



กรมฝนหลวงและการบินเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

โครงการประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ภาคตะวันออก

Radar Rainfall Estimation over the East of Thailand



ตุลาคม 2557

รายงานฉบับสมบูรณ์

1. ชื่อโครงการ: ประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ภาคพื้นดิน

Radar rainfall estimation over the eastern of Thailand

2. หน่วยงานรับผิดชอบ:

กลุ่มวิชาการปฏิบัติการฝนหลวง กองปฏิบัติการฝนหลวง กรมฝนหลวงและการบินเกษตร
กองวิจัยและเทคโนโลยีฝนหลวง กรมฝนหลวงและการบินเกษตร

3. ที่ปรึกษาโครงการ

นายวรารุช	ชั้นดียานนท์	อธิบดีกรมฝนหลวงและการบินเกษตร
นายวัฒนา	สุกาญจนาเศรษฐ์	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ

4. คณะผู้วิจัย

4.1 หัวหน้าโครงการ

นายภักดี	จันทร์เกษ	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ
----------	-----------	------------------------

กลุ่มวิชาการปฏิบัติการฝนหลวง กองปฏิบัติการฝนหลวง

4.2 นักวิจัยร่วมโครงการ

นายฉันทิ	เดชโยธิน	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ
ศูนย์ฝนหลวงหัวหิน กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีฝนหลวง		
นายสุกิจ	ปานแก้ว	ผู้ช่วยวิจัย
นายสฤษชัย	เอี่ยมประเสริฐ	ผู้ช่วยวิจัย

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยฯ นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการประเมินปริมาณน้ำฝนจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ตรวจอากาศ สถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ซึ่งมีรัศมีการตรวจวัดครอบคลุมพื้นที่ทั่วทั้งภาคตะวันออก จำนวนทั้งสิ้น 8 จังหวัด กับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่การตรวจวัดของเรดาร์ภายในรัศมี 240 กิโลเมตร อันนำไปสู่การสร้างกระบวนการหรือกลไกในการบริหารจัดการน้ำในบรรยากาศให้สอดคล้องกับความต้องการของพื้นที่รับน้ำในพื้นที่ภาคตะวันออก ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมและอุตสาหกรรมหลักที่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย

ในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี และข้อมูลปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร จำนวน 50 สถานี และกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 112 สถานี ในช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน (R) กับข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) (Z-R Relationship) ที่ระดับความสูงความสูงต่างๆ จากพื้นดิน จำนวนข้อมูลเหตุการณ์ฝนรวม 211 เหตุการณ์ แบ่งออกเป็นเหตุการณ์สำหรับการสอบเทียบ (Calibration) จำนวน 105 เหตุการณ์ และเหตุการณ์สำหรับการทวนสอบ (Verification) จำนวน 106 เหตุการณ์ จากการศึกษาพบว่าการประเมินฝนจากข้อมูลการตรวจวัดของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ สมการที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในการประเมินฝน คือ สมการ $Z=201.R^{1.5}$ โดยใช้ค่า Z ที่เหมาะสม ณ ระดับความสูง 1.75 กิโลเมตรจากพื้นดิน และมีค่าอยู่ในช่วง $15 \text{ dBZ} \leq Z \leq 53 \text{ dBZ}$ ที่ระดับให้ค่าความถูกต้องมากกว่าสมการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ผลการศึกษาที่ได้จากโครงการวิจัยฯ นี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของการปฏิบัติการฝนหลวง ตลอดจนการใช้สมการ Z-R ที่เสนอแนะในการประเมินฝนจากเรดาร์ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณฝนเรดาร์ที่มีความถูกต้องมากกว่าการใช้สมการ $Z=300R^{1.4}$ และ $Z=200R^{1.6}$

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ภาคตะวันออก สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตรในการสนับสนุนทุนการศึกษาวิจัย และคณะผู้บริหารของกรมฝนหลวงและการบินเกษตรที่ให้โอกาสในการดำเนินการศึกษาวิจัยแก่นักวิทยาศาสตร์ในหน่วยงานฯ ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่อนุเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณฝนในพื้นที่ภาคตะวันออก ขอขอบคุณที่พัฒนาสำหรับคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ขอขอบคุณหัวหน้าสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ จังหวัดชลบุรี น้องต๋ม พี่หน้อย น้องโชค รวมทั้งเจ้าหน้าที่สถานีเรดาร์ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในเรื่องข้อมูลดิบเรดาร์ และการจัดเจ้าหน้าที่ในการติดตั้งสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน รวมทั้งการลงพื้นที่เพื่อสอบเทียบระบบและการบันทึกข้อมูลปริมาณฝน ขอขอบคุณพี่เปิ้ล น้องนุ่น สำหรับการดำเนินการเรื่องเอกสารและการเบิกจ่ายต่างๆ ของงานวิจัย ขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์ฝนหลวงหัวหินและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง ในการสนับสนุนคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผล TITAN และขอบคุณฟางในการช่วยอ่านข้อมูลดิบเรดาร์ ขอขอบคุณน้องสัณชัย เอี่ยมประเสริฐ ในการทำแผนที่บนพิกัดภูมิศาสตร์ (GIS) ขอขอบคุณคณะผู้ร่วมวิจัยในโครงการศึกษาฯ ที่ร่วมดำเนินการโครงการวิจัยด้วยความวิริยะ อุตสาหะ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ได้ให้แนวคิดในการศึกษาและเป็นกำลังใจในการทำงานตลอดมา กราบขอบพระคุณคณาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ญาติพี่น้อง ครอบครัวและเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือคอยกระตุ้นและคอยเป็นกำลังใจ อันเป็นพลังที่สำคัญที่ทำให้เกิดความมุ่งมั่น และความพยายามที่จะทำให้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ประสบความสำเร็จตามจุดมุ่งหมาย คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานในการปฏิบัติการฝนหลวง และการวิจัยเกี่ยวกับการประเมินน้ำฝนโดยเรดาร์ตรวจอากาศในประเทศไทยต่อไป

นายภักดี จันทรเกษ
หัวหน้าคณะวิจัย
ตุลาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	viii
สารบัญรูป	x
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1-1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	1-2
1.3.1 พื้นที่ศึกษา	1-2
1.3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	1-3
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	1-4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-4
1.6 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย	1-5
บทที่ 2 การตรวจเอกสารและแนวคิดทฤษฎี	2-1
2.1 ลักษณะภูมิอากาศและการเกิดฝนในประเทศไทย	2-1
2.2 การศึกษาเกี่ยวกับการเกิดเมฆและกระบวนการการเกิดฝน	2-4
2.2.1 การเกิดเมฆ	2-4
2.2.1.1 การจำแนกชนิดของเมฆ	2-5
1) เมฆชั้นสูง (High clouds)	2-6
2) เมฆชั้นกลาง (Middle clouds)	2-6
3) เมฆชั้นต่ำ (Low clouds)	2-6
4) เมฆก่อตัวในแนวตั้ง (Cloud of vertical development)	2-6
2.2.1.2 วงจรชีวิตของเมฆ	2-7
1) ระยะก่อตัว (Cumulus stage)	2-7
2) ระยะเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature stage)	2-7
3) ระยะสลายตัว (Dissipation stage)	2-8
2.2.2 กระบวนการการเกิดฝน	2-9
2.2.2.1 สาเหตุของการเกิดฝน	2-9
1) ฝนที่เกิดจากการพาความร้อน (Convective precipitation)	2-9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2) ฝนเกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านภูเขา (Orographic precipitation)	2-10
3) ฝนที่เกิดจากมรสุม (Monsoon Precipitation)	2-11
4) ฝนเกิดจากพายุหมุนเขตร้อน (Cyclonic precipitation)	2-11
2.2.2.2 การเกิดฝน	2-13
1) กระบวนการเกิดฝนในเมฆอุ่น (Warm rain process)	2-13
2) กระบวนการเกิดฝนในเมฆเย็น (Cold rain process)	2-14
2.3 เรดาร์ตรวจอากาศ	2-15
2.3.1 สมการเรดาร์	2-15
2.3.2 การแสดงผลการตรวจวัดกลุ่มฝนจากเรดาร์ตรวจอากาศ	2-22
2.4 การตรวจอากาศชั้นบน	2-23
2.4.1 การตรวจอากาศชั้นบน	2-23
2.4.2 ดัชนีเสถียรภาพอากาศ	2-26
2.5 เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในโครงการ	2-29
2.5.1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)	2-29
บทที่ 3 พื้นที่ศึกษาและชุดข้อมูล	3-1
3.1 พื้นที่ศึกษา	3-1
3.1.1 ลักษณะภูมิประเทศในภาคตะวันออกของประเทศไทย	3-1
3.1.2 ลักษณะภูมิอากาศในภาคตะวันออกของประเทศไทย	3-3
3.1.3 การใช้ประโยชน์ที่ดินภาคตะวันออก	3-4
3.2 สถานีเรดาร์ฝนหลวงสัทธิ์	3-6
3.3 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝน	3-13
3.3.1 เครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร	3-13
3.3.2 เครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา	3-14
3.4 การคัดเลือกเหตุการณ์ฝน	3-26
3.4.1 การคัดเลือกเหตุการณ์ฝนจากวันที่มีฝนตกลงเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ (กรมฝนหลวงและการบินเกษตร)	3-26
3.4.2 การคัดเลือกเหตุการณ์ฝนจากวันที่มีฝนตกลงเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ (กรมอุตุนิยมวิทยา)	3-29
บทที่ 4 วิธีการดำเนินการวิจัย	4-1
4.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย	4-1

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.1 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ตรวจอากาศ	4-1
4.1.2 การรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	4-1
4.1.2.1 ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z)	4-1
4.1.2.2 ปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา	4-1
1) ข้อมูลน้ำฝนกรมฝนหลวงและการบินเกษตร	4-1
2) ข้อมูลน้ำฝนกรมอุตุนิยมวิทยา	4-3
4.1.3 การจัดการฐานข้อมูลสำหรับการจับคู่ Z - R และการคัดแยกข้อมูล สำหรับการสอบเทียบ และทวนสอบ	4-4
4.1.4 วิเคราะห์หาความสูงที่เหมาะสมสำหรับใช้ประเมินฝนจากสถานีเรดาร์ ฝนหลวงสถิติ	4-4
4.1.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับ ของเรดาร์ (Z)	4-5
4.1.6 ศึกษาความคลาดเคลื่อนของการประเมินฝนที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) และประเมินค่า ความลำเอียงของฝนจากเรดาร์ (อัตราส่วน G/R) เมื่อเปรียบเทียบกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝน	4-5
4.1.7 เสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับ ของเรดาร์ (Z) ที่เหมาะสมในการประเมินฝนสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติ	4-6
4.1.8 ทดสอบความเชื่อมั่นทางสถิติและความถูกต้องของแบบจำลองในการประเมิน ปริมาณฝน	4-6
4.1.9 การแสดงผลการประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์บนหน้าบระบบ ข้อมูลสารสนเทศ สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร	4-7
4.1.10 สรุปผลการศึกษาและเสนอข้อคิดเห็น	4-7
 บทที่ 5 ผลการศึกษาการวิเคราะห์สมการการประเมินฝนด้วยเรดาร์ภาคตะวันออก	 5-1
5.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์สมการการประเมินฝนด้วยเรดาร์	5-1
5.2 ผลการตรวจสอบข้อมูลเรดาร์สถิติที่ระดับความสูงต่างๆ	5-8
5.3 ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและค่าพารามิเตอร์ Z	5-9
5.4 การคัดเลือกสมการการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติ	5-11
5.5 ผลการตรวจสอบความเชื่อมั่นสมการการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับสถานีเรดาร์ ฝนหลวงสถิติ	5-12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	6-1
6.1 สรุปผลการศึกษา	6-1
6.1.1 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิจัยข้อมูลความชื้นฝน (R) และ ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z)	6-1
6.1.2 การกำหนดจุดติดตั้ง และสอบเทียบเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ	6-1
6.1.3 การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความชื้นฝนและ ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์	6-2
6.1.4 การศึกษาความคลาดเคลื่อนของการประเมินฝนที่ได้จากสมการ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฝนและค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์	6-2
6.1.5 การเสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฝนและค่าการสะท้อนกลับ ของเรดาร์ที่เหมาะสมในการประเมินฝนจากสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัทธิ์	6-3
6.1.6 การประยุกต์แบบจำลองเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำฝนของสถานี เรดาร์ฝนหลวงสัทธิ์ ระบบสารสนเทศกรมฝนหลวงและการบินเกษตร	6-3
6.2 ข้อเสนอแนะ	6-5
เอกสารอ้างอิง	7-1
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
ภาคผนวก ค	
ภาคผนวก ง	
ภาคผนวก จ	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.6-1 แสดงการดำเนินงานโครงการวิจัยฯ	1-5
2.1-1 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณฝนของประเทศไทยในฤดูกาลต่างๆ และจำนวนวันฝนตกตลอดปีในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514 – 2543)	2-3
2.2-1 เกณฑ์การจำแนกชนิดของเมฆโดยพิจารณาจากลักษณะของเมฆ (WMO)	2-7
2.3-1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินฝนด้วยเรดาร์ (Z-R Relationship) ในประเทศไทยและภูมิภาคอื่นๆ	2-19
2.3-2 เปรียบค่าความแรงของฝนที่วัดจากเรดาร์และที่วัดจากเครื่องวัดน้ำฝน	2-21
2.3-3 ค่า Z กับรูปแบบของ Hydrometeors และรูปแบบของ Precipitation	2-21
2.5-1 การแปลผลของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยใช้เกณฑ์ของ Hinkle, Wiersma & Jurs (2003) (Rule of Thumb for Interpreting the Size of a Correlation Coefficient)	2-30
3.1-2 สถิติปริมาณน้ำฝน (มม.) ของภาคตะวันออกในฤดูกาลต่างๆ	3-3
3.1-1 สถิติอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของภาคตะวันออกในฤดูกาลต่างๆ	3-3
3.1-3 สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2550 ภาคตะวันออก	3-4
3.2-1 แสดงคุณสมบัติของเรดาร์ ณ สถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ	3-7
3.2-2 ตารางรายละเอียดของข้อมูลเรดาร์ที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557	3-9
3.3-1 แสดงตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนภาคตะวันออก (กรมฝนหลวงและการบินเกษตร) และข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557	3-17
3.3-2 แสดงตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนภาคตะวันออก (กรมอุตุนิยมวิทยา) และข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557	3-20
3.4-1 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือกเพื่อใช้ในการศึกษาปี พ.ศ. 2557	3-26
3.4-2 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือก (ข้อมูลปริมาณฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา) เพื่อใช้ในการศึกษาปี พ.ศ. 2557	3-29
4.2-1 เหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการศึกษาในโครงการวิจัยฯ	4-3
5.1-1 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ สำหรับการวิเคราะห์สมการประเมินฝนด้วยเรดาร์ชนิด Horizontal polarization ความถี่ S-band ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557	5-1

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.1-2	ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการทวนสอบ สำหรับการวิเคราะห์ สมการประเมินฝนด้วยเรดาร์ชนิด Horizontal polarization ความถี่ S-band ในวันที่มีฝนตก ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557	5-5
5.2-1	เปรียบเทียบค่า RMSE สมการ R(Z) เหตุการณ์สอบเทียบ ที่ระดับความสูง 1.0, 1.75, 2.5 และ 3.25 กิโลเมตร ของเหตุการณ์ฝนทั้งหมดของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (Z) ที่สอดคล้องกับ ข้อมูลตรวจวัดฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ในวันที่มีฝนตก ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557	5-8
5.3-1	ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ในการประเมินฝนของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสดหีบ	5-11
5.4-1	การเปรียบเทียบอัตราส่วน G/R ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ในการประเมินฝนของ สถานีเรดาร์ฝนหลวงสดหีบ	5-15
5.4-2	ผลเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของสมการความสัมพันธ์ในการประเมินฝนของสถานีเรดาร์ฝนหลวง สดหีบเมื่อเทียบกับสมการ $Z = 200R^{1.6}$ และ $Z = 300R^{1.4}$	5-16
6.1-1	เปรียบเทียบค่า RMSE เฉลี่ยและค่าความลำเอียงของการประเมินฝนจากเรดาร์ (อัตราส่วน G/R) เฉลี่ยที่ 4 ระดับความสูง ของสมการที่ได้จากการศึกษาเกี่ยวกับสมการ การประเมินฝนที่กรมฝนหลวงและการบินเกษตรใช้อยู่ในปัจจุบัน	6-3

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.3-1 สถานีเรดาร์ฝนหลวงสดหีบ อำเภอสดหีบ จังหวัดชลบุรี (ซ้าย) และพื้นที่ศึกษา โครงการวิจัยฯ (ขวา): พื้นที่ภาคตะวันออกและขอบเขตรัศมีทำการของเรดาร์สดหีบ 240 กิโลเมตร	1-3
2.1-1 แสดงร่องมรสุมและแนวทางเดินพายุหมุนเขตร้อนในประเทศไทยในช่วงเวลาต่างๆ	2-1
2.1-2 แสดงปริมาณฝนเฉลี่ยในกลุ่มน้ำ ได้คำนวณหาค่าเฉลี่ยจากเส้นชั้นน้ำฝน (Isohyetal) โดยใช้สถิติข้อมูลน้ำฝน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 - 2551 ในประเทศไทย	2-2
2.2-1 แสดงอนุภาคขนาดต่างๆ ในกระบวนการเกิดเมฆและเม็ดฝน	2-5
2.2-2 แสดงชนิดของเมฆจำแนกตามความสูงของเมฆ	2-5
2.2-3 แสดงวงจรชีวิตของเมฆ: Cumulus Stage, Mature Stage and Dissipating	2-8
2.2-4 แสดงขั้นตอนการเกิดฝนแบบพาความร้อน (Convective precipitation)	2-10
2.2-5 แสดงการเกิดฝนจากการเคลื่อนที่ผ่านภูเขา (Orographic precipitation)	2-10
2.2-6 แสดงแนวปะทะมวลอากาศอุ่น (Warm front)	2-11
2.2-7 แสดงแนวปะทะมวลอากาศเย็น (Cold front)	2-12
2.2-8 แสดงแนวปะทะมวลอากาศซ้อน (Occluded front)	2-12
2.2-9 แสดงแนวปะทะมวลอากาศคงที่ (Stationary front)	2-13
2.2-10 แสดงกระบวนการเพิ่มของเม็ดน้ำในเมฆอุ่น (Collision and Coalescence process)	2-14
2.2-11 แสดงกระบวนการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็งในเมฆเย็น (Bergeron process)	2-15
2.3-1 แสดงการสร้างโปรดัคซ์ CAPPI จากข้อมูลเชิงปริมาตร (Volume Scan)	2-22
2.3-2 ตัวอย่างภาพที่สร้างจากการตรวจแบบ CAPPI สถานีเรดาร์ฝนหลวงสดหีบ อ.สดหีบ จ.ชลบุรี วันที่ 4 เมษายน 2557 เวลา 14:00 (เวลาท้องถิ่น)	2-23
2.4-1 ระบบการทำงานของตรวจอากาศชั้นบน	2-24
2.4-2 แสดงเครื่องส่งวิทยุห้วงอากาศและเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูลหลัก (ก) เซ็นเซอร์ วัดความกดอากาศ (ข) เซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ และ (ค) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ	2-25
2.4-3 ตัวอย่างผลตรวจอากาศชั้นบน สถานีตรวจอากาศ อำเภอมกน้อย จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2555 ชนิดกราฟ Skew T – ln P	2-26
2.4-4 CAPE area เส้นสีแดง Dry adiabatic เส้นสีเขียว moist adiabatic	2-27
2.4-5 แสดงตัวอย่างผลการตรวจอากาศของ Lifted Index (LI)	2-28
3.1-1 แสดงลักษณะภูมิประเทศในภาคตะวันออกของประเทศไทย และรัศมีการตรวจวัดของเรดาร์ ฝนหลวงสดหีบที่ 240 กิโลเมตร	3-2
3.1-2 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2550 บริเวณภาคตะวันออก	3-5
3.2-1 สถานีเรดาร์ฝนหลวงสดหีบ จังหวัดชลบุรี (ขวา) และขอบเขตของพื้นที่ศึกษาภายใน รัศมีทำการ 240 กิโลเมตร จากสถานีเรดาร์สดหีบ (ซ้าย)	3-6

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.2-2	แสดงการตรวจวัดข้อมูลแบบเชิงปริมาตร (Volume Scan) จำนวน 14 มุมเงย ของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัทธิบ จังหวัดชลบุรี	3-7
3.2-3	ตัวอย่างภาพเรดาร์ CAPPI ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตร ของภาพความเข้มกลุ่มฝน (Z) ที่แสดงผลจากโปรแกรม RAINBOW5® ของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือก ข้อมูลวันที่ 2 มิถุนายน 2557 เวลา 15:36 - 18:36 น. (เวลาท้องถิ่น)	3-8
3.3-1	แสดงตัวอย่างของเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ (Automatic rain gauge) ภาคพื้นดินของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ติดตั้งที่ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา	3-13
3.3-2	แสดงตัวอย่างของเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ ภาคพื้นดินของกรมอุตุนิยมวิทยา (ระบบโทรมาตร) ติดตั้ง ณ องค์การบริหารส่วนตำบลท่าตูม อำเภอกะฉิมพร จ.พิจิตร	3-14
3.3-3	แสดงตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติภาคพื้นดินของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ที่ติดตั้งภายใต้รัศมีการตรวจวัดของเรดาร์สัทธิบ จังหวัดชลบุรี รัศมีทำการ 240 กิโลเมตร	3-15
3.3-4	แสดงตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติภาคพื้นดินของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ติดตั้งภายใต้รัศมีการตรวจวัด 160 กิโลเมตร ของสถานีเรดาร์สัทธิบ จังหวัดชลบุรี ซึ่งมีรัศมีทำการ 240 กิโลเมตร	3-16
4.1-1	แผนผังขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย	4-2
4.1-2	แสดงกริดข้อมูลเรดาร์ (Z) บนระนาบ X-Y (ระยะกริด 750 m x 750 m x 750 m) ณ ตำแหน่งการตรวจวัดที่สอดคล้องกับสถานีวัดน้ำฝน (จุดสามเหลี่ยม)	4-4
5.2-1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนที่ประเมินได้จากสมการเรดาร์ที่ระดับความสูง (ก) 1.0, (ข) 1.75, (ค) 2.5 และ (ง) 3.25 กิโลเมตร กับค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน ณ ตำแหน่งการตรวจวัดที่สอดคล้องกัน สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) ปี พ.ศ. 2557	5-9
5.5-1	แสดงความสัมพันธ์ของเหตุการณ์สอบเทียบที่ระดับความสูง (ก) 1.0, (ข) 1.75, (ค) 2.5 และ (ง) 3.25 กิโลเมตร (ซ้าย) เปรียบเทียบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (dBZ) กับความเข้มฝนจากเรดาร์จากสมการต่างๆ $Z=201R^{1.5}$, $Z=200R^{1.6}$ และ $Z=300R^{1.4}$ (mm/hr) กับความเข้มฝนจากสถานีวัดฝน (mm/hr) (ขวา)	5-13
5.5-2	แสดงความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ทวนสอบที่ระดับความสูง (ก) 1.0, (ข) 1.75, (ค) 2.5 และ (ง) 3.25 กิโลเมตร (ซ้าย) เปรียบเทียบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (dBZ) กับความเข้มฝนจากเรดาร์จากสมการต่างๆ $Z=201R^{1.5}$, $Z=200R^{1.6}$ และ $Z=300R^{1.4}$ (mm/hr) กับความเข้มฝนจากสถานีวัดฝน (mm/hr) (ขวา)	5-14

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.1-1	แสดงการประเมินปริมาณน้ำฝนของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ บนระบบสารสนเทศ กรมฝนหลวงและการบินเกษตร ศูนย์ฝนหลวงหัวหิน (กลุ่มวิจัยและพัฒนาฝนหลวง) ข้อมูล ณ วันที่ 27 พฤศจิกายน 2557	6-4
6.1-2	แสดงผลการเปรียบเทียบประเมินปริมาณน้ำฝน (สเกลสีทางด้านขวา ความสูงหน่วยเป็น มิลลิเมตร) ข้อมูล ณ วันที่ 27 พฤศจิกายน 2557 ก) การประเมินปริมาณฝนโดยใช้สมการ ความสัมพันธ์ $Z = 300R^{1.4}$ ข) การประเมินปริมาณฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ $Z = 201.R^{1.5}$ จะเห็นว่าพื้นที่ฝนตกและปริมาณน้ำฝนที่ประเมินได้แตกต่างกัน โดยที่ปริมาณฝนเรดาร์ ที่ประเมินได้จากสมการ $Z = 300R^{1.4}$ ที่กรมฝนหลวงและการบินเกษตรใช้อยู่ในปัจจุบัน มีค่า Under-estimation มากกว่าสมการ $Z = 201.R^{1.5}$ ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ของโครงการวิจัยฯ	6-5

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน หลายพื้นที่ของประเทศจึงมักประสบปัญหาน้ำท่วมฉับพลันตามฤดูกาล อุทกภัยมักเริ่มขึ้นในภาคเหนือแล้วค่อยขยายวงลงมาตามแม่น้ำเจ้าพระยาผ่านที่ราบภาคกลาง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตามแม่น้ำชีและมูลซึ่งไหลลงแม่น้ำโขง หรือในพื้นที่ลาดเขาชายฝั่งในภาคตะวันออกและภาคใต้ สำหรับภาคตะวันออก นอกจากปัญหาน้ำท่วมฉับพลันที่มักเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ยังประสบปัญหาภัยแล้งในพื้นที่เกษตรกรรมหลายๆ พื้นที่โดยเฉพาะในพื้นที่ลุ่มน้ำปราจีนบุรี และในจังหวัดระยองเนื่องจากการเติบโตของภาคอุตสาหกรรมภาคตะวันออกมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และมีแผนขยายเป็นอุตสาหกรรมปิโตรเคมีครบวงจร ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำมาก แหล่งน้ำหลักที่ภาคอุตสาหกรรมใช้อยู่ในปัจจุบันอยู่อย่างจำกัด และไม่สามารถรองรับต่อการขยายตัวดังกล่าว จึงส่งผลทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำทั้งในพื้นที่อุตสาหกรรม และพื้นที่เกษตรกรรม รวมทั้งปัญหาที่เกิดจากน้ำเค็มจากทะเลรุกล้ำน้ำจืดในหลายๆ พื้นที่ เช่น แม่น้ำบางปะกง เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากปัญหาในการขาดการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างถูกต้องและมีระบบ ส่วนหนึ่งมาจากการจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำต่างๆ จึงจำเป็นต้องทราบหรือสามารถคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่โดยรวมตามช่วงเวลาได้ ปัจจุบันมีเครื่องมือหลากหลายที่สามารถใช้ในการตรวจสอบสภาพอากาศ เรดาร์ตรวจอากาศเป็นเครื่องมือหนึ่งที่มีความนิยมอย่างแพร่หลาย และกรมฝนหลวงและการบินเกษตรได้มีการใช้งานระบบเรดาร์ตรวจอากาศมาตั้งแต่ปี 2535 จนถึงปัจจุบันกรมฝนหลวงและการบินเกษตรมีระบบเรดาร์เพื่อใช้ในการวางแผนและประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง จำนวน 7 สถานีครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนล่าง และภาคใต้ ด้วยคุณสมบัติของระบบเรดาร์ตรวจอากาศที่สามารถตรวจวัดกลุ่มเมฆฝน และติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนได้ภายในรัศมีการตรวจวัด อีกทั้งยังสามารถใช้ในการพยากรณ์อากาศระยะสั้นมาก (Nowcasting) สำหรับการเตือนภัยสภาพอากาศ และการบินปฏิบัติการฝนหลวงได้

ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา กรมฝนหลวงและการบินเกษตร ได้กำหนดให้จำนวนพื้นที่ที่ได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง เป็น “ตัวชี้วัด” หลักที่สำคัญ ข้อมูลดังกล่าวจะได้มาจากการตรวจวัดของเรดาร์ฝนหลวง ทั้งนี้เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่รับประโยชน์ และพื้นที่การปฏิบัติการฝนหลวงมากยิ่งขึ้น จึงได้มีการใช้ข้อมูลของเรดาร์กรมอุตุนิยมวิทยาในการประเมินพื้นที่ฝนตกด้วย ดังนั้นเพื่อให้การบริหารจัดการน้ำในบรรยากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องมากที่สุดจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเพื่อประเมินปริมาณน้ำฝนโดยเรดาร์ตรวจอากาศอย่างจริงจัง อันจะเกิดประโยชน์อย่างมากต่อภาพรวมของการจัดทำแผนปฏิบัติการฝนหลวงประจำปี ทำให้เกิดความคุ้มค่าต่อการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน ตลอดจนสามารถบูรณาการการบริหารจัดการด้านทรัพยากรน้ำกับหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง อาทิ กรมชลประทาน และกรมอุตุนิยมวิทยาในการประเมินสถานการณ์ เป็นต้น

วัตถุประสงค์ในการศึกษาของโครงการวิจัยฯ นี้คือ เพื่อศึกษาวิธีการประเมินปริมาณน้ำฝนจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ตรวจอากาศ สถานีเรดาร์ฝนหลวงสดหีบ อำเภอสดหีบ จังหวัดชลบุรี ซึ่งมีรัศมีการตรวจวัดครอบคลุมพื้นที่เกือบทั่วทั้งภาคตะวันออก และบางส่วนของภูมิภาคอื่นๆ จำนวนทั้งสิ้น 22 จังหวัด กับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่การตรวจวัดของเรดาร์ดังกล่าว เพื่อนำไปสู่การสร้างกระบวนการหรือกลไกในการ

บริหารจัดการน้ำในบรรยากาศให้สอดคล้องกับความต้องการของพื้นที่รับน้ำ โดยสามารถนำมาใช้ในการปรับแผนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวันเพื่อช่วยเหลือเกษตรกร และประชาชนอย่างเป็นระบบได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยฯ มีดังต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อศึกษา รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศ และข้อมูลสถานีตรวจวัดน้ำฝนในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทย

1.2.2 เพื่อศึกษาการประเมินปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ตรวจอากาศในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทย

1.2.3 เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองการประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์บนระบบสารสนเทศ กรมฝนหลวงและการบินเกษตร

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 พื้นที่ศึกษา

โครงการวิจัยฯ นี้ได้ใช้ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี และข้อมูลปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และกรมอุตุนิยมวิทยา ภายในรัศมี 240 กิโลเมตร ของสถานีเรดาร์ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ในจังหวัดต่างๆ ทั่วทั้งพื้นที่ภาคตะวันออก บางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และบางส่วนของภาคกลางตอนล่าง ได้แก่ ชลบุรี ระยอง จันทบุรี ตราด นครนายก ปราจีนบุรี สระแก้ว นครราชสีมา ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ราชบุรี กาญจนบุรี สุพรรณบุรี นครปฐม สมุทรสงคราม สมุทรสาครสมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา สระบุรี และจังหวัดอ่างทอง ดังแสดงในรูปที่ 1.3-1 ภาคตะวันออกมักประสบปัญหาภัยน้ำท่วมฉับพลันตามฤดูกาลในบริเวณพื้นที่ลาดเขาชายฝั่งของภาคตะวันออก รวมทั้งการประสบปัญหาภัยแล้งในพื้นที่เกษตรกรรมหลายๆ พื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่ลุ่มน้ำปราจีนบุรี และในจังหวัดระยอง เนื่องจากการเติบโตของภาคอุตสาหกรรมภาคตะวันออกมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ปัญหาน้ำเค็มจากทะเลรุกล้ำน้ำจืดในแม่น้ำสายหลัก เช่น แม่น้ำบางปะกง ซึ่งปัญหาต่างๆ เหล่านี้ จำเป็นต้องมีการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างถูกต้องและมีระบบ ซึ่งข้อมูลสำคัญที่จำเป็นต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบหรือสามารถคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่โดยรวมตามช่วงเวลาได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาวิธีการประเมินฝนในบริเวณพื้นที่ภาคตะวันออกให้มีความถูกต้องแม่นยำ ซึ่งข้อมูลฝนที่ประเมินได้อย่างถูกต้องจะมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการใช้เป็นข้อมูลสำหรับการบริหารจัดการน้ำของพื้นที่ภาคตะวันออกได้ต่อไป



รูปที่ 1.3-1 สถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี (ซ้าย) และพื้นที่ศึกษาโครงการวิจัยฯ (ขวา): พื้นที่ภาคตะวันออกและขอบเขตรัศมีทำการของเรดาร์สัตหีบ 240 กิโลเมตร

1.3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

โครงการวิจัยฯ นี้ได้ใช้ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี และข้อมูลปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และกรมอุตุนิยมวิทยา ในวันที่มีฝนตก ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 ดังนี้

1) ศึกษา รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูล Volume files (Gematronik volume file format) ของระบบเรดาร์ ดอปเพลอร์ ความถี่ S Band สถานีเรดาร์ฝนหลวง อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี และการแปลงข้อมูล Meteorological Data Volume (MDV) โดยโปรแกรม TITAN (Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting) ให้อยู่บนระบบพิกัดแบบคาทีเซียน

2) ทำการกำหนดจุด ติดตั้ง และสอบเทียบ สถานีวัดน้ำฝนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ภายใต้รัศมีทำการของเรดาร์สัตหีบ 240 กิโลเมตร ติดตั้งตามสถานที่ราชการที่ทางสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบได้ติดต่อประสานงานไว้จำนวน 50 สถานี รวมทั้งการลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลน้ำฝนอย่างต่อเนื่อง (ยังไม่มีระบบ Data Telemetry ในการส่งข้อมูลน้ำฝนแบบอัตโนมัติ)

3) การประสานงานขอข้อมูลน้ำฝน ราย 1 ชั่วโมง จากกรมอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ภาคตะวันออก ซึ่งอยู่ในรัศมีทำการของระบบเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ 160 กิโลเมตร จำนวน 112 สถานี ทำการตรวจสอบข้อมูล และจัดเรียงข้อมูลก่อนการประมวลผล

1.3.3 ทำการวิเคราะห์ และประเมินน้ำฝนจากเรดาร์ตรวจอากาศ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน (R) กับข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) (Z-R Relationship) ที่เหมาะสม สำหรับสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ

1.3.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองการประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ สำหรับสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติบบนระบบสารสนเทศ กรมฝนหลวงและการบินเกษตร

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ตรวจอากาศ จากวารสารวิชาการที่ตีพิมพ์ทั้งในและต่างประเทศ

1.4.2 รวบรวมข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ที่ตรวจวัดได้จากสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติบ ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 ในรูปแบบ Volume files (Gematronik volume file format)

1.4.3 การแปลงข้อมูลเรดาร์ Volume files ด้วยโปรแกรม TITAN เป็นรูปแบบ Meteorological Data Volume (MDV) บนระบบพิกัดแบบคาที่เขียน

1.4.4 พัฒนาโปรแกรมในการอ่านข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) จากข้อมูลการตรวจวัดเชิงปริมาตรแบบ MDV files เทียบกับจุดติดตั้งสถานีวัดน้ำฝน

1.4.5 กำหนดจุด ติดตั้ง และสอบเทียบสถานีวัดฝน ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร โดยทำการติดตั้งในรัศมีทำการ 240 กิโลเมตร และลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลในวันที่มีฝนตก ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง กันยายน พ.ศ. 2557

1.4.6 รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนภายใต้รัศมีทำการของเรดาร์ฝนหลวงสถิติบ 160 กิโลเมตร ของกรมอุตุนิยมวิทยาในปี พ.ศ.2557

1.4.7 พัฒนาโปรแกรมเพื่อประมวลผลการอ่านค่าปริมาณน้ำฝน และแปลงข้อมูลน้ำฝนสะสม เป็นรายคาบทุก 1 ชั่วโมง

1.4.8 การจัดการฐานข้อมูลสำหรับการจับคู่ Z - R และการคัดแยกข้อมูลสำหรับการสอบเทียบและทวนสอบ และการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ประเมินฝนจากสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติบ

1.4.9 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z)

1.4.10 ศึกษาความคลาดเคลื่อนของการประเมินฝนที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) และประเมินค่าความลำเอียงของฝนจากเรดาร์ (อัตราส่วน G/R) เมื่อเปรียบเทียบกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝน

1.4.11 เสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ที่เหมาะสมในการประเมินฝนสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติบ

1.4.12 ทดสอบความเชื่อมั่นทางสถิติและความถูกต้องของแบบจำลองในการประเมินปริมาณฝน

1.4.13 การแสดงผลการประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์บนหน้าบบระบบข้อมูลสารสนเทศ สำนักฝนหลวง และการบินเกษตร

1.4.14 สรุปผลการศึกษาและเสนอข้อคิดเห็น

1.4.15 จัดทำรายงานผลการวิจัยและบทความวิจัยเผยแพร่

รายละเอียดวิธีการดำเนินงานวิจัยในแต่ละข้อข้างต้นจะนำเสนอในบทที่ 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาโครงการวิจัยนี้ มีดังต่อไปนี้

1.5.1 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศ (Z-R Relationship) ที่สามารถใช้ประเมินปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน ในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทยได้

1.5.2 การสร้างต้นแบบและพัฒนาแบบจำลองในการประเมินน้ำฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศภาคตะวันออกเพื่อขยายผลสู่ภูมิภาคอื่นๆ ของประเทศไทย

1.5.3 สามารถนำแบบจำลองไปใช้ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ ที่สามารถแสดงและเข้าถึงได้ผ่านทางระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

1.6 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

รายละเอียดของการดำเนินงานโครงการวิจัยฯ ดังรายละเอียด ตารางที่ 1.6-1

ตารางที่ 1.6-1 แสดงการดำเนินงานโครงการวิจัยฯ

รายละเอียดการดำเนินการ	ปี พ.ศ. 2557										
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
1.4.1 ศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ตรวจอากาศ จากวารสารวิชาการที่ตีพิมพ์ทั้งในและต่างประเทศ			←			→					
1.4.2 รวบรวมข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ที่ตรวจวัดได้จากสถานีเรดาร์ฝนหลวงสดตึบ ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 ในรูปแบบ Volume files (Gematronik volume file format)					←			→			
1.4.3 การแปลงข้อมูลเรดาร์ Volume files ด้วยโปรแกรม TITAN เป็นรูปแบบ Meteorological Data Volume (MDV) บนระบบพิกัดแบบคาที่เขียน					←			→			
1.4.4 พัฒนาโปรแกรมในการอ่านข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) จากข้อมูลการตรวจวัดเชิงปริมาตร แบบ MDV files เทียบกับจุดติดตั้งสถานีวัดน้ำฝน				←				→			
1.4.5 กำหนดจุดติดตั้ง และสอบเทียบสถานีวัดฝน ของกรมฝนหลวง และการบินเกษตร โดยทำการติดตั้งในรัศมีทำการ 240 กิโลเมตร และลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลในวันที่มีฝนตก ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง กันยายน พ.ศ. 2557					←				→		
1.4.6 รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนภายใต้รัศมีทำการของเรดาร์ฝนหลวงสดตึบ 160 กิโลเมตร ของกรมอุตุนิยมวิทยาในปี พ.ศ.2556				←					→		
1.4.7 พัฒนาโปรแกรมเพื่อประมวลผลการอ่านค่าปริมาณน้ำฝน และแปลงข้อมูลน้ำฝนสะสม เป็นรายคาบทุก 1 ชั่วโมง					←						
1.4.8 การจัดมาตรฐานข้อมูลสำหรับการจับคู่ Z - R และการคัดแยกข้อมูลสำหรับการสอบเทียบและทวนสอบ และการวิเคราะห์หาความสูงตรวจวัดที่เหมาะสมสำหรับใช้ประเมินฝนจากสถานีเรดาร์ฝนหลวงสดตึบ								←		→	
1.4.9 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z)									←		→
1.4.10 ศึกษาความคลาดเคลื่อนของการประเมินฝนที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) และประเมินค่าความลำเอียงของฝนจากเรดาร์ (อัตราส่วน G/R) เมื่อเปรียบเทียบกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝน										←	→
1.4.11 เสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ที่เหมาะสมในการประเมินฝนจากสถานีเรดาร์ฝนหลวงสดตึบ										←	→

1.4.12 ทดสอบความเชื่อมั่นทางสถิติและความถูกต้องของแบบจำลองใน การประเมินปริมาณฝน										↔	
1.4.13 การแสดงผลการประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์บนหน้าบน ระบบข้อมูลสารสนเทศ สำนักฝนหลวงและการบินเขตร										↔	
1.4.14 สรุปผลการศึกษาและเสนอข้อคิดเห็น										↔	
1.4.15 จัดทำรายงานผลการวิจัยและบทความวิจัยเผยแพร่										↔	

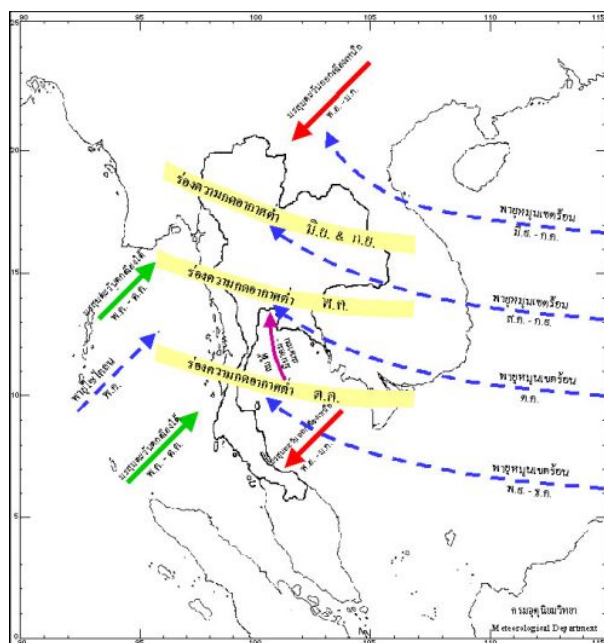
บทที่ 2

การตรวจเอกสารและแนวคิดทฤษฎี

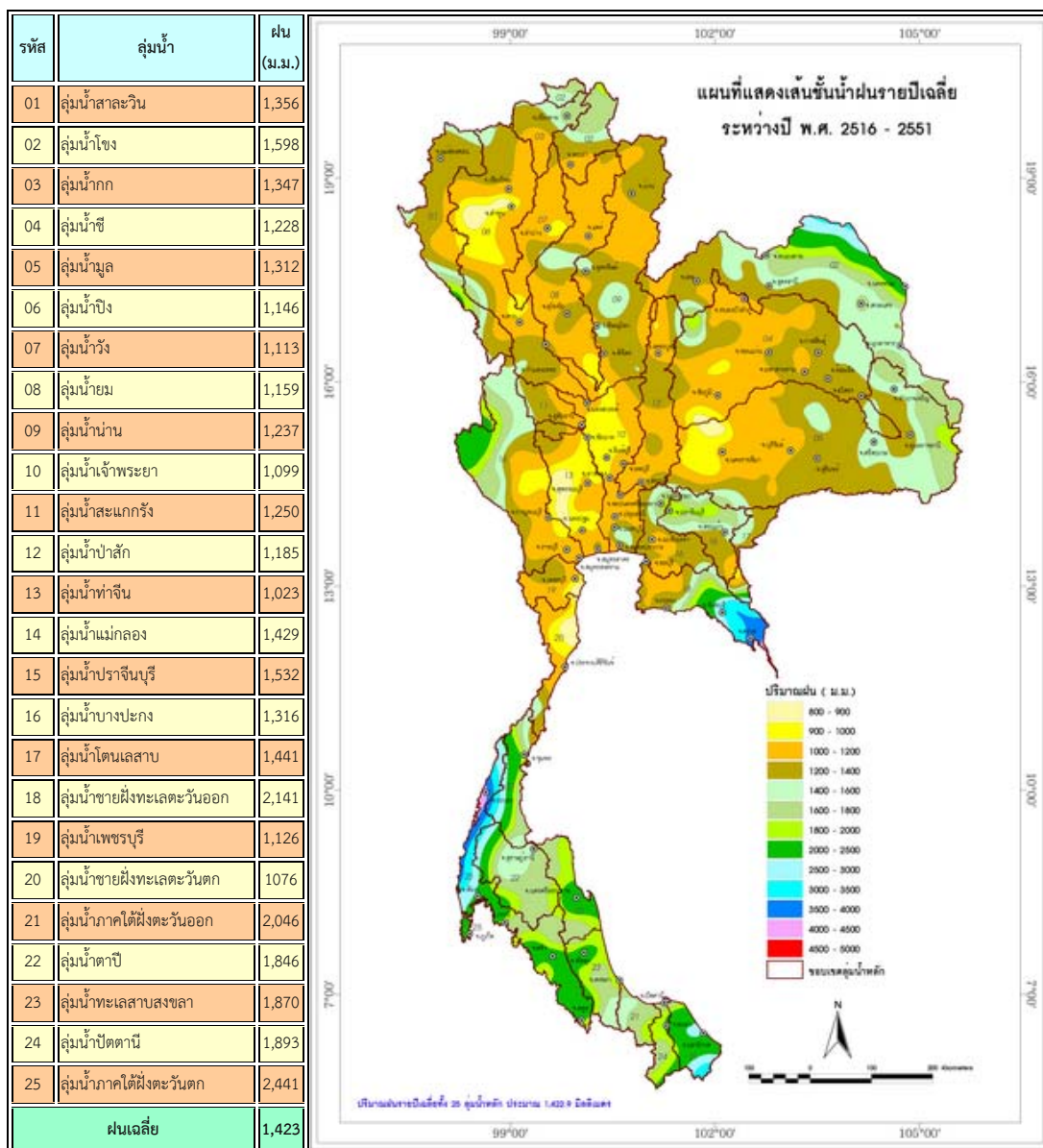
การตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยฯ แบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ ด้วยกัน ได้แก่ 1) ลักษณะภูมิอากาศและการเกิดฝนในประเทศไทย 2) การศึกษาเกี่ยวกับการเกิดเมฆและกระบวนการการเกิดฝน 3) เรดาร์ตรวจอากาศ และ 4) การตรวจอากาศชั้นบน และดัชนีเสถียรภาพอากาศ โดยมีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

2.1 ลักษณะภูมิอากาศและการเกิดฝนในประเทศไทย

สุจริต และคณะ (2550) ประเทศไทยจัดเป็นประเทศที่ฝนตกชุก มีฤดูฝน ยาวนาน มีความอุดมสมบูรณ์ในเรื่องน้ำ เนื่องจากตั้งอยู่ในภูมิประเทศที่เหมาะสมคืออยู่ในเขตร้อนชื้นใกล้เส้น ศูนย์สูตร และอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม แสดงดังรูปที่ 2.1-1 นอกจากนี้อาณาเขตทางด้านเหนืออยู่ติดกับประเทศใกล้เคียงที่มีภูเขาล้อมรอบ ทำให้พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยส่วนใหญ่อ่อนกำลังลงจนเป็นเพียงพายุดีเปรสชันที่ก่อฝนมากกว่าที่จะก่อให้เกิดความเสียหายที่เกิดจากลมที่พัดแรงจัดประเทศไทยจะสิ้นสุดฤดูร้อนและเข้าสู่ฤดูฝนประมาณกลางเดือนพฤษภาคม เป็นต้นไป จนถึงประมาณกลางเดือนตุลาคมจึงถือว่าสิ้นสุดฤดูฝนและเข้าสู่ฤดูหนาวซึ่งช่วงดังกล่าวจะมีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดพาความชื้นมาปกคลุมประเทศไทย (วิทย์, 2542) ปริมาณฝนรวมตลอดปีเฉลี่ยทั่วประเทศไทยมีค่าประมาณ 1,580 มิลลิเมตร (สุจริต และคณะ, 2550) และมีค่าเฉลี่ยต่อทุกกลุ่มน้ำ อยู่ที่ค่าประมาณ 1,423 มิลลิเมตร ดังแสดงปริมาณฝนเฉลี่ยในประเทศไทยในรูปที่ 2.1-2



รูปที่ 2.1-1 แสดงร่องมรสุมและแนวทางเดินพายุหมุนเขตร้อนในประเทศไทยในช่วงเวลาต่างๆ
(ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา)



รูปที่ 2.1-2 แสดงปริมาณฝนเฉลี่ยในลุ่มน้ำ ได้คำนวณหาค่าเฉลี่ยจากเส้นชั้นน้ำฝน (Isohyetal) โดยใช้สถิติข้อมูลน้ำฝน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 - 2551 ในประเทศไทย

(ที่มา: สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยากรมชลประทาน http://water.rid.go.th/hyd/hyd_isohyetal/hyd_isohyetal)

ปริมาณฝนในแต่ละพื้นที่ผันแปรตามฤดูกาลและเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะภูมิประเทศโดยบริเวณประเทศไทยตอนบนปกติจะแห้งแล้ง และมีฝนน้อยในฤดูหนาว เมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนปริมาณฝนจะเพิ่มขึ้นบ้าง พร้อมทั้งมีพายุฟ้าคะนอง และเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนปริมาณฝนจะเพิ่มขึ้นมาก โดยจะมีปริมาณฝนมากที่สุด ในเดือนสิงหาคมหรือกันยายน ภาคใต้มีฝนชุกเกือบตลอดปียกเว้นฤดูร้อน พื้นที่บริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันตก ซึ่งเป็นด้านรับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จะมีปริมาณฝนมากกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันออกในช่วงฤดูฝน โดยมีปริมาณฝนมากที่สุดในเดือนกันยายน ดังตารางที่ 2.1-1 สำหรับสาเหตุการเกิดฝนในประเทศไทย เกิดขึ้นได้จากสาเหตุหลายประการ สามารถจำแนกชนิดของฝนออกเป็นสาเหตุการเกิดได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ ฝนที่เกิดจากการพาความร้อน (Convictional precipitation), ฝนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านภูเขา (Orographic Precipitation), ฝนที่เกิดจากมรสุม (Monsoon Precipitation) และฝนเกิดจากพายุหมุนเขตร้อน

(Cyclonic Precipitation) ดูรายละเอียดของการเกิดฝน หัวข้อที่ 2.2.2 สำหรับองค์ประกอบและปัจจัยอื่นๆ ที่สนับสนุนให้เกิดฝนตก และเกิดขึ้นเป็นประจำ ได้แก่ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ หย่อมความกดอากาศต่ำ บริเวณความกดอากาศสูง คลื่นกระแสลมตะวันตก และคลื่นกระแสลมตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 2.1-1 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณฝนของประเทศไทยในฤดูกาลต่างๆ และจำนวนวันฝนตกตลอดปีในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514 – 2543) (ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (<http://www.tmd.go.th/>))

ภาค	ฤดูหนาว (มม.)	ฤดูร้อน (มม.)	ฤดูฝน (มม.)	ปริมาณฝนรวมตลอดปี (มม.)	จำนวนวันฝนตกตลอดปี (วัน)
เหนือ	105.5	182.5	952.1	1240.1	123
ตะวันออกเฉียงเหนือ	71.9	214.2	1,085.8	1371.9	117
กลาง	124.4	187.1	903.3	1214.8	113
ตะวันออก	187.9	250.9	1,417.6	1856.4	131
ใต้ฝั่งตะวันออก	759.3	249.6	707.3	1716.2	148
ใต้ฝั่งตะวันตก	445.9	383.7	1,895.7	2725.3	176
ค่าเฉลี่ย	282.5	244.7	1160.3	1687.5	135

ลมมรสุม (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2550) เป็นการหมุนเวียนส่วนหนึ่งของลมที่พัดตามฤดูกาล คือลมประจำฤดู เป็นลมแนทิศและสม่ำเสมอ คำว่า “มรสุม” หรือ Monsoon มาจากคำว่า Mausim ในภาษาอาหรับ แปลว่า ฤดูกาล (Season) สาเหตุใหญ่ๆ เกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นดิน และพื้นน้ำในฤดูหนาวอุณหภูมิของพื้นดินเย็นกว่า อุณหภูมิของน้ำในมหาสมุทร อากาศเหนือพื้นน้ำจึงมีอุณหภูมิสูงกว่า และลอยตัวขึ้นสู่เบื้องบน อากาศเหนือทวีปซึ่งเย็นกว่าไหลไปแทนที่ ทำให้เกิดเป็นลมพัดออกจากทวีป พอถึงฤดูร้อนอุณหภูมิของดินภาคพื้นทวีปร้อนกว่าน้ำในมหาสมุทร เป็นเหตุให้เกิดลมพัดในทิศทางตรงข้าม ลมมรสุมที่มีกำลังแรงจัดที่สุดได้แก่ ลมมรสุมที่เกิดในบริเวณภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย

ประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิด ได้แก่ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

1) ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

มรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทย ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม โดยมีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูง ในซีกโลกใต้บริเวณมหาสมุทรอินเดีย ซึ่งพัดออกจากศูนย์กลางเป็นลมตะวันออกเฉียงใต้ และเปลี่ยนเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้เมื่อพัดข้ามเส้นศูนย์สูตร มรสุมนี้จะนำมวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดียมาสู่ประเทศไทย ทำให้มีเมฆมากและฝนชุกทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามบริเวณชายฝั่งทะเล และเทือกเขาด้านรับลมจะมีฝนมากกว่าบริเวณอื่น

2) ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

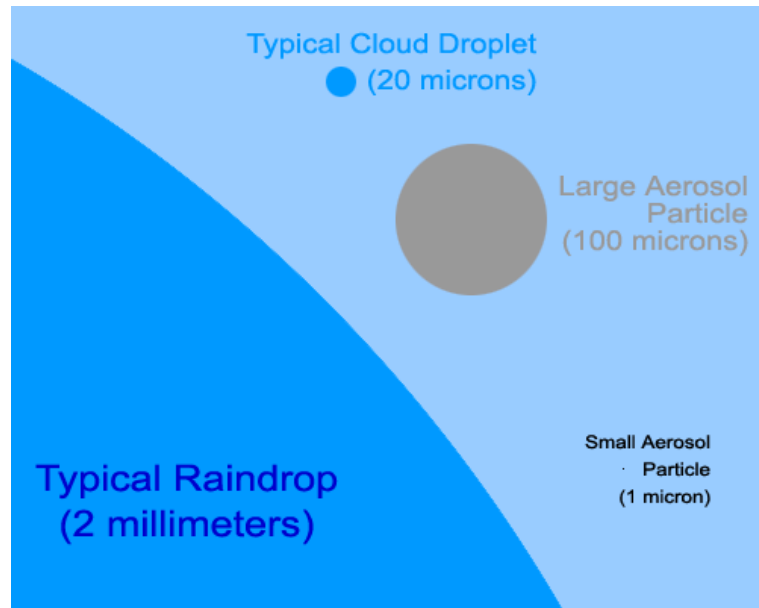
หลังจากหมดอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แล้ว ประมาณกลางเดือนตุลาคม จะมีมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทย จนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ มรสุมนี้มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงบนซีกโลกเหนือ แถบประเทศมองโกเลียและจีน จึงพัดพาเอามวลอากาศเย็น และแห้งจากแหล่งกำเนิดเข้ามาปกคลุมประเทศไทย ทำให้ท้องฟ้าโปร่ง อากาศหนาวเย็นและแห้งแล้งทั่วไป โดยเฉพาะภาคเหนือและภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนภาคใต้จะมีฝนชุกโดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันออก เนื่องจากมรสุมนี้นำความชื้นขึ้นจากอ่าวไทย เข้ามาปกคลุม การเริ่มต้นและสิ้นสุดมรสุมทั้งสองชนิดอาจผันแปรไปจากปกติได้ในแต่ละปี

2.2 การศึกษาเกี่ยวกับการเกิดเมฆและกระบวนการการเกิดฝน

2.2.1 การเกิดเมฆ

เมฆเกิดจากการรวมตัวหรือเกาะกลุ่มของไอน้ำ (Water vapor) ในอากาศค่อยๆ ลอยตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปอุณหภูมิของอากาศจะลดลงเฉลี่ย 1 องศาเซลเซียสต่อระดับความสูง 100 เมตร เมื่ออุณหภูมิของอากาศลดลง จนถึงจุดน้ำค้างอากาศจะอิ่มตัว (Saturation) จนไม่สามารถเก็บไอน้ำต่อไปได้ หากอุณหภูมียังคงลดต่ำลงไปอีก ไอน้ำจะควบแน่นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่าจุดเยือกแข็งแต่หยดน้ำยังคงสถานะเป็นของเหลวอยู่ได้ในสภาวะนี้จะเรียกว่า “น้ำเย็นยิ่งยวด” (Super-cooled water) เมื่อถึงระดับความสูงที่อุณหภูมิต่ำประมาณ -15 องศาเซลเซียส หยดน้ำจะเริ่มระเหยกกลับเป็นไอน้ำซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ และหลังจากนั้นจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งได้ซึ่งต้องอาศัยแกนน้ำแข็ง (Ice nuclei) เพื่อจับตัวเป็นผลึกน้ำแข็ง (Ice crystals) เมื่อขนาดของผลึกน้ำแข็งใหญ่ขึ้นเกินกว่าจะต้านทานแรงโน้มถ่วงของโลกได้ ผลึกน้ำแข็งจะค่อยๆ ลอยต่ำลง ระหว่างที่ลอยต่ำลงนั้นผลึกน้ำแข็งจะปะทะกับหยดน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งระดับล่างและเกิดการรวมตัวกันทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่มากขึ้นจนตกลงมา นอกจากปัจจัยทางด้านความดันและอุณหภูมิแล้ว การควบแน่นของไอน้ำยังจำเป็นต้องมี “พื้นผิว” ให้หยดน้ำ (Droplet) เกาะตัว ไอน้ำต้องการอนุภาคเล็กที่แขวนลอยอยู่ในอากาศเป็น “แกนควบแน่น” (Condensation nuclei) แกนควบแน่นเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ (Hygroscopic) เช่น ผุ่น ควัน หรืออนุภาคเกลือ ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.0002 มิลลิเมตร ในรูปที่ 2.2-1 ได้แสดงอนุภาคขนาดต่างๆ ในกระบวนการเกิดเมฆและเม็ดฝน หยดน้ำหรือละอองน้ำในก้อนเมฆ (Cloud droplet) ที่เกิดขึ้นครั้งแรกมีขนาดเล็กมากเพียง 0.02 มิลลิเมตร ละอองน้ำขนาดเล็กตกลงอย่างช้าๆ ด้วยแรงต้านของอากาศและระเหยกกลับเป็นไอน้ำเมื่ออยู่ได้ระดับความสูงลงมาไม่ถึงพื้นโลก ในกรณีที่มีกลุ่มอากาศยกตัวอย่างรุนแรงหยดน้ำเหล่านี้สามารถรวมตัวกันภายในก้อนเมฆจนมีขนาดใหญ่ประมาณ 0.05 มิลลิเมตร ถ้าหยดน้ำมีขนาด 2 มิลลิเมตร ก็จะมีน้ำหนักมากกว่าแรงพยุงของอากาศ และตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกสู่พื้นดินกลายเป็นฝนไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นเมฆก็ต่อเมื่อมีอนุภาคกลั่นตัวเล็กๆ อยู่เป็นจำนวนมากเพียงพอและไอน้ำจะเกาะตัวบนอนุภาคเหล่านี้รวมกันทำให้เกิดเป็นเมฆ เมฆจะกลั่นตัวเป็นน้ำฝนได้ก็ต้องมีอนุภาคแข็งตัว (Freezing nuclei) หรือเม็ดน้ำขนาดใหญ่ซึ่งจะดึงเม็ดน้ำขนาดเล็กมารวมตัวกันจนเป็นเม็ดฝน สภาวะของน้ำที่ตกลงมาจากท้องฟ้า อาจเป็นลักษณะของฝน ฝนละอองหิมะหรือลูกเห็บ ซึ่งรวมเรียกว่า “หยาดน้ำฟ้า” (Precipitation) ซึ่งถ้าอากาศด้านล่างมีอุณหภูมิต่ำจะตกลงมาเป็นเกล็ดหิมะ และตกลงเป็นฝนถ้าอากาศด้านล่างมีอุณหภูมิสูง การเกิดเมฆตั้งแต่ช่วงเริ่มก่อตัวเกิดเป็นพายุฝนและสลายตัวไปต้องอาศัยตัวแปรหรือปัจจัยทางฟิสิกส์ต่างๆ การศึกษาถึงตัวแปรหรือปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์และเครื่องมือที่ทันสมัยทางด้านอุตุนิยมวิทยา เครื่องมือที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ วิทยุหยั่งอากาศ เครื่องบินตรวจวัดเมฆฟิสิกส์ ระบบเรดาร์ตรวจอากาศ และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งสามารถตรวจวัดสภาพอากาศรวมถึงคุณสมบัติต่างๆ ของเมฆฝน เช่น สภาพอากาศชั้นบน กระแสอากาศ (Updraft และ Downdraft) ลักษณะรูปร่างและการเคลื่อนตัวของเมฆ ลักษณะของเมฆในแนวตั้ง ปริมาณน้ำในเมฆ (Liquid water content) ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดน้ำ (Drop size distribution) และความเข้มของกลุ่มฝน (Radar reflectivity) เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของเมฆต่างๆ เหล่านี้สามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกชนิดเมฆออกเป็นลักษณะหรือรูปแบบต่างๆ ได้

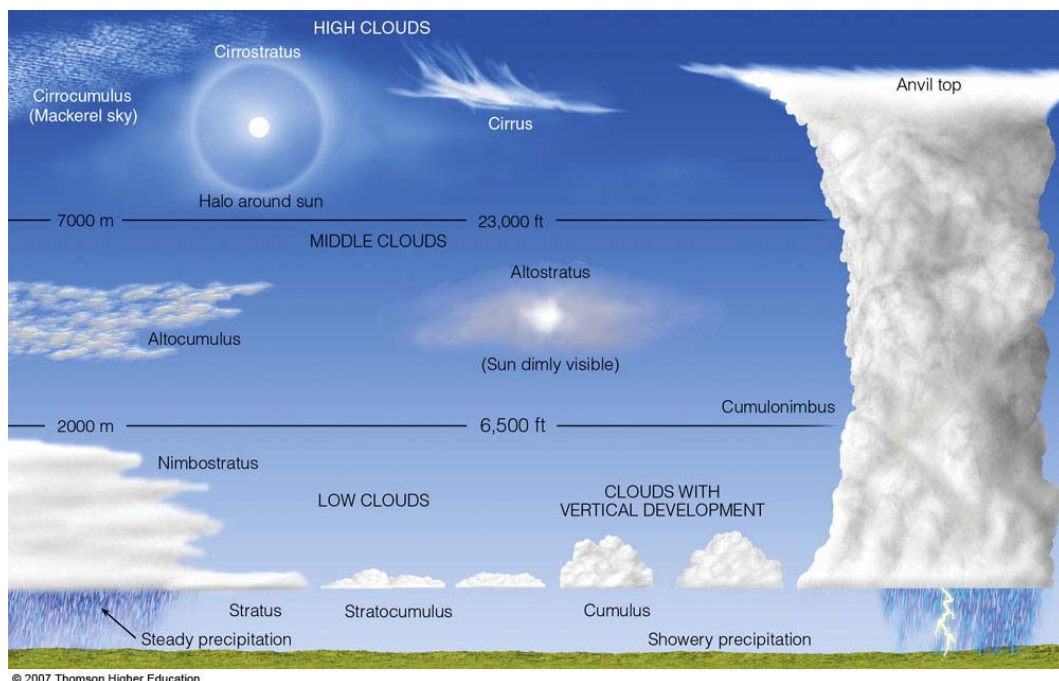


รูปที่ 2.2-1 แสดงอนุภาคขนาดต่างๆ ในกระบวนการเกิดเมฆและเม็ดฝน

(ที่มา: http://www.windowsuniverse.org/earth/Atmosphere/images/aerosol_raindrop_sizes_big.gif)

2.2.1.1 การจำแนกชนิดของเมฆ

องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) ได้กำหนดเกณฑ์ในการแบ่งชนิดเมฆเพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วโลก โดยใช้ความสูงของฐานเมฆเป็นหลัก ซึ่งได้ทำการแบ่งเมฆออกได้เป็น 4 ประเภท คือ เมฆชั้นสูง เมฆชั้นกลาง เมฆชั้นต่ำ และเมฆที่ก่อตัวตามแนวตั้ง เมฆแต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ โดยมีชื่อเรียกตามลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.2-2 แสดงชนิดของเมฆจำแนกตามความสูงของเมฆ

(ที่มา: http://www.atmos.washington.edu/~hakim/101/clouds/ahrens_0432.jpg)



1) เมฆชั้นสูง (High clouds) มีความสูงจากระดับพื้นดิน ตั้งแต่ 6,000 เมตร ขึ้นไป เป็นเมฆที่ไม่ก่อให้เกิดฝน ส่วนใหญ่จะเป็นเกล็ดน้ำแข็งและมีลักษณะการหมุนวนของอากาศภายในเมฆ (Turbulence) ด้วย เมฆในชั้นนี้ส่วนใหญ่ มักจะมีลักษณะเป็นก้อนเล็กๆ และมักจะค่อนข้างโปร่งแสง ได้แก่

- เมฆเซอร์โรคิวมูลัส (Cirrocumulus cloud) มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ไม่มีเงาปรากฏบนก้อนเมฆ บางส่วนของเมฆมีลักษณะคล้ายระรอกคลื่นเล็กๆ และเป็นเส้นผสมกัน เกิดเป็นแนวต่อเนื่องกัน หรือกระจายออกห่างจากกันอย่างเป็นระเบียบ เมฆชนิดนี้มีฐานเมฆสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 7,000 เมตร

- เมฆเซอร์โรสเตรทัส (Cirrostratus cloud) มีลักษณะเป็นเมฆแผ่นมีสีขาวโปร่งแสง เป็นผ้าบางๆ ราบเรียบสม่ำเสมอ เมฆชนิดนี้มีความสูงจากพื้นดินโดยเฉลี่ยประมาณ 8,500 เมตร

- เมฆเซอร์รัส (Cirrus cloud) มีลักษณะสีขาวปุย ค่อนข้างโปร่งแสง หรือมีลักษณะเป็นเส้นๆ ต่อเนื่องกันคล้ายขนนก เมฆชนิดนี้มีฐานสูงจากพื้นดินโดยเฉลี่ยประมาณ 10,000 เมตร

2) เมฆชั้นกลาง (Middle clouds) มีความสูงจากระดับพื้นดินตั้งแต่ 2,000 เมตร ถึง 6,000 เมตร เมฆจะประกอบด้วยละอองน้ำและละอองน้ำเย็นยิ่งยวด เป็นเมฆที่ก่อให้เกิดละอองฝน (Drizzle) ได้แก่

