอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียม MTSAT ที่ซ้อนทับกัน วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นศึกษาในพื้นที่ 30°S – 30°N และ 80°E – 160°W ใช้ข้อมูลในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2552 – ธันวาคม พ.ศ. 2553 และใช้เครือข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) เป็นตัวประมาณค่า การพัฒนาอัลกอริทึมได้ทำการทดลอง 3 กรณีคือ 1) การใช้เครือข่ายประสาทเทียมแยกกันสำหรับกลางวันและกลางคืน 2) การใช้เครือข่ายประสาทเทียมแยกกันสำหรับพื้นดินและพื้นน้ำ และ 3) การใช้เครือข่ายประสาทเทียมเดียวสำหรับทุกกรณี เครือข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างหลากหลายได้ถูกทดสอบสำหรับแต่ละกรณี ผลการศึกษาพบว่า การใช้เครือข่ายประสาทเทียมเดียวสำหรับทุกกรณีให้ผลการประมาณค่าดีที่สุด ค่าประมาณหยาดน้ำฟ้าจากดาวเทียม MTSAT มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP เท่ากับ 0.60, 0.60, 0.47, 0.65 และ 0.65 สำหรับกลางวัน กลางคืน พื้นดิน พื้นน้ำ และข้อมูลทั้งหมด ตามลำดับ ค่าประมาณหยาดน้ำฟ้ามีประโยชน์สำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป ตำแหน่งและลักษณะของหยาดน้ำฟ้ามีความสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP แต่มีความเอนเอียง (Bias) ในทิศทางต่ำกว่า AMP เล็กน้อย

**คำสำคัญ:** Infrared Geostationary satellite, Multifunctional Transport Satellite (MTSAT), passive infrared remote sensing, precipitation retrieval

<b>Thesis Title</b>	Development of A Precipitation Retrieval Algorithm for Infrared Geostationary Satellites
<b>Author</b>	Mr.Veeranun Songsom
<b>Major Program</b>	Technology and Environmental Management
<b>Academic</b>	2012

### ABSTRACT

The objective of this thesis is to develop a precipitation retrieval algorithm for the Japanese infrared geostationary satellites Multifunctional Transport Satellite (MTSAT). The algorithm was developed and evaluated using the global precipitation product AMSU MIT Precipitation retrieval products (AMP) estimated using observations from passive microwave sensors Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) and Microwave Humidity Sounder (MHS) aboard NOAA – 18 satellite and overlapping MTSAT observed brightness temperatures. This thesis focuses for the area within 30°S – 30°N and 80°E – 160°W, uses data during January 2009 – December 2010, and uses neural networks for estimators. Algorithm development tested 3 cases, including 1) using separate neural networks for day and night, 2) using separate neural networks for land and sea, and 3) using a single neural network for all cases. Many different neural network configurations were tested for each case. Results show that using a single neural network for all cases perform best. Correlation coefficients between MTSAT precipitation rate estimates and AMP products are 0.60, 0.60, 0.47, 0.65 and 0.65 for day, night, land, sea, and all, respectively. MTSAT estimates are useful for rates higher than 1 mm/h. Precipitation locations and morphologies agree well with those of AMP. MTSAT estimates bias a bit lower than AMP.

**Keywords:** Geostationary infrared satellite, Multifunctional Transport Satellite (MTSAT), passive infrared remote sensing, precipitation retrieval

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชินวัชร สุรัสวดี สำหรับข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าทั่วโลก AMP และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำแนวทางการดำเนินงานวิจัย จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต สำหรับการสนับสนุนทุนในการศึกษาตลอดการวิจัยนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT จาก Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University, Japan (<ftp://mtsat-1r.cr.chiba-u.ac.jp>) ซึ่งสนับสนุนงานโดย Formation of a virtual laboratory for diagnosing the earth's climate system, the Ministry of Science, Sports, and Culture (ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมต้นฉบับให้บริการโดย Japan Meteorological Agency, JMA)

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พันธ์ ทองชุมนุม คณบดีคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ประธานกรรมการสอบและ ดร.ธิดิพร จันท์วิเมลียง ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องในวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณนายพรณรงค์ อ่อนชาติ นักศึกษาปริญญาโท คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่ให้คำแนะนำชี้แนะสำหรับวิธีการเขียนโปรแกรมจนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี

สุดท้ายข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อนๆ และเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ตลอดระยะเวลาที่ได้ทำการศึกษาจนทำให้ข้าพเจ้าสามารถสำเร็จการศึกษาลุล่วงไปได้ด้วยดี

วีรนนท์ สงสม

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	(5)
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการรูป	(12)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(16)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
2.1 การรับรู้ระยะไกล	4
2.2 ดาวเทียม	11
2.2.1 ดาวเทียม MTSAT	13
2.2.2 ดาวเทียม NOAA – 18	14
2.2.3 ความแตกต่างระหว่างภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT กับภาพถ่ายดาวเทียม NOAA – 18	18
2.3 ค่าทางสถิติ	20
2.3.1 ค่าเฉลี่ย (mean)	20



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard division)	20
2.3.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)	21
2.3.4 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสอง (Root Mean Square Error)	21
<b>2.4 เครื่องมือถ่ายภาพเทียม</b>	<b>22</b>
2.4.1 ฟังก์ชันการถ่ายโอน	23
<b>2.5 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>25</b>
<b>บทที่ 3 วิธีการวิจัย</b>	<b>29</b>
<b>3.1 พื้นที่การศึกษา</b>	<b>29</b>
<b>3.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม</b>	<b>30</b>
3.2.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT	30
3.2.2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP	30
<b>3.2 วิธีการวิจัย</b>	<b>30</b>
3.3.1 การเตรียมข้อมูล	31
3.3.2 กรณีศึกษา	34
3.3.3 อัลกอริทึมสำหรับการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า	39
<b>บทที่ 4 ผลและบทวิจารณ์ผลการวิจัย</b>	<b>43</b>
<b>4.1 การเปรียบเทียบอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าระหว่างค่าหยาดน้ำฟ้าจากผลิตภัณฑ์ AMP กับที่ประมาณค่าได้</b>	<b>43</b>
<b>4.2 การประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP</b>	<b>47</b>
<b>บทที่ 5 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>50</b>
<b>5.1 สรุปผลการวิจัย</b>	<b>50</b>
<b>5.2 ข้อเสนอแนะ</b>	<b>51</b>
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>52</b>

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	56
ภาคผนวก ก	57
ภาคผนวก ข	64
ประวัติผู้เขียน	66

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชื่อและความยาวคลื่นต่างๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการรับรู้ระยะไกล	8
2.2 สเปกตรัมของแสงสีต่างๆ	10
2.3 ข้อมูลจำเพาะอุปกรณ์ตรวจวัดบนดาวเทียม MTSAT	15
2.4 ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ตรวจวัด AMSU A/B บนดาวเทียม NOAA – 18	17
2.5 ฟังก์ชันการถ่ายโอนสำหรับเครือข่ายประสาทเทียม	25
4.1 Root Mean Square Error (RMSE), Mean Error (AMP – ESTIMATE) ของอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) ที่ประมาณค่าสำหรับกลางวัน กลางคืน พื้นดิน พื้นน้ำ และข้อมูลทั้งหมด ช่วงแบ่งโดยหยาดน้ำฟ้า AMP สำหรับการใช้อุปกรณ์เครือข่ายประสาทเทียมเดี่ยวทุกกรณี	46

## รายการรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการรับรู้ระยะไกลโดยอุปกรณ์ตรวจวัดของดาวเทียมทำการวัดพลังงานจากการแผ่รังสีหรือการสะท้อนของวัตถุทั้งบนพื้นโลกและชั้นบรรยากาศ ซึ่งอาศัยพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์	6
2.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ตั้งฉากกัน	6
2.3 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากความยาวคลื่นน้อยไปยังความยาวคลื่นมากโดยเรียงจากซ้ายไปขวา	7
2.4 การประยุกต์ใช้งานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามความยาวคลื่นหรือความถี่ต่างๆ	7
2.5 การแผ่รังสีตามกฎของพลังค์ในสเกล logarithm ฐานสิบ	8
2.6 เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของพืชโดยในช่วงคลื่น near infrared เป็นช่วงคลื่นที่เหมาะสมสำหรับจำแนกพืช	10
2.7 ลักษณะการโคจรของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา	13
2.8 แบบจำลองดาวเทียม MTSAT – 2	15
2.9 พื้นที่การสังเกตของดาวเทียม MTSAT – 2 ครอบคลุมขอบเขตละติจูด 60°S – 60°N และลองจิจูด 85°E – 155°W โดยดาวเทียม MTSAT – 2 อยู่เหนือจุดตัดระหว่างเส้นศูนย์สูตรและลองจิจูดที่ 145 องศาตะวันออก	16
2.10 แบบจำลองดาวเทียม NOAA – 18	16
2.11 แถบวงโคจรของดาวเทียม NOAA – 18 สำหรับ 1 แถบโคจรสำหรับวันที่ 15 กรกฎาคม 2552 เวลา 18.12 – 20.07 UTC	17
2.12 แถบวงโคจรดาวเทียม NOAA – 18 ทั่วโลกสำหรับวันที่ 15 กรกฎาคม 2552	18
2.13 ข้อมูลจากดาวเทียม MTSAT – 1R และดาวเทียม NOAA – 18 สำหรับพายุเมอโลร์ (Melor) บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศฟิลิปปินส์ ในวันที่ 5 ตุลาคม 2552 โดย a – d) คืออุณหภูมิความสว่าง (K) สำหรับสัญญาณอินฟราเรดช่องที่ 1 – 4 ตามลำดับ e) คือเปอร์เซ็นต์ค่าการสะท้อน (%) สำหรับสัญญาณช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ และ f) คืออัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (mm/h) ในวันและเวลาเดียวกันกับดาวเทียม MTSAT – 1R	19
2.14 การทำงานของเครือข่ายประสาทเทียม	24

## รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.15 โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมหลายชั้น (Multiple – layer perceptron) ซึ่งประกอบด้วย input layer มี $n$ โหนด, 2 hidden layer โดยที่เลเยอร์ที่ 1 มี $m$ โหนด เลเยอร์ที่ 2 มี $k$ โหนด และ output layer มี 1 โหนด	24
3.1 พื้นที่การศึกษาครอบคลุมละติจูด $30^{\circ}\text{S} - 30^{\circ}\text{N}$ และลองจิจูด $80^{\circ}\text{E} - 160^{\circ}\text{W}$ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่จากเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปจนถึงบางส่วนของประเทศออสเตรเลีย	29
3.2 กระบวนการทำงานประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1) ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล 2) อัลกอริทึมการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้า และ 3) การประยุกต์ใช้งาน	33
3.3 ตำแหน่งข้อมูลระหว่างสองดาวเทียม a) คือตำแหน่งของข้อมูลระหว่างสองดาวเทียมก่อนเงื่อนไขระยะทาง b) คือตำแหน่งของข้อมูลระหว่างสองดาวเทียมหลังเงื่อนไขระยะทางโดยที่เครื่องหมายบวก (+) หมายถึงตำแหน่งข้อมูลของดาวเทียม MTSAT เครื่องหมายดอกจัน (*) หมายถึงตำแหน่งข้อมูลของดาวเทียม NOAA – 18	34
3.4 ระบบภูมิศาสตร์สำหรับการหามุม zenith ของดาวเทียม MTSAT โดยจุด C คือจุดศูนย์กลางโลก A คือ ตำแหน่งสังเกตบนผิวโลกของดาวเทียม จุด D คือ ตำแหน่งโคจรของดาวเทียม, มุม $\gamma$ คือ มุมศูนย์กลางวัดจากเส้นของ $r_c$ (เส้นตรง CD) กับเส้นของ $r_e$ (เส้นตรง CA) $\psi$ คือ มุมที่วัดจากเส้นของ $r_c$ (เส้นตรง CA) กับระยะทาง $d$ (เส้นตรง AD), EL คือมุมความสูง (Elevation angle) $\theta_z$ คือ มุม zenith ของดาวเทียม $h$ คือ ความสูงของดาวเทียมเหนือพื้นโลก	37
3.5 ตำแหน่งมุม zenith (degree) ต่างๆของดาวเทียม MTSAT – 2 ในขอบเขตพื้นที่การศึกษา	38
3.6 ตำแหน่งของพื้นดินและพื้นน้ำในพื้นที่การศึกษา โดยสีค่าแสดงตำแหน่งของพื้นดิน สีขาวแสดงตำแหน่งของพื้นน้ำ	39
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล MTSAT กับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (a – d) อุณหภูมิความสว่าง ( $T_b$ ) สำหรับช่องสัญญาณ IR (IR1 – 4 ตามลำดับ) (e) เปอร์เซ็นต์การสะท้อน ( $A_b$ ) สำหรับช่องสัญญาณ VIS และ (f) ค่า secant ของมุม zenith	40

## รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 การออกแบบเครือข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างแบบหลายชั้น (Multiple – layer perceptron) ประกอบด้วยข้อมูลนำเข้า 4 โหนด คือ ข้อมูลอุณหภูมิความสว่างของ 4 ช่องสัญญาณ infrared, hidden layer มี 3 ชั้น โดยชั้นที่ 1 มี 5 โหนด ชั้นที่ 2 มี 10 โหนด และชั้นที่ 3 มี 2 โหนด, ข้อมูลนำออกมี 1 โหนดคืออัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า	42
4.1 scatter plot อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (แกนนอน) และที่ประมาณค่าได้ (แกนตั้ง) ในหน่วยมิลลิเมตรต่อชั่วโมง (สเกลลอการิทึมฐานสิบ) สำหรับการใช้อุปกรณ์ประสาทเทียมเดียวสำหรับทุกกรณี a) ข้อมูลในเวลากลางวัน b) ข้อมูลในเวลากลางคืน	44
4.2 เหมือนกับรูป 4.1 แต่สำหรับ a) ข้อมูลบนพื้นดิน b) ข้อมูลบนพื้นน้ำ	45
4.3 เหมือนกับรูป 4.1 แต่สำหรับข้อมูลทั้งหมด	45
4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิความสว่างจาก 4 ช่องสัญญาณอินฟราเรดของดาวเทียม MTSAT (เคลวิน) และผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP ที่เป็นค่าจริง กับการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) สำหรับพายุไซโคลนบิจลี (Bijli) ในมหาสมุทรอินเดียของวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2552 เวลา 07.30 UTC (เหตุการณ์ตอนกลางวันอ้างอิงตามเวลาที่ท้องถิ่น) ศูนย์กลางภาพประมาณ 95°E/10°N	47
4.5 เหมือนกับรูปที่ 4.4 แต่เป็นสำหรับพายุโซนร้อนนิด้า (Nida) ในมหาสมุทรแปซิฟิกของวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2552 เวลา 04.32 UTC (เหตุการณ์ตอนกลางวันอ้างอิงตามเวลาที่ท้องถิ่น) ศูนย์กลางภาพประมาณ 140°E/8°N	48
4.6 เหมือนกับรูปที่ 4.4 แต่เป็นสำหรับกลุ่มพายุฝนบนพื้นดินบริเวณภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศออสเตรเลียในวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2552 เวลา 17.30 UTC (เหตุการณ์ตอนกลางคืนอ้างอิงตามเวลาที่ท้องถิ่น) ศูนย์กลางภาพประมาณ 125°E/10°S	48
4.7 เหมือนกับรูปที่ 4.4 แต่เป็นสำหรับพายุฝนในทะเลบริเวณภาคตะวันออกของประเทศฟิลิปปินส์ในวันที่ 5 กันยายน พ.ศ. 2552 เวลา 16.30 UTC (เหตุการณ์ตอนกลางคืนอ้างอิงตามเวลาที่ท้องถิ่น) ศูนย์กลางภาพประมาณ 145°E/15°N	49

**สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ**

$A_b$	albedo
AMP	AMSU MIT Precipitation Retrievals
AMSU	Advanced Microwave Sounding Unit
CC	Correlation Coefficient
IR	infrared
MTSAT	Multifunction Transport Satellite
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
RMSE	root mean square error
$T_b$	brightness temperature
VIS	visible

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัญหาภัยพิบัติทางธรรมชาตินับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้นทำให้เกิดความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจ ชีวิต และทรัพย์สินของประชาชนเป็นอย่างมาก ในช่วงระยะเวลา 2 – 3 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยประสบปัญหาภัยพิบัติทางธรรมชาติบ่อยครั้ง และเกิดขึ้นในหลายจังหวัด บางพื้นที่เกิดซ้ำซาก ขาดการดูแลจากภาครัฐ ยกตัวอย่างเช่น จากเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ในปีพ.ศ. 2554 ประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากพายุฝนจำนวน 5 ลูก (ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2555) ได้แก่ พายุโซนร้อนไหหม่า (Haima) ในช่วงปลายเดือนมิถุนายน พายุโซนร้อนนกเตน (Nockten) ในช่วงปลายเดือนกรกฎาคม พายุโซนร้อนไห่ถาง (Haitang) ในช่วงปลายเดือนกันยายน พายุไต้ฝุ่นเนสาด (Nesat) ในช่วงต้นเดือนตุลาคม และพายุโซนร้อนนาลแก (Nalgae) ในช่วงต้นเดือนตุลาคม อิทธิพลของพายุดังกล่าวทำให้เกิดน้ำท่วมรุนแรงที่สุดในรอบ 50 ปี พื้นที่ประสบภัยธรรมชาติกว่า 64 จังหวัด ซึ่งธนาคารโลกได้ประเมินความเสียหายทางเศรษฐกิจประมาณ 1.356 ล้านล้านบาท (สำนักข่าวออนไลน์ไทยพับลิก้า, 2554) ปัญหาภัยพิบัติทางธรรมชาติเหล่านี้เป็นปัญหาเร่งด่วนที่ต้องรีบดำเนินการแก้ไข การเตรียมงบประมาณเพื่อบรรเทาความเสียหายที่เกิดขึ้นภายหลังอาจไม่เพียงพอต่อการบรรเทาความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ การแก้ไขปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องดำเนินการวางแผนล่วงหน้าอย่างเป็นระบบและอย่างจริงจัง ทั้งนี้ความร่วมมือจากองค์กรต่างๆ สามารถช่วยเหลือประชาชนให้มีการเตรียมการอย่างทันท่วงทีได้

ข้อมูลหยาดน้ำฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยใช้เป็นข้อมูลเตือนภัยแก่ประชาชนได้ ข้อมูลหยาดน้ำฟ้าได้จากการตรวจวัดของมาตรวัดฝน เรดาร์และดาวเทียม สำหรับข้อมูลจากมาตรวัดฝนมีขีดจำกัดอยู่หลายประการ เช่น สถานีวัดน้ำฝนถูกติดตั้งไว้เฉพาะจุดและแต่ละสถานีมีระยะทางห่างกัน นอกจากนี้ตำแหน่งที่ติดตั้งดังกล่าวอยู่บนแผ่นดินเท่านั้น ข้อมูลหยาดน้ำฟ้าจึงมีขีดจำกัดอยู่บนแผ่นดินเมื่อนำไปใช้สำหรับหาค่าหยาดน้ำฟ้าในพื้นที่อื่นๆ จึงทำให้ความถูกต้องแม่นยำลดลง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด Multifunction Transport Satellite (MTSAT) ของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งดาวเทียม MTSAT สามารถสังเกตพายุฝนในบริเวณที่ดาวเทียมสังเกตทุกๆ 1 ชั่วโมง ทำให้



สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนตัวของพายุได้ ข้อมูลจากการสังเกตของดาวเทียมเทียมค้ำฟ้าอินฟราเรดมีความละเอียดเชิงพื้นที่และความละเอียดเชิงเวลาสูง ข้อมูลที่มีลักษณะดังกล่าวมีประโยชน์สำหรับการบริหารจัดการน้ำ กสิกรรม อุตสาหกรรม และเตือนภัยพิบัติธรรมชาติ

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าสำหรับใช้กับข้อมูลดาวเทียมค้ำฟ้าช่วงคลื่นอินฟราเรด MTSAT

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) พัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าสำหรับใช้กับข้อมูลดาวเทียมค้ำฟ้าช่วงคลื่นอินฟราเรด MTSAT

2) พื้นที่การศึกษาอยู่ในขอบเขตภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปจนถึงบางส่วนของทวีปออสเตรเลีย (30°S – 30°N, 80°E – 160°W)

3) แหล่งข้อมูล

- ข้อมูลดาวเทียม MTSAT จาก Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University, Japan (<ftp://mtsat-1r.cr.chiba-u.ac.jp/>)

- ข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชินวัชร สุรัสวดี อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ([pop@alum.mit.edu](mailto:pop@alum.mit.edu))

4) ข้อมูลที่ใช้สำหรับการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าอยู่ในระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2552 – ธันวาคม พ.ศ. 2553 โดยใช้ข้อมูลทุกวันที่ 5, 15 และ 25 ของแต่ละเดือน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นโดยวิทยานิพนธ์นี้ทำให้ได้ข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงสำหรับดาวเทียมค้ำฟ้าอินฟราเรด

2) ข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ารายชั่วโมงที่ได้จากอัลกอริทึมดังกล่าวจะเป็นประโยชน์สำหรับการบริหารจัดการน้ำ กสิกรรม รวมทั้งการเตือนภัยน้ำท่วมได้

### 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1) หยาดน้ำฟ้า เป็นชื่อเรียกรวมของหยดน้ำหรือน้ำแข็งที่เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำแล้วตกลงมาสู่พื้นดินซึ่งประกอบด้วย ฝน ลูกเห็บ หิมะ ลูกปรายหิมะ เป็นต้น

2) MTSAT ย่อมาจาก Multifunction Transport Satellite เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาของประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเมฆและพายุ นอกจากนี้ยังตรวจวัดอุณหภูมิผิวดิน ผิวน้ำทะเล และอุณหภูมิส่วนบนของเมฆด้วย

3) NOAA ย่อมาจาก National Oceanic and Atmospheric Administration เป็นหน่วยงานทางด้านอุตุนิยมวิทยาของสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีดาวเทียมหลายดวงอยู่ในความรับผิดชอบของ NOAA เช่น NOAA – 15 ถึง NOAA – 19 ดาวเทียม NOAA โคจรรอบโลกใช้เวลาประมาณ 14 รอบต่อวัน

4) AMP ย่อมาจาก AMSU MIT Precipitation retrieval เป็นผลิตภัณฑ์ข้อมูลหยาดน้ำฟ้าจากดาวเทียม NOAA ในที่นี้เป็นดาวเทียม NOAA – 18

5) AMSU ย่อมาจาก Advanced Microwave Sounding Unit เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดช่วงคลื่นความถี่ไมโครเวฟ อุปกรณ์นี้ถูกติดตั้งอยู่บนดาวเทียม NOAA และ MetOp

