

การประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่สำหรับประเมินปริมาณน้ำฝน  
ในกรุงเทพมหานคร



นายบุญชนะ ทวีรัตน์

ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN APPLICATION OF A SPATIAL CASCADE MODEL FOR ESTIMATING RAINFALL  
IN BANGKOK METROPOLITAN



Mr. Boonchana Taweerat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Water Resources Engineering

Department of Water Resources Engineering

Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่สำหรับประเมินปริมาณน้ำฝนในกรุงเทพมหานคร

โดย

นายบุญชนะ ทวีรัตน์

สาขาวิชา

วิศวกรรมแหล่งน้ำ


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์

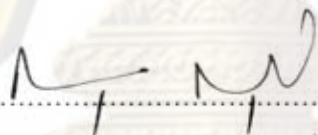
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

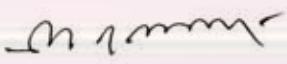
อาจารย์ ดร.วิรัช ฉัตรตรงค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

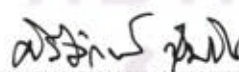
  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนिरองศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(อาจารย์ ดร.วิรัช ฉัตรตรงค์)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(อาจารย์ ดร.ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น)

ศูนย์วิทยุโทรพยากรณ์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


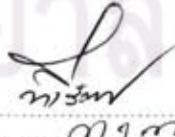
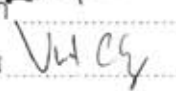


บุญชนะ ทวีรัตน์ : การประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่สำหรับประเมินปริมาณ  
น้ำฝนในกรุงเทพมหานคร. (AN APPLICATION OF A SPATIAL CASCADE MODEL  
FOR ESTIMATING RAINFALL IN BANGKOK METROPOLITAN) อ.ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ.ดร. วิรัช  
ฉัตรตรงค์ 147 หน้า.

เรดาร์ตรวจอากาศเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพชนิดหนึ่งสำหรับการตรวจวัดปริมาณฝน  
เชิงพื้นที่และติดตามการเคลื่อนตัวของกลุ่มฝน ปัจจุบันหน่วยงานในประเทศไทยได้นำเอาข้อมูล  
เรดาร์มาใช้เพื่อหาการเคลื่อนที่และประมาณปริมาณน้ำฝนร่วมกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดฝน  
ภาคพื้นดิน วิธีการประมาณน้ำฝนที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้นมักกระทำโดยการปรับแก้ข้อมูล  
เรดาร์ด้วยข้อมูลน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง แต่วิธีการ  
ดังกล่าวมักมีความคลาดเคลื่อนสูงแม้ว่าจะมีการปรับแก้ฝนสะสมโดยรวมให้ตรงกันแล้วก็ตาม  
แนวทางหนึ่งในการปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนจากสถานีเรดาร์สามารถทำได้โดยการใช้  
แบบจำลองที่พิจารณาถึงความสัมพันธ์ของน้ำฝนเชิงพื้นที่และสามารถรวมข้อมูลฝนจากหลายๆ  
แหล่งเข้าด้วยกันได้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองฝนเชิงพื้นที่แบบลำดับชั้น  
(Cascade Rainfall Model) เพื่อปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนจากสถานีเรดาร์ด้วยการรวม  
ข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน การใช้แบบจำลองดังกล่าวนอกจากจะได้ประโยชน์จาก  
การรวมข้อมูลจากหลายเครื่องมือวัดแล้วยังใช้ประโยชน์จากความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และข้อมูล  
โดยรอบเพื่อปรับปรุงค่าประมาณที่แต่ละตำแหน่ง ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นอีกด้วย ผล  
การศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถเพิ่มความถูกต้องในการประมาณปริมาณน้ำฝนได้เพียง  
เล็กน้อย แต่สามารถช่วยเติมข้อมูลที่ขาดหายไปได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ จากความง่าย  
ในการใช้งานและความรวดเร็วในการคำนวณแนวทางดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อรวม  
ข้อมูลฝนจากแหล่งข้อมูลอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น จากดาวเทียมตรวจอากาศ หรือใช้เพื่อประมาณ  
ปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่ของประเทศไทยจากหลายเครื่องมือตรวจวัดเพื่อให้มีความสมบูรณ์และ  
ถูกต้องเพิ่มขึ้นต่อไป

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ  
สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ  
ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนิสิต   
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก   
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม 

## 4970408921 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS : HYDROLOGY / RADAR RAINFALL / SPATIAL CASCADE MODEL /  
SCALE RECURSIVE ESTIMATION / EXPECTATION MAXIMIZATION

BOONCHANA TAWEEERAT : AN APPLICATION OF A SPATIAL CASCADE  
MODEL FOR ESTIMATING RAINFALL IN BANGKOK METROPOLITAN.

ADVISOR : ASSOC.PROF.Ph.D., SUCHARIT KOONTANAKULVONG , CO-  
ADVISOR : Ph.D., VIRAT CHATDARONG, 147 pp.