- เมฆอัลโตคิวมูลัส (Alto cumulus cloud) มีสีขาวปนเทา ลักษณะเป็นคลื่นหรือเป็นลอน ประกอบด้วยเมฆก้อนขนาดเล็กๆ ช่องว่างระหว่างเมฆก้อนจะมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงิน มักเกิดหลังอากาศแปรปรวน การเกิดเมฆดังกล่าวแสดงถึงสภาพอากาศที่ดี

- เมฆอัลโตสเตรทัส (Altostratus cloud) เป็นเมฆแผ่นมีลักษณะเป็นเยื่อ หรือ เป็นพืดบางๆ มีสีเทาหรือสีน้ำเงินอ่อน แผ่กระจายปกคลุมท้องฟ้าเป็นบริเวณกว้าง เวลาที่แสงส่องผ่านลักษณะคล้ายดวงไฟส่องผ่านผ้าขาว

3) เมฆชั้นต่ำ (Low clouds) มีความสูงจากระดับพื้นดิน ตั้งแต่ 2,000 เมตร ลงมาเป็นเมฆที่ก่อให้เกิดละอองฝน (Drizzle) หรือเกิดฝน (Precipitation) ในปริมาณเล็กน้อยถึงปานกลาง เมฆที่ก่อให้เกิดฝนตกต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ ได้แก่

- เมฆสเตรทัส (Stratus cloud) เป็นเมฆระดับต่ำที่มีลักษณะเป็นชั้นหรือ แผ่นทึบ ลักษณะคล้ายหมอกที่ยกตัวสูงขึ้น ความสูงของฐานเมฆจะสม่ำเสมอในเขตภูมิอากาศอบอุ่น ในฤดูหนาวเมฆชนิดนี้จะมีฐานอยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 30 ถึง 60 เมตร

- เมฆสเตรโตคิวมูลัส (Stratocumulus cloud) มีสีเทา ลักษณะอ่อนนุ่ม เป็นก้อนกลมเรียงติดๆ กันทั้งทางแนวตั้งและทางแนวนอนทำให้มองเห็นเป็นลอนเชื่อมติดต่อกันไป

- เมฆนิมโบสเตรทัส (Nimbostratus cloud) มีลักษณะเป็นแผ่นหรือเป็นชั้น มีสีเทา ส่วนมากมีสีค่อนข้างดำ ถ้าเกิดเมฆชนิดนี้แสดงถึงสภาพอากาศแปรปรวน มักมีฝนตกตามมา เมฆชนิดนี้บางครั้งมีความหนาถึง 1,500 เมตร

4) เมฆก่อตัวในแนวตั้ง (Cloud of vertical development) มีความสูงจากระดับพื้นดิน ตั้งแต่ 500 เมตร ขึ้นไป และมีความสูงไม่แน่นอนซึ่งอาจสูงถึงระดับเมฆชั้นสูง เป็นเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้งที่รุนแรง ฉับพลัน ได้แก่

- เมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus cloud) เป็นเมฆก้อนขนาดใหญ่ มีลักษณะคล้ายกับภูเขา หรือทรงหอคอยขนาดใหญ่ เมฆชนิดนี้บ่งบอกถึงสภาพลมฟ้าอากาศแปรปรวน หรือเป็นเมฆฝน ฐานเมฆมีสีดำ เมฆชนิดนี้ก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง

- เมฆคิวมูลัส (Cumulus cloud) เป็นเมฆก้อนที่มียอดเมฆคล้ายกับรูปโดม หรือ สุ่มทรงหอคอย ส่วนที่แสงอาทิตย์ส่องผ่านลงมาได้จะเป็นสีขาว ส่วนล่างหรือฐานเมฆมีสีดำ ถ้าเมฆชนิดนี้ลอยอยู่บนท้องฟ้าเป็นหย่อมๆ แสดงถึงสภาพอากาศค่อนข้างดี แต่ถ้ารวมตัวกันเป็นจำนวนมากจะทำให้เกิดฝนตกได้

ในตารางที่ 2.2-1 แสดงเกณฑ์การจำแนกชนิดของเมฆโดยพิจารณาจากลักษณะของเมฆ (WMO) และ ในรูปที่ 2.2-2 แสดงชนิดของเมฆจำแนกตามความสูงของเมฆ

ตารางที่ 2.2-1 เกณฑ์การจำแนกชนิดของเมฆโดยพิจารณาจากลักษณะของเมฆ (WMO)

ระดับและความสูงจากพื้นดิน	ชนิดตระกูลของเมฆ	องค์ประกอบ	ลักษณะของเมฆ
เมฆชั้นสูง ตั้งแต่ 6,000 เมตร ขึ้นไป	เซอรัส (Ci) เซอโรสเตรตัส (Cs) เซอโรคิวมูลัส (Cc)	ผลึกน้ำแข็ง ผลึกน้ำแข็ง ผลึกน้ำแข็ง	ปุยคล้ายใยไหม ลักษณะเป็นแผ่น ระลอกคลื่นเล็กๆ
เมฆชั้นกลาง ระหว่าง 2,000 ถึง 6,000 เมตร	อัลโทคิวมูลัส (Ac) อัลโทสเตรตัส (As)	เม็ดน้ำเป็นส่วนใหญ่ เม็ดน้ำและผลึก น้ำแข็ง	ลอนประกอบด้วยก้อนเล็กๆ แผ่นปกคลุมท้องฟ้า
เมฆชั้นต่ำ ต่ำกว่า 2,000 เมตร	สเตรตัส (St) สเตรโทคิวมูลัส (Sc) นิมโบสเตรตัส (Ns)	เม็ดน้ำ เม็ดน้ำ เม็ดน้ำและผลึก น้ำแข็ง	แผ่นหนาที่บดสีเทา แผ่นหรือเป็นก้อนเชื่อมต่อกันแผ่น หนาที่บดให้มีฝน
เมฆซึ่งก่อตัวตาม แนวตั้งสูงตั้งแต่ 500 ถึง 20,000 เมตร	คิวมูลัส (Cu) คิวโมโลนิมบัส (Cb)	เม็ดน้ำ เม็ดน้ำและผลึก น้ำแข็ง	ลักษณะเป็นก้อน ลักษณะคล้ายภูเขา

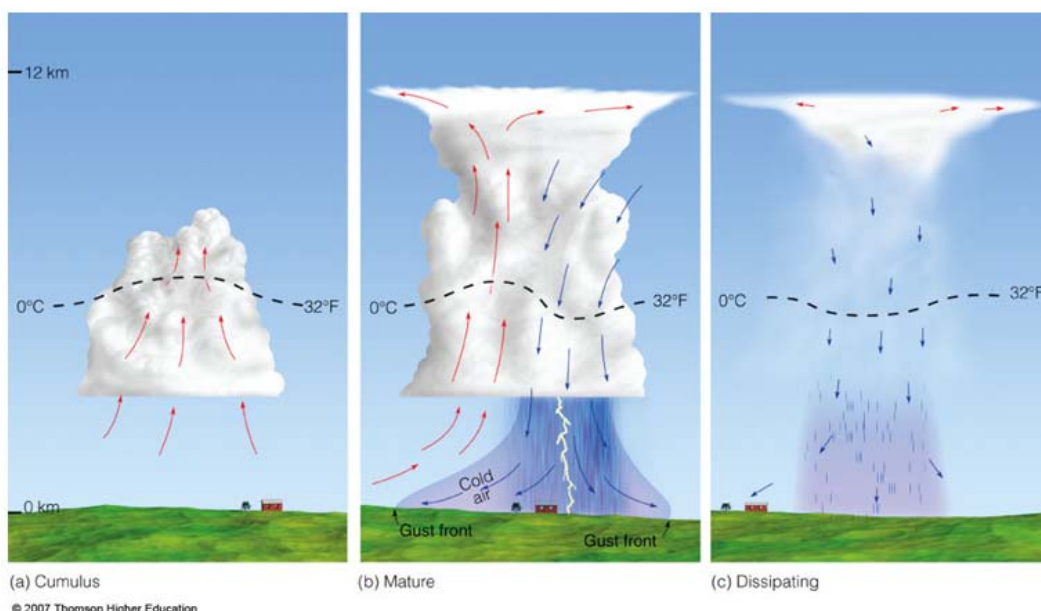
2.2.1.2 วงจรชีวิตของเมฆ

วงจรชีวิตของเมฆฝน Convective ตั้งแต่เกิดจนสลายตัวสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้

1) ระยะก่อตัว (Cumulus stage) เป็นขั้นแรกของการก่อตัวของเมฆฝน Convective เซลล์ของเมฆฝนจะเกิดจากเมฆคิวมูลัส โดยระยะเริ่มแรกจะประกอบด้วยเม็ดละอองน้ำที่มีขนาดเล็กมากและจะโตขึ้นเมื่อเมฆมีความหนาแน่นขึ้นในแนวตั้ง ซึ่งจะค่อยๆ เจริญเติบโตจากกระแสอากาศที่เคลื่อนที่ขึ้นค่อนข้างรุนแรงในแนวตั้ง (Updraft) ระดับของอุณหภูมิและความเร็วของกระแสอากาศในเซลล์เมฆจะสูงกว่าอากาศบริเวณรอบๆ เซลล์ยอดเมฆของเซลล์จะลอยตัวสูงและขยายตัวขึ้นไปในชั้นบรรยากาศจนพ้นระดับเยือกแข็ง (Freezing level) ปกติยอดเมฆในขั้นนี้จะสูงประมาณ 6 กิโลเมตร หรือประมาณ 20,000 - 25,000 ฟุต ซึ่งหยดน้ำในเมฆจะมีขนาดเกินกว่าแรงพยุงของอากาศ หยดน้ำจะตกลงมาเป็นหยาดน้ำฟ้าเป็นที่มาของการเริ่มเกิดกระแสอากาศที่มีทิศทางเคลื่อนที่ลง สวนทางและปะทะกับกระแสอากาศเดิม ระยะเจริญเติบโตในขั้นนี้จะใช้เวลาประมาณ 10 - 15 นาที จากนั้นพายุจะเข้าสู่ระยะต่อไป

2) ระยะเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature stage) เป็นระยะของการเปลี่ยนทิศทางของกระแสอากาศจากอิทธิพลของหยาดน้ำฟ้าที่ตกลงสู่พื้นดิน กระแสอากาศบางส่วนจะเริ่มเคลื่อนที่ลง (Downdraft) รุนแรงขึ้น สวนทางกับทิศทางของกระแสอากาศเดิมที่เคลื่อนที่ขึ้น จึงเกิดการปะทะกันของเม็ดน้ำในพายุทำให้มีขนาดเม็ดน้ำใหญ่ขึ้น เม็ดของหยาดน้ำฟ้าที่ตกนั้นทำให้อุณหภูมิและความรุนแรงของพายุค่อยๆ ลดลง ในขั้นนี้ปกติจะใช้เวลาประมาณ 15 - 30 นาที นับตั้งแต่เริ่มมีฝนตกลงถึงพื้น เมฆฝนในระยะนี้จะมีสภาพอากาศรุนแรงที่สุด เช่น มีลมแรง ฝนตกหนัก ฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า หรือบางครั้งมีลูกเห็บตก

3) ระยะสลายตัว (Dissipation stage) ในระยะนี้เมฆฝนจะมีกระแสอากาศที่เคลื่อนที่ลงเพียงทิศทางเดียวที่บริเวณส่วนล่างของเมฆ ปริมาณของหยาดน้ำฟ้าที่ตกลงสู่พื้นดินจะค่อยๆ ลดลงและหมดไปพร้อมกับกระแสอากาศ และเมฆจะสลายตัวไปเมื่ออุณหภูมิของก้อนเมฆกลับไปสู่สถานะเท่ากับอุณหภูมิของอากาศรอบๆ เมฆฝนจึงสลายตัวไปในที่สุด



รูปที่ 2.2-3 แสดงวงจรชีวิตของเมฆ: Cumulus Stage, Mature Stage and Dissipating

ที่มา: <http://www.washingtonpost.com/blogs/capital-weather-gang/files/2013/04/Ordinary.png>

Leary and Houze (1978) ศึกษาลักษณะภายในของพายุในเขตร้อน ที่ก่อตัวจากการพาความร้อนแบบ Convective โดยใช้ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศ พบว่าวงจรชีวิตของกลุ่มเมฆสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ คือ Formative stage, Intensifying stage, Mature stage และ Dissipating stage โดยแต่ละระดับจะมีลักษณะของ Mesoscale precipitation แตกต่างกัน ซึ่งในเขตร้อนจะแบ่ง Mesoscale precipitation ออกเป็น 6 ลักษณะคือ N, SQ, W1, W2, E1 และ E2 ในช่วงท้ายวงจรชีวิตของพายุฝน เซลล์ของพายุฝน Convective จะเริ่มลดกำลังและค่อยๆ สลายตัวไปและเกิดฝนที่มีลักษณะการตกสม่ำเสมอปกคลุมพื้นที่ตามหลังเซลล์พายุฝน Convective เริ่มตั้งแต่วงจรชีวิต ช่วงที่ 3 ซึ่งสังเกตได้จากการเกิด Bright band ขึ้นในภาพตัดขวางของกลุ่มเมฆฝน โดยการปรากฏของ Bright band ในข้อมูลเรดาร์ จะเป็นตัวบ่งชี้ว่ากลุ่มเมฆฝนดังกล่าวเป็นพายุชนิด Stratiform

Houze (1989) ศึกษาลักษณะรูปแบบการหมุนเวียนของ Mesoscale ภายในระบบของการเกิดพายุฝน Convective (Mesoscale convective system หรือ MCSs) โดยใช้ข้อมูลจากเรดาร์แบบดอปเพลอร์ในการตรวจวัด ซึ่งพบว่ากระแสลมมีอิทธิพลอย่างมากต่อการหมุนเวียนของ Mesoscale ภายในพายุฝนและความรุนแรงของพายุที่เกิดขึ้น ทั้งกระแสลมพัดเข้าที่เป็นปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของพายุในช่วงต้นและกระแสลมพัดออกที่หอบเอาเม็ดฝนออกจากตัวพายุในทิศทางต่างๆ ซึ่งจะทำให้พายุค่อยๆ อ่อนกำลังลง โดยลักษณะกระแสลมและส่วนที่สำคัญต่างๆ ภายในพายุฝน แบบ Convective และ Stratiform

Pani (1989) ศึกษาลักษณะในกลุ่มเมฆฝน Convective ในช่วงฤดูร้อนเหนือพื้นที่ทางตะวันตกของรัฐเท็กซัส ประเทศสหรัฐอเมริกา จากพายุฝน 21 เหตุการณ์ สามารถแบ่งลักษณะภายในของเมฆฝน Convective ได้เป็น 4 แบบ คือ Cell, Small cluster, Large cluster และ Nested cluster โดยพิจารณาตามความแตกต่างของขนาดกลุ่มฝนที่ปรากฏตลอดจนความเข้มฝนที่ตก (R) และ ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ตรวจอากาศ (Z) จากการศึกษาพบว่าลักษณะการเคลื่อนตัวของเมฆในแนวราบจะหอบเอาฝนที่เกิดจากการระเหยและรวมตัวกันในแนวตั้งของความชื้นในอากาศโดยรอบ และ สมการ $Z-R$ ที่เหมาะสมต่อการประเมินความเข้มฝนสำหรับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ $Z = 260R^{1.06}$

Salazar (1999) ศึกษาพายุฝน Convective จากตัวอย่างเหตุการณ์ของพายุจำนวนมาก ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ตรวจอากาศ (Reflectivities Threshold: T_z) ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ตรวจอากาศแบบดอปเพลอร์ มีระดับของค่าความเข้มต่างๆ สามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกลักษณะภายในพายุฝนแบบ Convective ได้เป็น 4 ลักษณะคือ

- 1) Individual Convective Cell มีค่า $T_z = 40 - 50$ dBZ,
- 2) Convective Storm มีค่า $T_z = 30 - 40$ dBZ,
- 3) Mesoscale Convective Complexes มีค่า $T_z = 25 - 30$ dBZ และ
- 4) Snow Bands มีค่า $T_z = 15 - 25$ dBZ

สำหรับการเกิดฝนในประเทศไทยส่วนใหญ่เกิดจากระบบเมฆที่ก่อตัวตามแนวตั้ง จากการพาความร้อนในช่วงอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งสาเหตุการเกิดของฝนได้แสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.2.1 (สาเหตุของการเกิดฝน) และในหัวข้อที่ 2.2.2 (กระบวนการการเกิดฝน) ดังนี้

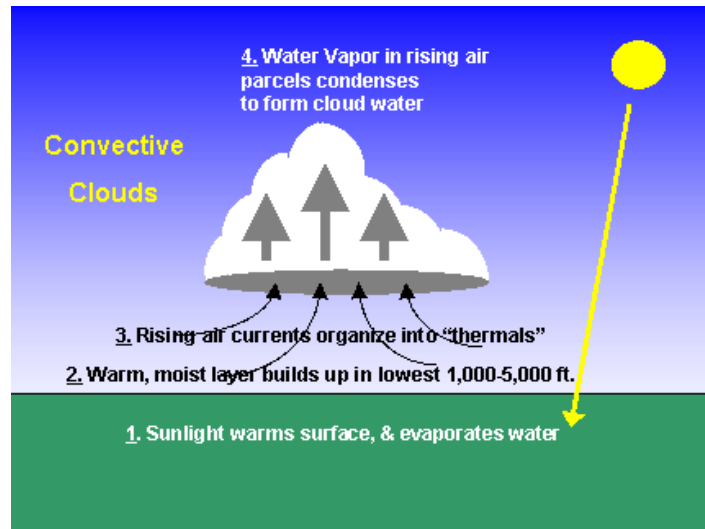
2.2.2 กระบวนการการเกิดฝน

ฝนที่ตกจะมีลักษณะแตกต่างกันตามลักษณะของเมฆ และกระบวนการเกิดของฝน เมฆแผ่นหรือชั้น (Stratiform cloud) ในตระกูล Nimbostratus ฝนที่เกิดจะตกแล้วหยุดเป็นระยะๆ ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ลักษณะฝนดังกล่าวเกิดจากการยกตัวของอากาศอย่างช้าๆ ซึ่งโดยมากจะได้รับอิทธิพลจากแนวปะทะ อากาศและบริเวณใกล้พื้นที่ๆ มีพายุหมุนพัดผ่าน ส่วนพายุหมุน ลมมรสุมกำลังแรงและร่องความกดอากาศต่ำนั้น จะทำให้เกิดฝนตกหนักต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ ทั้งคืนทั้งวัน ความรุนแรงอาจมากบ้างน้อยบ้าง ส่วนเมฆก้อนหรือเมฆก่อตัวในแนวตั้ง (Cumuliform cloud) ในตระกูลเมฆ Cumulonimbus ฝนที่เกิดจะตกหนักและหยุดในระยะเวลาช่วงสั้นๆ ประกอบกับอาจเกิดลูกเห็บตกครอบคลุมพื้นที่แคบๆ เม็ดฝนจะมีขนาดใหญ่ลักษณะฝนดังกล่าวเกิดจากลักษณะอากาศที่ไม่มีความเสถียรมีการยกตัวของอากาศในแนวตั้ง (กรมฝนหลวงและการบินเกษตร, 2556)

2.2.2.1 สาเหตุของการเกิดฝน

การเกิดของเมฆฝนสามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภทตามสาเหตุของการเกิด ดังนี้

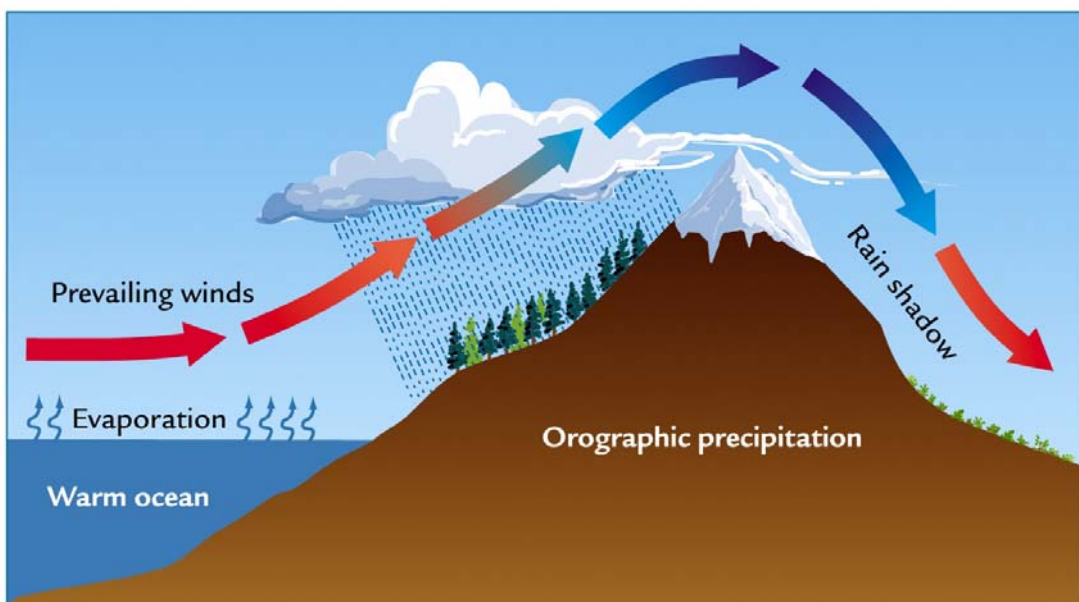
- 1) ฝนที่เกิดจากการพาความร้อน (Convective precipitation) ฝนประเภทนี้เกิดจากเมฆคิวมูลัส (Cumulus) และคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) ซึ่งมวลอากาศอุ่นลอยตัวสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิของอากาศเย็นลง ไอน้ำจะกลั่นตัวกลายเป็นเมฆ และเกิดเป็นพายุฝนฟ้าคะนอง มักเกิดเนื่องจากโลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้พื้นดินร้อนขึ้นมาก อากาศบริเวณพื้นดินจะลอยสูงขึ้นเกิดเป็นเมฆ มักเกิดในช่วงบ่ายและเย็นในวันที่อากาศร้อนจัด ในรูปที่ 2.2-4 แสดงการเกิดฝนแบบพาความร้อน



รูปที่ 2.2-4 แสดงขั้นตอนการเกิดฝนแบบพาความร้อน (Convective precipitation)

(ที่มา: http://www.weatherquestions.com/Cloud_formation_convective.gif)

2) ฝนเกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านภูเขา (Orographic precipitation) เป็นฝนที่เกิดจากการที่มวลอากาศอุ่นเคลื่อนที่ไปปะทะกับภูเขา ขณะที่มวลอากาศเคลื่อนที่ไปตามลาดเขาอากาศจะเย็นตัวลง ไอน้ำกลั่นตัวกลายเป็นเมฆ ทำให้เกิดลักษณะของฝนปะทะหน้าเขา พายุลักษณะนี้จะเกิดบริเวณต้นลมของภูเขา (Windward side) เมฆจะก่อตัวในแนวตั้งสูงมาก ทำให้ลักษณะอากาศแปรปรวนมาก ส่วนทางด้านใต้ลม (Leeward side) หรือหลังเขาจะเป็นการจมตัวของอากาศ อุณหภูมิสูงขึ้นและอยู่ในสภาวะที่เสถียรภาพ ลักษณะเช่นนี้ทำให้บริเวณหลังเขาจะแห้งแล้งฝนหยุดตก เรียกว่า เขตเงาฝน (Rain shadow) ดังแสดงในรูปที่ 2.2-5



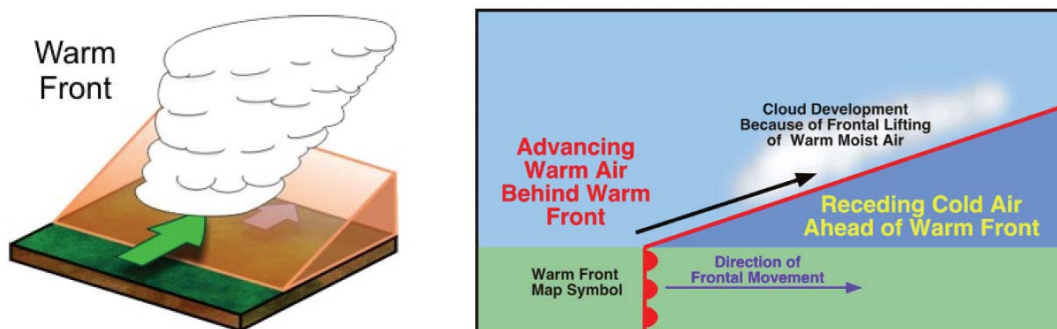
รูปที่ 2.2-5 แสดงการเกิดฝนจากการเคลื่อนที่ผ่านภูเขา (Orographic precipitation)

(ที่มา: https://earthscience-in-the-nationalparks.wikispaces.com/file/view/figure_02-20.jpg/147094587/figure_02-20.jpg)

3) ฝนที่เกิดจากมรสุม (Monsoon Precipitation) (สุจิต และคณะ, 2550) เป็นฝนที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของร่องมรสุมซึ่งเป็นแนวปะทะระหว่างอากาศซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ที่คาดไปรอบๆ โลกเกิดขึ้นเนื่องจากโลกที่หมุนรอบตัวเองจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออกและที่ละจุดค่าประมาณ 0-30 องศาเหนือและใต้นั้นโลกจะหมุนเร็วกว่ามวลอากาศที่ห่อหุ้มโลกอยู่จึงเกิดลักษณะลมจากฝ่ายตะวันออกขึ้น เรียกว่าลมสินค้าจากเส้นศูนย์สูตรขึ้นไปทางซีกโลกเหนือเรียกว่าลมสินค้าตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในซีกโลกใต้เรียกว่าลมสินค้าตะวันออกเฉียงใต้ลมทั้งสองชนิดพัดสอบเข้าหากันในแนวใกล้เส้นศูนย์สูตร หรือเรียกว่าแนวลมพัดสอบในเขตร้อน หรือร่องความกดอากาศต่ำ เพราะเป็นแนวที่มีความกดอากาศต่ำ มวลอากาศมีการยกตัวขึ้นสู่เบื้องบน มีการก่อตัวของเมฆจึงทำให้มีฝนตกชุก โดยเฉพาะเมื่อมีกระแสลมวนอยู่ในแนวนี้ด้วยจะทำให้มีฝนตกหนักได้ซึ่งแนวร่องนี้จะเคลื่อนออกจากเส้นศูนย์สูตรไปทางซีกโลกเหนือหรือใต้ตามฤดูกาล ซึ่งจะทำให้เกิดฝนตกในบริเวณร่องมรสุม และเกิดฝนทิ้งช่วงในพื้นที่ที่ร่องความกดอากาศเคลื่อนที่ผ่านไป

4) ฝนเกิดจากพายุหมุนเขตร้อน (Cyclonic precipitation) ลักษณะของฝนชนิดนี้จะผันแปรไปตามบริเวณความกดอากาศต่ำ ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงและลักษณะกลไกที่สำคัญคือ การลอยตัวของอากาศเนื่องจากกระแสอากาศในแนวระดับพัดสอบเข้าหากัน (Convergence) เข้าสู่บริเวณความกดอากาศต่ำซึ่งมีความเกี่ยวเนื่องกับแนวปะทะ (Fronts) ด้วย สามารถแบ่งตามลักษณะของแนวปะทะได้ 4 ชนิด (กรมฝนหลวงและการบินเกษตร, 2556) คือ

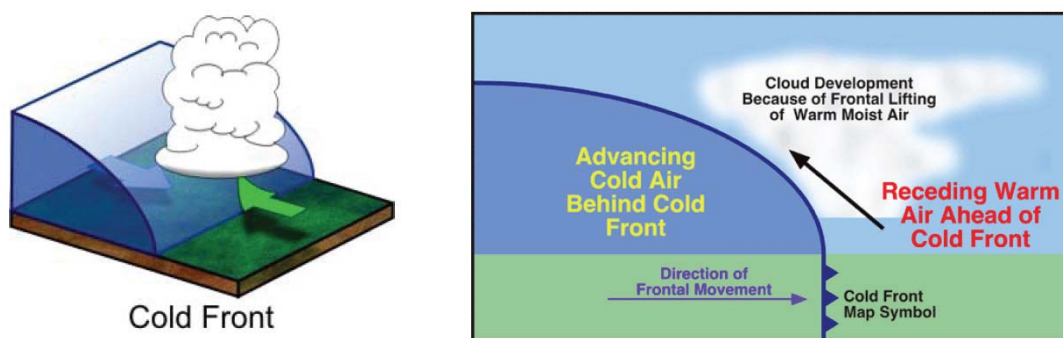
- แนวปะทะมวลอากาศอุ่น (Warm front) เกิดจากการที่มวลอากาศอุ่นเคลื่อนที่เข้ามายังบริเวณที่มีมวลอากาศเย็นกว่า โดยมวลอากาศเย็นจะยังคงตัวบริเวณพื้นดิน มวลอากาศอุ่นจะลอยตัวสูงขึ้นอากาศอุ่นจะมีความลาดชันน้อยกว่าแนวของมวลอากาศเย็น ดังแสดงในรูปที่ 2.2-6 จากปรากฏการณ์แนวปะทะมวลอากาศอุ่นดังกล่าวนี้ลักษณะอากาศจะอยู่ในสภาวะทรงตัว แต่ถ้าลักษณะของมวลอากาศอุ่นมีการลอยตัวขึ้นในแนวตั้ง (มีความลาดชันมาก) จะก่อให้เกิดฝนตกหนักและพายุฝนฟ้าคะนอง สังเกตได้จากการเกิดเมฆฝนเมฆนิมโบสเตรตัส



รูปที่ 2.2-6 แสดงแนวปะทะมวลอากาศอุ่น (Warm front)

(ที่มา: http://kmcenter.rid.go.th/kmc14/f_water/PDF/situation4.pdf)

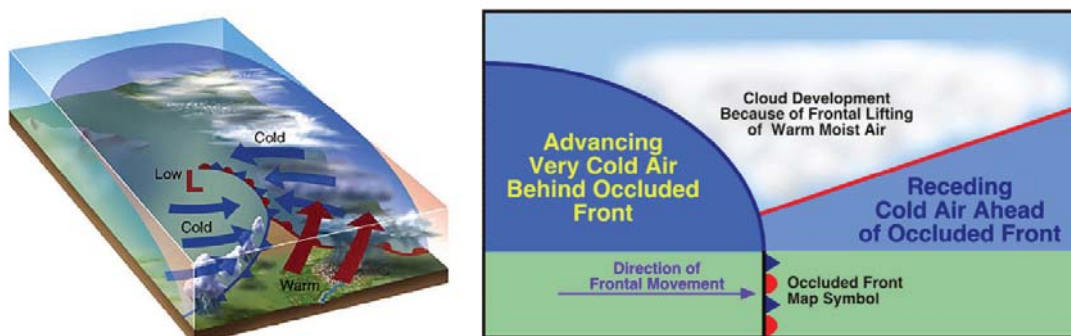
- แนวปะทะมวลอากาศเย็น (Cold Front) เกิดขึ้นเมื่อมวลอากาศเย็นเคลื่อนตัวลงมายังบริเวณที่ต่ำ มวลอากาศเย็นจะหนักจึงมีการเคลื่อนตัวติดกับผิวดิน และจะดันให้มวลอากาศอุ่นที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าลอยตัวขึ้นตามความลาดเอียง ดังแสดงในรูปที่ 2.2-7 ซึ่งตามแนวปะทะอากาศเย็นจะมีสภาพอากาศแปรปรวนมาก เป็นลักษณะการก่อตัวของเมฆ คิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus)



รูปที่ 2.2-7 แสดงแนวปะทะมวลอากาศเย็น (Cold front)

(ที่มา: http://kmcenter.rid.go.th/kmc14/f_water/PDF/situation4.pdf)

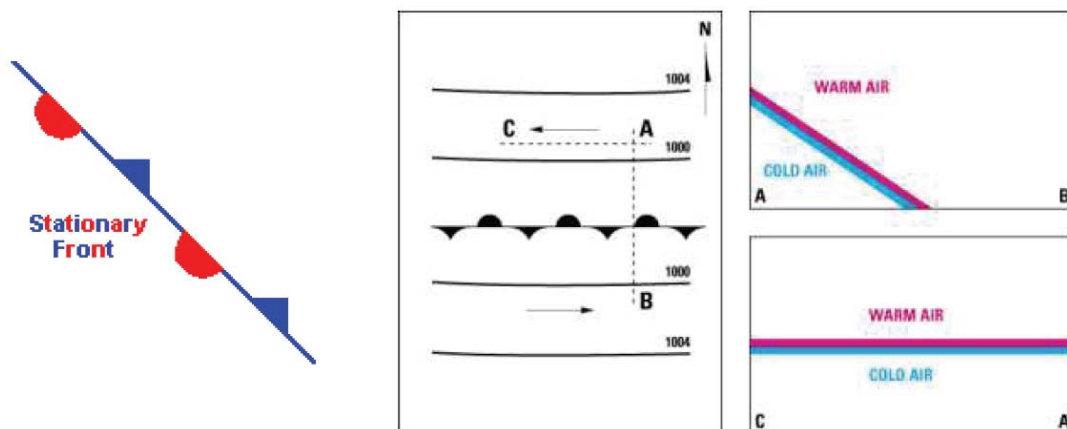
- แนวปะทะมวลอากาศซ้อน (Occluded front) เกิดเมื่อมวลอากาศเย็นเคลื่อนที่ในแนวทางติดกับแผ่นดิน จะดันให้มวลอากาศอุ่นใกล้กับผิวโลกเคลื่อนที่ไปในแนวเดียวกันกับมวลอากาศเย็น มวลอากาศอุ่นจะถูกมวลอากาศเย็นซ้อนตัวให้ลอยสูงขึ้น และเนื่องจากมวลอากาศเย็นเคลื่อนตัวได้เร็วกว่าจึงทำให้มวลอากาศอุ่นซ้อนอยู่บนมวลอากาศเย็น ดังในรูปที่ 2.2-8 ลักษณะของปรากฏการณ์ดังกล่าวจะทำให้เกิดเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus)



รูปที่ 2.2-8 แสดงแนวปะทะมวลอากาศซ้อน (Occluded front)

(ที่มา: http://kmcenter.rid.go.th/kmc14/f_water/PDF/situation4.pdf)

- แนวปะทะมวลอากาศคงที่ (Stationary front) เกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศอุ่นและมวลอากาศเย็นเข้าหากัน และจากสภาพที่ทั้งสองมวลอากาศมีแรงผลักดันเท่ากัน จึงเกิดภาวะสมดุลของแนวปะทะอากาศขึ้น ดังในรูปที่ 2.2-9 แต่จะเกิดในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น เมื่อมวลอากาศใดมีแรงผลักดันมากขึ้น จะทำให้ลักษณะของแนวปะทะอากาศเปลี่ยนไปเป็นแนวปะทะอากาศแบบอื่น ๆ ทันที



รูปที่ 2.2-9 แสดงแนวปะทะมวลอากาศคงที่ (Stationary front)

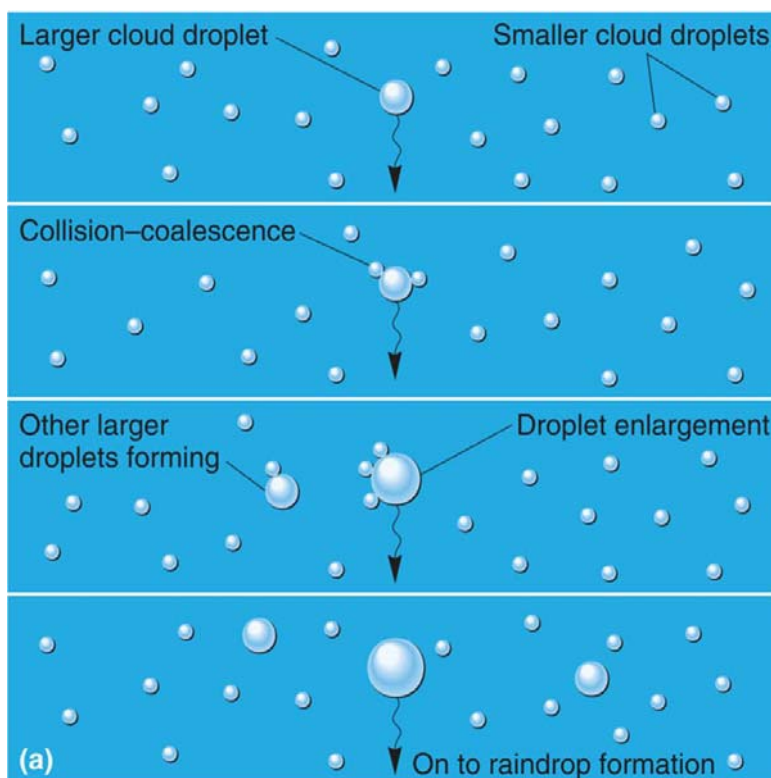
(ที่มา: http://kmcenter.rid.go.th/kmc14/f_water/PDF/situation4.pdf)

2.2.2.2 การเกิดฝน

กระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดฝน มี 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการเกิดฝนในเมฆอุ่น และ กระบวนการเกิดฝนในเมฆเย็น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) กระบวนการเกิดฝนในเมฆอุ่น (Warm rain process)

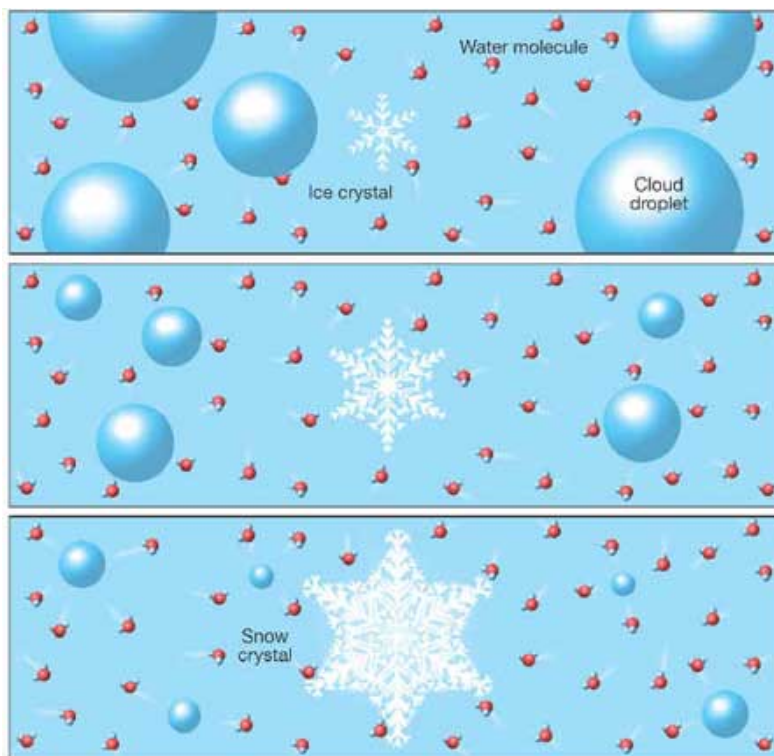
เมฆอุ่นจะมีการเจริญเติบโตและให้ฝนในชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส โดยมี **กระบวนการชนกันและรวมตัวกัน (Collision and Coalescence process)** เป็นกระบวนการหลักในการเจริญเติบโตของเม็ดน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.2-10 ซึ่งอธิบายได้ว่า เม็ดน้ำภายในเมฆที่เกิดกระบวนการควบแน่นของไอน้ำบนแกนกลั่นตัว (Cloud Condensation Nuclei, CCN) จะมีขนาดเล็กมาก แต่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งจะมีการรวมตัวของเม็ดน้ำจำนวนหนึ่งทำให้มีขนาดที่แตกต่างกัน จากนั้นเม็ดน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่าจะเคลื่อนที่ลงด้วยแรงดึงดูดของโลกในอัตราที่เร็วกว่าเม็ดน้ำที่มีขนาดเล็กกว่า ดังนั้นเม็ดน้ำขนาดใหญ่กว่าจึงมีโอกาสนชนกับเม็ดน้ำขนาดเล็กกว่าที่อยู่เบื้องล่างตามแนวทางที่ร่วงหล่น และจะรวมตัวกันทำให้เม็ดน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นก่อนที่จะแตกตัวออกเป็นเม็ดน้ำขนาดกลางจำนวนมากขึ้นและวิ่งชนและรวมตัวกับเม็ดน้ำขนาดเล็กกว่าต่อไป เม็ดน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นนี้ก็มีโอกาสเคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งเดิมและดูดกลืนเอาเม็ดน้ำเล็กๆ อีก โดยการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศไหลขึ้น (Updraft) จนมีขนาดโตขึ้นๆ พฤติการณ์นี้จะเกิดซ้ำๆ ต่อเนื่องกันอย่างรวดเร็วจนเกิดเม็ดน้ำใหญ่มาก และเม็ดใหญ่ๆ จะแตกแยกออกแล้วเกิดกรรมวิธีซ้ำๆ กันอีกจนเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) ในที่สุดเม็ดน้ำภายในเมฆจะมีขนาดใหญ่จำนวนมาก และสามารถตกเป็นฝนได้ ซึ่งกระบวนการชนกันและรวมกันนี้จะมีสำคัญต่อการเกิดฝนในเขตร้อน



รูปที่ 2.2-10 แสดงกระบวนการเพิ่มของเม็ดน้ำในเมฆอุ่น (Collision and Coalescence process)
(ที่มา: <http://clasfaculty.ucdenver.edu/callen/1202/Climate/Moisture/collidecoalesce.jpg>)

2) กระบวนการเกิดฝนในเมฆเย็น (Cold rain process)

เมฆเย็นจะมีการเจริญเติบโตและก่อยอดสูงขึ้นไปในชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส โดยมีกระบวนการผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal process) เกิดขึ้นบริเวณยอดเมฆที่มีอุณหภูมิลดลงอยู่ระหว่าง -3 ถึง -4 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นบริเวณที่มีเม็ดน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งแต่ยังไม่กลายเป็นอย่างน้ำแข็ง เม็ดน้ำในสถานะของเหลวนี้เรียกว่า เม็ดน้ำเย็นยิ่งยวด (Super-cooled droplets) ซึ่งจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งได้ก็ต่อเมื่อกระทบกับวัตถุของแข็งอย่างทันทีทันใด การระเหิดกลับเช่นนี้ (Deposition) จำเป็นจะต้องอาศัยแกนซึ่งเรียกว่า แกนน้ำแข็ง (Ice nuclei) ที่จะทำหน้าที่เป็นแกนของการเกิดผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal) และการเจริญเติบโตต่อไปของผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นได้จากการระเหิดของน้ำจากเม็ดน้ำเย็นยิ่งยวด ซึ่งมีความดันไอ (Vapor pressure) ที่ผิวสูงกว่าไปจับเกาะและกลายเป็นอย่างน้ำแข็ง (Sublimation) บนผิวของผลึกน้ำแข็งซึ่งมีความดันไอลดกว่าอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกกระบวนการนี้ว่า **กระบวนการเบอร์เกอร์ (Bergeron process)** ดังแสดงในรูปที่ 2.2-11 การเจริญเติบโตของผลึกน้ำแข็งสามารถเกิดจากการที่ผลึกน้ำแข็งสัมผัสกับเม็ดน้ำเย็นยิ่งยวดโดยตรง ทำให้กลายเป็นเม็ดน้ำแข็ง (Contact freezing) ในขณะที่ผลึกน้ำแข็งหรือเม็ดน้ำแข็งมีขนาดโตขึ้นก็จะล่องหล่นลงมา และชนกับผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กกว่าและเกาะติดกันทำให้มีขนาดโตขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อผลึกน้ำแข็งหรือเม็ดน้ำแข็งมีขนาดใหญ่โตมากขึ้น ในที่สุดก็จะตกพื้นฐานเมฆลงมาเป็นหิมะหรือลูกเห็บหรืออาจละลายเป็นน้ำฝนเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส ก่อนตกลงสู่พื้นดิน การเปลี่ยนสถานะของเม็ดน้ำกลายเป็นเม็ดน้ำแข็ง จะมีการคายความร้อนแฝงออกมาเป็นพลังงานในการเจริญเติบโตของยอดเมฆ ทำให้เมฆมีขนาดใหญ่ขึ้นและมียอดสูงขึ้น และกลายเป็นเมฆคิวมูโลนิมบัส ฝนที่เกิดจากเมฆชนิดนี้จึงมักจะมีปริมาณน้ำฝนมากกว่าฝนเมฆอุ่น และอาจมีฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า และลูกเห็บตกลงมา



รูปที่ 2.2-11 แสดงกระบวนการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็งในเมฆเย็น (Bergeron process)
(ที่มา: <http://www.kidsgeo.com/images/bergeron-process.jpg>)

2.3 เรดาร์ตรวจอากาศ

เรดาร์ (RADAR; **R**adio **D**etection **a**nd **R**anging) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดตำแหน่งของเป้าหมาย (Target) หรือวัตถุในระยะไกลด้วยสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อช่วยในการตรวจสอบตำแหน่งและทิศทางของเรือหรืออากาศยาน การถ่ายภาพทางอากาศ การตรวจสอบทรัพยากรธรรมชาติรวมทั้งการใช้งานเพื่อการตรวจสอบสภาพอากาศ การเตือนภัยธรรมชาติ และพายุ สัญญาณเรดาร์ที่ส่งออกไปเมื่อกระทบกับเป้าหมายหรือวัตถุจะสะท้อนกลับมา สัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนกลับมานี้จะถูกประมวลผลเพื่อแสดงข้อมูลบนจอภาพ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถทราบลักษณะและตำแหน่งของเป้าหมายได้ (ภักดี, 2551)

เรดาร์ตรวจอากาศ (Weather Radar) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจวัดสภาพอากาศในระยะไกล สามารถตรวจวัดพายุฝนฟ้าคะนอง ความเข้มหรือวัดปริมาณฝน ความเร็วของการเคลื่อนตัวของกลุ่มฝน (Radial Velocity) และบอกถึงระดับความรุนแรงของกลุ่มฝนได้ โดยการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ เรดาร์ตรวจอากาศจะทำการส่งคลื่นวิทยุเป็นจังหวะในช่วงเวลาสั้น ๆ ในลักษณะลำคลื่นมุมแคบ เมื่อลำคลื่นดังกล่าวกระทบกับกลุ่มฝนหรือสิ่งกีดขวางจะสะท้อนกลับมายังจานสายอากาศเข้าสู่เครื่องรับเพื่อนำมาใช้ในการประมวลผลสัญญาณ ก่อนที่จะถูกส่งไปแสดงข้อมูลบนจอภาพเรดาร์ต่อไป

ระบบการทำงานของเครื่องเรดาร์ตรวจอากาศจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน ได้แก่

1. ระบบภาคส่งสัญญาณ (Transmitter) เป็นส่วนที่ทำการสร้างสัญญาณคลื่นวิทยุ (สัญญาณเรดาร์) ตามช่วงความถี่ที่ต้องการ (C Band, S Band) ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ หลอดผลิตความถี่วิทยุ (Magnetron) และระบบไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage)

2. ระบบภาครับสัญญาณ (Receiver) ทำหน้าที่รับและขยายสัญญาณสะท้อนกลับให้มีขนาดความแรงของสัญญาณที่เพียงพอเพื่อใช้ในการประมวลผลข้อมูลต่อไป
3. ระบบจานสายอากาศ (Antenna System) เป็นระบบที่มีการเชื่อมต่อกับทั้งระบบภาคส่งและระบบภาครับสัญญาณ สัญญาณคลื่นวิทยุที่สร้างออกมาจากภาคส่งจะถูกส่งต่อไปยังระบบจานสายอากาศเพื่อส่งสัญญาณคลื่นวิทยุสู่บรรยากาศ จากนั้นระบบจานสายอากาศจะรอรับสัญญาณสะท้อนกลับเพื่อส่งต่อไปยังระบบภาครับสัญญาณ
4. ระบบควบคุมและแสดงผลข้อมูลเรดาร์ (Controls and Display) ระบบควบคุมจะสั่งการทั้งระบบภาคส่ง, รับ และระบบจานสายอากาศ เพื่อให้ทำงานตามต้องการและระบบประมวลผลข้อมูล จะทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากระบบภาครับเทียบกับระบบภาคส่งสัญญาณ เพื่อใช้ในการประมวลผลสัญญาณต่อไป

ปัจจุบันสำนักฝนหลวงและการบินเกษตรได้มีการใช้ระบบเรดาร์ตรวจอากาศแบบดอปเพลอร์ (Doppler radar) และแบบ Dual polarization ในการตรวจวัดข้อมูลกลุ่มเมฆฝน เพื่อใช้ในการวางแผนการปฏิบัติงาน การประเมินผลและช่วยในการเตือนภัยการบินปฏิบัติงานฝนหลวง

2.3.1 สมการเรดาร์

สมการเรดาร์ (ภักดี, 2549a) คือ สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่สะท้อนกลับ (Radar backscattering signal) กับคุณสมบัติทางกายภาพของอนุภาค Hydrometeor ในบรรยากาศ เมื่อลำคลื่นสัญญาณพัลส์เรดาร์ที่ส่งออกไปกระทบกับสิ่งกีดขวาง เช่น กลุ่มเมฆฝน จะเกิดสัญญาณสะท้อนกลับมายังจานสายอากาศ ซึ่งอาจทำให้สัญญาณสะท้อนมีค่าความถี่เปลี่ยนแปลงไป และเกิดการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากระยะทาง และการดูดซับของไอน้ำ/เม็ดน้ำในบรรยากาศ โดยปกติเรดาร์ตรวจอากาศจะใช้จานสายอากาศแบบพาราโบลาเพื่อชี้ทิศของสัญญาณให้มีความแรงของลำคลื่นแบบแคบ (Narrow Beam) โดยที่จานสายอากาศจะมีค่าอัตราขยายสัญญาณขึ้นกับค่าความถี่ที่มีการใช้งาน และขนาดของจานสายอากาศเอง สมการเรดาร์สามารถแสดงได้ดังนี้

$$P_r = \left[\frac{\pi^3}{1024c \ln 2} \right] [P_t f^2 \tau G^2 \phi \theta L_m L_r] \left[\frac{|K|^2 Z L_a}{R^2} \right] \quad (2.3.1)$$

[ค่าคงที่] [คุณสมบัติของเรดาร์] [เป้าหมาย]

โดยที่	P_r, P_t	คือ กำลังส่งของพัลส์เรดาร์ และกำลังรับเฉลี่ยของคลื่นสะท้อน (kW)
	τ	คือ ความกว้างของพัลส์เรดาร์ (วินาที)
	c	คือ ค่าความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในบรรยากาศ มีค่าประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที
	G	คือ ค่าอัตราขยายของจานสายอากาศ ไม่มีหน่วย
	θ, ϕ	คือ ค่าความกว้างของลำคลื่นพัลส์เรดาร์ในแนวระนาบ และแนวตั้งตามลำดับ (เรเดียน)
	f	คือ ความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (GHz)
	Z	คือ ค่าความเข้มของปริมาณน้ำฝน (mm^6/m^3)
	R	คือ ระยะทางระหว่างเรดาร์กับเป้าหมาย (m)
	$ K ^2$	คือ ค่าขนาดไดโพลเทริกเชิงซ้อนของสารใดๆ สำหรับน้ำจะมีค่าเท่ากับ 0.93
	L_m	คือ การสูญเสียเนื่องจากระบบไมโครเวฟ

L_r คือ การสูญเสียเนื่องจากเครื่องรับ

L_a คือ การสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนที่ในบรรยากาศของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปของลอการิทึมได้ดังนี้

$$10\log Z = 10\log P_r + 20\log R - C \quad (2.3.2)$$

เราเรียก $10\log Z$ ว่าค่าความเข้มของปริมาณน้ำฝน ในรูปของ dBz และ C คือค่าคงที่ของเรดาร์

การวัดความแรงของฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ การตรวจวัดฝนโดยเรดาร์อุตุนิยมวิทยาทำได้โดยการวัดความระดับกำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนกลับ (Backscattering signal) มายังเครื่องรับสัญญาณเรดาร์ หลังจากคลื่นดังกล่าวกระทบกับเม็ดน้ำ ค่าระดับกำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้รับได้จากเครื่องรับสัญญาณเรดาร์ (P_r) จะถูกแปลงมาเป็นค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ดังสมการที่ (2.3.1) ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) จะแสดงในหน่วย mm^6/m^3 โดยจะขึ้นอยู่กับจำนวนและการกระจายตัวของเม็ดน้ำ ภายในปริมาตรของบรรยากาศหนึ่งหน่วยที่สำรวจ โดยมีความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (2.3.3)

$$Z = \frac{\sum_i D_i^6}{V} \quad (2.3.3)$$

เมื่อ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดน้ำ (mm)

V คือ ปริมาตรของบรรยากาศที่สำรวจ (m^3)

จากหลักการเบื้องต้น ถ้าเม็ดน้ำมีขนาดใหญ่และมีจำนวนมากต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของอากาศจะให้ค่าพลังงานสะท้อนมาก ถ้ามีน้อยก็จะมีค่าสะท้อนกลับน้อย ซึ่งแสดงผลในรูปของค่า Reflectivity factor (Z) เนื่องจากค่า Z จะมีการแปรผันค่าในช่วงกว้างเช่นเดียวกับค่าของกำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นจึงนิยมแสดงค่าของ Z ในรูปแบบลอการิทึม (Logarithm) หรือ Decibels (dBZ) เพื่อให้่ายต่อความเข้าใจดังนี้ (Ronald, 2004)

$$dBZ = 10\log_{10} \frac{Z_e}{1mm^6.m^{-3}} \quad (2.3.4)$$

โดยที่ Z_e คือ Equivalent Reflectivity (mm^6/m^3)

Marshall and Palmer (1948) เสนอความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของจำนวนเม็ดฝนต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดฝนดังสมการที่ (2.3.5)

$$N_D = N_o e^{-AD} \quad (2.3.5)$$

เมื่อ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝน



N_D คือ จำนวนเม็ดฝนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง D และ $D + dD$ ภายในปริมาตรหนึ่งหน่วย
 N_o คือ ค่าคงที่, และ

$$\Lambda = 41 \times R^{-0.21} \text{ cm}^{-1} \quad (2.3.6)$$

เมื่อ R คือ ความเข้มฝน

ดังนั้นข้อมูลการสะท้อนกลับของเรดาร์สามารถแสดงได้ในเทอมของ

$$Z = \int_0^\infty N_o e^{-\Lambda D} D^6 dD \quad (2.3.7)$$

จากสมการต่างๆข้างต้นจะเห็นว่าความเข้มฝนสามารถคำนวณได้ถ้าทราบจำนวน, ปริมาตร และ ความเร็วในการตกของเม็ดฝนที่อยู่ในปริมาตรหนึ่งหน่วย ดังนั้น

$$R = \int_0^\infty N_o e^{-\Lambda D} \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2} \right)^3 v(d) dD \quad (2.3.8)$$

เมื่อ $V(D)$ คือ ความเร็วในการตกของเม็ดฝน (Terminal Velocity)

ความเร็วในการตกของเม็ดฝนในอากาศที่นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝน ทำให้สามารถใช้สมการยกกำลัง (Power Law) ในการคำนวณหาค่า $V(D)$ สามารถประมาณได้ ดังนั้นสมการยกกำลังของความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) และความเข้มฝน (R), (Z - R relationship) สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.3.9) (Doviak, 1993)

$$Z = aR^b \quad (2.3.9)$$

โดยที่ Z คือ ค่าสัญญาณการสะท้อนกลับจากคลื่นเรดาร์ มีหน่วยเป็น mm^6/m^3
 R คือ ความเข้มฝนมีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (mm/hr)
 a และ b คือ ค่าคงที่

โดยที่ค่า a และ ค่า b เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับการกระจายของขนาดเม็ดน้ำ (Drop size distribution) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของฝน พื้นที่และช่วงเวลา และตัวแปรอื่นๆ เช่น ชนิดการตกของฝน (ฝนจากเมฆชนิดต่างๆ) ตำแหน่งที่เกิดฝน (ลักษณะทางภูมิศาสตร์, บริเวณทะเล, บริเวณภาคพื้นทวีป) และช่วงเวลาต่างๆ ของปี (ฤดูกาลต่างๆ) ในทางปฏิบัติจะนิยมใช้ค่า a และ b เป็นค่าคงที่สำหรับแต่ละสถานีเรดาร์หรือใช้ค่าเดียวกันภายในพื้นที่ลักษณะใกล้เคียงกัน หรืออาจปรับแก้ตามลักษณะฝนที่เกิดขึ้น

ข้อมูลความเข้มฝนในรูปแบบของคลื่นสะท้อนจากเม็ดฝนในอากาศนี้ (Radar Reflectivity) ไม่สามารถบอกปริมาณฝนที่ตกลงสู่พื้นดินได้โดยตรงเช่นเดียวกับการใช้สถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน การที่จะแปลงค่าคลื่นสะท้อนหรือค่า Z ซึ่งมีหน่วยเป็น mm^6/m^3 หรือเดซิเบล มาเป็นปริมาณน้ำฝนหรือค่า R ในหน่วย ความลึกต่อเวลา เช่น mm/hr จำเป็นต้องใช้ความสัมพันธ์ตามสมการ (2.3.9) ที่กล่าวในข้างต้น การหาค่าพารามิเตอร์ a และ b ทำได้โดยการพิชิตสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ในหน่วย mm^6/m^3 และความเข้มฝนในหน่วย mm/hr จากสมการที่ (2.3.7) และ (2.3.8) จะเห็นว่าค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) จะแปรผันกับผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดน้ำยกกำลังหก (D^6) ในขณะที่ความเข้มฝน (R) จะแปรผันกับผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดน้ำยกกำลังสาม (D^3) ดังนั้นกลุ่มเมฆฝนที่มีการกระจายตัวของเม็ดน้ำแตกต่างกัน อาจจะทำให้ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่เหมือนกันแต่มีความเข้มฝนที่ต่างกัน จึงจำเป็นที่ต้องวิเคราะห์หาสมการ $Z-R$ ที่เหมาะสมสำหรับชนิดของเมฆฝนต่าง ๆ ค่า a และ b ที่นิยมใช้กันทั่วไปจะได้มาจากสมการของ Marshall-Palmer คือ $a=200$ และ $b=1.6$ โดยที่ค่า a สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 500 และค่า b สามารถเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 1.0 ถึง 2.0 (Shelton, 2009) ตัวอย่างของค่า $Z-R$ ที่มีการศึกษาในประเทศไทย และในภูมิภาคอื่นๆ สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 2.3-1

ตารางที่ 2.3-1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินฝนด้วยเรดาร์ (Z-R Relationship) ในประเทศไทย และภูมิภาคอื่นๆ

งานวิจัย (Sources)	สถานที่ (Places)	รูปแบบของฝน (Rainfall types)	วิธีการ (Methodology)	a	b
Marshall and Palmer (1948)	Widely used globally	All types (bulk)	Linear Regression	200	1.60
Woodley and Herndon (1970)	Miami, USA.	All types (bulk)	Linear Regression	300	1.40
Woodley et al. (1974)	Florida, USA.	Showers, Thundershowers	Rain gages adjustment	300	1.4
Brandes (1975)	Oklahoma, USA.	Thundershowers	Rain gages adjustment	200	1.6
Huff and Towery (1978)	Illinois	Showers, Thundershowers	Rain gages adjustment	300	1.35
Steiner et al. (1978)	Darwin, Australia	Convective Rain	Gauge adjusted relation	82	1.47
		Stratiform Rain	Gauge adjusted relation	143	1.5
		All types (bulk)	Gauge adjusted relation	167	1.25
Joss and Waldvogel (1989)		Drizzle		140	1.5
		Widespread Rain		250	1.5
		Thunderstorm Rain		500	1.5
Rosenfeld, 1993	Darwin, Australia	Tropical Rain	PMM	250	1.2
Ulbrich, 1999 Fulton, 1998	South Carolina, USA	All types (bulk) Summer Deep Convection		300	1.40
Lee et al. (2001)	Busan, Korea	Stratiform	Linear Regression (Z-Disdrometer)	200	1.6

ตารางที่ 2.3-1 (ต่อ) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินฝนด้วยเรดาร์ (Z-R Relationship) ในประเทศไทย และภูมิภาคอื่นๆ

งานวิจัย (Sources)	สถานที่ (Places)	รูปแบบของฝน (Rainfall types)	วิธีการ (Methodology)	a	b
Piman, et al. (2007)	Mae Cham, Chiang Mai, Northern Thailand	Orographic	WCMM (Window Correlation Marching Method)	18.05	1.45
Compliew and Kwuanyuen, (2007)	The Upper Chi and the Upper Mun Basins, North Eastern Thailand	Convective rain	TMM (Traditional Matching Method)	294	1.33
Mapiam and Sriwongsitanon (2008)	The upper Ping river basin, Northern Thailand	Climatological convective rain	Linear Regression	74	1.60
สำนักฝนหลวงและการบิน เกษตร (2552)	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนล่าง	Rainy Season: Cumulonimbus	Regression	55.19	1.5
	Rainy season	Cumulus	Regression	29.06	1.5
	Rainy season	Nimbostratus	PMM	207.97	1.5
	Rainy season	All types (bulk)	Regression	55.77	1.5
	Dry Season	Cumulonimbus	Regression	89.71	1.5
	Dry Season	Cumulus	PMM	37.50	1.5
	Dry season	All types (bulk)	Regression	69.13	1.5
	All season	All types (bulk)	Regression	56.50	1.5
Alfieri, et al. (2010)	North Western Italy	All types (bulk)	Non- Linear Regression	79.1	1.81
		All types (bulk)	Linear Regression	106	2.02
Mushore (2012)	Eastern parts of the Netherlands	All season (bulk)	WPMM (Window Probability Marching Method)	89.129	1.397
กรมฝนหลวงและการบิน เกษตร (2556)	ภาคเหนือ	All types (bulk)* (*for single polarization)	RMSE	92.4	1.50
ภักดี และคณะ (2556)	ภาคกลาง	Rainy Season: Convective rain	RMSE	144	1.50

โดยค่าความเข้มการสะท้อน (Reflectivity) หรือ dBZ สามารถแสดงความแรงของกลุ่มฝนได้ เช่น ถ้า dBZ มีค่ามากกว่า 23 dBZ จะเริ่มมีฝนตกเบาบาง, มีค่ามากกว่า 40 dBZ จะเริ่มมีฝนตกกระต๊อบปานกลางและหากมีค่ามากกว่า 50 dBZ จะเริ่มมีฝนตกหนัก ค่าความเข้มการสะท้อน แสดงดังแถบสีในรูปที่ 2.3-2 เราสามารถประมาณค่าอัตราการตกของฝน (mm/hr) จากความสัมพันธ์ Z-R Relationship ตามตารางที่ 2.3-2



ตารางที่ 2.3-2 เปรียบค่าความแรงของฝนที่วัดจากเรดาร์และที่วัดจากเครื่องวัดน้ำฝน ที่มา: Holton (1996)

Reflectivity	Marshall-Palmer	East-Cool Stratiform	West-Cool Stratiform	WSR-88D Convective	Rosenfeld Tropical
	(Z=200R ^{1.6})	(Z=130R ^{2.0})	(Z=75R ^{2.0})	(Z=300R ^{1.4})	(Z=250R ^{1.2})
15 dBZ	0.25 mm/hr	0.51 mm/hr	0.76 mm/hr	<0.25 mm/hr	<0.25 mm/hr
20 dBZ	0.76 mm/hr	1.02 mm/hr	1.27 mm/hr	0.51 mm/hr	0.51 mm/hr
25 dBZ	1.27 mm/hr	1.52 mm/hr	2.03 mm/hr	1.02 mm/hr	1.27 mm/hr
30 dBZ	2.79 mm/hr	2.79 mm/hr	3.56 mm/hr	2.29 mm/hr	3.30 mm/hr
35 dBZ	5.59 mm/hr	4.83 mm/hr	6.60 mm/hr	5.33 mm/hr	8.38 mm/hr
40 dBZ	11.43 mm/hr	8.89 mm/hr	11.68 mm/hr	12.19 mm/hr	21.59 mm/hr
45 dBZ	23.62 mm/hr	15.49 mm/hr	20.58 mm/hr	27.97 mm/hr	56.39 mm/hr
50 dBZ	48.51 mm/hr	27.69 mm/hr	36.58 mm/hr	63.50 mm/hr	147.32 mm/hr
55 dBZ	99.82 mm/hr	49.28 mm/hr	65.02 mm/hr	144.27 mm/hr	384.56 mm/hr
60 dBZ	204.98 mm/hr	87.63 mm/hr	115.57 mm/hr	328.42 mm/hr	1004.06 mm/hr

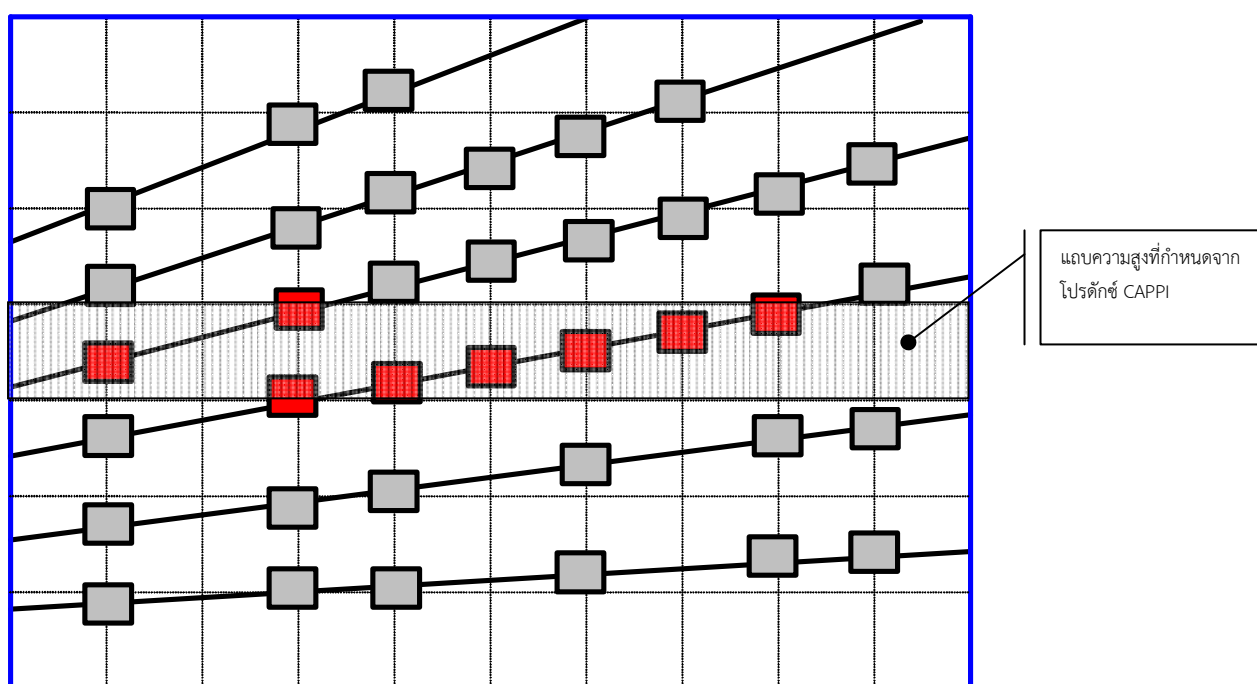
ตารางที่ 2.3-3 ค่า Z กับรูปแบบของ Hydrometeors และรูปแบบของ Precipitation ที่มา : สำนักฝนหลวงการบินเกษตร (2552)