6) False Alarms ในวิทยานิพนธ์นี้หมายถึง การตรวจพบหยาดน้ำฟ้าที่ผิดพลาด

## บทที่ 2

### การตรวจสอบเอกสาร

วิทยานิพนธ์นี้พัฒนาอัลกอริทึมประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าโดยใช้ข้อมูลจากการสังเกตของอุปกรณ์ตรวจวัด Japanese Advanced Meteorological Imager (JAMI)/Imager บนดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด MTSAT และข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP (AMSU MIT Precipitation retrieval) เป็นข้อมูลอ้างอิง (ground truth) ที่ประมาณค่าจากการสังเกตของอุปกรณ์ตรวจวัด AMSU บนดาวเทียม NOAA – 18 ในช่วงคลื่นไมโครเวฟ วิทยานิพนธ์นี้จึงเป็นการใช้ข้อมูลจากการสังเกตของอุปกรณ์ตรวจวัดบนดาวเทียมที่แตกต่างกันสองช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยช่วงคลื่นหลายช่วงคลื่น อุปกรณ์รับรู้ที่ใช้สำหรับการตรวจวัดสภาพอากาศของโลกมีอยู่ 3 ช่วงคลื่นคือ ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (visible) ช่วงคลื่นอินฟราเรด (infrared) และช่วงคลื่นไมโครเวฟ (microwave) ทั้ง 3 ช่วงคลื่นให้ลักษณะข้อมูลที่แตกต่างกัน ประโยชน์ของการใช้ข้อมูลจากดาวเทียม คือ ดาวเทียมสามารถมองเห็นพื้นที่ต่างๆ ได้บริเวณกว้าง บางชนิดสามารถสังเกตเห็นได้ทั้งทวีป บางชนิดสามารถสังเกตได้ทั่วโลก ซึ่งมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันดังรายละเอียดที่จะกล่าวในลำดับต่อไป

#### 2.1 การรับรู้ระยะไกล

การรับรู้ระยะไกล (remote sensing) เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำหรับการตรวจวัดเพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของวัตถุโดยไม่มีการสัมผัสกับวัตถุนั้น (สายตาของคนเราเป็นอุปกรณ์การรับรู้ระยะไกลอย่างหนึ่งที่สามารถวิเคราะห์รูปร่าง สี รวมทั้งสามารถคาดการณ์น้ำหนักของวัตถุนั้นๆ ได้) รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการรับรู้ระยะไกล เริ่มต้นด้วยอุปกรณ์ตรวจวัด (sensor) ที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องบินหรือดาวเทียม (หรือแพลตฟอร์ม, platform) ทำการตรวจวัดพลังงานการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสะท้อน (reflection) หรือแผ่รังสี (emission) ของวัตถุบนพื้นโลก วัตถุแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ค่าพลังงานที่แตกต่างกันนี้ทำให้สามารถบ่งบอกเอกลักษณ์ของวัตถุนั้นๆ ได้ (shunji murai, 1975)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หมายถึง คลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในเวลาของความเข้มของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 แหล่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สำคัญมาจากดวงอาทิตย์ โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางจากดวงอาทิตย์มายังโลก

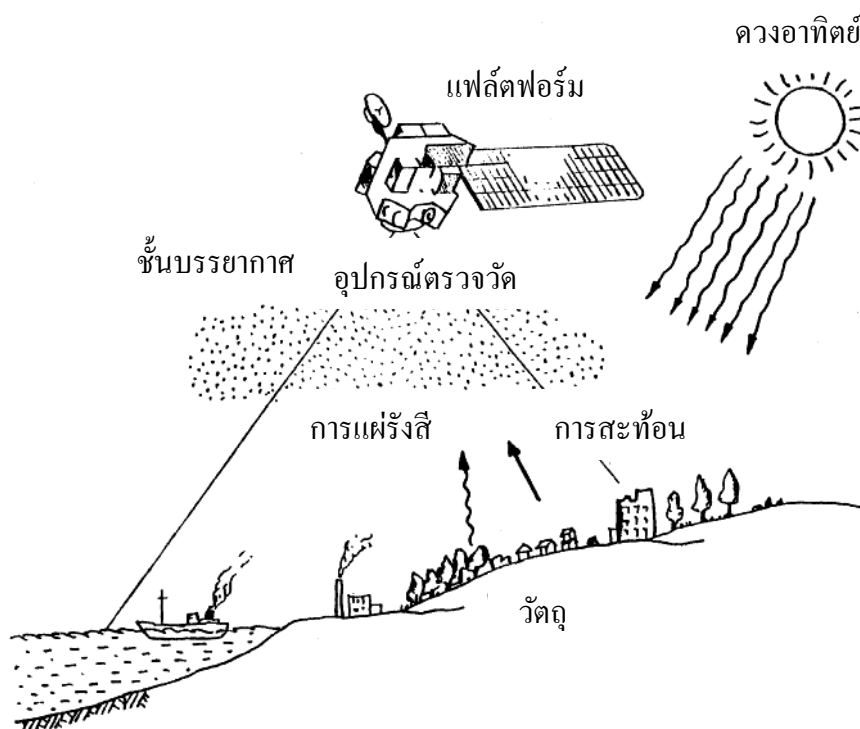
ความเร็วแสง ( $c$ ) ประมาณ 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นแบบแกว่ง (oscillation) ตามรูปที่ 2.2 ซึ่งมีลักษณะเหมือนสัญญาณคลื่นไซน์ (sine wave) รูปที่ 2.3 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามความยาวคลื่นต่างๆ โดยเรียงจากความยาวคลื่นน้อยไปหาความยาวคลื่นมาก ประกอบด้วยรังสีแกมมา (gamma ray) รังสีเอ็กซ์ (X – ray) อัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (visible) คลื่นอินฟราเรด (infrared) คลื่นไมโครเวฟ (microwave) และคลื่นวิทยุ (radio wave)

รูปที่ 2.4 แสดงการประยุกต์ใช้งานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามความยาวคลื่นต่างๆ เช่น รังสีแกมมาใช้ในการผลิตระเบิดปรมาณูของปฏิกิริยานิวเคลียร์ รังสีเอ็กซ์ใช้ตรวจวัดร่างกาย หรือคลื่นไมโครเวฟใช้อบอาหาร เป็นต้น

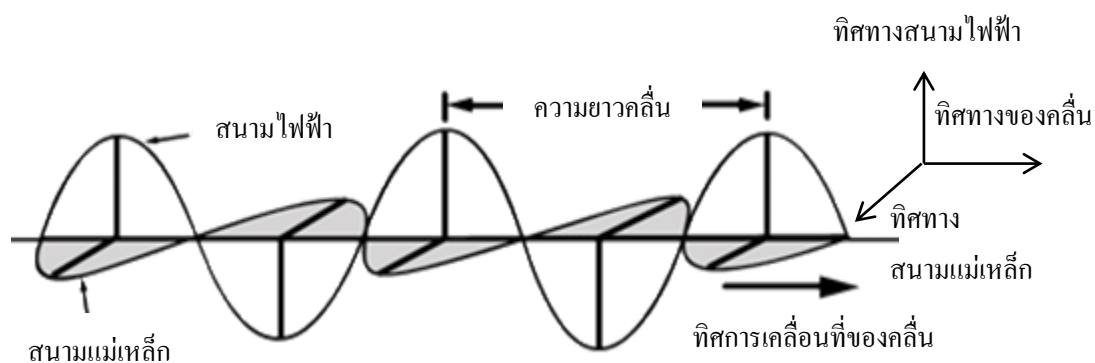
การแผ่รังสีของวัตถุวัตถุดำ (black body) ซึ่งเป็นวัตถุในอุดมคติที่สามารถดูดซับพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบไว้ทั้งหมด โดยไม่มีการสะท้อนพลังงานออกมานั้นเป็นไปตามกฎของแพลงค์ (Planck's Law) โดยค่าความเข้มของพลังงานมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความยาวคลื่นดังแสดงในสมการที่ 2.1 และรูปที่ 2.5 แสดงกราฟความเข้มของพลังงานของการแผ่รังสีวัตถุดำ

$$B_{\lambda} = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1} \quad (2.1)$$

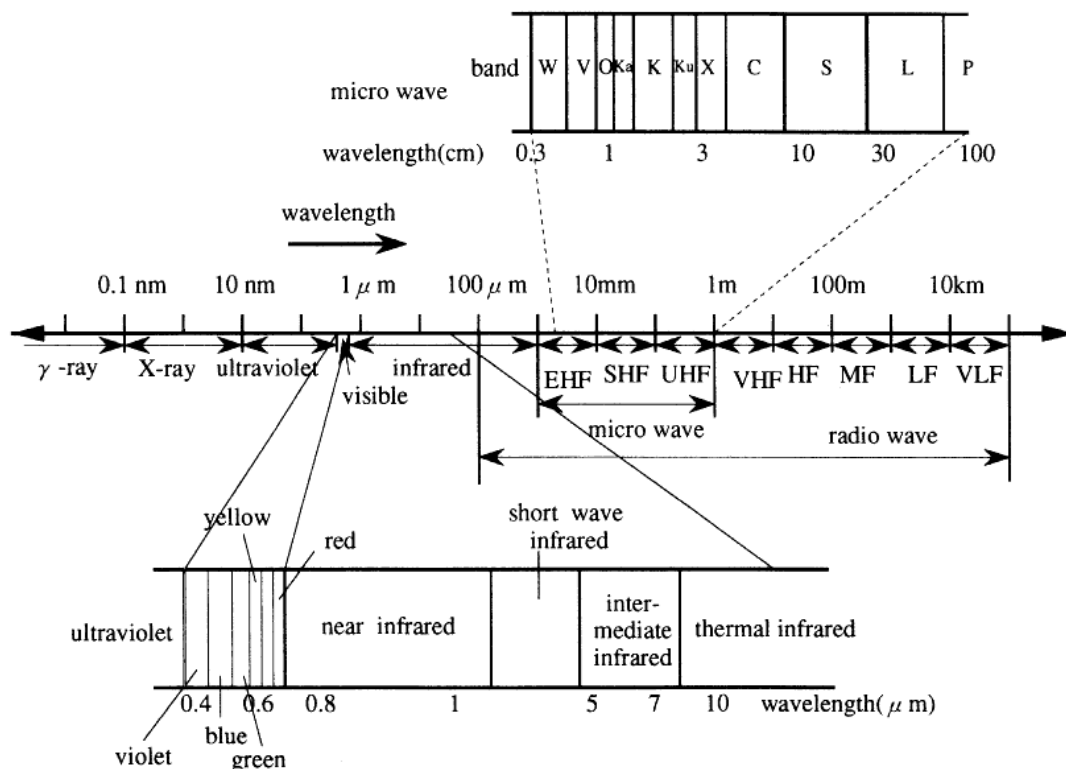
โดยที่	$B_{\lambda}$	คือ ความเข้มของพลังงานของการแผ่รังสีวัตถุดำ ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ )
	$T$	คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุดำ (K)
	$\lambda$	คือ ความยาวคลื่น ( $\mu\text{m}$ )
	$c$	คือ ความเร็วแสง (300,000 km/s)
	$h$	คือ ค่าคงที่ของแพลงค์ ( $6.626 \times 10^{-34}$ Js)
	$k$	คือ ค่าคงที่ของโบลซ์แมน ( $1.38 \times 10^{-23}$ JK <sup>-1</sup> )



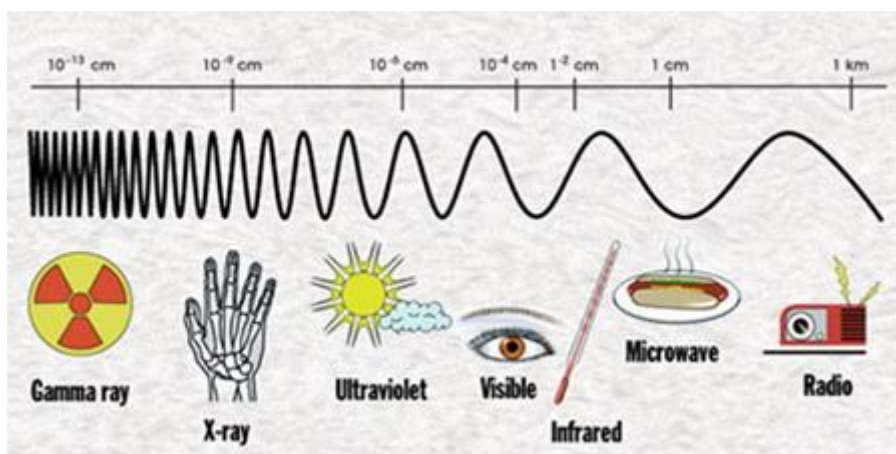
รูปที่ 2.1 กระบวนการรับรู้ระยะไกล โดยอุปกรณ์ตรวจวัดของดาวเทียมทำการวัดพลังงานจากการแผ่รังสีหรือการสะท้อนของวัตถุทั้งบนพื้นโลกและชั้นบรรยากาศ ซึ่งอาศัยพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ (ภาพดัดแปลงจาก shunji murai, 1975)



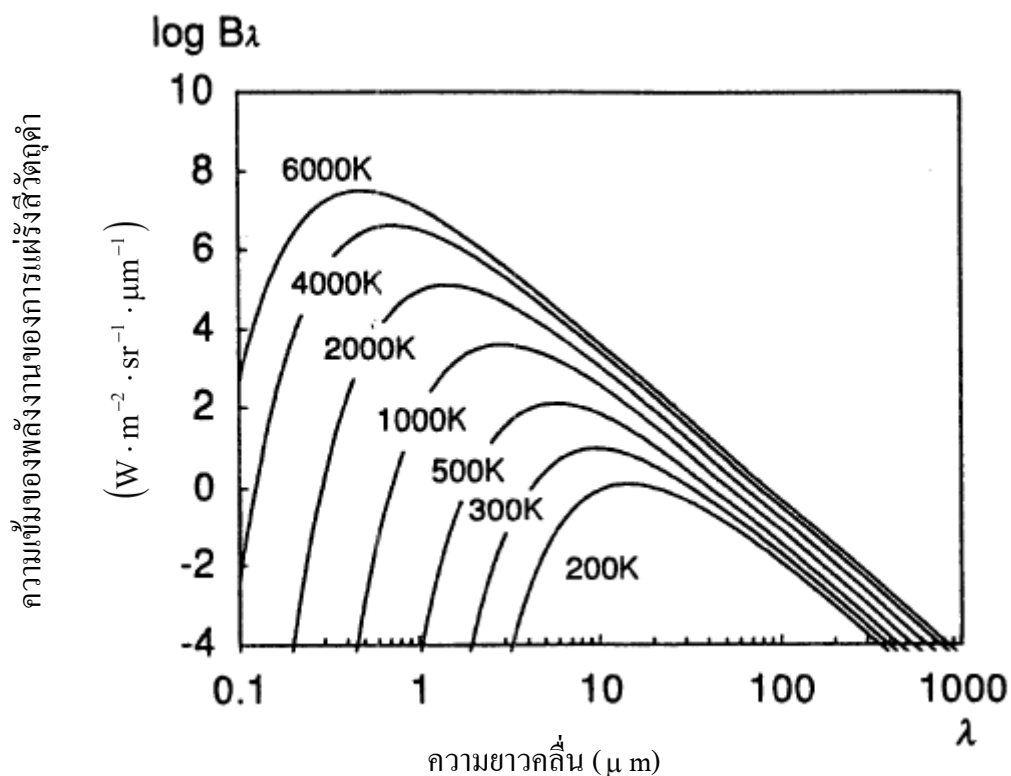
รูปที่ 2.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ตั้งฉากกัน (ภาพดัดแปลงจาก <http://www.rmutphysics.com/PHYSICS/oldfront/100/2/emw1.htm>, 24 ธันวาคม 2555)



รูปที่ 2.3 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากความยาวคลื่นน้อยไปยังความยาวคลื่นมากโดยเรียงจากซ้ายไปขวา (ภาพจาก shunji murai, 1975)



รูปที่ 2.4 การประยุกต์ใช้งานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามความยาวคลื่นหรือความถี่ต่างๆ (ภาพดัดแปลงจาก <http://www.thaigoodview.com/node/85029>, 24 ธันวาคม 2555)



รูปที่ 2.5 การแผ่รังสีตามกฎของแพลงค์ในสเกล logarithm ฐานสิบ (ภาพดัดแปลงจาก shunji murai, 1975)

ตารางที่ 2.1 ชื่อและความยาวคลื่นต่างๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการรับรู้ระยะไกล (ตารางดัดแปลงจาก shunji murai, 1975)

ชนิด	ความยาวคลื่น	ความถี่	
Ultraviolet	100Å ~ 0.4 $\mu\text{ m}$	750 ~ 3,000 THz	
Visible	0.4 ~ 0.7 $\mu\text{ m}$	430 ~ 750 THz	
near infrared	0.7 ~ 1.3 $\mu\text{ m}$	230 ~ 430 THz	
short wave infrared	1.3 ~ 3 $\mu\text{ m}$	100 ~ 230 THz	
Infrared	intermediate infrared	3 ~ 8 $\mu\text{ m}$	38 ~ 100 THz
	thermal infrared	8 ~ 14 $\mu\text{ m}$	22 ~ 38 THz
	far infrared	14 $\mu\text{ m}$ ~ 1 mm	0.3 ~ 22 THz

ตารางที่ 2.1 ชื่อและความยาวคลื่นต่างๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการรับรู้ระยะไกล (ตารางดัดแปลงจาก shunji murai, 1975) (ต่อ)

ชนิด	ความยาวคลื่น	ความถี่	
sub millimeter	0.1 ~ 1 mm	0.3 ~ 3 THz	
micro wave	1 mm ~ 1 m	0.3 ~ 300 GHz	
very short wave (VHF)	1 ~ 10 m	30 ~ 300 MHz	
radio wave	short wave (HF)	10 ~ 100 m	3 ~ 30 MHz
	medium wave (MF)	0.1 ~ 1 km	0.3 ~ 3 MHz
	long wave (LF)	1 ~ 10 km	30 ~ 300 kHz
	very long wave (VLF)	10 ~ 100 km	3 ~ 30 kHz

ตามที่กล่าวไว้ในตอนต้นว่าช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการตรวจวัดสภาพอากาศของโลกมีอยู่ 3 ช่วงคลื่น คือ ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (visible) ช่วงคลื่นอินฟราเรด (infrared) และช่วงคลื่นไมโครเวฟ (microwave) รายละเอียดแต่ละช่วงคลื่นมีดังต่อไปนี้

ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (visible) คือช่วงคลื่นแสงที่สายตาของมนุษย์สามารถมองเห็นเป็นแสงสีต่างๆ ได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 โดยแสงสีม่วงมีความยาวคลื่นน้อยที่สุด และแสงสีแดงมีความยาวคลื่นมากที่สุด ลักษณะของช่วงคลื่นดังกล่าวทำให้สามารถอธิบายสาเหตุของใบไม้ที่มีเขียวได้ว่า คลอโรฟิลในใบไม้ดูดซับแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงแล้วสะท้อนแสงสีเขียวออกมาทำให้เราเห็นใบไม้เป็นสีเขียว การรับรู้ระยะไกลโดยใช้ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้อาศัยการสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์ โดยเมื่อแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์ส่องมายังวัตถุ คลื่นส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับไว้โดยวัตถุ อีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนออกมาทำให้เราสามารถวัดค่าพลังงานการสะท้อนนั้นได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับกลางวันและกลางคืนมีความแตกต่างกัน โดยในเวลากลางวันดาวเทียมไม่สามารถวัดพลังงานการสะท้อนได้หรือให้ค่าการสะท้อนพื้นผิวเป็น 0

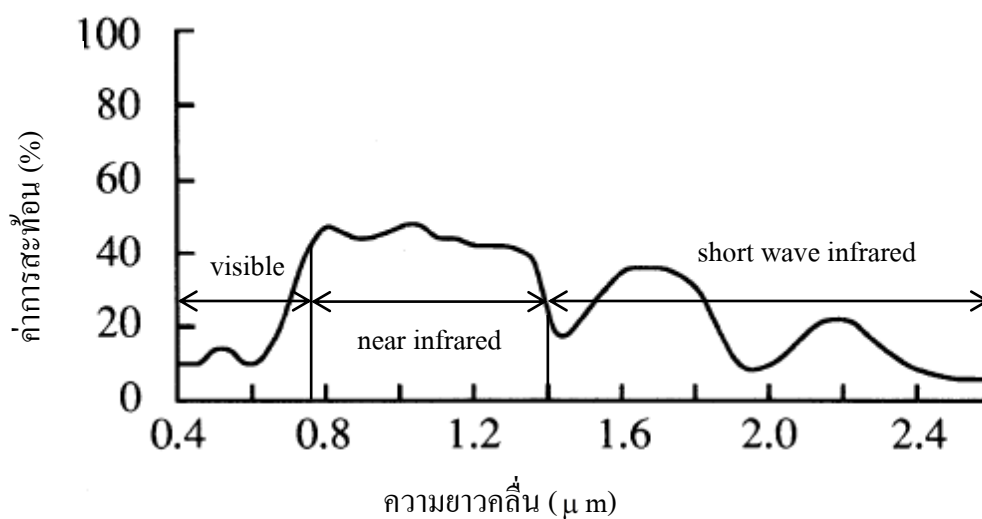
ค่าการสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) เป็นอัตราส่วนของพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุต่อพลังงานที่ตกกระทบ โดยค่าการสะท้อนอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่ง 0 หมายถึงไม่มีการสะท้อนหรือมีการดูดซับไว้ทั้งหมด และ 1 หมายถึงมีการสะท้อนมากที่สุดหรือไม่มีการดูดซับ ดังที่กล่าวแล้วว่าพลังงานที่วัดได้แตกต่างกันไปตามความยาวคลื่น เช่นเดียวกับค่าการสะท้อน รูปที่ 2.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การสะท้อนของพืชตามความยาวคลื่นต่างๆ จากรูปจะเห็นได้ว่าพืชสะท้อน



พลังงานได้ดีในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (near infrared) เราสามารถใช้ช่วงคลื่นนี้สำหรับการจำแนกเพื่อวัตถุที่เป็นพืชได้

ตารางที่ 2.2 สเปกตรัมของแสงสีต่างๆ (ตารางคัดแปลงจาก <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/explorescience/light/index.htm>, 4 มกราคม 2556)

แสงสี	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
ม่วง	390 – 450
น้ำเงิน	450 – 490
เขียว	490 – 580
เหลือง	580 – 600
ส้ม	600 – 620
แดง	620 – 770



รูปที่ 2.6 เปอร์เซนต์การสะท้อนของพืชโดยในช่วงคลื่น near infrared เป็นช่วงคลื่นที่เหมาะสมสำหรับจำแนกพืช (ภาพดัดแปลงจาก shunji murai, 1975)

ช่วงคลื่นอินฟราเรด คือช่วงคลื่นที่ใช้สำหรับการวัดอุณหภูมิของวัตถุ โดยเกิดจากวัตถุแผ่พลังงานรังสีความร้อน (thermal infrared energy) ภายใต้อุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature) วัตถุต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ ดิน อาคาร เมฆ น้ำฝน หิมะหรือแม้กระทั่งมนุษย์มีการแผ่รังสีความร้อนออกมาทั้งสิ้น ซึ่งรังสีที่แผ่ออกมานั้นคือ อินฟราเรด โดยที่สายตาของมนุษย์ไม่สามารถตรวจวัดสัญญาณช่วงคลื่นอินฟราเรดได้ (แต่รู้สึกได้)

ช่วงคลื่น ไมโครเวฟ คือช่วงคลื่นสำหรับสัญญาณเรดาร์และการสื่อสาร โดยในทางทหารมีชื่อเรียกเฉพาะสำหรับช่วงคลื่นไมโครเวฟบางชนิด เช่น K band, C band, KU band เป็นต้น เพื่อความสะดวกสำหรับการเรียกใช้ อุปกรณ์ตรวจวัดสำหรับสัญญาณไมโครเวฟมีอยู่สองชนิดคือ

1. อุปกรณ์แบบแอคทีฟ (Active element) อุปกรณ์ชนิดนี้อาศัยการสะท้อนกลับของคลื่นที่ถูกส่งออกไปจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องบินสำรวจหรือดาวเทียม (platform) เมื่อคลื่นตกกระทบกับวัตถุบนพื้นโลกหรือชั้นบรรยากาศ คลื่นส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับมายังอุปกรณ์ตรวจวัด อุปกรณ์ตรวจวัดก็สามารถวัดพลังงานนั้นได้