Radar is one of the most effective instruments for monitoring spatial rainfall intensity and estimating rainfall movement. In Thailand, radar has been widely employed to detect rainfall movements and to estimate rainfall rate in conjunction with rain-gauge measurements. A traditional method for estimating rainfall rate from radar is done by using a linear regression model between gauge and radar information. This method usually produces inaccurate result, although the cumulative rainfall rate has been adjusted to that obtained from the gauges. One way to improve the accuracy is to use a spatial rainfall model to incorporate nearby observations and combine multiple rainrate measurements together.

This thesis illustrates an application of using the Cascade Rainfall Model to improve radar rainrate estimate by incorporating spatial information and combining gauge data. Not only does the spatial model benefit from having multiple sources of measurements, but it also makes use of neighbor information to improve rainfall estimation. Even though the result shows that this technique slightly improves the accuracy, it can fill-in missing data reasonably well. Due to its simplicity and effectiveness, this technique can be applied for merging other rainfall measurement sources such as satellite observations, and be employed to provide comprehensive and real-time rainfall estimate of Thailand in the near future.

Department : Water Resources Engineering Student's Signature *Jamurat B.*  
Field of Study : Water Resources Engineering Advisor's Signature *S.uchant*  
Academic Year : 2008 Co-Advisor's Signature *Virat Chy*



## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์ และ อาจารย์ ดร.ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น ซึ่งได้กรุณาแนะนำแนวทางและให้คำแนะนำในการวิจัยครั้งนี้ และข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.วิรัช ฉัตรตรงค์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำอบรมสั่งสอน ทั้งในด้านทฤษฎีวิชาการต่างๆ รวมถึงหลักการปฏิบัติ และคอยให้กำลังใจ ในการทำวิทยานิพนธ์อันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าอย่างเอาใจใส่มาโดยตลอด ทั้งนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาและอบรมสั่งสอนและให้ข้อคิดต่างๆ รวมถึงปรัชญาการใช้ชีวิตอันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการศึกษาและในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้โอกาสทางการศึกษา และขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ บุคลากร เครื่องมือและอุปกรณ์ในการศึกษา ขอขอบพระคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้โอกาสเข้าร่วมศึกษาในโครงการศึกษาวิจัย และอุปกรณ์การศึกษา รวมถึงสนับสนุนเงินทุนบางส่วนในการศึกษาครั้งนี้แก่ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร ที่อนุเคราะห์ข้อมูลเรดาร์ภาพสีเจริญและข้อมูลน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดฝน ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ขอขอบคุณ พี่ เพื่อน น้อง วิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ขอขอบคุณและไว้อาลัยแด่น้อง อารักษ์ เขียวแก้ว ผู้ล่วงลับ รวมทั้งบุคคลท่านอื่นๆ ที่มีได้กล่าวนาม ที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ และคอยเป็นกำลังใจ ให้แก่ข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบพระคุณ บิดา มารดา และ คุณยาย ของข้าพเจ้าผู้ซึ่งเลี้ยงดูข้าพเจ้ามาด้วยความเหนื่อยยากเพื่อการศึกษาของข้าพเจ้าและคอยให้ความรักแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ขอพระขอบคุณพี่ชายทั้งสอง รวมถึงญาติพี่น้องของข้าพเจ้า ที่คอยให้ความช่วยเหลือและกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้าด้วยดีมาโดยตลอด หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติรวมถึงคุณค่าทางวิชาการแล้วข้าพเจ้าขอมอบคุณความดีให้ท่านดังกล่าว

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.4 การศึกษาที่ผ่านมา.....	4
1.5 แนวทางการศึกษา.....	9
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	12
บทที่ 2 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา.....	13
2.1 สภาพภูมิประเทศ.....	13
2.2 สภาพภูมิอากาศ.....	15
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการทำงานของเรดาร์.....	16
3.1 ประวัติของเรดาร์.....	16
3.2 หลักการทำงานของเรดาร์.....	17
3.3 สมการพื้นฐานของเรดาร์.....	18
3.4 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับกับความเข้มฝน.....	21
บทที่ 4 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา.....	23
4.1 แนวทางการรวมข้อมูลฝน.....	23