Hydrometeors	dBZ Range
Mixed-phase clouds	-30 to -10 dBZ
Ice clouds	-25 to -10 dBZ
Melting layer	-20 to 0 dBZ
Marginally detectable precipitation	-20 to 0 dBZ
Drizzle, very light rain or light snow	0 to 10 dBZ
Moderate rain and heavier snow	10 to 30 dBZ
Melting snow	30 to 45 dBZ
Moderate to heavy rain	30 to 60 dBZ
Hail	> 60 dBZ

ภักดี (2551) การใช้งานของเครื่องเรดาร์ฝนหลวงในปัจจุบันจะพิจารณาพื้นที่เป้าหมายของการปฏิบัติการฝนหลวงเป็นสำคัญโดยกำหนดรัศมีของการตรวจวัดที่ 240 กิโลเมตรครอบคลุมพื้นที่การปฏิบัติการฝนหลวงมากถึง 56 จังหวัดทั่วประเทศไทย และทำการตรวจวัดข้อมูลแบบเชิงปริมาตร (Volume Scan) เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลสภาพอากาศแบบสามมิติทั้งแนวระนาบและแนวตั้งได้ในเวลาเดียวกัน โดยให้สามารถเก็บข้อมูลสภาพอากาศที่รัศมีไกลสุด 25 กิโลเมตร โดยมีความสูงอย่างต่ำ 10 กิโลเมตร และรัศมีไกลสุด 240 กิโลเมตร โดยให้มีความสูงอย่างต่ำ 20 กิโลเมตร เรดาร์จะทำการสแกนหรือหมุนจานสายอากาศในแนวระดับและทางแนวตั้ง เพื่อตรวจวัดข้อมูลกลุ่มเมฆฝนตั้งแต่ระดับต่ำจนถึงระดับความสูงที่ต้องการ โดยทำการตรวจวัดข้อมูลแบบเชิงปริมาตรทุก ๆ 6 นาที เพื่อให้ได้ข้อมูลในการติดตามตรวจกลุ่มเมฆฝนได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

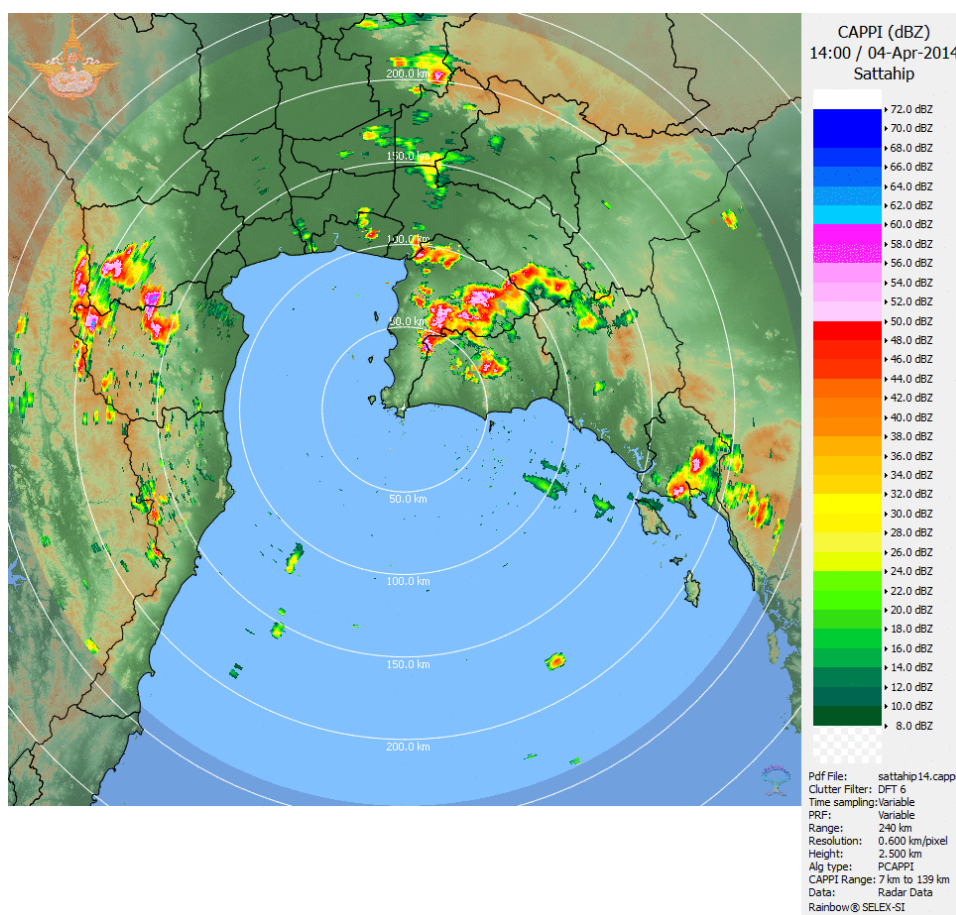
2.3.2 การแสดงผลการตรวจวัดกลุ่มฝนจากเรดาร์ตรวจอากาศ

ข้อมูลการตรวจวัดกลุ่มฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้มาจากโปรดัคซ์ CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) แบบ dBZ (Reflectivity) ซึ่งเป็นการตรวจวัดที่มีการประยุกต์มาจากการตรวจวัดแบบ PPI (Plan Position Indicator) (ซึ่งเป็นการตรวจวัดข้อมูลทางแนวระดับโดยใช้มุมเงยเพียงมุมเดียว) การตรวจวัดข้อมูลแบบ CAPPI จะทำการสแกนข้อมูลแบบ PPI หลายๆ มุมเงย ทำให้ได้ข้อมูลของสภาพอากาศแบบปริมาตร (สามมิติ) ในการประมาณความเข้มของกลุ่มเมฆฝน, ความเร็วดอปเพลอร์ และความกว้างของแถบสเปกตรัมในระนาบแนวนอน (ภักดี, 2549b) ที่มีค่าความสูงแตกต่างกันออกไป ผู้ใช้งานสามารถเลือกการแสดงผลข้อมูลได้โดยสามารถกำหนด ‘ความสูง’ ของบริเวณที่เราสนใจได้ โดยสามารถกำหนดความสูงได้ตั้งแต่ 1 กิโลเมตร จนถึงระดับความสูงที่ 20 ถึง 30 กิโลเมตร หรือขึ้นกับอยู่ความสูงในการตรวจวัดข้อมูลเชิงปริมาตร การตรวจวัดข้อมูลแบบ CAPPI แสดงดังรูปที่ 2.3-1



รูปที่ 2.3-1 แสดงการสร้างโปรดัคซ์ CAPPI จากข้อมูลเชิงปริมาตร (Volume Scan) ที่มา: ภักดี (2549b)

จากรูปที่ 2.3-1 แสดงถึงภาพตัดขวางของการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์เชิงปริมาตร รูปสี่เหลี่ยมขนาดเล็กแสดงถึงสัญญาณสะท้อนกลับในแต่ละ Ray อัลกอริทึมของการตรวจวัดของโปรดัคซ์ CAPPI จะทำการเลือกข้อมูลสัญญาณสะท้อนกลับตามค่าสูงที่กำหนดรูปสี่เหลี่ยมสีแดงสัญญาณก่อนของสัญญาณสะท้อนกลับที่อัลกอริทึมของการตรวจวัดของโปรดัคซ์ CAPPI ทำการเลือกเพื่อนำไปประมวลผลต่อไป ตัวอย่างของการแสดงผลการตรวจวัดแบบ CAPPI แสดงดังรูปที่ 2.3-2



รูปที่ 2.3-2 ตัวอย่างภาพที่สร้างจากการตรวจแบบ CAPPI สถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี
วันที่ 4 เมษายน 2557 เวลา 14:00 (เวลาท้องถิ่น) ที่มา: กรมฝนหลวงและการบินเกษตร

2.4 การตรวจอากาศชั้นบน และดัชนีเสถียรภาพอากาศ

2.4.1 การตรวจอากาศชั้นบน

การตรวจวัดอากาศชั้นบน (Atmospheric sounding) คือ การตรวจวัดสภาพอากาศในแนวตั้ง เช่น ความกดบรรยากาศ อุณหภูมิ ความเร็วลมและทิศทางลม โดยวัดตั้งแต่ระดับผิวพื้นจนถึงระดับประมาณ 100 มิลลิบาร์ หรือประมาณ 60,000 ฟุต โดยวิธีการวัดที่เป็นที่นิยม ได้แก่ การตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหึ่งอากาศ (Radiosonde)

Radiosonde (University of Wisconsin-Madison, 2010) เป็นเครื่องมือขนาดเล็กที่ใช้ในการตรวจวัดสภาพอากาศโดยการติดไปกับบอลลูนตรวจอากาศและสามารถส่งสัญญาณวิทยุมายังคอมพิวเตอร์ที่อยู่เบื้องล่างได้ Radiosonde บรรจุเครื่องมือที่สามารถวัดค่า In-situ ของอุณหภูมิ ความชื้นและความดันต่อความสูงของอากาศ โดยปกติอยู่ที่ความสูงประมาณ 30 กิโลเมตร ค่าต่าง ๆ ที่ตรวจวัดได้ จะสามารถส่งข้อมูลผ่านสัญญาณวิทยุมายังสถานีเบื้องล่างได้ทันที การลอยขึ้นสูงของ Radiosonde ทำให้สามารถวัดค่าของความเร็วและทิศทางของกระแสลมของชั้นบรรยากาศในแต่ละระดับความสูงได้

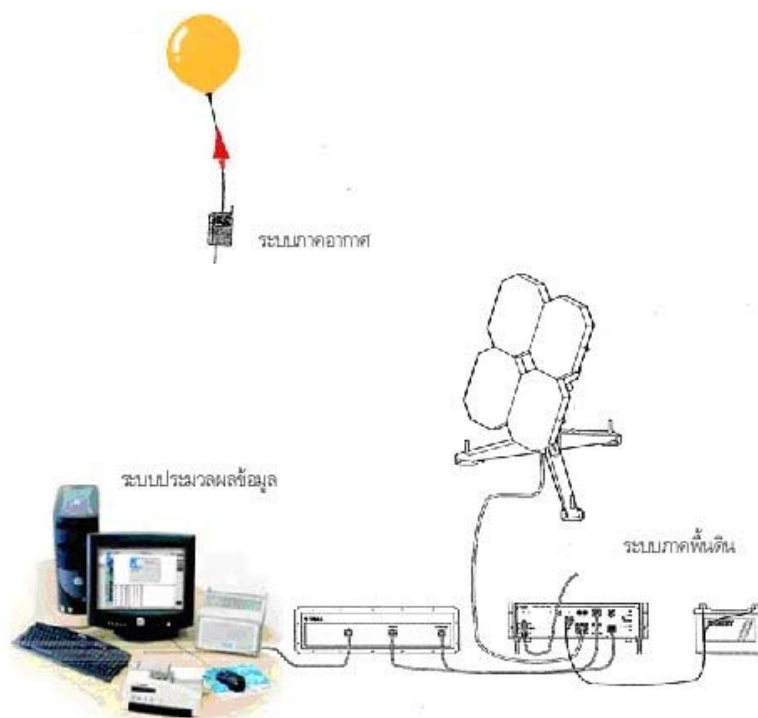
ภักดี (2553) ระบบการทำงานของ การตรวจอากาศชั้นบน แบ่งได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

1) ระบบภาคอากาศ ประกอบด้วย

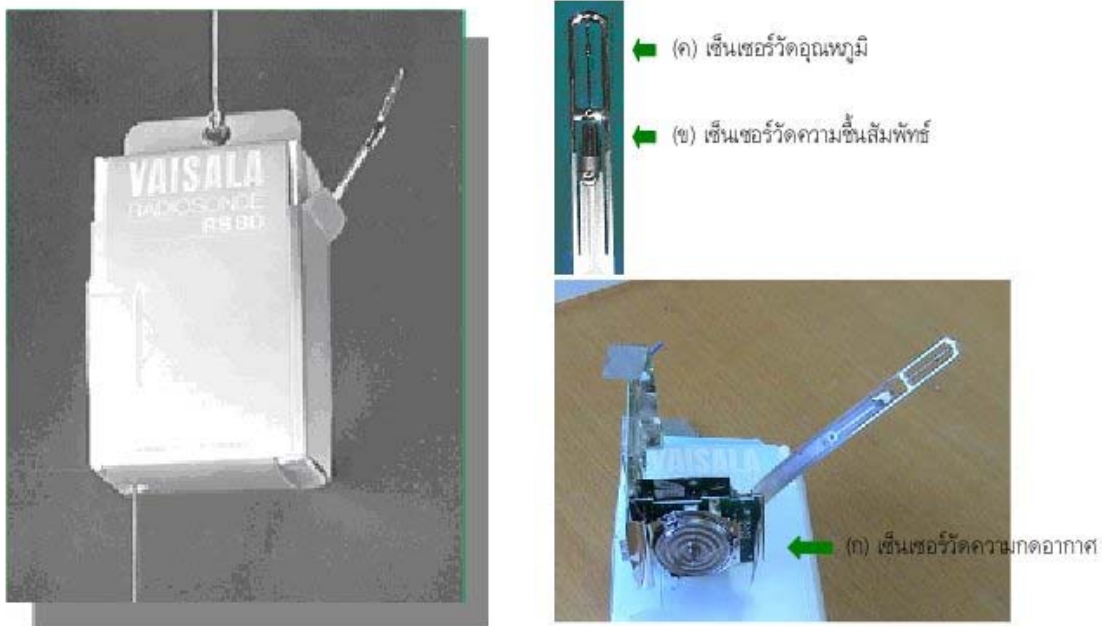
1.1 เครื่องส่งวิทยุหยังอากาศ ประกอบด้วยเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูลหลัก ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และอุปกรณ์ในการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลแบบ FM และระบบติดตาม ปัจจุบันกรม ฝนหลวงและการบินเกษตรใช้เครื่องส่งวิทยุหยังอากาศยี่ห้อ Vaisala ผลิตจากประเทศฟินแลนด์

1.2 บอลลูนอืดอากาศ เป็นลูกบอลลูนทรงกลมรี มีขนาดแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับอัตราการลอยตัวของ บอลลูนที่ใช้ น้ำหนักของเครื่องส่งวิทยุหยังอากาศ และอุปกรณ์ต่อพ่วงบรรจุด้วยแก๊สไฮโดรเจน

1.3 อุปกรณ์ต่อพ่วง ได้แก่ รมชูชีพขนาดเล็ก เพื่อลดความเร็วของเครื่องส่งวิทยุหยังอากาศขณะตกลง สู่พื้นดินภายหลังจากที่ลูกบอลลูนระเบิด เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน



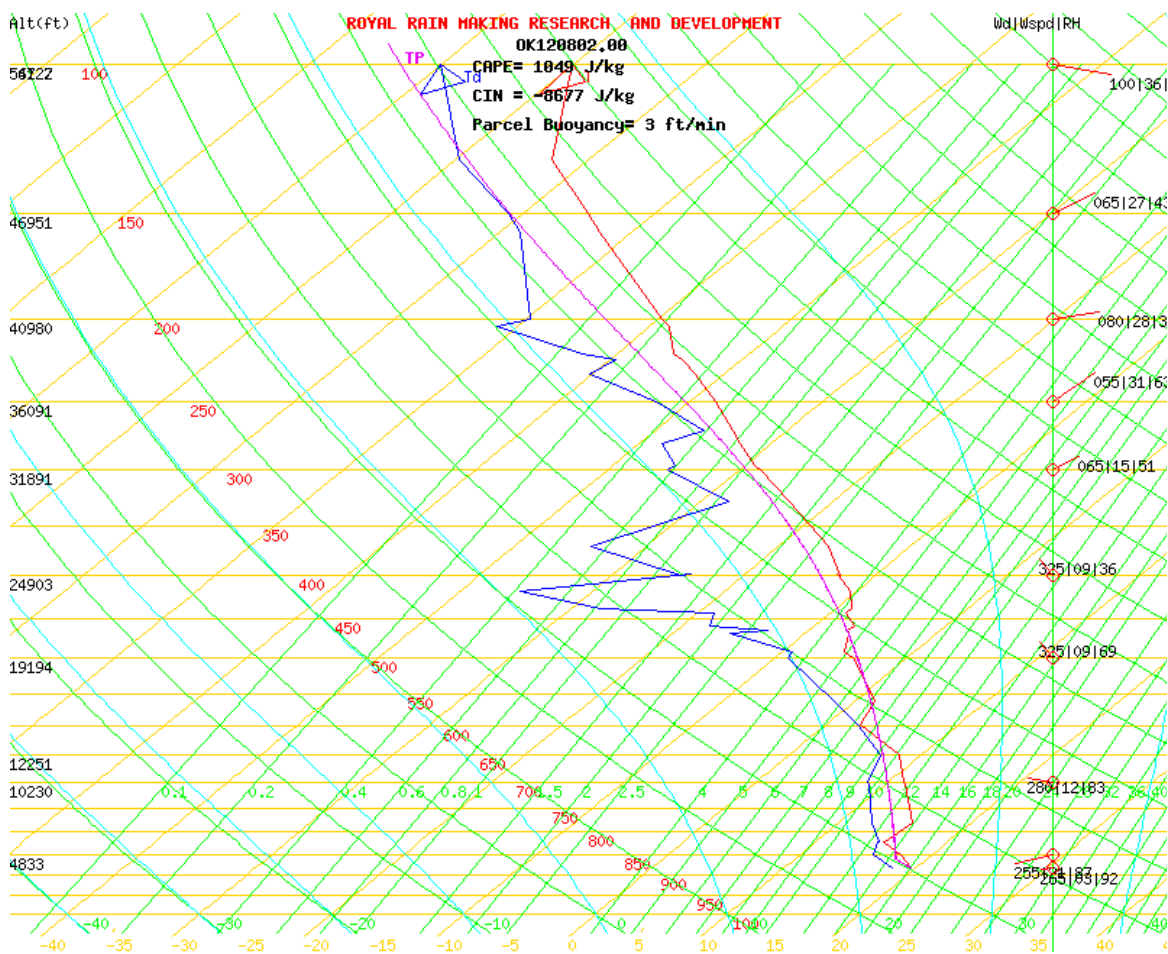
รูปที่ 2.4-1 ระบบการทำงานของ การตรวจอากาศชั้นบน ที่มา: ภัคดี (2553)



รูปที่ 2.4-2 แสดงเครื่องส่งวิทยุหึ่งอากาศและเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูลหลัก (ก) เซ็นเซอร์วัดความกดอากาศ
(ข) เซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ และ (ค) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ที่มา: ภักดี (2553)

2) ระบบภาคพื้นดิน ประกอบด้วยระบบเครื่องรับแบบ Radiotheodolite และจานสายอากาศ ทำการรับสัญญาณข้อมูลและติดตามเครื่องส่งวิทยุหึ่งอากาศด้วยคลื่นวิทยุความถี่ 1,680 MHz และทำการถอดรหัสข้อมูลสัญญาณ FM (Frequency Modulation) โดยการลดความถี่ (Down converter) ลงเป็น 403 MHz ขณะเดียวกันก็จะทำการติดตามเครื่องส่งวิทยุหึ่งอากาศอย่างต่อเนื่องเพื่อใช้ในการคำนวณทิศทางและความเร็วของลมต่อไป

3) ระบบประมวลผลข้อมูล ทำการประมวลผลข้อมูลหลักผ่านโปรแกรม DigiCORAlll. ประกอบด้วยการแสดงผลกราฟข้อมูล เช่น กราฟ Skew T - ln P, ระบบการบันทึกข้อมูลและการเข้ารหัสข้อความทางอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 2.4-3 ตัวอย่างผลตรวจอากาศชั้นบน สถานีตรวจอากาศ อำเภอมวกก่อ จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ.
2555 ชนิดกราฟ Skew T – ln P ที่มา: กรมฝนหลวงและการบินเกษตร

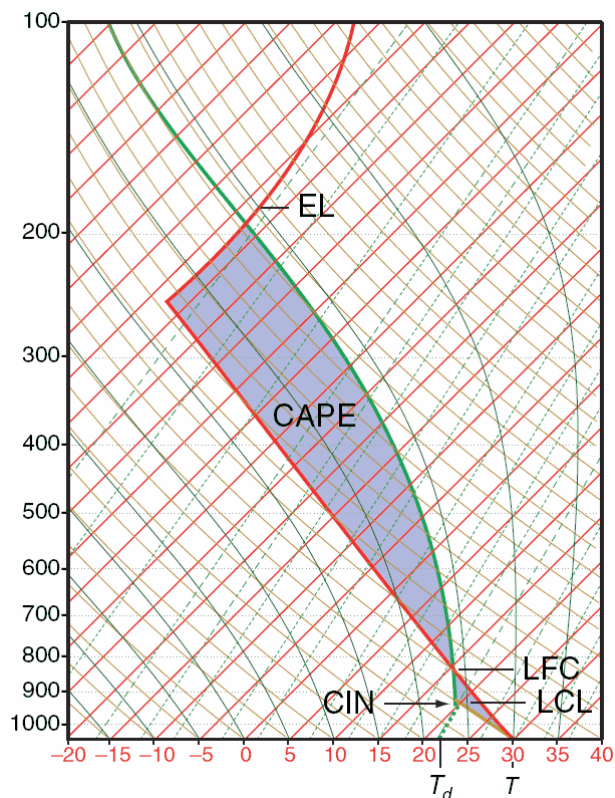
2.4.2 ดัชนีเสถียรภาพอากาศ

1) CAPE (Convective available potential energy) หรือ พลังงานในการยกตัวของมวลอากาศ

คือผลรวมพื้นที่ด้านบวกบนกราฟ Skew T – ln P ซึ่งพื้นที่ด้านบวก คือ พื้นที่ที่มีอุณหภูมิของมวลอากาศสูงมากกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมในแต่ละระดับความสูง ดังแสดงใน รูปที่ 2.4-4 ซึ่งอุณหภูมิของมวลอากาศคือ อัตราการยกตัวของมวลอากาศจากระดับที่ต่ำกว่า PBL (Planetary boundary layer) CAPE สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.4.1

$$CAPE = g \int_{Z_{LFC}}^{Z_{EL}} \left(\frac{T_{vp} - T_{ve}}{T_{ve}} \right) dz \quad (2.4.1)$$

เมื่อ	T_{vp}	คือ Virtual temperature of the parcel
	T_{ve}	คือ Virtual temperature of the environment
	Z_{EL}	คือ Height of the equilibrium level
	Z_{LFC}	คือ Level of free convection
	G	คือ Gravity



รูปที่ 2.4-4 CAPE area เส้นสีแดง Dry adiabatic เส้นสีเขียว Moist adiabatic

ที่มา: http://www.geog.ucsb.edu/~joel/g266_s10/lecture_notes/chapt08/oh10_8_2/fig_8_42.gif

จากรูปที่ 2.4-4 ค่าของ CAPE คือพื้นที่ด้านบวกบน Sounding ขึ้นอยู่กับจำนวน CAPE ที่เกิดขึ้นถ้ามีพื้นที่ด้านบวกมาก ค่า CAPE ก็จะสูง หน่วยของ CAPE คือ จูลต่อกิโลกรัม (Energy per unit mass; J/kg) นัยสำคัญของ CAPE มีดังนี้ ค่า 1–1,500 จูลต่อกิโลกรัม หมายถึง CAPE มีค่าเล็กน้อย, ค่า 1,500–2,500 จูลต่อกิโลกรัม หมายถึง CAPE มีค่าปานกลาง และค่าที่มากกว่า 2,500 จูลต่อกิโลกรัม หมายถึง CAPE มีค่ามาก

ถ้า CAPE มีค่าสูง หมายถึง การก่อตัวทางตั้งของเมฆจะเกิดขึ้นเร็ว ความเร็วของกระแสอากาศไหลขึ้นจะขึ้นอยู่กับค่า CAPE ในกรณีของการเกิดลูกเห็บ การเพิ่มขึ้นของ CAPE (โดยเฉพาะที่สูงมากกว่า 2,500 จูลต่อกิโลกรัม) ยังทำให้อายุการเกิดลูกเห็บเพิ่มขึ้น ลูกเห็บขนาดใหญ่ ๆ เกิดจาก CAPE ที่มีค่ามากๆ เกิดความรุนแรงของกระแสอากาศไหลขึ้นบ่อยครั้งจนทำให้กระแสอากาศไหลลงรุนแรง เนื่องจากความรุนแรงของอากาศไหลขึ้นจะทำให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำจำนวนมาก โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีฝนตกหนักเนื่องจากมีพายุขนาดใหญ่และมี CAPE สูง การเกิดฟ้าผ่า CAPE ที่มีขนาดปานกลางจนถึงมากจะทำให้พายุเกิดฟ้าผ่าจำนวนมาก

ข้อควรระวังในการใช้ค่า CAPE คือ 1) พายุจะเกิดจาก CAPE ได้ก็ต่อเมื่อ Capping inversion ในระดับต่ำมีการแตกออก และ 2) ขนาดของ CAPE สามารถเพิ่มและลดได้อย่างรวดเร็ว

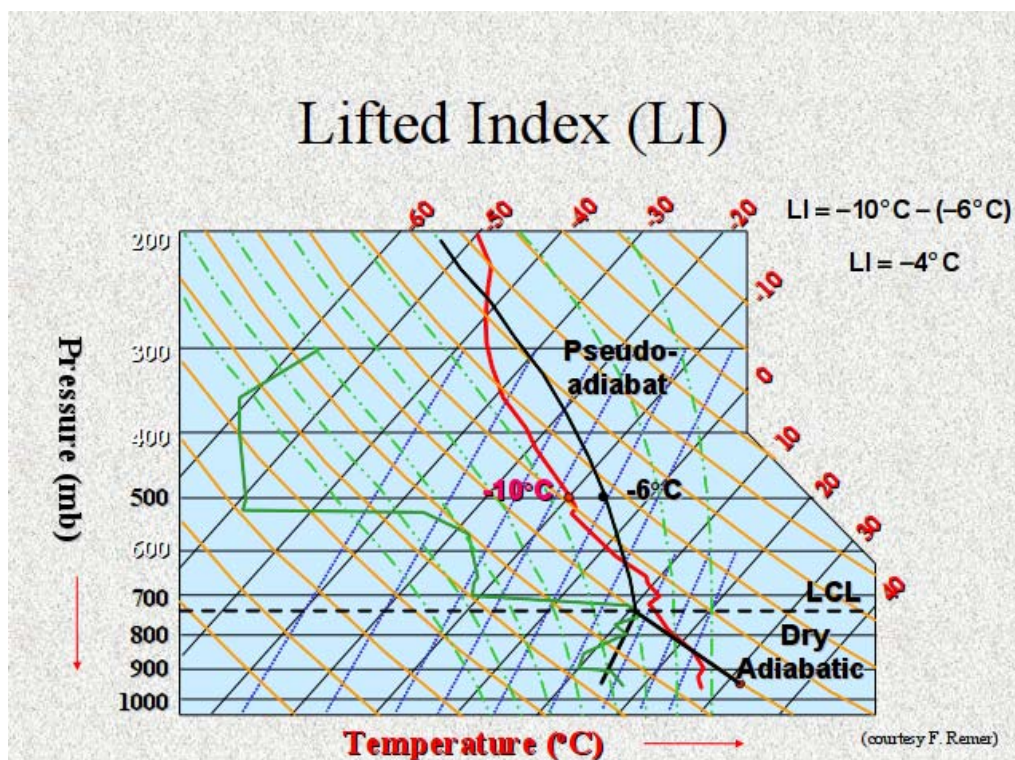
2) LI (Lifted Index) หรือ เสถียรภาพของชั้นบรรยากาศระดับต่ำ

เป็นตัวบอกถึงเสถียรภาพของอากาศในระดับต่ำ การหาค่า LI ทำได้โดยหาจากค่าอุณหภูมิและจุดน้ำค้างที่จุดสูงจากพื้น 50 มิลลิบาร์ ลากเส้นขนานกับเส้น Dry adiabatic จากตำแหน่งอุณหภูมิที่ระดับความสูง 50 มิลลิบาร์ เหนือพื้นดิน จากนั้นให้ลากเส้นจากจุดน้ำค้างที่ระดับความสูง 50 มิลลิบาร์ เหนือพื้นจุดตัดของทั้งสองเส้นคือตำแหน่ง LCL จากตำแหน่ง LCL ลากเส้นขนานกับ Wet adiabatic จนกระทั่งถึงระดับความสูง 500 มิลลิบาร์ หลังจากนั้นก็เปรียบเทียบอุณหภูมิของมวลอากาศที่ 500 มิลลิบาร์ กับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่ 500 มิลลิบาร์ ค่า LI สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.4.2

$$LI = \text{Temperature of environment at 500mb} - \text{Parcel temperature 500mb} \quad (2.4.2)$$

ค่า LI ที่เป็นลบแสดงว่าระดับ PBL มีความไม่เสถียรภาพจนกระทั่งถึงระดับตอนกลางของชั้นบรรยากาศ สิ่งแวดล้อมแบบนี้มักเกิดการก่อตัวทางตั้งของเมฆ ยิ่ง LI มีค่าเป็นลบ ชั้นบรรยากาศก็จะมีค่าความไม่เสถียรภาพมากและแรงการยกตัวของมวลอากาศจากระดับ PBL ถ้า LI มีค่าเป็นบวก แสดงว่าบรรยากาศมีเสถียรภาพ, $0 > LI > -4$ แสดงว่าบรรยากาศไม่มีเสถียรภาพเล็กน้อย, $-4 > LI > -7$ แสดงว่าบรรยากาศไม่มีเสถียรภาพปานกลาง และถ้า $-8 > LI$ แสดงว่าบรรยากาศไม่มีเสถียรภาพมาก อย่างไรก็ตามค่า LI บอกถึงความไม่เสถียรภาพของอากาศเพียงระดับเดียว

ค่า LI ต่างกับ CAPE ตรงที่ค่า LI ไม่สามารถบอกถึงความไม่เสถียรภาพของบรรยากาศทั้งหมด ดังนั้นค่า LI จึงเหมาะสำหรับทำนาย/คาดการณ์การก่อตัวทางตั้งของเมฆ ในฤดูร้อน และค่า LI สามารถใช้ได้ดีในช่วงฤดูร้อนในเขตละติจูดปานกลาง ทั้งนี้ค่า LI ไม่สามารถใช้งานได้ดีในเขตแถบขั้วโลก และการทำนายการเกิดฝนในช่วงฤดูหนาว



รูปที่ 2.4-5 แสดงตัวอย่างผลการตรวจอากาศของ Lifted Index (LI) ที่มา: ฉันทิ และคณะ (2556)

2.5 เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในโครงการศึกษา

2.5.1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

โดยทั่วไปแล้วจะหมายถึง สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson product-moment coefficient of linear correlation: PPMC) ซึ่งเป็นการวัดค่าความเชื่อมโยงกันระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปร หรืออีกมุมมองหนึ่ง คือ เป็นอัตราส่วนของความแปรปรวนร่วม (Covariance) ของตัวแปร 2 ตัว กับผลคูณของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของทั้งสองตัวแปร

$$r_{xy} = \frac{Cov(x, y)}{S_x S_y} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad 2.5.1$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นั้นมีจุดอ่อนในบางส่วนเช่น ในกรณีที่ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันสูงแต่ความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรงก็อาจจะไม่ปรากฏค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นี้มีความอ่อนไหวอย่างมากต่อจุดบางจุดหรือจุดบางส่วนที่อยู่ห่างจากคู่ของมัน แต่อย่างไรก็ดีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ถูกนำมาใช้ค่อนข้างบ่อย เนื่องจากมันเหมาะสมกับการใช้งานทางด้านคณิตศาสตร์ เพราะว่ามันมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) และการแจกแจงแบบพหุตัวแปรและหลายตัวแปรแบบ Gaussian (Bivariate และ Multivariate Gaussian Distributions)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันนั้นมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ ได้แก่

(1) มีค่าตั้งแต่ -1 จนถึง 1 ($-1 \leq r_{xy} \leq 1$) ถ้า $r_{xy} = 1$ แปลว่า ตัวแปร x และตัวแปร y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่สมบูรณ์ในทางตรงข้ามกันนั่นคือ ถ้าสร้างกราฟ Scatter plot ของตัวแปร y ต่อตัวแปร x เส้นตรงที่ลากผ่านจุดทั้งหมดของกราฟจะมีความชันที่เป็นค่าลบ เช่นเดียวกัน ถ้าค่า $r_{xy} = -1$ ตัวแปร x และตัวแปร y ก็มีความสัมพันธ์เชิงเส้นสมบูรณ์ในทางเดียวกัน

(2) ค่ายกกำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงถึง สัดส่วนของตัวแปร x หรือ y ที่สามารถอธิบายหรือทำนายได้ด้วยตัวแปรอื่นในแนวเส้นตรงหรือกล่าวอีกแบบหนึ่งคือสัดส่วนของความแปรปรวนของตัวแปรหนึ่ง ที่สามารถอธิบายได้ด้วยอีกตัวแปรหนึ่ง

ตัวเลขสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 ค่าที่ใกล้ศูนย์แสดงว่าข้อมูลตัวแปรทั้งสองชุดมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก ในทางตรงข้ามถ้าค่าเข้าใกล้ +1 แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์ระหว่างกันสูงในทิศทางแปรตาม (Positive Correlation) และถ้าค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันดี ในแบบตรงข้าม (Negative Correlation) ซึ่งการแปลผลของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ใช้ในโครงการศึกษา นี้ ได้ทำการแปลค่าตามตารางที่ 2.5-1 ดังนี้

ตารางที่ 2.5-1 การแปลผลของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยใช้เกณฑ์ของ Hinkle, Wiersma & Jurs (2003) (Rule of Thumb for Interpreting the Size of a Correlation Coefficient) ที่มา: ฉันทิ และคณะ (2556)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Size of Correlation)	การแปลค่า (Interpretation)	ค่าที่ใช้ใน โครงการศึกษา	ความหมายการแปลค่า
0.90 to 1.00 (-0.90 to - 1.00)	Very high positive (negative) correlation	0.91 to 1.00 (-0.91 to -1.00)	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
0.70 to 0.90 (-0.70 to - 0.90)	High positive (negative) correlation	0.71 to 0.90 (-0.71 to -0.90)	มีความสัมพันธ์กันสูง
0.50 to 0.70 (-0.50 to - 0.70)	Moderate positive (negative) correlation	0.50 to 0.70 (-0.50 to -0.70)	มีความสัมพันธ์กัน ปานกลาง
0.30 to 0.50 (-0.30 to - 0.50)	Low positive (negative) correlation	0.31 to 0.49 (-0.31 to -0.49)	มีความสัมพันธ์กันต่ำ
0.00 to 0.30 (-0.00 to - 0.30)	Little if any correlation	0.00 to 0.29 (-0.00 to -0.29)	มีความสัมพันธ์กันต่ำมาก

บทที่ 3

พื้นที่ศึกษาและชุดข้อมูล

3.1 พื้นที่ศึกษา

โครงการวิจัยฯ นี้ได้ใช้ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัทธิหีบ อำเภอสัทธิหีบ จังหวัดชลบุรี และข้อมูลปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติของกรมกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ภายในรัศมี 240 กิโลเมตร ของสถานีเรดาร์ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ในจังหวัดต่างๆ ทั่วภาคตะวันออก บางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และบางส่วนของภาคกลางตอนล่าง ได้แก่ ชลบุรี ระยอง จันทบุรี ตราด นครนายก ปราจีนบุรี สระแก้ว นครราชสีมา ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ราชบุรี กาญจนบุรี สุพรรณบุรี นครปฐม สมุทรสงคราม สมุทรสาคร สมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา สระบุรี และจังหวัดอ่างทอง ดังแสดงในรูปที่ 3.1-1 ประเทศไทยมักประสบปัญหาภัยแล้งและอุทกภัยบ่อยครั้งในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออก โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคตะวันออกในพื้นที่ลุ่มน้ำปราจีนบุรี ซึ่งมีปัญหาภัยแล้งในพื้นที่เกษตรกรรมหลายๆ พื้นที่ ปัญหาน้ำเค็มจากทะเลลุกล้ำน้ำจืดในหลายๆ แม่น้ำ เช่น แม่น้ำบางปะกง ซึ่งปัญหาต่างๆ เหล่านี้ จำเป็นต้องมีการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างถูกต้องและมีระบบ ซึ่งข้อมูลสำคัญที่จำเป็นต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบหรือสามารถคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่โดยรวมตามช่วงเวลาได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาวิธีการประเมินฝนในบริเวณพื้นที่ภาคตะวันออกให้มีความถูกต้องแม่นยำ ซึ่งข้อมูลฝนที่ประเมินได้อย่างถูกต้องจะมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการใช้เป็นข้อมูลสำหรับการบริหารจัดการน้ำของพื้นที่ภาคตะวันออกต่อไป

3.1.1 ลักษณะภูมิประเทศในตะวันออกของประเทศไทย

ภาคตะวันออกของประเทศไทยประกอบด้วย 8 จังหวัด ได้แก่ นครนายก ปราจีนบุรี สระแก้ว ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด โดยพื้นที่บริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทยเกิดจากการยุบตัวของเปลือกโลก ทำให้เกิดที่ราบระหว่างเทือกเขาสันกำแพง และเทือกเขาจันทบุรี เชื่อมโยงเข้าไปยังที่ราบในประเทศกัมพูชาประชาธิปไตย เรียกว่า ฉนวนไทย (Thai Corridor) ภาคตะวันออกมีพื้นที่ติดต่อกับประเทศกัมพูชาประชาธิปไตย ตั้งแต่จังหวัดสระแก้ว (อำเภอดาพระยา และอรัญประเทศ) พรมแดนอยู่บนพื้นที่ราบฉนวนไทย ลงมาทางใต้แนวพรมแดนผ่านจังหวัดจันทบุรี และเทือกเขาบรรทัดในจังหวัดตราด ลักษณะภูมิประเทศของภาคตะวันออกแบ่งออกได้ ดังนี้

3.1.1.1 เทือกเขา

ภาคตะวันออกมีเทือกเขาที่สำคัญ 2 แห่ง ได้แก่

- (1) เทือกเขาจันทบุรี หรือเขาตะแบงใหญ่ในเทือกเขาบรรทัด ทอดตัวลงไปทางตะวันตก 281 กิโลเมตร เป็นสันปันน้ำสองด้าน คือ น้ำที่ไหลจากด้านเหนือจะไหลลงสู่แม่น้ำปราจีนบุรีและแม่น้ำบางปะกง น้ำที่ไหลลงสู่ด้านใต้ เป็นแม่น้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำระยอง แม่น้ำวังโดนด และเป็นแม่น้ำสายสั้นไหลลงสู่อ่าวไทย ยอดเขาสูงในเทือกนี้คือ เขาสอยดาว สูง 1,680 เมตร และเขาสอยดาวใต้สูง 1,539 เมตร ทอดผ่านอำเภโป่งน้ำร้อน ชลุม มะขาม และท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี อำเภพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และอำเภพนสนิม บ้านบึงศรีราชา จังหวัดชลบุรี
- (2) เทือกเขาบรรทัดซึ่งเป็นเทือกเขาที่เป็นพรมแดนระหว่างประเทศไทยกับกัมพูชาประชาธิปไตย เริ่มจากแหลมสารพัดพิช ในอำเภคลองใหญ่ จังหวัดตราด ขึ้นไปทางเหนือตามแนวพรมแดน จนถึงเขาตะแบงใหญ่ รวมความยาว 114 กิโลเมตร ยอดเขาที่สำคัญ ได้แก่ เขาตะแบงใหญ่ สูง 914 เมตร

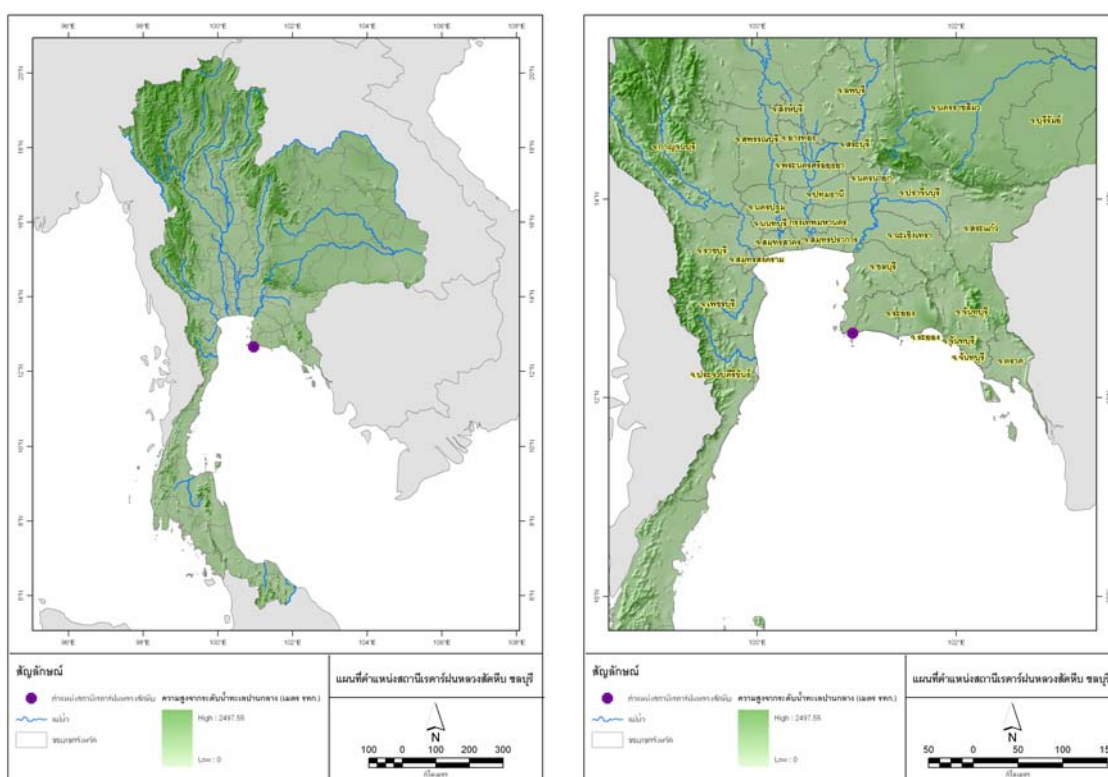
3.1.1.2 ชายฝั่งทะเล

ภาคตะวันออกมีชายฝั่งทะเลยาวกว่า 500 กิโลเมตร มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและการเมือง เพราะเป็นที่ตั้งฐานทัพเรือ มีลักษณะเว้าแหว่ง เป็นอ่าวขนาดเล็ก เป็นส่วนหนึ่งของอ่าวไทย เช่น อ่าวพัทยา อ่าวเกร็ดแก้ว เป็นต้น ชายฝั่งในภาคตะวันออกหลายแห่งได้รับความนิยมในการท่องเที่ยว เช่น หาดพัทยา หาดบางแสน รวมถึงหาดตามเกาะต่างๆ เช่น หาดตาแหวน เกาะล้าน และหาดทรายแก้ว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

3.1.1.3 แม่น้ำ

แม่น้ำที่สำคัญในภาคตะวันออกมีหลายสาย ดังนี้

1) แม่น้ำบางปะกง-ปราจีนบุรี เป็นแม่น้ำสายยาวที่สุด (230 กิโลเมตร) เกิดจากแม่น้ำสองสาย คือ แม่น้ำหनुมาน และแม่น้ำพระปรง ซึ่งสองสายนี้เกิดจากเทือกเขาสันกำแพง อำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี เรียกแม่น้ำสายนี้ว่า แม่น้ำปราจีนบุรี เมื่อไหลเข้าเขตอำเภอแปดริ้ว เรียกว่า แม่น้ำแปดริ้ว ไหลเข้าสู่อำเภอบางคล้า อำเภอมือ อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา เรียกว่า แม่น้ำบางปะกง และไหลลงสู่ทะเลระหว่างอำเภอบางปะกง และอำเภอมือ จังหวัดชลบุรี



รูปที่ 3.1-1 แสดงลักษณะภูมิประเทศในภาคตะวันออกของประเทศไทย และรัศมีการตรวจวัดของเรดาร์ฝนหลวงสถิติที่ 240 กิโลเมตร

- 2) แม่น้ำจันทบุรี ความยาวประมาณ 100 กิโลเมตร เกิดจากภูเขาสอยดาวเหนือ ผ่านอำเภอมือจันทบุรี และไหลลงสู่ทะเล เขตอำเภอแหลมสิงห์ จึงเรียกว่า ปากน้ำแหลมสิงห์
- 3) แม่น้ำแคว เป็นแม่น้ำสายสั้น ๆ ยาว 50 กิโลเมตร ต้นน้ำเกิดจากภูเขาทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของภูเขาสระบาป ไหลไปทางทิศตะวันออกบรรจบกับลำธารต่างๆ แล้วไหลลงสู่ทะเลบริเวณอำเภอลอง จังหวัดจันทบุรี เรียกว่า ปากน้ำแคว ซึ่งเป็นแม่น้ำขนาดใหญ่
- 4) แม่น้ำตราด เป็นแม่น้ำสายสั้น ๆ เกิดจากลำธาร 2 สายมาบรรจบกัน คือ ลำธารคลองใหญ่ และลำธารห้วยแร้ง อำเภอยาย จังหวัดตราด แล้วไหลลงสู่ทะเล

5) แม่น้ำระยอง เป็นแม่น้ำสายสั้น ๆ เกิดจากลำธารหลายสายมาบรรจบกันในเขตอำเภอบ้านค่าย แล้วไหลออกทะเล
อำเภอประจัญ จังหวัดระยอง

3.1.2 ลักษณะภูมิอากาศในภาคตะวันออกของประเทศไทย

ภาคตะวันออกมีพื้นที่ที่เป็นชายฝั่งยาวตามแนวอ่าวไทย และทางตอนกลางของภาคมีภูเขาสูง ทำให้ได้รับลมมรสุม
ตะวันตกเฉียงใต้ ผ่านอ่าวไทย เข้าสู่ตอนในของภาค ส่งผลให้ลักษณะภูมิอากาศของภาคตะวันออกแตกต่างกัน คือ
บริเวณชายฝั่งมีฝนตกชุก ตอนใต้ของภาคมีฝนตกน้อย และเนื่องจากปริมาณน้ำฝนแตกต่างกัน ทำให้แบ่งภูมิอากาศของ
ภาคตะวันออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบทุ่งหญ้าเมืองร้อนซึ่งอยู่ทางตอนบนของภาคตะวันออก และแบบมรสุมเมือง
ร้อนอยู่ทางชายฝั่งตะวันออกของภาคตะวันออก

อุณหภูมิเฉลี่ยของภาคตะวันออกอยู่ระหว่าง 30-65 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบริเวณชายฝั่งกับตอนในของภาคแตกต่างกัน
โดยบริเวณชายฝั่ง อุณหภูมิไม่สูงในฤดูร้อน และในฤดูหนาวไม่หนาวมาก ส่วนเขตด้านหลังของเทือกเขาจันทร์บุรี คือ
ปราจีนบุรี มีอากาศร้อนและหนาวจัดตามฤดูกาล

ตารางที่ 3.1-1 สถิติอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของภาคตะวันออกในฤดูกาลต่างๆ

อุณหภูมิ	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
เฉลี่ย	26.4	28.9	28.1
สูงสุดเฉลี่ย	31.7	33.9	32.1
ต่ำสุดเฉลี่ย	21.8	25.0	25.0

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514 -2543) ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา

ปริมาณน้ำฝน บริเวณที่มีฝนตกชุก ได้แก่บริเวณชายฝั่งจันทร์บุรีและตราด ส่วนบริเวณที่มีฝนตกน้อย ได้แก่บริเวณที่อยู่ลึก
จากชายฝั่งเข้าไปในพื้นที่ของภาคตะวันออก

ตารางที่ 3.1-2 สถิติปริมาณน้ำฝน (มม.) ของภาคตะวันออกในฤดูกาลต่างๆ

ฤดูร้อน (มม.)	ฤดูฝน (มม.)	ฤดูหนาว (มม.)	ทั้งปี
250.9	1,417.6	187.9	1,856.4

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514 -2543) ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา

ฤดูกาลของภาคตะวันออก แบ่งออกเป็น 3 ฤดู ดังนี้

- 1) ฤดูฝน เริ่มเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม เริ่มต้นฤดูจะมีพายุฝน พายุฝน ฝนตกกระจายทั่วไป จากนั้นจะมีลม
มรสุมตะวันตกเฉียงใต้นำฝนมาตก ฝนจะตกมากที่สุดในเดือนกันยายน บริเวณด้านใต้ของเทือกเขาจันทร์บุรีและด้าน
ตะวันตกของเทือกเขาบรรทัด ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ บางครั้งพื้นที่ภาคตะวันออกจะได้รับพายุดีเปรสชันจากทะเล
จีนใต้ เข้ามาสู่จังหวัดต่าง ๆ ด้านอ่าวไทย ทำให้ฝนตกมากในเดือนกันยายน และเดือนตุลาคมรองจากภาคใต้
- 2) ฤดูหนาว เริ่มประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ลมมรสุมภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะพัดแรง และนำ
ความเย็นมาสู่ภาคตะวันออก แต่ไม่หนาวมากเพราะอิทธิพลจากทะเล

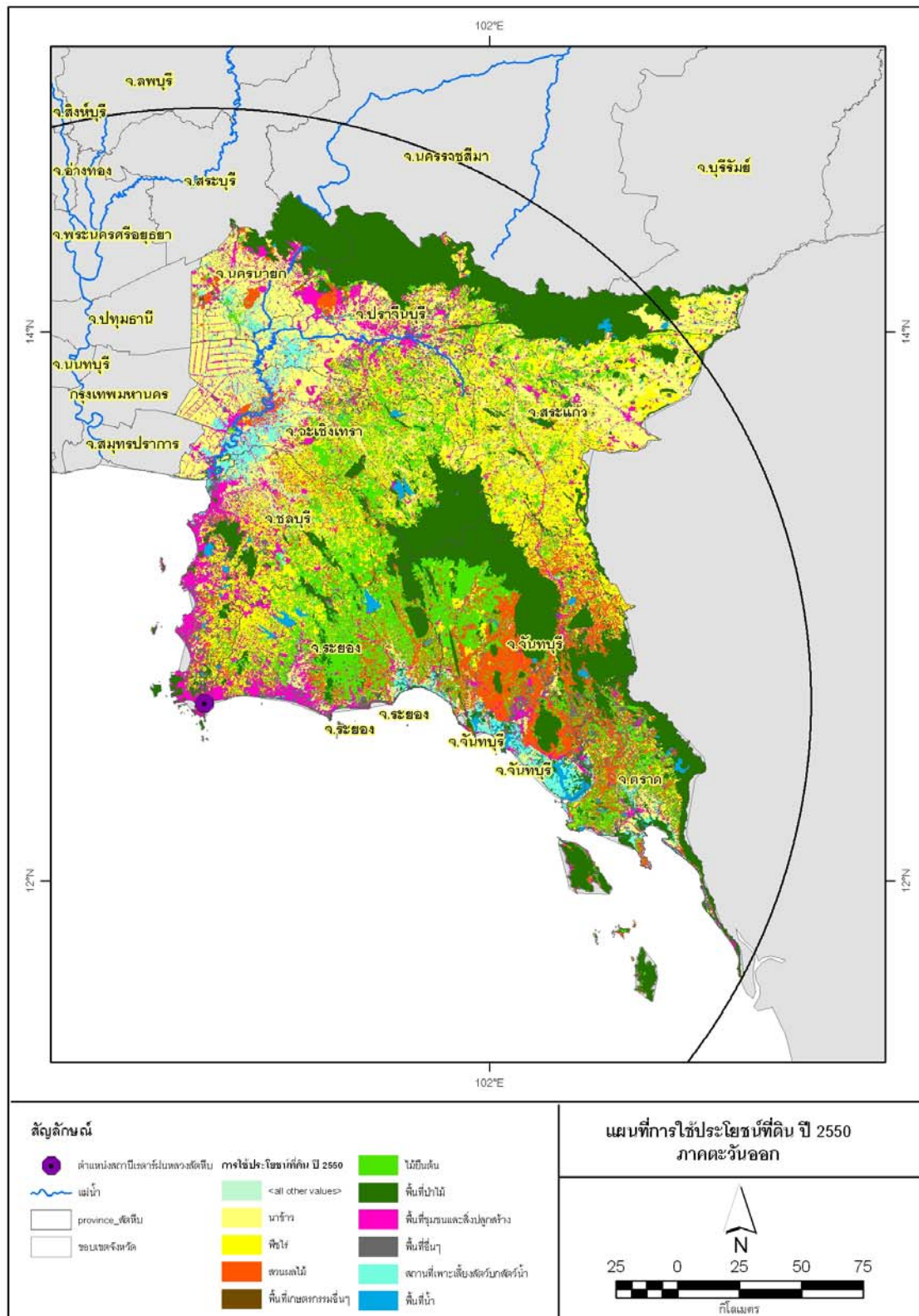
3) ฤดูร้อน เริ่มต้นเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน รวม 3 เดือน ช่วงนี้จะมีลมพัดจากทิศใต้เข้าสู่ภาคตะวันออกอากาศทำให้ไม่ร้อนมาก จึงเหมาะเป็นช่วงเวลาท่องเที่ยวพักผ่อน

3.1.3 การใช้ประโยชน์ที่ดินภาคตะวันออก

จากข้อมูลการสำรวจการใช้ประโยชน์ที่ดินภาคตะวันออก พบว่า ภาคตะวันออกมีการใช้ประโยชน์ที่ดินมากที่สุดเป็นพื้นที่ป่าไม้ คิดเป็นร้อยละ 23.23 รองลงมาเป็นพื้นที่เกษตรกรรมประเภทพืชไร่ คิดเป็นร้อยละ 17.53, นาข้าว ร้อยละ 16.64 และไม้ยืนต้น ร้อยละ 14.48 ตามลำดับ รายละเอียดสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินแสดงในตารางที่ 3.1-3 และแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแสดงดังรูปที่ 3.1-2

ตารางที่ 3.1-3 สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2550 ภาคตะวันออก (ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน 2550)

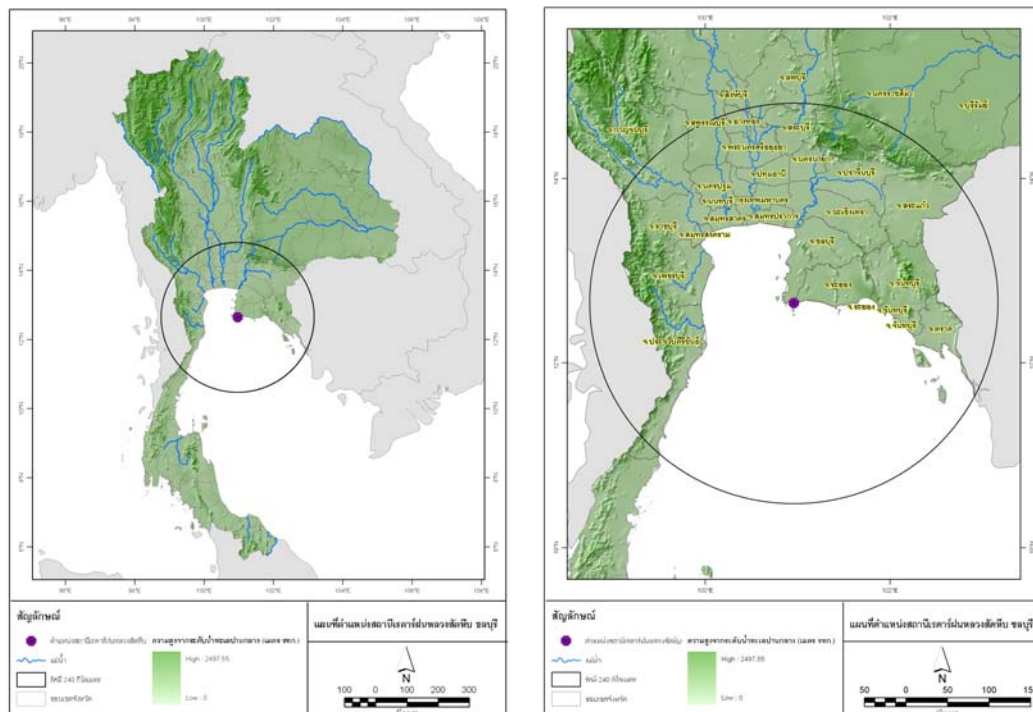
ประเภท	ตารางกิโลเมตร	ร้อยละ
พื้นที่ป่าไม้	8,463.56	23.23
พืชไร่	6,386.33	17.53
นาข้าว	6,061.24	16.64
ไม้ยืนต้น	5,275.76	14.48
สวนผลไม้	3,155.74	8.66
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	3,134.10	8.60
พื้นที่อื่นๆ	1,803.49	4.95
สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์บกสัตว์น้ำ	1,328.88	3.65
พื้นที่น้ำ	795.51	2.18
พืชสวน	20.15	0.06
พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ	1.27	0.003
รวม	36,426.03	100.00



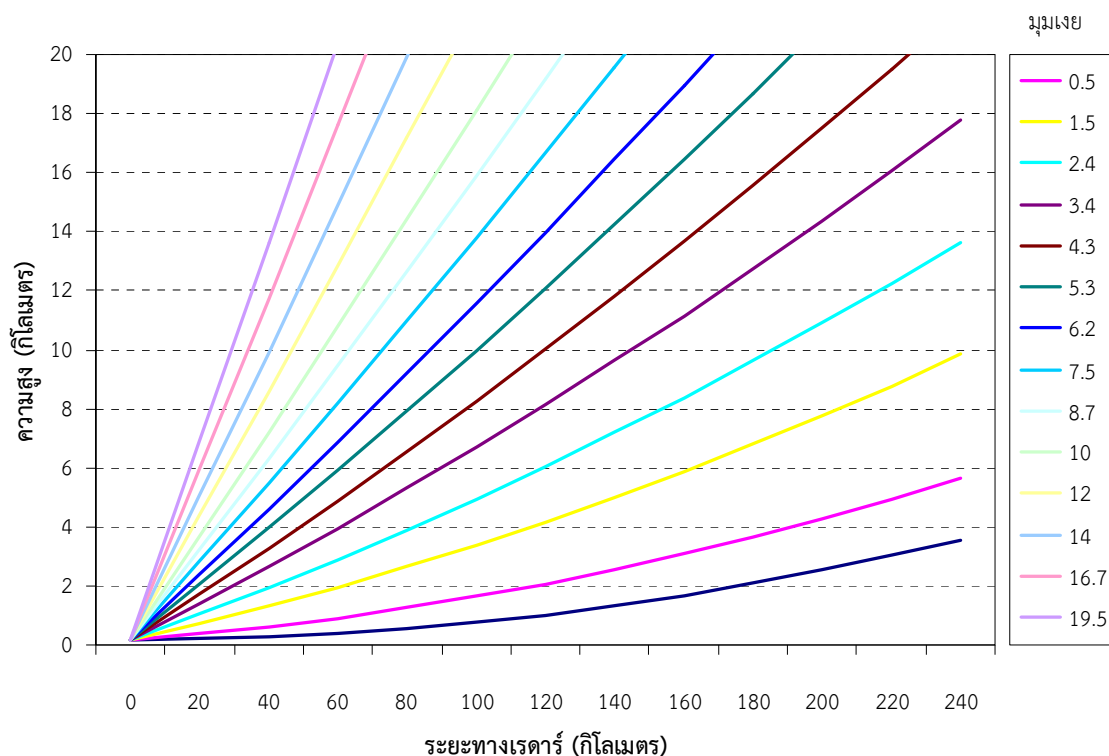
รูปที่ 3.1-2 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2550 บริเวณภาคตะวันออก (ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน 2550)

3.2 สถานีเรดาร์ฝนหลวงสถีบ

สถานีเรดาร์ฝนหลวงสถีบ ตั้งอยู่ที่อำเภอสถีบ จังหวัดชลบุรี พิกัดเส้นรุ้ง 12.647°N เส้นแวง 100.966°E ที่ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 174 เมตร รัศมีการตรวจวัด 240 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 22 จังหวัด โดยครอบคลุมพื้นที่ในจังหวัดต่างๆ ทั่วภาคตะวันออก บางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และบางส่วนของภาคกลางตอนล่าง ได้แก่ ชลบุรี ระยอง จันทบุรี ตราด นครนายก ปราจีนบุรี สระแก้ว นครราชสีมา ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ราชบุรี กาญจนบุรี สุพรรณบุรี นครปฐม สมุทรสงคราม สมุทรสาคร สมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา สระบุรี และจังหวัดอ่างทอง ดังแสดงรัศมีการตรวจวัดในรูปที่ 3.1-1 และสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถีบในรูปที่ 3.2-3



เรดาร์ฝนหลวงสัทธิเป็นเรดาร์แบบดอปเพลอร์ ย่านความถี่ S-band ทำการตรวจวัดข้อมูลแบบเชิงปริมาตร (Volume Scan) แสดงดังรูปที่ 3.2-2 เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลสภาพอากาศแบบสามมิติ ทั้งแนวระนาบ และแนวตั้งได้ในเวลาเดียวกันโดยให้สามารถเก็บข้อมูลสภาพอากาศที่รัศมีไกลสุด 25 กิโลเมตร โดยมีความสูงอย่างต่ำ 10 กิโลเมตร และรัศมีไกลสุด 240 กิโลเมตร โดยให้มีความสูงอย่างต่ำ 20 กิโลเมตร เรดาร์จะทำการสแกน หรือหมุนจานสายอากาศในแนวระดับ และทางแนวตั้ง เพื่อตรวจวัดข้อมูลกลุ่มเมฆฝนตั้งแต่ระดับต่ำ จนถึงระดับความสูงที่ต้องการ โดยทำการตรวจวัดข้อมูลแบบเชิงปริมาตรทุกๆ 6 นาที เพื่อให้ได้ข้อมูลในการติดตามตรวจกลุ่มเมฆฝนได้อย่างต่อเนื่อง และมีประสิทธิภาพ สำหรับใช้ในการวางแผนก่อนการปฏิบัติการฝนหลวง การปฏิบัติการฝนหลวง การประเมินผล และการเตือนภัยการบินปฏิบัติการฝนหลวง (ภักดี และคณะ, 2556)



รูปที่ 3.2-2 แสดงการตรวจวัดข้อมูลแบบเชิงปริมาตร (Volume Scan) จำนวน 14 มุมเงย ของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัทธิ จังหวัดชลบุรี

ในปัจจุบันใช้สมการความสัมพันธ์ $Z=300R^{1.4}$ ในการประเมินปริมาณน้ำฝนที่ตกบริเวณพื้นที่รับผิดชอบของสถานี โดยคุณสมบัติของเรดาร์ฝนหลวงสัทธิแสดงไว้ในตารางที่ 3.2-1

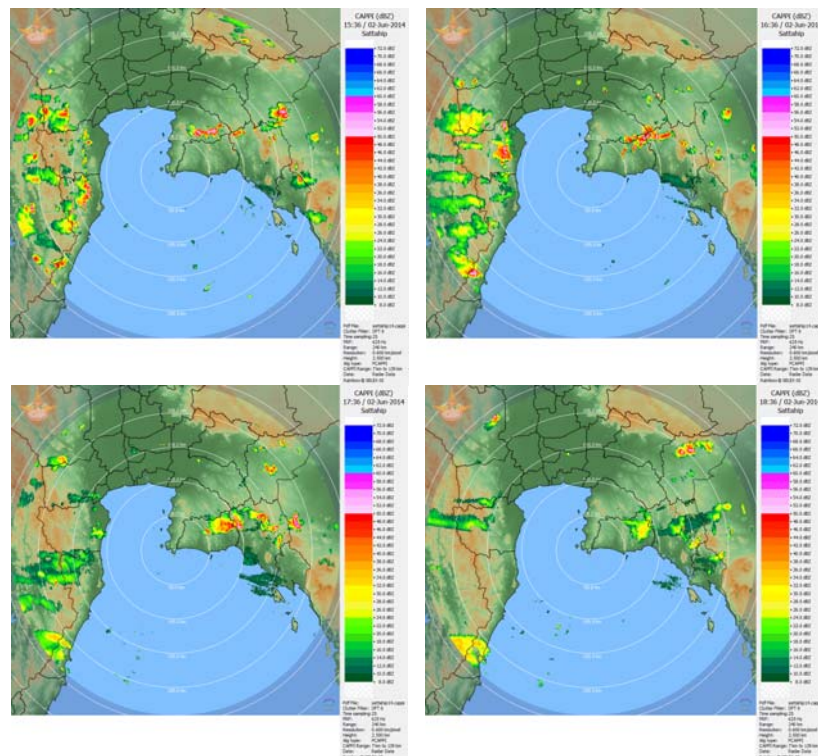
ตารางที่ 3.2-1 แสดงคุณสมบัติของเรดาร์ ณ สถานีเรดาร์ฝนหลวงสัทธิ

คุณลักษณะ	เรดาร์ฝนหลวงสัทธิ จังหวัดชลบุรี
ชนิดของเรดาร์	แบบดอปเพลอร์ S Band
ความถี่	2860 MHz
ความยาวคลื่น	10.45 cm
กำลังส่งสูงสุด	927 KW
ความกว้างลำคลื่น	1.0°

ความกว้างสัญญาณพัลส์	0.8 μ s
ความถี่สัญญาณพัลส์ซ้ำซ้อน	625 Hz
รัศมีการตรวจวัด	240 km
Gate width	250 m
มุมของการตรวจวัด	0.5°, 1.5°, 2.4°, 3.4°, 4.3°, 5.3°, 6.2°, 7.5°, 8.7°, 10.0°, (14 มุมเงย)
	12.0°, 14.0°, 16.7°, 19.5°

ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศสถานีเรดาร์ฝนหลวงสตัทท์

ข้อมูลเรดาร์ของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสตัทท์ ที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นข้อมูลในรูปแบบของ Vol files (Volume file format) ที่ได้จากระบบเรดาร์ผ่านโปรแกรมประมวลผล **Rainbow5** ซึ่งพัฒนาโดยประเทศเยอรมัน ทำการแปลงข้อมูลโดยใช้ซอฟต์แวร์ TITAN (Dixon, 1998) เป็นข้อมูลแบบคาร์ทีเซียน โดยที่ x คือ ระยะทางตามแนวทิศเหนือ-ใต้ ทุก 750 เมตร, y คือ ระยะทางตามแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก ทุก 750 เมตร และ z คือ ความสูง (กิโลเมตร) จำนวน 26 ระดับที่มีการตรวจวัดทุกๆ 6 นาที ตัวอย่างของรายละเอียดข้อมูลที่แปลงได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค รูปแบบของไฟล์จากเรดาร์ตรวจอากาศแบบ Gematronik และข้อมูล MDV ข้อมูลค่าได้เป็นชุดข้อมูลที่ประกอบด้วย ระยะกริดแนวแกน x กริดแนวแกน y และกริดแนวแกน z ของข้อมูลพารามิเตอร์ Z ที่พิกัดต่างๆ ดังรูปที่ 3.2-3 แสดงภาพเรดาร์ CAPPI ที่ระดับความสูง 2.5 กม. ของพารามิเตอร์ Z ที่ได้จากโปรแกรม Rainbow5 ในการศึกษาจะพิจารณาใช้พารามิเตอร์ Z ในการประเมินปริมาณน้ำฝน



รูปที่ 3.2-3 ตัวอย่างภาพเรดาร์ CAPPI ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตร ของภาพความเข้มกลุ่มฝน (Z) ที่แสดงผลจากโปรแกรม RAINBOW5® ของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือก ข้อมูลวันที่ 2 มิถุนายน 2557 เวลา 15:36 - 18:36 น. (เวลาท้องถิ่น)

โครงการวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลเรดาร์ของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสดหีบ ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557 จำนวนทั้งสิ้น 129 วัน รวม 2,934 ชั่วโมง ซึ่งสามารถคัดเลือกข้อมูลเรดาร์ได้ตามตารางที่ 3.2-2

ตารางที่ 3.2-2 ตารางรายละเอียดของข้อมูลเรดาร์ที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557

ลำดับ	วันที่มีข้อมูลการตรวจวัด (ปี ค.ศ./เดือน/วัน)	เวลาเริ่มต้น (UTC End Time)	เวลาสิ้นสุด (UTC End Time)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
1	20140320	082541	235557	16
2	20140321	000156	023755	3
3	20140322	030250	235643	21
4	20140323	000241	235626	24
5	20140324	000228	235613	24
6	20140325	000212	235558	24
7	20140326	000158	235545	24
8	20140327	000146	235535	24
9	20140328	000137	235521	24
10	20140329	000120	235508	24
11	20140330	000108	235453	24
12	20140331	000056	235442	24
13	20140401	000032	235432	24
14	20140402	000031	235417	24
15	20140403	000017	235405	24
16	20140404	000005	235950	24
17	20140405	000552	235936	24
18	20140406	000537	235923	24
19	20140407	000524	235914	24
20	20140408	000513	235401	24
21	20140409	000000	235946	24
22	20140410	000036	221734	23
23	20140515	052028	235715	19
24	20140516	000316	235654	24
25	20140517	000042	235630	24
26	20140518	000229	235608	24
27	20140519	000207	235549	24
28	20140520	000146	171928	18

ตารางที่ 3.2-2 ตารางรายละเอียดของข้อมูลเรดาร์ที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับ	วันที่มีข้อมูลการตรวจวัด (ปี ค.ศ./เดือน/วัน)	เวลาเริ่มต้น (UTC End Time)	เวลาสิ้นสุด (UTC End Time)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
29	20140521	002430	235706	18
30	20140522	000307	235645	24
31	20140523	000249	235636	24
32	20140524	000235	235617	24
33	20140525	000216	235602	24
34	20140526	000203	213448	22
35	20140527	004258	235148	18
36	20140528	000144	225730	22
37	20140529	003037	235717	24
38	20140530	000916	235703	23
39	20140531	000306	235824	24
40	20140601	000422	235808	7
41	20140602	000411	235430	24
42	20140603	000032	235420	24
43	20140604	000021	235412	24
44	20140605	000012	235401	24
45	20140606	000000	235952	24
46	20140607	000550	235937	24
47	20140608	000538	235927	24
48	20140609	000528	235918	24
49	20140610	000518	235908	24
50	20140611	000509	235502	24
51	20140612	000036	235423	24
52	20140613	000021	235413	24
53	20140614	000609	235955	24
54	20140615	000556	235941	24
55	20140616	000541	235927	24
56	20140617	000037	235453	24
57	20140618	000052	235454	24
58	20140619	000057	235459	24
59	20140620	000057	235456	24
60	20140621	000057	235457	24

ตารางที่ 3.2-2 ตารางรายละเอียดของข้อมูลเรดาร์ที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับ	วันที่มีข้อมูลการตรวจวัด (ปี ค.ศ./เดือน/วัน)	เวลาเริ่มต้น (UTC End Time)	เวลาสิ้นสุด (UTC End Time)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
61	20140622	000059	235457	24
62	20140623	000056	235457	24
63	20140624	000058	235501	24
64	20140625	000102	235504	24
65	20140626	000102	235503	24
66	20140627	000103	235504	24
67	20140628	000103	235506	24
68	20140629	000108	235504	24
69	20140630	000057	235509	24
70	20140701	000108	235507	24
71	20140702	000106	235508	24
72	20140703	000106	235510	24
73	20140704	000112	235509	24
74	20140705	000108	235511	24
75	20140706	000113	235515	24
76	20140707	000115	235513	24
77	20140708	000112	235515	24
78	20140709	000116	235519	24
79	20140710	000116	235517	24
80	20140711	000116	235519	24
81	20140712	000119	235521	24
82	20140713	000121	235520	24
83	20140714	000120	235803	24
84	20140715	000403	235801	24
85	20140716	000401	235803	24
86	20140717	000404	235805	24
87	20140718	000407	235804	24
88	20140719	000403	235600	24
89	20140720	000158	235551	24
90	20140721	000150	195535	20
91	20140723	200707	235508	4
92	20140724	000109	210641	22

ตารางที่ 3.2-2 ตารางรายละเอียดของข้อมูลเรดาร์ที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับ	วันที่มีข้อมูลการตรวจวัด (ปี ค.ศ./เดือน/วัน)	เวลาเริ่มต้น (UTC End Time)	เวลาสิ้นสุด (UTC End Time)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
93	20140725	044757	235947	20
94	20140726	000547	235931	24
95	20140727	000528	235914	24
96	20140728	000125	235857	24
97	20140729	000456	235843	24
98	20140730	000442	235825	24
99	20140731	000426	235809	24
100	20140801	000409	235751	24
101	20140802	000351	235734	24
102	20140803	000334	235720	24
103	20140804	000319	235701	24
104	20140805	000300	235644	24
105	20140806	000245	235506	24
106	20140807	000053	235609	24
107	20140808	000209	072006	8
108	20140810	010737	010737	1
109	20140811	043813	235558	20
110	20140812	000157	201944	21
111	20140813	030741	235521	21
112	20140814	000123	235509	24
113	20140815	000108	235450	24
114	20140816	000053	235435	24
115	20140817	000037	235419	24
116	20140818	000020	235400	24
117	20140819	000000	235343	24
118	20140820	000131	235930	24
119	20140821	000531	235913	24
120	20140822	000514	235855	24
121	20140823	000457	235838	24
122	20140824	000439	235821	24
123	20140825	000422	235806	24
124	20140826	000408	235147	24

ตารางที่ 3.2-2 ตารางรายละเอียดของข้อมูลเรดาร์ที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับ	วันที่มีข้อมูลการตรวจวัด (ปี ค.ศ./เดือน/วัน)	เวลาเริ่มต้น (UTC End Time)	เวลาสิ้นสุด (UTC End Time)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
125	20140827	000050	235731	24
126	20140828	000332	235113	24
127	20140829	000108	235409	19
128	20140830	000011	235414	24
129	20140831	000017	235415	24

3.3 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝน

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในโครงการวิจัยฯ ได้จากเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ (Automatic rain gauge) ภาคพื้นดิน ประกอบด้วย

3.3.1 เครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ดังแสดงในรูปที่ 3.3-1 ซึ่งตั้งอยู่ตามสถานที่ราชการต่างๆ และอยู่ในความรับผิดชอบของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กิโลเมตร ของสถานีเรดาร์สตึก จังหวัดชลบุรี จำนวน 50 สถานี ในปี พ.ศ. 2557 ตำแหน่งและรายละเอียดของสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังรูปที่ 3.3-3 (ภาคผนวก ก ตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนภาคตะวันออก กรมฝนหลวงและการบินเกษตร ปี พ.ศ. 2557) และตารางที่ 3.3-1

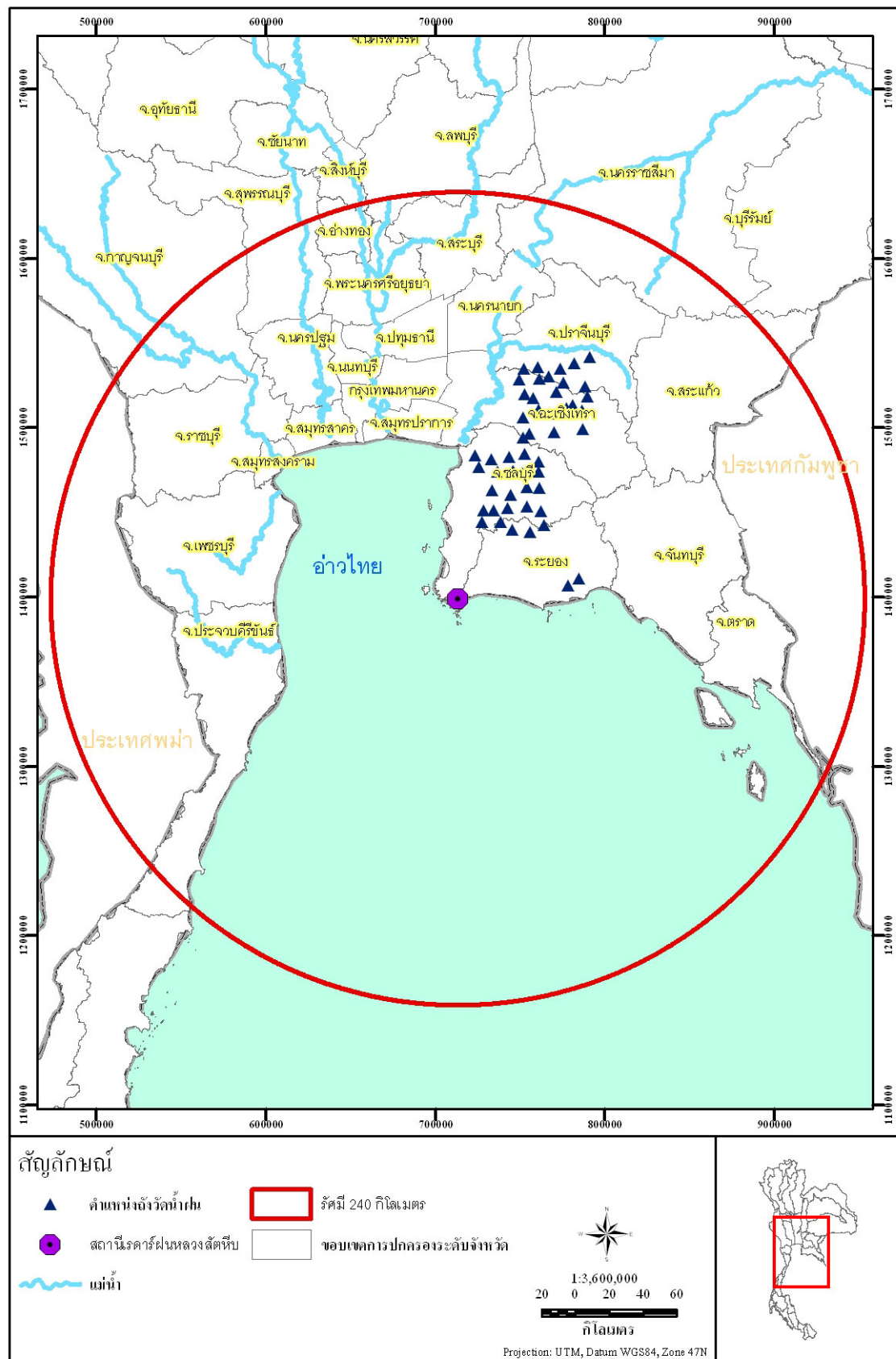


รูปที่ 3.3-1 แสดงตัวอย่างของเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ (Automatic rain gauge) ภาคพื้นดินของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ติดตั้งที่ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา

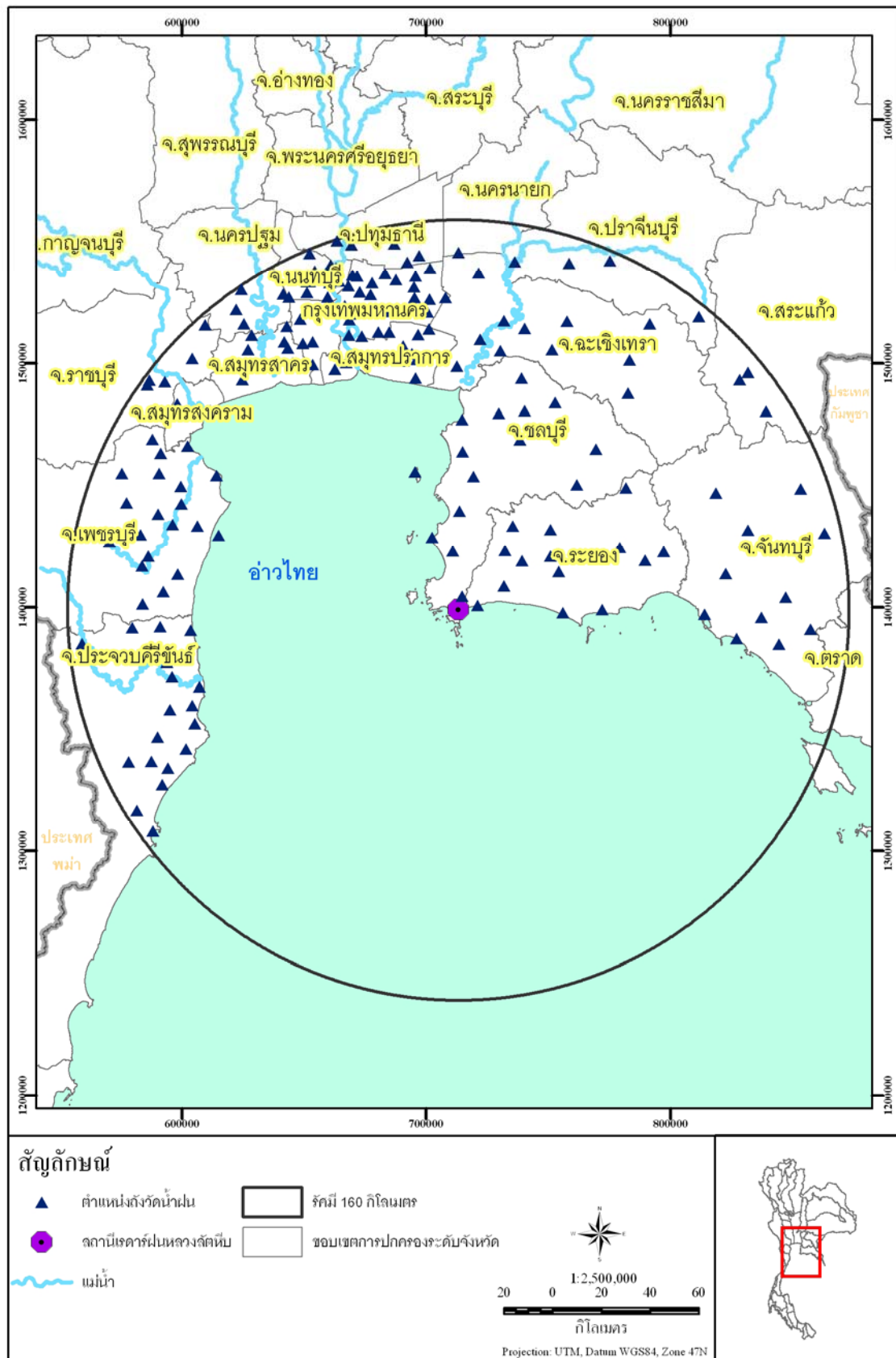


รูปที่ 3.3-2 แสดงตัวอย่างของเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ ภาคพื้นดินของกรมอุตุนิยมวิทยา (ระบบโทรมาตร) ติดตั้ง ณ องค์การบริหารส่วนตำบลท่าตูม อำเภอสรีมหาโพธิ์ จังหวัดปราจีนบุรี ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา

3.3.2 เครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา ดังแสดงในรูปที่ 3.3-2 ซึ่งตั้งอยู่ตามสถานที่และหน่วยราชการต่างๆ ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย และอยู่ในความรับผิดชอบของกรมอุตุนิยมวิทยา ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 160 กิโลเมตร ของสถานีเรดาร์สัตหีบ จังหวัดชลบุรี โดยการตรวจสอบและเลือกเฉพาะสถานีที่สามารถบันทึกค่าปริมาณน้ำฝนได้ จำนวน 112 สถานี ในปี พ.ศ. 2557 ตำแหน่งและรายละเอียดของสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังรูปที่ 3.3-4 และตารางที่ 3.3-2



รูปที่ 3.3-3 แสดงตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติภาคพื้นดินของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ที่ติดตั้งภายใต้รัศมีการตรวจวัดของเรดาร์สัตหีบ จังหวัดชลบุรี รัศมีทำการ 240 กิโลเมตร



รูปที่ 3.3-4 แสดงตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติภาคพื้นดินของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ติดตั้งภายใต้รัศมีการตรวจวัด 160 กิโลเมตร ของสถานีเรดาร์สดใหม่ จังหวัดชลบุรี ซึ่งมีรัศมีการทำการ 240 กิโลเมตร

ตารางที่ 3.3-1 แสดงตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนภาคตะวันออก (กรมฝนหลวงและการบินเขตร) และข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557

ลำดับ	ที่ตั้ง	โคัด	ระยะทางจาก เรดาร์ (km)	Latitude (N)	Longitude (E)	วันที่เริ่มต้น	วันที่สิ้นสุด	จำนวน วัน	ปริมาณฝนรวม (มม.)	ระยะเวลาฝนตก (ชั่วโมง)
1	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านกระทุ่มแพ้ว อ.บ้านสร้าง จ.ปราจีนบุรี	D101	142.04	13.87361	101.33306	15/3/2014	31/8/2014	91	834.5	319
2	สำนักงานเทศบาลตำบลโคกปีบ อ.ศรีมหาโพธิ์ จ.ปราจีนบุรี	D102	145.25	13.88	101.40972	15/3/2014	31/8/2014	94	880.1	325
3	องค์การบริหารส่วนตำบลหนองโโรง อ.ศรีมหาโพธิ์ จ.ปราจีนบุรี	D103	149.07	13.86861	101.53389	14/3/2014	31/8/2014	95	847.6	350
4	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านคลองรัง อ.ศรีมหาโพธิ์ จ.ปราจีนบุรี	D104	155.41	13.89722	101.60833	14/3/2014	31/8/2014	91	1020.2	354
5	ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์สัตว์ภาคตะวันออก อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี	D105	162.79	13.92972	101.69139	14/3/2014	31/8/2014	64	550.4	239
6	องค์การบริหารส่วนตำบลดงน้อย อ.ราชสาส์น จ.ฉะเชิงเทรา	D106	135.00	13.815	101.30722	15/3/2014	31/8/2014	84	861.9	299
7	สำนักงานเทศบาลตำบลบ้านช่อง อ.ศรีมหาโพธิ์ จ.ปราจีนบุรี	D107	138.83	13.81611	101.41667	21/3/2014	31/8/2014	85	644.3	300
8	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลโคกไทยบ้านหนองเกตุ อ.ศรีมหาโพธิ์ จ.ปราจีนบุรี	D108	142.18	13.82944	101.46639	21/3/2014	31/8/2014	93	719.9	339
9	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านปรือวายใหญ่ อ.ศรีมหาโพธิ์ จ.ปราจีนบุรี	D109	142.30	13.79528	101.54667	13/3/2014	31/8/2014	95	773.8	291
10	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านกรอกสมบูรณ์ อ.ศรีมหาโพธิ์ จ.ปราจีนบุรี	D110	146.53	13.77556	101.66528	17/3/2014	23/8/2014	80	634.3	275
11	องค์การบริหารส่วนตำบลเมืองเก่า อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา	D111	127.42	13.73528	101.33528	14/3/2014	31/8/2014	87	689.5	294
12	องค์การบริหารส่วนตำบลเกาะขนุน อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา	D112	126.81	13.71361	101.38111	21/3/2014	31/8/2014	83	778.9	310
13	ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา	D113	135.44	13.74472	101.50861	15/3/2014	31/8/2014	87	790.9	323
14	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านช้างป่างาม อ.สนมชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา	D114	133.36	13.67611	101.59889	15/3/2014	31/8/2014	89	721.7	334
15	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านทุ่งพระยา อ.สนมชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา	D115	141.87	13.71917	101.67667	20/3/2014	31/8/2014	90	873	323
16	องค์การบริหารส่วนตำบลหัวสำโรง อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา	D116	114.02	13.61056	101.32667	27/3/2014	31/8/2014	86	709.8	296
17	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านห้วยพลู อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา	D117	121.71	13.65194	101.41194	21/3/2014	31/8/2014	96	905.9	342
18	องค์การบริหารส่วนตำบลคูยาดหมี อ.สนมชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา	D118	123.95	13.62889	101.50833	21/3/2014	30/8/2014	90	813.6	341
19	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านนาโพธิ์ อ.สนมชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา	D119	129.64	13.6575	101.56361	17/3/2014	30/8/2014	105	782.6	372



ตารางที่ 3.3-1 แสดงตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนภาคตะวันออก (กรมฝนหลวงและการบินเขตร) และข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับ	ที่ตั้ง	โคัด	ระยะทางจาก เรดาร์ (km)	Latitude (N)	Longitude (E)	วันที่เริ่มต้น	วันที่สิ้นสุด	จำนวน วัน	ปริมาณฝนรวม (มม.)	ระยะเวลาฝนตก (ชั่วโมง)
20	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านนา อ.สนามชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา	D120	133.23	13.64556	101.64639	14/3/2014	31/8/2014	95	719.9	341
21	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านโกรกแก้ว อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา	D121	102.79	13.50333	101.32389	21/3/2014	31/8/2014	92	501.4	303
22	องค์การบริหารส่วนตำบลหนองไม้แก่น อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา	D122	106.68	13.52694	101.35889	21/3/2014	31/8/2014	96	554.8	331
23	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้าน กม.7 อ.สนามชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา	D123	113.74	13.53	101.49639	21/3/2014	31/8/2014	98	715	329
24	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองปรือกันยาง อ.ท่าตะเกียบ จ.ฉะเชิงเทรา	D125	124.44	13.54667	101.64972	17/3/2014	30/8/2014	92	788.6	319
25	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองตำลึง อ.พานทอง จ.ชลบุรี	D201	85.89	13.41389	101.0625	6/3/2014	7/9/2014	85	698.9	278
26	องค์การบริหารส่วนตำบลหนองขยาด อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี	D202	84.93	13.38944	101.15083	6/3/2014	7/9/2014	101	618.2	307
27	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านเนินแร่ อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี	D203	89.23	13.40083	101.24889	15/3/2014	7/9/2014	97	560.3	313
28	ที่ว่าการอำเภอเกาะจันทร์ จ.ชลบุรี	D204	94.51	13.4175	101.33472	20/3/2014	7/9/2014	110	750.2	345
29	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองชุมเห็ด อ.เกาะจันทร์ จ.ชลบุรี	D205	94.21	13.37556	101.41028	14/3/2014	7/9/2014	108	819.8	372
30	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านมาบไฟ อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี	D206	79.03	13.34861	101.08361	15/3/2014	7/9/2014	87	688.3	287
31	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองเงิน อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี	D207	78.83	13.32333	101.18472	11/3/2014	7/9/2014	104	712.8	360
32	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองเสม็ด อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี	D208	82.48	13.32694	101.27083	21/3/2014	7/9/2014	104	473.7	292
33	องค์การบริหารส่วนตำบลบ่อทอง อ.บ่อทอง จ.ชลบุรี	D209	83.58	13.31444	101.32111	11/3/2014	7/9/2014	127	740.6	394
34	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านช่อง อ.บ่อทอง จ.ชลบุรี	D210	88.90	13.32056	101.40833	15/3/2014	9/9/2014	97	606.4	308
35	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการสัตวแพทย์ภาคตะวันออก อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี	D212	67.28	13.22333	101.15583	15/3/2014	7/9/2014	96	863.3	305
36	องค์การบริหารส่วนตำบลหนองไม้แก้ว อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี	D213	68.80	13.19778	101.25556	15/3/2014	7/9/2014	96	884.8	344
37	องค์การบริหารส่วนตำบลห้างสูง อ.หนองใหญ่ จ.ชลบุรี	D214	77.46	13.23889	101.34333	15/3/2014	9/9/2014	98	785.9	332
38	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านโปรงเกตุ อ.บ่อทอง จ.ชลบุรี	D215	81.38	13.23528	101.41306	15/3/2014	7/9/2014	98	977.3	357

ตารางที่ 3.3-1 แสดงตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนภาคตะวันออก (กรมฝนหลวงและการบินเขตร) และข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับ	ที่ตั้ง	โค้ด	ระยะทางจาก เรดาร์ (km)	Latitude (N)	Longitude (E)	วันที่เริ่มต้น	วันที่สิ้นสุด	จำนวน วัน	ปริมาณฝนรวม (มม.)	ระยะเวลาฝนตก (ชั่วโมง)
39	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหุบบอน อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	D216	54.41	13.11667	101.1075	15/3/2014	7/9/2014	112	964.1	347
40	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพเฉลิมพระเกียรติ60พรรษามวินทราชนิ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	D217	56.61	13.11972	101.16028	15/3/2014	7/9/2014	110	1001.7	353
41	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหมื่นจิตร อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี	D218	61.35	13.13056	101.23889	13/3/2014	10/9/2014	107	853.4	350
42	องค์การบริหารส่วนตำบลหนองเสือช้าง อ.หนองใหญ่ จ.ชลบุรี	D219	67.84	13.13556	101.34111	18/3/2014	9/9/2014	115	986.7	402
43	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านคลองพลู อ.หนองใหญ่ จ.ชลบุรี	D220	70.95	13.10944	101.41722	15/3/2014	9/9/2014	107	763	383
44	องค์การบริหารส่วนตำบลบ่อวิน อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	D221	47.51	13.05472	101.09778	15/3/2014	7/9/2014	108	1044.4	329
45	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองคางคาว อ.ปลวกแดง จ.ระยอง	D222	51.92	13.05417	101.20083	15/3/2014	7/9/2014	99	704	324
46	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองบอน อ.ปลวกแดง จ.ระยอง	D223	51.79	13.01361	101.26083	15/3/2014	8/9/2014	99	691.4	330
47	องค์การบริหารส่วนตำบลหนองไร่ อ.ปลวกแดง จ.ระยอง	D224	57.86	13.00194	101.35639	15/3/2014	9/9/2014	101	575	277
48	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านคลองเขตร อ.วังจันทร์ จ.ระยอง	D225	66.78	13.03583	101.43556	15/3/2014	7/9/2014	109	851.3	386
49	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านสองสลึง อ.แกลง จ.ระยอง	E1	65.01	12.71333	101.56139	24/3/2014	10/9/2014	84	834.3	364
50	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านวังหว้า อ.แกลง จ.ระยอง	E2	71.83	12.75028	101.61972	22/3/2014	10/9/2014	98	924.2	434



ตารางที่ 3.3-2 แสดงตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนภาคตะวันออก (กรมอุตุนิยมวิทยา) และข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557

ลำดับ	ที่ตั้ง	โค้ด	ระยะทางจาก เรดาร์ (km)	Latitude (N)	Longitude (E)	วันที่เริ่มต้น	วันที่สิ้นสุด	จำนวน วัน	ปริมาณฝนรวม (มม.)	ระยะเวลาฝนตก (ชั่วโมง)
1	อบต.พระอาจารย์	4170004	147.59	13.9745	100.9739	16/7/2014	7/9/2014	29	248.5	82
2	อบต.สวนพริกไทย	4190004	157.21	14.00744	100.5698	25/4/2014	28/4/2014	2	8.5	2
3	อบต.บึงทองหลาง	4190011	147.26	13.96442	100.8254	28/4/2014	28/4/2014	1	2	1
4	อบต.บางตะไนย์	4220011	151.91	13.93247	100.4901	7/3/2014	7/9/2014	76	629	170
5	อบต.ลำโพ	4220012	159.38	13.97425	100.4093	17/3/2014	7/9/2014	60	525.5	131
6	อบต.ศาลากลาง	4220013	146.75	13.81308	100.3307	22/3/2014	7/9/2014	57	436	120
7	อบต.บางแม่นาง	4220014	151.41	13.88161	100.3754	22/3/2014	7/9/2014	62	435	127
8	อบต.บางพระ	4230001	112.08	13.65156	101.0533	5/4/2014	7/9/2014	71	628.5	190
9	อบต.สิบเอ็ดศอก	4230002	108.23	13.60728	101.1303	22/3/2014	7/9/2014	62	789	164
10	อบต.ท่าทองหลาง	4230003	119.15	13.68922	101.2227	13/7/2014	7/9/2014	34	357	116
11	อบต.เกาะขนุน	4230005	126.93	13.71425	101.3824	10/3/2014	7/9/2014	72	856	220
12	อบต.ทุ่งพระยา	4230006	141.45	13.70225	101.6959	6/5/2014	7/9/2014	68	792	220
13	อบต.ท่าตะเกียบ	4230008	113.11	13.4475	101.6105	18/3/2014	7/9/2014	83	927.5	233
14	อบต.บางเล่า	4230009	120.70	13.71886	101.1436	10/3/2014	7/9/2014	71	611.5	203
15	กลุ่มงานอากาศเกษตรระยอง	4230011	124.58	13.56980556	101.6186111	10/3/2014	5/8/2014	31	154.2	63
16	อบต.คู้งกระถิน	4240002	152.92	13.50186	99.85992	23/3/2014	7/9/2014	46	373.5	115
17	อบต.ดอนกรวย	4240005	150.64	13.58669	99.96378	23/3/2014	23/3/2014	1	0.5	1
18	อบต.ดอนใหญ่	4240010	156.97	13.71078	100.0127	7/5/2014	7/9/2014	41	450.5	93
19	กลุ่มงานอากาศเกษตรราชบุรี	4240012	157.90	13.48980556	99.79255556	5/4/2014	4/8/2014	19	40	33



ตารางที่ 3.3-2 แสดงตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนภาคตะวันออก (กรมอุตุนิยมวิทยา) และข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับ	ที่ตั้ง	โค้ด	ระยะทางจาก เรดาร์ (km)	Latitude (N)	Longitude (E)	วันที่เริ่มต้น	วันที่สิ้นสุด	จำนวน วัน	ปริมาณฝนรวม (มม.)	ระยะเวลาฝนตก (ชั่วโมง)
20	วัดหนองนกไข่	4280004	141.56	13.6718	100.19	23/3/2014	6/9/2014	42	473	100
21	อบต.บางไทร	4280005	130.00	13.50819	100.154	22/3/2014	7/9/2014	47	445	102
22	อบต.แคราย	4280007	131.75	13.64625	100.3119	23/3/2014	7/9/2014	62	409	134
23	อบต.บางยอ	4290009	122.08	13.67006	100.5563	22/3/2014	7/9/2014	72	793	172
24	เทศบาลตำบลคลองด่าน	4290010	97.46	13.51006	100.808	22/3/2014	17/6/2014	17	207	35
25	อบต.ศรีษะจรเข้ใหญ่	4290011	107.48	13.5995	100.7958	22/3/2014	7/9/2014	70	457.5	171
26	อบต.บางยาง	4300008	145.51	13.93792	101.1874	7/7/2014	7/9/2014	43	247.5	170
27	อบต.ท่าตูม	4300009	156.77	13.93831	101.548	6/3/2014	7/9/2014	86	1009.5	270
28	อบต.ไผ่ชะเลียด	4300011	150.00	13.93061	101.393	10/3/2014	6/9/2014	30	348	54
29	อบต.บางแก้ว	4380001	130.94	13.39342	100.031	23/3/2014	7/9/2014	55	475.5	123
30	อบต.เหมืองใหม่	4380002	143.27	13.41928	99.90725	7/5/2014	7/5/2014	1	16	3
31	โรงเรียนบ้านคลองใหญ่	4400006	153.46	13.5183	102.065	2/3/2014	6/9/2014	82	750.5	257
32	อบต.ทุ่งมหาเจริญ	4400012	149.00	13.49206	102.0338	2/3/2014	6/9/2014	88	779.5	219
33	ทต.วังทอง	4400017	149.97	13.37422	102.1319	7/3/2014	7/9/2014	85	703.5	205
34	อบต.บางระกำ	4510005	153.84	13.76733	100.1318	4/4/2014	7/9/2014	52	438	113
35	กลุ่มงานตรวจอากาศเฉลิมพระเกียรติ	4550027	119.84	13.66625	100.6058333	22/3/2014	5/8/2014	11	45.8	19
36	กลุ่มงานอากาศเกษตรบางนา	4550028	127.80	13.72641667	100.56	4/5/2014	4/8/2014	27	168.8	57
37	อบต.หนองอิรุณ	4590001	74.67	13.27847	101.2011	22/3/2014	27/8/2014	64	511	146
38	อบต.บางพระ	4590002	65.60	13.23686	100.9838	22/3/2014	7/9/2014	28	272.5	70



ตารางที่ 3.3-2 แสดงตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนภาคตะวันออก (กรมอุตุนิยมวิทยา) และข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับ	ที่ตั้ง	โค้ด	ระยะทางจาก เรดาร์ (km)	Latitude (N)	Longitude (E)	วันที่เริ่มต้น	วันที่สิ้นสุด	จำนวน วัน	ปริมาณฝนรวม (มม.)	ระยะเวลาฝนตก (ชั่วโมง)
39	อบต.หนองขาม	4590003	55.60	13.14392	101.0246	15/3/2014	7/9/2014	72	744.5	220
40	เทศบาล ต.หมอนนาง	4590004	86.48	13.38478	101.2191	22/3/2014	28/7/2014	46	394	104
41	อบต.หนองหงษ์	4590005	82.96	13.37772	101.1216	2/3/2014	7/9/2014	72	569	175
42	ทต.ห้วยใหญ่	4590006	24.54	12.86681	100.9433	25/3/2014	15/7/2014	30	251.5	66
43	ทต.ตะเคียนเตี้ย	4590007	40.98	13.01575	100.9695	15/3/2014	13/4/2014	5	58.5	9
44	อบต.หนองปรือ	4590008	99.14	13.50681	101.2088	4/4/2014	7/9/2014	65	566	170
45	อบต.คลองพลู	4590009	70.74	13.10992	101.4138	10/3/2014	7/9/2014	80	668	214
46	อบต.บ่อทอง	4590010	86.93	13.24114	101.4876	15/3/2014	7/9/2014	76	561	219
47	ทต.ปรกฟ้า	4590011	94.31	13.41536	101.3351	20/3/2014	7/9/2014	79	672.5	201
48	ทต.พลูดาวหลวง	4590012	5.84	12.69864	100.9768	22/3/2014	7/9/2014	45	450.5	110
49	กลุ่มงานตรวจอากาศชลบุรี	4590013	78.80	13.35563889	100.9824722	22/3/2014	4/8/2014	46	195	102
50	กลุ่มงานตรวจอากาศเกาะสีชัง	4590014	60.00	13.16286111	100.8030278	22/3/2014	4/8/2014	32	88.4	61
51	กลุ่มงานตรวจอากาศพัทยา	4590015	32.27	12.92036111	100.8655833	7/6/2014	30/7/2014	14	13.4	24
52	โรงเรียนวัดท้ายตลาด	4650001	138.24	13.2361	99.8426	23/3/2014	7/9/2014	54	386.5	131
53	ที่ว่าการอำเภอหนองหญ้าปล้อง	4650002	149.02	13.1627	99.6969	4/4/2014	4/4/2014	1	0.5	1
54	เทศบาลตำบลบ้านลาด	4650003	121.88	13.0485	99.9198	5/4/2014	7/9/2014	53	417	99
55	ที่ว่าการอำเภอยะยา	4650004	122.40	12.9731	99.8877	4/4/2014	8/9/2014	44	255	82
56	โรงเรียนบ้านท่าไม้รวก	4650005	129.07	12.8542	99.795	22/3/2014	7/8/2014	10	21	18
57	โรงเรียนบ้านพุนพวย	4650006	121.31	12.7212	99.8503	22/3/2014	1/9/2014	32	171	69



ตารางที่ 3.3-2 แสดงตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนภาคตะวันออก (กรมอุตุนิยมวิทยา) และข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับ	ที่ตั้ง	โค้ด	ระยะทางจาก เรดาร์ (km)	Latitude (N)	Longitude (E)	วันที่เริ่มต้น	วันที่สิ้นสุด	จำนวน วัน	ปริมาณฝนรวม (มม.)	ระยะเวลาฝนตก (ชั่วโมง)
58	ศูนย์สารสนเทศโครงการหุบกะพง	4650007	115.93	12.7868	99.9068	11/5/2014	6/9/2014	38	218.5	85
59	ที่ว่าการอำเภอแก่งกระจาน	4650008	145.83	12.9075	99.648	22/3/2014	4/9/2014	20	38.5	59
60	อบต.ไร่ส้ม	4650009	124.81	13.11439	99.91903	14/7/2014	7/9/2014	29	250	62
61	อบต.ไร่ใหม่พัฒนา	4650010	129.39	12.67661	99.7737	22/3/2014	6/9/2014	41	284	89
62	อบต.หนองชุมพล	4650011	143.97	13.28933	99.81228	23/3/2014	7/9/2014	47	276.5	119
63	อบต.หนองปรัง	4650012	135.06	13.16161	99.83717	24/3/2014	9/6/2014	5	12	8
64	อบต.ห้วยลึก	4650013	129.35	13.01028	99.83253	23/3/2014	7/9/2014	48	285.5	93
65	อบต.ปากทะเล	4650014	113.79	13.15308	100.0534	23/3/2014	7/9/2014	46	292	91
66	อบต.หนองจอก	4650015	112.56	12.9665	99.98089	13/4/2014	7/9/2014	37	239	76
67	อบต.กลัดหลวง	4650016	130.89	12.81756	99.77194	26/5/2014	8/9/2014	43	184.5	92
68	เทศบาล ต.บางตะบูน	4650017	130.22	13.26331	99.94408	23/3/2014	7/9/2014	50	372.5	119
69	อบต.ยางน้ำกลัดใต้	4650018	143.05	13.05383	99.71416	4/4/2014	8/9/2014	54	159	184
70	อบต.วังจันทร์	4650019	133.90	12.93411	99.76669	14/7/2014	7/9/2014	17	145	41
71	สตอ.เพชรบุรี	4652001	103.14	12.9327	100.061	2/7/2014	4/9/2014	17	16	27
72	ทต.แก่งกะเจด	4780001	58.51	12.64422	101.5053	19/7/2014	30/8/2014	17	178.5	59
73	ทต.ชากบก	4780002	43.77	12.78856	101.3426	1/5/2014	7/9/2014	27	278	83
74	อบต.หนองบัว	4780003	43.48	12.845	101.3118	19/7/2014	7/9/2014	24	218	83
75	ทต.บ้านนา	4780004	78.87	12.82725	101.6694	23/3/2014	7/9/2014	75	714.5	262
76	อบต.มาบยางพร	4780005	41.20	12.95939	101.1706	18/3/2014	7/9/2014	62	639.5	156



ตารางที่ 3.3-2 แสดงตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนภาคตะวันออก (กรมอุตุนิยมวิทยา) และข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับ	ที่ตั้ง	โค้ด	ระยะทางจาก เรดาร์ (km)	Latitude (N)	Longitude (E)	วันที่เริ่มต้น	วันที่สิ้นสุด	จำนวน วัน	ปริมาณฝนรวม (มม.)	ระยะเวลาฝนตก (ชั่วโมง)
77	อบต.ละหาร	4780006	50.03	12.94417	101.3126	19/7/2014	7/9/2014	26	180	87
78	ทต.พลา	4780007	7.72	12.66469	101.0349	29/7/2014	7/9/2014	6	16.5	14
79	อบต.วังจันทร์	4780008	70.61	12.87528	101.5736	22/3/2014	7/9/2014	81	1031	260
80	อบต.พนานิคม	4780009	30.98	12.86747	101.1409	15/3/2014	7/9/2014	67	747.5	178
81	เทศบาลตำบลมาบข่า	4780010	32.88	12.82878	101.2053	24/3/2014	7/9/2014	67	834	199
82	อบต.น้ำเป็น	4780011	87.10	12.85942	101.7391	28/3/2014	4/8/2014	33	441	115
83	อบต.เขาน้อย	4780012	84.97	13.09797	101.5989	15/3/2014	30/8/2014	73	816.5	199
84	กลุ่มงานตรวจอากาศระยอง	4780013	42.40	12.63386111	101.3565278	28/3/2014	28/7/2014	20	52	44
85	กลุ่มงานอากาศเกษตรห้วยโป่ง	4780014	20.79	12.73502778	101.1351667	10/3/2014	29/7/2014	23	96.4	53
86	อบต.ทุ่งเบญจา	4800001	109.93	12.77347	101.9712	7/7/2014	7/9/2014	51	870.5	231
87	ทต.มะขามเมืองใหม่	4800002	133.50	12.68269	102.196	20/3/2014	29/7/2014	72	1144.5	325
88	อบต.วังสรรพรส	4800003	143.91	12.56292	102.2894	21/3/2014	7/9/2014	98	1949	582
89	อบต.บางกะไชย	4800004	114.03	12.53208	102.0101	17/3/2014	8/9/2014	73	1613.5	312
90	อบต.โป่งน้ำร้อน	4800005	152.72	12.92089	102.3461	21/3/2014	6/9/2014	90	1062.5	367
91	อบต.ทรายขาว	4800006	148.39	13.08622	102.2587	8/3/2014	7/9/2014	87	768	266
92	อบต.ขุนซ่อง	4800007	115.54	13.07419	101.9377	15/3/2014	7/9/2014	96	1328.5	353
93	อบต.สนามไชย	4800008	100.41	12.62342	101.8911	21/3/2014	7/9/2014	71	1253.5	278
94	ทต.คลองพลู	4800009	122.70	12.93525	102.0583	21/3/2014	7/9/2014	98	1703.5	401
95	กลุ่มงานตรวจอากาศจันทบุรี	4800010	123.52	12.60986111	102.1037778	10/3/2014	5/8/2014	71	516.4	183

ตารางที่ 3.3-2 แสดงตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนภาคตะวันออก (กรมอุตุนิยมวิทยา) และข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับ	ที่ตั้ง	โค้ด	ระยะทางจาก เรดาร์ (km)	Latitude (N)	Longitude (E)	วันที่เริ่มต้น	วันที่สิ้นสุด	จำนวน วัน	ปริมาณฝนรวม (มม.)	ระยะเวลาฝนตก (ชั่วโมง)
96	กลุ่มงานอากาศเกษตรพลี	4800011	131.50	12.5104444	102.1695556	12/3/2014	5/8/2014	70	437.2	180
97	ร.ร. บ้านหนองไผ่	5000001	121.31	12.4601	99.8649	17/3/2014	3/9/2014	40	236	89
98	สภ. หนองพลับ	5000002	133.80	12.5888	99.7344	22/3/2014	19/7/2014	23	211.5	42
99	ร.ร.บ้านป่ากลม	5000004	133.90	12.1835	99.8281	5/4/2014	5/8/2014	4	3.5	7
100	ร.ร.ชุมชนบ้านไร่บน	5000005	140.27	12.0941	99.8053	17/3/2014	7/9/2014	54	213	240
101	ร.ร.บ้านยางชุม	5000006	148.83	12.0935	99.7185	17/3/2014	7/9/2014	67	390.5	173
102	วัดธรรมวาริศรรัตนาราม	5000008	120.59	12.406	99.8829	22/3/2014	7/9/2014	39	249.5	82
103	ร.ร.หาดสนุกราษฎร์บำรุง	5000011	155.25	11.9134	99.7504	17/3/2014	7/9/2014	57	423.5	156
104	อบต.บ่อนอก	5000013	141.09	12.00781	99.84419	17/3/2014	7/9/2014	18	113	43
105	อบต.ปากน้ำปราณ	5000014	110.65	12.36992	99.98711	5/8/2014	6/9/2014	14	70	26
106	เทศบาล ต.กุยบุรี	5000022	135.51	12.06994	99.86728	17/3/2014	7/9/2014	38	253	109
107	อบต.ดอนยายหนู	5000023	125.38	12.14028	99.93478	17/3/2014	7/9/2014	42	288.5	96
108	อบต.ศิลาลอย	5000027	125.01	12.28525	99.87589	28/5/2014	6/8/2014	26	104	68
109	อบต.หินเหล็กไฟ	5000028	122.47	12.59189	99.83878	22/3/2014	7/8/2014	28	73.5	60
110	อบต.ห้วยสัตว์ใหญ่	5000029	154.89	12.52939	99.54381	5/8/2014	6/9/2014	19	146	46
111	สตอ. ประจวบคีรีขันธ์	5002001	110.09	12.5782	99.9539	26/6/2014	31/8/2014	7	4	8
112	สตอ.หัวหิน	5002002	154.69	11.8349	99.8103	21/6/2014	3/9/2014	24	134.5	48

3.4 การคัดเลือกเหตุการณ์ฝน

3.4.1 การคัดเลือกเหตุการณ์ฝนจากวันที่มีฝนตกลงเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ (กรมฝนหลวงและการบินเกษตร)

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการคัดเลือกเหตุการณ์ฝนจากวันที่มีฝนตกลงเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ (กรมฝนหลวงและการบินเกษตร) และวันที่มีข้อมูลเรดาร์ ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557 ซึ่งสามารถคัดเลือกเหตุการณ์ฝนเพื่อนำมาใช้ในการศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและความเข้มกลุ่มฝน (Z) ที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการประเมินปริมาณฝนของสถานีเรดาร์สัทธิบได้ทั้งสิ้นจำนวน 105 เหตุการณ์ รวมระยะเวลาฝนตก 857 ชั่วโมง รายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือก แสดงไว้ในตารางที่ 3.4-1

ตารางที่ 3.4-1 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือกเพื่อใช้ในการศึกษาปี พ.ศ. 2557

กรมฝนหลวงและการบินเกษตร					
ลำดับ เหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลา เหตุการณ์ (ชม.)
1	22 มีนาคม 2557	5:00:00	22 มีนาคม 2557	20:00:00	7
2	23 มีนาคม 2557	9:00:00	23 มีนาคม 2557	10:00:00	2
3	24 มีนาคม 2557	8:00:00	24 มีนาคม 2557	8:00:00	1
4	26 มีนาคม 2557	11:00:00	26 มีนาคม 2557	11:00:00	1
5	1 เมษายน 2557	8:00:00	1 เมษายน 2557	9:00:00	2
6	3 เมษายน 2557	19:00:00	3 เมษายน 2557	20:00:00	2
7	4 เมษายน 2557	3:00:00	4 เมษายน 2557	23:00:00	10
8	5 เมษายน 2557	0:00:00	5 เมษายน 2557	15:00:00	13
9	6 เมษายน 2557	5:00:00	6 เมษายน 2557	13:00:00	3
10	7 เมษายน 2557	7:00:00	7 เมษายน 2557	14:00:00	3
11	8 เมษายน 2557	5:00:00	8 เมษายน 2557	15:00:00	6
12	9 เมษายน 2557	6:00:00	9 เมษายน 2557	19:00:00	7
13	15 พฤษภาคม 2557	9:00:00	15 พฤษภาคม 2557	23:00:00	3
14	16 พฤษภาคม 2557	2:00:00	16 พฤษภาคม 2557	8:00:00	5
15	17 พฤษภาคม 2557	4:00:00	17 พฤษภาคม 2557	23:00:00	15
16	18 พฤษภาคม 2557	0:00:00	18 พฤษภาคม 2557	20:00:00	18
17	20 พฤษภาคม 2557	8:00:00	20 พฤษภาคม 2557	8:00:00	1
18	23 พฤษภาคม 2557	8:00:00	23 พฤษภาคม 2557	14:00:00	2
19	25 พฤษภาคม 2557	2:00:00	25 พฤษภาคม 2557	11:00:00	4
20	26 พฤษภาคม 2557	7:00:00	26 พฤษภาคม 2557	18:00:00	5
21	27 พฤษภาคม 2557	11:00:00	27 พฤษภาคม 2557	23:00:00	2
22	28 พฤษภาคม 2557	20:00:00	28 พฤษภาคม 2557	22:00:00	3
23	30 พฤษภาคม 2557	19:00:00	30 พฤษภาคม 2557	21:00:00	2
24	31 พฤษภาคม 2557	0:00:00	31 พฤษภาคม 2557	10:00:00	11
25	1 มิถุนายน 2557	1:00:00	1 มิถุนายน 2557	8:00:00	3
26	2 มิถุนายน 2557	2:00:00	2 มิถุนายน 2557	11:00:00	4
27	3 มิถุนายน 2557	10:00:00	3 มิถุนายน 2557	22:00:00	9
28	4 มิถุนายน 2557	1:00:00	4 มิถุนายน 2557	23:00:00	14

ตารางที่ 3.4-1 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือกเพื่อใช้ในการศึกษาปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

กรมฝนหลวงและการบินเกษตร					
ลำดับ เหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลา เหตุการณ์ (ชม.)
29	5 มิถุนายน 2557	0:00:00	5 มิถุนายน 2557	23:00:00	10
30	6 มิถุนายน 2557	5:00:00	6 มิถุนายน 2557	6:00:00	2
31	7 มิถุนายน 2557	3:00:00	7 มิถุนายน 2557	23:00:00	10
32	8 มิถุนายน 2557	0:00:00	8 มิถุนายน 2557	21:00:00	16
33	9 มิถุนายน 2557	4:00:00	9 มิถุนายน 2557	5:00:00	2
34	10 มิถุนายน 2557	22:00:00	10 มิถุนายน 2557	22:00:00	1
35	11 มิถุนายน 2557	6:00:00	11 มิถุนายน 2557	23:00:00	9
36	12 มิถุนายน 2557	0:00:00	12 มิถุนายน 2557	18:00:00	13
37	13 มิถุนายน 2557	2:00:00	13 มิถุนายน 2557	23:00:00	14
38	14 มิถุนายน 2557	0:00:00	14 มิถุนายน 2557	23:00:00	16
39	15 มิถุนายน 2557	0:00:00	15 มิถุนายน 2557	23:00:00	21
40	16 มิถุนายน 2557	0:00:00	16 มิถุนายน 2557	8:00:00	4
41	17 มิถุนายน 2557	4:00:00	17 มิถุนายน 2557	23:00:00	16
42	18 มิถุนายน 2557	0:00:00	18 มิถุนายน 2557	5:00:00	4
43	20 มิถุนายน 2557	4:00:00	20 มิถุนายน 2557	23:00:00	3
44	21 มิถุนายน 2557	4:00:00	21 มิถุนายน 2557	22:00:00	3
45	22 มิถุนายน 2557	5:00:00	22 มิถุนายน 2557	14:00:00	8
46	24 มิถุนายน 2557	0:00:00	24 มิถุนายน 2557	22:00:00	3
47	25 มิถุนายน 2557	1:00:00	25 มิถุนายน 2557	15:00:00	12
48	26 มิถุนายน 2557	5:00:00	26 มิถุนายน 2557	21:00:00	11
49	28 มิถุนายน 2557	14:00:00	28 มิถุนายน 2557	14:00:00	1
50	29 มิถุนายน 2557	12:00:00	29 มิถุนายน 2557	17:00:00	2
51	30 มิถุนายน 2557	5:00:00	30 มิถุนายน 2557	23:00:00	3
52	1 กรกฎาคม 2557	2:00:00	1 กรกฎาคม 2557	21:00:00	4
53	2 กรกฎาคม 2557	3:00:00	2 กรกฎาคม 2557	4:00:00	2
54	3 กรกฎาคม 2557	17:00:00	3 กรกฎาคม 2557	21:00:00	3
55	4 กรกฎาคม 2557	7:00:00	4 กรกฎาคม 2557	8:00:00	2
56	5 กรกฎาคม 2557	23:00:00	5 กรกฎาคม 2557	23:00:00	1
57	6 กรกฎาคม 2557	6:00:00	6 กรกฎาคม 2557	16:00:00	2
58	7 กรกฎาคม 2557	16:00:00	7 กรกฎาคม 2557	23:00:00	3
59	8 กรกฎาคม 2557	0:00:00	8 กรกฎาคม 2557	20:00:00	15
60	9 กรกฎาคม 2557	2:00:00	9 กรกฎาคม 2557	14:00:00	4
61	10 กรกฎาคม 2557	18:00:00	10 กรกฎาคม 2557	18:00:00	1
62	13 กรกฎาคม 2557	2:00:00	13 กรกฎาคม 2557	23:00:00	20
63	14 กรกฎาคม 2557	0:00:00	14 กรกฎาคม 2557	23:00:00	17
64	15 กรกฎาคม 2557	0:00:00	15 กรกฎาคม 2557	16:00:00	12
65	16 กรกฎาคม 2557	7:00:00	16 กรกฎาคม 2557	9:00:00	3



ตารางที่ 3.4-1 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือกเพื่อใช้ในการศึกษาปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

กรมฝนหลวงและการบินเกษตร					
ลำดับ เหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลา เหตุการณ์ (ชม.)
66	18 กรกฎาคม 2557	6:00:00	18 กรกฎาคม 2557	23:00:00	10
67	19 กรกฎาคม 2557	0:00:00	19 กรกฎาคม 2557	14:00:00	11
68	21 กรกฎาคม 2557	1:00:00	21 กรกฎาคม 2557	19:00:00	16
69	24 กรกฎาคม 2557	15:00:00	24 กรกฎาคม 2557	15:00:00	1
70	25 กรกฎาคม 2557	5:00:00	25 กรกฎาคม 2557	15:00:00	8
71	26 กรกฎาคม 2557	5:00:00	26 กรกฎาคม 2557	23:00:00	7
72	27 กรกฎาคม 2557	6:00:00	27 กรกฎาคม 2557	18:00:00	5
73	28 กรกฎาคม 2557	3:00:00	28 กรกฎาคม 2557	22:00:00	15
74	29 กรกฎาคม 2557	3:00:00	29 กรกฎาคม 2557	15:00:00	10
75	30 กรกฎาคม 2557	3:00:00	30 กรกฎาคม 2557	19:00:00	11
76	31 กรกฎาคม 2557	2:00:00	31 กรกฎาคม 2557	6:00:00	5
77	1 สิงหาคม 2557	11:00:00	1 สิงหาคม 2557	23:00:00	13
78	2 สิงหาคม 2557	0:00:00	2 สิงหาคม 2557	12:00:00	8
79	3 สิงหาคม 2557	6:00:00	3 สิงหาคม 2557	23:00:00	6
80	4 สิงหาคม 2557	0:00:00	4 สิงหาคม 2557	20:00:00	15
81	5 สิงหาคม 2557	0:00:00	5 สิงหาคม 2557	23:00:00	21
82	6 สิงหาคม 2557	0:00:00	6 สิงหาคม 2557	23:00:00	17
83	7 สิงหาคม 2557	0:00:00	7 สิงหาคม 2557	20:00:00	18
84	8 สิงหาคม 2557	3:00:00	8 สิงหาคม 2557	7:00:00	3
85	11 สิงหาคม 2557	14:00:00	11 สิงหาคม 2557	16:00:00	3
86	12 สิงหาคม 2557	12:00:00	12 สิงหาคม 2557	18:00:00	6
87	13 สิงหาคม 2557	4:00:00	13 สิงหาคม 2557	22:00:00	8
88	14 สิงหาคม 2557	3:00:00	14 สิงหาคม 2557	20:00:00	10
89	15 สิงหาคม 2557	4:00:00	15 สิงหาคม 2557	10:00:00	7
90	16 สิงหาคม 2557	2:00:00	16 สิงหาคม 2557	19:00:00	9
91	17 สิงหาคม 2557	4:00:00	17 สิงหาคม 2557	10:00:00	6
92	18 สิงหาคม 2557	5:00:00	18 สิงหาคม 2557	21:00:00	6
93	19 สิงหาคม 2557	4:00:00	19 สิงหาคม 2557	23:00:00	14
94	20 สิงหาคม 2557	0:00:00	20 สิงหาคม 2557	19:00:00	15
95	21 สิงหาคม 2557	1:00:00	21 สิงหาคม 2557	10:00:00	9
96	22 สิงหาคม 2557	6:00:00	22 สิงหาคม 2557	23:00:00	12
97	23 สิงหาคม 2557	1:00:00	23 สิงหาคม 2557	11:00:00	6
98	24 สิงหาคม 2557	6:00:00	24 สิงหาคม 2557	17:00:00	3
99	25 สิงหาคม 2557	6:00:00	25 สิงหาคม 2557	23:00:00	9
100	26 สิงหาคม 2557	3:00:00	26 สิงหาคม 2557	17:00:00	14
101	27 สิงหาคม 2557	4:00:00	27 สิงหาคม 2557	23:00:00	17
102	28 สิงหาคม 2557	0:00:00	28 สิงหาคม 2557	21:00:00	21

ตารางที่ 3.4-1 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือกเพื่อใช้ในการศึกษาปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

กรมฝนหลวงและการบินเกษตร					
ลำดับ เหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลา เหตุการณ์ (ชม.)
103	29 สิงหาคม 2557	0:00:00	29 สิงหาคม 2557	23:00:00	18
104	30 สิงหาคม 2557	0:00:00	30 สิงหาคม 2557	22:00:00	16
105	31 สิงหาคม 2557	3:00:00	31 สิงหาคม 2557	21:00:00	17

3.4.2 การคัดเลือกเหตุการณ์ฝนจากวันที่มีฝนตกลงเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ (กรมอุตุนิยมวิทยา)

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการคัดเลือกเหตุการณ์ฝนจากวันที่มีฝนตกลงเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ (กรมอุตุนิยมวิทยา) และวันที่มีข้อมูลเรดาร์ ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม ของปี พ.ศ. 2557 ซึ่งสามารถคัดเลือกเหตุการณ์ฝนเพื่อนำมาใช้ในการศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและความเข้มกลุ่มฝน (Z) ที่เหมาะสมสำหรับการประเมินปริมาณฝนของสถานีเรดาร์สัปดาห์ได้ทั้งสิ้นจำนวน 106 เหตุการณ์ รวม 1004 ชั่วโมง รายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือก แสดงไว้ในตารางที่ 3.4-2

ตารางที่ 3.4-2 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือก (ข้อมูลปริมาณฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา) เพื่อใช้ในการศึกษาปี พ.ศ. 2557

กรมอุตุนิยมวิทยา					
ลำดับ เหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลา เหตุการณ์ (ชม.)
1	22 มีนาคม 2557	5:00:00	22 มีนาคม 2557	19:00:00	7
2	23 มีนาคม 2557	3:00:00	23 มีนาคม 2557	8:00:00	6
3	24 มีนาคม 2557	14:00:00	24 มีนาคม 2557	14:00:00	1
4	1 เมษายน 2557	9:00:00	1 เมษายน 2557	9:00:00	1
5	4 เมษายน 2557	5:00:00	4 เมษายน 2557	18:00:00	13
6	5 เมษายน 2557	0:00:00	5 เมษายน 2557	20:00:00	15
7	6 เมษายน 2557	7:00:00	6 เมษายน 2557	11:00:00	2
8	7 เมษายน 2557	7:00:00	7 เมษายน 2557	19:00:00	2
9	8 เมษายน 2557	6:00:00	8 เมษายน 2557	7:00:00	2
10	9 เมษายน 2557	3:00:00	9 เมษายน 2557	3:00:00	1
11	16 พฤษภาคม 2557	12:00:00	16 พฤษภาคม 2557	19:00:00	4
12	17 พฤษภาคม 2557	11:00:00	17 พฤษภาคม 2557	17:00:00	7
13	18 พฤษภาคม 2557	9:00:00	18 พฤษภาคม 2557	17:00:00	4
14	19 พฤษภาคม 2557	11:00:00	19 พฤษภาคม 2557	20:00:00	3
15	23 พฤษภาคม 2557	8:00:00	23 พฤษภาคม 2557	8:00:00	1
16	24 พฤษภาคม 2557	11:00:00	24 พฤษภาคม 2557	11:00:00	1
17	25 พฤษภาคม 2557	13:00:00	25 พฤษภาคม 2557	13:00:00	1
18	28 พฤษภาคม 2557	21:00:00	28 พฤษภาคม 2557	21:00:00	1
19	29 พฤษภาคม 2557	3:00:00	29 พฤษภาคม 2557	3:00:00	1

ตารางที่ 3.4-2 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือก (ข้อมูลปริมาณฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา) เพื่อใช้ในการศึกษาปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

กรมอุตุนิยมวิทยา					
ลำดับ เหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลา เหตุการณ์ (ชม.)
20	30 พฤษภาคม 2557	19:00:00	30 พฤษภาคม 2557	21:00:00	2
21	31 พฤษภาคม 2557	4:00:00	31 พฤษภาคม 2557	18:00:00	9
22	1 มิถุนายน 2557	0:00:00	1 มิถุนายน 2557	4:00:00	3
23	2 มิถุนายน 2557	11:00:00	2 มิถุนายน 2557	11:00:00	1
24	3 มิถุนายน 2557	11:00:00	3 มิถุนายน 2557	22:00:00	6
25	4 มิถุนายน 2557	0:00:00	4 มิถุนายน 2557	23:00:00	9
26	5 มิถุนายน 2557	0:00:00	5 มิถุนายน 2557	23:00:00	15
27	6 มิถุนายน 2557	0:00:00	6 มิถุนายน 2557	20:00:00	10
28	7 มิถุนายน 2557	2:00:00	7 มิถุนายน 2557	23:00:00	13
29	8 มิถุนายน 2557	0:00:00	8 มิถุนายน 2557	23:00:00	14
30	9 มิถุนายน 2557	0:00:00	9 มิถุนายน 2557	9:00:00	5
31	10 มิถุนายน 2557	8:00:00	10 มิถุนายน 2557	23:00:00	3
32	11 มิถุนายน 2557	0:00:00	11 มิถุนายน 2557	23:00:00	18
33	12 มิถุนายน 2557	0:00:00	12 มิถุนายน 2557	23:00:00	22
34	13 มิถุนายน 2557	0:00:00	13 มิถุนายน 2557	23:00:00	21
35	14 มิถุนายน 2557	0:00:00	14 มิถุนายน 2557	23:00:00	23
36	15 มิถุนายน 2557	0:00:00	15 มิถุนายน 2557	23:00:00	22
37	16 มิถุนายน 2557	0:00:00	16 มิถุนายน 2557	22:00:00	17
38	17 มิถุนายน 2557	6:00:00	17 มิถุนายน 2557	23:00:00	13
39	18 มิถุนายน 2557	5:00:00	18 มิถุนายน 2557	12:00:00	3
40	19 มิถุนายน 2557	12:00:00	19 มิถุนายน 2557	22:00:00	4
41	20 มิถุนายน 2557	5:00:00	20 มิถุนายน 2557	21:00:00	2
42	21 มิถุนายน 2557	4:00:00	21 มิถุนายน 2557	19:00:00	4
43	22 มิถุนายน 2557	1:00:00	22 มิถุนายน 2557	18:00:00	13
44	23 มิถุนายน 2557	7:00:00	23 มิถุนายน 2557	18:00:00	2
45	24 มิถุนายน 2557	0:00:00	24 มิถุนายน 2557	22:00:00	12
46	25 มิถุนายน 2557	1:00:00	25 มิถุนายน 2557	19:00:00	16
47	26 มิถุนายน 2557	5:00:00	26 มิถุนายน 2557	22:00:00	10
48	29 มิถุนายน 2557	5:00:00	29 มิถุนายน 2557	12:00:00	3
49	30 มิถุนายน 2557	13:00:00	30 มิถุนายน 2557	13:00:00	1
50	1 กรกฎาคม 2557	8:00:00	1 กรกฎาคม 2557	21:00:00	2
51	3 กรกฎาคม 2557	19:00:00	3 กรกฎาคม 2557	21:00:00	3
52	4 กรกฎาคม 2557	8:00:00	4 กรกฎาคม 2557	8:00:00	1
53	6 กรกฎาคม 2557	11:00:00	6 กรกฎาคม 2557	19:00:00	5
54	7 กรกฎาคม 2557	1:00:00	7 กรกฎาคม 2557	23:00:00	10
55	8 กรกฎาคม 2557	0:00:00	8 กรกฎาคม 2557	20:00:00	17



ตารางที่ 3.4-2 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือก (ข้อมูลปริมาณฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา) เพื่อใช้ในการศึกษาปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