2. อุปกรณ์แบบพาสซีฟ (Passive element) อุปกรณ์ชนิดนี้มีลักษณะที่คล้ายกันกับอุปกรณ์แบบแอคทีฟ แต่แตกต่างกันที่อุปกรณ์แบบพาสซีฟไม่มีการส่งคลื่นออกไปจากอุปกรณ์ติดตั้ง อุปกรณ์ตรวจวัดอาศัยการแผ่พลังงานจากวัตถุสำหรับการวัดพลังงาน

ช่วงคลื่นที่เหมาะสมต่อการสังเกตและประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าคือช่วงคลื่นไมโครเวฟ เนื่องจากสามารถทะลุเมฆได้ และตรวจวัดได้ทุกสภาพอากาศโดยไม่มีผลต่อข้อจำกัดของเมฆ ฝน หิมะหรือเกล็ดน้ำแข็งในชั้นบรรยากาศ ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดในช่วงความถี่ Optical (visible หรือ infrared) ไม่สามารถมองเห็นทะลุเมฆได้ ทำให้ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของเมฆเท่านั้น ข้อมูลที่นำไปประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าจึงมีความถูกต้องแม่นยำลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาในเรื่องของการแยกแยะระหว่างเมฆที่มีฝนตกกับเมฆที่ไม่มีฝนตกซึ่งทำให้เกิด False Alarms

## 2.2 ดาวเทียม

ดาวเทียม (Satellite) หมายถึง วัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้นเลียนแบบดาวบริวารของดาวเคราะห์ เพื่อให้โคจรรอบโลกหรือรอบเทห์ฟากฟ้าอื่น มีอุปกรณ์สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอวกาศ และถ่ายทอดข้อมูลนั้นมายังโลก (ศูนย์สารสนเทศ ราชบัณฑิตยสถาน, 2542)

ดาวเทียมที่มนุษย์สร้างขึ้นมีอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน เช่น ดาวเทียมสื่อสาร ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ เป็นต้น สำหรับ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาเนื่องจากเกี่ยวข้องกับสภาพอากาศของโลก

ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาเป็นเครื่องมือที่ใช้งานทางอุตุนิยมวิทยา ลักษณะของภาพถ่ายดาวเทียมประเภทนี้สามารถมองเห็นสภาพอากาศ ทิศทาง และลำดับการเคลื่อนตัวของเมฆหรือพายุได้ นักอุตุนิยมวิทยาใช้ภาพถ่ายดาวเทียมดังกล่าวในการวิเคราะห์ลักษณะอากาศที่เกิดขึ้น รวมถึงใช้สำหรับการพยากรณ์อากาศล่วงหน้าได้ ดังนั้นภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาจึงเป็นเครื่องมือสำหรับสังเกตลักษณะอากาศต่างๆ เพื่อการเตือนภัยได้อย่างหนึ่งและสามารถใช้ได้กับทุกพื้นที่บนพื้นผิวโลก ลักษณะของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยามี 2 แบบ คือ

#### 1. ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบค้างฟ้า (Geo-stationary meteorological satellites)

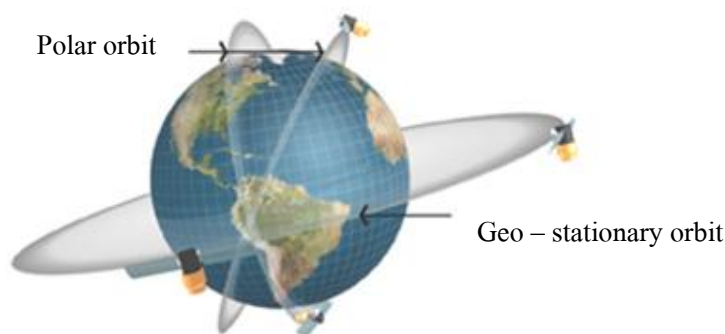
ดาวเทียมลักษณะนี้โคจรรอบโลกโดยใช้เวลา 24 ชั่วโมงต่อรอบหรือมีความเร็วเดียวกันกับโลก ทำให้ตำแหน่งการสังเกตบนพื้นผิวโลกมีขอบเขตเดียวเสมอ ดาวเทียมลักษณะนี้อยู่เหนือบริเวณเส้นศูนย์สูตร มีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 36,000 กิโลเมตร ทำให้ได้ภาพถ่ายปกคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ครอบคลุมทั้งทวีปและมหาสมุทร ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบค้างฟ้าสังเกตอยู่ในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ไปจนถึงช่วงคลื่นอินฟราเรด ซึ่งช่วงคลื่นดังกล่าวไม่สามารถทะลุเมฆได้ทำให้มีข้อเสียที่ไม่สามารถตรวจวัดหยาดน้ำฟ้าได้โดยตรง ดาวเทียมตรวจวัดเพียงอุณหภูมิส่วนบนของเมฆเท่านั้น ข้อมูลส่วนนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์รูปร่าง ลักษณะ ชนิดและความสูงของเมฆได้ ความสัมพันธ์ระหว่างระดับอุณหภูมิส่วนบนของเมฆกับหยาดน้ำฟ้ามีสองลักษณะคือ 1) ถ้าระดับอุณหภูมิสูงทำให้เกิดหยาดน้ำฟ้าน้อย และ 2) ถ้าระดับอุณหภูมิต่ำทำให้หยาดน้ำฟ้าก็จะเกิดมาก ดาวเทียมลักษณะนี้มีข้อดีที่ให้ความละเอียดเชิงพื้นที่และความละเอียดเชิงเวลาสูง สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศได้ โดยถ่ายภาพซ้ำแล้วนำมาเปรียบเทียบ จึงเป็นประโยชน์สำหรับการเตือนภัยน้ำท่วมได้

#### 2. ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบ โคจรใกล้ขั้วโลก (Near-polar orbiting satellites)

ดาวเทียมลักษณะนี้มีวงโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์โดยมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาในแนวเหนือ – ใต้ ความเร็วของการโคจรรอบโลกใช้เวลาประมาณ 102 นาทีต่อรอบ หรือโคจรทั่วโลกประมาณ 14 รอบต่อวัน ดาวเทียมมีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 850 กิโลเมตร ซึ่งมีความสูงต่ำกว่าดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบค้างฟ้ามาก ทำให้ภาพจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบโคจรใกล้ขั้วโลกมีความละเอียดสูง แต่ข้อเสียของดาวเทียมประเภทนี้คือ พื้นที่การสังเกตเป็นแถบบริเวณแคบๆ โดยแต่ละแถบมีความกว้าง (swath width) ประมาณ 2,700 กิโลเมตร ทำให้ได้ภาพถ่ายระดับภูมิภาคหรือประเทศเท่านั้น (แต่ได้ข้อมูลทั่วทุกพื้นที่ทั่วโลก) ดาวเทียมประเภทนี้สังเกตอยู่ในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งสามารถวัดปริมาณหยาดน้ำฟ้าได้โดยตรง

รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการโคจรของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาทั้งสองแบบโดยดาวเทียมแบบค้างฟ้าอยู่ในแนวขนานกับเส้นศูนย์สูตร และดาวเทียมแบบวงโคจรใกล้ขั้วโลกโคจรอยู่ในแนวเหนือ – ใต้

ปัจจุบันยังไม่มีอุปกรณ์รับรู้ในช่วงคลื่นไมโครเวฟบนดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบค้างฟ้า เนื่องจากมีขีดจำกัดทางด้านความถี่และระยะทางจากโลกถึงดาวเทียมทำให้ตัวส่งสัญญาณ (antenna) ในช่วงคลื่นไมโครเวฟบนดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบค้างฟ้ามีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก และมีค่าใช้จ่ายการลงทุนสูง (Janowiak et al. 2001) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาอุปกรณ์รับรู้ดังกล่าวที่สามารถใช้งานได้โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวส่งสัญญาณเพียง 1.5 – 2 เมตรเท่านั้น (Staelin and Surussavadee, 2007) แต่การศึกษาดังกล่าวยังต้องมีการศึกษาอีกหลายปีจึงจะสามารถนำไปใช้งานได้



รูปที่ 2.7 ลักษณะการโคจรของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา

(ภาพดัดแปลงจาก <http://oceanworld.tamu.edu/students/satellites/satellite1.htm>, 10 กรกฎาคม 2555)

### 2.2.1 ดาวเทียม MTSAT

ดาวเทียม MTSAT เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบค้างฟ้าของประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันเป็นดาวเทียม MTSAT – 2 (รูปที่ 2.8 แสดงแบบจำลองของดาวเทียม MTSAT – 2) ต่อจากดาวเทียม MTSAT – 1R ที่ถูกปลดระวางไปแล้ว โดยดาวเทียม MTSAT – 2 ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 (เริ่มปฏิบัติการกิจในวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2553 ถึงปัจจุบัน) ดาวเทียม MTSAT – 2 โคจรอยู่ที่ระดับความสูง 35,800 กิโลเมตร เหนือจุดตัดระหว่างเส้นศูนย์สูตรและลองจิจูดที่ 145 องศาตะวันออก มีพื้นที่การสังเกตอยู่ในขอบเขตละติจูดที่ 60°S – 60°N และ

ลองจิจูดที่ 85°E – 155°W ดังรูปที่ 2.9 ครอบคลุมภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ไปจนถึงทวีปออสเตรเลีย และมหาสมุทรแปซิฟิก

ดาวเทียม MTSAT ใช้ประโยชน์ทางด้านอุตุนิยมวิทยาและการควบคุมการบินโดยทางด้านอุตุนิยมวิทยานั้นสามารถสังเกตการกระจายตัวของกลุ่มเมฆรวมถึงสภาพไอน้ำในชั้นบรรยากาศโลกทั้งกลางวันและกลางคืนได้ สามารถตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิวดิน พื้นผิวน้ำทะเล และอุณหภูมิส่วนบนของเมฆ นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าวยังสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ระดับความสูง การกระจายตัว และชนิดของเมฆ รวมไปถึงการกระจายของหมอกหรือลมในชั้นบรรยากาศโลกได้ และที่พิเศษคือดาวเทียม MTSAT สามารถตรวจวัดหาพื้นที่ที่ทะเลน้ำแข็งและภูเขาไฟระเบิดได้ด้วย (Meteorological Satellite Center (MSC) of JMA)

อุปกรณ์ตรวจวัดสำหรับดาวเทียม MTSAT – 1R และ ดาวเทียม MTSAT – 2 คือ Japanese Advanced Meteorological Imager (JAMI) และ Imager ตามลำดับ แม้มีชื่อเรียกของอุปกรณ์ตรวจวัดที่แตกต่างกัน แต่จำนวนช่องสัญญาณ ขนาดความยาวคลื่น ความละเอียดเชิงพื้นที่ และความละเอียดเชิงเวลาเหมือนกัน อุปกรณ์ตรวจวัดของดาวเทียม MTSAT ประกอบด้วย 5 ช่องสัญญาณ โดยมี 4 ช่องสำหรับช่วงคลื่นอินฟราเรด (IR) และ 1 ช่องสำหรับช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (VIS) ดังตารางที่ 2.3

#### 2.2.2 ดาวเทียม NOAA – 18

ดาวเทียม NOAA – 18 เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบวงโคจรใกล้ขั้วโลกของสหรัฐอเมริกา (รูปที่ 2.10 แสดงแบบจำลองของดาวเทียม NOAA – 18) ดาวเทียม NOAA – 18 ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2548 (เริ่มปฏิบัติการเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2548 ถึงปัจจุบัน) ดาวเทียม NOAA – 18 โคจรอยู่ที่ระดับความสูง 854 กิโลเมตร โดยโคจรอยู่แนวเหนือ – ใต้ ใช้เวลา 102.12 นาทีต่อรอบ ดังรูปที่ 2.11 แสดง 1 รอบการโคจร หรือมีจำนวน 14 รอบที่โคจรครบทั่วโลกดังรูปที่ 2.12

อุปกรณ์ตรวจวัดบนดาวเทียม NOAA – 18 มีอยู่หลายชนิด แต่อุปกรณ์ตรวจวัดที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าคือ Advanced Microwave Sounding Units (AMSU) ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดชนิดนี้อาศัยคลื่นสัญญาณไมโครเวฟ ใช้วัดระดับอุณหภูมิและความชื้นในชั้นบรรยากาศทั่วโลก AMSU ประกอบด้วย 2 หน่วยคือ AMSU – A และ AMSU – B (Microwave Humidity Sounder, MHS) ซึ่งสังเกตอยู่ในช่วงความถี่ดังตารางที่ 2.4 โดยที่ AMSU – A ประกอบด้วย 15 ช่องสัญญาณ ความถี่แต่ละช่องสัญญาณอยู่ใกล้กับความถี่ศูนย์กลางของการดูดซับออกซิเจน มีความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 50 กิโลเมตร ส่วน AMSU – B ประกอบด้วย 5 ช่องสัญญาณที่แถบ

ความกว้างความถี่ใกล้กับการดูดซับของไอน้ำ มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 15 กิโลเมตร ทั้งอุปกรณ์ตรวจวัด AMSU – A และ AMSU – B มีแถบความกว้างของการสังเกต (swath width) ประมาณ 2,200 กิโลเมตร

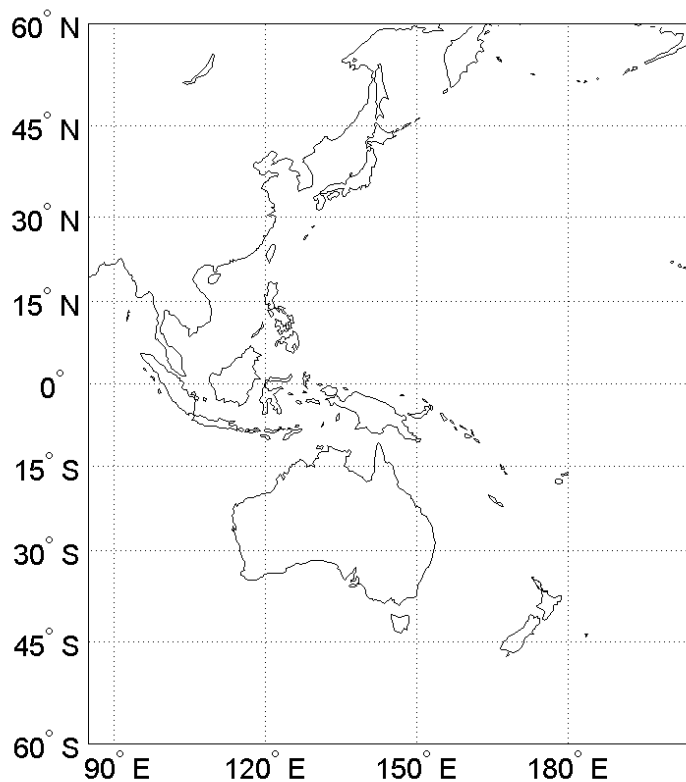
**ตารางที่ 2.3** ข้อมูลจำเพาะอุปกรณ์ตรวจวัดบนดาวเทียม MTSAT (ตารางดัดแปลงจาก Japan Meteorological Agency, 2005)

Channel	ความยาวคลื่น ( $\mu\text{m}$ )	ความละเอียดเชิงพื้นที่ (km)
IR1	10.30 – 11.30	4
IR2	11.50 – 12.50	4
IR3	6.50 – 7.00	4
IR4	3.50 – 4.00	4
Visible	0.55 – 0.90	1



**รูปที่ 2.8** แบบจำลองดาวเทียม MTSAT – 2

(ภาพจาก <http://mscweb.kishou.go.jp/general/system/gms/index.htm>, 15 มกราคม 2556)



รูปที่ 2.9 พื้นที่การสังเกตของดาวเทียม MTSAT -2 ครอบคลุมขอบเขตละติจูด 60°S – 60°N และลองจิจูด 85°E – 155°W โดยดาวเทียม MTSAT - 2 อยู่เหนือจุดตัดระหว่างเส้นศูนย์สูตรและลองจิจูดที่ 145 องศาตะวันออก

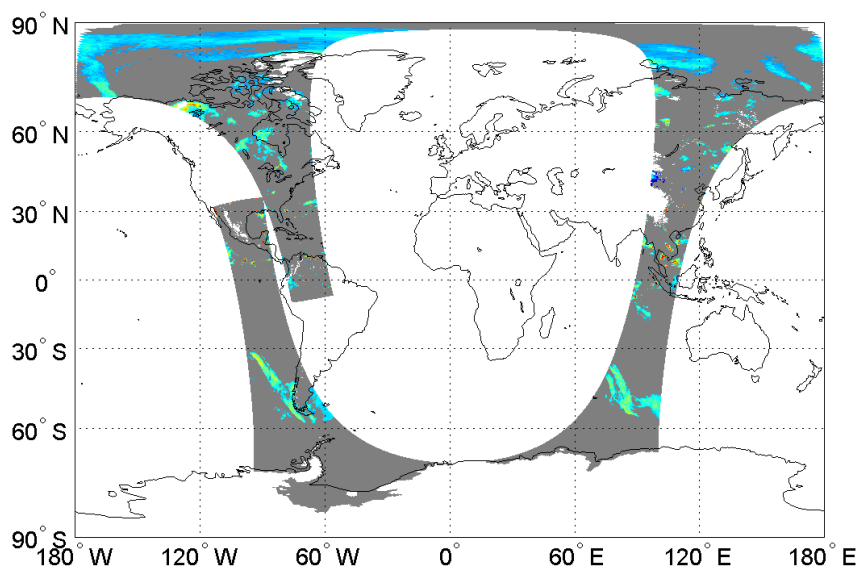


รูปที่ 2.10 แบบจำลองดาวเทียม NOAA – 18

(ภาพจาก [http://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/noaa-n.htm](http://space.skyrocket.de/doc_sdat/noaa-n.htm), 4 มกราคม 2556)

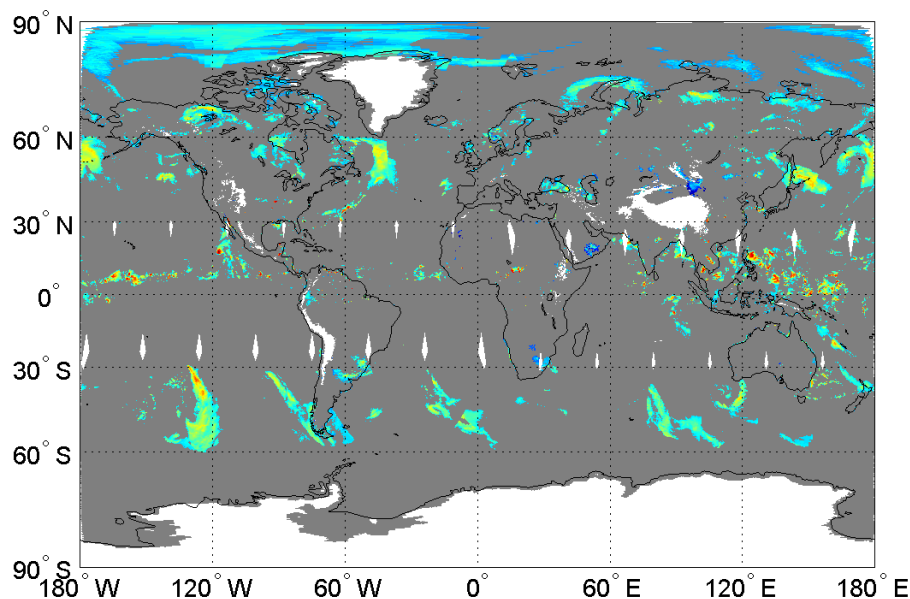
ตารางที่ 2.4 ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ตรวจวัด AMSU A/B บนดาวเทียม NOAA – 18 (ตาราง  
ดัดแปลงจาก Surussavadee and Staelin, 2008a)

Channel	ความถี่ (MHz)	ความละเอียด เชิงพื้นที่ (km)	Channel	ความถี่ (MHz)	ความละเอียด เชิงพื้นที่ (km)
A1	$23,800 \pm 72.5$	50	A11	$f_0 \pm 322.2 \pm 48$	50
A2	$31,400 \pm 50$	50	A12	$f_0 \pm 322.2 \pm 22$	50
A3	$50,300 \pm 50$	50	A13	$f_0 \pm 322.2 \pm 10$	50
A4	$52,800 \pm 105$	50	A14	$f_0 \pm 322.2 \pm 4.5$	50
A5	$53,592 \pm 115$	50	A15	$89 \pm 1$ GHz	50
A6	$54,400 \pm 105$	50	B1	$89 \pm 0.9$ GHz	15
A7	$54,940 \pm 105$	50	B2	$150 \pm 0.9$ GHz	15
A8	$55,500 \pm 87.5$	50	B3	$183.3 \pm 1$ GHz	15
A9	$f_0 \pm 87.5$	50	B4	$183.3 \pm 3$ GHz	15
A10	$(f_0 = 57,290.34)$ $f_0 \pm 217$	50	B5	$183.3 \pm 7$ GHz	15



รูปที่ 2.11 แถบวงโคจรของดาวเทียม NOAA – 18 สำหรับ 1 แถบโคจรสำหรับวันที่ 15 กรกฎาคม  
2552 เวลา 18.12 – 20.07 UTC





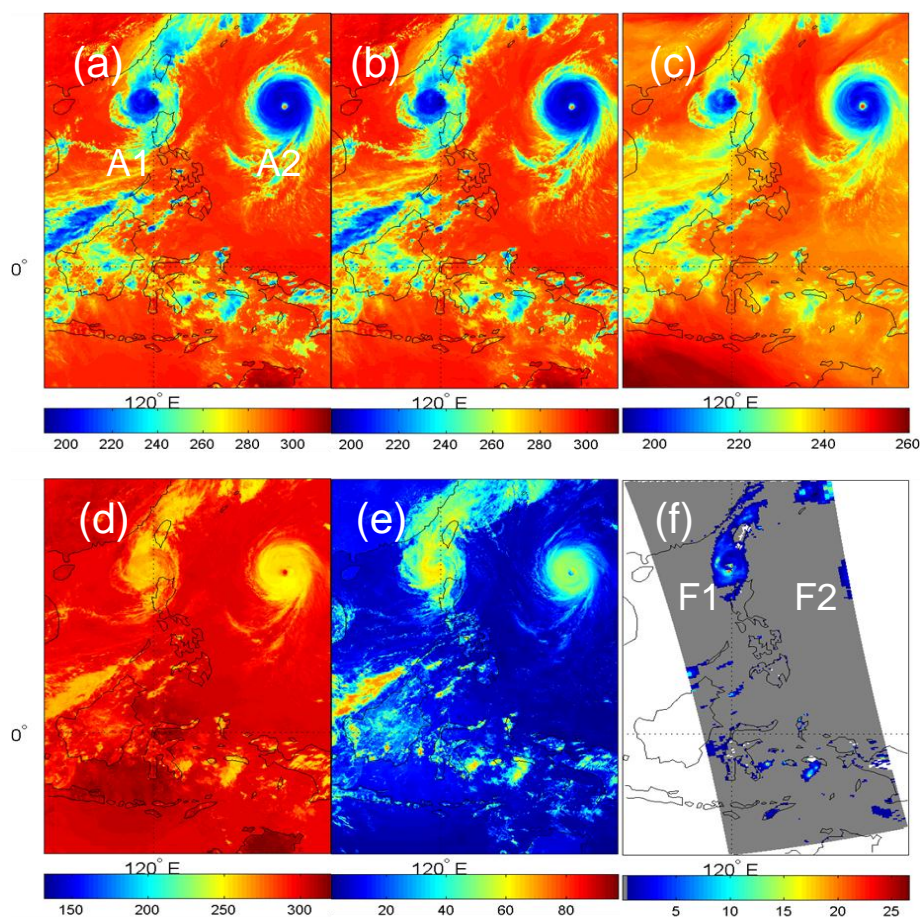
รูปที่ 2.12 แถบวงโคจรดาวเทียม NOAA – 18 ทั่วโลกสำหรับวันที่ 15 กรกฎาคม 2552