กรมอุตุนิยมวิทยา					
ลำดับ เหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลา เหตุการณ์ (ชม.)
56	9 กรกฎาคม 2557	0:00:00	9 กรกฎาคม 2557	23:00:00	22
57	10 กรกฎาคม 2557	0:00:00	10 กรกฎาคม 2557	3:00:00	4
58	11 กรกฎาคม 2557	1:00:00	11 กรกฎาคม 2557	23:00:00	2
59	12 กรกฎาคม 2557	6:00:00	12 กรกฎาคม 2557	23:00:00	5
60	13 กรกฎาคม 2557	1:00:00	13 กรกฎาคม 2557	23:00:00	22
61	14 กรกฎาคม 2557	0:00:00	14 กรกฎาคม 2557	23:00:00	20
62	15 กรกฎาคม 2557	0:00:00	15 กรกฎาคม 2557	23:00:00	15
63	16 กรกฎาคม 2557	0:00:00	16 กรกฎาคม 2557	19:00:00	6
64	17 กรกฎาคม 2557	2:00:00	17 กรกฎาคม 2557	18:00:00	4
65	18 กรกฎาคม 2557	0:00:00	18 กรกฎาคม 2557	23:00:00	19
66	19 กรกฎาคม 2557	0:00:00	19 กรกฎาคม 2557	21:00:00	15
67	20 กรกฎาคม 2557	2:00:00	20 กรกฎาคม 2557	21:00:00	11
68	21 กรกฎาคม 2557	7:00:00	21 กรกฎาคม 2557	19:00:00	12
69	23 กรกฎาคม 2557	23:00:00	23 กรกฎาคม 2557	23:00:00	1
70	24 กรกฎาคม 2557	14:00:00	24 กรกฎาคม 2557	17:00:00	4
71	25 กรกฎาคม 2557	5:00:00	25 กรกฎาคม 2557	21:00:00	11
72	26 กรกฎาคม 2557	8:00:00	26 กรกฎาคม 2557	15:00:00	5
73	27 กรกฎาคม 2557	6:00:00	27 กรกฎาคม 2557	21:00:00	8
74	28 กรกฎาคม 2557	4:00:00	28 กรกฎาคม 2557	22:00:00	13
75	29 กรกฎาคม 2557	4:00:00	29 กรกฎาคม 2557	16:00:00	13
76	30 กรกฎาคม 2557	2:00:00	30 กรกฎาคม 2557	23:00:00	18
77	31 กรกฎาคม 2557	0:00:00	31 กรกฎาคม 2557	10:00:00	8
78	1 สิงหาคม 2557	9:00:00	1 สิงหาคม 2557	23:00:00	15
79	2 สิงหาคม 2557	0:00:00	2 สิงหาคม 2557	23:00:00	11
80	3 สิงหาคม 2557	6:00:00	3 สิงหาคม 2557	23:00:00	7
81	4 สิงหาคม 2557	0:00:00	4 สิงหาคม 2557	20:00:00	14
82	5 สิงหาคม 2557	2:00:00	5 สิงหาคม 2557	23:00:00	22
83	6 สิงหาคม 2557	0:00:00	6 สิงหาคม 2557	23:00:00	19
84	7 สิงหาคม 2557	0:00:00	7 สิงหาคม 2557	23:00:00	22
85	8 สิงหาคม 2557	0:00:00	8 สิงหาคม 2557	7:00:00	6
86	11 สิงหาคม 2557	16:00:00	11 สิงหาคม 2557	17:00:00	2
87	12 สิงหาคม 2557	11:00:00	12 สิงหาคม 2557	18:00:00	7
88	13 สิงหาคม 2557	9:00:00	13 สิงหาคม 2557	23:00:00	9
89	14 สิงหาคม 2557	0:00:00	14 สิงหาคม 2557	20:00:00	9
90	15 สิงหาคม 2557	2:00:00	15 สิงหาคม 2557	23:00:00	8
91	16 สิงหาคม 2557	5:00:00	16 สิงหาคม 2557	14:00:00	8

ตารางที่ 3.4-2 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือก (ข้อมูลปริมาณฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา) เพื่อใช้ในการศึกษาปี พ.ศ. 2557 (ต่อ)

กรมอุตุนิยมวิทยา					
ลำดับเหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาเหตุการณ์ (ชม.)
92	17 สิงหาคม 2557	6:00:00	17 สิงหาคม 2557	8:00:00	3
93	18 สิงหาคม 2557	8:00:00	18 สิงหาคม 2557	12:00:00	5
94	19 สิงหาคม 2557	3:00:00	19 สิงหาคม 2557	23:00:00	16
95	20 สิงหาคม 2557	0:00:00	20 สิงหาคม 2557	18:00:00	18
96	21 สิงหาคม 2557	4:00:00	21 สิงหาคม 2557	20:00:00	11
97	22 สิงหาคม 2557	5:00:00	22 สิงหาคม 2557	23:00:00	13
98	23 สิงหาคม 2557	1:00:00	23 สิงหาคม 2557	17:00:00	12
99	24 สิงหาคม 2557	6:00:00	24 สิงหาคม 2557	17:00:00	7
100	25 สิงหาคม 2557	6:00:00	25 สิงหาคม 2557	14:00:00	8
101	26 สิงหาคม 2557	6:00:00	26 สิงหาคม 2557	19:00:00	14
102	27 สิงหาคม 2557	4:00:00	27 สิงหาคม 2557	23:00:00	19
103	28 สิงหาคม 2557	0:00:00	28 สิงหาคม 2557	23:00:00	23
104	29 สิงหาคม 2557	0:00:00	29 สิงหาคม 2557	23:00:00	17
105	30 สิงหาคม 2557	0:00:00	30 สิงหาคม 2557	22:00:00	14
106	31 สิงหาคม 2557	2:00:00	31 สิงหาคม 2557	22:00:00	20

บทที่ 4

วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยของโครงการฯ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยฯ ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 สามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.1-1 โดยรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการวิจัย มีดังต่อไปนี้

4.1.1 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ตรวจอากาศ

วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัยฯ นี้ คือ เพื่อศึกษาการประเมินปริมาณน้ำฝนและแสดงระบบการประเมินปริมาณน้ำฝนบนหน้าเว็บเพจจากเรดาร์ตรวจอากาศแบบดอปเพลอร์ ของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัทธิ์บ อำเภอสัทธิ์บ จังหวัดชลบุรี การรวบรวมการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องจึงได้ทำการรวบรวมจากวารสารวิชาการที่ตีพิมพ์ทั้งในและต่างประเทศ

4.1.2 การรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการรวบรวมเพื่อใช้ในการวิจัยของโครงการฯ มีดังต่อไปนี้

4.1.2.1 ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ที่ตรวจวัดได้จากสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัทธิ์บ ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 โดยทำการรวบรวมข้อมูลในรูปแบบ Volume files (Gematronik volume file format) ดังรายละเอียดแสดงไว้ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.2 และในภาคผนวก ค รูปแบบของไฟล์จากเรดาร์ตรวจอากาศแบบ Gematronik และข้อมูล MDV

- ทำการแปลงข้อมูลเรดาร์ Volume files ทุก 6 นาที โดยใช้โปรแกรม TITAN เป็นรูปแบบ Meteorological Data Volume (MDV) (รูปแบบเวลา UTC End Time) และแปลงข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศให้อยู่บนระบบพิกัดแบบคาทีเซียน (x,y,z) โดยมีค่าแกน x และค่าแกน y เป็นค่าในแนวระดับตามทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก และทิศเหนือ-ทิศใต้ ตามลำดับ และค่าแกน z ตามแนวระดับความสูง

- พัฒนาโปรแกรมเพื่อประมวลผลบน Java Applications เพื่อใช้ในการสร้าง Template ในการอ่านข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) จากข้อมูลการตรวจวัดเชิงปริมาตร แบบ MDV files เทียบกับจุดติดตั้งสถานีวัดน้ำฝน รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ง การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิจัยข้อมูลความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z)

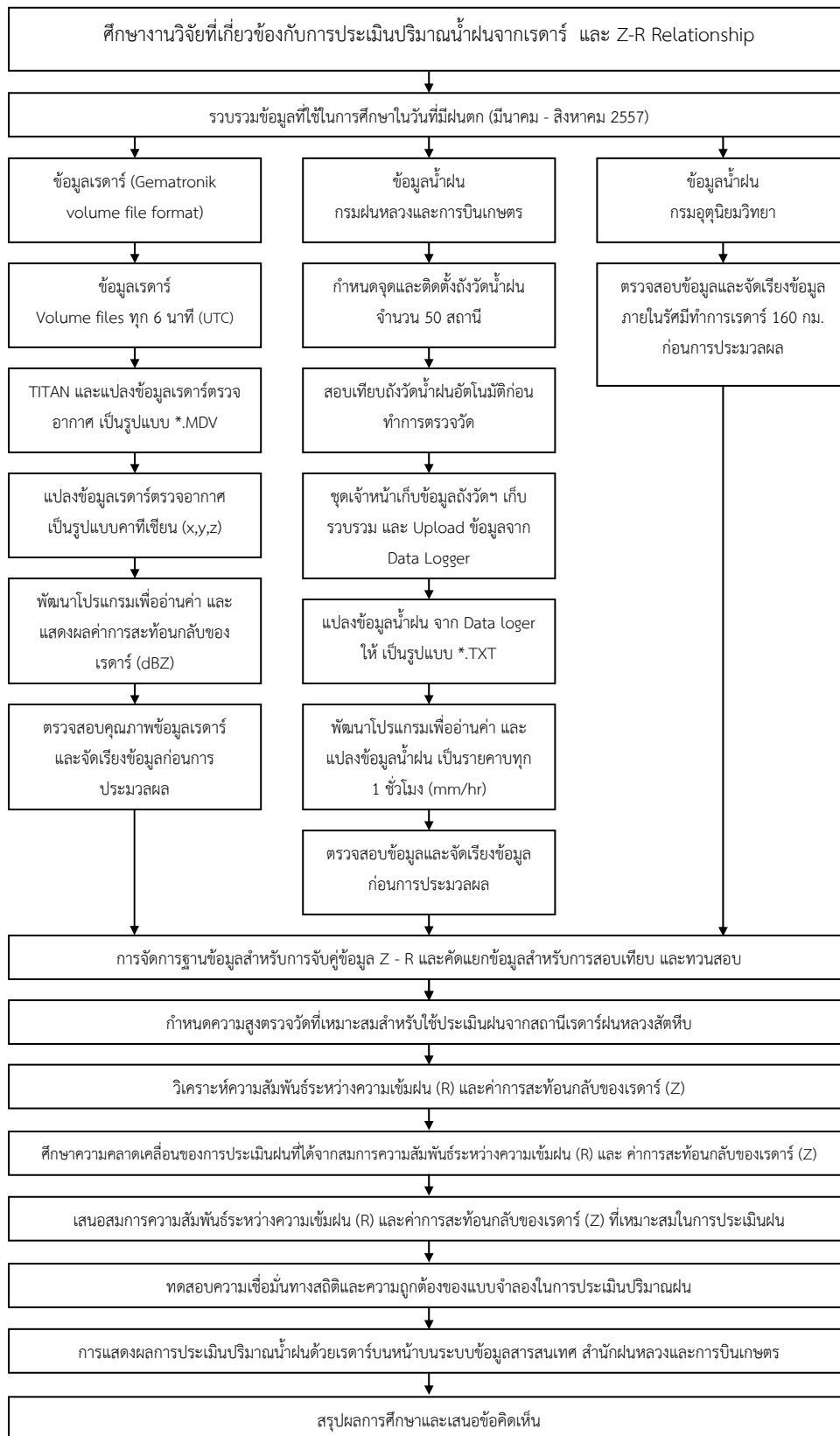
- ตรวจสอบข้อมูล และจัดเรียงข้อมูลก่อนการประมวลผล

4.1.2.2 ปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา โครงการวิจัยฯ ได้รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนในปี พ.ศ.2557 จากสถานีวัดน้ำฝนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร โดยทำการติดตั้งในรัศมีทำการ 240 กิโลเมตร จากเรดาร์ฝนหลวงสัทธิ์บ และกรมอุตุนิยมวิทยา โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ข้อมูลน้ำฝนกรมฝนหลวงและการบินเกษตร

- ทำการกำหนดจุด ติดตั้ง และสอบเทียบเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ข การติดตั้ง และสอบเทียบเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ ภายใต้รัศมีทำการของเรดาร์สัทธิ์บ 240 กิโลเมตร ซึ่งตั้งอยู่ตาม

สถานที่ราชการที่ทางสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติได้ติดต่อประสานงานไว้ รวมทั้งสิ้น จำนวน 50 สถานี รายละเอียดและตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมดแสดงไว้ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.3



รูปที่ 4.1-1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย

- ทำการ Upload ข้อมูลจาก Data Logger และรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝน ในวันที่มีฝนตก ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ.2557 และแปลงข้อมูลน้ำฝน จาก Data logger เป็นรูปแบบ *.TXT
- พัฒนาโปรแกรม Macro เพื่อประมวลผลบน Excel ในการอ่านค่า และแปลงข้อมูลน้ำฝนสะสม เป็นรายคาบทุก 1 ชั่วโมง (mm/hr)
- ตรวจสอบข้อมูล กำหนดค่าปริมาณน้ำฝนน้อยสุด (R_{min}) เท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร และจัดเรียงข้อมูล ก่อนการประมวลผล

2) ข้อมูลน้ำฝนกรมอุตุนิยมวิทยา

- รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนในปี พ.ศ.2557 จากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติรายรายชั่วโมง ภายใต้รัศมี ทำการของเรดาร์ฝนหลวงสถิติ 160 กิโลเมตร ของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 112 สถานี รายละเอียดและตำแหน่งที่ตั้ง ของสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมดแสดงไว้ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.3
- พัฒนาโปรแกรม Java Applications (เนื่องจากข้อมูลน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นไฟล์ขนาดใหญ่ไม่สามารถพัฒนาโปรแกรม Macro Excel ได้) ในการอ่านค่า และแปลงข้อมูลน้ำฝนสะสม เป็นรายคาบทุก 1 ชั่วโมง (mm/hr)
- ตรวจสอบข้อมูล และจัดเรียงข้อมูลก่อนการประมวลผลจากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติราย 1 ชั่วโมง (mm/hr)
- ตรวจสอบข้อมูล กำหนดค่าปริมาณน้ำฝนน้อยสุด (R_{min}) เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร และจัดเรียงข้อมูล ก่อนการประมวลผล

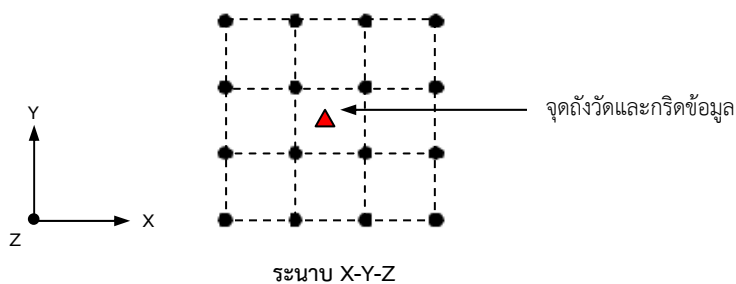
เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษา โครงการวิจัยฯ ได้ทำการคัดเลือกเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการศึกษาปี พ.ศ. 2557 มีจำนวนรวมทั้งสิ้น 211 เหตุการณ์ ดังแสดงตารางที่ 4.2-1 และในการศึกษานี้ได้ทำการคัดแยกเหตุการณ์ฝนที่ ระดับความสูงต่างๆ รายละเอียดทั้งหมดของเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือกได้แสดงไว้ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.4

ตารางที่ 4.2-1 เหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการศึกษาในโครงการวิจัยฯ

เหตุการณ์	ข้อมูลสถานีน้ำฝน	ช่วงเวลา	จำนวนเหตุการณ์
สอบเทียบ	กรมฝนหลวงและการบินเขตร (DRRAA)	มี.ค.- ส.ค. 2557	105
ทวนสอบ	กรมอุตุนิยมวิทยา (MET)	มี.ค.- ส.ค. 2557	106
รวมเหตุการณ์			211

4.1.3 การจัดการฐานข้อมูลสำหรับการจับคู่ Z - R และการตัดแยกข้อมูลสำหรับการสอบเทียบ และทวนสอบ

การศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการจับคู่ (Mapping) ระหว่างข้อมูลค่าความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) โดยการพัฒนาโปรแกรมบน Java Applications และนำเข้าข้อมูลระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) เพื่อใช้ในการจัดการฐานข้อมูลโดยใช้โปรแกรม MySQL ดังรายละเอียดในภาคผนวก ง การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิจัยข้อมูลความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) และทำการแบ่งเหตุการณ์ฝนดังกล่าวออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือ ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) เพื่อใช้ในการประเมินฝน ซึ่งประกอบไปด้วยเหตุการณ์ฝนทั้งหมดของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (Z) ที่สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 จำนวน 105 เหตุการณ์ กลุ่มที่สอง คือ เหตุการณ์ฝนทั้งหมดของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (Z) ที่สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 จำนวน 106 เหตุการณ์ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาทวนสอบ (Verification) ความเชื่อมั่นในการประยุกต์ใช้สมการการประเมินฝนจากข้อมูลในกลุ่มแรก



รูปที่ 4.1-2 แสดงกริดข้อมูลเรดาร์ (Z) บนระนาบ X-Y (ระยะกริด 750 m x 750 m x 750 m) ณ ตำแหน่งการตรวจวัดที่สอดคล้องกับสถานีวัดน้ำฝน (จุดสามเหลี่ยม)

ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ที่เลือก จะเป็นข้อมูล Z เฉลี่ยในกริดข้อมูลเดียวกันและกริดที่อยู่รอบตัวทั้งหมดจำนวน 9 กริด กับสถานีวัดน้ำฝน ณ ช่วงเวลาเดียวกัน ดังรูปที่ 4.1-2 ที่แต่ละระดับความสูงจากพื้นดิน

4.1.4 วิเคราะห์หาความสูงตรวจวัดที่เหมาะสมสำหรับใช้ประเมินฝนจากสถานีเรดาร์ฝนหลวงสตัทท์

ข้อมูลเรดาร์ฝนหลวงสตัทท์ทำการตรวจวัดข้อมูลแบบเชิงปริมาตร (Volume Scan) ด้วยมุมการตรวจวัดทั้งหมด 14 มุมองศา ได้แก่ 0.5°, 1.5°, 2.4°, 3.4°, 4.3°, 5.3°, 6.2°, 7.5°, 8.7°, 10.0°, 12.0°, 14.0°, 16.7° และ 19.5° ความสูงการตรวจวัดระดับต่ำใกล้บริเวณพื้นดินจะประสบปัญหาการตรวจวัดสัญญาณที่ไม่ได้เกิดจากฝน เช่น สัญญาณเนื่องจากการสะท้อนจากพื้นดิน (Ground clutters) และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวอาจทำได้โดยใช้มุมตรวจวัดที่สูงขึ้น แต่การใช้มุมตรวจวัดที่สูงก็มีข้อเสีย คือ ความสูงของการตรวจวัดจะสูงจากพื้นดินมากขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะห่างจากสถานีเรดาร์ซึ่งเมื่อลำคลื่นเรดาร์ตรวจวัดเหนือยอดเมฆที่ก่อให้เกิดฝนก็จะตรวจไม่พบว่ามีฝนตก ดังนั้นโครงการวิจัยฯ จึงได้ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาความสูงในการตรวจวัดที่เหมาะสมดังนี้

1) พิจารณาข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ของเรดาร์ฝนหลวงสตัทท์จากข้อมูล Volume Files แบบ MDV ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรม TITAN ข้อมูลที่ได้จะเป็นค่าในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinates) โดยมีค่าแกน x และค่าแกน y เป็นค่าในแนวระดับตามทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก และทิศเหนือ-ทิศใต้

ตามลำดับ และค่าแกน z ตามแนวระดับความสูง จำนวน 26 ระดับความสูง ตั้งแต่ 1.0 กิโลเมตร จนถึงระดับความสูง 19.75 กิโลเมตร เพื่อใช้ในการคัดเลือกความสูงในการตรวจวัดฝนที่ตรวจวัดได้ใกล้เคียงกับฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนมากที่สุด จะทำการพิจารณาคัดเลือกความสูงเพื่อกำหนดมุมในการตรวจวัดที่ตรวจวัดฝนใกล้พื้นดินมากที่สุดและปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จากมุมดังกล่าวจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางอื่นๆ ที่ไม่ใช่ฝน และ Ground clutters

2) ข้อมูลเรดาร์จากความสูงการตรวจวัดที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกในข้อ 1 จะถูกนำมาใช้วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ในแต่ละความสูงการตรวจวัด เพื่อใช้ในการประเมินฝน จากนั้นทำการคัดเลือกความสูงการตรวจวัดที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่า RMSE ที่น้อยที่สุด ระหว่างการประเมินฝนเรดาร์จากสมการ ในแต่ละความสูงการตรวจวัดเทียบกับปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จริงจากสถานีวัดน้ำฝน ณ ตำแหน่งการตรวจวัดที่สอดคล้องกัน

4.1.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z)

โครงการวิจัยฯ นี้ได้ทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) โดยใช้สมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$R_{modeled} = R(Z) = (Z/a)^{(1/b)} \quad (4-1)$$

โครงการวิจัยฯ ได้วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ โดยใช้ข้อมูลตามเกณฑ์การคัดเลือกในหัวข้อที่ 4.1.3 เพื่อใช้ในการประเมินฝนในพื้นที่ศึกษาต่อไป

4.1.6 ศึกษาความคลาดเคลื่อนของการประเมินฝนที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) และประเมินค่าความลำเอียงของฝนจากเรดาร์ (อัตราส่วน G/R) เมื่อเปรียบเทียบกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝน

โครงการวิจัยฯ ได้ทำการประเมินความคลาดเคลื่อนของปริมาณน้ำฝนที่ประเมินได้จากข้อมูลเรดาร์สดหีบ ชลบุรี โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติรายชั่วโมง ในวันที่มีฝนตก (มีนาคม ถึง สิงหาคม) ของปี พ.ศ.2557 โดยพิจารณาจากค่า Root Mean Square Error (RMSE) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 4-2 (ศิริลักษณ์ และ คณะ, 2552)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N \times N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^N (R_{i,t} - G_{i,t})^2} \quad (4-2)$$

เมื่อ $R_{i,t}$ คือ ปริมาณฝนที่คำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและพารามิเตอร์ Z ที่สถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t (mm/hr)

$G_{i,t}$ คือ ปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t (mm/hr)

N คือ จำนวนสถานีวัดน้ำฝนทั้งหมดที่ใช้

N_t คือ ช่วงเวลาที่ฝนตก (ชั่วโมง)

การประเมินค่าความลำเอียงของฝนจากเรดาร์ (อัตราส่วน G/R) เมื่อเปรียบเทียบกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝน โดยใช้สมการที่ 4-3

$$G/R = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T G_{i,t}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T R_{i,t}} \quad (4-3)$$

เมื่อ G/R คือ ค่าความลำเอียงของฝนจากเรดาร์เมื่อเทียบกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝน
 $G_{i,t}$ คือ ปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t (mm/hr)
 $R_{i,t}$ คือ ปริมาณฝนที่คำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและพารามิเตอร์ Z ที่สถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t (mm/hr)
 i คือ สถานีวัดน้ำฝน i
 N คือ จำนวนสถานีวัดน้ำฝนทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ
 T คือ ช่วงเวลาที่ฝนตกของเหตุการณ์ฝน (ชั่วโมง)

นอกจากนี้โครงการวิจัยฯ ได้ทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่เพิ่มขึ้นของการใช้สมการการประเมินฝนที่ได้จากการศึกษาเมื่อเทียบกับสมการ สมการ $Z=200R^{1.6}$ ของ Marshall & Palmer ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้กันทั่วโลก และ $Z=300R^{1.4}$ ที่สถานีเรดาร์สถิติในปัจจุบัน รายละเอียดของผลการประเมินความคลาดเคลื่อนของสมการที่ได้จากการศึกษา การประเมินค่าความ ลำเอียงของฝนจากเรดาร์ (อัตราส่วน G/R) เมื่อเปรียบเทียบกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝน และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่เพิ่มขึ้นของการใช้สมการการประเมินฝนที่ได้จากการศึกษาเมื่อเทียบกับสมการ $Z=200R^{1.6}$ และ $Z=300R^{1.4}$ ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 5.3 และ 5.4

4.1.7 เสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ที่เหมาะสมในการประเมินฝนสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติ

เมื่อได้ผลการประเมินความคลาดเคลื่อนของการประเมินฝนจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) การประเมินค่าความลำเอียงของฝนจากเรดาร์ (อัตราส่วน G/R) เมื่อเปรียบเทียบกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝน และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่เพิ่มขึ้นของการใช้สมการการประเมินฝนที่ได้จากการศึกษาเมื่อเทียบกับสมการ $Z=200R^{1.6}$ และ $Z=300R^{1.4}$ ด้วยวิธีที่นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.1.6 แล้ว โครงการวิจัยฯ ได้ทำการสรุปและเลือกสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับประเมินปริมาณน้ำฝนโดยเรดาร์จากสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติ พร้อมทั้งเสนอข้อคิดเห็น

4.1.8 ทดสอบความเชื่อมั่นทางสถิติและความถูกต้องของแบบจำลองในการประเมินปริมาณฝน

โครงการวิจัยฯ ได้ทำการทดสอบความเชื่อมั่นทางสถิติและความถูกต้องของแบบจำลองในการประเมินฝนจากเรดาร์โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองกับเหตุการณ์ฝนที่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ในการจัดสร้างแบบจำลองพร้อมกับเปรียบเทียบปริมาณฝนที่ประเมินได้จากเรดาร์กับปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนโดยใช้สมการที่ 4-2

4.1.9 การแสดงผลการประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์บนหน้าบนระบบข้อมูลสารสนเทศ สำนักฝนหลวงและการบินเกษตรกร

นำผลการประเมินฝนด้วยสมการ $R(Z)$ ที่ผ่านการคัดเลือกและผ่านเกณฑ์ในหัวข้อ 4.1.8 ไปประยุกต์ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำฝนของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติบ ในพื้นที่ภาคตะวันออก บนระบบสารสนเทศของกรมฝนหลวงและการบินเกษตรกรต่อไป

4.1.10 สรุปผลการศึกษาและเสนอข้อคิดเห็น

โครงการวิจัยฯ นี้ได้ทำการสรุปผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ที่เหมาะสมในการประเมินฝนสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติบ และเสนอข้อคิดเห็นของการนำไปใช้ประโยชน์และการพัฒนาบนระบบสารสนเทศต่อไป

บทที่ 5

ผลการศึกษาการวิเคราะห์สมการการประเมินฝนด้วยเรดาร์ภาคตะวันออก

5.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์สมการการประเมินฝนด้วยเรดาร์

ในการศึกษาครั้งนี้ได้คัดเลือกข้อมูลเหตุการณ์ฝน ที่เกิดขึ้นภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กิโลเมตร ของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นเรดาร์ชนิด Horizontal polarization ความถี่ S-band โดยเหตุการณ์ฝนที่ผ่านการคัดเลือกจะต้องมีทั้งข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (Z) ของเรดาร์สัตหีบที่ระดับความสูงต่างๆ และข้อมูลตรวจวัดฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่สามารถตรวจวัดฝนในช่วงเวลาเดียวกัน ผลการคัดเลือกเหตุการณ์ฝนจากเกณฑ์ดังกล่าว สามารถคัดเลือกเหตุการณ์ฝนในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 ได้ทั้งสิ้น 211 เหตุการณ์ การศึกษาครั้งนี้แบ่งเหตุการณ์ฝนดังกล่าวออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1) กลุ่มแรก คือ ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) ใช้สำหรับการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและค่าพารามิเตอร์ Z เพื่อใช้ในการประเมินฝน ซึ่งประกอบไปด้วยเหตุการณ์ฝนทั้งหมดของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (Z) ที่สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 จำนวน 105 เหตุการณ์

2) กลุ่มที่สอง คือ ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการทวนสอบ (Verification) เพื่อนำมาทวนสอบความเชื่อมั่นในการประยุกต์ใช้สมการการประเมินฝนจากข้อมูลในกลุ่มแรก ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่เลือก ได้แก่ เหตุการณ์ฝนทั้งหมดของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (Z) ที่สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 จำนวน 106 เหตุการณ์

รายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ และทวนสอบ ของข้อมูลในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 แสดงไว้ในตารางที่ 5.1-1 และตารางที่ 5.1-2 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1-1 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ สำหรับการวิเคราะห์สมการการประเมินฝนด้วยเรดาร์ชนิด Horizontal polarization ความถี่ S-band ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557

ลำดับเหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาเหตุการณ์ (ชม.)	การวิเคราะห์
1	22 มีนาคม 2557	5:00:00	22 มีนาคม 2557	20:00:00	7	การสอบเทียบ
2	23 มีนาคม 2557	9:00:00	23 มีนาคม 2557	10:00:00	2	การสอบเทียบ
3	24 มีนาคม 2557	8:00:00	24 มีนาคม 2557	8:00:00	1	การสอบเทียบ
4	26 มีนาคม 2557	11:00:00	26 มีนาคม 2557	11:00:00	1	การสอบเทียบ
5	1 เมษายน 2557	8:00:00	1 เมษายน 2557	9:00:00	2	การสอบเทียบ
6	3 เมษายน 2557	19:00:00	3 เมษายน 2557	20:00:00	2	การสอบเทียบ
7	4 เมษายน 2557	3:00:00	4 เมษายน 2557	23:00:00	10	การสอบเทียบ

ตารางที่ 5.1-1 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ สำหรับการวิเคราะห์สมการประเมินฝนด้วยเรดาร์ชนิด Horizontal polarization ความถี่ S-band ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับเหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาเหตุการณ์ (ชม.)	การวิเคราะห์
8	5 เมษายน 2557	0:00:00	5 เมษายน 2557	15:00:00	13	การสอบเทียบ
9	6 เมษายน 2557	5:00:00	6 เมษายน 2557	13:00:00	3	การสอบเทียบ
10	7 เมษายน 2557	7:00:00	7 เมษายน 2557	14:00:00	3	การสอบเทียบ
11	8 เมษายน 2557	5:00:00	8 เมษายน 2557	15:00:00	6	การสอบเทียบ
12	9 เมษายน 2557	6:00:00	9 เมษายน 2557	19:00:00	7	การสอบเทียบ
13	15 พฤษภาคม 2557	9:00:00	15 พฤษภาคม 2557	23:00:00	3	การสอบเทียบ
14	16 พฤษภาคม 2557	2:00:00	16 พฤษภาคม 2557	8:00:00	5	การสอบเทียบ
15	17 พฤษภาคม 2557	4:00:00	17 พฤษภาคม 2557	23:00:00	15	การสอบเทียบ
16	18 พฤษภาคม 2557	0:00:00	18 พฤษภาคม 2557	20:00:00	18	การสอบเทียบ
17	20 พฤษภาคม 2557	8:00:00	20 พฤษภาคม 2557	8:00:00	1	การสอบเทียบ
18	23 พฤษภาคม 2557	8:00:00	23 พฤษภาคม 2557	14:00:00	2	การสอบเทียบ
19	25 พฤษภาคม 2557	2:00:00	25 พฤษภาคม 2557	11:00:00	4	การสอบเทียบ
20	26 พฤษภาคม 2557	7:00:00	26 พฤษภาคม 2557	18:00:00	5	การสอบเทียบ
21	27 พฤษภาคม 2557	11:00:00	27 พฤษภาคม 2557	23:00:00	2	การสอบเทียบ
22	28 พฤษภาคม 2557	20:00:00	28 พฤษภาคม 2557	22:00:00	3	การสอบเทียบ
23	30 พฤษภาคม 2557	19:00:00	30 พฤษภาคม 2557	21:00:00	2	การสอบเทียบ
24	31 พฤษภาคม 2557	0:00:00	31 พฤษภาคม 2557	10:00:00	11	การสอบเทียบ
25	1 มิถุนายน 2557	1:00:00	1 มิถุนายน 2557	8:00:00	3	การสอบเทียบ
26	2 มิถุนายน 2557	2:00:00	2 มิถุนายน 2557	11:00:00	4	การสอบเทียบ
27	3 มิถุนายน 2557	10:00:00	3 มิถุนายน 2557	22:00:00	9	การสอบเทียบ
28	4 มิถุนายน 2557	1:00:00	4 มิถุนายน 2557	23:00:00	14	การสอบเทียบ
29	5 มิถุนายน 2557	0:00:00	5 มิถุนายน 2557	23:00:00	10	การสอบเทียบ
30	6 มิถุนายน 2557	5:00:00	6 มิถุนายน 2557	6:00:00	2	การสอบเทียบ
31	7 มิถุนายน 2557	3:00:00	7 มิถุนายน 2557	23:00:00	10	การสอบเทียบ
32	8 มิถุนายน 2557	0:00:00	8 มิถุนายน 2557	21:00:00	16	การสอบเทียบ
33	9 มิถุนายน 2557	4:00:00	9 มิถุนายน 2557	5:00:00	2	การสอบเทียบ
34	10 มิถุนายน 2557	22:00:00	10 มิถุนายน 2557	22:00:00	1	การสอบเทียบ
35	11 มิถุนายน 2557	6:00:00	11 มิถุนายน 2557	23:00:00	9	การสอบเทียบ
36	12 มิถุนายน 2557	0:00:00	12 มิถุนายน 2557	18:00:00	13	การสอบเทียบ
37	13 มิถุนายน 2557	2:00:00	13 มิถุนายน 2557	23:00:00	14	การสอบเทียบ
38	14 มิถุนายน 2557	0:00:00	14 มิถุนายน 2557	23:00:00	16	การสอบเทียบ
39	15 มิถุนายน 2557	0:00:00	15 มิถุนายน 2557	23:00:00	21	การสอบเทียบ
40	16 มิถุนายน 2557	0:00:00	16 มิถุนายน 2557	8:00:00	4	การสอบเทียบ
41	17 มิถุนายน 2557	4:00:00	17 มิถุนายน 2557	23:00:00	16	การสอบเทียบ
42	18 มิถุนายน 2557	0:00:00	18 มิถุนายน 2557	5:00:00	4	การสอบเทียบ
43	20 มิถุนายน 2557	4:00:00	20 มิถุนายน 2557	23:00:00	3	การสอบเทียบ

ตารางที่ 5.1-1 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ สำหรับการวิเคราะห์สมการประเมินฝนด้วยเรดาร์ชนิด Horizontal polarization ความถี่ S-band ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับเหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาเหตุการณ์ (ชม.)	การวิเคราะห์
44	21 มิถุนายน 2557	4:00:00	21 มิถุนายน 2557	22:00:00	3	การสอบเทียบ
45	22 มิถุนายน 2557	5:00:00	22 มิถุนายน 2557	14:00:00	8	การสอบเทียบ
46	24 มิถุนายน 2557	0:00:00	24 มิถุนายน 2557	22:00:00	3	การสอบเทียบ
47	25 มิถุนายน 2557	1:00:00	25 มิถุนายน 2557	15:00:00	12	การสอบเทียบ
48	26 มิถุนายน 2557	5:00:00	26 มิถุนายน 2557	21:00:00	11	การสอบเทียบ
49	28 มิถุนายน 2557	14:00:00	28 มิถุนายน 2557	14:00:00	1	การสอบเทียบ
50	29 มิถุนายน 2557	12:00:00	29 มิถุนายน 2557	17:00:00	2	การสอบเทียบ
51	30 มิถุนายน 2557	5:00:00	30 มิถุนายน 2557	23:00:00	3	การสอบเทียบ
52	1 กรกฎาคม 2557	2:00:00	1 กรกฎาคม 2557	21:00:00	4	การสอบเทียบ
53	2 กรกฎาคม 2557	3:00:00	2 กรกฎาคม 2557	4:00:00	2	การสอบเทียบ
54	3 กรกฎาคม 2557	17:00:00	3 กรกฎาคม 2557	21:00:00	3	การสอบเทียบ
55	4 กรกฎาคม 2557	7:00:00	4 กรกฎาคม 2557	8:00:00	2	การสอบเทียบ
56	5 กรกฎาคม 2557	23:00:00	5 กรกฎาคม 2557	23:00:00	1	การสอบเทียบ
57	6 กรกฎาคม 2557	6:00:00	6 กรกฎาคม 2557	16:00:00	2	การสอบเทียบ
58	7 กรกฎาคม 2557	16:00:00	7 กรกฎาคม 2557	23:00:00	3	การสอบเทียบ
59	8 กรกฎาคม 2557	0:00:00	8 กรกฎาคม 2557	20:00:00	15	การสอบเทียบ
60	9 กรกฎาคม 2557	2:00:00	9 กรกฎาคม 2557	14:00:00	4	การสอบเทียบ
61	10 กรกฎาคม 2557	18:00:00	10 กรกฎาคม 2557	18:00:00	1	การสอบเทียบ
62	13 กรกฎาคม 2557	2:00:00	13 กรกฎาคม 2557	23:00:00	20	การสอบเทียบ
63	14 กรกฎาคม 2557	0:00:00	14 กรกฎาคม 2557	23:00:00	17	การสอบเทียบ
64	15 กรกฎาคม 2557	0:00:00	15 กรกฎาคม 2557	16:00:00	12	การสอบเทียบ
65	16 กรกฎาคม 2557	7:00:00	16 กรกฎาคม 2557	9:00:00	3	การสอบเทียบ
66	18 กรกฎาคม 2557	6:00:00	18 กรกฎาคม 2557	23:00:00	10	การสอบเทียบ
67	19 กรกฎาคม 2557	0:00:00	19 กรกฎาคม 2557	14:00:00	11	การสอบเทียบ
68	21 กรกฎาคม 2557	1:00:00	21 กรกฎาคม 2557	19:00:00	16	การสอบเทียบ
69	24 กรกฎาคม 2557	15:00:00	24 กรกฎาคม 2557	15:00:00	1	การสอบเทียบ
70	25 กรกฎาคม 2557	5:00:00	25 กรกฎาคม 2557	15:00:00	8	การสอบเทียบ
71	26 กรกฎาคม 2557	5:00:00	26 กรกฎาคม 2557	23:00:00	7	การสอบเทียบ
72	27 กรกฎาคม 2557	6:00:00	27 กรกฎาคม 2557	18:00:00	5	การสอบเทียบ
73	28 กรกฎาคม 2557	3:00:00	28 กรกฎาคม 2557	22:00:00	15	การสอบเทียบ
74	29 กรกฎาคม 2557	3:00:00	29 กรกฎาคม 2557	15:00:00	10	การสอบเทียบ
75	30 กรกฎาคม 2557	3:00:00	30 กรกฎาคม 2557	19:00:00	11	การสอบเทียบ
76	31 กรกฎาคม 2557	2:00:00	31 กรกฎาคม 2557	6:00:00	5	การสอบเทียบ
77	1 สิงหาคม 2557	11:00:00	1 สิงหาคม 2557	23:00:00	13	การสอบเทียบ
78	2 สิงหาคม 2557	0:00:00	2 สิงหาคม 2557	12:00:00	8	การสอบเทียบ
79	3 สิงหาคม 2557	6:00:00	3 สิงหาคม 2557	23:00:00	6	การสอบเทียบ

ตารางที่ 5.1-1 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ สำหรับการวิเคราะห์สมการประเมินฝนด้วยเรดาร์ชนิด Horizontal polarization ความถี่ S-band ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับเหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาเหตุการณ์ (ชม.)	การวิเคราะห์
80	4 สิงหาคม 2557	0:00:00	4 สิงหาคม 2557	20:00:00	15	การสอบเทียบ
81	5 สิงหาคม 2557	0:00:00	5 สิงหาคม 2557	23:00:00	21	การสอบเทียบ
82	6 สิงหาคม 2557	0:00:00	6 สิงหาคม 2557	23:00:00	17	การสอบเทียบ
83	7 สิงหาคม 2557	0:00:00	7 สิงหาคม 2557	20:00:00	18	การสอบเทียบ
84	8 สิงหาคม 2557	3:00:00	8 สิงหาคม 2557	7:00:00	3	การสอบเทียบ
85	11 สิงหาคม 2557	14:00:00	11 สิงหาคม 2557	16:00:00	3	การสอบเทียบ
86	12 สิงหาคม 2557	12:00:00	12 สิงหาคม 2557	18:00:00	6	การสอบเทียบ
87	13 สิงหาคม 2557	4:00:00	13 สิงหาคม 2557	22:00:00	8	การสอบเทียบ
88	14 สิงหาคม 2557	3:00:00	14 สิงหาคม 2557	20:00:00	10	การสอบเทียบ
89	15 สิงหาคม 2557	4:00:00	15 สิงหาคม 2557	10:00:00	7	การสอบเทียบ
90	16 สิงหาคม 2557	2:00:00	16 สิงหาคม 2557	19:00:00	9	การสอบเทียบ
91	17 สิงหาคม 2557	4:00:00	17 สิงหาคม 2557	10:00:00	6	การสอบเทียบ
92	18 สิงหาคม 2557	5:00:00	18 สิงหาคม 2557	21:00:00	6	การสอบเทียบ
93	19 สิงหาคม 2557	4:00:00	19 สิงหาคม 2557	23:00:00	14	การสอบเทียบ
94	20 สิงหาคม 2557	0:00:00	20 สิงหาคม 2557	19:00:00	15	การสอบเทียบ
95	21 สิงหาคม 2557	1:00:00	21 สิงหาคม 2557	10:00:00	9	การสอบเทียบ
96	22 สิงหาคม 2557	6:00:00	22 สิงหาคม 2557	23:00:00	12	การสอบเทียบ
97	23 สิงหาคม 2557	1:00:00	23 สิงหาคม 2557	11:00:00	6	การสอบเทียบ
98	24 สิงหาคม 2557	6:00:00	24 สิงหาคม 2557	17:00:00	3	การสอบเทียบ
99	25 สิงหาคม 2557	6:00:00	25 สิงหาคม 2557	23:00:00	9	การสอบเทียบ
100	26 สิงหาคม 2557	3:00:00	26 สิงหาคม 2557	17:00:00	14	การสอบเทียบ
101	27 สิงหาคม 2557	4:00:00	27 สิงหาคม 2557	23:00:00	17	การสอบเทียบ
102	28 สิงหาคม 2557	0:00:00	28 สิงหาคม 2557	21:00:00	21	การสอบเทียบ
103	29 สิงหาคม 2557	0:00:00	29 สิงหาคม 2557	23:00:00	18	การสอบเทียบ
104	30 สิงหาคม 2557	0:00:00	30 สิงหาคม 2557	22:00:00	16	การสอบเทียบ
105	31 สิงหาคม 2557	3:00:00	31 สิงหาคม 2557	21:00:00	17	การสอบเทียบ
รวมระยะเวลาเหตุการณ์ (ชม.)					857	การสอบเทียบ

ตารางที่ 5.1-2 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการทวนสอบ สำหรับการวิเคราะห์สมการประเมินฝนด้วยเรดาร์ชนิด Horizontal polarization ความถี่ S-band ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557

ลำดับเหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาเหตุการณ์ (ชม.)	การวิเคราะห์
1	22 มีนาคม 2557	5:00:00	22 มีนาคม 2557	19:00:00	7	การทวนสอบ
2	23 มีนาคม 2557	3:00:00	23 มีนาคม 2557	8:00:00	6	การทวนสอบ
3	24 มีนาคม 2557	14:00:00	24 มีนาคม 2557	14:00:00	1	การทวนสอบ
4	1 เมษายน 2557	9:00:00	1 เมษายน 2557	9:00:00	1	การทวนสอบ
5	4 เมษายน 2557	5:00:00	4 เมษายน 2557	18:00:00	13	การทวนสอบ
6	5 เมษายน 2557	0:00:00	5 เมษายน 2557	20:00:00	15	การทวนสอบ
7	6 เมษายน 2557	7:00:00	6 เมษายน 2557	11:00:00	2	การทวนสอบ
8	7 เมษายน 2557	7:00:00	7 เมษายน 2557	19:00:00	2	การทวนสอบ
9	8 เมษายน 2557	6:00:00	8 เมษายน 2557	7:00:00	2	การทวนสอบ
10	9 เมษายน 2557	3:00:00	9 เมษายน 2557	3:00:00	1	การทวนสอบ
11	16 พฤษภาคม 2557	12:00:00	16 พฤษภาคม 2557	19:00:00	4	การทวนสอบ
12	17 พฤษภาคม 2557	11:00:00	17 พฤษภาคม 2557	17:00:00	7	การทวนสอบ
13	18 พฤษภาคม 2557	9:00:00	18 พฤษภาคม 2557	17:00:00	4	การทวนสอบ
14	19 พฤษภาคม 2557	11:00:00	19 พฤษภาคม 2557	20:00:00	3	การทวนสอบ
15	23 พฤษภาคม 2557	8:00:00	23 พฤษภาคม 2557	8:00:00	1	การทวนสอบ
16	24 พฤษภาคม 2557	11:00:00	24 พฤษภาคม 2557	11:00:00	1	การทวนสอบ
17	25 พฤษภาคม 2557	13:00:00	25 พฤษภาคม 2557	13:00:00	1	การทวนสอบ
18	28 พฤษภาคม 2557	21:00:00	28 พฤษภาคม 2557	21:00:00	1	การทวนสอบ
19	29 พฤษภาคม 2557	3:00:00	29 พฤษภาคม 2557	3:00:00	1	การทวนสอบ
20	30 พฤษภาคม 2557	19:00:00	30 พฤษภาคม 2557	21:00:00	2	การทวนสอบ
21	31 พฤษภาคม 2557	4:00:00	31 พฤษภาคม 2557	18:00:00	9	การทวนสอบ
22	1 มิถุนายน 2557	0:00:00	1 มิถุนายน 2557	4:00:00	3	การทวนสอบ
23	2 มิถุนายน 2557	11:00:00	2 มิถุนายน 2557	11:00:00	1	การทวนสอบ
24	3 มิถุนายน 2557	11:00:00	3 มิถุนายน 2557	22:00:00	6	การทวนสอบ
25	4 มิถุนายน 2557	0:00:00	4 มิถุนายน 2557	23:00:00	9	การทวนสอบ
26	5 มิถุนายน 2557	0:00:00	5 มิถุนายน 2557	23:00:00	15	การทวนสอบ
27	6 มิถุนายน 2557	0:00:00	6 มิถุนายน 2557	20:00:00	10	การทวนสอบ
28	7 มิถุนายน 2557	2:00:00	7 มิถุนายน 2557	23:00:00	13	การทวนสอบ
29	8 มิถุนายน 2557	0:00:00	8 มิถุนายน 2557	23:00:00	14	การทวนสอบ
30	9 มิถุนายน 2557	0:00:00	9 มิถุนายน 2557	9:00:00	5	การทวนสอบ
31	10 มิถุนายน 2557	8:00:00	10 มิถุนายน 2557	23:00:00	3	การทวนสอบ
32	11 มิถุนายน 2557	0:00:00	11 มิถุนายน 2557	23:00:00	18	การทวนสอบ
33	12 มิถุนายน 2557	0:00:00	12 มิถุนายน 2557	23:00:00	22	การทวนสอบ
34	13 มิถุนายน 2557	0:00:00	13 มิถุนายน 2557	23:00:00	21	การทวนสอบ
35	14 มิถุนายน 2557	0:00:00	14 มิถุนายน 2557	23:00:00	23	การทวนสอบ
36	15 มิถุนายน 2557	0:00:00	15 มิถุนายน 2557	23:00:00	22	การทวนสอบ

ตารางที่ 5.1-2 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการทวนสอบ สำหรับการวิเคราะห์สมการประเมินฝนด้วยเรดาร์ชนิด Horizontal polarization ความถี่ S-band ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับเหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาเหตุการณ์ (ชม.)	การวิเคราะห์
37	16 มิถุนายน 2557	0:00:00	16 มิถุนายน 2557	22:00:00	17	การทวนสอบ
38	17 มิถุนายน 2557	6:00:00	17 มิถุนายน 2557	23:00:00	13	การทวนสอบ
39	18 มิถุนายน 2557	5:00:00	18 มิถุนายน 2557	12:00:00	3	การทวนสอบ
40	19 มิถุนายน 2557	12:00:00	19 มิถุนายน 2557	22:00:00	4	การทวนสอบ
41	20 มิถุนายน 2557	5:00:00	20 มิถุนายน 2557	21:00:00	2	การทวนสอบ
42	21 มิถุนายน 2557	4:00:00	21 มิถุนายน 2557	19:00:00	4	การทวนสอบ
43	22 มิถุนายน 2557	1:00:00	22 มิถุนายน 2557	18:00:00	13	การทวนสอบ
44	23 มิถุนายน 2557	7:00:00	23 มิถุนายน 2557	18:00:00	2	การทวนสอบ
45	24 มิถุนายน 2557	0:00:00	24 มิถุนายน 2557	22:00:00	12	การทวนสอบ
46	25 มิถุนายน 2557	1:00:00	25 มิถุนายน 2557	19:00:00	16	การทวนสอบ
47	26 มิถุนายน 2557	5:00:00	26 มิถุนายน 2557	22:00:00	10	การทวนสอบ
48	29 มิถุนายน 2557	5:00:00	29 มิถุนายน 2557	12:00:00	3	การทวนสอบ
49	30 มิถุนายน 2557	13:00:00	30 มิถุนายน 2557	13:00:00	1	การทวนสอบ
50	1 กรกฎาคม 2557	8:00:00	1 กรกฎาคม 2557	21:00:00	2	การทวนสอบ
51	3 กรกฎาคม 2557	19:00:00	3 กรกฎาคม 2557	21:00:00	3	การทวนสอบ
52	4 กรกฎาคม 2557	8:00:00	4 กรกฎาคม 2557	8:00:00	1	การทวนสอบ
53	6 กรกฎาคม 2557	11:00:00	6 กรกฎาคม 2557	19:00:00	5	การทวนสอบ
54	7 กรกฎาคม 2557	1:00:00	7 กรกฎาคม 2557	23:00:00	10	การทวนสอบ
55	8 กรกฎาคม 2557	0:00:00	8 กรกฎาคม 2557	20:00:00	17	การทวนสอบ
56	9 กรกฎาคม 2557	0:00:00	9 กรกฎาคม 2557	23:00:00	22	การทวนสอบ
57	10 กรกฎาคม 2557	0:00:00	10 กรกฎาคม 2557	3:00:00	4	การทวนสอบ
58	11 กรกฎาคม 2557	1:00:00	11 กรกฎาคม 2557	23:00:00	2	การทวนสอบ
59	12 กรกฎาคม 2557	6:00:00	12 กรกฎาคม 2557	23:00:00	5	การทวนสอบ
60	13 กรกฎาคม 2557	1:00:00	13 กรกฎาคม 2557	23:00:00	22	การทวนสอบ
61	14 กรกฎาคม 2557	0:00:00	14 กรกฎาคม 2557	23:00:00	20	การทวนสอบ
62	15 กรกฎาคม 2557	0:00:00	15 กรกฎาคม 2557	23:00:00	15	การทวนสอบ
63	16 กรกฎาคม 2557	0:00:00	16 กรกฎาคม 2557	19:00:00	6	การทวนสอบ
64	17 กรกฎาคม 2557	2:00:00	17 กรกฎาคม 2557	18:00:00	4	การทวนสอบ
65	18 กรกฎาคม 2557	0:00:00	18 กรกฎาคม 2557	23:00:00	19	การทวนสอบ
66	19 กรกฎาคม 2557	0:00:00	19 กรกฎาคม 2557	21:00:00	15	การทวนสอบ
67	20 กรกฎาคม 2557	2:00:00	20 กรกฎาคม 2557	21:00:00	11	การทวนสอบ
68	21 กรกฎาคม 2557	7:00:00	21 กรกฎาคม 2557	19:00:00	12	การทวนสอบ
69	23 กรกฎาคม 2557	23:00:00	23 กรกฎาคม 2557	23:00:00	1	การทวนสอบ
70	24 กรกฎาคม 2557	14:00:00	24 กรกฎาคม 2557	17:00:00	4	การทวนสอบ
71	25 กรกฎาคม 2557	5:00:00	25 กรกฎาคม 2557	21:00:00	11	การทวนสอบ
72	26 กรกฎาคม 2557	8:00:00	26 กรกฎาคม 2557	15:00:00	5	การทวนสอบ

ตารางที่ 5.1-2 ตารางรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการทวนสอบ สำหรับการวิเคราะห์สมการประเมินฝนด้วยเรดาร์ชนิด Horizontal polarization ความถี่ S-band ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 (ต่อ)

ลำดับเหตุการณ์	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	วันที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาเหตุการณ์ (ชม.)	การวิเคราะห์
73	27 กรกฎาคม 2557	6:00:00	27 กรกฎาคม 2557	21:00:00	8	การทวนสอบ
74	28 กรกฎาคม 2557	4:00:00	28 กรกฎาคม 2557	22:00:00	13	การทวนสอบ
75	29 กรกฎาคม 2557	4:00:00	29 กรกฎาคม 2557	16:00:00	13	การทวนสอบ
76	30 กรกฎาคม 2557	2:00:00	30 กรกฎาคม 2557	23:00:00	18	การทวนสอบ
77	31 กรกฎาคม 2557	0:00:00	31 กรกฎาคม 2557	10:00:00	8	การทวนสอบ
78	1 สิงหาคม 2557	9:00:00	1 สิงหาคม 2557	23:00:00	15	การทวนสอบ
79	2 สิงหาคม 2557	0:00:00	2 สิงหาคม 2557	23:00:00	11	การทวนสอบ
80	3 สิงหาคม 2557	6:00:00	3 สิงหาคม 2557	23:00:00	7	การทวนสอบ
81	4 สิงหาคม 2557	0:00:00	4 สิงหาคม 2557	20:00:00	14	การทวนสอบ
82	5 สิงหาคม 2557	2:00:00	5 สิงหาคม 2557	23:00:00	22	การทวนสอบ
83	6 สิงหาคม 2557	0:00:00	6 สิงหาคม 2557	23:00:00	19	การทวนสอบ
84	7 สิงหาคม 2557	0:00:00	7 สิงหาคม 2557	23:00:00	22	การทวนสอบ
85	8 สิงหาคม 2557	0:00:00	8 สิงหาคม 2557	7:00:00	6	การทวนสอบ
86	11 สิงหาคม 2557	16:00:00	11 สิงหาคม 2557	17:00:00	2	การทวนสอบ
87	12 สิงหาคม 2557	11:00:00	12 สิงหาคม 2557	18:00:00	7	การทวนสอบ
88	13 สิงหาคม 2557	9:00:00	13 สิงหาคม 2557	23:00:00	9	การทวนสอบ
89	14 สิงหาคม 2557	0:00:00	14 สิงหาคม 2557	20:00:00	9	การทวนสอบ
90	15 สิงหาคม 2557	2:00:00	15 สิงหาคม 2557	23:00:00	8	การทวนสอบ
91	16 สิงหาคม 2557	5:00:00	16 สิงหาคม 2557	14:00:00	8	การทวนสอบ
92	17 สิงหาคม 2557	6:00:00	17 สิงหาคม 2557	8:00:00	3	การทวนสอบ
93	18 สิงหาคม 2557	8:00:00	18 สิงหาคม 2557	12:00:00	5	การทวนสอบ
94	19 สิงหาคม 2557	3:00:00	19 สิงหาคม 2557	23:00:00	16	การทวนสอบ
95	20 สิงหาคม 2557	0:00:00	20 สิงหาคม 2557	18:00:00	18	การทวนสอบ
96	21 สิงหาคม 2557	4:00:00	21 สิงหาคม 2557	20:00:00	11	การทวนสอบ
97	22 สิงหาคม 2557	5:00:00	22 สิงหาคม 2557	23:00:00	13	การทวนสอบ
98	23 สิงหาคม 2557	1:00:00	23 สิงหาคม 2557	17:00:00	12	การทวนสอบ
99	24 สิงหาคม 2557	6:00:00	24 สิงหาคม 2557	17:00:00	7	การทวนสอบ
100	25 สิงหาคม 2557	6:00:00	25 สิงหาคม 2557	14:00:00	8	การทวนสอบ
101	26 สิงหาคม 2557	6:00:00	26 สิงหาคม 2557	19:00:00	14	การทวนสอบ
102	27 สิงหาคม 2557	4:00:00	27 สิงหาคม 2557	23:00:00	19	การทวนสอบ
103	28 สิงหาคม 2557	0:00:00	28 สิงหาคม 2557	23:00:00	23	การทวนสอบ
104	29 สิงหาคม 2557	0:00:00	29 สิงหาคม 2557	23:00:00	17	การทวนสอบ
105	30 สิงหาคม 2557	0:00:00	30 สิงหาคม 2557	22:00:00	14	การทวนสอบ
106	31 สิงหาคม 2557	2:00:00	31 สิงหาคม 2557	22:00:00	20	การทวนสอบ
รวมระยะเวลาเหตุการณ์ (ชม.)					1004	การทวนสอบ

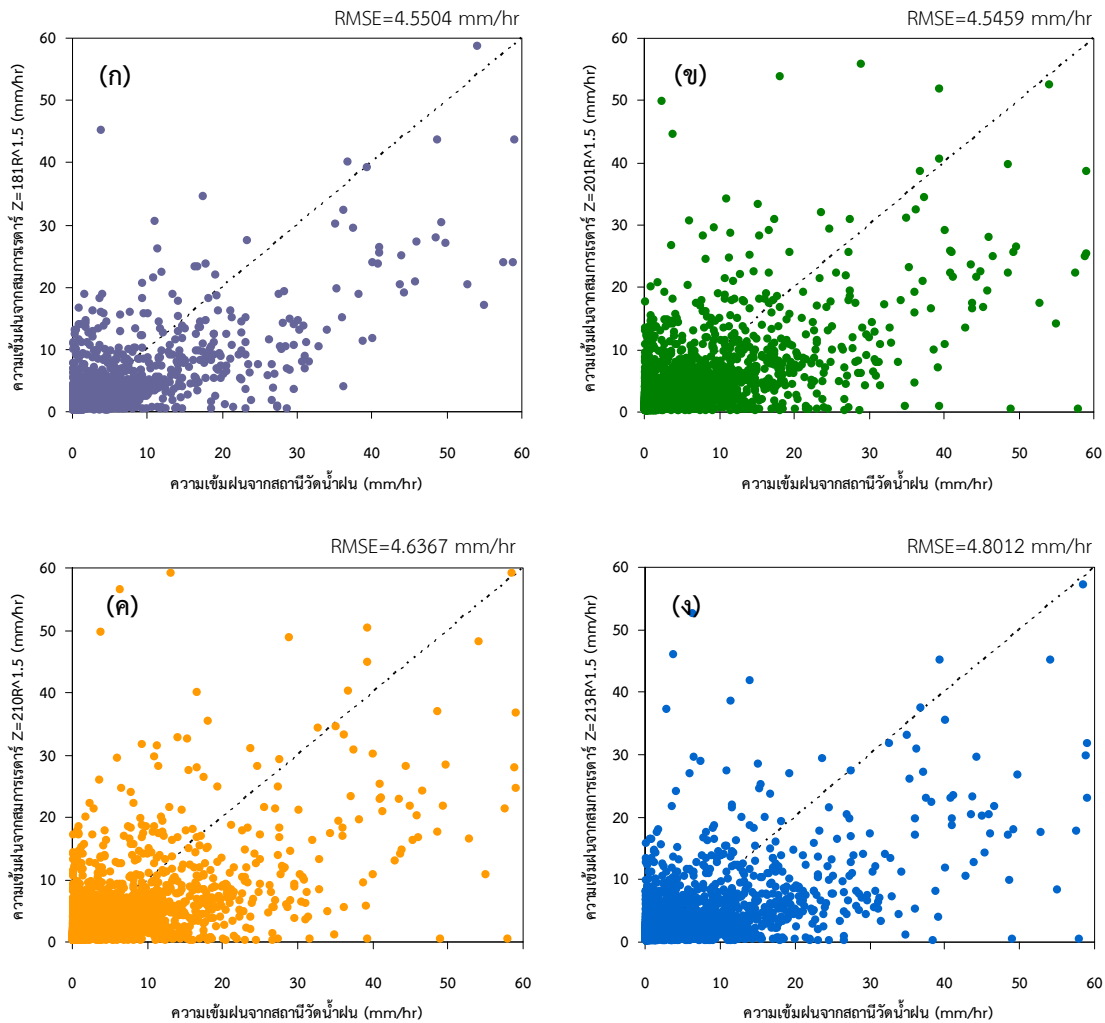
5.2 ผลการตรวจสอบข้อมูลเรดาร์สถิติที่ระดับความสูงต่างๆ

การศึกษานี้ได้ทำการคัดเลือกข้อมูลที่ระดับความสูงใกล้พื้นดิน เนื่องจากทำให้ได้ข้อมูลการตรวจวัดครอบคลุมกลุ่มฝนที่มากกว่า โดยกำหนดให้มีข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (Z) ที่สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดฝนจากสถานีวัดน้ำฝนอยู่ภายในรัศมีการทำงานของเรดาร์ที่ระยะไม่เกิน 160 กิโลเมตร ดังนั้นการศึกษานี้จึงทำการคัดเลือกข้อมูลเรดาร์ที่ระดับความสูง ตั้งแต่ 1.0, 1.75, 2.5 และ 3.25 กิโลเมตร มาทำการวิเคราะห์หาความสูงที่เหมาะสมและสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและค่าพารามิเตอร์ Z ด้วยสมการ $R(Z)$ ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประเมินฝนสำหรับสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติ โดยในการศึกษาใช้หลักเกณฑ์ในการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ Z ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เช่นเดียวกับในหัวข้อที่ 5.3 เหตุการณ์ฝนทั้งหมดของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (Z) ที่สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ในวันที่มีฝนตก จะนำมาใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและค่าพารามิเตอร์ Z เพื่อใช้ในการประเมินฝน ผลการคัดเลือกความสูงและสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับการประเมินฝนสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติพิจารณาจากค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่น้อยที่สุด (Root Mean Square Error, RMSE) ระหว่างฝนเรดาร์ที่ประเมินจากสมการ $R(Z)$ ในแต่ละความสูงที่ทำการตรวจวัดเทียบกับปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน ณ ตำแหน่งการตรวจวัดที่สอดคล้องกัน ของเหตุการณ์สอบเทียบ

ตารางที่ 5.2-1 เปรียบเทียบค่า RMSE สมการ $R(Z)$ เหตุการณ์สอบเทียบ ที่ระดับความสูง 1.0, 1.75, 2.5 และ 3.25 กิโลเมตร ของเหตุการณ์ฝนทั้งหมดของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (Z) ที่สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557

ระดับความสูง (กิโลเมตร)	จำนวนคู่ $Z - R$	สมการ $Z - R$	RMSE (มม./ชม.)
1.00	3,518	$181R^{1.5}$	4.5504
1.75	6,094	$201 R^{1.5}$	4.5459
2.50	6,121	$210 R^{1.5}$	4.6367
3.25	6,044	$213 R^{1.5}$	4.8012

ผลจากการวิเคราะห์การประเมินฝนโดยใช้สมการ $R(Z)$ ที่ระดับความสูง 1.0, 1.75, 2.5 และ 3.25 กิโลเมตร พบว่าการประเมินฝนโดยใช้สมการ $R(Z)$ ที่ระดับความสูง 1.75 กิโลเมตร ให้ค่า RMSE ของเหตุการณ์สอบเทียบน้อยที่สุด (ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 5.2-1) และให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนเรดาร์ของเหตุการณ์สอบเทียบที่ประเมินได้มีค่าใกล้เคียงกับความเข้มฝนจากสถานีวัดน้ำฝนมากกว่าที่ระดับความสูง 1.0, 2.5 และ 3.25 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.2-1



รูปที่ 5.2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนที่ประเมินได้จากสมการเรดาร์ที่ระดับความสูง (ก) 1.0, (ข) 1.75, (ค) 2.5 และ (ง) 3.25 กิโลเมตร กับค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน ณ ตำแหน่งการตรวจวัดที่สอดคล้องกัน สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) ปี พ.ศ. 2557

จากผลลัพธ์ที่กล่าวมาในข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าที่ระดับความสูง 1.75 กิโลเมตร จากพื้นดิน เป็นระดับความสูงของการตรวจวัดที่เหมาะสมที่สุดของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสดหีบ ซึ่งข้อมูลเรดาร์สดหีบที่ระดับความสูง 1.75 กิโลเมตร จะถูกนำไปใช้ในการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและค่าพารามิเตอร์ Z ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการประเมินฝนสถานีเรดาร์ฝนหลวงสดหีบต่อไป

5.3 ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและค่าพารามิเตอร์ Z

โครงการวิจัยฯ ได้ทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและค่าพารามิเตอร์ Z ที่เหมาะสมในการประเมินฝนสำหรับสถานีเรดาร์สดหีบในวันที่มีฝนตก โดยค่าพารามิเตอร์ Z ที่นำมาใช้ในการศึกษา ซึ่งได้จากข้อมูล Volume files ของเรดาร์สดหีบและนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร เพื่อวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ $R(Z)$ ที่ทำให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์และปริมาณฝนจากสถานีวัด

น้ำฝนซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งที่สอดคล้องกันมีค่าน้อยที่สุด รายละเอียดผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ $R(Z)$ มีดังต่อไปนี้

ในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ $R(Z)$ สำหรับสถานีเรดาร์ฝนหลวงเรดาร์สัดหีบเพื่อใช้ในการประเมินฝน สามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ 5-1

$$Z = aR^b \quad (5-1)$$

เมื่อ Z คือ ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ในแนวราบ (mm^6/m^3)

R คือ ความเข้มฝนจากเรดาร์ (mm/hr)

จากการศึกษาของ กรมฝนหลวงและการบินเกษตร (2556) พบว่า ค่าพารามิเตอร์ a และ b ของสมการความสัมพันธ์ $R(Z)$ โดยใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์หลายๆปี ที่ได้จากการตรวจวัดโดยเครื่องมือ Disdrometer พบว่า ค่าพารามิเตอร์ b ที่เหมาะสมที่จะเป็นตัวแทนของสมการ $R(Z)$ คือ $b = 1.5$ (Doelling et al., 1998; Steiner and Smith, 2000; Hagen and Yuter, 2003) และจากการศึกษาของ Seed et al., (2002) พบว่าพารามิเตอร์ b ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า RMSE ระหว่างฝนจากเรดาร์ และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนมากนัก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ สำหรับสมการ $R(Z)$ จะพิจารณาใช้ค่า b คงที่เท่ากับ 1.5 และทำการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ a ที่ทำให้ค่า RMSE ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนมีค่าน้อยที่สุด

ในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ $R(Z)$ จำเป็นต้องมีการกำหนด dBZ Threshold ที่เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนของข้อมูลการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ไม่ได้เกิดจากฝน จากการศึกษาค้นคว้าของ Fulton et al. (1988) ได้พิจารณาใช้เฉพาะค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่มากกว่า 15 dBZ เพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนของข้อมูลการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ไม่ได้เกิดจากฝน และผลกระทบจากสัญญาณเรดาร์ที่เกิดจากลูกเห็บในกรณีที่ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์มีค่ามากกว่า 53 dBZ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้พิจารณาใช้หลักเกณฑ์ของ Fulton ร่วมกับการพิจารณาใช้ค่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่มากกว่า 0.1 mm/hr (ค่า Gauge resolution) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนในกรณีของการตรวจวัดปริมาณฝนที่มีค่าน้อยกว่า Gauge resolution ในการคัดเลือกข้อมูลคู่ความสัมพันธ์ $Z-R$ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสมการ $R(Z)$

ผลการสอบเทียบเพื่อหาพารามิเตอร์ a สำหรับเหตุการณ์ฝนในวันที่มีฝนตก ปี พ.ศ. 2557 จำนวน 105 เหตุการณ์ (เหตุการณ์ฝนทั้งหมดของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (Z) ที่สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ที่ระดับความสูง 1.75 กิโลเมตร ในวันที่มีฝนตก ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557) พบว่าสมการ $R(Z)$ ที่เหมาะสมสำหรับสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัดหีบคือ $Z = 201R^{1.5}$ โดยมีค่า RMSE = 4.5459 mm/hr และเมื่อนำสมการ $R(Z)$ ที่ได้จากการศึกษาไปทวนสอบความเชื่อมั่น กับข้อมูลเหตุการณ์ฝนทั้งหมดของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (Z) ที่สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ระดับความสูง 1.75 กิโลเมตร ในวันที่มีฝนตก ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 จำนวน 106 เหตุการณ์ ค่า RMSE ที่ได้มีค่าเท่ากับ 6.994 mm/hr

5.4 การคัดเลือกสมการการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับสถานีเรดาร์ฝนหลวงสตั๊ท

การคัดเลือกสมการการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับสถานีเรดาร์ฝนหลวงสตั๊ทได้พิจารณาจากค่า RMSE ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสมการ $R(Z)$ และเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นในการประยุกต์ใช้สมการต่างๆ โดยหลักเกณฑ์ที่ใช้เพื่อคัดเลือกสมการการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์สตั๊ท มีดังต่อไปนี้ (กรมฝนหลวงและการบินเกษตร, 2557)

1) สมการการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์สตั๊ทจะต้องทำให้ได้ค่า RMSE ของการสอบเทียบและทวนสอบน้อยที่สุด โดยเปรียบเทียบค่า RMSE ของสมการ $R(Z)$ กับสมการ $Z = 200R^{1.6}$ และ $Z = 300R^{1.4}$

2) ในกรณีที่ไม่เป็นไปตามข้อที่ 1) ให้พิจารณาว่าสมการ $R(Z)$ ที่เหมาะสมคือสมการที่ทำให้ค่า RMSE ของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบมีค่าน้อยที่สุด

จากหลักเกณฑ์ข้างต้นทำให้สามารถสรุปสมการที่เหมาะสมสำหรับการประเมินฝนของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสตั๊ทได้ดังตารางที่ 5.4-1

ตารางที่ 5.4-1 ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ในการประเมินฝนของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสตั๊ท

เหตุการณ์	ระดับความสูง (กิโลเมตร)	จำนวนคู่ Z-R (N_{ZR})	RMSE (mm/hr)		
			$Z=201.R^{1.5}$	$Z=200.R^{1.6}$	$Z=300.R^{1.4}$
สอบเทียบ ข้อมูลน้ำฝน DRRAA ปี พ.ศ.2557 105 เหตุการณ์	1.00	3,517	4.564	4.690	4.643
	1.75	6,093	4.564	4.690	4.643
	2.50	6,120	4.564	4.690	4.643
	3.25	6,043	4.564	4.690	4.643
	All	21,773	4.648	4.744	4.657
ทวนสอบ ข้อมูลน้ำฝน MET ปี พ.ศ.2557 106 เหตุการณ์	1.00	1,295	7.112	7.214	7.132
	1.75	4,076	6.994	7.097	7.016
	2.50	4,073	6.988	7.091	7.009
	3.25	3,993	7.012	7.119	7.033
	All	13,437	7.009	7.113	7.030

จากตารางที่ 5.4-1 จะเห็นได้ว่าการประเมินฝนโดยใช้สมการ $R(Z)$ ให้ผลการประเมินฝนที่มีความถูกต้องมากที่สุดเมื่อเทียบกับการประเมินฝนด้วยสมการ $Z = 200R^{1.6}$ และ $Z = 300R^{1.4}$ ที่กรมฝนหลวงและการบินเกษตรใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยพบว่า

การประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=201.R^{1.5}$ ให้ผลการประเมินฝนที่มีความถูกต้องมากกว่าการประเมินฝนด้วยสมการ $Z = 200R^{1.6}$ และ $Z = 300R^{1.4}$ เนื่องจากค่า RMSE ที่ได้จากการประเมินฝนโดยใช้สมการ $R(Z)$ สำหรับเหตุการณ์สอบเทียบและเหตุการณ์ทวนสอบที่ทุกระดับความสูงมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าทั้งสองกรณี

อย่างไรก็ตามสมการ $R(Z)$ ที่ได้จากการศึกษานี้จะต้องมีการตรวจสอบความเชื่อมั่น เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในการใช้สมการดังกล่าวในการประเมินฝนในพื้นที่ศึกษาต่อไป

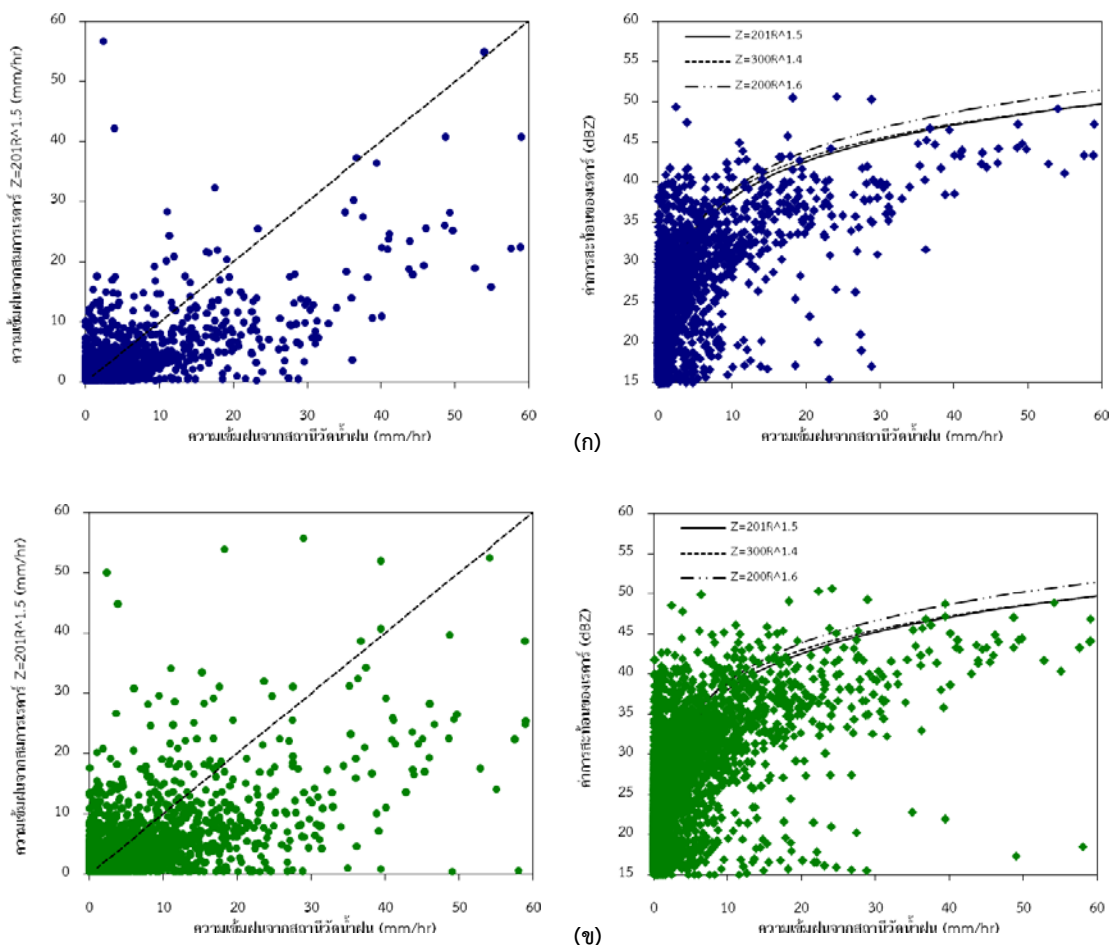
5.5 ผลการตรวจสอบความเชื่อมั่นสมการการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับสถานีเรดาร์ฝนหลวงลำปาง

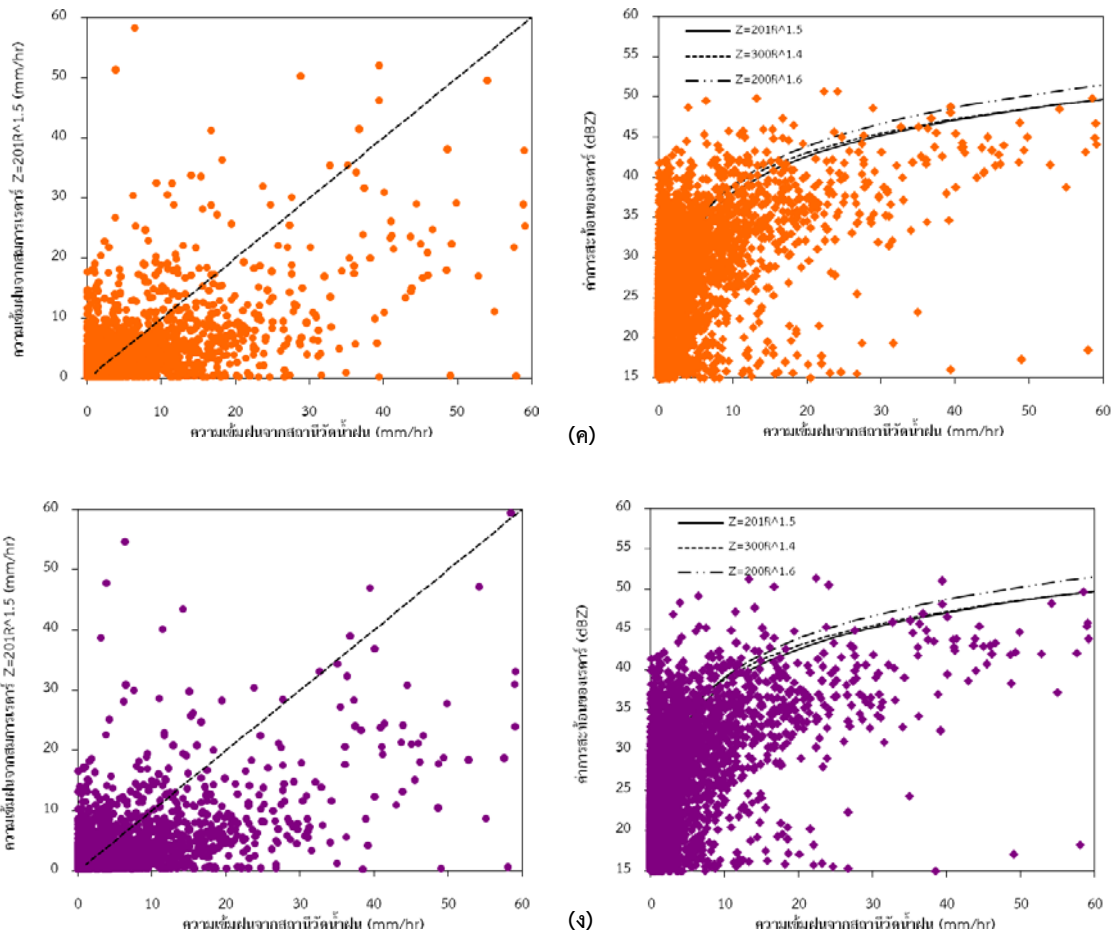
การตรวจสอบความเชื่อมั่นของการประยุกต์ใช้สมการการประเมินฝนที่ได้จากการศึกษา ทำได้โดยการพิจารณาผลการวิเคราะห์ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ $R(Z)$ และเหตุการณ์ฝนที่ใช้ทดสอบ (Verification) ความเชื่อมั่นในการประยุกต์ใช้สมการ $R(Z)$ ในการประเมินฝน ซึ่งรายละเอียดของการตรวจสอบความเชื่อมั่นในการใช้สมการที่เสนอแนะมีดังต่อไปนี้

1) เปรียบเทียบความเข้มฝนจากเรดาร์ที่ได้จากการใช้สมการ $R(Z)$ ในการประเมินฝนกับความเข้มฝนจากสถานีวัดน้ำฝน จากสถานีวัดน้ำฝนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 ดังแสดงในรูปที่ 5.5-1 และเหตุการณ์ฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ใช้ในการทวนสอบปี ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 ดังแสดงในรูปที่ 5.5-2

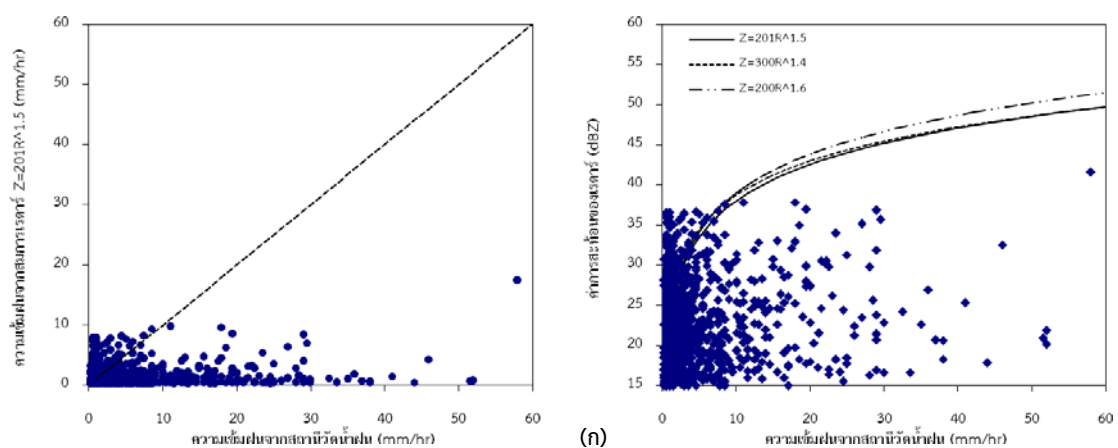
2) เปรียบเทียบค่าความลำเอียงของฝนจากเรดาร์ที่ได้จากการใช้สมการ $R(Z)$, $Z = 200R^{1.6}$ และ $Z = 300R^{1.4}$ กับฝนจากสถานีวัดน้ำฝน (อัตราส่วน G/R) ดังแสดงในตารางที่ 5.5-1

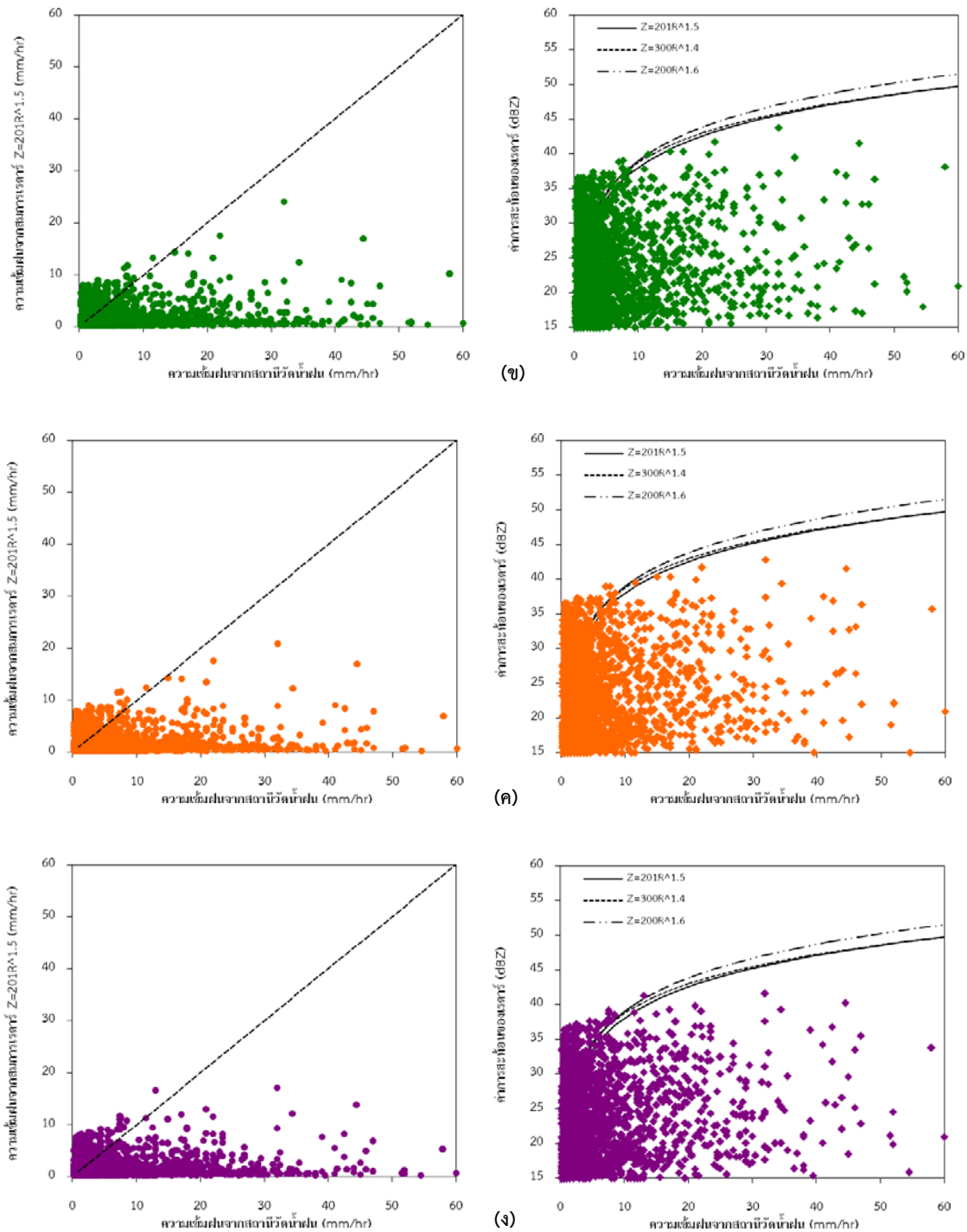
3) เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่เพิ่มขึ้นของการใช้สมการการประเมินฝน $R(Z)$ เทียบกับสมการ $Z = 200R^{1.6}$ และ $Z = 300R^{1.4}$ ดังแสดงในตารางที่ 5.5-2





รูปที่ 5.5-1 แสดงความสัมพันธ์ของเหตุการณ์สอบเทียบที่ระดับความสูง (ก) 1.0, (ข) 1.75, (ค) 2.5 และ (ง) 3.25 กิโลเมตร (ซ้าย) เปรียบเทียบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (dBZ) กับความเข้มฝนจากเรดาร์จากสมการต่างๆ $Z=201R^{1.5}$, $Z=200R^{1.6}$ และ $Z=300R^{1.4}$ (mm/hr) กับความเข้มฝนจากสถานีวัดฝน (mm/hr) (ขวา)





รูปที่ 5.5-2 แสดงความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ทวนสอบที่ระดับความสูง (ก) 1.0, (ข) 1.75, (ค) 2.5 และ (ง) 3.25 กิโลเมตร (ซ้าย) เปรียบเทียบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (dBZ) กับความเข้มฝนจากเรดาร์จากสมการต่างๆ $Z=201R^{1.5}$, $Z=200R^{1.6}$ และ $Z=300R^{1.4}$ (mm/hr) กับความเข้มฝนจากสถานีวัดน้ำฝน (mm/hr) (ขวา)

จากรูปที่ 5.5-1 ถึง 5.5-2 สามารถยืนยันได้ว่าการประเมินฝนด้วยสมการ $R(Z)$ ซึ่งใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ Z มีความสอดคล้องกับข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนมากกว่าการประเมินฝนด้วยสมการ $Z=200R^{1.6}$ และ $Z=300R^{1.4}$ เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในการประเมินฝนโดยใช้สมการ $R(Z)$ การศึกษาครั้งนี้ยังได้เปรียบเทียบอัตราส่วน G/R ของการประเมินฝนโดยใช้สมการดังกล่าวเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการ $R(Z)$, $Z=200R^{1.6}$ และ $Z=300R^{1.4}$ กล่าวคือ ถ้า

อัตราส่วน G/R มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าปริมาณฝนเรดาร์ที่ประเมินได้มีค่ามากกว่าปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝน (Over - estimation) ในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราส่วน G/R มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าปริมาณฝนเรดาร์ที่ประเมินได้มีค่าน้อยกว่าปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝน (Under - estimation) ถ้าปริมาณฝนเรดาร์ที่ประเมินได้เท่ากับปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนอัตราส่วน G/R จะมีค่าเท่ากับ 1 ในการศึกษาครั้งนี้ทำการวิเคราะห์อัตราส่วน G/R ของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบและทวนสอบ ซึ่งผลลัพธ์แสดงไว้ในตารางที่ 5.5-1

ตารางที่ 5.5-1 การเปรียบเทียบอัตราส่วน G/R ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ในการประเมินฝนของสถานีเรดาร์ฝนหลวง สัตหีบ

เหตุการณ์	ระดับความสูง (กิโลเมตร)	จำนวนคู่ Z-R (N_{ZR})	G/R		
			$Z=201.R^{1.5}$	$Z=200.R^{1.6}$	$Z=300.R^{1.4}$
สอบเทียบ ข้อมูลน้ำฝน DRRAA ปี พ.ศ.2557 105 เหตุการณ์	1.00	6,043	1.241	1.472	1.359
	1.75	6,093	1.190	1.407	1.306
	2.50	6,120	1.189	1.404	1.307
	3.25	3,517	1.217	1.440	1.334
	All	21,773	1.208	1.429	1.325
ทวนสอบ ข้อมูลน้ำฝน MET ปี พ.ศ.2557 106 เหตุการณ์	1.00	1,295	3.232	4.104	3.346
	1.75	4,076	2.972	3.749	3.094
	2.50	4,073	2.905	3.658	3.028
	3.25	3,993	2.909	3.662	3.033
	All	13,437	2.955	3.726	3.078

จากตารางที่ 5.5-1 สามารถยืนยันได้ว่าค่า G/R ที่ได้จากการใช้สมการ $R(Z)$ มีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่า G/R ที่ได้จากการใช้สมการ $Z=200R^{1.6}$ และ $Z=300R^{1.4}$ ทั้งในกรณีของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบและทวนสอบ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่เพิ่มขึ้นในการประเมินฝนจากเรดาร์ด้วยสมการ $R(Z)$ มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่เพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเทียบกับการประเมินฝนจากเรดาร์ด้วยสมการ $Z=200R^{1.6}$ และ $Z=300R^{1.4}$ ดังแสดงในตารางที่ 5.5-2

ตารางที่ 5.5-2 ผลเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของสมการความสัมพันธ์ในการประเมินฝนของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติบเมื่อเทียบกับสมการ $Z = 200R^{1.6}$ และ $Z = 300R^{1.4}$

สมการประเมินฝน	เหตุการณ์	ระดับความสูง (กิโลเมตร)	เปอร์เซ็นต์ (%) ความ ถูกต้องที่เพิ่มขึ้นเมื่อ เทียบกับสมการ Z $=200.R^{1.6}$		เปอร์เซ็นต์ (%) ความถูกต้องที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับสมการ Z $=300.R^{1.4}$	
			RMSE	G/R	RMSE	G/R
$Z=201.R^{1.5}$	สอบเทียบ ข้อมูลน้ำฝน DRRAA ปี พ.ศ.2557 105 เหตุการณ์	1.00	2.7	15.7	1.7	8.7
		1.75	2.7	15.4	1.7	8.9
		2.50	2.7	15.3	1.7	9.0
		3.25	2.7	15.5	1.7	8.8
		All	2.7	15.5	1.7	8.9
	ทวนสอบ ข้อมูลน้ำฝน MET ปี พ.ศ.2557 106 เหตุการณ์	1.00	1.4	21.2	0.3	3.4
		1.75	1.5	20.7	0.3	3.9
		2.50	1.5	20.6	0.3	4.1
		3.25	1.5	20.6	0.3	4.1
		All	1.5	20.8	0.3	3.9

ผลการศึกษาสรุปได้ว่าการประเมินฝนโดยใช้สมการ $R(Z)$ ให้ผลการประเมินฝนเรดาร์ที่มีความถูกต้องมากกว่าการใช้สมการอื่นๆ ดังนั้นสมการ $R(Z)$ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินปริมาณฝนจากการปฏิบัติการฝนหลวง และสามารถนำไปแสดงผลความเข้มฝนที่ประเมินได้จากเรดาร์ สำหรับสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติต่อไป

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาโครงการประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ภาคตะวันออก สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

6.1.1 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิจัยข้อมูลความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z)

1) ทำการศึกษาโปรแกรม TITAN (Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting) ในการอ่านข้อมูล Volume files (Gematronik volume file format) และการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ Meteorological Data Volume (MDV)

2) ทำการศึกษาการแปลงข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศให้อยู่บนระบบพิกัดแบบคาทีเซียน (x,y,z) โดยมีค่าแกน x และค่าแกน y เป็นค่าในแนวระดับตามทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก และทิศเหนือ-ทิศใต้ ตามลำดับ และค่าแกน z ตามแนวระดับความสูง

3) โครงการวิจัยฯ ได้พัฒนาโปรแกรมในการอ่านค่าความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ดังนี้

- พัฒนาโปรแกรมเพื่อประมวลผลบน Java Applications เพื่อใช้ในการสร้าง Template ในการอ่านข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) จากข้อมูลการตรวจวัดเชิงปริมาตร แบบ MDV files เทียบกับจุดติดตั้งสถานีวัดน้ำฝน

- พัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการอ่านค่า และแปลงข้อมูลน้ำฝนสะสม เป็นรายคาบทุก 1 ชั่วโมง (mm/hr)

- การจัดการฐานข้อมูลสำหรับการจับคู่ Z - R และการคัดแยกข้อมูลสำหรับการสอบเทียบ และทวนสอบ เพื่อใช้สำหรับการจับคู่ (Mapping) ระหว่างข้อมูลความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) เพื่อใช้ในการนำข้อมูลมาประมวลผลต่อไป

6.1.2 การกำหนดจุด ติดตั้ง และสอบเทียบเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ

โครงการวิจัยฯ ได้ดำเนินการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนใหม่ โดยจัดเจ้าหน้าที่และทีมนายช่างไฟฟ้าลงพื้นที่เพื่อสำรวจ และกำหนดจุดติดตั้งตามแบบที่กำหนด ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.3.1 โดยเลือกติดตั้งตามสถานที่ราชการต่างๆ ที่ทางสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัทธิ์ได้ติดต่อประสานงานไว้ ภายใต้รัศมีทำการของเรดาร์ฝนหลวงสัทธิ์ 240 กิโลเมตร รวมทั้งสิ้น จำนวน 50 สถานี แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ บริเวณสถานีหนาแน่น (Dense Area) จำนวน 2 กลุ่ม กลุ่มละ 24 สถานี และ บริเวณกลุ่มย่อย จำนวน 2 สถานี วางตัวตามแนวทิศเหนือ-ใต้ โดยแนวสถานีน้ำฝนทั้งหมดติดตั้งอยู่ทางทิศเหนือของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัทธิ์ ตามแนวปะทะลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ เจ้าหน้าที่และทีมนายช่างไฟฟ้าผู้รับผิดชอบจะทำการสอบเทียบเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติทุกเครื่องก่อนทำการตรวจวัด และ ทำการตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงการเก็บข้อมูล

6.1.3 การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความเข้มฝนและค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์

โครงการวิจัยฯ ได้ทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่เหมาะสมในการประเมินฝนสำหรับสถานีเรดาร์สัทธิบ ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ที่เลือก จะเป็นข้อมูล Z เฉลี่ยในกริดข้อมูลเดียวกันกับสถานีวัดน้ำฝน ณ ช่วงเวลาเดียวกัน ที่ระดับความสูงที่เหมาะสมและต้องเป็นระดับความสูงในการตรวจวัดฝนที่เรดาร์สามารถตรวจวัดได้ใกล้เคียงกับฝนที่ตรวจวัดโดยสถานีวัดน้ำฝนมากที่สุด ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.2 รวมทั้งสามารถหลีกเลี่ยงสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนจากพื้นดิน (Ground clutters) ในระดับต่ำได้เนื่องจากพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบลุ่มสลับแนวเขา โดยใช้ข้อมูลเหตุการณ์ฝน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม

1) กลุ่มแรก คือ ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) ใช้สำหรับการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและค่าพารามิเตอร์ Z เพื่อใช้ในการประเมินฝน ซึ่งประกอบไปด้วยเหตุการณ์ฝนทั้งหมดของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (Z) ที่สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ในวันที่มีฝนตก ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 จำนวน 105 เหตุการณ์

2) กลุ่มที่สอง คือ ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการทวนสอบ (Verification) เพื่อนำมาทวนสอบความเชื่อมั่นในการประยุกต์ใช้สมการการประเมินฝนจากข้อมูลในกลุ่มแรก ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่เลือก ได้แก่ เหตุการณ์ฝนทั้งหมดของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (Z) ที่สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา ในวันที่มีฝนตก ระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 จำนวน 106 เหตุการณ์

โดยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ในวันที่มีฝนตก สำหรับสถานีเรดาร์สัทธิบ ได้แก่ สมการ $R(Z)$ คือ $Z=201.R^{1.5}$ โดยในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ได้มีการกำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาดังนี้

- ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) มีค่าอยู่ในช่วง $15 \text{ dBZ} \leq Z \leq 53 \text{ dBZ}$ โดยถ้า $Z > 53 \text{ dBZ}$ จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 53 dBZ

- ความเข้มฝน (R) ที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนต้องมีความมากกว่าหรือเท่ากับ Gauge resolution คือ $R \geq 0.1 \text{ mm/hr}$

6.1.4 การศึกษาความคลาดเคลื่อนของการประเมินฝนที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการประเมินความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนที่ประเมินได้จากสมการ $R(Z)$ เทียบกับข้อมูลฝนที่ตรวจวัดได้ในช่วงเวลาเดียวกัน จำนวน 211 เหตุการณ์ ในวันที่มีฝนตกระหว่างเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 โดยแบ่งออกเป็นของสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติกรมฝนหลวงและการบินเกษตร จำนวน 105 เหตุการณ์ (จำนวนคู่ Z-R เท่ากับ 21,773 คู่) และกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 106 เหตุการณ์ (จำนวนคู่ Z-R เท่ากับ 13,437 คู่) โดยพิจารณาจากค่า Root Mean Square Error (RMSE) และค่าความลำเอียงของการประเมินฝนจากเรดาร์ (อัตราส่วน G/R) ผลการศึกษาสรุปได้ในตารางที่ 6.1-1 ดังนี้ การประเมินฝนโดยใช้สมการ $R(Z)$ หรือ $Z=201.R^{1.5}$ ให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินฝนน้อยกว่าการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=200R^{1.6}$ และ $Z=300R^{1.4}$ ที่กรมฝนหลวงและการบินเกษตรใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยมีค่า RMSE น้อยที่สุด และค่า G/R ใกล้เคียง 1 มากที่สุดทั้งเหตุการณ์สอบเทียบและเหตุการณ์ทวนสอบ

ตารางที่ 6.1-1 เปรียบเทียบค่า RMSE เฉลี่ยและค่าความลำเอียงของการประเมินฝนจากเรดาร์ (อัตราส่วน G/R) เฉลี่ยที่ 4 ระดับความสูง ของสมการที่ได้จากการศึกษา กับสมการการประเมินฝนที่กรมฝนหลวงและการบินเกษตรใช้อยู่ในปัจจุบัน

สมการ	เหตุการณ์			
	สอบเทียบ		ทวนสอบ	
	ข้อมูลน้ำฝนกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ช่วงเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 (105 เหตุการณ์)		ข้อมูลน้ำฝนกรมอุตุนิยมวิทยา ช่วงเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 (106 เหตุการณ์)	
	RMSE เฉลี่ย	G/R เฉลี่ย	RMSE เฉลี่ย	G/R เฉลี่ย
$Z=144.R^{1.5}$	4.648	1.208	7.009	2.955
$Z = 200.R^{1.6}$	4.744	1.429	7.113	3.726
$Z = 300.R^{1.4}$	4.657	1.325	7.030	3.078

6.1.5 การเสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่เหมาะสมในการประเมินฝนจากสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ

การคัดเลือกสมการการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ ได้พิจารณาจากค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของการประเมินฝนเรดาร์จากสมการ $R(Z)$ สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบและทวนสอบที่น้อยที่สุด ซึ่งมีรายละเอียดของผลการศึกษาดังนี้

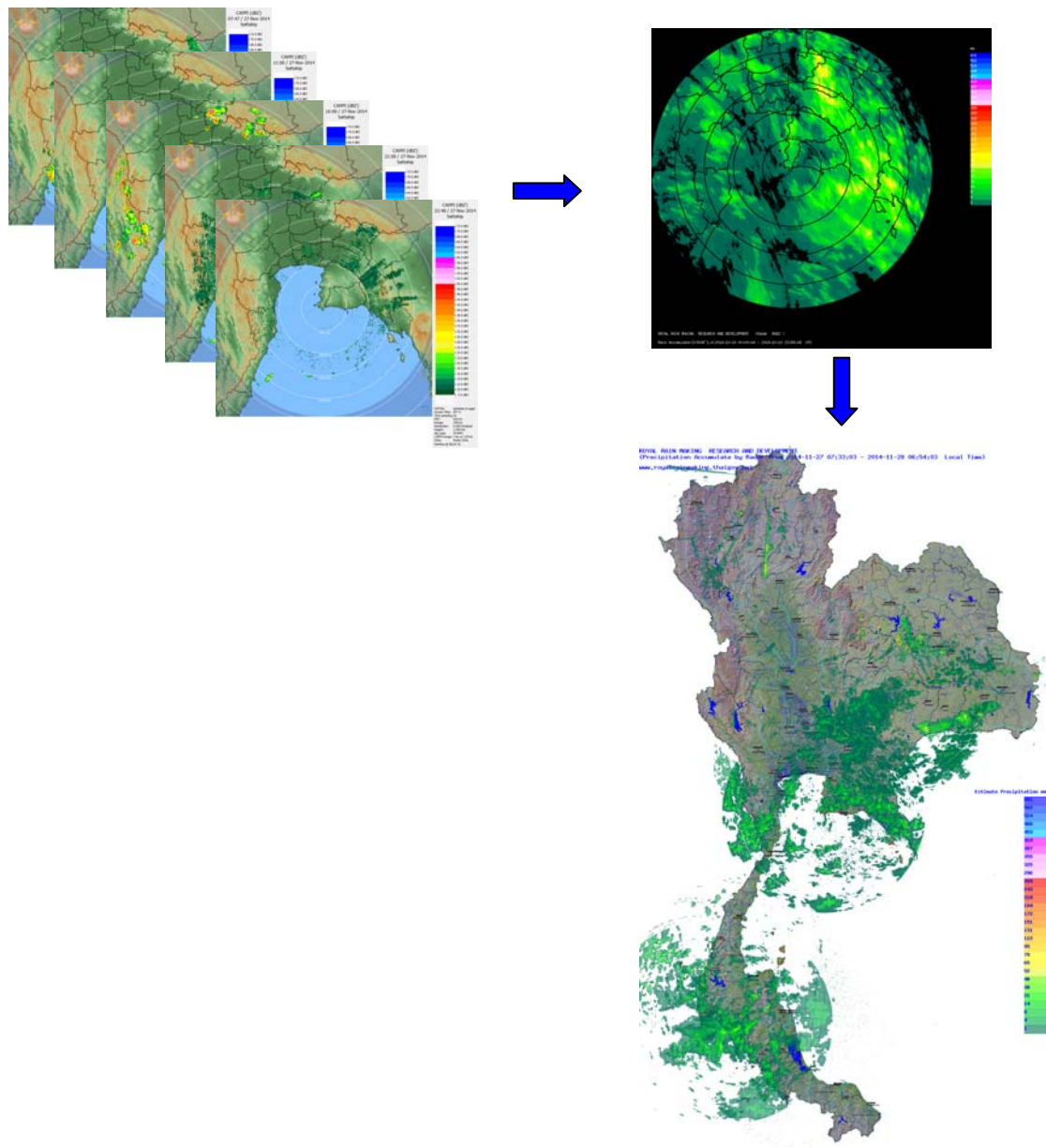
1) การประเมินฝนโดยใช้สมการ $R(Z)$ ให้ผลการประเมินฝนที่มีความถูกต้องมากกว่าการประเมินฝนด้วยสมการ $Z = 200R^{1.6}$ และ $Z = 300R^{1.4}$ ที่กรมฝนหลวงและการบินเกษตรใช้อยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากค่า RMSE ที่ได้จากการประเมินฝนโดยใช้สมการ $R(Z)$ สำหรับเหตุการณ์สอบเทียบและเหตุการณ์ทวนสอบมีค่าน้อยกว่าการประเมินฝนด้วย $Z = 200R^{1.6}$ และ $Z = 300R^{1.4}$

2) เพอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่เพิ่มขึ้นในการประเมินฝนจากเรดาร์โดยใช้สมการ $R(Z)$ มีเปอร์เซ็นต์ ความถูกต้องที่เพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเทียบกับการประเมินฝนจากเรดาร์ด้วยสมการ $Z = 200R^{1.6}$ และ $Z = 300R^{1.4}$ ดังแสดงในตารางที่ 5.3-1

6.1.6 การประยุกต์แบบจำลองเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำฝนของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ บนระบบสารสนเทศกรมฝนหลวงและการบินเกษตร

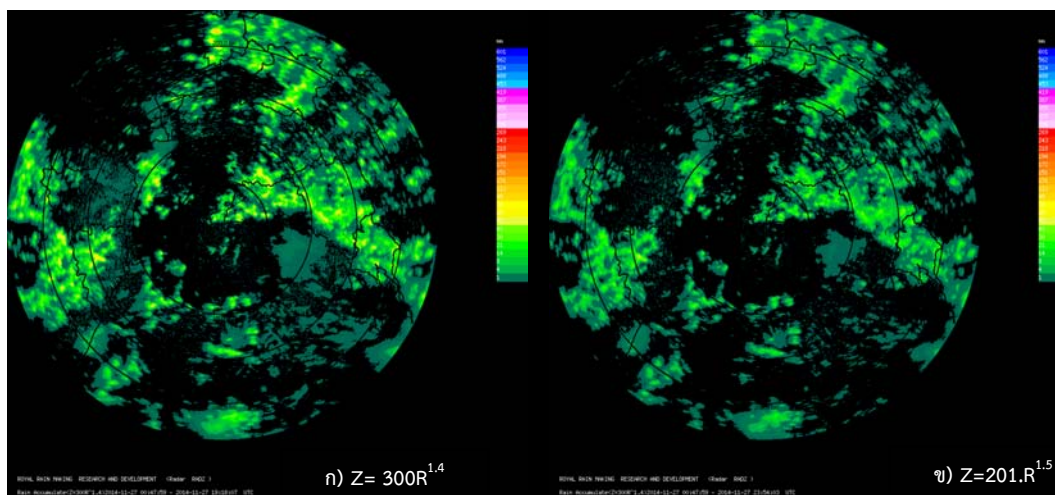
การประยุกต์ใช้ สมการ $R(Z)$ หรือ $Z=201.R^{1.5}$ ที่ได้จากผลการศึกษาโครงการวิจัยฯ ในการประเมินปริมาณฝนบนทุก โพลาไรกริดที่อยู่ภายใต้รัศมีการตรวจวัดของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ 240 กิโลเมตร (บนภาพเรดาร์ขนาดประมาณ $\sim 520 \times 520$ Pixels) เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ภาคตะวันออก ของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ ในวันที่มีฝนตก บนระบบสารสนเทศของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร แสดงดังรูปที่ 6.1-1 โดยมีการกำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาดังนี้

- ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) มีค่าอยู่ในช่วง $15 \text{ dBZ} \leq Z \leq 53 \text{ dBZ}$ โดยถ้า $Z > 53 \text{ dBZ}$ จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 53 dBZ



รูปที่ 6.1-1 แสดงการประเมินปริมาณน้ำฝนของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัทธิหิบบนระบบสารสนเทศกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ศูนย์ฝนหลวงหัวหิน (กลุ่มวิจัยและพัฒนาฝนหลวง) ข้อมูล ณ วันที่ 27 พฤศจิกายน 2557

การเปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณน้ำฝนโดยใช้สมการ $R(Z)$ ที่ได้จากโครงการวิจัยฯ กับผลการประเมินฝนด้วยสมการ $Z = 300R^{1.4}$ ที่กรมฝนหลวงและการบินเกษตรใช้อยู่ในปัจจุบัน แสดงดังรูปที่ 6.1-2



รูปที่ 6.1-2 แสดงผลการเปรียบเทียบประเมินปริมาณน้ำฝน (สเกลสีทางด้านขวา ความสูงหน่วยเป็น มิลลิเมตร) ข้อมูล ณ วันที่ 27 พฤศจิกายน 2557 ก) การประเมินปริมาณฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ $Z = 300R^{1.4}$ ข) การประเมินปริมาณฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ $Z = 201.R^{1.5}$ จะเห็นได้ว่าพื้นที่ฝนตกและปริมาณน้ำฝนที่ประเมินได้แตกต่างกัน โดยที่ปริมาณฝนเรดาร์ที่ประเมินได้จากสมการ $Z = 300R^{1.4}$ ที่กรมฝนหลวงและการบินเกษตรใช้อยู่ในปัจจุบัน มีค่า **Under-estimation** มากกว่าสมการ $Z = 201.R^{1.5}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์ของโครงการวิจัยฯ

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ระบบเรดาร์ตรวจอากาศที่ใช้งานควรมีการบำรุงรักษาระบบอย่างเป็นระบบ เปิดใช้งานอย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง และมีความเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงาน ทั้งนี้เพื่อสร้างความต่อเนื่องในการพัฒนาระบบการประเมินน้ำฝน และการใช้ประโยชน์จากการพยากรณ์ฝน ทั้งการพยากรณ์แบบระยะสั้น และการพยากรณ์แบบระยะสั้นมาก (Nowcasting) ซึ่งจะเกิดประโยชน์ต่อการวางแผน ปฏิบัติงาน และการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง เช่น พื้นที่ได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง รวมทั้งการเตือนภัยน้ำท่วมแบบฉับพลัน (Flash flooding) และการเตือนภัยสำหรับอากาศยาน ฝนหลวงในพื้นที่ภาคตะวันออก

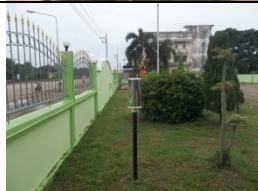
6.2.2 กรมฝนหลวงและการบินเกษตรควรติดตั้งระบบตรวจวัดปริมาณน้ำฝนด้วย Rain gauge แบบส่งข้อมูลอัตโนมัติ (Automatic telemetry system) เพื่อให้ข้อมูลมีความเป็นปัจจุบัน และมีความต่อเนื่องเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาระบบการประเมินปริมาณน้ำฝน (Quantitative precipitation estimation; QPE) แบบ Real-time มากขึ้น รวมทั้งการนำปริมาณฝนที่ประเมินโดยเรดาร์มาใช้กับแบบจำลองทางอุทกวิทยา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินปริมาณน้ำท่าโดยใช้ฝนจากเรดาร์ต่อไป

6.2.3 กรมฝนหลวงและการบินเกษตรควรมีแนวทางในการพัฒนาระบบการประเมินปริมาณน้ำฝน (Quantitative precipitation estimation; QPE) แบบ Real-time เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการประเมินปริมาณน้ำฝน การกระจายตัวเชิงพื้นที่ รวมทั้งใช้สำหรับการพยากรณ์อากาศเพื่อช่วยในการปฏิบัติการฝนหลวงได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

6.2.4 ข้อมูลภาพเรดาร์ที่เก็บอยู่บนระบบฐานข้อมูลของกรมสามารถนำมาใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของสภาพอากาศในแต่ละพื้นที่ๆทำการตรวจวัด และใช้การศึกษาคุณลักษณะของกลุ่มฝนที่เกิดขึ้นในแต่ละท้องถิ่น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการช่วยในการวางแผนและการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงได้ ตัวอย่างของการศึกษาการกระจายตัวของกลุ่มเมฆฝนโดยใช้ข้อมูลภาพเรดาร์แบบ CAAPI dBZ ที่ระดับความสูงที่ 2.5 กิโลเมตร สามารถดูได้ที่ภาคผนวก จ การศึกษาการกระจายตัวของกลุ่มเมฆฝนโดยใช้ข้อมูลภาพเรดาร์

ภาคผนวก ก

ตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติภาคตะวันออก กรมฝนหลวงและการบินเกษตร ปี พ.ศ. 2557 (กลุ่มที่ 1 บริเวณ Dense Area: D1-01 ถึง D1-25)

ตำแหน่งที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติภาคตะวันออก กรมฝนหลวงและการบินเกษตร ปี พ.ศ. 2557							
กลุ่มที่ 1 บริเวณ Dense Area: D1-01 ถึง D1-25							
รหัส	ชื่อตำแหน่ง	หมายเลขเครื่องวัดน้ำฝน	ความสูง (MSL เมตร)	Latitude	Longitude	สถานที่ตั้ง	ตำแหน่งที่ตั้ง
D1-1	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านกระทุ่มแพ้ว อ.บ้านสร้าง จ.ปราจีนบุรี	640843	7	13° 52' 25"N	101° 19' 59"E		
D1-2	สำนักงานเทศบาลตำบลโคกปีบ อ.ศรีมโหสถ จ.ปราจีนบุรี	636350	15	13° 52' 48"N	101° 24' 35"E		
D1-3	องค์การบริหารส่วนตำบลหนองโพรง อ.ศรีมหาโพธิ จ.ปราจีนบุรี	636341	21	13° 52' 07"N	101° 32' 02"E		
D1-4	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านคลองรัง อ.ศรีมหาโพธิ จ.ปราจีนบุรี	633947	22	13° 53' 50"N	101° 36' 30"E		

D1-5	ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์สัตว์ภาคตะวันออก อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี	636347	27	13° 55' 47"N	101° 41' 29"E		
D1-6	องค์การบริหารส่วนตำบลดงน้อย อ.ราชสาส์น จ.ฉะเชิงเทรา	636351	15	13° 48' 54"N	101° 18' 26"E		
D1-7	สำนักงานเทศบาลตำบลบ้านช่อง อ.ศรีมโหสถ จ.ปราจีนบุรี	640873	14	13° 48' 58"N	101° 25' 00"E		
D1-8	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลโคกไทยบ้านหนองเกตุ อ.ศรีมโหสถ จ.ปราจีนบุรี	640870	20	13° 49' 46"N	101° 27' 59"E		
D1-9	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านปรีอวายใหญ่ อ.ศรีมหาโพธิ จ.ปราจีนบุรี	640865	46	13° 47' 43"N	101° 32' 48"E		
D1-10	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านกรอก สมบูรณ์ อ.ศรีมหาโพธิ จ.ปราจีนบุรี	640840	64	13° 46' 32"N	101° 39' 55"E		

D1-11	องค์การบริหารส่วนตำบลเมืองเก่า อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา	642656	11	13° 44' 07"N	101° 20' 07"E		
D1-12	องค์การบริหารส่วนตำบลเกาะขนุน อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา	636356	15	13° 42' 49"N	101° 22' 52"E		
D1-13	ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา	640856	65	13° 44' 41"N	101° 30' 31"E		
D1-14	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านชำป่างาม อ.สนามชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา	642657	31	13° 40' 34"N	101° 35' 56"E		
D1-15	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านทุ่งพระยา อ.สนามชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา	636349	47	13° 43' 09"N	101° 40' 36"E		
D1-16	องค์การบริหารส่วนตำบลหัวสำโรง อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา	636344	30	13° 36' 38"N	101° 19' 36"E		

D1-17	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านห้วยพลู อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา	640860	23	13° 39' 07"N	101° 24' 43"E		
D1-18	องค์การบริหารส่วนตำบลคู้ยายหมี อ.สนามชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา	640877	25	13° 37' 44"N	101° 30' 30"E		
D1-19	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านนาโพธิ์ อ.สนามชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา	636342	30	13° 39' 27"N	101° 33' 49"E		
D1-20	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านนา อ.สนามชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา	636353	44	13° 38' 44"N	101° 38' 47"E		
D1-21	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านโกรกแก้ว อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา	636346	43	13° 30' 12"N	101° 19' 26"E		
D1-22	องค์การบริหารส่วนตำบลหนองไม้แก่น อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา	640876	47	13° 31' 37"N	101° 21' 32"E		

D1-23	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้าน กม.7 อ.สนามชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา	640869	65	13° 31' 48"N	101° 29' 47"E		
D1-24	ไม่มีพื้นที่ติดตั้งถึงวัดน้ำฝน						
D1-25	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลหนองปรือกัน ยาง อ.ท่าตะเกียบ จ.ฉะเชิงเทรา	640861	56	13° 32' 48"N	101° 38' 59"E		

ตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติภาคตะวันออก กรมฝนหลวงและการบินเกษตร ปี พ.ศ. 2557 (กลุ่มที่ 2 บริเวณ Dense Area: D2-01 ถึง D2-25)

ตำแหน่งที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติภาคตะวันออก กรมฝนหลวงและการบินเกษตร ปี พ.ศ. 2557							
กลุ่มที่ 2 บริเวณ Dense Area: D2-01 ถึง D2-25							
รหัส	ชื่อตำแหน่ง	หมายเลขเครื่องวัดน้ำฝน	ความสูง (เมตร)	latitude	longitude	สถานที่ตั้ง	ตำแหน่งที่ตั้ง
D2-1	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองตำลึง อ.พานทอง จ.ชลบุรี	640867	15	13° 24' 50"N	101° 03' 45"E		
D2-2	องค์การบริหารส่วนตำบลหนองขยาด อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี	640852	21	13° 23' 22"N	101° 09' 03"E		
D2-3	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านนาเร็ก อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี	636354	34	13° 24' 03"N	101° 14' 56"E		
D2-4	ที่ว่าการอำเภอเกาะจันทร์ จ.ชลบุรี	633953	41	13° 25' 03"N	101° 20' 05"E		

D2-5	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองชุมเห็ด อ.เกาะจันทร์ จ.ชลบุรี	640868	49	13° 22' 32"N	101° 24' 37"E		
D2-6	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านยี่กงชี อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี	636357	47	13° 20' 55"N	101° 05' 01"E		
D2-7	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองเขิน อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี	640857	39	13° 19' 24"N	101° 11' 05"E		
D2-8	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองเสม็ด อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี	636352	55	13° 19' 37"N	101° 16' 15"E		
D2-9	องค์การบริหารส่วนตำบลบ่อทอง อ.บ่อทอง จ.ชลบุรี	642660	48	13° 18' 52"N	101° 19' 16"E		
D2-10	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านช่อง อ.บ่อทอง จ.ชลบุรี	633950	46	13° 19' 14"N	101° 24' 30"E		

D2-11	ไม่มีพื้นที่ติดตั้งถึงวัดน้ำฝน						
D2-12	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการสัตวแพทย์ภาคตะวันออก อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี	636348	94	13° 13' 24"N	101° 09' 21"E		
D2-13	องค์การบริหารส่วนตำบลหนองไผ่แก้ว อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี	642652	64	13° 11' 52"N	101° 15' 20"E		
D2-14	องค์การบริหารส่วนตำบลห้างสูง อ.หนองใหญ่ จ.ชลบุรี	633949	84	13° 14' 20"N	101° 20' 36"E		
D2-15	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านโป่งเกตุ อ.บ่อทอง จ.ชลบุรี	633951	77	13° 14' 07"N	101° 24' 47"E		
D2-16	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหุบบอน อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	636345	125	13° 07' 00"N	101° 06' 27"E		

D2-17	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพเฉลิมพระเกียรติ 60พรรษา นวมินทราชินี อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	636355	121	13° 07' 11"N	101° 09' 37"E		
D2-18	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหมื่นจิตร อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี	640844	95	13° 07' 50"N	101° 14' 20"E		
D2-19	องค์การบริหารส่วนตำบลหนองเสือช้าง อ.หนองใหญ่ จ.ชลบุรี	640847	103	13° 08' 08"N	101° 20' 28"E		
D2-20	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านคลองพลู อ.หนองใหญ่ จ.ชลบุรี	642653	70	13° 06' 34"N	101° 25' 02"E		
D2-21	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านเขาหิน อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	642654	122	13° 03' 17"N	101° 05' 52"E		
D2-22	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนอง ค้ำควา อ.ปลวกแดง จ.ระยอง	640838	79	13° 03' 15"N	101° 12' 03"E		

D2-23	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองบอน อ.ปลวกแดง จ.ระยอง	636340	78	13° 00' 49"N	101° 15' 39"E		
D2-24	องค์การบริหารส่วนตำบลหนองไร่ อ.ปลวกแดง จ.ระยอง	636343	61	13° 00' 07"N	101° 21' 23"E		
D2-25	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านคลองเขตร อ.วังจันทร์ จ.ระยอง	640875	67	13° 02' 09"N	101° 26' 08"E		

ตำแหน่งและรายละเอียดที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติภาคตะวันออก กรมฝนหลวงและการบินเกษตร ปี พ.ศ. 2557 (กลุ่มที่ 3 จำนวน 2 สถานี E1 – E2)

ตำแหน่งที่ตั้งเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติภาคตะวันออก กรมฝนหลวงและการบินเกษตร ปี พ.ศ. 2557							
กลุ่มที่ 3 จำนวน 2 สถานี E1 – E2							
E1	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านสองสลึง อ.แกลง จ.ระยอง	633952	18	12° 42' 48"N	101° 33' 41"E		
E2	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านวังหว้า อ.แกลง จ.ระยอง	640866	17	12° 45' 01"N	101° 37' 11"E		

ภาคผนวก ข

การสอบเทียบ ติดตั้ง และการบำรุงรักษาเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ

เครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ

เครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติแบบถ้วยกระดก (Tipping Bucket Rain-gauge) ทำหน้าที่วัดปริมาณน้ำฝนในบริเวณจุดติดตั้ง โดยรับน้ำฝนที่ตกลงมาผ่านปากถังไหลลงกระบะตวง เมื่อปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร กระบะตวงจะกระดกหนึ่งครั้ง แล้วเทน้ำฝนทิ้ง กระบะตวงอีกอันก็จะมารับน้ำฝนแทน การทำงานจะเป็นเช่นนี้วนไปเรื่อยๆ เมื่อฝนยังตก การกระดกแต่ละครั้งก็จะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปให้วงจรนับ เพื่อนับจำนวนครั้งในการกระดก ดังนั้นปริมาณน้ำฝนจะเท่ากับจำนวนการกระดกคูณด้วย 0.1 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร การตรวจวัดฝนเครื่องวัดฝน ต้องติดตั้งในที่โล่งแจ้ง ระยะห่างของเครื่องวัดต้องอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวางแวดล้อมอย่างน้อย สองเท่าของความสูงของสิ่งนั้น ติดตั้งให้อยู่ในแนวระนาบไม่เอียงเอียง

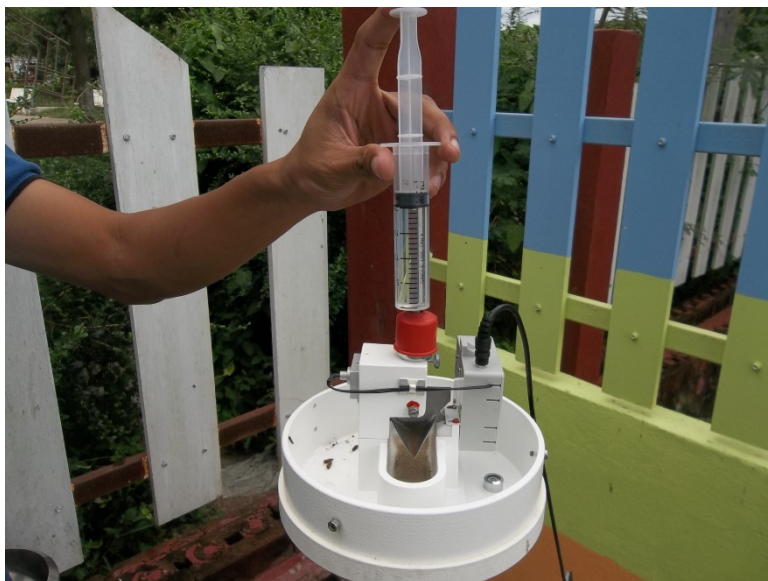
1. การทดสอบ และการสอบเทียบเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ ก่อนการติดตั้ง มีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ ดังต่อไปนี้

1. จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ เช่น Syringe
2. วางอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำฝนไว้ในที่โล่ง และสูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร
3. ตั้งกระบอกให้ตั้งฉากและมั่นคง ไมโยกหรือสั่น แล้วจึงกำหนดเวลาทำการเก็บข้อมูล
4. การปรับแต่งสอบเทียบ

ใช้ Syringe ดูดน้ำตามปริมาณที่ต้องการทดสอบ หยดลงในถ้วยตวง เมื่อปริมาณน้ำเท่ากับค่าที่กำหนด ถ้วยด้านหนึ่งจะกระดก และเมื่อนำน้ำมาหยดเพิ่มเติม ถ้วยอีกด้านต้องกระดกสลับกัน ทำการปรับค่าถ้วยทั้งสองด้านให้รับน้ำในปริมาณที่กำหนดไว้ได้อย่างเท่ากัน ต่อการกระดกหนึ่งครั้ง เมื่อทำการปรับแต่งสอบเทียบจนถ้วยทั้งสองสามารถรับน้ำในปริมาณ คือ 0.1 มิลลิเมตร แล้วจึงสามารถนำเครื่องวัดน้ำฝนไปติดตั้งในจุดที่ติดตั้งต่อไป



รูปที่ ข.1 แสดงถ้วยตวง และถ้วยกระดกของเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ



รูปที่ ข.2 การปรับแต่งสอบเทียบโดยใช้ Syringe หยดน้ำลงในถ้วยตวง

2. การประสานงาน และการติดตั้งเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ

ก่อนที่จะนำเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ พร้อมด้วยอุปกรณ์ ไปติดตั้ง มีความจำเป็นต้อง ประสานหน่วยงาน เพื่อขอติดตั้งเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ โดยเจ้าหน้าที่ทำหนังสือขอตีตั้งจากผู้บังคับบัญชาไปยังหน่วยงานที่จะทำการติดตั้ง นำหนังสือขอใช้พื้นที่พร้อม ประสานงานกับหน่วยงานเพื่อชี้แจงรายละเอียดและทำความเข้าใจ และเมื่อมีการกำหนดจุด แล้ว ในขั้นตอนต่อไปต้องมีการปรับพื้นที่เพื่อติดตั้ง



รูปที่ ข.3 การประสานหน่วยงานเพื่อขอตีตั้งเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ โดยเจ้าหน้าที่ทำหนังสือขอตีตั้งจากผู้บังคับบัญชา ไปยังหน่วยงานที่จะทำการติดตั้ง นำหนังสือขอใช้พื้นที่พร้อมประสานงานกับหน่วยงานเพื่อชี้แจงรายละเอียดและทำความเข้าใจ

เมื่อได้ตำแหน่งจุดที่ตั้งแล้ว เตรียมพื้นที่ ปรับพื้นที่ ขุดหลุม ผังเสา เทปูนซีเมนต์ ยึดฐานเสา ปรับให้ได้ระดับ โดยใช้ระดับน้ำจับหลังจากได้ระดับแล้ว ทำการติดตั้งเครื่องวัดน้ำฝน เช็ตเครื่องวัดน้ำฝน ประกอบบร๊วเหล็กป้องกัน

2.1 การจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้ง เช่น ประแจ ประแจหกเหลี่ยม Syringe ค้อน ปอนด์ วัดระดับน้ำ จอบ มีด เกียงฯ



รูปที่ ข.4 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้ง และการทดสอบ

- 2) วัสดุและอุปกรณ์ เช่น ปูนซีเมนต์ หิน ทราย เสาเหล็ก





รูปที่ ข-5 แสดงวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้ง

2.2 ขั้นตอนการติดตั้ง ทดสอบ



รูปที่ ข.6 แสดงขั้นตอนการติดตั้งสถานีวัดฝนตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้นและการทดสอบระบบ ระหว่างการติดตั้ง

3. การบำรุงรักษาเครื่องมือและอุปกรณ์

เนื่องด้วยอุปกรณ์จำเป็นต้องตั้งอยู่ในที่โล่งแจ้ง อีกทั้งต้องรองรับน้ำฝนที่ตกลงมาประกอบกับทั้งลมและแสงแดด อาจทำให้อุปกรณ์มีความเสื่อมโทรม ดังนั้นจึงต้องมีการดูแลและบำรุงรักษาทำความสะอาด เพื่อให้อยู่ในสภาพที่พร้อมที่จะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ ข.7 แสดงการทดสอบและการบำรุงรักษาเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร

ทีมงานชุดติดตั้ง สอบเทียบ และติดตั้งเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ ปฏิบัติหน้าที่ ติดตั้ง สอบเทียบ และบันทึกข้อมูลเครื่องวัดน้ำฝนในพื้นที่ภาคตะวันออก ประกอบด้วย

- | | | | |
|-------------------|---------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. นายสุรพันธุ์ | สุวรรณไพบุลย์ | นายช่างไฟฟ้าชำนาญงาน | หัวหน้าชุดปฏิบัติการและพัสดุ |
| 2. นางสาวธัญนันท์ | นุมน้อย | เจ้าพนักงานสื่อสารชำนาญงาน | |
| 3. นายอนันต์ | บุญรอด | นายช่างไฟฟ้าชำนาญงาน | |
| 4. นายปริญญญา | ลั่นจี | เจ้าพนักงานสื่อสารปฏิบัติงาน | |

ภาคผนวก ค

รูปแบบของไฟล์จากเรดาร์ตรวจอากาศแบบ Gematronik และข้อมูล MDV

1. รูปแบบของไฟล์จากเรดาร์ตรวจอากาศแบบ Gematronik

Gematronik Weather Radar Systems เป็นระบบเรดาร์ตรวจอากาศที่ถูกค้นคว้าและสร้างขึ้นโดยบริษัท SELEX-Gematronik ที่ก่อตั้งขึ้นในชื่อ Gematronik ในปี ค.ศ.1961 โดยวัตถุประสงค์แรกเริ่มนั้น เพื่อทำการติดตั้ง, ซ่อมบำรุง, ฝึกสอน และสนับสนุนการขนส่งอุปกรณ์ของเรดาร์สโตนัมสำหรับกองทัพ ซึ่งหลังจากนั้นทางบริษัทได้นำความรู้ที่ได้นี้มาพัฒนาและสร้างระบบเรดาร์ตรวจอากาศของตนเองขึ้นมาและถูกนำมาใช้จนกระทั่งปัจจุบัน ซอฟต์แวร์ที่ใช้กับระบบเรดาร์ตรวจอากาศ Gematronik เรียกว่าRainbow ซึ่งหลังจากได้รับข้อมูลจากเรดาร์แล้ว จะสร้างไฟล์ขึ้นมา 4 ประเภท คือ

1. Scan Data Fileไฟล์ข้อมูลการscanของเรดาร์ คือ Elevation scan, Azimuth scanและVolume scan
2. Product Data Fileไฟล์ข้อมูลชนิดของภาพเรดาร์ เช่น PPI, CAPPI, RHI etc. หรือข้อมูลชนิดอื่น ๆ เช่น ข้อมูลลมเฉือน (Wind shear) etc.
3. BITE File (Built-in test equipment) ไฟล์สำหรับตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์เรดาร์
4. Scheduler File ไฟล์สำหรับการสร้างตารางเวลาการทำงานของเรดาร์

โดยที่ Data File นั้นจะมี 2 ส่วนคือ ส่วนของHeader และ ส่วนของData ในขณะที่ BITE และ Scheduler File จะไม่มีส่วนของ Data ข้อมูลทุกอย่างจะถูกเก็บไว้ในส่วนของ Header

ตารางที่ ค.1 โครงสร้างของ Scan Data File

Section	Scan Data File Structure	Meaning	ความหมาย
Header	<SOH>	control character	ตัวอักษรควบคุม
	H-Label	general file header information	ข้อมูลทั่วไปของfile header
	<ETB>	control character	ตัวอักษรควบคุม
	N-Label	file type	ชนิดของไฟล์
	A-Label	antenna control	ควบคุมเสาอากาศ
	P-Label	signal processing parameters	ตัวแปรในการprocessสัญญาณ
	W-Label	elevation parameters	ตัวแปรของมุมการยกของเรดาร์
	X-Label	dependant product generation	แสดงสิ่งที่ต้องการในการประมวลผลขั้นต่อไป
	<ETB>	control character	ตัวอักษรควบคุม

ตารางที่ ค.1 โครงสร้างของ Scan Data File (ต่อ)

Section	Scan Data File Structure	Meaning	ความหมาย
	F-Label	scan character	ตัวแปรในการscanของเรดาร์
	R-Label	data resolution, number of bytes after ETX	จำนวนไบนารีของความละเอียดของข้อมูล หลังจากETX
	<ETX>	control character	ตัวอักษรควบคุม
Data	8 Bit scan data	data in binary format compressed or uncompressed (switchable)	ข้อมูลในรูปแบบของไบนารี บีบอัดหรือไม่บีบอัด(สามารถสลับได้)

ตารางที่ ค.2 โครงสร้างของ Product Data File

Section	Scan Data File Structure	Meaning	ความหมาย
Header	<SOH>	control character	ตัวอักษรควบคุม
	H-Label	general file header information	ข้อมูลทั่วไปของ file header
	<ETB>	control character	ตัวอักษรควบคุม
	N-Label	file type	ชนิดของไฟล์
	V-Label	vertical product parameters	ตัวแปรข้อมูลในแนวตั้ง
	A-Label	antenna control	การควบคุมเสาอากาศ
	P-Label	signal processing parameters track & warn parameters	ตัวแปรในการprocessสัญญาณตัวในการสืบค้นและเตือน
	I-Label	display parameters	ตัวแปรในการแสดงผล
	D-Label	display parameters	ตัวแปรในการแสดงผล
	<ETB>	control character	ตัวอักษรควบคุม
	G-Label	Geographical projection parameters	ตัวแปรข้อมูลทางภูมิศาสตร์
	F-Label	scan parameters	ตัวแปรในการscanของเรดาร์
	K-Label	Image size	ขนาดของภาพ
	R-Label	Data resolution, number of bytes after ETX	จำนวนไบนารีของความละเอียดของข้อมูล หลังจากETX
	<ETX>	control character	ตัวอักษรควบคุม
Data	4 Bit product data	data in binary format compressed or uncompressed (switchable)	ข้อมูลในรูปแบบของไบนารีบีบอัดหรือไม่บีบอัด(สามารถสลับได้)
	8 Bit product data	Optional (full resolution mode) data in binary format (uncompressed)	ตัวเลือก(โหมดความละเอียดสูง) ข้อมูลในรูปแบบไบนารี(ไม่บีบอัด)

โครงการศึกษาฯ นี้ ใช้ไฟล์ข้อมูลจาก Scan Data File ที่มีนามสกุลของไฟล์ เป็น .vol และใช้ไฟล์ที่ชื่อลงท้ายด้วย dBZ เพื่อนำไปแปลงไฟล์ด้วยโปรแกรม TITAN ให้เป็นรูปแบบไฟล์ MDV เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ในโครงการวิจัยฯ ต่อไป

รูปแบบของไฟล์ MDV (Meteorological Data Volume Format)

MDV (Meteorological Data Volume) คือรูปแบบไฟล์ที่นำมาใช้งานในโปรแกรม TITAN (Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting system) ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์และจัดการข้อมูลเรดาร์ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดโดยเรดาร์ตรวจอากาศ จะอยู่ในรูปแบบของ Volume file เมื่อนำมาใช้ในโปรแกรม TITAN จึงต้องแปลงไฟล์ให้เป็น MDV file ก่อน

MDV Format คือ รูปแบบไฟล์เพื่อใช้สำหรับข้อมูลแบบ Girded Data ได้พัฒนาขึ้นโดย The Research Applications Laboratory (RAL) ที่ The National Center for Atmospheric Research (NCAR) แต่เดิมใช้เฉพาะในหน่วยงานระหว่าง NCAR และ RAL เท่านั้น MDV เป็นรูปแบบไฟล์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับข้อมูลแบบ Girded Data ซึ่งสนับสนุนข้อมูลขนาดใหญ่ (Metadata) เป็นอย่างดี และมีความสามารถในการบีบอัดไฟล์ข้อมูล (Compressed) และการคลายข้อมูลไฟล์ที่ถูกบีบอัดไว้ (Decompressed) อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถแปลงไฟล์เป็น Format อื่น ๆ ได้

MDV ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจุดประสงค์ให้เป็นรูปแบบไฟล์ทั่วไปสำหรับการจัดเก็บข้อมูลแบบสองและสามมิติ มีความสามารถในการจัดการข้อมูลหลาย ๆ ฟิสิกส์ข้อมูลในไฟล์เดียว ตัวอย่างเช่น ไฟล์ MDV 1 ไฟล์ ของข้อมูลเรดาร์ มีข้อมูล Reflectivity และข้อมูล Radial velocity อยู่ภายในไฟล์ สามารถแยกฟิสิกส์ข้อมูลของ อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมได้

รูปแบบของการตั้งชื่อไฟล์ MDV จะตั้งชื่อตามช่วงเวลาเก็บข้อมูล โดยใช้รูปแบบเวลาเป็น UTC (Universal Time Coordinated) เช่น 20050701/090000.mdv เป็นต้น

2. การอ่านค่าข้อมูล Radar Volume (MDV file format)

ในโครงการวิจัยนี้ ใช้เครื่องมือ MDV analysis Tool (PrintMdv) ของโปรแกรม TITAN (Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting) ตัวอย่างของข้อมูลที่อ่านได้ มีลักษณะดังนี้

ข้อมูล Volume files วันที่ 20 มีนาคม 2557 เวลา 08:44:03 (UTC Time)

===== VOLUME =====	time_begin:	2014/03/20 08:30:05
	time_end:	2014/03/20 08:44:03
File path: /home/titan5/Desktop/084403.mdv	time_centroid:	2014/03/20 08:44:03
	time_expire:	2014/03/20 09:11:59
Master header	time_written:	2014/03/20 08:46:51
-----	epoch:	0
	forecast_time:	not set
record_len1: 1016	forecast_delta:	0
struct_id: 14142	num_data_times:	1
revision_number: 1	index_number:	3
	data_dimension:	3
time_gen: 2014/03/20 08:44:03	data_collection_type:	Measured
user_time: not set	user_data:	0



native_vlevel_type: Elevation angles - radar	user_time1: not set
vlevel_type: Constant Altitude (units KM MSL)	forecast_delta: 0
vlevel_included: true	user_time2: not set
grid_orientation: ORIENT_SN_WE	user_time3: not set
data_ordering: ORDER_XYZ	forecast_time: not set
n_fields: 1	user_time4: not set
max_nx: 670	nx: 670
max_ny: 670	ny: 670
max_nz: 26	nz: 26
n_chunks: 2	proj_type: Flat (Cartesian) (units in KM)
field_hdr_offset: 1024	encoding_type: ENCODING_INT16 (SHORT)
vlevel_hdr_offset: 3104	data_element_nbytes: 2
chunk_hdr_offset: 8224	field_data_offset: 9252
field_grids_differ: false	volume_size: 143309
user_data_si32[0]: 0	user_data_si32[0]: 0
user_data_si32[1]: 0	user_data_si32[1]: 0
user_data_si32[2]: 0	user_data_si32[2]: 0
user_data_si32[3]: 0	user_data_si32[3]: 0
user_data_si32[4]: 0	user_data_si32[4]: 0
user_data_si32[5]: 0	user_data_si32[5]: 0
user_data_si32[6]: 0	user_data_si32[6]: 0
user_data_si32[7]: 0	user_data_si32[7]: 0
	user_data_si32[8]: 0
user_data_fl32[0]: 0	user_data_si32[9]: 0
user_data_fl32[1]: 0	compression_type: COMPRESSION_ZLIB
user_data_fl32[2]: 0	transform_type: DATA_TRANSFORM_NONE - Depicts an area
user_data_fl32[3]: 0	or volume in space
user_data_fl32[4]: 0	scaling_type: SCALING_SPECIFIED
user_data_fl32[5]: 0	
sensor_lon: 100.966	native_vlevel_type: Elevation angles - radar
sensor_lat: 12.6472	vlevel_type: Constant Altitude (units KM MSL)
sensor_alt: 0.174	dz_constant: 1
	data_dimension: 3
data_set_info:	
This MDV radar volume file was created by Dsr2Vol.	zoom_clipped: 0
	zoom_no_overlap: 0
data_set_name: Sattahip	
data_set_source: Gematronik Rainbow	proj_origin_lon: 100.966
	proj_origin_lat: 12.6472
record_len2: 1016	proj_rotation: 0
	proj_param[0]: 0
Field header	proj_param[1]: 0
-----	proj_param[2]: 0
	proj_param[3]: 0
field_name_long: DBZ	proj_param[4]: 0
field_name: DBZ	proj_param[5]: 0
units: dBZ	proj_param[6]: 0
transform: dBZ	proj_param[7]: 0
	vert_reference: 0
record_len1: 408	
struct_id: 14143	grid_dx: 0.75
	grid_dy: 0.75
field_code: 0	grid_dz: 0.75



grid_minx: -250.875	-----
grid_miny: -250.875	Projection: PROJ_AZIM_EQUIDIST (Flat)
grid_minz: 1	origin_lon (deg): 100.966
scale: 0.5	origin_lat (deg): 12.6472
bias: -32	rotation (deg) : 0
bad_data_value: 0	
missing_data_value: 0	Grid:
proj_rotation: 0	----
user_data_fl32[0]: 0.174	nx, ny, nz: 670, 670, 26
user_data_fl32[1]: 0	minx, miny, minz: -250.875, -250.875, 1
user_data_fl32[2]: 0	maxx, maxy: 250.875, 250.875
user_data_fl32[3]: 0	dx, dy, dz: 0.75, 0.75, 0.75
min_value: -31	sensor_x, sensor_y, sensor_z: 0, 0, 0.174
max_value: 64	sensor_lat, sensor_lon: 12.6472, 100.966
min_value_orig_vol: -31	proj origin latitude: 12.6472
max_value_orig_vol: 64	proj origin longitude: 100.966
record_len2: 408	grid origin latitude: 12.6472
	grid origin longitude: 100.966
	minLat, minLon: 10.3818, 98.6319
	maxLat, maxLon: 14.9033, 103.3
Vlevel_header for field: DBZ	dz_constant: true
-----	x units: km
record_len1: 1016	y units: km
struct_id: 14144	z units: km
vlevel type Constant Altitude (units KM MSL)	
vlevel[0]: 1	
vlevel[1]: 1.75	npoints_plane: 448900
vlevel[2]: 2.5	INT16 data for plane 0:
vlevel[3]: 3.25	
vlevel[4]: 4	
vlevel[5]: 4.75	[DATA]
vlevel[6]: 5.5	
vlevel[7]: 6.25	npoints_plane: 448900
vlevel[8]: 7	INT16 data for plane 1:
vlevel[9]: 7.75	
vlevel[10]: 8.5	[DATA]
vlevel[11]: 9.25	
vlevel[12]: 10	npoints_plane: 448900
vlevel[13]: 10.75	INT16 data for plane 2:
vlevel[14]: 11.5	
vlevel[15]: 12.25	[DATA]
vlevel[16]: 13	
vlevel[17]: 13.75	npoints_plane: 448900
vlevel[18]: 14.5	INT16 data for plane 3:
vlevel[19]: 15.25	
vlevel[20]: 16	[DATA]
vlevel[21]: 16.75	
vlevel[22]: 17.5	npoints_plane: 448900
vlevel[23]: 18.25	INT16 data for plane 4:
vlevel[24]: 19	
vlevel[25]: 19.75	[DATA]
record_len2: 1016	
Projection: Flat (Cartesian) (units in KM)	

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 5:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 6:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 7:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 8:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 9:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 10:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 11:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 12:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 13:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 14:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 15:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 16:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 17:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 18:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 19:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 20:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 21:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 22:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 23:

[DATA]

npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 24:

[DATA]



npoints_plane: 448900
INT16 data for plane 25:

[DATA]

RADAR PARAMS

```
-----
radar id: 0
radar type: DS_RADAR_GROUND_TYPE
number of fields: 5
number of gates: 478
samples per beam: 25
scan type: 0
scan mode: DS_RADAR_SURVEILLANCE_MODE
follow mode: DS_RADAR_FOLLOW_MODE_NONE
polarization: DS_POLARIZATION_HORIZ_TYPE
prfMode: DS_RADAR_PRF_MODE_FIXED
radar constant: 67.44
altitude (km): 0.174
latitude (deg): 12.6472
longitude (deg): 100.966
gate spacing (km): 0.5
start range (km): 0.25
horizontal beam width (deg): 0.9
vertical beam width (deg): 0.9
pulse width (us): 0.83
pulse repetition frequency (/s): 625
pulse repetition time (s): 0
prt2 - staggered/dual PRT (s): 0
wavelength (cm): 10.452
transmit peak power (W): 927
receiver minimum detectable signal (dBm): -111.663
receiver gain (dB): 45
antenna gain (dB): 44
system gain (dB): 40
unambig velocity (m/s): 16.3312
unambig range (km): 240
measXmitPowerDbmH (dBm): 0
measXmitPowerDbmV (dBm): 0
radar name: Sattahip
scan type name: Surveillance
```

RADAR ELEVATIONS

```
-----
N elevations: 14
elev[ 0]: 0.5
elev[ 1]: 1.5
```

```
elev[ 2]: 2.4
elev[ 3]: 3.3
elev[ 4]: 4.3
elev[ 5]: 5.2
elev[ 6]: 6.2
elev[ 7]: 7.5
elev[ 8]: 8.7
elev[ 9]: 10
elev[10]: 12
elev[11]: 14
elev[12]: 16.7
elev[13]: 19.5
```

Chunk header

```
-----
record_len1: 504
struct_id: 14145
chunk_id: 3
CHUNK_DSRADAR_PARAMS
chunk_data_offset: 8243045
size: 240
info: DsRadar params
record_len2: 504
```

Chunk header

```
-----
record_len1: 504
struct_id: 14145
chunk_id: 4
CHUNK_DSRADAR_ELEVATIONS
chunk_data_offset: 8243293
size: 60
info: Radar Elevation angles
record_len2: 504
```


ภาคผนวก ง

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิจัยข้อมูลความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z)

การพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย ดังแสดงตามรูปที่ รูปที่ ง.1 ประกอบด้วย

1) โปรแกรมที่พัฒนามบน Java Applications บน NetBeansIDE เวอร์ชัน 8.0 และ Java 1.7.0_55 จำนวน 3 โมดูล ได้แก่

- Module A: RainaugeRadarMapping.java เป็นโปรแกรมเพื่อใช้ในการสร้าง Template ในการอ่านข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) จากข้อมูลการตรวจวัดเชิงปริมาตร แบบ MDV files เทียบกับจุดติดตั้งสถานีวัดน้ำฝน

- Module B.1: TMDRainaugeReader.java เป็นโปรแกรมเพื่อใช้ในการอ่านค่า และแปลงข้อมูลน้ำฝนสะสมเป็นรายคาบทุก 1 ชั่วโมง (mm/hr)

- Module C: DRRAARadarReader.java เป็นโปรแกรมเพื่อใช้ในการแสดงผลข้อมูลการตรวจวัดเชิงปริมาตร แบบ MDV files ในรูปแบบตารางและรูปภาพ โดยสามารถแสดงข้อมูลการตรวจวัดที่ระดับความสูงต่างๆ รวมทั้งสามารถแสดงผลตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนบนแผนที่ได้ โปรแกรมสามารถ Save as ข้อมูลเรดาร์ที่สนใจในรูปแบบตารางข้อมูลได้

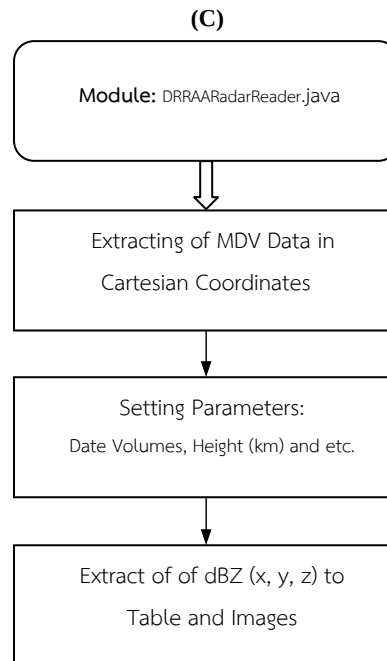
2) โปรแกรมที่พัฒนามบน Excel เวอร์ชัน 2010 (B) ใช้สำหรับการแปลงค่าพิกัดสถานีวัดน้ำฝน จาก Latitude และ Longitude เป็นระบบเลขฐานสิบ

3) โปรแกรมจัดการฐานข้อมูล MySQL เซิร์ฟเวอร์ เวอร์ชัน 5.5.17 (DB) ใช้สำหรับการการนำเข้าและการจัดการฐานข้อมูลความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) รวมทั้งใช้สำหรับการจับคู่ (Mapping) ระหว่างข้อมูลความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z)

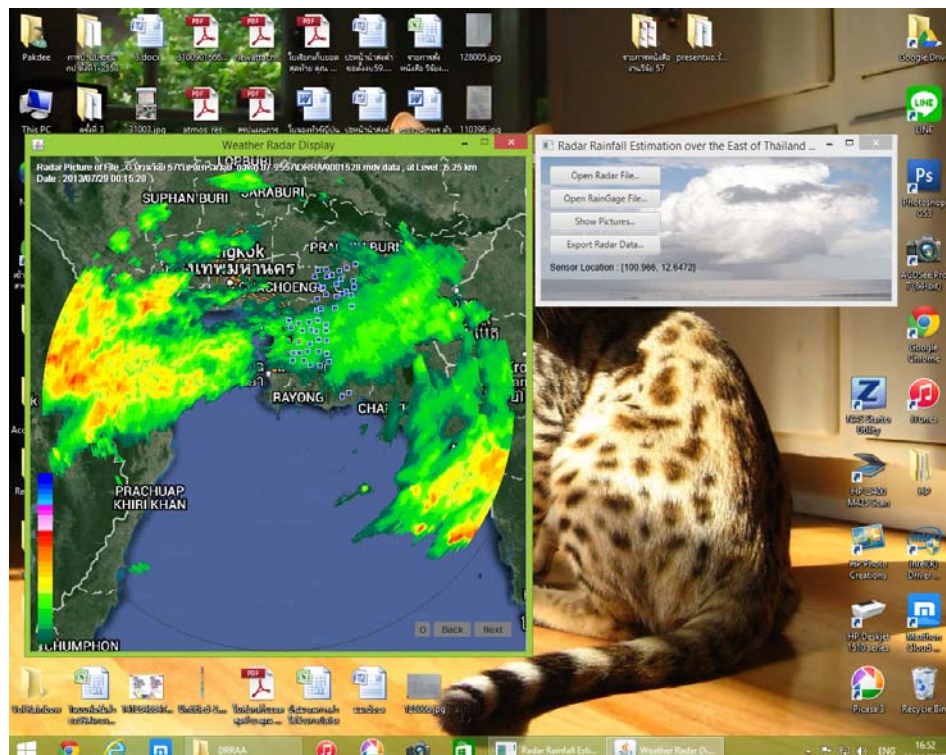
รายละเอียดโปรแกรม และ Module Source Code ทั้งหมด บรรจุอยู่ในแผ่น DVD ที่แนบมาพร้อมกับเอกสารวิจัยโครงการฯ



รูปที่ ง.1 แผนผังขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิจัยข้อมูลความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z)



รูปที่ ง.2 แผนผังขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิจัยข้อมูลความเข้มฝน (R) และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z):
 ระบบแสดงผลข้อมูลการตรวจวัดเชิงปริมาตร แบบ MDV files (Module C: DRRAARadarReader.java)



รูปที่ ง.3 ตัวอย่างโปรแกรม DRRAARadarReader.java เพื่อใช้สำหรับแสดงผลข้อมูลเรดาร์ และตำแหน่งข้อมูลถึงวัด
 น้ำฝนอัตโนมัติของโครงการวิจัยฯ

ภาคผนวก จ

การศึกษาการกระจายตัวของกลุ่มเมฆฝนโดยใช้ข้อมูลภาพเรดาร์

1. การศึกษาการกระจายตัวของกลุ่มเมฆฝน

การศึกษาการกระจายตัวของกลุ่มเมฆฝนจากค่าการสะท้อนของกลุ่มฝนที่ตรวจวัดได้จากข้อมูลเรดาร์ เพื่อสังเกตพฤติกรรมของกลุ่มเมฆฝนในลักษณะของการกระจายตัวของกลุ่มเมฆฝน จากค่าการสะท้อนกลับสูงสุด หรือ Maximum Reflectivity (Maximum dBZ) ทำให้เห็นถึงการกระจายตัวของกลุ่มฝนเชิงพื้นที่ตามช่วงเวลา และความถี่ของการเกิดกลุ่มเมฆฝนที่ระดับค่าการสะท้อนต่างๆ ในแต่ละเดือน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินปริมาณฝนและความน่าจะเป็นของการเกิดกลุ่มเมฆฝนในพื้นที่ภาคตะวันออกต่อไป

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาจากข้อมูลภาพเรดาร์สถิติ จังหวัดชลบุรี แบบ CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตร ในระดับความละเอียด 0.6 กิโลเมตร x 0.6 กิโลเมตร ใช้ข้อมูลระหว่างเดือนมีนาคม 2557 ถึงเดือนสิงหาคม 2557 รวม 6 เดือน โดยทำการแปลงรูปแบบ (Format) ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำเข้าสู่โปรแกรมทางด้านการสำรวจระยะไกล (Remote sensing) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ใช้เทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลภาพแบบ Supervised Classification และการซ้อนทับด้วยเทคนิคทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Spatial Overlay Techniques) โดยกำหนดให้มีพื้นที่ตัวอย่าง (Training area) ที่ใช้กำหนดค่าระดับของการสะท้อนของเรดาร์ (dBZ) ในแต่ละระดับสีจากสัญลักษณ์สีทางด้านขวามือ (Color Scale) ของภาพเรดาร์ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นข้อมูลสำหรับการสอน

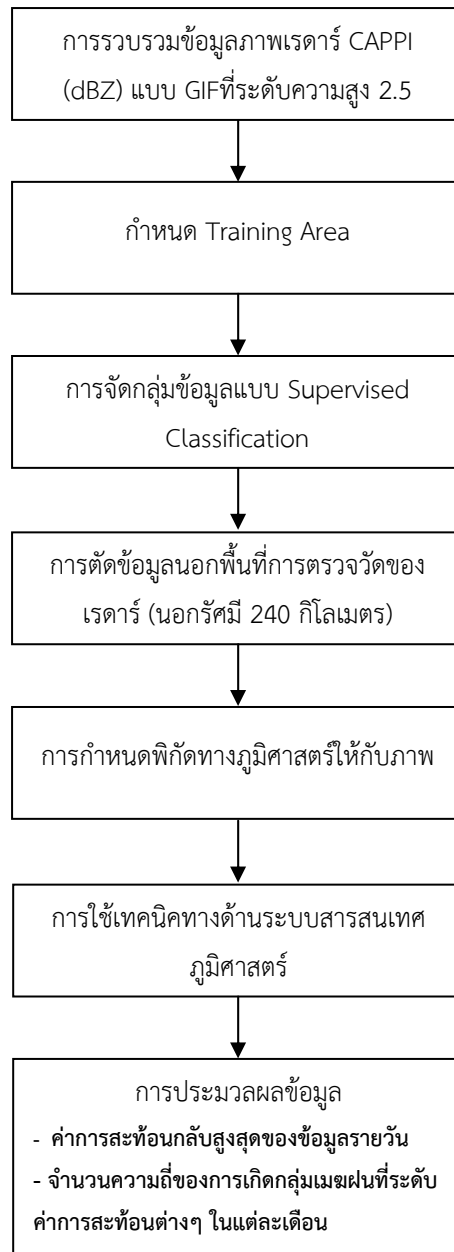
ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับ Contour ปริมาณน้ำฝนสะสม และจำนวนวันฝนตกของกรมอุตุนิยมวิทยาว่ามีความสอดคล้องหรือมีแนวโน้มในทิศทางอย่างไร อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์การเข้ากับข้อมูลเรดาร์บนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินพื้นที่ฝนตกและการเกิดซ้ำของกลุ่มเมฆฝน และการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ

ขั้นตอนในการศึกษาการกระจายตัวของกลุ่มเมฆฝน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการศึกษา ดังต่อไปนี้

2.1 การรวบรวมข้อมูลภาพเรดาร์

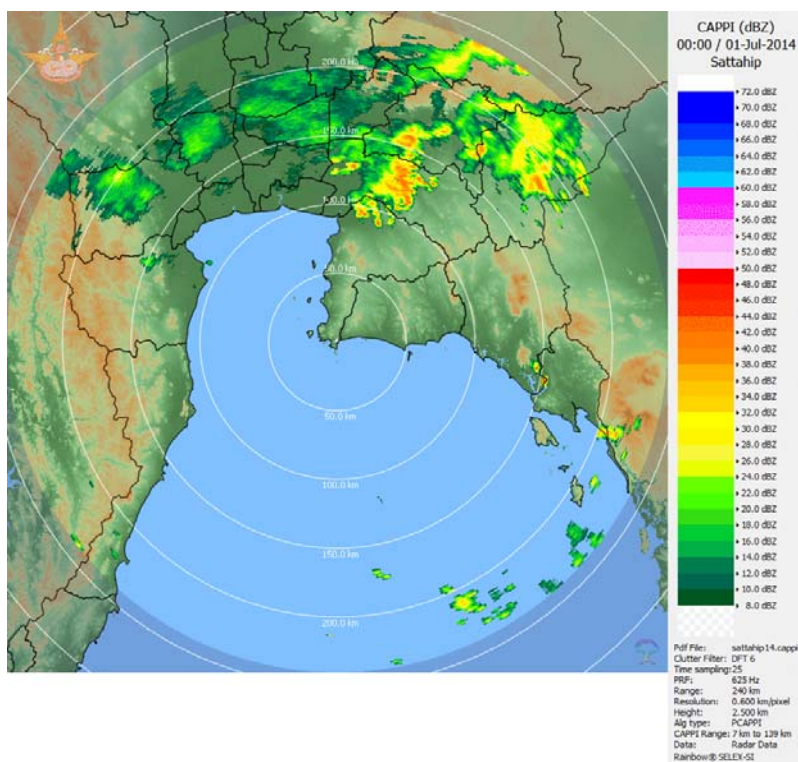
ทำการรวบรวมข้อมูลภาพเรดาร์ แบบ CAPPI (ดังรูปที่ 2.1-1) ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตร จากสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติ รูปแบบข้อมูลภาพ GIF (Graphics Interchange Format) ที่ความละเอียดจุดภาพ 0.6 กิโลเมตร x 0.6 กิโลเมตร ของข้อมูลการตรวจวัดระหว่างเดือนมีนาคม 2557 ถึงเดือนสิงหาคม 2557 รวม 6 เดือน ข้อมูลภาพที่ใช้ในการศึกษาจำนวนรวมทั้งสิ้น 42,444 ภาพ แสดงดังตารางที่ 2.1-1



รูปที่ 2.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการศึกษาวิจัย

จากนั้นทำการแปลงรูปแบบ (Format) ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำเข้าสู่โปรแกรมทางด้านการสำรวจระยะไกล (Remote sensing) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ ดังนี้

- 1) ทำการแปลงข้อมูลภาพจากรูปแบบ *.gif ที่บีบอัดข้อมูลแบบ Indexed color เป็น *.tiff แบบ RGBcolor เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าจุดสีเนื่องจากการบีบอัดข้อมูล
- 2) ทำการแปลงข้อมูล จากรูปแบบ *.tiff เป็น *.img เพื่อให้สามารถดำเนินการต่อได้โดยโปรแกรมทางด้านการสำรวจระยะไกลต่อไป



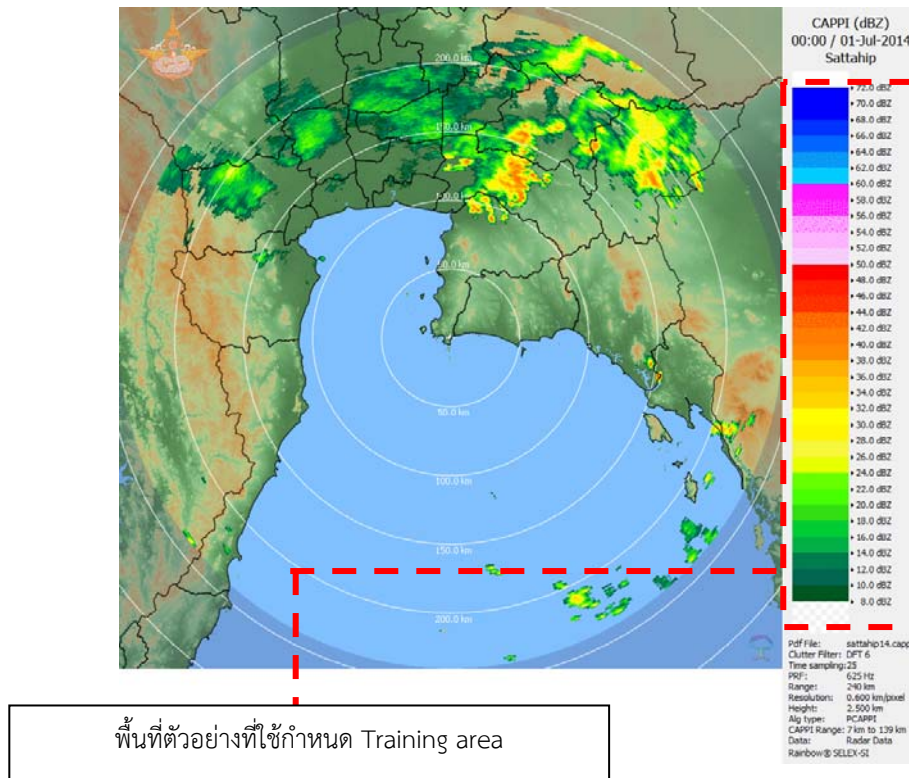
รูปที่ 2.1-1 แสดงข้อมูลภาพ CAPPI ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตร จากสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ รูปแบบข้อมูลภาพ GIF ที่ความละเอียดจุดภาพ 0.6 กิโลเมตร x 0.6 กิโลเมตร ของวันที่ 1 กรกฎาคม 2557 เวลา 00:00 น.

ตารางที่ 2.1-1 จำนวนข้อมูลภาพ GIF ที่ใช้ในการศึกษา ระหว่างเดือนมีนาคม 2557 ถึงเดือนสิงหาคม 2557

เดือน (พ.ศ. 2557)	จำนวนวันที่มีข้อมูล	จำนวนภาพ
มีนาคม	31	7,188
เมษายน	30	7,078
พฤษภาคม	30	6,424
มิถุนายน	30	7,083
กรกฎาคม	31	7,351
สิงหาคม	31	7,320
รวม	183	42,444

2.2 การกำหนดพื้นที่ตัวอย่าง

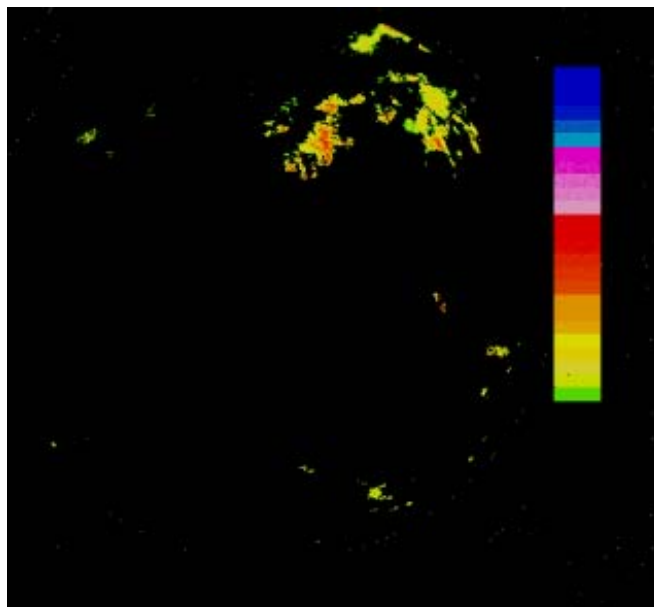
การกำหนดให้มีพื้นที่ตัวอย่าง หรือ Training area ที่ใช้กำหนดค่าระดับของการสะท้อนของเรดาร์ (dBZ) ในแต่ละระดับสีจากสัญลักษณ์สีทางด้านขวามือ (Color Scale) ของภาพเรดาร์ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นข้อมูลสำหรับการสอน แสดงได้ดังรูปที่ 2.2-1



รูปที่ 2.2-1 แสดงพื้นที่ตัวอย่าง หรือ Training area ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นข้อมูลสำหรับการสอน

2.3 การจัดกลุ่มข้อมูลแบบ Supervised Classification

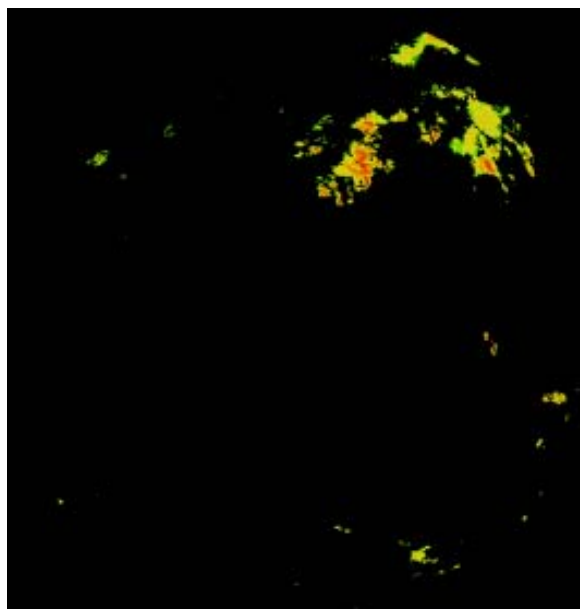
ทำการคัดแยกข้อมูลค่าการสะท้อนของกลุ่มฝนที่ตรวจวัดได้จากข้อมูลเรดาร์ (dBZ) ออกจากข้อมูลพื้นหลังในภาพ โดยใช้เทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลภาพแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) เทียบกับพื้นที่ตัวอย่าง (Training area) ในหัวข้อที่ 2.2 ซึ่งข้อมูลภายหลังการจัดกลุ่มข้อมูลภาพสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3-1



รูปที่ 2.3-1 แสดงการตัดแยกข้อมูลค่าการสะท้อนของกลุ่มฝนที่ตรวจวัดได้จากข้อมูลเรดาร์ (dBZ) ออกจากข้อมูลพื้นหลังในภาพ

2.4 การตัดข้อมูลนอกพื้นที่การตรวจวัดของเรดาร์

จากนั้นทำการตัดข้อมูลนอกพื้นที่การตรวจวัดของเรดาร์ (นอกรัศมี 240 กิโลเมตร) ให้เหลือเฉพาะพื้นที่การตรวจวัดจากเรดาร์ แสดงดังรูปที่ 2.4-1



รูปที่ 2.4-1 แสดงข้อมูลภาพเรดาร์ ของวันที่ 1 กรกฎาคม 2557 เวลา 0:00 น.ภายหลังจากการตัดข้อมูลนอกพื้นที่รัศมี 240 กิโลเมตรออก

2.5 การกำหนดพิกัดทางภูมิศาสตร์ให้กับภาพ

กำหนดพิกัดทางภูมิศาสตร์ให้กับข้อมูลภาพ โดยใช้ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ UTM Datum WGS84 Zone 47N ที่ความละเอียดจุดภาพ (Pixel) ขนาดเท่าเดิม เท่ากับ 600 เมตร

2.6 การใช้เทคนิคทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

นำข้อมูลที่ประมวลผลจากข้อ 2.7 มาซ้อนทับกันโดยใช้เทคนิคการซ้อนทับด้วยเทคนิคทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Spatial Overlay Techniques) เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าสูงสุดของค่าการสะท้อนของกลุ่มฝนจากภาพ CAPPI (dBZ) ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตรของแต่ละวัน และเพื่อหาจำนวนความถี่ของการเกิดกลุ่มเมฆฝนในแต่ละเดือน

2.7 การประมวลผลข้อมูล

ทำการประมวลผลข้อมูลออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ (1) ค่าการสะท้อนกลับสูงสุดของข้อมูลรายวัน และ (2) จำนวนความถี่ของการเกิดกลุ่มเมฆฝนที่ระดับค่าการสะท้อนต่างๆ ในแต่ละเดือน และทำการเปรียบเทียบกับ Contour ปริมาณน้ำฝนสะสม และจำนวนวันฝนตกของกรมอุตุนิยมวิทยาว่ามีความสอดคล้องหรือมีแนวโน้มในทิศทางอย่างไร

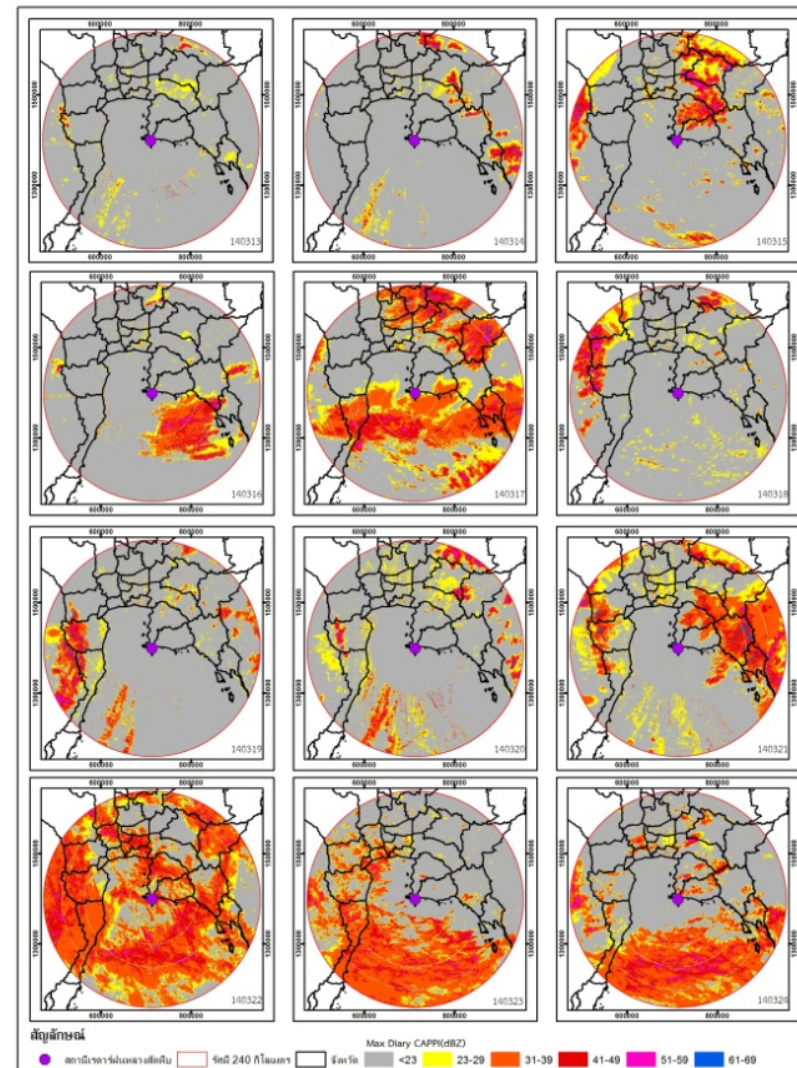
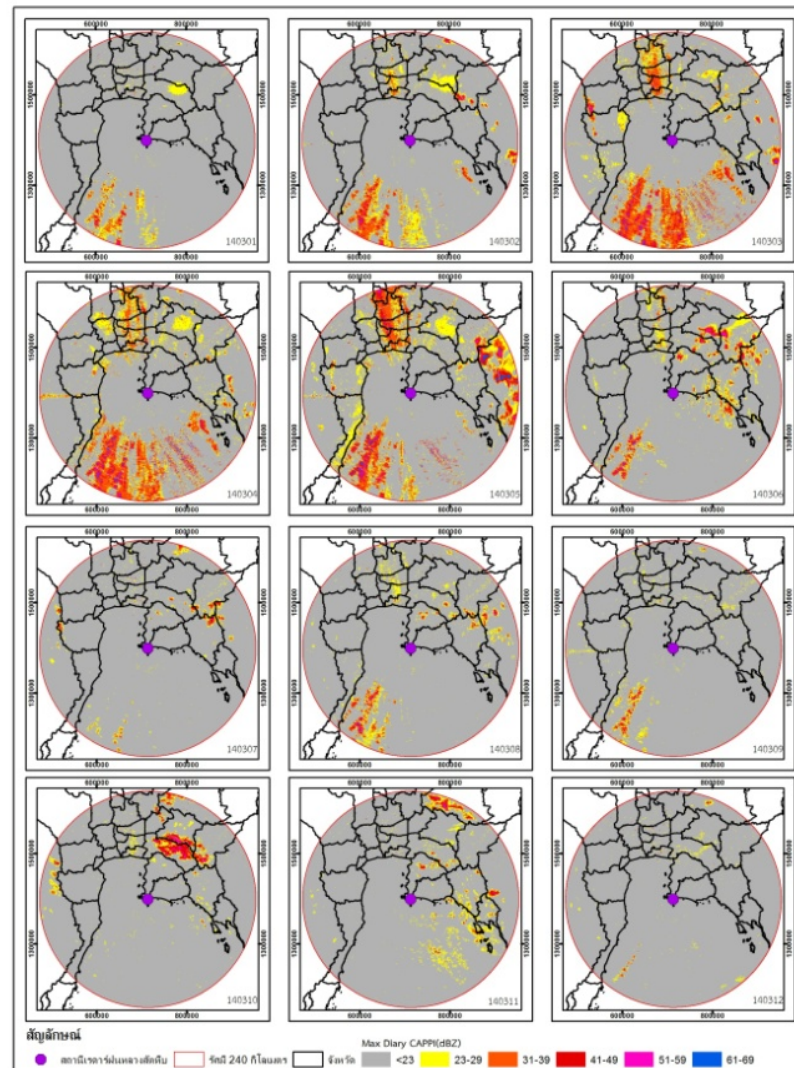
3. การวิเคราะห์ผลข้อมูลการศึกษาการกระจายตัวของเมฆ

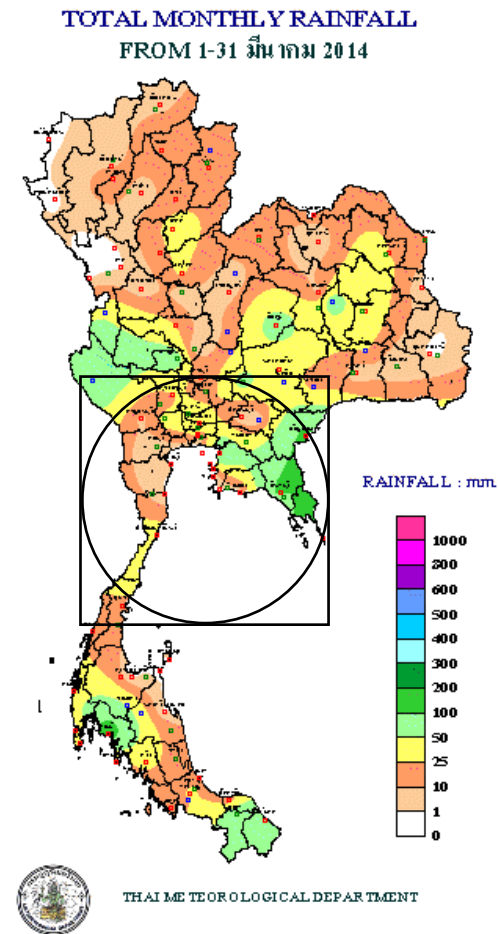
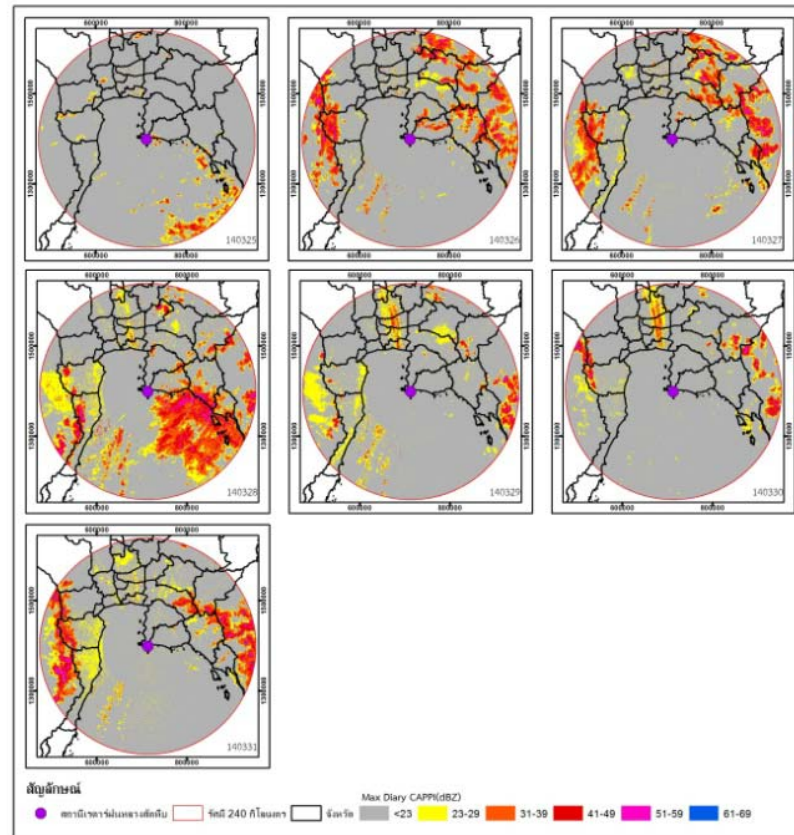
แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

- 1) การกระจายตัวของกลุ่มเมฆฝน จากค่าการสะท้อนกลับสูงสุด หรือ Maximum Reflectivity (Maximum dBZ) ทำให้เห็นถึงการกระจายตัวของกลุ่มฝนเชิงพื้นที่ตามช่วงเวลา
- 2) ความถี่ของการเกิดกลุ่มเมฆฝนที่ระดับค่าการสะท้อนต่างๆ ในแต่ละเดือน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินปริมาณฝนและความน่าจะเป็นของการเกิดกลุ่มเมฆฝนในพื้นที่ภาคตะวันออกได้ต่อไป

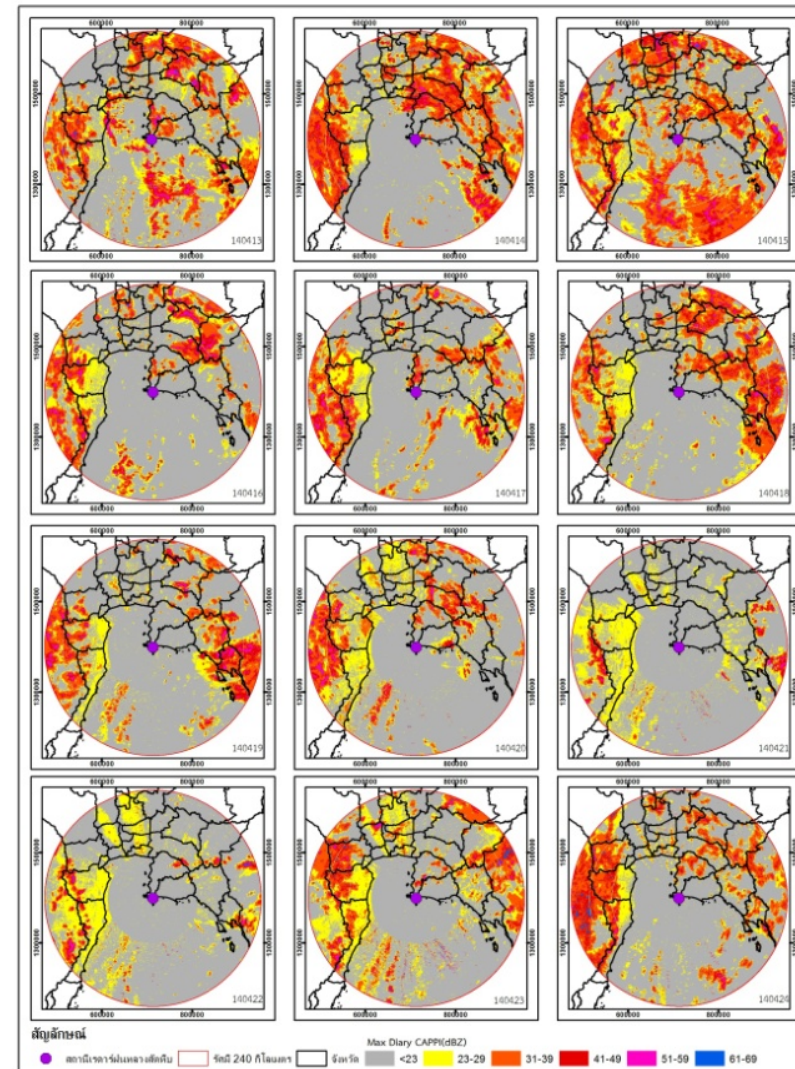
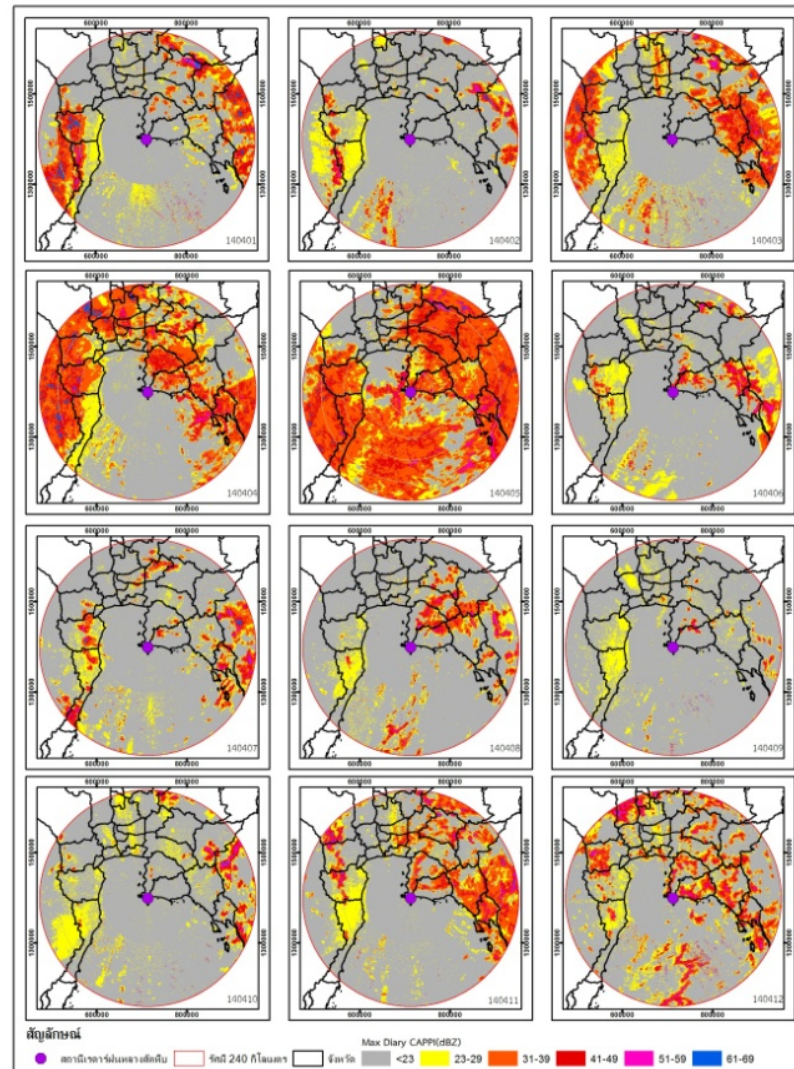
3.1 การกระจายตัวของกลุ่มเมฆฝน จากค่าการสะท้อนกลับสูงสุด หรือ Maximum Reflectivity (Maximum dBZ) ทำให้เห็นถึงการกระจายตัวของกลุ่มฝนเชิงพื้นที่ตามช่วงเวลา

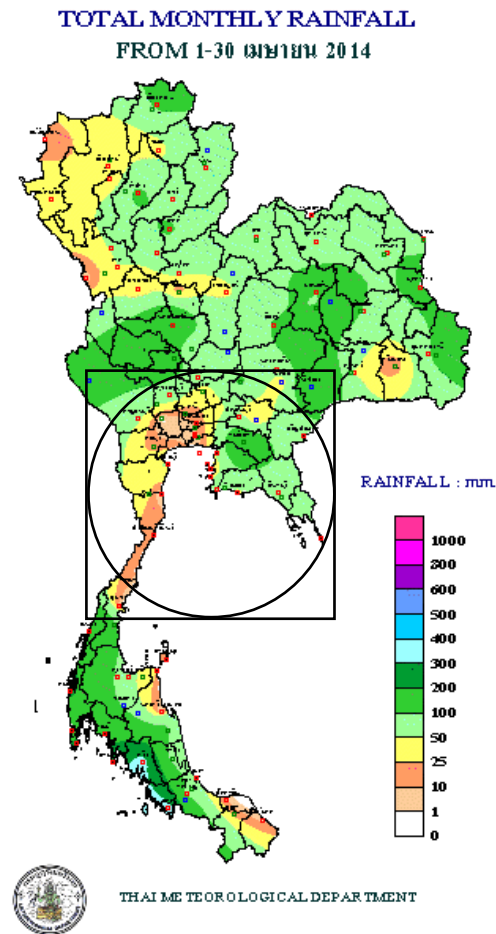
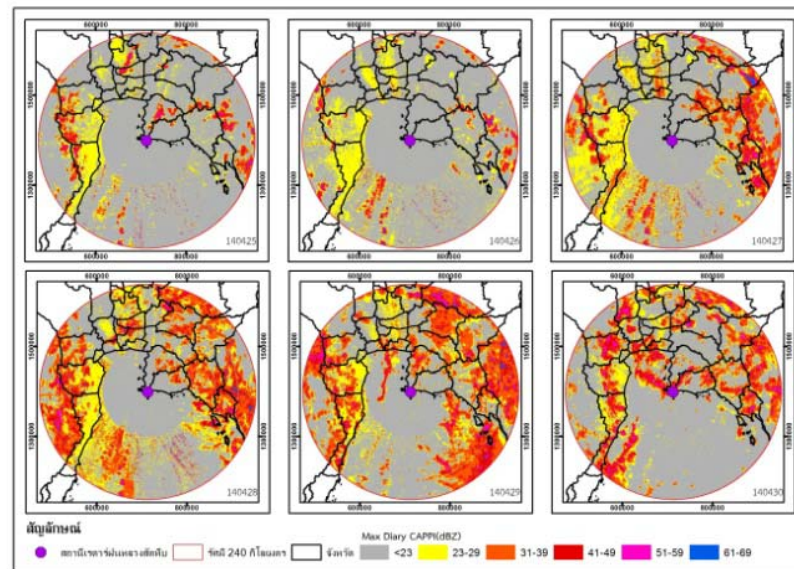
ทำการวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าการสะท้อนกลับสูงสุด หรือ Maximum Reflectivity ในแต่ละวัน โดยรวบรวมจากข้อมูลการตรวจวัดทุกๆ 6 นาที และทำการซ้อนทับกันด้วยเทคนิคทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Spatial Overlay Techniques) และคำนวณหาค่าสูงสุดของค่าการสะท้อนของกลุ่มฝนจากภาพ CAPPI (dBZ) ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตรของแต่ละวัน แสดงได้ดังรูปที่ 3.1-1 ถึงรูปที่ 3.1-6 โดยผลการศึกษาระหว่างเดือนมีนาคม ถึงเดือนสิงหาคม 2557 พบว่าค่าการสะท้อนกลับสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ภาคตะวันออกมีค่าอยู่ในช่วง 41-49 dBZ โดยมีการกระจายตัวในแต่ละเดือนที่สอดคล้องกับ Contour ปริมาณน้ำฝนสะสมที่ตรวจวัดได้จากสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา



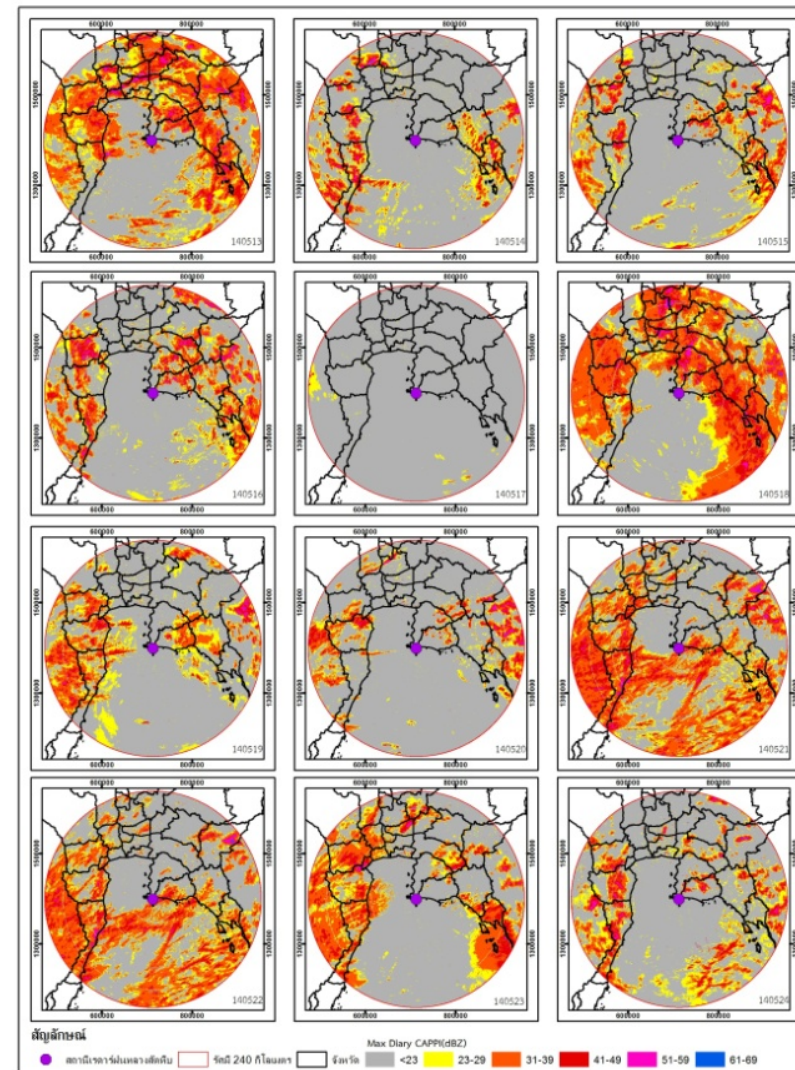
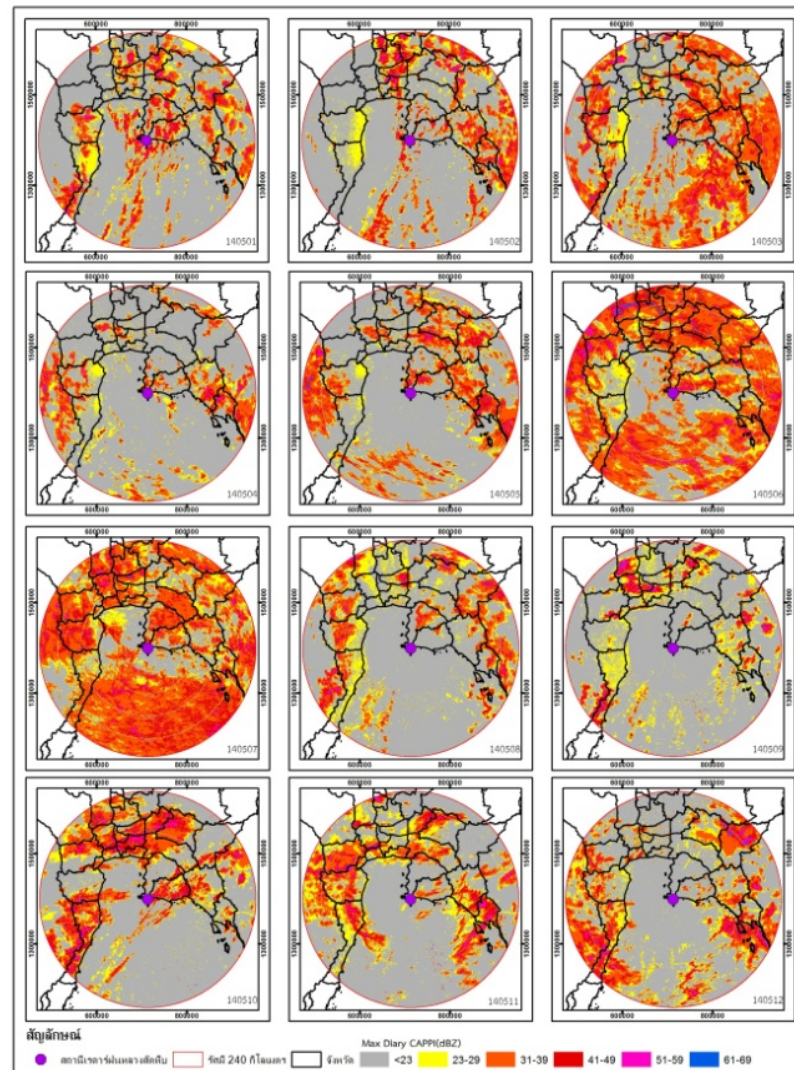


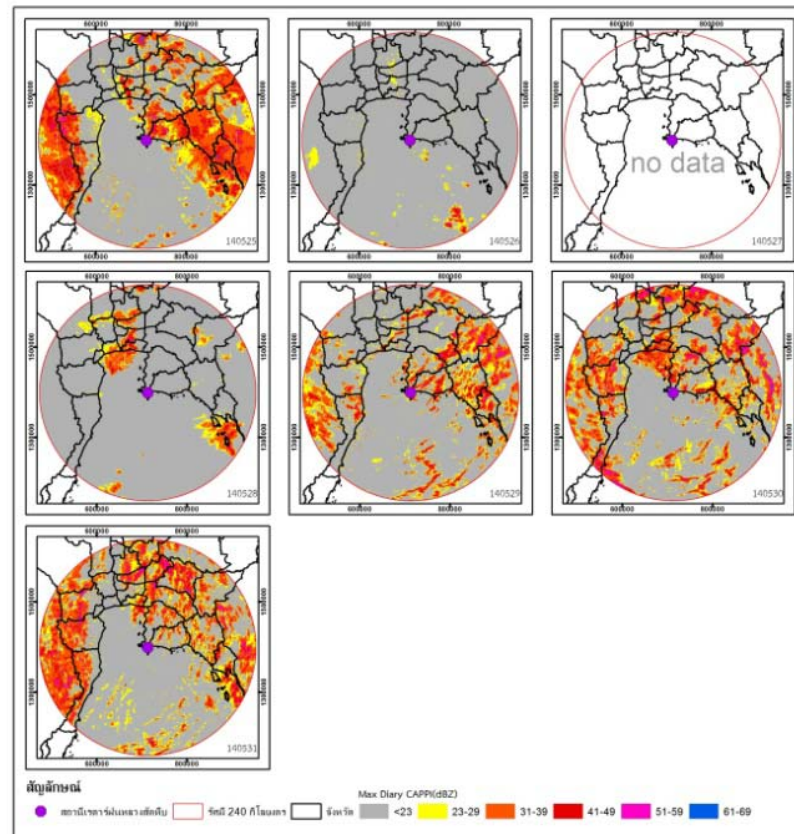
รูปที่ 3.1-1 แสดงค่าการสะท้อนกลับสูงสุดสูงสุดจากภาพCAPPI (dBZ) ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตร ของข้อมูลรายวัน เพื่อให้เห็นถึงการกระจายตัวของกลุ่มฝนเชิงพื้นที่ตามช่วงเวลา เปรียบเทียบกับ Contour ปริมาณน้ำฝนรวมที่ตรวจวัดได้จากสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา (ขวาล่าง) ของเดือนมีนาคม 2557



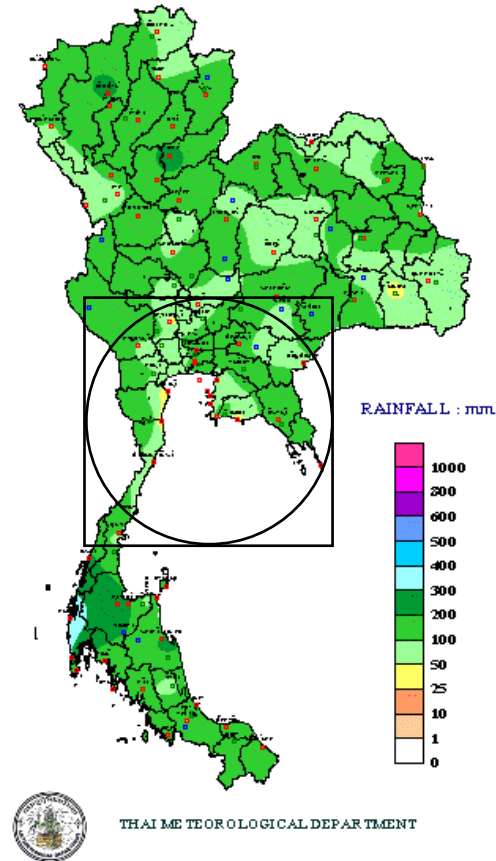


รูปที่ 3.1-2 แสดงค่าการสะท้อนกลับสูงสุดสูงสุดจากภาพ CAPPI (dBZ) ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตร ของข้อมูลรายวัน เพื่อให้เห็นถึงการกระจายตัวของกลุ่มฝนเชิงพื้นที่ตามช่วงเวลา เปรียบเทียบกับ Contour ปริมาณน้ำฝนรวมที่ตรวจวัดได้จากสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา (ขวาล่าง) ของเดือนเมษายน 2557

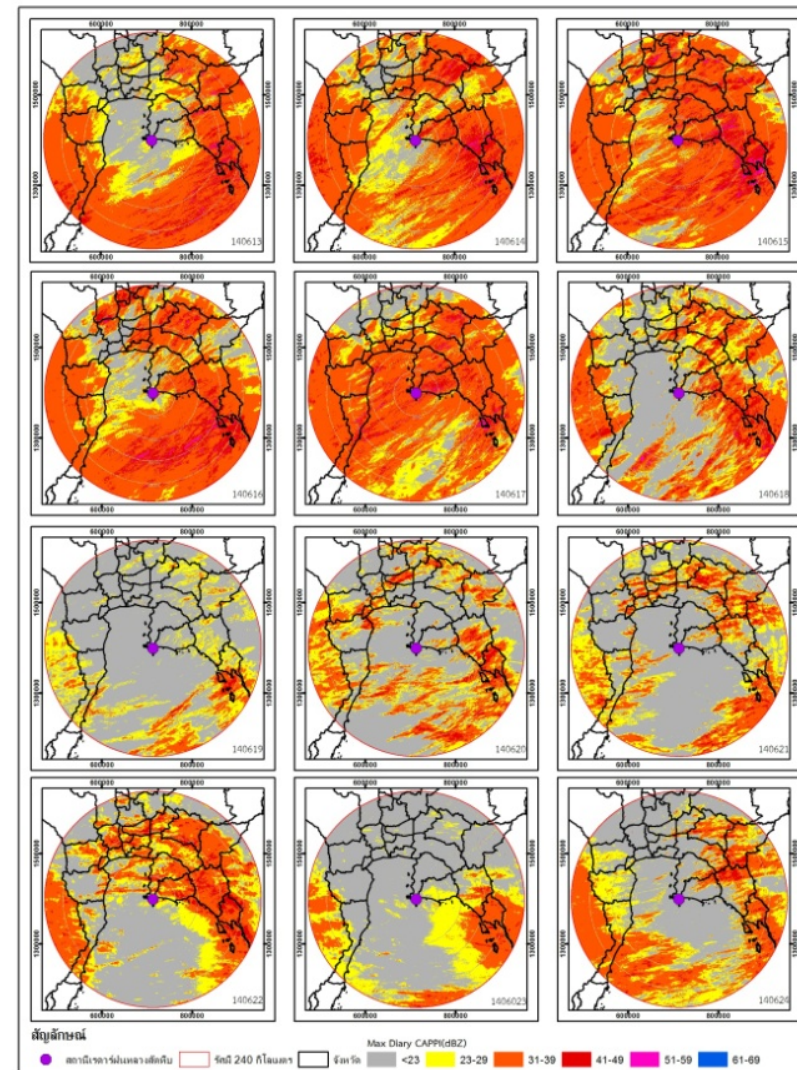
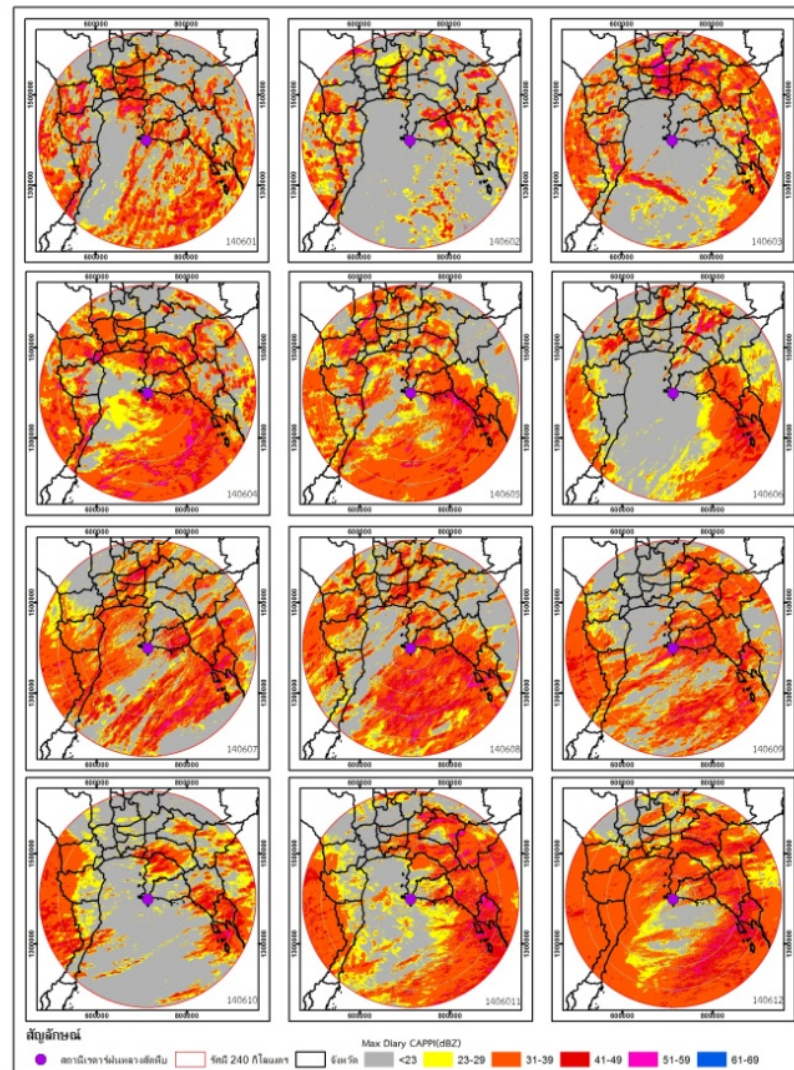