### 2.2.3 ความแตกต่างระหว่างภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT กับภาพถ่ายดาวเทียม NOAA – 18

รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมของพายุเมอโลร์ (Melor) เป็นพายุที่เกิดขึ้นในระหว่างวันที่ 29 กันยายน – 9 ตุลาคม พ.ศ. 2552 (wunderground.com) บริเวณทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศฟิลิปปินส์โดยภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT – 1R ถ่ายภาพเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2552 เวลา 05.30 น. UTC และอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP จากดาวเทียม NOAA – 18 ในช่วงเวลาใกล้เคียงกันกับดาวเทียม MTSAT – 1R โดยที่ภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT – 1R สำหรับช่องที่ 1 – 4 แสดงเป็นอุณหภูมิความสว่างในหน่วยเคลวิน (K) (รูปที่ 2.13a – d) ส่วนช่องสัญญาณในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้แสดงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนในหน่วยร้อยละ (%) (รูปที่ 2.13e) และรูปที่ 2.13f เป็นอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP ในหน่วยมิลลิเมตรต่อชั่วโมง (mm/h)

พิจารณารูปที่ 2.13a เทียบกับรูปที่ 2.13f จะเห็นว่าภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT – 1R สังเกตเห็นรูปร่างของพายุชัดเจนสองจุด (A1 และ A2) โดยขนาดพายุที่จุด A1 เล็กกว่าพายุตรงจุด A2 เมื่อเทียบกับการสังเกตของดาวเทียม NOAA – 18 จะเห็นว่ารูปร่างของพายุจุด A1 กับ จุด F1 มีลักษณะคล้ายกัน แต่สำหรับจุด A2 กับจุด F2 มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด โดยจุดของพายุที่มีขนาดใหญ่กว่า ดาวเทียม NOAA – 18 ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ดังนั้นตรงจุดนี้เองจึงเป็นข้อเสียอย่างหนึ่งของดาวเทียมใกล้ขั้วโลก เมื่อดาวเทียมใกล้ขั้วโลก โคจรมาอยู่ตรงจุดเดิมอีกครั้งพายุที่เกิดขึ้นอาจอ่อนกำลังลงแล้วทำให้ไม่สามารถตรวจวัดหยาดน้ำฟ้าในช่วงเวลาที่สำคัญได้ นอกจากนี้

ดาวเทียมใกล้ขั้วโลกมีลักษณะการสังเกตแบบกวาดผ่าน จึงไม่สามารถเห็นทิศทางการเปลี่ยนแปลงของพายุหรือสภาพอากาศได้ อย่างไรก็ตามเมื่อดาวเทียมประเภทนี้มีการเก็บข้อมูล ข้อมูลได้นั้นเป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถนำไปใช้งานได้ทันที ซึ่งแตกต่างจากดาวเทียมค้างฟ้า ถึงแม้จะมีการสังเกตอยู่ตลอดเวลาแต่ดาวเทียมก็ไม่สามารถตรวจวัดหยาดน้ำฟ้าได้



**รูปที่ 2.13** ข้อมูลจากดาวเทียม MTSAT – 1R และดาวเทียม NOAA – 18 สำหรับพายุเมอโลร์ (Melor) บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศฟิลิปปินส์ ในวันที่ 5 ตุลาคม 2552 โดย a – d) คือ อุณหภูมิความสว่าง (K) สำหรับสัญญาณอินฟราเรดช่องที่ 1 – 4 ตามลำดับ e) คือเปอร์เซ็นต์ค่าการสะท้อน (%) สำหรับสัญญาณช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ และ f) คืออัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (mm/h) ในวันและเวลาเดียวกันกับดาวเทียม MTSAT – 1R

## 2.3 ค่าทางสถิติ

ค่าทางสถิติเป็นค่าที่ใช้สำหรับการตรวจสอบความถูกต้อง ความแม่นยำหรือความผิดพลาดของผลการดำเนินงานโดยใช้สำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ตลอดจนสามารถเป็นเครื่องมือหนึ่งในการพยากรณ์ได้

### 2.3.1 ค่าเฉลี่ย (mean)

ค่าเฉลี่ย ( $\mu$ ) คือ การหาค่าศูนย์กลางของข้อมูล ซึ่งเป็นผลรวมของข้อมูลทั้งหมดหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด ค่าเฉลี่ยหาได้ดังสมการที่ 2.2

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (2.2)$$

โดยที่	$\mu$	คือ ค่าเฉลี่ย
	$X_i$	คือ ข้อมูลตัวที่ $i$ โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, N$
	$N$	คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

### 2.3.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard division)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) คือ การหาค่าการกระจายของข้อมูลเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยถ้าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยแสดงถึงข้อมูลมีความใกล้เคียงกัน กล่าวคือมีการกระจายของข้อมูลอยู่ในช่วงแคบๆ ซึ่งข้อมูลที่มีลักษณะนี้เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน แต่หากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามาก แสดงถึงการกระจายของข้อมูลอยู่ในช่วงกว้างไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหาได้ดังสมการที่ 2.3

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}} \quad (2.3)$$

โดยที่	$\sigma$	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
--------	----------	--------------------------

### 2.3.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) คือ ค่าที่ใช้วัดทิศทางและระดับความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลสองชุด (เช่น  $X$  และ  $Y$ ) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง  $-1$  ถึง  $1$  เครื่องหมายลบ ( $-$ ) และเครื่องหมาย ( $+$ ) ใช้บอกทิศทางของความสัมพันธ์ โดยเครื่องหมายลบ หมายถึงความสัมพันธ์อยู่ในทิศทางตรงกันข้าม คือเมื่อค่าของ  $X$  มากขึ้น ค่าของ  $Y$  จะลดลง ส่วนเครื่องหมายบวก หมายถึงความสัมพันธ์อยู่ในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อค่าของ  $X$  มากขึ้น ค่าของ  $Y$  มากขึ้นด้วย นอกจากนี้หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีขนาดเท่ากับ  $1$  หมายถึงมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น แต่หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเป็น  $0$  แสดงว่าข้อมูลสองชุดไม่มีความสัมพันธ์กัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หาได้ดังสมการ 2.4

$$r = \frac{\frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N [(X_i - \mu_X) \cdot (Y_i - \mu_Y)] \right)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (2.4)$$

โดยที่ $r$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
$\mu_X$	คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล $X$
$\mu_Y$	คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล $Y$
$\sigma_X$	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูล $X$
$\sigma_Y$	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูล $Y$

### 2.3.4 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสอง (Root Mean Square Error)

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) เป็นค่าที่ใช้วัดความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงที่ได้จากการวัด (Truth) กับข้อมูลที่ได้จากการประมาณ (Estimate) ถ้าค่า RMSE มีค่าน้อยแสดงถึงข้อมูลที่ได้จากการประมาณมีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริง แต่หากมีค่ามากแสดงถึงตัวประมาณค่าไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน ค่า RMSE หาได้ดังสมการ 2.5

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\text{Truth}_i - \text{Estimate}_i)^2}{N}} \quad (2.5)$$

โดยที่	RMSE	คือ ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสอง
	Truth	คือ ข้อมูลจริงที่ได้จากการวัด
	Estimate	คือ ข้อมูลที่ได้จากการประมาณ

## 2.4 เครือข่ายประสาทเทียม

เครือข่ายประสาทเทียม (neural network) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการประมาณค่า การจำแนกประเภทข้อมูล การรู้จำภาพ เป็นต้น ซึ่งแบบจำลองนี้มีโครงสร้างภายในที่มีความซับซ้อนคล้ายกับโครงสร้างสมองของมนุษย์ รูปที่ 2.14 แสดงการทำงานของเครือข่ายประสาทเทียม การทำงานของเครือข่ายประสาทเทียมเริ่มจากการป้อนข้อมูลด้านเข้า (input) ไปยังโครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียม ผลลัพธ์ได้เป็นข้อมูลด้านออก (output) ต่อจากนั้นนำข้อมูลด้านออกไปเปรียบเทียบกับข้อมูลเป้าหมาย (target) หากข้อมูลด้านออกที่ได้ยังไม่ตรงกับข้อมูลเป้าหมายก็จะมี การเพิ่มค่าน้ำหนักและค่า bias กระบวนการนี้มีการทำซ้ำจนกว่าค่าข้อมูลด้านออกใกล้เคียงกับข้อมูลเป้าหมาย (หรือตามเกณฑ์อื่นๆ ที่ผู้ใช้กำหนด เช่น ค่าความผิดพลาด จำนวนรอบของการทำซ้ำ เป็นต้น) ซึ่งสุดท้ายสามารถนำเครือข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นไปใช้งานต่อไปได้

รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multiple – layer perceptron) ในที่นี้ประกอบด้วย 1) input layer มี  $n$  โหนด 2) hidden layer มี 2 เลเยอร์ โดยเลเยอร์ที่ 1 มี  $m$  โหนด เลเยอร์ที่ 2 มี  $k$  โหนด และ 3) output layer มี 1 โหนด โดยที่  $X_n$  คือข้อมูลนำเข้าตัวที่  $n$  และ  $n$  คือจำนวนข้อมูลนำเข้าทั้งหมด,  $m$  คือจำนวนโหนดสำหรับเลเยอร์ที่ 1 ของ hidden layer,  $w_{nm}$  คือค่าน้ำหนักของข้อมูลด้านเข้าตัวที่  $n$  กับโหนดที่  $m$ ,  $b_m^1$  คือค่า bias สำหรับโหนดที่  $m$  ของเลเยอร์ที่ 1,  $k$  คือจำนวนโหนดสำหรับเลเยอร์ที่ 2 ของ hidden layer,  $f$  คือฟังก์ชันการถ่ายโอน (transfer function) สำหรับเลเยอร์ที่ 1,  $LW_{k,m}^{2,1}$  คือ ค่าน้ำหนักจากโหนดที่  $m$  ของเลเยอร์ที่ 1 ไปยังโหนด  $k$  ของเลเยอร์ที่ 2,  $b_k^2$  คือ ค่า bias สำหรับโหนดที่  $m$  ของเลเยอร์ที่ 2,  $g$  คือฟังก์ชันการถ่ายโอนสำหรับเลเยอร์ที่ 2,  $LW_{k,1}^{3,2}$  คือ ค่าน้ำหนักจากโหนดที่  $k$  ของเลเยอร์ที่ 2 ไปยังโหนดที่ 1 ของเลเยอร์ที่ 3 (output layer),  $b_1^3$  คือ ค่า bias สำหรับเลเยอร์ที่ 3 (output layer),  $h$  คือฟังก์ชันการถ่ายโอนสำหรับเลเยอร์ที่ 3 (output layer) และ  $y$  คือ ข้อมูลนำออก ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.6

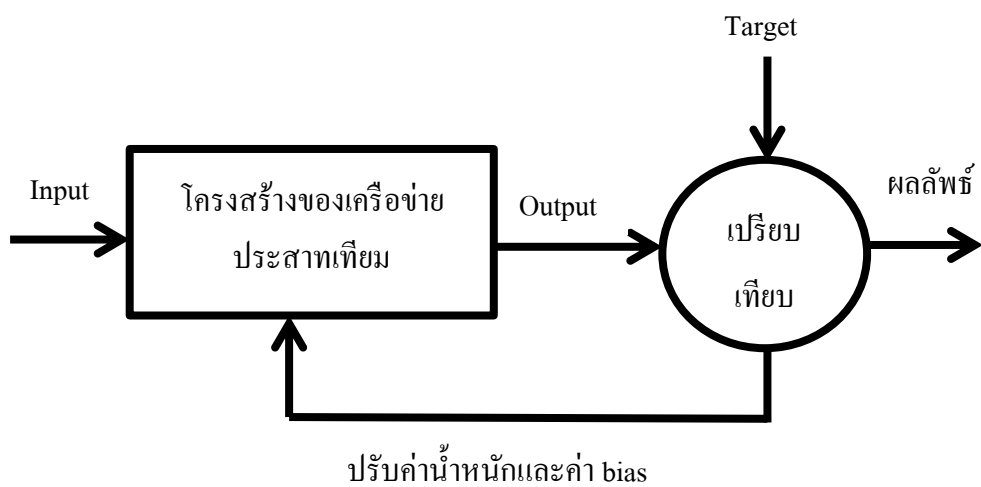
$$y = h \left( \sum_{l=1}^k LW_{l,1}^{3,2} \cdot g \left( \sum_{j=1}^m LW_{j,1}^{2,1} \cdot f \left( \sum_{i=1}^n w_{i,j} x_i + b_j^1 \right) + b_k^2 \right) + b_1^3 \right) \quad (2.6)$$

โดยที่	x	คือ ข้อมูลนำเข้า
	y	คือ ข้อมูลนำออก
	w	คือ ค่าน้ำหนัก
	b	คือ ค่าเอนเอียง (bias)
	LW	คือ ค่าน้ำหนักสำหรับ hidden layer
	f(), g(), h()	คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอน

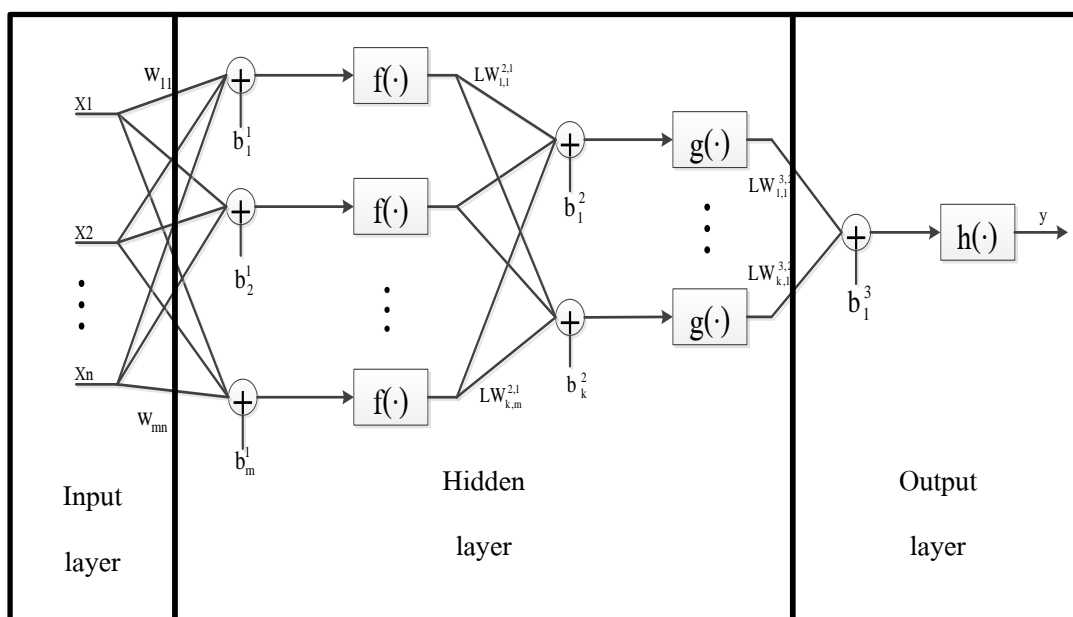
#### 2.4.1 ฟังก์ชันการถ่ายโอน

ฟังก์ชันการถ่ายโอนเป็นสมการคณิตศาสตร์ใช้สำหรับการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้ากับข้อมูลนำออก โดยฟังก์ชันการถ่ายโอนสำหรับเครือข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้กันมี 3 ชนิด (ดังตารางที่ 2.5) คือ 1) Log-sigmoid transfer function (Logsig) ฟังก์ชันการถ่ายโอนนี้สามารถใส่ค่าได้ตั้งแต่ลบถึงบวกของค่าอนันต์ (n) ซึ่งให้ค่าผลลัพธ์ (a) ตั้งแต่ 0 ถึง 1 2) Hyperbolic tangent transfer function (Tansig) ฟังก์ชันการถ่ายโอนชนิดนี้นิยมใช้ข้อมูลที่ซับซ้อนมาก และขยายขอบเขตจาก Logsig เป็น -1 ถึง 1 ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความละเอียดเพิ่มมากขึ้น ฟังก์ชันนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ไบโพลาร์ซิกมอยด์ (bipolar sigmoid) และ 3) Pure linear transfer function (Purelin) ฟังก์ชันการถ่ายโอนชนิดนี้เป็นแบบเชิงเส้นซึ่งข้อมูลนำเข้าเท่ากับข้อมูลนำออก โดยทั่วไปแล้วฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบเชิงเส้นนิยมใช้สำหรับ output layer ของเครือข่ายประสาทเทียม

วิทยานิพนธ์นี้ใช้เครือข่ายประสาทเทียมเป็นตัวประมาณค่าที่ฝึกและตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ค่าประมาณหยาดน้ำฟ้าจากข้อมูลผลิตภัณฑ์ AMP เป็น Ground Truth เนื่องจากเครือข่ายประสาทเทียมเป็นระบบแบบไม่เป็นเชิงเส้น และจากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าและอุณหภูมิความสว่างพบว่ามีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) ด้วย ดังนั้นเครือข่ายประสาทเทียมจึงเหมาะสมสำหรับข้อมูลประเภทนี้



รูปที่ 2.14 การทำงานของเครือข่ายประสาทเทียม (ภาพคัดแปลงจาก Beale et al. 2010)



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมหลายชั้น (Multiple – layer perceptron) ซึ่งประกอบด้วย input layer มี  $n$  โหนด, 2 hidden layer โดยที่เลเยอร์ที่ 1 มี  $m$  โหนด เลเยอร์ที่ 2 มี  $k$  โหนด และ output layer มี 1 โหนด

ตารางที่ 2.5 ฟังก์ชันการถ่ายโอนสำหรับเครือข่ายประสาทเทียม

ชนิด	สมการ	กราฟ
Log-sigmoid transfer function (Logsig)	$a(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}}$	
Hyperbolic tangent transfer function (Tansig)	$a(n) = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$	
Pure linear transfer function (Purelin)	$a(n) = n$	

## 2.5 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Staelin and Surussavadee (2007) ได้เคยศึกษาวิจัยเพื่อหาคุณสมบัติและคุณลักษณะของอุปกรณ์รับรู้ช่วงคลื่นไมโครเวฟที่เหมาะสมกับการใช้บนดาวเทียมค้างฟ้า การศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การใช้ช่วงคลื่นไมโครเวฟที่ติดตั้งบนดาวเทียมค้างฟ้าสามารถวัดปริมาณหยาดน้ำฟ้าหรือความชื้นในชั้นบรรยากาศพร้อมทั้งสามารถเห็นการแปลงของพายุได้ ซึ่งหากมีการศึกษาสำเร็จจะทำให้การพยากรณ์อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้ามีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

ผลงานวิจัยหลายผลงานได้พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับประมวลค่าฝนและหิมะสำหรับดาวเทียมค้างฟ้าช่วงคลื่น Optical แต่ปัญหาหลักที่พบคือ False Alarms เช่น การพัฒนา Precipitation Index (GPI) สำหรับดาวเทียมค้างฟ้า Geostationary Operational Environmental



Satellite (GOES) (Arkin, 1979; R. TARRUELLA and JORGE, 2003) ซึ่งเป็นดาวเทียมของประเทศสหรัฐอเมริกา เทคนิคดังกล่าวใช้หลักการที่ว่า เมฆที่เย็นทำให้เกิดฝนหรือหิมะ การประมาณค่าฝนนั้นใช้การกำหนด Threshold สำหรับช่องสัญญาณอินฟราเรด โดยการกำหนดให้ที่อุณหภูมิความสว่างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 235 K จะเกิดฝนตกในอัตรา 3 mm/h นอกจากนี้เป็น 0 mm/h ปัญหาที่เกิดขึ้นคือเกิด False Alarms กับเมฆแบบ Cirrus Clouds ซึ่งมีความเย็นแต่ไม่ทำให้เกิดฝนหรือหิมะ สำหรับ False Alarms ที่เกิดขึ้นมีการนำเสนอถึงวิธีการลด False Alarms โดยใช้หลักความสัมพันธ์ระหว่างความเย็นและความสว่างของเมฆกับความน่าจะเป็นของฝน (Bellon et al. 1980; Lovejoy and Austin, 1979) ความน่าจะเป็นของฝนมีค่าต่ำสำหรับเมฆที่เย็นและมี (Cirrus) กับเมฆที่ร้อนและสว่าง (Status) อัลกอริทึมดังกล่าวใช้ทั้งช่วงคลื่น Visible และ Infrared โดยฝึกการใช้ข้อมูลที่สังเกตจากเรดาร์ ผลของอัลกอริทึมดังกล่าวพบว่า False Alarms มีค่าลดลง

Kidd et al. (2003) ได้ทำการศึกษาการประมาณค่าน้ำฝนในทวีปแอฟริกาโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด GOES ช่องสัญญาณ 10.7  $\mu\text{m}$  และตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ข้อมูลฝนจากดาวเทียม Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) ซึ่งเป็นดาวเทียมแบบพาสซีฟไมโครเวฟ (passive microwave, PM) นอกจากนี้ยังใช้ข้อมูลจากมาตรวัดฝนจำนวนประมาณ 169 ตัว ครอบคลุมทั่วทั้งทวีปแอฟริกา มาเปรียบเทียบกับ งานวิจัยนี้กำหนดค่าเริ่มต้นของข้อมูลอุณหภูมิความสว่างของดาวเทียม GOES อยู่ในช่วง 75 – 329 K ข้อมูลฝนอยู่ในช่วง 0.0 – 51.1 mm/h สำหรับประมาณค่าน้ำฝนของงานวิจัยนี้อาศัยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลอุณหภูมิจากดาวเทียม GOES และข้อมูลฝนจากดาวเทียม DMSP งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การประมาณค่าปริมาณน้ำฝนโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิจากดาวเทียมอินฟราเรดร่วมกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากดาวเทียมแบบพาสซีฟไมโครเวฟให้ผลที่ดีกว่าการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว งานวิจัยชิ้นนี้เป็นเพียงจุดเริ่มต้นของการศึกษาการประมาณค่าน้ำฝนจากข้อมูลดาวเทียม ถึงแม้ว่าอัลกอริทึมจะไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุด แต่ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติทำให้ทราบถึงความละเอียดเชิงพื้นที่และความละเอียดเชิงเวลามีส่วนสำคัญที่ทำให้ค่าความผิดพลาดนั้นน้อยลง งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะให้ใช้จำนวนช่องสัญญาณดาวเทียมที่สูงขึ้นเพื่อให้การประมาณค่าน้ำฝนมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

KOU – LIN HSU et al. (1997) ได้พัฒนาระบบ Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN) ภายใต้การสนับสนุนโดยมหาวิทยาลัยอริโซนา (University of Arizona) แกนหลักของระบบ PERSIANN คือการใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบ adaptive ที่สามารถประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรดและข้อมูลภาคพื้นดินได้ ข้อมูลนำเข้าสำหรับระบบ PERSIANN คือ