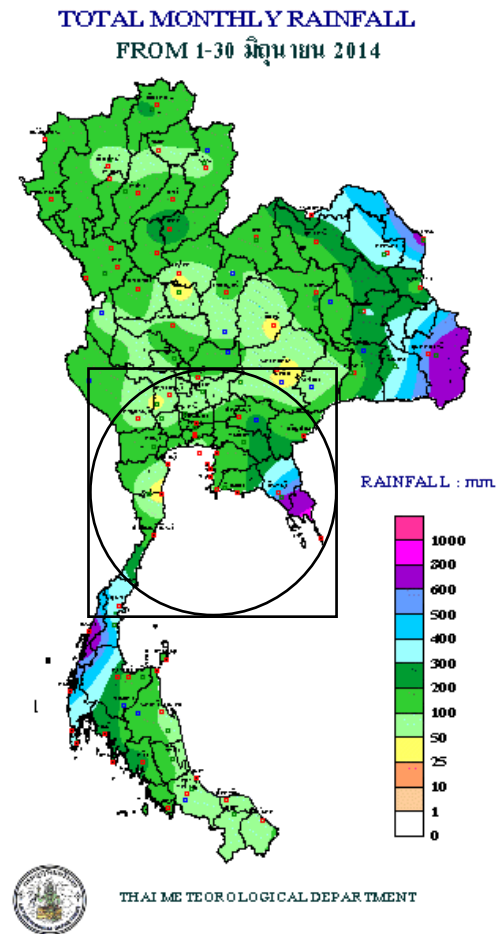
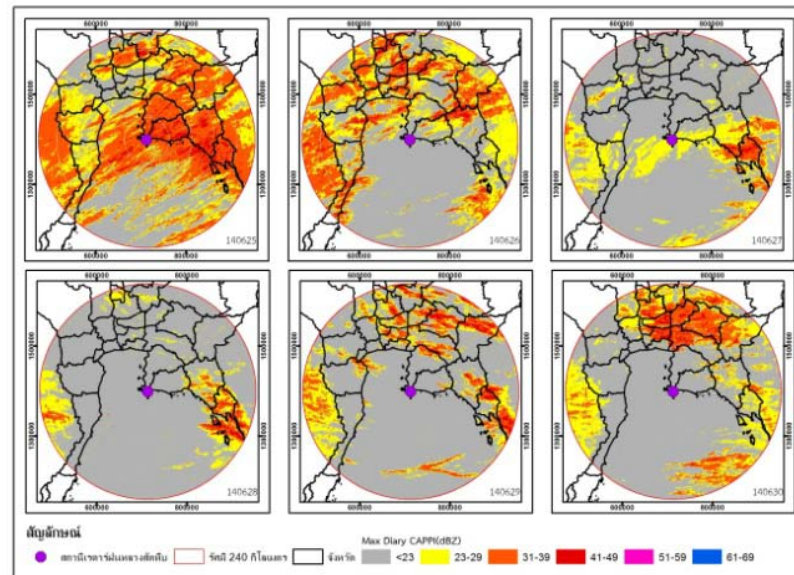


TOTAL MONTHLY RAINFALL
FROM 1-31 พฤษภาคม 20 14

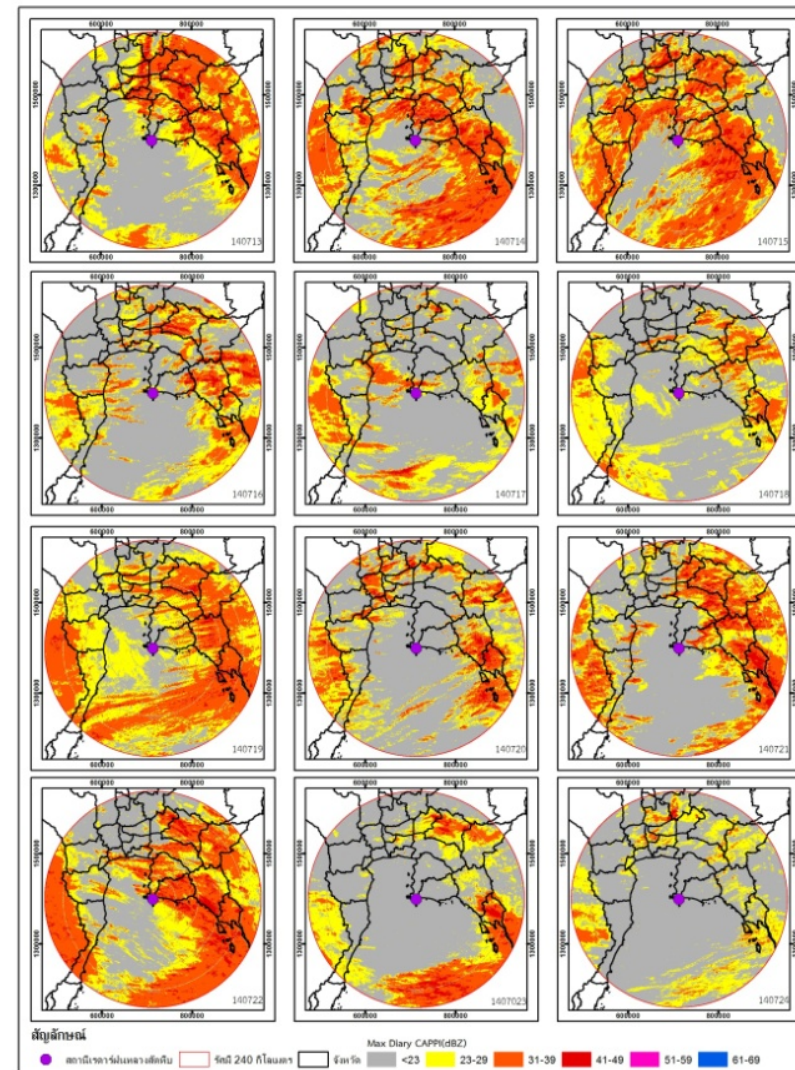
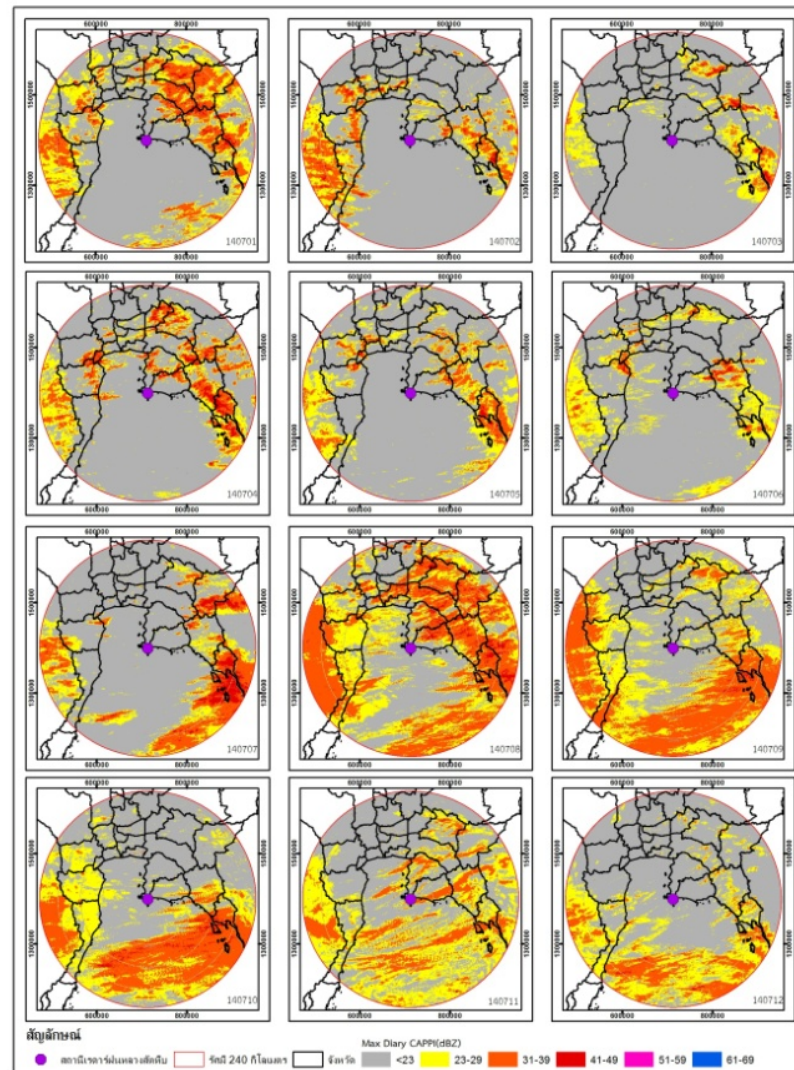


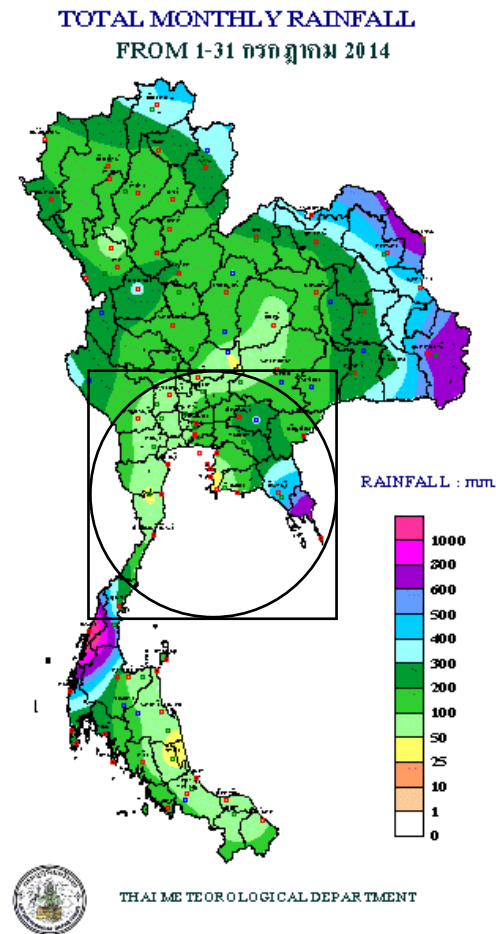
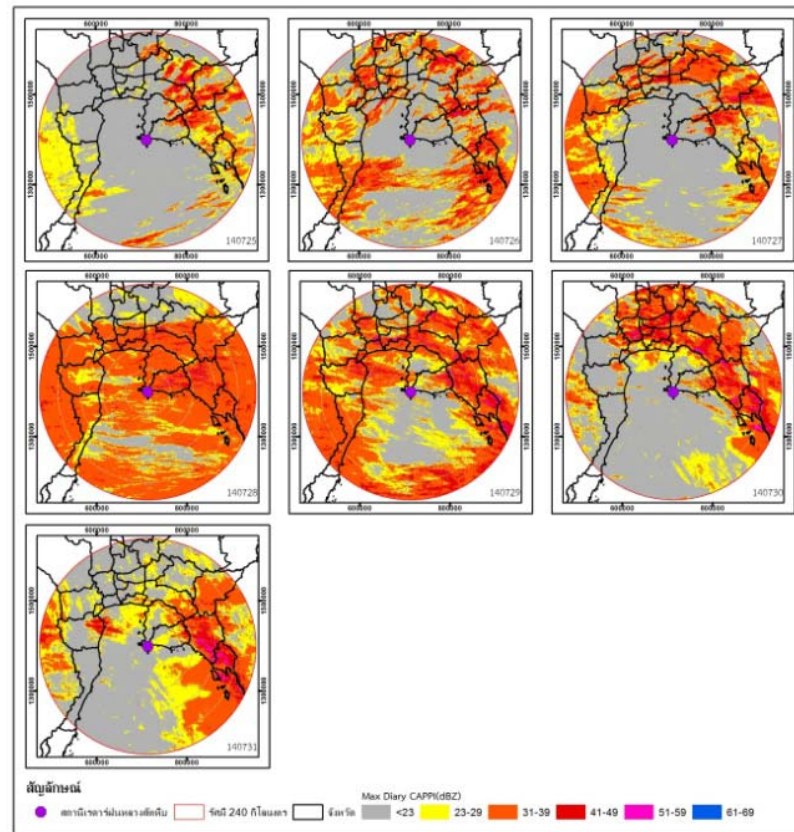
รูปที่ 3.1-3 แสดงค่าการสะท้อนกลับสูงสุดสูงสุดจากภาพ CAPPI (dBZ) ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตร ของข้อมูลรายวัน เพื่อให้เห็นถึงการกระจายตัวของกลุ่มฝนเชิงพื้นที่ตามช่วงเวลา เปรียบเทียบกับ Contour ปริมาณน้ำฝนรวมที่ตรวจวัดได้จากสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา (เขาล่าง) ของเดือนพฤษภาคม 2557



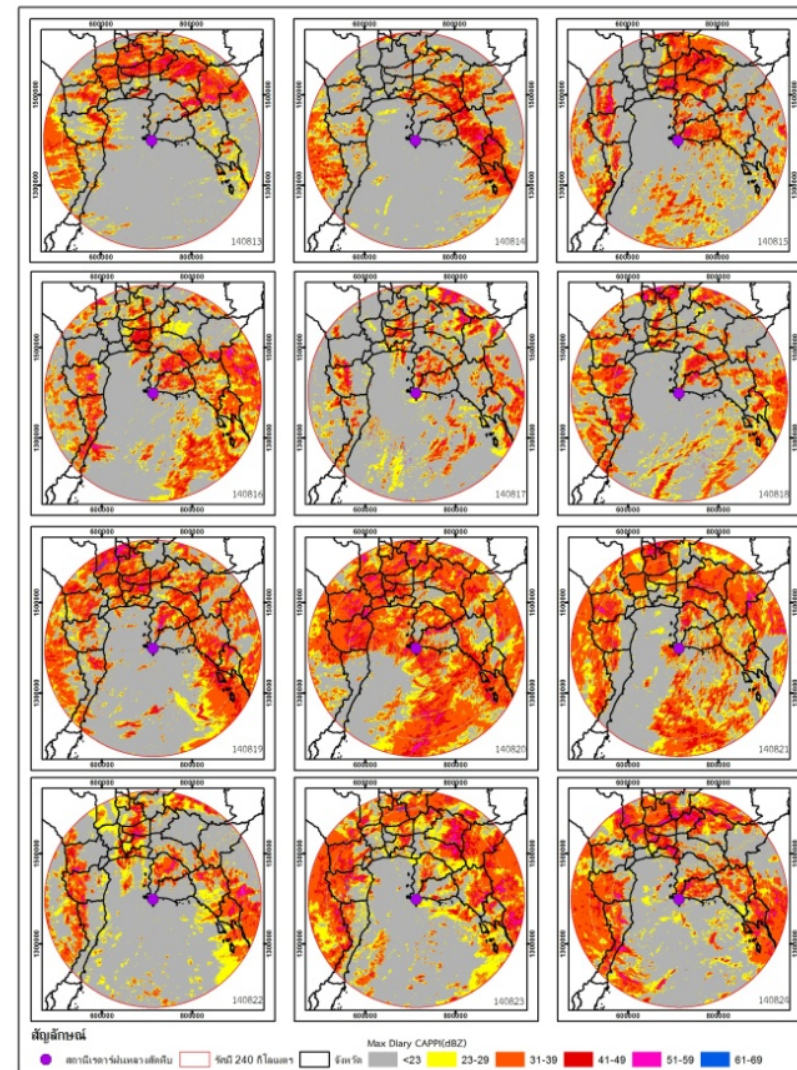
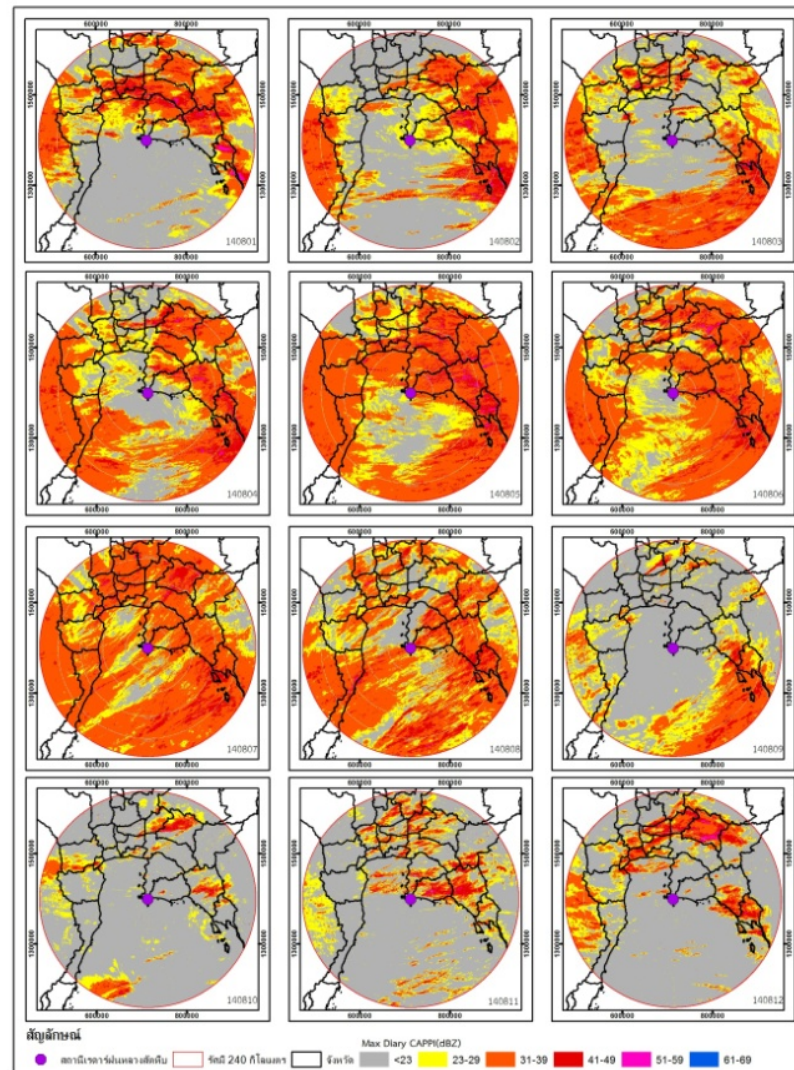


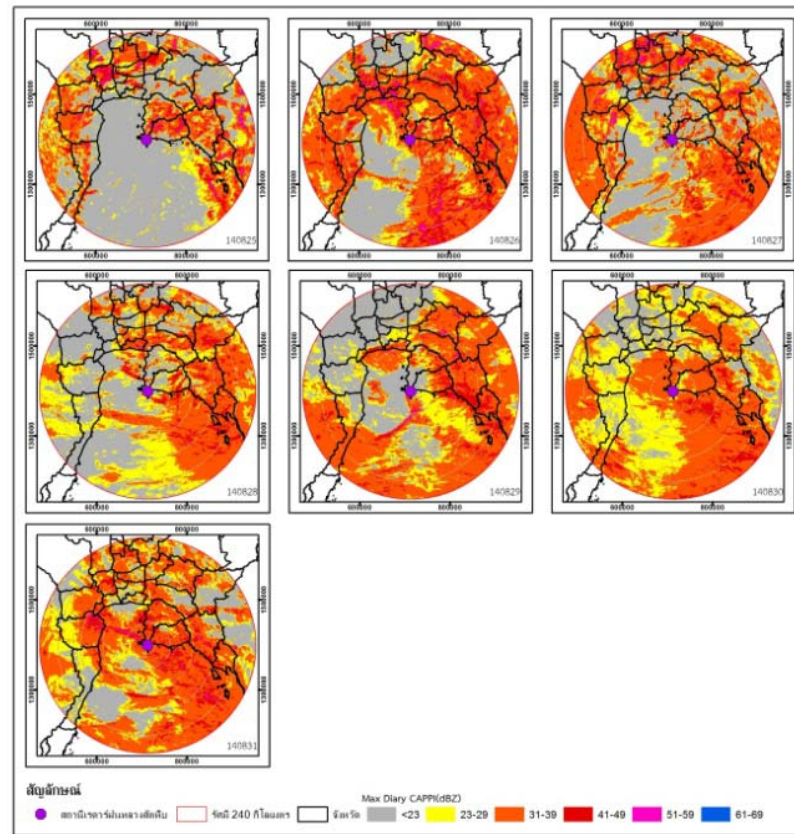
รูปที่ 3.1-4 แสดงค่าการสะท้อนกลับสูงสุดสูงสุดจากภาพ CAPPI (dBZ) ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตร ของข้อมูลรายวัน เพื่อให้เห็นถึงการกระจายตัวของกลุ่มฝนเชิงพื้นที่ตามช่วงเวลา เปรียบเทียบกับ Contour ปริมาณน้ำฝนรวมที่ตรวจวัดได้จากสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา (ขวาล่าง) ของเดือนมิถุนายน 2557



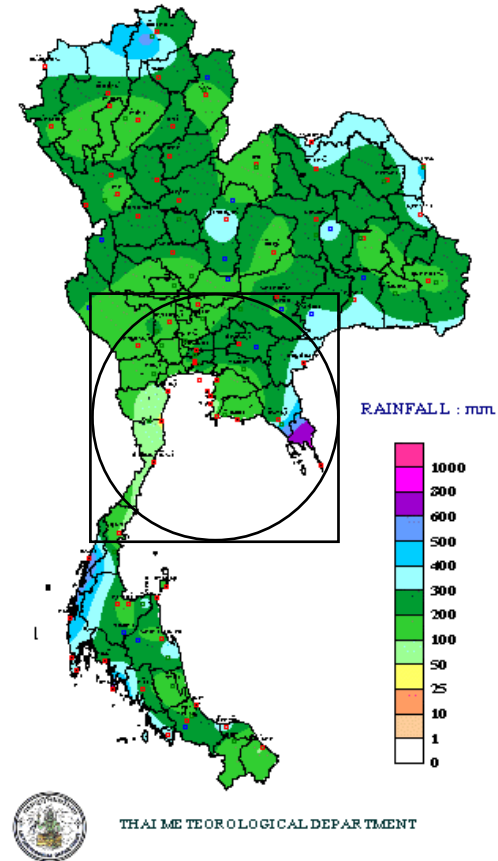


รูปที่ 3.1-5 แสดงค่าการสะท้อนกลับสูงสุดสูงสุดจากภาพ CAPPI (dBZ) ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตร ของข้อมูลรายวัน เพื่อให้เห็นถึงการกระจายตัวของกลุ่มฝนเชิงพื้นที่ตามช่วงเวลา เปรียบเทียบกับ Contour ปริมาณน้ำฝนรวมที่ตรวจวัดได้จากสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา (เขาล่าง) ของเดือนกรกฎาคม 2557





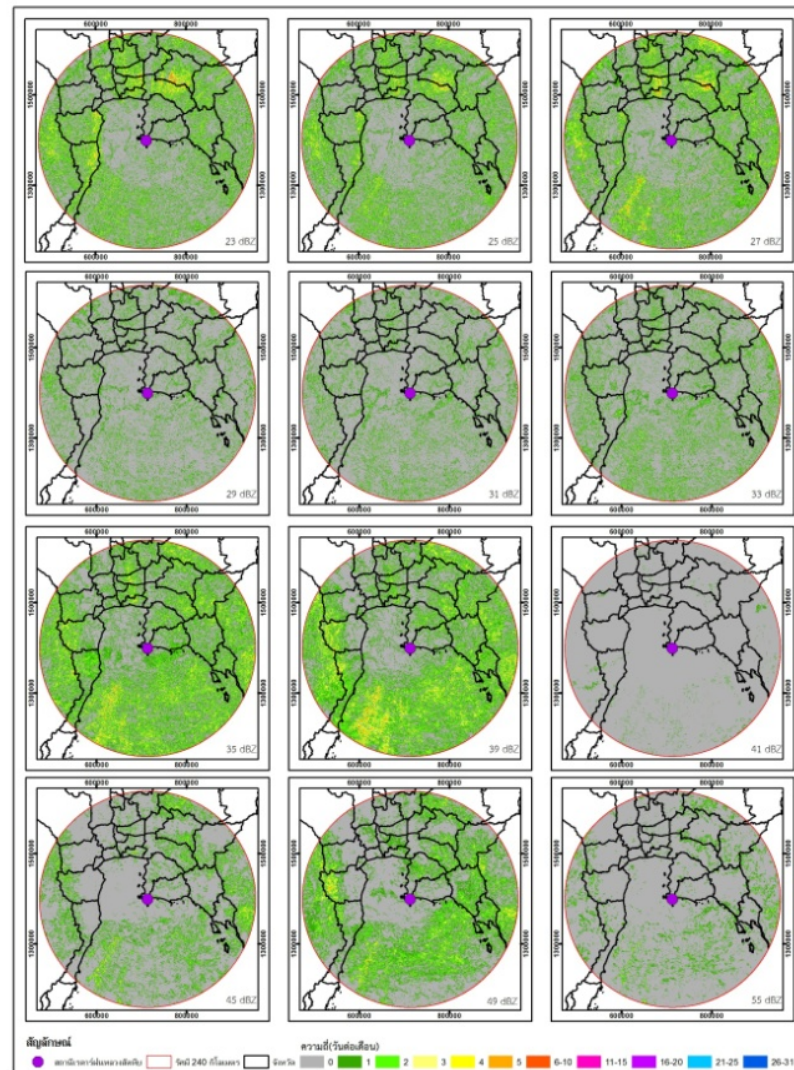
TOTAL MONTHLY RAINFALL
FROM 1-31 สิงหาคม 2014

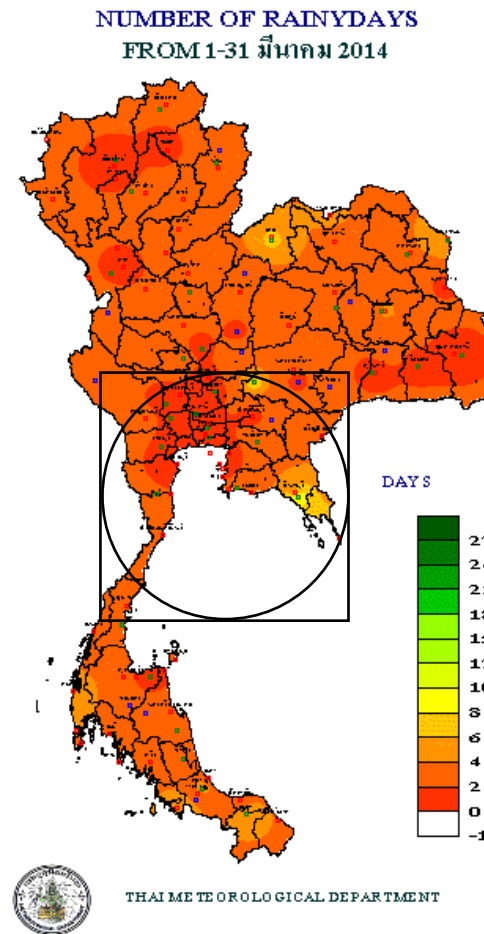
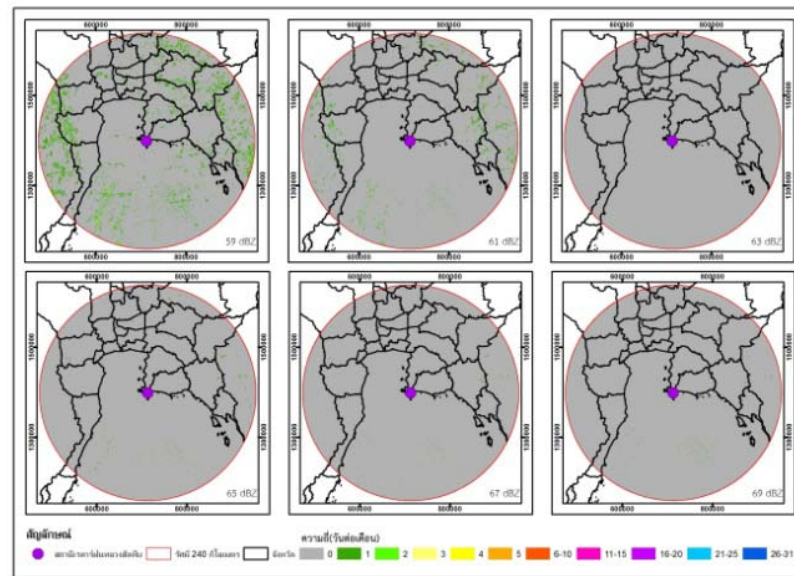


รูปที่ 3.1-6 แสดงค่าการสะท้อนกลับสูงสุดสูงสุดจากภาพ CAPPI (dBZ) ที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตร ของข้อมูลรายวัน เพื่อให้เห็นถึงการกระจายตัวของกลุ่มฝนเชิงพื้นที่ตามช่วงเวลา เปรียบเทียบกับ Contour ปริมาณน้ำฝนรวมที่ตรวจวัดได้จากสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา (ขวาล่าง) ของเดือนสิงหาคม 2557

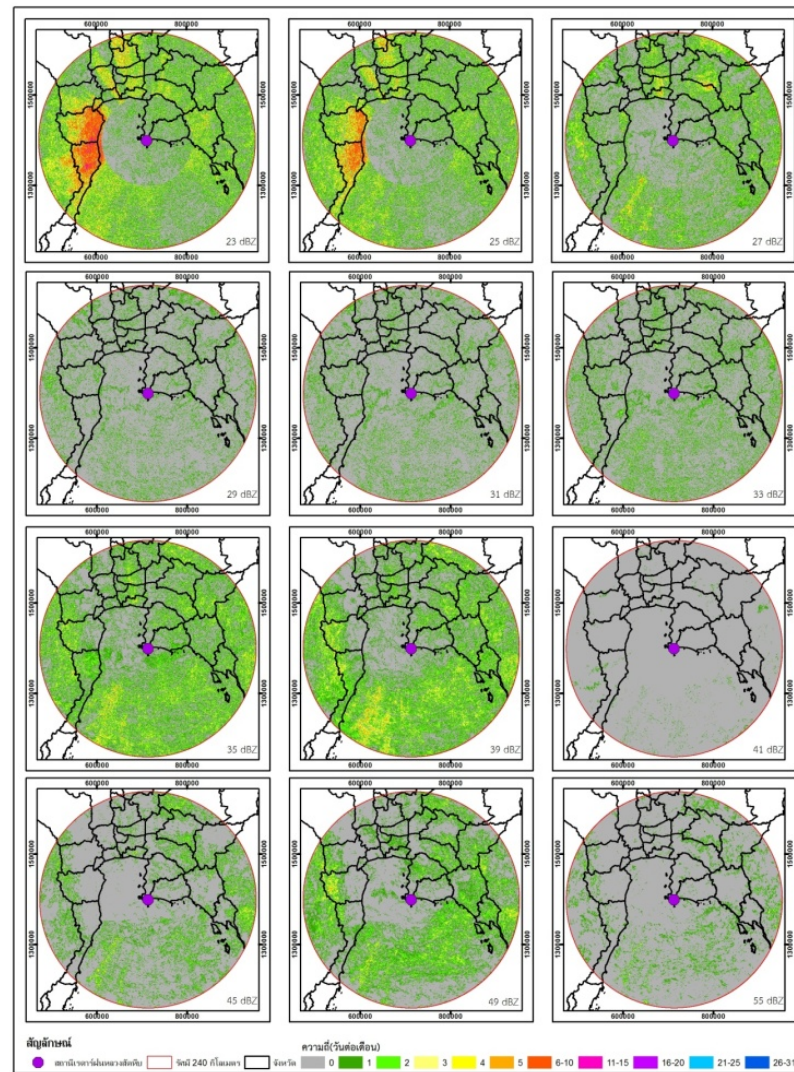
3.2 ความถี่ของการเกิดกลุ่มเมฆฝนที่ระดับค่าการสะท้อนต่างๆ ในแต่ละเดือน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินปริมาณฝนและความน่าจะเป็นของการเกิดกลุ่มเมฆฝนในพื้นที่ภาคตะวันออกได้ต่อไป

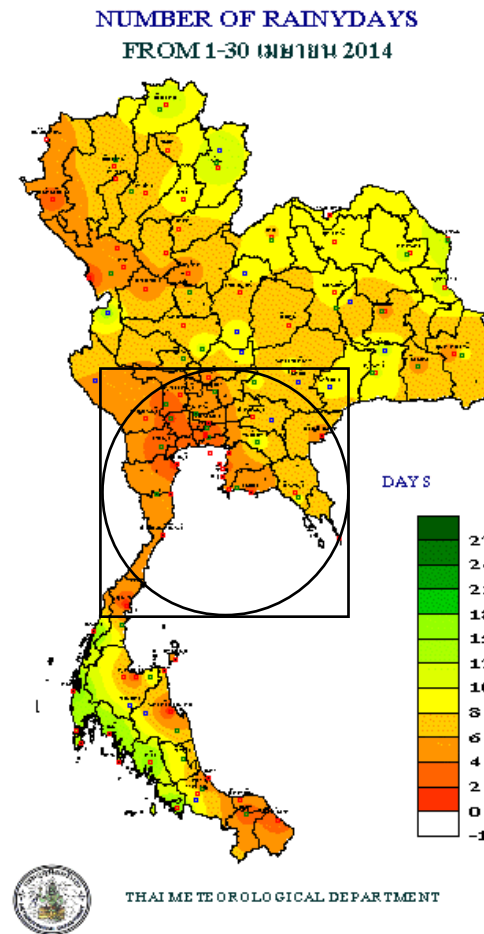
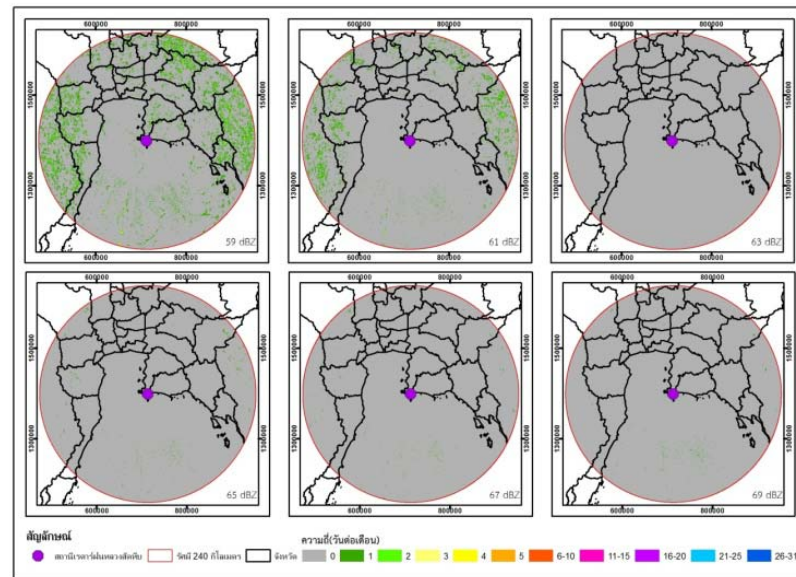
ทำการวิเคราะห์จำนวนความถี่ของการเกิดกลุ่มเมฆฝนที่ระดับค่าการสะท้อนต่างๆ ในแต่ละเดือน โดยใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนของกลุ่มฝนจำนวน 18 ระดับ มีค่าการสะท้อนที่ตรวจพบตั้งแต่ 23 -69 dBZ จากการตรวจวัดที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตรของแต่ละวัน (dBZ) มาซ้อนทับกันด้วยเทคนิคทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Spatial Overlay Techniques) และประมวลผลเพื่อหาจำนวนความถี่เป็นจำนวนวันที่พบต่อเดือนแสดงได้ดังรูปที่ 3.2-1 ถึง รูปที่ 3.2-6 โดยผลการศึกษาระหว่างเดือนมีนาคม ถึงเดือนสิงหาคม 2557 พบว่าจำนวนความถี่ของการเกิดกลุ่มเมฆฝนที่ค่าการสะท้อนระหว่าง 35 – 39 dBZ ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ภาคตะวันออก ในแต่ละเดือนมีความสอดคล้องกับ Contour จำนวนวันฝนตกสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดได้จากสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา



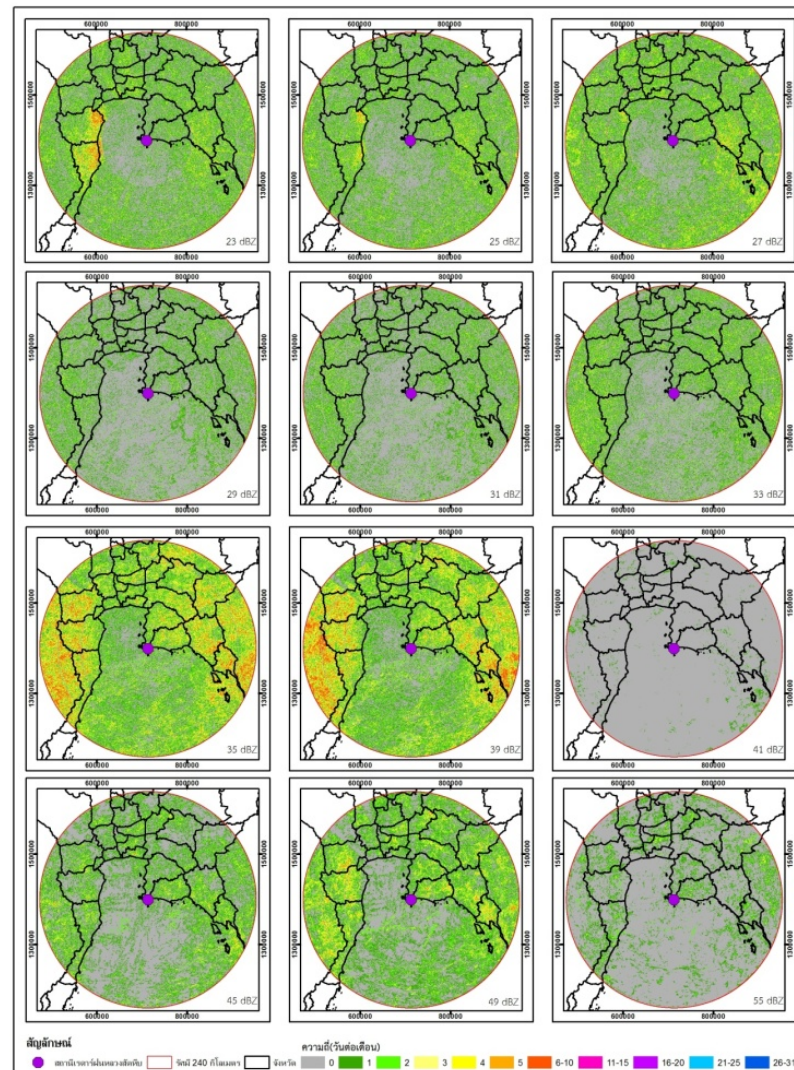


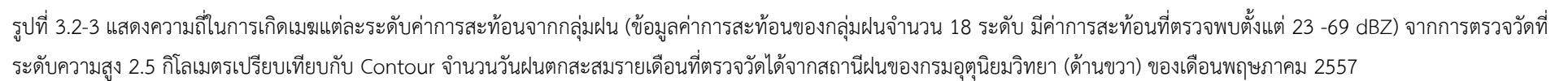
รูปที่ 3.2-1 แสดงความถี่ในการเกิดเมฆแต่ละระดับค่าการสะท้อนจากกลุ่มฝน (ข้อมูลค่าการสะท้อนของกลุ่มฝนจำนวน 18 ระดับ มีค่าการสะท้อนที่ตรวจพบตั้งแต่ 23 -69 dBZ) จากการตรวจวัดที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตรเปรียบเทียบกับ Contour จำนวนวันฝนตกสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดได้จากสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา (ด้านขวา) ของเดือนมีนาคม 2557

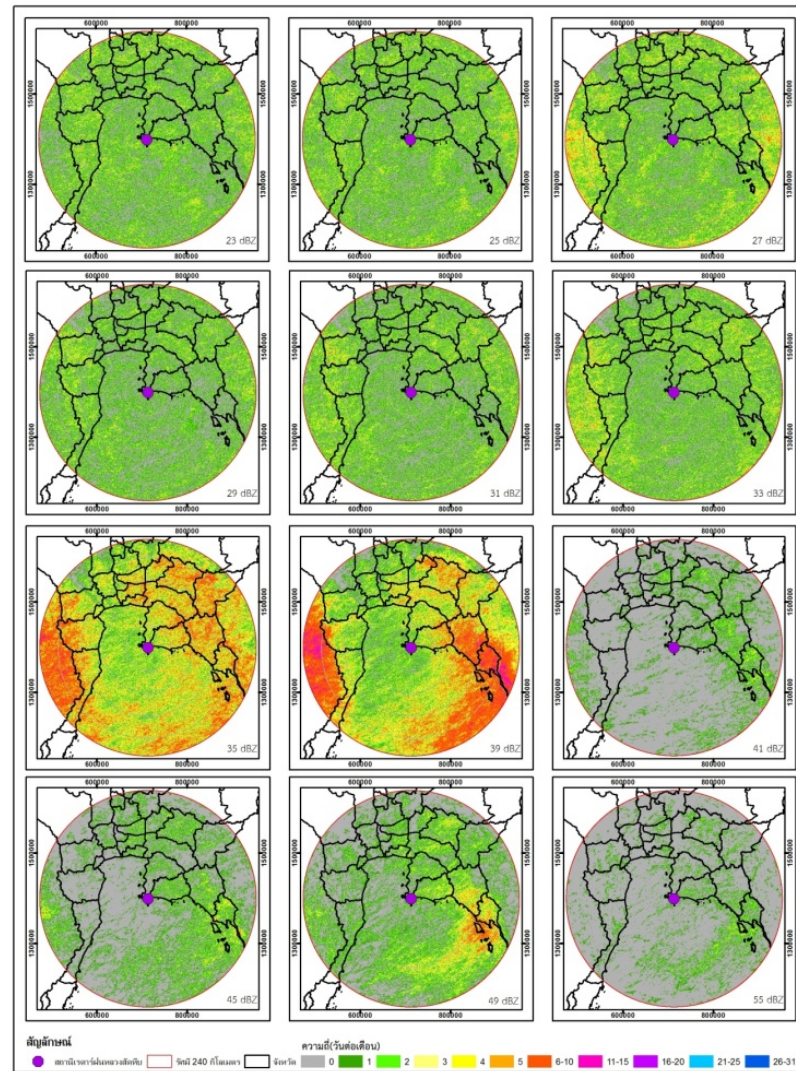




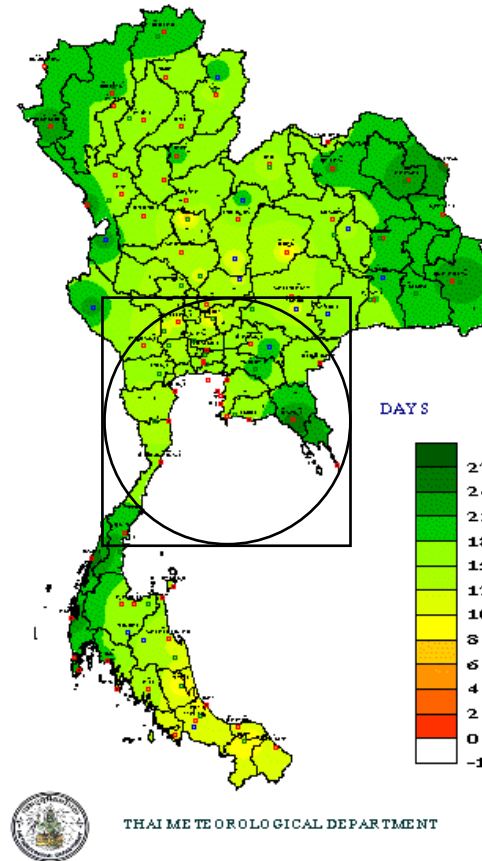
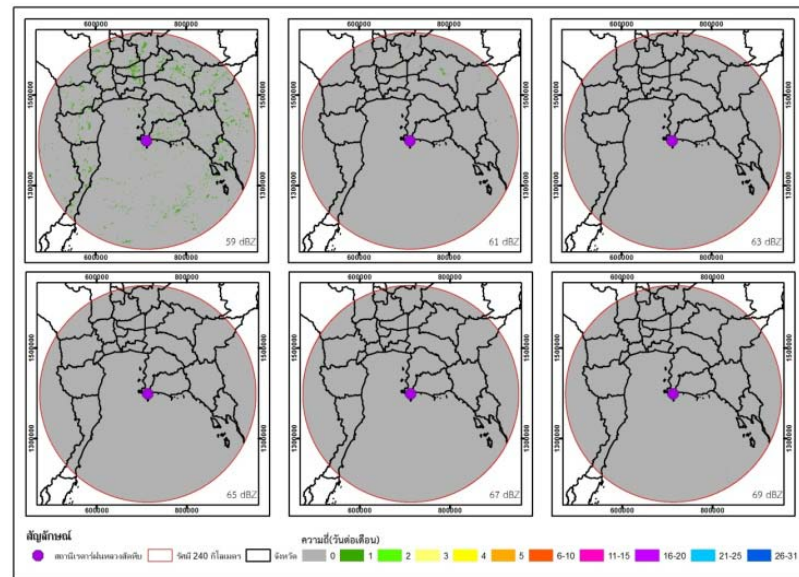
รูปที่ 3.2-2 แสดงความถี่ในการเกิดเมฆแต่ละระดับค่าการสะท้อนจากกลุ่มฝน (ข้อมูลค่าการสะท้อนของกลุ่มฝนจำนวน 18 ระดับ มีค่าการสะท้อนที่ตรวจพบตั้งแต่ 23 -69 dBZ) จากการตรวจวัดที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตรเปรียบเทียบกับ Contour จำนวนวันฝนตกสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดได้จากสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา (ด้านขวา) ของเดือนเมษายน 2557



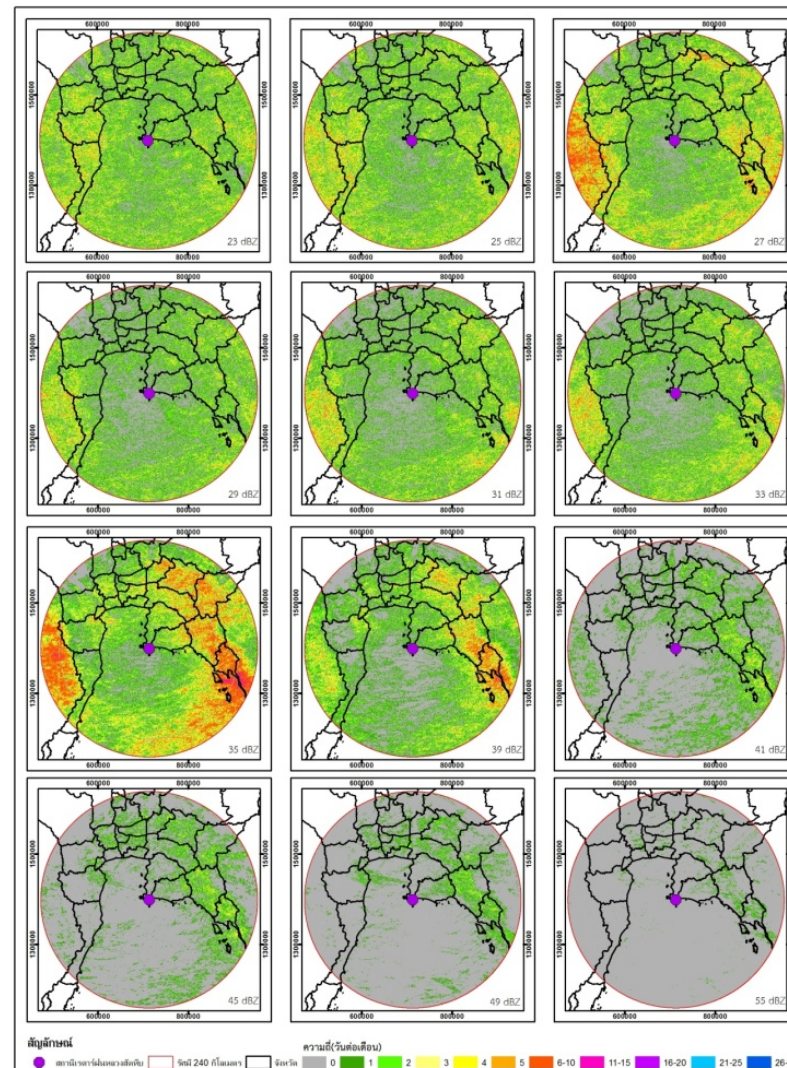




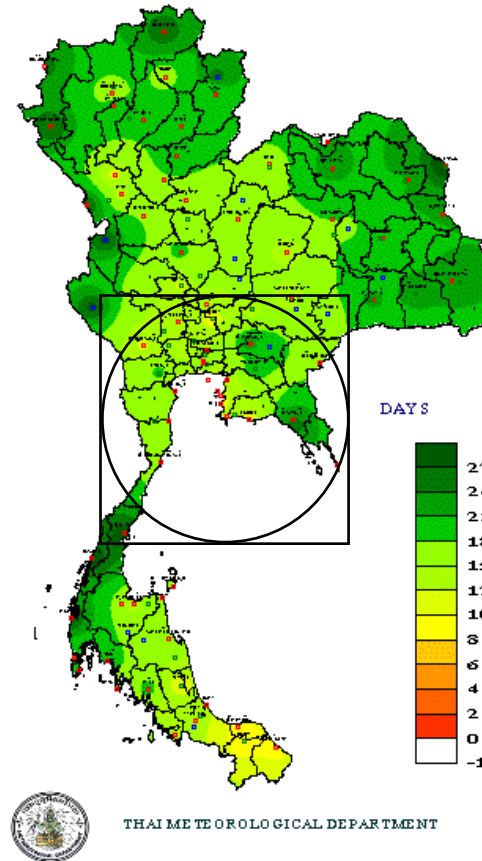
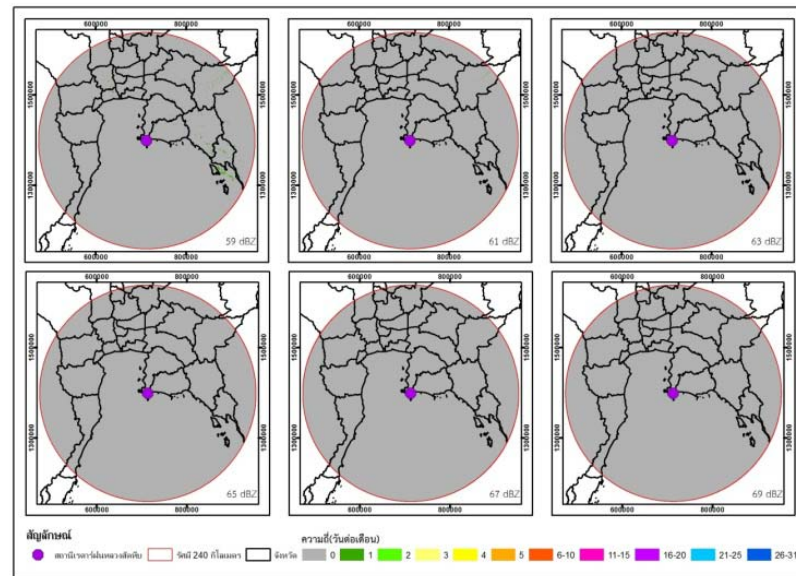
NUMBER OF RAINYDAYS
FROM 1-30 มิถุนายน 2014



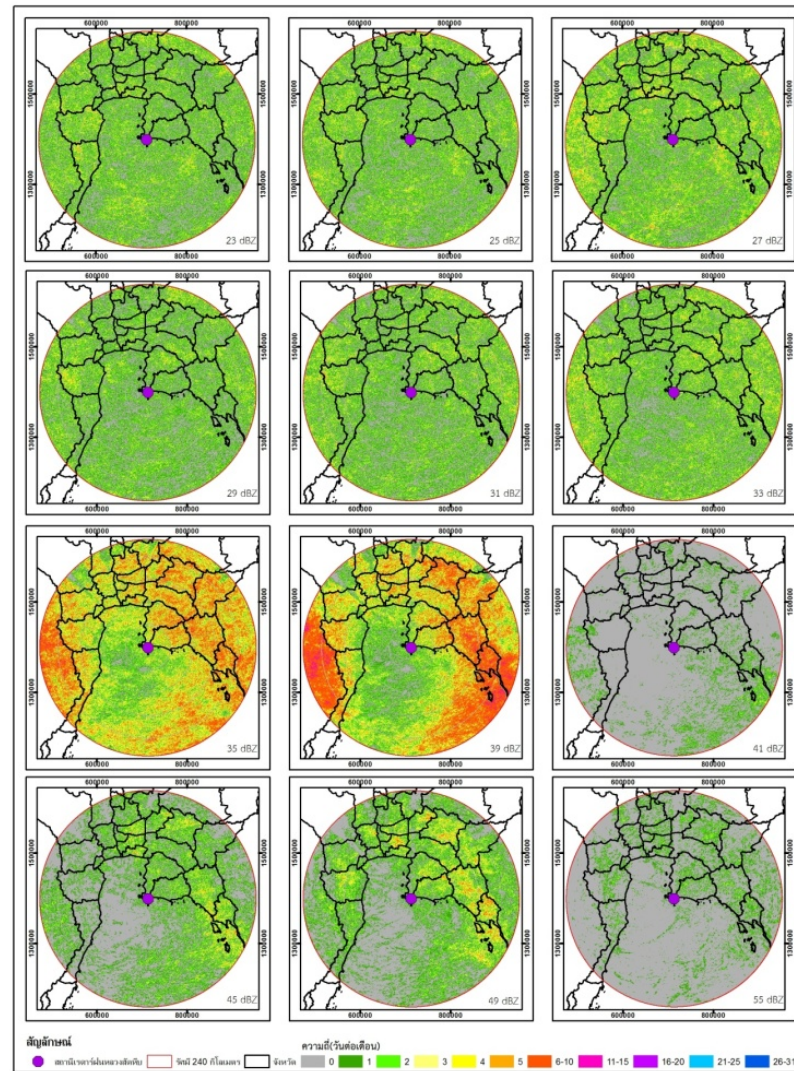
รูปที่ 3.2-4 แสดงความถี่ในการเกิดเมฆแต่ละระดับค่าการสะท้อนจากกลุ่มฝน (ข้อมูลค่าการสะท้อนของกลุ่มฝนจำนวน 18 ระดับ มีค่าการสะท้อนที่ตรวจพบตั้งแต่ 23 -69 dBZ) จากการตรวจวัดที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตรเปรียบเทียบกับ Contour จำนวนวันฝนตกสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดได้จากสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา (ด้านขวา) ของเดือนมิถุนายน 2557



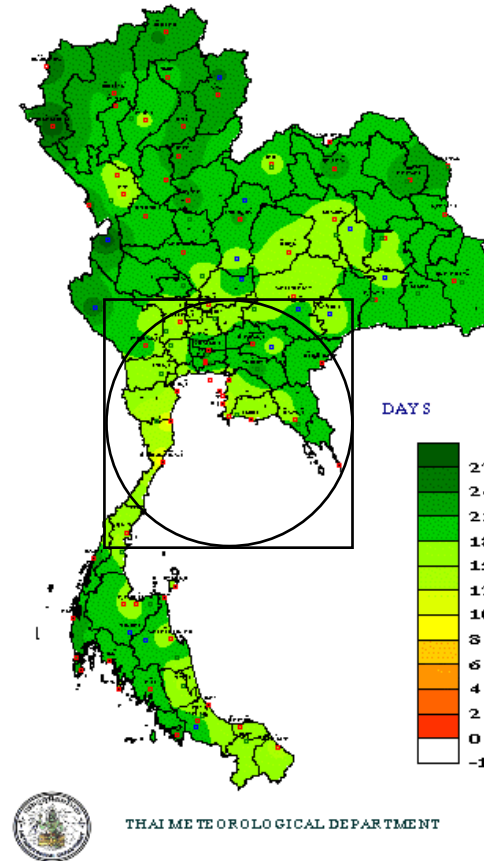
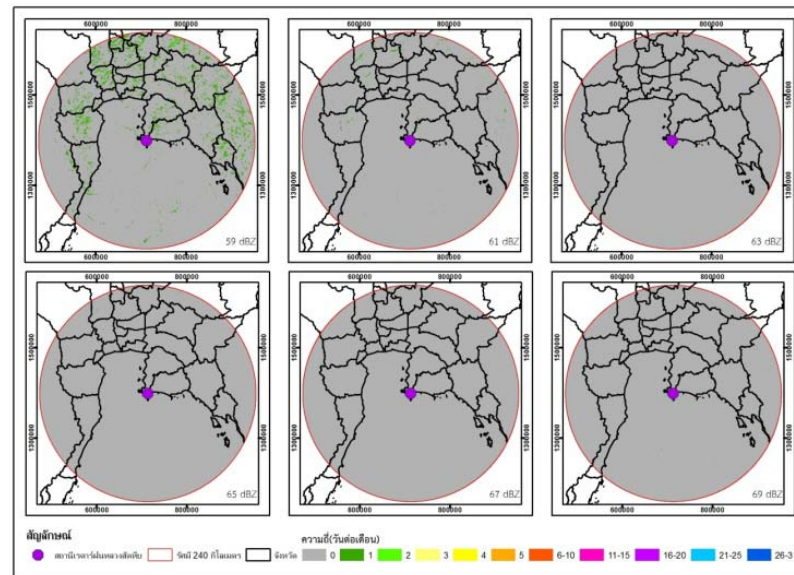
NUMBER OF RAINYDAYS
FROM 1-31 กรกฎาคม 2557



รูปที่ 3.2-5 แสดงความถี่ในการเกิดเมฆแต่ละระดับค่าการสะท้อนจากกลุ่มฝน (ข้อมูลค่าการสะท้อนของกลุ่มฝนจำนวน 18 ระดับ มีค่าการสะท้อนที่ตรวจพบตั้งแต่ 23 -69 dBZ) จากการตรวจวัดที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตรเปรียบเทียบกับ Contour จำนวนวันฝนตกสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดได้จากสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา (ด้านขวา) ของเดือนกรกฎาคม 2557



NUMBER OF RAINYDAYS
FROM 1-31 สิงหาคม 2014



รูปที่ 3.2-6 แสดงความถี่ในการเกิดเมฆแต่ละระดับค่าการสะท้อนจากกลุ่มฝน (ข้อมูลค่าการสะท้อนของกลุ่มฝนจำนวน 18 ระดับ มีค่าการสะท้อนที่ตรวจพบตั้งแต่ 23 -69 dBZ) จากการตรวจวัดที่ระดับความสูง 2.5 กิโลเมตรเปรียบเทียบกับ Contour จำนวนวันฝนตกสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดได้จากสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา (ด้านขวา) ของเดือนสิงหาคม 2557

เอกสารอ้างอิง

- กรมฝนหลวงและการบินเกษตร. 2556, ประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ภาคเหนือ. สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร, กรุงเทพฯ.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2550. ลมมรสุม [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=52>.
- ฉันทิ เดชโยธินและคณะ, 2556. “รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาพัฒนาระบบพยากรณ์สภาวะอากาศชั้นบนช่วยในการตัดสินใจปฏิบัติการฝนหลวง กรณีศึกษา:ภาคกลาง”. ศูนย์ฝนหลวงหัวหิน กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีฝนหลวง กรมฝนหลวงและการบินเกษตร กรุงเทพฯ.
- ภักดี จันทรเกษ. 2549a. กรณีศึกษาการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ทางอุตุนิยมวิทยาขนาดเล็ก จากข้อมูลความเร็วเชิงรัศมีของเครื่องเรดาร์ตรวจอากาศ. สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร, กรุงเทพฯ: 1-8.
- ภักดี จันทรเกษ. 2549b. การใช้โปรดัคส์ BASE ของเครื่องเรดาร์ตรวจอากาศ แบบดอปเพลอร์ในการศึกษาคุณลักษณะของฐานกลุ่มเมฆฝน. สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร, กรุงเทพฯ: 1-10.
- ภักดี จันทรเกษ. 2551. เรดาร์ตรวจสภาพอากาศฝนหลวง. ฝ่ายตรวจสภาพอากาศฝนหลวง สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร, กรุงเทพฯ.
- ภักดี จันทรเกษ และนายกมล ศิริบุรณะภานนท์. 2553. “การตรวจอากาศฝนหลวงด้วยวิทยุหยังอากาศ”. ฝ่ายตรวจสภาพอากาศ ส่วนฝนหลวง สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร , กรุงเทพฯ.
- ภักดี จันทรเกษ และคณะ. 2556. ประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ภาคกลาง. กรมฝนหลวงและการบินเกษตร, กรุงเทพฯ.
- รุจิราพรรณ รุ่งรอด. 2543. ลมฟ้าอากาศ. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, นครปฐม.
- วิทย์ วรคุปต์. 2542. ฝนในประเทศไทย. วารสารชมรมนักอุทกวิทยา ปีที่ 3 ฉบับที่ 1.
- ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น และคณะ. 2552. แผนงานวิเคราะห์ประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงกรณีศึกษา: การประเมินปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ที่ได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง. สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร กรุงเทพฯ.
- สุจิต คุณธนกุลวงศ์, วิรัช ฉัตรตรงค์ และนางสาวอรอนงค์ วรรณราช. 2550. การประเมินและพยากรณ์น้ำฝนจากข้อมูลระยะไกล. หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.

สำนักฝนหลวงการเกษตร. 2552. การประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร, กรุงเทพฯ.

Alfieri, L., Claps, P. and Laio, F. 2010. Time-dependent $Z-R$ relationships for estimating rainfall fields from radar measurements. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10: 149-158.

Brandes, E. A. 1975. Optimizing rainfall estimates with the aid of radar", *Journal of Applied Meteorology*. 14: 1339-1345.

Compliew, S. and Kwanyuen, B. 2007. Hydrologic models with Radar precipitation data input. *Kasetsart Journal (Natural Sciences)*. 41: 782-791.

Doviak, R. J. and Zrnic, D. S. 1993. *Doppler Radar and Weather Observations*. 2nd ed., Dover Publications, Mineola NY, USA : 223-230.

Futon, R.A., Breidenbach, J.P., Seo, D.J., Miller, D.A. and O'Brannon, T. 1998. The WSD-88D rainfall algorithm. *Weather Forecasting*. 13: 377 - 395.

Holton. R. 1996. *Encyclopedia of atmospheric science*. Academic press, London UK: 668-672.

Houze, A., Rutledge, S. A., Biggerstaff, M. I. and Smull, B. F. 1989. Interpretation of Doppler weather radar displays of midlatitude mesoscale convective system. *American Meteorological Society*. 70: 608 - 619.

Huff, F. A. and Towery, N. G. 1978. Utilization of radar in operation of urban hydrologic system. Preprints, 18th Conference on Radar Meteorology, American Meteorological Society, Boston: 437-441.

Joss, J., and Waldvogel, A. 1989. Precipitation estimates and vertical reflectivity profile corrections, *American Meteorological Society*, Boston: 682-688.

Leary, A. and Houze, A. 1978. The Structure and Evolution of Convection in a Tropical Cloud Cluster, *American Meteorological Society*. 36: 437 - 457.

Lee, D. I., Jang, M., You, C. H. , Kim ,K. E., and Suh, A. S. 2001. Kuduck DWSR-88C radar rainfall estimation and ZR relationship by POSS during 2001 in Korea : Department of Environmental and Atmospheric Sciences, Pukyong National University.

Mapiam, P. P. and Sriwongsitanon, N. 2008. Climatological $Z-R$ relationship for radar rainfall estimation in the upper ping river basin. *ScienceAsia*. 34: 215-222.

- Marshall, J. S. and Palmer, W. M. 1948. The distribution of raindrops with size. *Journal of Meteorology*: 5165-166.
- Mushore, T. D. 2012. Gauge measurements and ground-radar observations of rainfall over the Water Board district and Dinkel. University of Twente, Enschede, The Netherlands.
- Pani, A. 1989. A Z-R relation for summertime convective clouds over West Texas. *American Meteorological Society*. 28: 1081 - 1088.
- Piman T. 2007. Development of a window correlation matching method for improved radar rainfall estimation. *J. Hydrology and Earth System Sciences*. 4: 523–554.
- Ronald, E. R. 2004. *Radar for Meteorologists*. 4th ed., Rinehart Publications, Columbia MO, USA.: 96-98.
- Rosenfeld, D., Wolff, D. B., and Atlas, D. 1993. General probability-matched relations between radar reflectivity and rain rate, *Journal of Applied Meteorology*. 32: 50–72.
- Salazar. V. 1999. <http://www.rap.ucar.edu/staff/vidal/aerosols/>.
- Shelton, M. L. 2009. *Hydroclimatology: perspectives and applications*. Cambridge: Cambridge University.
- Steiner, M., Houze R. A. and Yuter S. E. 1978. Climatological Characterization of Three-Dimensional Storm Structure from Operational Radar and Rain Gauge Data. *Journal of Applied Meteorology*. 34: 1978-2007.
- Ulbrich, C. W. and Lee, L. G. 1999. Rainfall Measurement Error by WSR-88D Radars due to Variations in Z-R Law Parameters and the Radar Constant. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 16: 1017-24.
- Woodley, W. and Herndon, A. 1970. A Rainage Evaluation of the Miami Reflectivity-Rainfall Rate Relation. *Journal of Applied Meteorology*. 9: 258-264.
- Woodley, W., Oslon, A., Herndon, A. and Wiggert, V. 1974. Optimizing the measurement of convective rainfall in Florida. NOAA Tech. Memo. ERL-WMOP-18, Boulder, CO. USA.





สถานีเรดาร์ฝนหลวงสัต์หีบ จ. ระยอง