ภาพถ่ายดาวเทียมทั้งชนิดอินฟราเรดและไมโครเวฟ ข้อมูลจากมาตรวัดฝน ข้อมูลเรดาร์ และข้อมูล  
 ชั้นความสูงของพื้นดิน ผลลัพธ์ของระบบ PERSIANN คือข้อมูลหยาดน้ำฟ้าสำหรับดาวเทียมค้าง  
 ฟ้าอินฟราเรดที่มีความละเอียด  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  ทุกๆ 30 นาที ซึ่งครอบคลุมพื้นที่  $50^\circ\text{S}$ – $50^\circ\text{N}$  ทั่วโลก

Soroosh Sorooshian et al. (2000) ได้มีการพัฒนาระบบ PERSIANN – GOES-IR–  
 TRMM (PERSIANN – GT) สำหรับการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าในขอบเขตพื้นที่  $30^\circ\text{S}$ – $30^\circ\text{N}$ ,  
 $90^\circ\text{E}$ – $30^\circ\text{W}$  ผลการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าพบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดีกับข้อมูลฝนจาก  
 มาตรวัดฝน แต่ผลิตภัณฑ์ PERSIANN – GT ให้ค่าการประมาณค่าที่สูงบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก  
 ตะวันตก (western Pacific Ocean) นอกจากนี้ YANG HONG et al. (2007) ก็ได้นำระบบ  
 PERSIANN – Cloud Classification System (PERSIANN – CCS) มาประยุกต์ใช้งานสำหรับการ  
 จำแนกประเภทของเมฆเพื่อประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าร่วมกับข้อมูลฝนจากภาคพื้นดิน ผลการวิจัย  
 พบว่ามีการประมาณค่าที่ต่ำเกินไปสำหรับหยาดน้ำฟ้าที่อยู่สูง และมีการประมาณค่าที่สูงเกินไปสำหรับ  
 หยาดน้ำฟ้าที่อยู่ต่ำ

G. DELGADO et al. (2008) ได้ทำการศึกษาประมาณค่าปริมาณน้ำฝนในพื้นที่  
 ทวีปอเมริกาใต้อาศัยข้อมูลอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด GOES ร่วมกับข้อมูล  
 หยาดน้ำฟ้าจากดาวเทียม Tropical Rainfall Measuring Mission satellite (TRMM) การศึกษา  
 ดังกล่าวใช้สมการถดถอยแบบพหุคูณ (multiple linear regression) เริ่มต้นโดยการแบ่งช่วงของ  
 อุณหภูมิความสว่างเพื่อแยกประเภทของเมฆที่มีฝนกับไม่มีฝน กำหนดค่าเริ่มต้นเป็น 250 K ถ้า  
 อุณหภูมิความสว่างสูงกว่าค่านี้จะไม่เกิดฝน ส่วนอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 250 K มีการแบ่งเป็น 5 ระดับคือ  
 250, 240, 230, 220, และ 210 K เพื่อตรวจวัดชนิดของเมฆที่เกิดฝน เช่น ถ้าตรวจเจอ Pixel ที่เป็น  
 Convective จะบ่งบอกได้ว่าเกิดฝน, ถ้าตรวจเจอ Pixel ที่เป็น Cirrus จะบ่งบอกว่าไม่เกิดฝน, ถ้า  
 ตรวจเจอ Pixel ที่เป็น Cold stratiform จะบ่งบอกว่าเกิดฝน, ถ้าตรวจเจอ Pixel ที่เป็น Cumulus จะบ่ง  
 บอกว่าเกิดฝน เป็นต้น การศึกษานี้มีการเปรียบเทียบผลการศึกษาของ Gilberto A. Vicente (1998)  
 โดยใช้เทคนิค Hydroestimator technique (HE) วิธีการแบบ non – linear power law เพื่อหา  
 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่วนบนของเมฆกับข้อมูลฝนเรดาร์ แต่ HE ไม่ได้พิจารณาถึงชนิด  
 ของเมฆ เพียงแต่ศึกษาในเมฆชนิด Convective เท่านั้น โดยอาศัยข้อมูลจากดาวเทียม GOES,  
 $10.7\mu\text{m}$  กับ Meteosat  $11.5\mu\text{m}$  รวมทั้งความเร็วลม ความชื้น และข้อมูลระดับความสูง  
 (Topography) ผลของการศึกษาพบว่าการประมาณค่าน้ำฝนจะเกิดผลดีกับช่วงอุณหภูมิที่กว้าง  
 หลังจากที่มีการคำนวณค่าทางสถิติพบว่า การประมาณค่าน้ำฝนมีการประเมินที่สูงเกินไปในระหว่าง  
 การฝึกและต่ำเกินไปสำหรับกรณีทดสอบ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ HE พบว่า การประมาณค่า  
 น้ำฝนให้ผลที่ดีกว่าสังเกตได้จากค่า RMSE

Su et al. (2009) ได้ทำการศึกษาลักษณะของเมฆและหิมะบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยซึ่งใช้ข้อมูลจากดาวเทียม MTSAT 5 ช่องสัญญาณ งานวิจัยดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการศึกษาเมฆเป็นขั้นตอนสำคัญสำหรับดาวเทียมแบบค้างฟ้าเนื่องจากคลื่นสัญญาณไม่สามารถทะลุผ่านเมฆได้ และนอกจากนั้นเมฆเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดฝนจึงต้องศึกษาลักษณะของเมฆดังกล่าวเพื่อไปประมาณค่าน้ำฝนได้

Thu and Sohn (2010) ได้พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการประมาณค่าน้ำฝนโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมสำหรับดาวเทียม MTSAT งานวิจัยดังกล่าวใช้ข้อมูลจากดาวเทียม MTSAT 3 ช่องสัญญาณคือช่องความยาวคลื่น 6.7, 11 และ 12  $\mu\text{m}$  ร่วมกับข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากดาวเทียมแบบพาสซีฟไมโครเวฟ TRMM และข้อมูลเรดาร์ TRMM Precipitation Radar โดยได้ทำการศึกษาในพื้นที่ประเทศอินโดนีเซียผลการศึกษาจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีความสอดคล้องในเกณฑ์ดีแต่มีความเอนเอียงค่อนข้างต่ำ

AMSU MIT Precipitation retrieval (AMP) เป็นอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าฝนและหิมะทั่วโลกโดยใช้คลื่นความถี่ไมโครเวฟ อัลกอริทึมดังกล่าวเป็นอัลกอริทึมแรกที่สามารถประมาณค่าฝนและหิมะบนพื้นที่ที่มีหิมะปกคลุมหรือทะเลน้ำแข็งได้ และผลของการประมาณค่าได้มีการตรวจสอบและพบว่าค่อนข้างตรงกับค่าที่วัดจาก 787 มาตรวัดปริมาณน้ำฝนทั่วโลก (Surussavadee, 2011; Surussavadee and Staelin 2008a, 2008b, 2009, 2010a, 2010b, 2011) ดังนั้นสำหรับวิทยานิพนธ์นี้จึงนำข้อมูลหยาดน้ำฟ้าจากอัลกอริทึมดังกล่าวเป็นข้อมูลอ้างอิง (ground truth) สำหรับการศึกษาในครั้งนี้

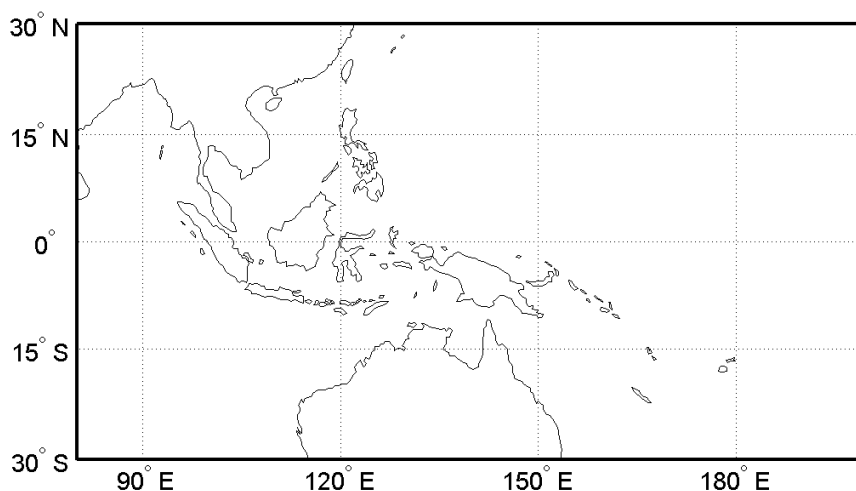
### บทที่ 3

#### วิธีการวิจัย

วิทยานิพนธ์การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าซึ่งใช้ข้อมูลจากดาวเทียม 2 ชนิดที่มีลักษณะการโคจรแตกต่างกันโดยดาวเทียมหนึ่ง (ดาวเทียม MTSAT) มีการโคจรอยู่กับที่ อีกชนิดหนึ่ง (ดาวเทียม NOAA - 18) มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นข้อมูลที่นำไปใช้งานต้องเป็นข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่งและเวลาใกล้เคียงกัน ในบทนี้เป็นรายละเอียดของวิธีการวิจัยโดยเริ่มจากการกำหนดพื้นที่การศึกษา รวมไปถึงการกำหนดเงื่อนไขต่างๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่งและเวลาใกล้เคียงกัน

#### 3.1 พื้นที่การศึกษา

รูปที่ 3.1 แสดงพื้นที่การศึกษาบริเวณละติจูด  $30^{\circ}\text{S}$ – $30^{\circ}\text{N}$  และลองจิจูด  $80^{\circ}\text{E}$ – $160^{\circ}\text{W}$  ซึ่งครอบคลุมพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปจนถึงบางส่วนของทวีปออสเตรเลีย พื้นที่การศึกษามีความสมมาตรของเส้นละติจูด เนื่องจากดาวเทียมค้างฟ้ามีตำแหน่งศูนย์กลางการโคจรอยู่นเหนือเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นการวัดพลังงานจะมีความถูกต้องแม่นยำในแนวเส้นศูนย์สูตรนี้



รูปที่ 3.1 พื้นที่การศึกษาครอบคลุมละติจูด  $30^{\circ}\text{S}$ – $30^{\circ}\text{N}$  และลองจิจูด  $80^{\circ}\text{E}$ – $160^{\circ}\text{W}$  ซึ่งครอบคลุมพื้นที่จากเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปจนถึงบางส่วนของประเทศออสเตรเลีย

### 3.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

#### 3.2.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT

ข้อมูลดาวเทียม MTSAT ได้จาก <ftp://mtsat-1r.cr.chiba-u.ac.jp/> ซึ่งจัดทำโดย Center for Environmental Remote Sensing มหาวิทยาลัยชิบะ (Chiba) ประเทศญี่ปุ่น โดยมีข้อมูลดาวเทียมเป็นรายชั่วโมง กล่าวคือ 00.30, 01.30, 02.30, 03.30, ..., 23.30 น. ในแต่ละไฟล์ข้อมูลที่มีการดาวน์โหลดจากเว็บไซต์นี้ประกอบด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบ binary (digital number) ขนาด 10 บิต และข้อมูลการแปลง (header file) จาก digital number เป็นอุณหภูมิความสว่าง (Brightness Temperature,  $T_b$ ) สำหรับช่องสัญญาณ IR และเปอร์เซ็นต์การสะท้อน (Albedo,  $A_p$ ) สำหรับช่องสัญญาณ VIS ซึ่งค่าการสะท้อนแสดงร้อยละตั้งแต่ 0 – 100 ส่วนค่าอุณหภูมิความสว่างจะมีความแตกต่างกันไปตามความยาวคลื่น (M.K. Yamamoto, 2010)

#### 3.2.2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP

ข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP (AMSU MIT Precipitation Retrieval Products) ได้จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชินวัชร สุรัสวดี อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ([pop@alum.mit.edu](mailto:pop@alum.mit.edu)) ในปัจจุบันข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP เป็นข้อมูลรุ่น AMP – 4 ซึ่งกำลังพัฒนาเป็นรุ่น AMP – 5 ให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP เป็นค่าที่ได้จากประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าจากดาวเทียมไมโครเวฟแบบพาสซีฟภายในผลิตภัณฑ์ AMP ประกอบด้วย อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (mm/h); เส้นทางการกระจายของฝน หิมะ, เกล็ดน้ำแข็ง; ความเร็วลมสูงสุดในแนวดิ่ง (m/s) เป็นต้น ข้อมูลผลิตภัณฑ์ AMP ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก รวมถึงพื้นที่ขั้วโลกหรือทะเลน้ำแข็ง แสดงผลแบบ Near real time ในหนึ่งวันจะมีข้อมูลประมาณ 14 ไฟล์ตามคาบการโคจรของดาวเทียม (Surussavadee, C) สำหรับข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่นำมาประกอบการวิจัยนี้อ้างอิงกับดาวเทียม NOAA – 18 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 15 กิโลเมตร

### 3.3 วิธีการวิจัย

รูปที่ 3.2 แสดงกระบวนการทำงานของวิทยานิพนธ์นี้โดยเริ่มจากขั้นตอนการเตรียมข้อมูลจากการนำข้อมูล Digital Number 5 ช่องสัญญาณ MTSAT และมุม zenith ของดาวเทียม MTSAT มาเลือกข้อมูลที่ซ้อนทับกับข้อมูลของหยาดน้ำฟ้าจากดาวเทียม NOAA – 18

ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด เมื่อได้ข้อมูลภายใต้เงื่อนไขนั้นแล้วข้อมูล Digital Number ถูกแปลงไปเป็น อุณหภูมิความสว่าง ( $T_p$ ) ในหน่วยของเคลวิน (Kelvin, K) สำหรับช่องสัญญาณ IR และเปอร์เซ็นต์ การสะท้อน (Albedo) สำหรับช่องสัญญาณ VIS หลังจากนั้นนำข้อมูลไปแยกเป็นกรณีต่างๆ ที่มีผล ต่อการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้า การศึกษาในขั้นตอนนี้เพื่อให้ได้กรณีที่เหมาะสมต่อการประมาณค่า ดังกล่าวโดยตัวประมาณค่าของวิทยานิพนธ์ใช้ระบบเครือข่ายประสาทเทียม (Neural network) เนื่องจากข้อมูลอุณหภูมิความสว่างมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน และไม่เชิงเส้นกับหยาดน้ำฟ้า หลังจากนั้นจึงได้ตัวประมาณค่าที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยผลลัพธ์ที่ได้คือ อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (mm/h) เป็นรายชั่วโมง

### 3.3.1 การเตรียมข้อมูล

จากที่กล่าวแล้วว่าวิทยานิพนธ์นี้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมสองชนิดที่มีลักษณะการโคจรไม่ เหมือนกัน ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ตรงกันจึงต้องกำหนดเงื่อนไขที่ซ้อนทับระหว่างสองดาวเทียม โดยมีเงื่อนไขดังนี้

#### 1. เงื่อนไขของวันและเวลา

1.1 วิทยานิพนธ์นี้ใช้ข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2552 – ธันวาคม พ.ศ. 2553 เนื่องจากเป็นช่วงปีล่าสุดของการศึกษา อีกทั้งในช่วงเวลาดังกล่าวเกิดลมมรสุมที่มีอิทธิพลต่อ ประเทศไทยบ่อยครั้ง โดยแต่ละปีใช้ข้อมูลทุกวันที่ 5 15 และ 25 ของทุกเดือน ทั้งนี้เนื่องจากว่า ต้องการให้ข้อมูลครอบคลุมในแต่ละเดือน นอกจากนี้หากมีการเลือกวันที่มีความถี่มากเกินไปจะมี ผลต่ออัลกอริทึมและหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ โดยสรุปแล้วใช้ภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT สำหรับการศึกษานี้ทั้งหมดจำนวน 1,560 ภาพ (จากภาพถ่ายดาวเทียมทั้ง 4 ช่องสัญญาณอินฟราเรด)

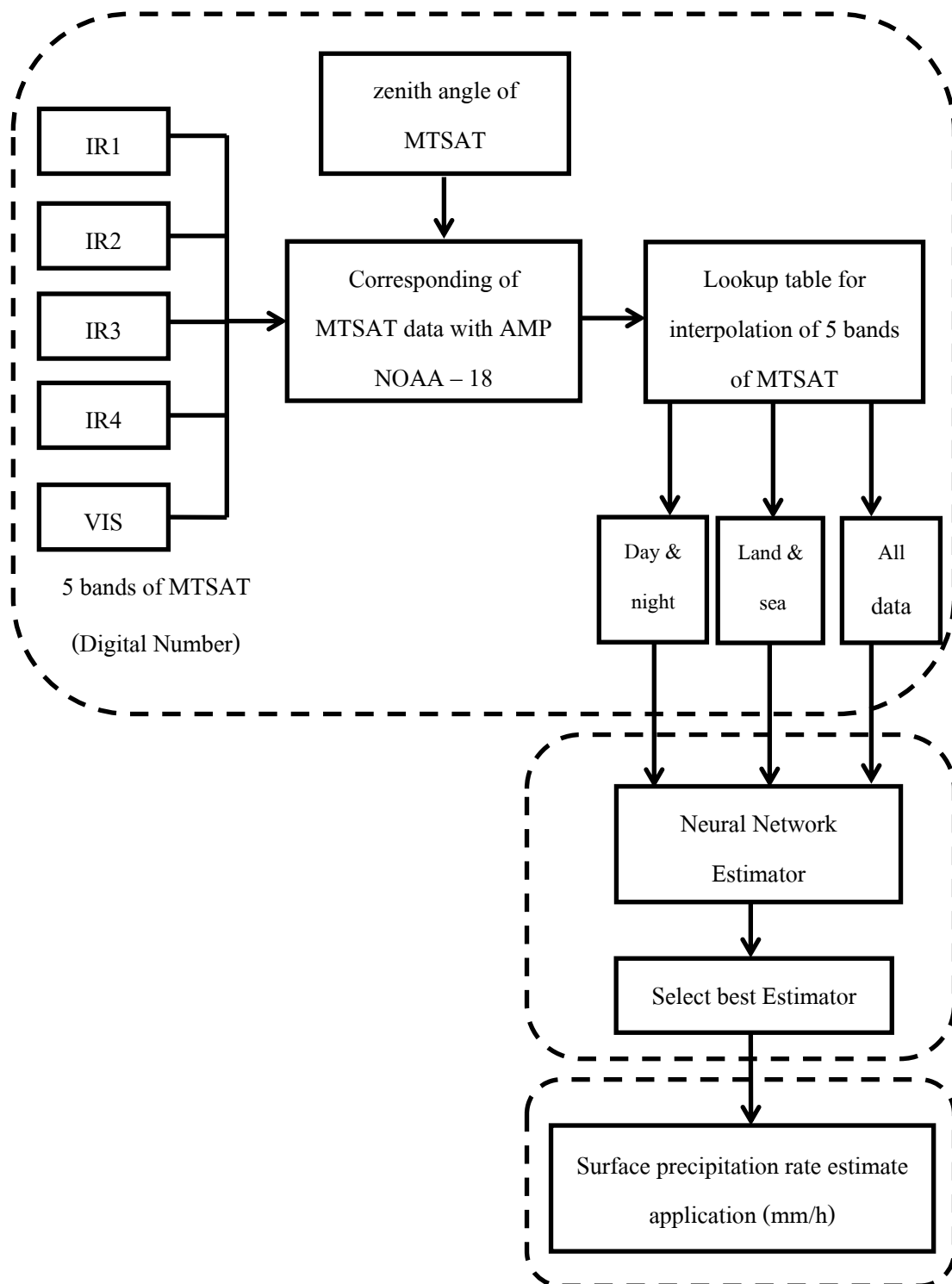
1.2 กำหนดระยะเวลาห่างของเวลาของดาวเทียมทั้งสองห่างกันไม่เกิน 30 นาที ( $\pm 15$  นาที) ซึ่งหมายถึงถ้าใช้ภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT ในเวลา 10.30 น. ข้อมูลหยาดน้ำฟ้า AMP จากดาวเทียม NOAA – 18 จะต้องอยู่ระหว่างเวลา 10.15 – 10.45 น. เป็นต้น

#### 2. เงื่อนไขของระยะทาง

ภายใต้เงื่อนไขของเวลาข้อมูลที่ได้ยังไม่ใช้ข้อมูลที่ซ้อนทับกันพอดี จึงต้องมีการกำหนด เงื่อนไขของระยะทาง โดยกำหนดให้ระยะทางระหว่างสองดาวเทียมต้องห่างกันไม่เกิน 15 กิโลเมตร เนื่องจากความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลหยาดน้ำฟ้า AMP เท่ากับ 15 กิโลเมตร รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งข้อมูลเปรียบเทียบก่อนและหลังของเงื่อนไขระยะทาง จะเห็นว่าหลังจากมีการ คำนวณระยะทางที่ห่างกันไม่เกิน 15 กิโลเมตรแล้ว จำนวนข้อมูลของดาวเทียม MTSAT ลดปริมาณ

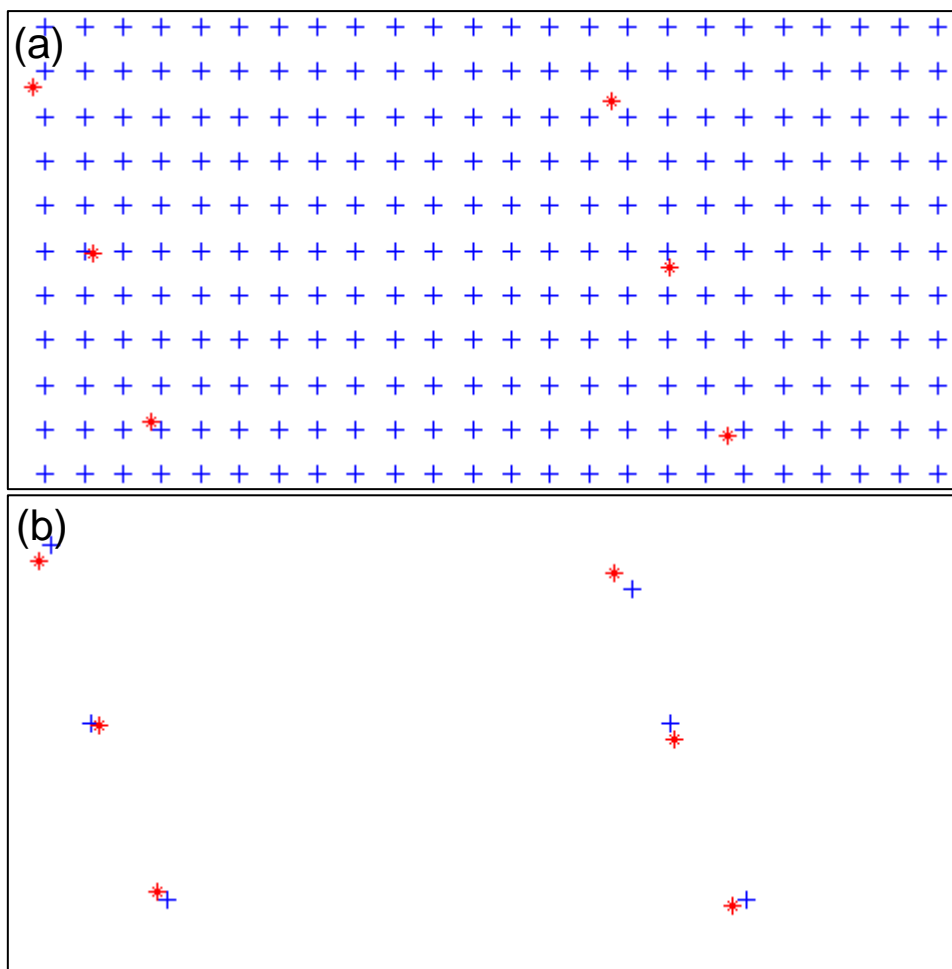
ลงมาก ซึ่งตำแหน่งของข้อมูลดังรูปที่ 3.3b เป็นข้อมูลที่ดาวเทียมทั้งสองอยู่ในบริเวณที่ใกล้เคียงกัน และนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

หลังจากได้ข้อมูลจากดาวเทียม MTSAT ที่ซ้อนทับกับข้อมูลหยาดน้ำฟ้า AMP แล้ว ข้อมูลส่วนนี้จะถูกแปลงไปเป็นค่าอุณหภูมิความสว่าง ( $T_b$ ) สำหรับช่องสัญญาณ IR และเปอร์เซ็นต์การสะท้อนสำหรับช่องสัญญาณ VIS ด้วยวิธีการแปลงค่าแบบ Look up table และ Spline interpolation โดยการเทียบค่า digital number กับค่าที่ต้องการแปลง ( $T_b$  หรือ  $A_b$ ) โดยใช้ข้อมูลจาก header file (ดังภาคผนวก ก และภาคผนวก ข) ซึ่งค่าการแปลงในแต่ละวันและแต่ละช่องสัญญาณมีค่าไม่เท่ากัน โดยเฉพาะช่องสัญญาณ IR ดังนั้นจึงต้องมีการดึงข้อมูลการแปลงมาทุกครั้งที่ใช้งาน หรือไม่สามารถใช้ข้อมูลการแปลงเพียงค่าเดียวสำหรับวันและเวลาอื่นๆ ได้ การใช้ข้อมูลการแปลงเพียงค่าเดียวทำให้ข้อมูลอุณหภูมิความสว่างไม่ถูกต้อง ส่งผลให้การประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าไม่ถูกต้องตามไปด้วย



รูปที่ 3.2 กระบวนการทำงานประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1) ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล 2) อัลกอริทึมการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้า และ 3) การประยุกต์ใช้งาน





รูปที่ 3.3 ตำแหน่งข้อมูลระหว่างสองดาวเทียม a) คือตำแหน่งของข้อมูลระหว่างสองดาวเทียมก่อนเงื่อนไขระยะทาง b) คือตำแหน่งของข้อมูลระหว่างสองดาวเทียมหลังเงื่อนไขระยะทาง โดยที่เครื่องหมายบวก (+) หมายถึงตำแหน่งข้อมูลของดาวเทียม MTSAT เครื่องหมายดอกจัน (\*) หมายถึงตำแหน่งข้อมูลของดาวเทียม NOAA – 18

### 3.3.2 กรณีศึกษา

หลังจากที่ได้ข้อมูลที่ซ้อนทับกันภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดแล้วข้อมูลต่างๆ จะถูกแยกออกเป็นกรณีศึกษาต่างๆ เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์กับข้อมูลสู่กระบวนการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าต่อไป โดยมีกรณีศึกษาต่างๆ ดังนี้

#### 1. ผลของมุม zenith ของดาวเทียม MTSAT

มุม zenith ( $\theta_z$ ) คือมุมมองดาวเทียมที่กระทำกับแกนที่ตั้งฉาก (แกน zenith) กับพื้นผิวโลก (ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ 3.1) ดังรูปที่ 3.4 โดย  $r_c$  (เส้นตรง CA) คือ รัศมีของโลกวัดจากจุดศูนย์กลางโลกจนถึงผิวโลก (สูตรคำนวณตามมาตรฐาน WGS84 จาก National Imagery and

Mapping Agency (NIMA) (2000) ซึ่งคำนวณจากสมการ 3.2 เนื่องจากโลกไม่ได้มีรูปร่างเป็นทรงกลมอย่างสมบูรณ์,  $r_s$  (เส้นตรง CD) คือ รัศมีของดาวเทียมวัดจากจุดศูนย์กลางจนถึงความสูงของดาวเทียม และ  $d$  (เส้นตรง AD) คือ ระยะทางจากผิวโลก จุดที่ดาวเทียมสังเกตเห็นจนถึงตำแหน่งที่ตั้งของดาวเทียมในอวกาศ (สมการ 3.3) ทั้ง 3 ตัวแปรนี้จะอยู่ในระนาบเดียวกันของสามเหลี่ยม ACD มุมศูนย์กลาง  $\gamma$  วัดจากเส้นตรง AC กับเส้นตรง DC หรือมุมระหว่างตำแหน่งบนผิวโลกกับดาวเทียม โดย  $\gamma$  มีความสัมพันธ์กับพื้นผิวโลกตามตำแหน่งละติจูด ( $L_s$ ), ลองจิจูด ( $L_c$ ) และที่ตั้งของดาวเทียมตามตำแหน่งละติจูด ( $L_s$ ), ลองจิจูด ( $L_c$ ) ตามสมการ 3.4,  $\psi$  คือมุมซึ่งวัดจากเส้นของ  $r_c$  จนถึงเส้นของ  $d$

$$\theta_z = EL - 90^\circ \quad (3.1)$$

โดยที่  $\theta_z$  คือ มุม zenith  
 EL คือ มุมความสูง (Elevation angle)

$$r_c = \frac{a(1-e^2)^{1/2}}{(1-e^2 \cos^2 \phi')^{1/2}} \quad (3.2)$$

โดยที่  $r_c$  คือ radius of the Earth  
 $e$  คือ First Eccentricity มีค่าประมาณ  $8.1819 \times 10^{-2}$   
 $\phi'$  คือ Geocentric Latitude คำนวณจาก  $\phi' = \arctan[(1-e^2)\tan \phi]$   
 $\phi$  คือ Geodetic Latitude  
 $a$  คือ Semi - major Axis มีค่าประมาณ 6378.1370 กิโลเมตร

$$d = r_s \left[ 1 + \left( \frac{r_c}{r_s} \right)^2 - 2 \left( \frac{r_c}{r_s} \right) \cos(\gamma) \right]^{1/2} \quad (3.3)$$

โดยที่  $d$  คือ ระยะทางจากผิวโลกจุดที่ดาวเทียมสังเกตเห็นจนถึงตำแหน่งที่ตั้งของดาวเทียมในอวกาศ  
 $r_s$  คือ รัศมีของดาวเทียมวัดจากจุดศูนย์กลางจนถึงความสูงของดาวเทียม คำนวณได้จาก  $r_s = r_c + h$  ในที่นี้  $h = 35,800$  กิโลเมตร

$\gamma$  คือ มุมศูนย์กลาง

$$\cos(\gamma) = \cos(L_e)\cos(L_s)\cos(l_s - l_e) + \sin(L_e)\sin(L_s) \quad (3.4)$$

โดยที่  $L_e$  คือ ตำแหน่งละติจูดของจุดสังเกตของดาวเทียม

$l_e$  คือ ตำแหน่งลองจิจูดของจุดสังเกตของดาวเทียม

$L_s$  คือ ตำแหน่งละติจูดของดาวเทียมอ้างอิงบนพื้นโลก (สำหรับดาวเทียม MTSAT – 1R และดาวเทียม MTSAT – 2 คือ 0 องศา)

$l_s$  คือ ตำแหน่งลองจิจูดของดาวเทียมอ้างอิงบนพื้นโลก (สำหรับดาวเทียม MTSAT – 1R คือ 140 องศาตะวันออก ส่วนดาวเทียม MTSAT-2 คือ 145 องศาตะวันออก)

เนื่องจากเส้นระดับ (เส้นตรง AB) บนพื้นโลกตั้งฉากกับเส้น  $r_c$  ดังนั้นมุมความสูง (Elevation angle) มีความสัมพันธ์กับมุม  $\psi$  ตามสมการ 3.5

$$EL = \psi - 90^\circ \quad (3.5)$$

และจากกฎของ sine จะได้ว่า

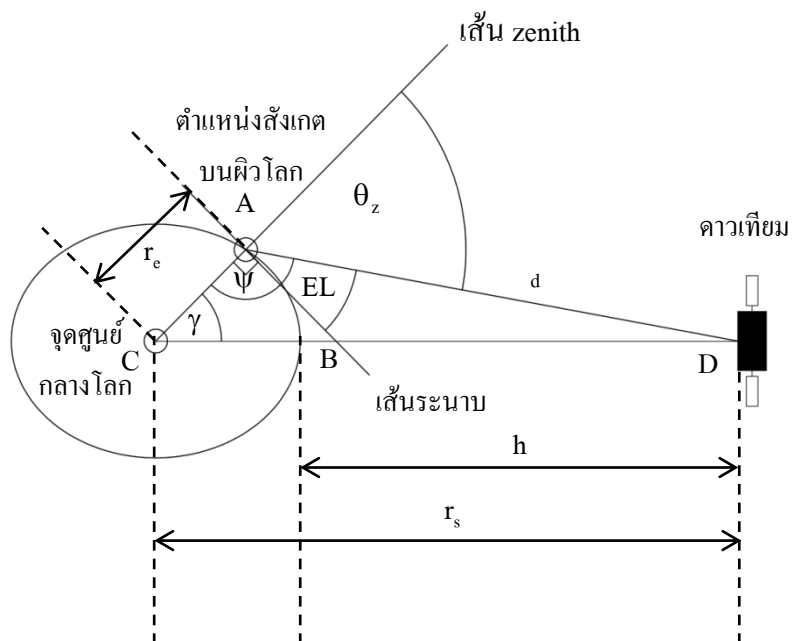
$$\frac{\sin(\psi)}{r_s} = \frac{\sin(\gamma)}{d} \quad (3.6)$$

จากสมการที่ 3.3, 3.5 และ 3.6 ทำให้สามารถหามุม EL ได้ว่า

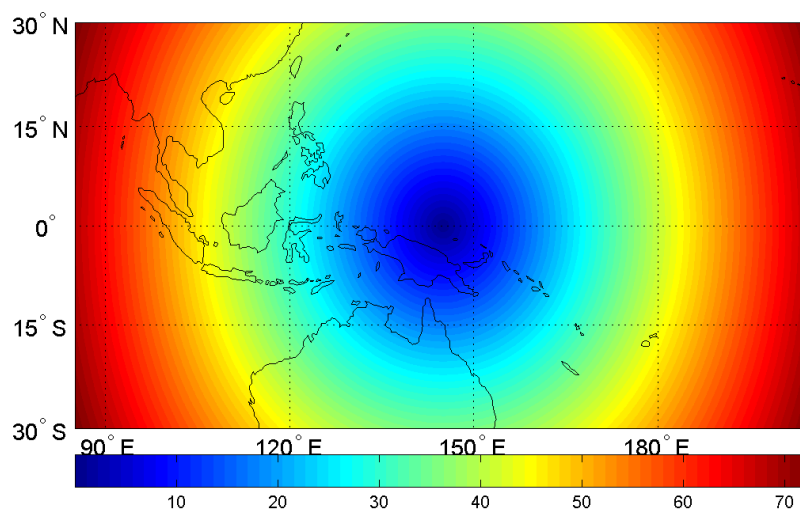
$$\begin{aligned} \cos(EL) &= \frac{r_s \sin(\gamma)}{d} \\ &= \frac{\sin(\gamma)}{\left[1 + \left(\frac{r_e}{r_s}\right)^2 - 2\left(\frac{r_e}{r_s}\right)\cos(\gamma)\right]^{1/2}} \end{aligned} \quad (3.7)$$

นำมุม EL จากสมการที่ 3.7 แทนค่าในสมการ 3.1 เราก็จะได้มุม zenith รูปที่ 3.5 แสดงมุม zenith ของดาวเทียม MTSAT – 2 จะเห็นว่าลักษณะของมุม zenith ตามตำแหน่งต่างๆ คล้ายวงกลม

รอบจุดศูนย์กลาง ซึ่งเป็นจุดใต้ดาวเทียม (nadir) โดยถ้าตำแหน่งไกลจากจุดศูนย์กลางมาก มุม zenith ก็จะมีค่ามากขึ้น



**รูปที่ 3.4** ระบบภูมิศาสตร์สำหรับการหามุม zenith ของดาวเทียม MTSAT โดยจุด C คือจุดศูนย์กลางโลก A คือ ตำแหน่งตั้งเกดบนผิวโลกของดาวเทียม จุด D คือ ตำแหน่งโคจรของดาวเทียม, มุม  $\gamma$  คือ มุมศูนย์กลางวัดจากเส้นของ  $r_s$  (เส้นตรง CD) กับเส้นของ  $r_e$  (เส้นตรง CA)  $\psi$  คือ มุมที่วัดจากเส้นของ  $r_e$  (เส้นตรง CA) กับระยะทาง d (เส้นตรง AD), EL คือมุมความสูง (Elevation angle)  $\theta_z$  คือ มุม zenith ของดาวเทียม h คือ ความสูงของดาวเทียมเหนือพื้นโลก (ภาพดัดแปลงจาก Pratt et al., 2003)



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งมุม zenith (degree) ต่างๆของดาวเทียม MTSAT – 2 ในขอบเขตพื้นที่การศึกษา

การนำมุม zenith ของดาวเทียม MTSAT ไปศึกษาอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่า มุม zenith มีอิทธิพลต่ออัตราการวัดพลังงาน โดยอัตราการวัดแปรผันตรงกับค่า secant ของมุม zenith ดังนั้นค่า secant ของมุม zenith มีผลต่ออัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าเช่นเดียวกัน โดยค่า secant ของมุม zenith จะเป็นข้อมูลนำเข้าข้อมูลหนึ่งสำหรับตัวประมาณค่าในครั้งนี้

### 2. ผลของกลางวันกับกลางคืน

เนื่องจากดาวเทียม MTSAT ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดชนิดพาสซีฟ ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดแบบนี้อาศัยพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ในการวัดพลังงานอัตราการแผ่รังสีของวัตถุ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ตรวจวัดมีอัตราการตอบสนองของอัตราการแผ่รังสีของวัตถุสำหรับกลางวันและกลางคืนที่ต่างกัน การศึกษาในกรณีนี้จึงอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่าอุณหภูมิความสว่างในเวลากลางวันและกลางคืนมีผลต่อการประมาณหยาดน้ำฟ้า โดยการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าสำหรับเวลากลางคืนมีความถูกต้องแม่นยำกว่าเวลากลางวัน เพราะเวลากลางวันมีอุณหภูมิสูงกว่ากลางคืน

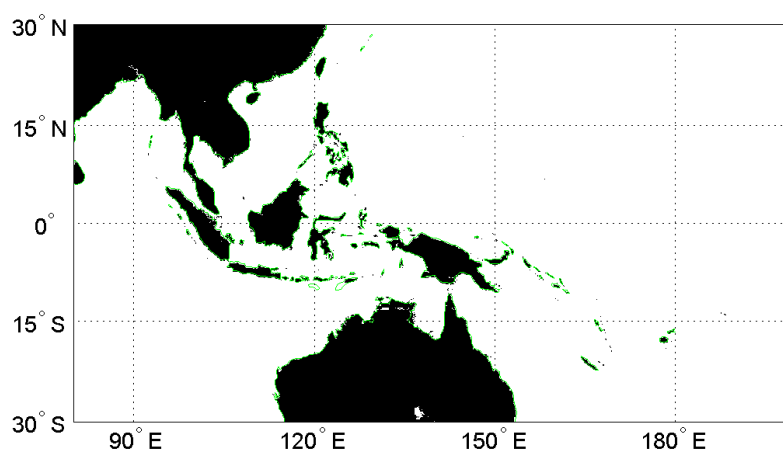
สำหรับกระบวนการแยกกลางวันกับกลางคืนนั้นอาศัยช่องสัญญาณ VIS ของดาวเทียม MTSAT ซึ่งเป็นช่องที่ตอบสนองต่อกลางวันกับกลางคืนได้ดี โดยกำหนดให้ตำแหน่งใดๆ ของช่องสัญญาณนี้มีค่าการสะท้อนน้อยกว่าร้อยละ 0.5 เป็นกลางคืน นอกจากนี้เป็นกลางวัน

### 3. ผลของพื้นดินและพื้นน้ำ

เนื่องจากพื้นดินมีอัตราการแผ่รังสีความร้อนมากกว่าพื้นน้ำ เพราะที่พื้นดินคายความร้อนได้ดีกว่าพื้นน้ำ ดังนั้นเมื่อพื้นดินและพื้นน้ำได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ในปริมาณที่เท่ากันพื้นน้ำจะร้อนได้ช้ากว่าพื้นดิน แต่สำหรับในตอนกลางคืนพื้นน้ำจะมีความอุ่นกว่าพื้นดินเนื่องจากในเวลากลางคืนพื้นดินจะสูญเสียความร้อน ส่วนพื้นน้ำจะคายความร้อน ซึ่งเหตุนี้เองทำให้

อัตราการแผ่รังสีความร้อนของพื้นดินกับพื้นน้ำต่างกัน จึงอาจมีผลต่อการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าเช่นเดียวกัน โดยการศึกษากรณีนี้มีการตั้งสมมติฐานไว้ว่าการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าบนพื้นน้ำมีความถูกต้องแม่นยำสูงกว่าพื้นดิน

สำหรับวิธีการแยกพื้นดินกับพื้นน้ำทำได้โดยอาศัยตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดบนพื้นโลกเพราะจุดดังกล่าวสามารถบอกตำแหน่งของพื้นดินกับพื้นน้ำได้ เนื่องจากเรามีตำแหน่งของข้อมูลพื้นดินตามตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดทั่วโลกไว้แล้ว จึงนำตำแหน่งนั้นมาแทรกค่า (interpolate) กับตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดของพื้นที่การศึกษา รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งของพื้นดินและพื้นน้ำในพื้นที่การศึกษา โดยสีดำแสดงตำแหน่งของพื้นดิน สีขาวแสดงตำแหน่งของพื้นน้ำ

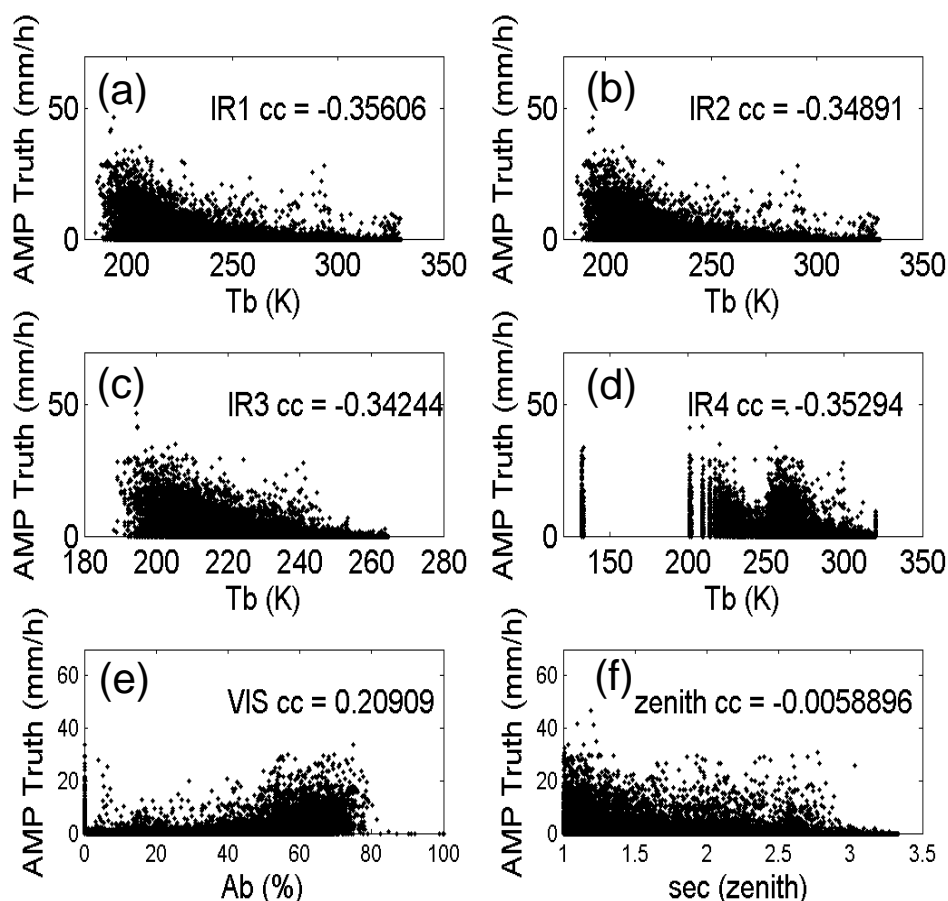


รูปที่ 3.6 ตำแหน่งของพื้นดินและพื้นน้ำในพื้นที่การศึกษา โดยสีดำแสดงตำแหน่งของพื้นดิน สีขาวแสดงตำแหน่งของพื้นน้ำ

### 3.3.3 อัลกอริทึมสำหรับการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า

ก่อนที่จะมีการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า จำเป็นต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล MTSAT กับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า รูปที่ 3.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, CC) ระหว่างข้อมูล MTSAT กับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า โดยการสุ่มข้อมูลแบบไม่มีเงื่อนไขจำนวนประมาณ 300,000 ตัวอย่าง ซึ่งจะเห็นว่าแม้ค่า CC โดยส่วนใหญ่จะมีค่าน้อย (โดยเฉพาะขนาด ส่วนเครื่องหมายลบแสดงถึงความสัมพันธ์ในแบบตรงข้าม) แต่แนวโน้มของความสัมพันธ์มีความถูกต้อง กล่าวคือพิจารณารูปที่ 3.7a – 3.7d เมื่ออุณหภูมิความสว่างสูงขึ้นอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าลดลง ส่วนรูปที่ 3.7e เมื่อเปอร์เซ็นต์การสะท้อนสูงขึ้นไปแสดงถึงการวัดพลังงานที่สูงทำให้วัดอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าสูง

เช่นเดียวกัน และรูปที่ 3.7f เมื่อค่า secant ของมุม zenith สูงขึ้นการวัดอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจะน้อยลง



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล MTSAT กับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (a – d) อุณหภูมิความสว่าง ( $T_b$ ) สำหรับช่องสัญญาณ IR (IR1 – 4 ตามลำดับ) (e) เปอร์เซ็นต์การสะท้อน ( $A_b$ ) สำหรับช่องสัญญาณ VIS และ (f) ค่า secant ของมุม zenith

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แล้วพบว่าข้อมูลที่ใช้ในอัลกอริทึมสำหรับประมาณค่าหยาดน้ำฟ้ามีเฉพาะข้อมูลอุณหภูมิความสว่างของช่องสัญญาณ infrared (IR1 – 4) เท่านั้น เพราะว่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนสำหรับช่องสัญญาณ VIS และค่า secant ของมุม zenith มีความสัมพันธ์กับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP ต่ำ หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลทั้งสองไม่มีผลต่ออัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากการสะท้อนสำหรับช่องสัญญาณ VIS มีการตอบสนองต่อแสงได้ดีดังนั้นหากพิจารณาในเวลากลางคืนแล้วพบว่า เมื่อมีแสงจากแหล่งกำเนิดแสงอื่นเข้ามายังตัวรับสัญญาณ ค่าการสะท้อนที่ดาวเทียมวัดได้จึงมีความผิดพลาดไป สำหรับมุม

zenith นั้น เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่การศึกษากับระยะความสูงของดาวเทียมที่ระดับความสูง 35,800 กิโลเมตรแล้วพบว่า มีอัตราส่วนที่เล็กมากดังนั้นมุม zenith จึงไม่มีผลต่อการวัดพลังงานวิทยานิพนธ์นี้จึงนำข้อมูลเฉพาะช่องสัญญาณ IR ไปศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ใช้เครือข่ายประสาทเทียม (Neural network) ประเภท perceptron แบบ Feedforward neural network ที่มีโครงสร้างแบบหลายชั้น (Multiple – layer perceptron) เป็นตัวประมาณค่า โดยเครือข่ายประสาทเทียมได้ถูกทดลองแยกออกเป็น 3 กรณี คือ 1) การใช้เครือข่ายประสาทเทียมแยกกันสำหรับกลางวันและกลางคืน 2) การใช้เครือข่ายประสาทเทียมแยกกันสำหรับพื้นดินและพื้นน้ำ และ 3) การใช้เครือข่ายประสาทเทียมเดียวกันสำหรับทุกกรณี ในแต่ละกรณี ข้อมูลถูกสุ่มแบบ ไม่มีเงื่อนไขจำนวน 300,000 ตัวอย่าง และกลุ่มตัวอย่างถูกแยกออกเป็นสองส่วนที่ไม่ขึ้นต่อกัน ข้อมูลชุดหนึ่งใช้สำหรับฝึกร้อยละ 60 และอีกชุดหนึ่งใช้สำหรับทดสอบร้อยละ 40 เครือข่ายประสาทเทียมหลายรูปแบบได้ถูกทดสอบสำหรับแต่ละกรณี และเลือกระบบที่ดีที่สุดซึ่งเครือข่ายประสาทเทียมที่เลือกมานั้นมีส่วนประกอบและโครงสร้างดังรูป 3.8 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. Input layer ประกอบด้วย 4 โหนดคือข้อมูลอุณหภูมิความสว่างของสี่ช่องสัญญาณอินฟราเรดของ MTSAT (ในหน่วยเคลวิน) ข้อมูลแต่ละช่องสัญญาณถูกทำให้เป็นมาตรฐานคือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (zero mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับหนึ่ง (unity standard deviation) โดยใช้สมการที่ 3.8

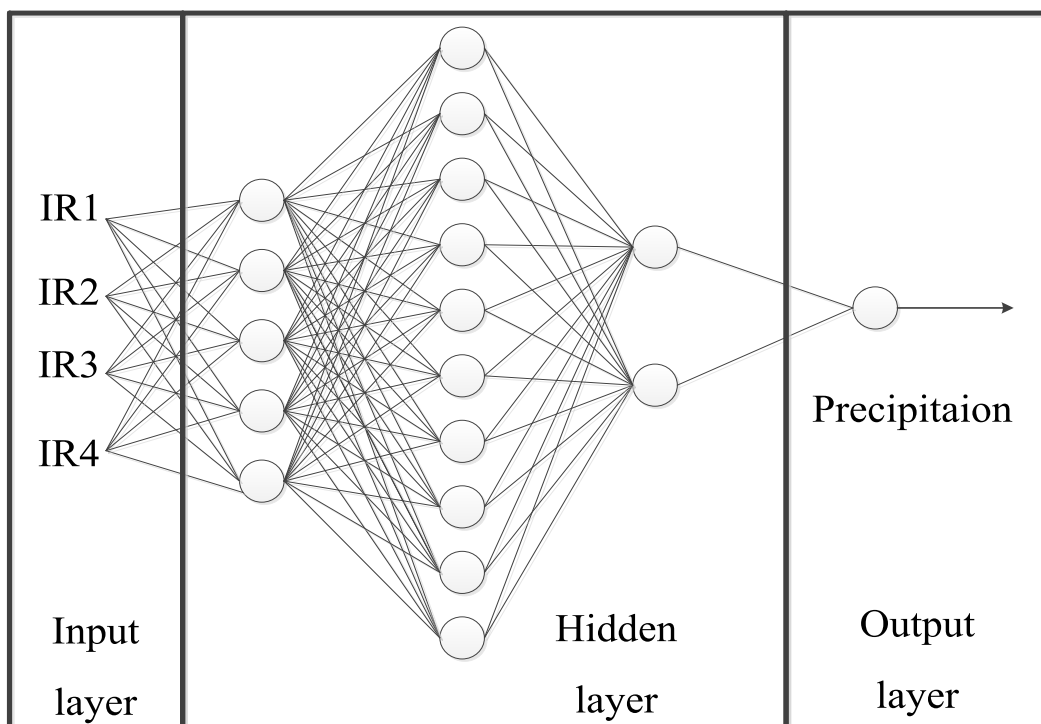
$$\text{Normalized } X_{i,k} = \frac{X_{i,k} - \text{mean}(X_k)}{\text{std}(X_k)} \quad (3.8)$$

โดยที่ $X_{i,k}$	คือ ข้อมูลชุดที่ k ของ X เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, N$
$\text{mean}(X_k)$	คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดที่ k ของ X
$\text{std}(X_k)$	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลชุดที่ k ของ X

2. Hidden Layer โครงสร้างของในส่วนนี้ประกอบด้วย 3 ชั้น ชั้นที่ 1 มี 5 โหนด ชั้นที่ 2 มี 10 โหนด และชั้นที่ 3 มี 2 โหนด โดยมีฟังก์ชันการถ่ายโอนแต่ละชั้นเป็นแบบ Tan – sigmoid Transfer Function ทั้งหมด เครือข่ายประสาทเทียมถูกกำหนดให้เป็นการคำนวณย้อนกลับเพื่อการปรับค่า weight และ bias วิธีการปรับค่าดังกล่าวเป็นแบบ Levenberg – Marquardt back propagation เนื่องจากมีการคำนวณอย่างรวดเร็ว (Beale et al., 2010)

3. Output layer คืออัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) มี 1 โหนด กำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอนเป็นแบบ Linear Transfer Function





รูปที่ 3.8 การออกแบบเครือข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างแบบหลายชั้น (Multiple – layer perceptron) ประกอบด้วยข้อมูลนำเข้า 4 โหนด คือ ข้อมูลอุณหภูมิความสว่างของ 4 ช่องสัญญาณ infrared, hidden layer มี 3 ชั้น โดยชั้นที่ 1 มี 5 โหนด ชั้นที่ 2 มี 10 โหนด และชั้นที่ 3 มี 2 โหนด, ข้อมูลนำออกมี 1 โหนดคืออัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า

## บทที่ 4

### ผลและบทวิจารณ์ผลการวิจัย

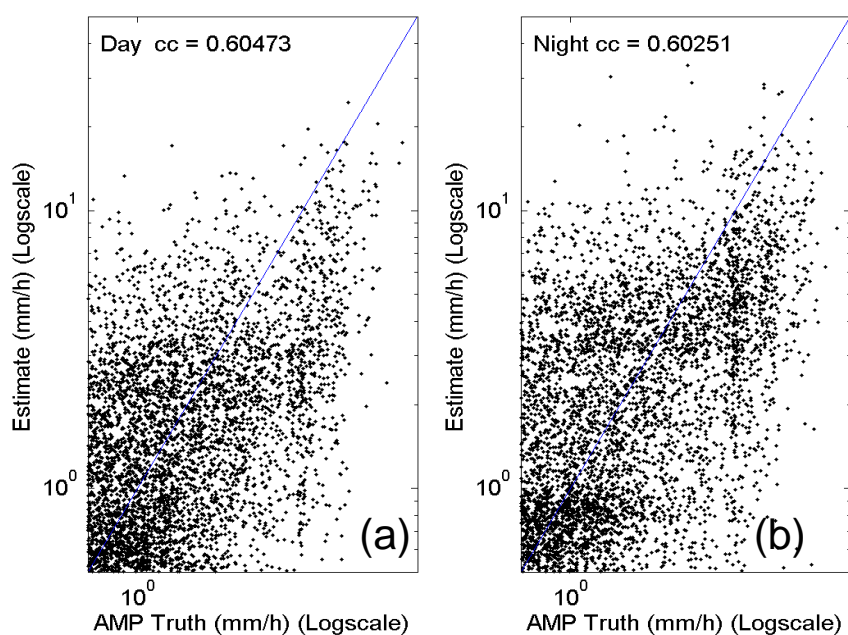
การใช้เครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด MTSAT ที่ช่องสัญญาณ ร่วมกับข้อมูลผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าทั่วโลก AMP ที่เป็น ground truth ซึ่งเป็นค่าประมาณจากดาวเทียม NOAA – 18 โดยเครือข่ายประสาทเทียมถูกแยกพิจารณาออกเป็น 3 กรณีคือ 1) การใช้เครือข่ายประสาทเทียมแยกกันสำหรับกลางวันและกลางคืน 2) การใช้เครือข่ายประสาทเทียมแยกกันสำหรับพื้นดินและพื้นน้ำ และ 3) การใช้เครือข่ายประสาทเทียมเดียวสำหรับทุกกรณี ซึ่งมีผลการศึกษาดังนี้

#### 4.1 การเปรียบเทียบอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าระหว่างค่าหยาดน้ำฟ้าจากผลิตภัณฑ์ AMP กับที่ประมาณค่าได้

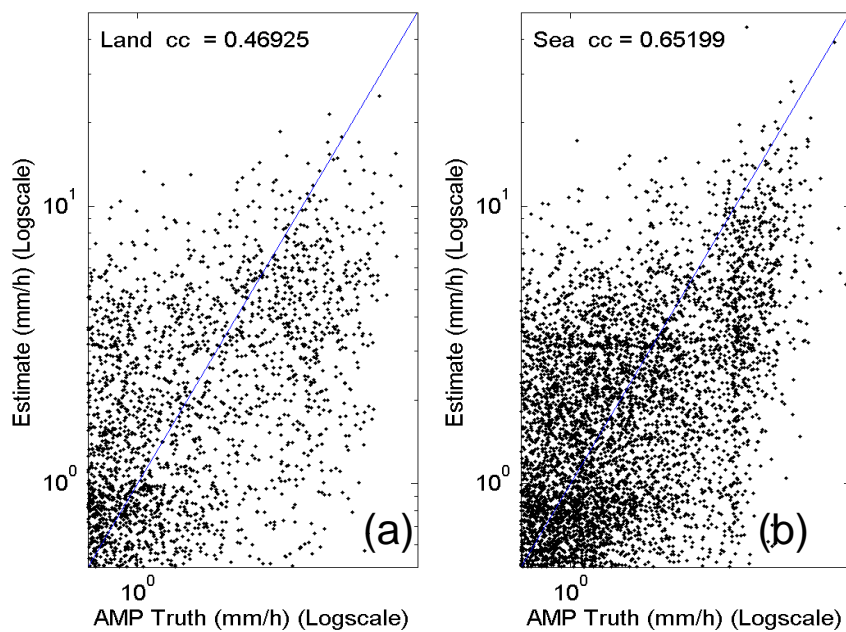
รูปที่ 4.1 – 4.3 แสดง scatter plot อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) ระหว่างผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP (แกนนอน) และที่ประมาณค่าได้ (แกนตั้ง) แสดงในสเกลลอการิทึมฐานสิบ โดยการใช้เครือข่ายประสาทเทียมเดียวสำหรับทุกกรณี การประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าสำหรับข้อมูลในเวลากลางวันและข้อมูลในเวลากลางคืน (รูปที่ 4.1) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, CC) สำหรับกลางวันสูงกว่ากลางคืนเล็กน้อย (0.6047 เทียบกับ 0.6025) ซึ่งถือว่าไม่มีความแตกต่างมาก แต่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัดสำหรับกรณีข้อมูลบนพื้นดินและข้อมูลบนพื้นน้ำ (รูปที่ 4.2) โดยค่า CC สำหรับพื้นน้ำสูงกว่าพื้นดินมาก (0.4692 เทียบกับ 0.6520) สำหรับกรณีของการใช้ข้อมูลทั้งหมด (รูปที่ 4.3) พบว่า ค่า CC เท่ากับ 0.6470 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า Root Mean Square Error (RMSE) และค่า Mean Error (AMP – ESTIMATE) ของอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าที่ประมาณค่าสำหรับกลางวัน กลางคืน พื้นดิน พื้นน้ำ และข้อมูลทั้งหมด ที่ประเมินโดยใช้อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าจากผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP เป็นค่าจริงและใช้เครือข่ายประสาทเทียมเดียวสำหรับทุกกรณี พบว่ากรณีของข้อมูลในเวลากลางวัน อัลกอริทึมมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ดีสำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าในช่วง 1 – 16 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูงสำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 16 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป กรณีของข้อมูลในเวลากลางคืน อัลกอริทึมมีความแม่นยำอยู่ใน

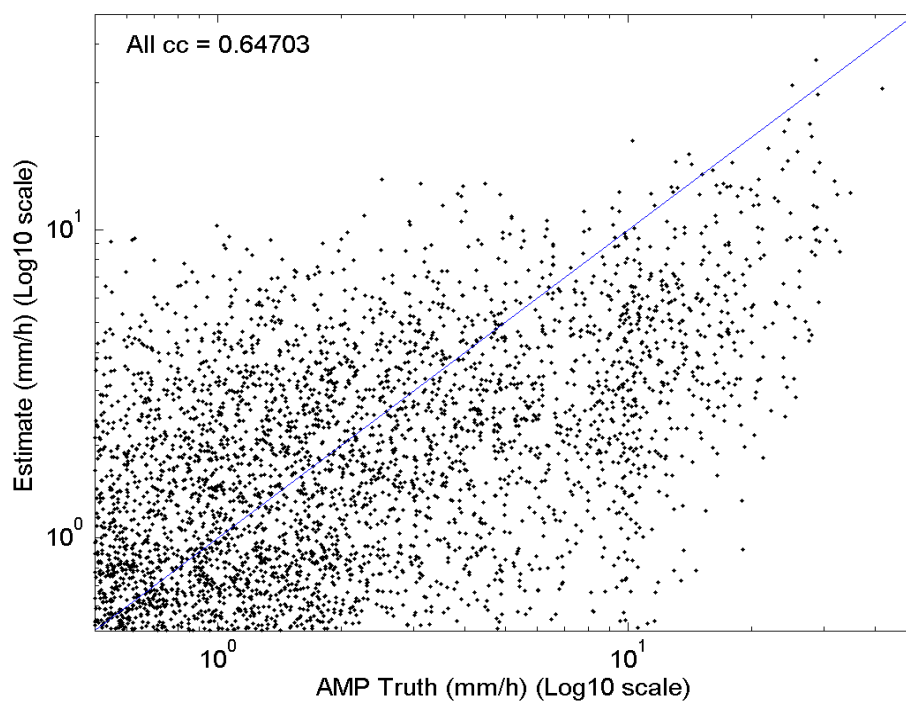
เกณฑ์ดีสำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าในช่วง 1 – 4 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูงสำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 4 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป กรณีของพื้นดิน อัลกอริทึมมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ดีสำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าในช่วง 1 – 32 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูงตั้งแต่ 32 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป แต่สำหรับพื้นน้ำอัลกอริทึมมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ดีสำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าในช่วง 1 – 4 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูงสำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 4 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ในส่วนของข้อมูลทั้งหมดมีลักษณะเดียวกันกับข้อมูลบนพื้นน้ำ



**รูปที่ 4.1** scatter plot อัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (แกนนอน) และที่ประมาณค่าได้ (แกนตั้ง) ในหน่วยมิลลิเมตรต่อชั่วโมง (สเกลลอกริทึมฐานสิบ) สำหรับการใช้อุปกรณ์ภาพถ่ายระยะไกลเดี่ยวสำหรับทุกกรณี a) ข้อมูลในเวลากลางวัน b) ข้อมูลในเวลากลางคืน



รูปที่ 4.2 เหมือนกับรูป 4.1 แต่สำหรับ a) ข้อมูลบนพื้นดิน b) ข้อมูลบนพื้นน้ำ



รูปที่ 4.3 เหมือนกับรูป 4.1 แต่สำหรับข้อมูลทั้งหมด

ตารางที่ 4.1 Root Mean Square Error (RMSE), Mean Error (AMP – ESTIMATE) ของอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) ที่ประมาณค่า สำหรับกลางวัน กลางคืน พื้นดิน พื้นน้ำ และข้อมูลทั้งหมด ช่วงแบ่งโดยหยาดน้ำฟ้า AMP สำหรับการใช้อุปกรณ์พยากรณ์อากาศแบบเดี่ยวทุกกรณี

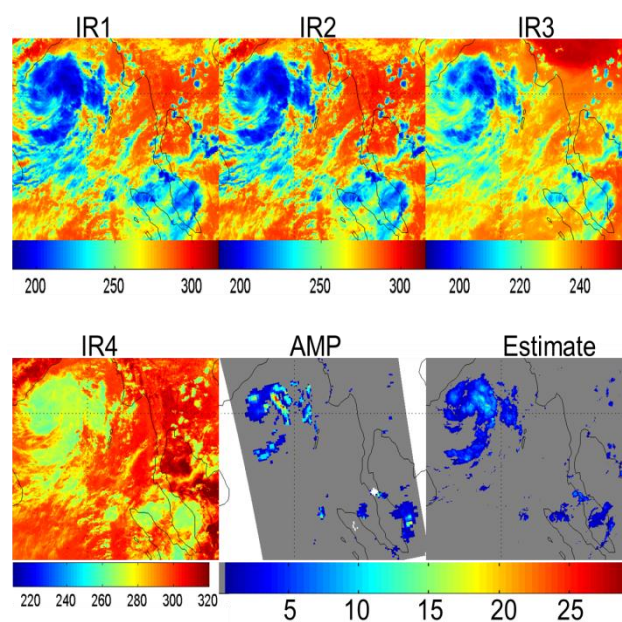
AMP Truth (mm/h)	RMSE (mm/h)					Mean Error (mm/h)				
	กลางวัน	กลางคืน	พื้นดิน	พื้นน้ำ	ข้อมูล ทั้งหมด	กลางวัน	กลางคืน	พื้นดิน	พื้นน้ำ	ข้อมูล ทั้งหมด
0.5 – 1	1.0486	1.3094	1.2879	1.0967	1.0841	0.1705	0.0659	-0.0660	0.1315	0.1496
1 – 2	1.4318	1.9514	1.6119	1.5180	1.5727	0.3823	0.0745	0.3014	0.2885	0.2152
2 – 4	2.1922	2.6309	2.4235	2.2495	2.2932	1.0299	0.3597	1.1271	0.9085	0.8296
4 – 8	4.0603	<b>3.9923</b>	4.3312	<b>3.8766</b>	<b>3.8440</b>	3.3220	2.2763	2.9341	2.9871	2.8478
8 – 16	8.2379	<b>7.6200</b>	8.1555	7.7773	7.7872	7.6058	6.5098	7.2932	6.7808	7.0451
16 – 32	<b>14.4110</b>	<b>14.9903</b>	17.0452	<b>13.5135</b>	<b>14.6296</b>	13.4527	<b>13.8917</b>	16.3161	<b>12.3378</b>	<b>13.3549</b>
32 – 64	<b>25.9089</b>	<b>27.6320</b>	<b>26.1019</b>	<b>30.1932</b>	<b>21.2763</b>	25.7195	27.0975	25.8244	26.9988	20.9498

หมายเหตุ

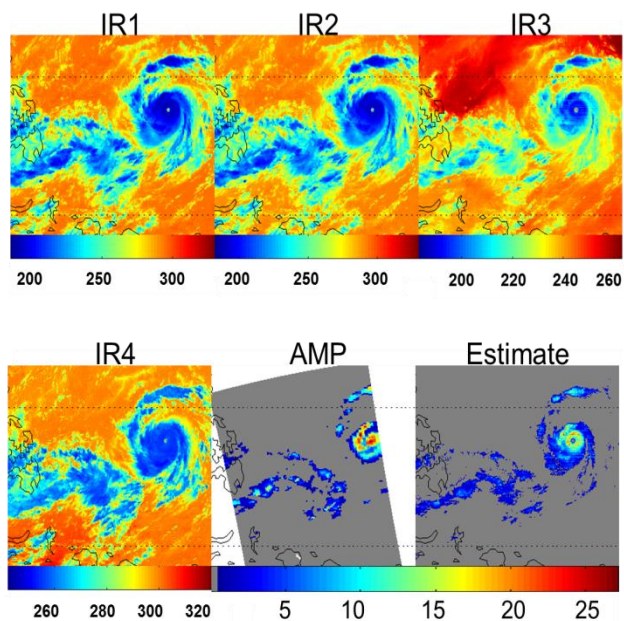
- ตัวอักษรแบบเอียง หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ต่ำ
- ตัวอักษรแบบธรรมดา หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ดี
- ตัวอักษรแบบหนา หมายถึง ช่วงของการประมาณค่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์สูง

#### 4.2 การประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP

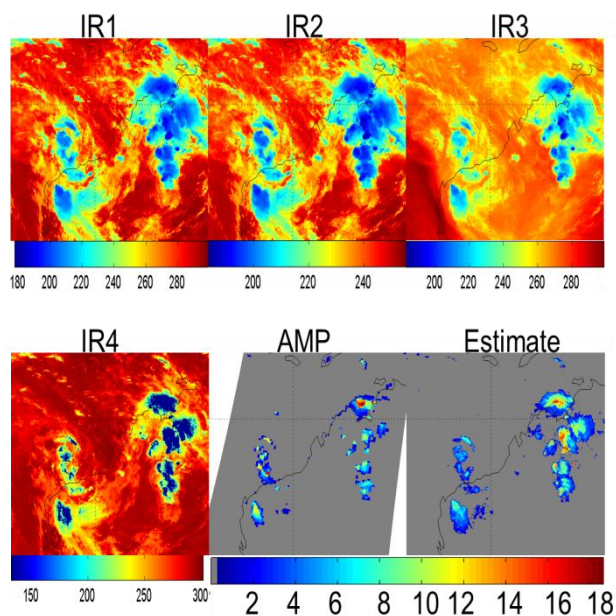
รูปที่ 4.4 – 4.7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิความสว่างจาก 4 ช่องสัญญาณอินฟราเรดของดาวเทียม MTSAT และผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP ที่เป็นค่าจริง ซึ่งมีเวลาต่างกัน 30 นาที ( $\pm 15$  นาที เทียบกับดาวเทียม MTSAT) การประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) โดยการใช้เครือข่ายประสาทเทียมเดียวสำหรับทุกกรณี จากรูปทั้งหมดจะเห็นว่าค่าหยาดน้ำฟ้าจากการประมาณมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีกับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP ทั้งในด้านตำแหน่งและสัณฐานของหยาดน้ำฟ้า แต่ผลการประมาณค่าพบมีความเอนเอียง (bias) ต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อย บางพื้นที่เกิด False alarms ทั้งนี้เกิดขึ้นเนื่องจากช่วงคลื่น infrared ไม่สามารถทะลุผ่านเมฆได้



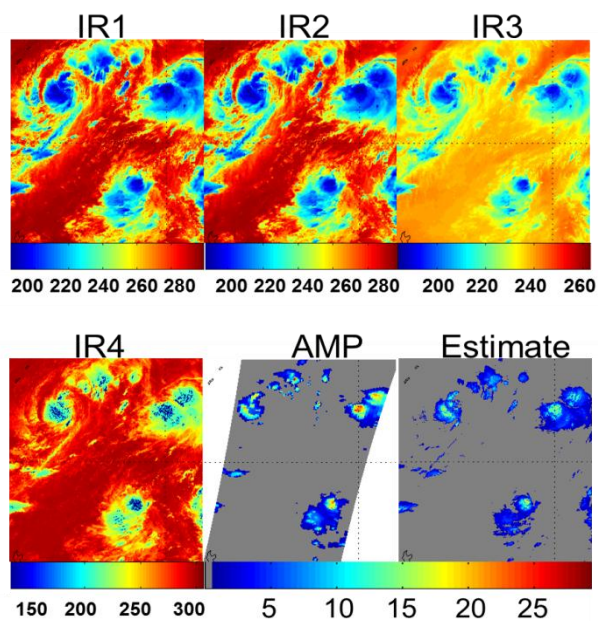
**รูปที่ 4.4** การเปรียบเทียบอุณหภูมิความสว่างจาก 4 ช่องสัญญาณอินฟราเรดของดาวเทียม MTSAT (เคลวิน) และผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP ที่เป็นค่าจริง กับการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) สำหรับพายุไซโคลนบิจลี (Bijli) ในมหาสมุทรอินเดียของวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2552 เวลา 07.30 UTC (เหตุการณ์ตอนกลางวันอ้างอิงตามเวลาท้องถิ่น) ศูนย์กลางภาพประมาณ 95°E/10°N



รูปที่ 4.5 เหมือนกับรูปที่ 4.4 แต่เป็นสำหรับพายุโซนร้อนนิด้า (Nida) ในมหาสมุทรแปซิฟิกของวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2552 เวลา 04.32 UTC (เหตุการณ์ตอนกลางวันอ้างอิงตามเวลาที่ท้องถิ่น) ศูนย์กลางภาพประมาณ  $140^{\circ}\text{E}/8^{\circ}\text{N}$



รูปที่ 4.6 เหมือนกับรูปที่ 4.4 แต่เป็นสำหรับกลุ่มพายุฝนบนพื้นดินบริเวณภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศออสเตรเลียในวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2552 เวลา 17.30 UTC (เหตุการณ์ตอนกลางคืนอ้างอิงตามเวลาที่ท้องถิ่น) ศูนย์กลางภาพประมาณ  $125^{\circ}\text{E}/10^{\circ}\text{S}$



รูปที่ 4.7 เหมือนกับรูปที่ 4.4 แต่เป็นสำหรับพายุฝนในทะเลบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย  
ฟิลิปปินส์ในวันที่ 5 กันยายน พ.ศ. 2552 เวลา 16.30 UTC (เหตุการณ์ตอนกลางคืนอ้างอิงตามเวลา  
ท้องถิ่น) ศูนย์กลางภาพประมาณ 145°E/15°N



## บทที่ 5

### บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การประมาณค่าของหยาดน้ำฟ้าโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิความสว่าง (Brightness temperature) จากดาวเทียมค้างฟ้าชนิดอินฟราเรด โดยในที่นี้คือดาวเทียม MTSAT ของประเทศญี่ปุ่น ดาวเทียม MTSAT สังเกตอยู่ 5 ช่องสัญญาณ ได้แก่ 1) ช่วงคลื่น Visible 0.55 – 0.90  $\mu\text{m}$  2) ช่วงคลื่นอินฟราเรด 10.30 – 11.30  $\mu\text{m}$  3) ช่วงคลื่นอินฟราเรด 11.50 – 12.50  $\mu\text{m}$  4) ช่วงคลื่นอินฟราเรดที่มีการดูดซับไอน้ำในอากาศ 6.50 – 7.00  $\mu\text{m}$  และ 5) ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ 3.50 – 4.00  $\mu\text{m}$  ช่องสัญญาณ Visible มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 กิโลเมตร ส่วนช่องสัญญาณอื่นๆ มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 4 กิโลเมตร สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้ข้อมูลเฉพาะช่องสัญญาณอินฟราเรดเท่านั้น เนื่องจากช่องสัญญาณ Visible มีการตอบสนองต่อหยาดน้ำฟ้าต่ำ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP ที่ประมาณค่าจากดาวเทียม NOAA – 18 ซึ่งดาวเทียมชนิดนี้เป็นดาวเทียมวงโคจรต่ำ สังเกตในช่วงคลื่นไมโครเวฟมีข้อดีคือสามารถมองเห็นทะลุเมฆได้ ทำให้ทราบหยาดน้ำฟ้าได้โดยตรง แต่แตกต่างกับดาวเทียมค้างฟ้าที่ใช้ช่วงคลื่นออฟติคัล ซึ่งไม่สามารถทะลุเมฆได้ทำให้ได้เฉพาะอุณหภูมิของวัตถุเท่านั้น ดาวเทียมประเภทนี้ข้อดีที่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงทิศทางของพายุและนำไปใช้สำหรับการเตรียมการป้องกันน้ำท่วมได้

วิทยานิพนธ์นี้ใช้เครือข่ายประสาทเทียมเป็นอัลกอริทึมสำหรับการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้า เนื่องจากข้อมูลอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียม MTSAT มีความสัมพันธ์แบบซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้นกับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า เครือข่ายประสาทเทียมถูกแยกพิจารณาออกเป็น 3 กรณีคือ 1) การใช้เครือข่ายประสาทเทียมแยกกันสำหรับกลางวันและกลางคืน 2) การใช้เครือข่ายประสาทเทียมแยกกันสำหรับพื้นดินและพื้นน้ำ และ 3) การใช้เครือข่ายประสาทเทียมเดียวสำหรับทุกกรณี ทั้งนี้ข้อมูลอุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียม MTSAT และอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP จากดาวเทียม NOAA – 18 เป็นข้อมูลที่ซ้อนทับกัน

เครือข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 1) input layer มี 4 โหนด คืออุณหภูมิความสว่าง 4 ช่องสัญญาณอินฟราเรด (K) 2) hidden layer ประกอบด้วย 3 ชั้น คือ ชั้นที่ 1 มี 5 โหนด ชั้นที่ 2 มี 10 โหนด และชั้นที่ 3 มี 2 โหนด กำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอนแต่ละชั้นเป็นแบบ Tan – sigmoid และ 3) output layer มี 1 โหนด คืออัตราการตกของหยาดน้ำฟ้า AMP (มิลลิเมตรต่อ

ชั่วโมง) ฟังก์ชันการถ่ายโอนเป็นแบบเชิงเส้น (linear) ข้อมูลแต่ละกรณีถูกสุ่มแบบไม่มีเงื่อนไขจำนวน 300,000 ตัวอย่าง และแบ่งออกเป็น 2 ชุดที่ไม่ขึ้นอยู่ต่อกัน ชุดหนึ่งเป็นข้อมูลฝึกร้อยละ 60 อีกชุดหนึ่งเป็นข้อมูลทดสอบร้อยละ 40

ผลการศึกษาพบว่าการประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าโดยการใช้เครือข่ายประสาทเทียมเดี่ยวสำหรับทุกกรณีให้ผลการประมาณค่าดีที่สุด ซึ่งค่าประมาณหยาดน้ำฟ้ามีประโยชน์สำหรับอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป และมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีกับผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า AMP ทั้งในด้านตำแหน่งและสัญญาณของหยาดน้ำฟ้า แต่มีความเอนเอียง (bias) ในทิศทางต่ำกว่า AMP เล็กน้อย ซึ่งเป็นช่องว่างที่สามารถพัฒนาให้มีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้นได้ต่อไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1) อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นมีความเอนเอียงต่ำจึงสามารถพัฒนาให้มีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้นได้ ซึ่งทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นใน hidden layer ของเครือข่ายประสาทเทียม และนอกจากนี้ยังขึ้นกับข้อมูลที่นำมาใช้ด้วย โดยวิทยานิพนธ์นี้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรด MTSAT 4 ช่องสัญญาณ ซึ่งหากมีจำนวนช่องสัญญาณและความละเอียดเชิงพื้นที่สูงขึ้นสามารถเพิ่มความถูกต้องของการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าสูงขึ้นได้

2) สำหรับข้อมูลดาวเทียมที่ให้ความแม่นยำสูงสำหรับการประมาณค่าอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้าคือดาวเทียมค้างฟ้าในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งดาวเทียมค้างฟ้ามีข้อดีที่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของพายุในพื้นที่หนึ่งตลอดเวลาได้ ส่วนช่วงคลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านเมฆได้ ทำให้ตรวจวัดหยาดน้ำฟ้าโดยตรง แต่ปัจจุบันยังไม่มีดาวเทียมดวงใดที่มีลักษณะดังกล่าว จึงควรมีการพัฒนาดาวเทียมค้างฟ้าในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการเตือนภัยน้ำท่วม

3) หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน หรือหน่วยงานป้องกันสาธารณภัยต่างๆ สามารถนำข้อมูลอัตราการตกของหยาดน้ำฟ้านี้ไปใช้สำหรับการวางแผนต่างๆ ได้

## เอกสารอ้างอิง

- ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. “สเปกตรัมที่มองเห็นได้.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/explorescience/light/index.htm> (วันที่ 4 มกราคม 2556).
- ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ (LESA). (2003). “คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.rmutphysics.com/PHYSICS/oldfront/100/2/emw1.htm> (วันที่ 24 ธันวาคม 2555).
- ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. (2555). “สรุปลักษณะอากาศรายปี.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.tmd.go.th/climate/climate.php?FileID=5> (วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2556).
- ศูนย์สารสนเทศ ราชบัณฑิตยสถาน. (2542). “ดาวเทียม.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://rirs3.royin.go.th/new-search/word-search-all-x.asp> (วันที่ 10 กรกฎาคม 2555).
- สุชญา เขียร โภคกุล และ วุฒิพร ลิขิตอนุสรณ์. (2010). “คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation)”. (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.thaigoodview.com/node/85029> (24 ธันวาคม 2555).
- สำนักข่าวออนไลน์ไทยพับลิก้า. (2554). “ธนาคารโลกประเมินน้ำท่วมเสียหาย 1.36 ล้านล้านบาท และใช้เงินฟื้นฟูอีกกว่า 7 แสนล้าน”. (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://thaipublica.org/2011/12/world-bank-flood-damage/> (วันที่ 7 มกราคม 2556).
- Arkin, P. A. (1979). "The relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array." *Monthly Weather Review*, 106, 1153–1171.
- Beale, M. H., Hagan, M. T., and Demuth, H. B. (2010). *Neural Network toolbox 7 User's Guide*, The MathWorks, Inc.
- 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.
- G. DELGADO, LUIZ A. T. MACHADO, CARLOS F. ANGELIS, MARCUS J. BOTTINO, Á. REDAÑO, J. LORENTE, L. GIMENO, and NIETO, R. (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*, 47, 1500-1517.

- Gilberto A. Vicente, Roderick A. Scofield, and Menzel, W. P. (1988). "The Operational GOES Infrared Rainfall Estimation Technique." *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(9), 1883-1898.
- Gunter's space page. (2012). "NOAA 18, 19 (NOAA N, N')." (Online) A variable on [http://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/noaa-n.htm](http://space.skyrocket.de/doc_sdat/noaa-n.htm) (4 January 2013).
- Janowiak, J. E., Joyce, R. J., and Yarosh, Y. (2001). "A Real-Time Global Half-Hourly Pixel-Resolution Infrared Dataset and Its Applications." *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(2), 205-217.
- Japan Meteorological Agency. (2005). "New geostationary meteorological satellite-Multi-functional Transport Satellite (MTSAT) series." japan.
- 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.
- KOU-LIN HSU, XIAOGANG GAO, SOROOSH SOROOSHIAN, and GUPTA, H. V. (1997). "Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks." *J Appl Meteorol Clim*, 36, 1176-1190.
- Lovejoy, S., and Austin, G. L. (1979). "The delineation of rain areas from visible and IR satellite data for GATE and mid-latitudes." *Atmosphere-Ocean*, 17(1), 77-92.
- Meteorological Satellite Center (MSC) of JMA. "MTSAT and its Functions." (Online) A variable on <http://mscweb.kishou.go.jp/general/system/gms/index.htm> (15 January 2013).
- M.K. Yamamoto, A. H., CEReS. (2010). "MTSAT Gridded Dataset release note & dataset documentations." Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University.
- National Imagery and Mapping Agency (NIMA). (2000). "DEPARTMENT OF DEFENSE WORLD GEODETIC SYSTEM 1984, Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems."
- Oceanworld. (2004). "Satellites: SATELLITE OCEANOGRAPHY and TOPEX/Poseidon." (Online) A variable on <http://oceanworld.tamu.edu/students/satellites/satellite1.htm> (10 July 2012).
- Pratt, T., Bostain, C. W., and Allnutt, J. E. (2003). *Satellite Communications*, John Wiley & Sons.

- R. TARRUELLA, and JORGE, J. (2003). "COMPARISON OF THREE INFRARED SATELLITE TECHNIQUES TO ESTIMATE ACCUMULATED RAINFALL OVER THE IBERIAN PENINSULA." *Int J Climatol*, 23, 1757–1769.
- shunji murai (1975). *REMOTE SENSING NOTE*, Japan Association on Remote sensing.
- Soroosh Sorooshian, Kuo-Lin Hsu, Xiaogang Gao, Hoshin V. Gupta, Bisher Imam, and Braithwaite, D. (2000). "Evaluation of PERSIANN System Satellite-Based Estimates of Tropical Rainfall." *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(9), 2035-2046.
- Staelin, D. H., and Surussavadee, C. (2007). "Precipitation Retrieval Accuracies for Geo-Microwave Sounders." *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 45(10), 3150-3159.
- Su, G., Xin, X., Liu, Q., and Zhou, B. (2009). "Remote sensing of cloud cover in the high altitude region from MTSAT-1R data during the HEI'HE experiment." *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05. Proceedings. 2005 IEEE International*, III-623–III-626.
- Surussavadee, C. "AMSU MIT Precipitation Retrieval Products (AMP)." (Online) A variable 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), IEEE International*, 2777-2780.
- 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." *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 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." *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 46(1), 109-118.
- Surussavadee, C., and Staelin, D. H. (2009). "Satellite Retrievals of Arctic and Equatorial Rain and Snowfall Rates Using Millimeter Wavelengths." *Geoscience and Remote Sensing, 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 Clim.*, 49, 124-135.
- Surussavadee, C., and Staelin, D. H. (2010b). "Correcting microwave precipitation retrievals for near-surface evaporation." *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05. Proceedings. 2005 IEEE International*, 1312-1315.
- Surussavadee, C., and Staelin, D. H. (2011). "Evaporation Correction Methods for Microwave Retrievals of Surface Precipitation Rate." *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 49(12), 4763-4770.
- Thu, N. V., and Sohn, B. J. (2010). "Half-hourly Rainfall Monitoring over the Indochina Area from MTSAT Infrared Measurements: Development of Rain Estimation Algorithm using an Artificial Neural Network." *Journal of the Korean Earth Science Society*, 31(5), 465 - 474.
- wunderground.com. "Tropical Storm Melor." (Online) A variable on <http://www.wunderground.com/hurricane/wp200920.asp> (14 August 2012).
- YANG HONG, DAVID GOCHIS, JIANG-TAO CHENG, KUO-LIN HSU, and SOROOSH SOROOSHIAN (2007). "Evaluation of PERSIANN-CCS Rainfall Measurement Using the NAME Event Rain Gauge Network." *JOURNAL OF HYDROMETEOROLOGY*, 8, 469-482.

**ภาคผนวก**

**ภาคผนวก ก**



ตารางภาคผนวก ก ตัวอย่างการแปลงค่าจาก Digital Number เป็นอุณหภูมิความสว่าง (K) สำหรับ  
ช่องสัญญาณ IR

Digital Number				Brightness Temperature (Kelvin, K)			
IR1	IR2	IR3	IR4	IR1	IR2	WV	NIR
0	0	0	0	330.06	330.07	300.03	320.01
30	30	36	42	327.69	327.47	298.52	318.88
60	59	71	82	325.29	324.91	297.02	317.76
89	88	105	121	322.92	322.32	295.52	316.63
117	116	138	158	320.60	319.78	294.03	315.52
144	143	170	194	318.32	317.29	292.54	314.4
171	170	201	228	316.01	314.76	291.06	313.31
197	196	230	261	313.74	312.29	289.64	312.21
222	221	259	293	311.52	309.87	288.18	311.11
247	245	287	323	309.26	307.52	286.73	310.03
271	269	314	352	307.06	305.12	285.30	308.96
294	292	340	380	304.91	302.79	283.88	307.88
317	315	365	407	302.72	300.42	282.48	306.81
339	337	389	433	300.59	298.12	281.09	305.73
360	358	412	458	298.52	295.88	279.73	304.66
381	379	435	482	296.41	293.61	278.32	303.60
401	399	457	505	294.37	291.41	276.94	302.54
421	419	478	527	292.29	289.17	275.59	301.49
440	438	498	548	290.27	287.00	274.26	300.45
459	457	518	568	288.22	284.80	272.90	299.42
477	475	537	587	286.24	282.67	271.56	298.41
495	493	555	606	284.22	280.51	270.26	297.36
512	510	573	624	282.27	278.43	268.92	296.33

529	527	590	641	280.28	276.31	267.62	295.32
545	543	606	657	278.38	274.28	266.36	294.33
561	559	622	673	276.44	272.21	265.07	293.31
576	574	637	688	274.58	270.23	263.81	292.31
591	589	652	702	272.68	268.21	262.52	291.35
605	603	666	716	270.88	266.30	261.29	290.35
619	617	680	729	269.04	264.35	260.01	289.38
632	630	693	742	267.29	262.50	258.79	288.38
645	643	706	754	265.51	260.61	257.53	287.42
658	656	718	766	263.69	258.69	256.33	286.42
670	668	730	777	261.98	256.89	255.10	285.47
682	680	741	788	260.23	255.04	253.94	284.49
694	692	752	798	258.44	253.16	252.74	283.55
705	703	763	808	256.76	251.40	251.50	282.59
716	714	773	817	255.05	249.60	250.34	281.68
727	725	783	826	253.30	247.77	249.15	280.74
737	735	792	835	251.68	246.07	248.04	279.77
747	745	801	843	250.01	244.33	246.89	278.87
757	755	810	851	248.31	242.56	245.71	277.93
766	764	818	859	246.75	240.92	244.63	276.96
775	773	826	866	245.15	239.26	243.52	276.07
784	782	834	873	243.51	237.56	242.37	275.15
792	791	842	880	242.02	235.81	241.18	274.19
800	799	849	886	240.50	234.23	240.11	273.34
808	807	856	892	238.94	232.62	239.00	272.45
816	815	863	898	237.35	230.96	237.86	271.53
823	822	869	903	235.92	229.48	236.85	270.73

830	829	875	908	234.46	227.97	235.81	269.91
837	836	881	913	232.97	226.42	234.73	269.05
844	843	887	918	231.43	224.84	233.62	268.16
850	850	892	923	230.09	223.22	232.66	267.23
856	856	897	927	228.71	221.8	231.68	266.45
862	862	902	931	227.31	220.35	230.66	265.65
868	868	907	935	225.86	218.86	229.61	264.82
874	874	912	939	224.38	217.34	228.53	263.96
879	879	917	943	223.12	216.04	227.40	263.06
884	884	921	946	221.83	214.71	226.47	262.36
889	889	925	949	220.50	213.35	225.51	261.63
894	894	929	952	219.15	211.96	224.52	260.88
899	899	933	955	217.75	210.53	223.5	260.1
904	904	937	958	216.32	209.07	222.43	259.29
908	909	940	961	215.15	207.57	221.61	258.45
912	913	943	964	213.95	206.33	220.77	257.57
916	917	946	967	212.72	205.07	219.9	256.65
920	921	949	969	211.46	203.78	219.00	256.02
924	925	952	971	210.16	202.46	218.07	255.36
928	929	955	973	208.83	201.10	217.11	254.68
932	933	958	975	207.46	199.7	216.12	253.98
935	936	961	977	206.41	198.62	215.09	253.25
938	939	964	979	205.33	197.52	214.01	252.49
941	942	966	981	204.23	196.40	213.27	251.71
944	945	968	983	203.10	195.25	212.51	250.89
947	948	970	985	201.93	194.07	211.73	250.03
950	951	972	986	200.74	192.85	210.93	249.59

953	954	974	987	199.51	191.61	210.09	249.14
956	957	976	988	198.25	190.33	209.23	248.67
959	960	978	989	196.95	189.01	208.35	248.19
962	963	980	990	195.60	187.65	207.42	247.71
964	965	982	991	194.68	186.72	206.47	247.2
966	967	983	992	193.74	185.77	205.97	246.69
968	969	984	993	192.77	184.79	205.47	246.16
970	971	985	994	191.78	183.79	204.96	245.61
972	973	986	995	190.76	182.77	204.43	245.05
974	975	987	996	189.71	181.72	203.90	244.47
976	977	988	997	188.64	180.64	203.35	243.87
978	979	989	998	187.53	179.53	202.79	243.25
980	981	990	999	186.39	178.39	202.22	242.61
982	983	991	1000	185.21	177.21	201.63	241.95
983	984	992	1001	184.61	176.6	201.02	241.26
984	985	993	1002	183.99	175.99	200.4	240.54
985	986	994	1003	183.37	175.37	199.77	239.79
986	987	995	1004	182.73	174.73	199.11	239.00
987	988	996	1005	182.08	174.08	198.44	238.18
988	989	997	1006	181.42	173.43	197.75	237.32
989	990	998	1007	180.75	172.75	197.03	236.42
990	991	999	1008	180.06	172.07	196.29	235.46
991	992	1000	1009	179.35	171.37	195.53	234.45
992	993	1001	1010	178.64	170.66	194.73	233.37
993	994	1002	1011	177.9	169.93	193.91	232.21
994	995	1003	1012	177.15	169.19	193.06	230.97
995	996	1004	1013	176.38	168.43	192.17	229.62

996	997	1005	1014	175.59	167.65	191.24	228.15
997	998	1006	1015	174.78	166.85	190.26	226.52
998	999	1007	1016	173.95	166.03	189.24	224.71
999	1000	1008	1017	173.10	165.19	188.17	222.66
1000	1001	1009	1018	172.22	164.33	187.03	220.27
1001	1002	1010	1019	171.32	163.44	185.83	217.42
1002	1003	1011	1020	170.38	162.52	184.55	213.85
1003	1004	1012	1021	169.42	161.58	183.18	209.01
1004	1005	1013	1022	168.42	160.61	181.70	201.22
1005	1006	1014	1023	167.39	159.6	180.09	131.99
1006	1007	1015	65535	166.32	158.56	178.33	131.99
1007	1008	1016		165.20	157.47	176.38	
1008	1009	1017		164.04	156.35	174.18	
1009	1010	1018		162.83	155.17	171.66	
1010	1011	1019		161.55	153.94	168.69	
1011	1012	1020		160.21	152.66	165.02	
1012	1013	1021		158.80	151.30	160.17	
1013	1014	1022		157.30	149.88	152.70	
1014	1015	1023		155.70	148.36	129.99	
1015	1016	65535		153.99	146.74	129.99	
1016	1017			152.14	145.01		
1017	1018			150.12	143.14		
1018	1019			147.90	141.09		
1019	1020			145.43	138.83		
1020	1021			142.60	136.30		
1021	1022			139.30	133.41		
1022	1023			135.27	129.99		

1023	65535			129.99	129.99		
65535				129.99			

ภาคผนวก ข

ตารางภาคผนวก ข ตัวอย่างการแปลงค่าจาก Digital Number เป็นเปอร์เซ็นต์การสะท้อนสำหรับ  
ช่องสัญญาณ VIS

Digital Number	Albedo (%)
0	-0.10
1023	100.00
65535	100.00



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายวีรนนท์ สงสม  
 รหัสประจำตัวนักศึกษา 5430220008  
 วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีการศึกษาที่สำเร็จ
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2553

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

วีรนนท์ สงสม และ ชินวัชร สุรัสวดี. 2555. "อัลกอริทึมประมาณค่าหยาดน้ำฟ้าสำหรับดาวเทียมค้างฟ้าอินฟราเรดแบบพาสซีฟที่ถูกฝึกด้วยผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้าทั่วโลก AMP." การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครั้งที่ 3 วันที่ 23 พฤศจิกายน 2555 ณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่, 23-27.