	หน้า
4.2 ตัวกรองของคาลมานและการปรับแบบราบเรียบ.....	26
4.3 การประมาณของการปรับสเกล SRE.....	29
4.4 แบบจำลองฝนแบบลำดับขั้นเชิงพื้นที่.....	31
4.5 การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM.....	33
4.6 สมการความสัมพันธ์ของ Z-R.....	34
บทที่ 5 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	37
5.1 โครงสร้างของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	37
5.1.1 ข้อมูลเรดาร์.....	37
5.1.2 ข้อมูลฝน.....	38
5.2 การคัดเลือกเหตุการณ์ฝนเพื่อใช้ในการศึกษา.....	41
5.3 การเตรียมข้อมูลเรดาร์และข้อมูลฝนสะสมที่ใช้ในแบบจำลอง.....	44
5.3.1 การเตรียมข้อมูลเรดาร์.....	44
5.3.2 การเตรียมข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตร.....	45
บทที่ 6 การทดลองแบบจำลองสถิติฝนเชิงพื้นที่ด้วยข้อมูลสังเคราะห์.....	47
6.1 การทดสอบเทคนิค SRE ด้วยข้อมูลสังเคราะห์.....	47
6.2 การทดสอบหาพารามิเตอร์ฝนด้วยเทคนิค EM ด้วยข้อมูลสังเคราะห์.....	52
6.3 สรุปผลการทดสอบหาแบบจำลองและพารามิเตอร์ฝนจากข้อมูลสังเคราะห์ โดยพิจารณาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง SRE.....	53
6.4 สรุปผลการทดสอบหาแบบจำลองและพารามิเตอร์ฝนจากข้อมูลสังเคราะห์....	57
บทที่ 7 การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถิติในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	58
7.1 การทดสอบสมมติฐานการกระจายแบบลิคอปติ.....	58
7.2 การทดสอบรูปแบบค่าพารามิเตอร์.....	59
7.3 การหาค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลฝนด้วยเทคนิค EM.....	60
7.4 สรุปขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถิติเชิงพื้นที่.....	66
7.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับขั้นเชิงพื้นที่ในบริเวณกรุงเทพมหานคร.....	69
7.6 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองลำดับขั้นกับวิธีของ Thiessen Polygons.....	72



บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	81
8.1 สรุปผลการศึกษากการประยุกต์ใช้แบบจำลองในพื้นที่ศึกษา.....	81
8.2 ข้อเสนอแนะจากการศึกษา.....	82
8.3 ข้อจำกัดของแบบจำลอง.....	83
8.4 แนวทางการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม.....	83
รายการอ้างอิง.....	84
ภาคผนวก.....	88
ก ตัวอย่างผลการประยุกต์การตรวจสอบข้อมูลด้วยวิธี Double mass curve.....	89
ข ตัวอย่างผลการจำลองการหาพารามิเตอร์ด้วยข้อมูลสังเคราะห์.....	95
ค ตัวอย่างการทดสอบค่าความแปรปรวนสะสมและอัตราส่วนลอการิทึมและการพล็อตเหตุการณ์ปกติ.....	102
ง ตัวอย่างผลการจำลองหาพารามิเตอร์ด้วยข้อมูลฝนจริงและการพิจารณาความเข้มการตรวจที่สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์.....	107
จ ตัวอย่างผลการจำลองด้วยแบบจำลองลำดับชั้น $a = 128$ , $b = 1.5$ , + 5 dBZ และ $a = 200$ , $b = 1.6$ .....	116
ช ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบฝนก่อนและหลังแบบจำลองลำดับชั้นกับวิธี Thiessen Polygons.....	121
ซ โปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	126
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	147

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2 - 1	สภาพภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนของกรุงเทพมหานคร.....	15
3 - 1	การแบ่งชนิดของเรดาร์.....	20
3 - 2	สมการ Z-R กับประเภทของฝนที่เหมาะสม.....	22
4 - 1	การจำแนกประเภทฝนกับค่าการสะท้อนกลับ (Radar Reflectivity).....	35
5 - 1	ตัวอย่างข้อมูลฝนสะสมจากสถานีตรวจวัด E01.....	38
5 - 2	รายชื่อและที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนระบบ SCADA.....	39
5 - 3	รายชื่อและที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนระบบ SCADA (ต่อ).....	40
5 - 4	รายละเอียดเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษา.....	43
7 - 1	การเปรียบเทียบก่อนและหลังจากแบบจำลอง $a = 200, b = 1.6$ กับวิธี Thiessen Polygons.....	76
7 - 2	การเปรียบเทียบก่อนและหลังจากแบบจำลอง $a = 200, b = 1.5, +5 \text{ dBZ}$ กับวิธี Thiessen Polygons.....	77


  
**ศูนย์วิทยทรัพยากร**  
**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1 - 1	ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา.....	11
2 - 1	พื้นที่ศึกษา.....	14
3 - 1	หลักการงานของเรดาร์.....	17
4 - 1	ตัวอย่างการผสมข้อมูลค่าเริ่มต้น(Prior)และค่าตรวจวัด(Measurement) เพื่อให้ได้ข้อมูลหลังการปรับแก้(Posterior).....	25
4 - 2	ตัวอย่างการจำลองหลักการคำนวณตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter).....	27
4 - 3	หลักการคำนวณของตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) ที่ช่วงเวลาคงที่และการ คำนวณแบบย้อนกลับ RTS Smoothing.....	28
4 - 4	แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ย่อยต่างๆ ในลักษณะคล้ายต้นไม้หัว กลับหรือประมิดในแบบจำลองลำดับขั้น.....	29
4 - 5	การเลือกค่า R ให้เป็นช่วงเวลาเดียวกับค่า Z.....	34
4 - 6	ข้อมูลรูปภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดกลุ่มฝนจากสถานีเรดาร์ภาชีเจริญ.....	36
5 - 1	ข้อมูลรูปภาพที่ได้การวัดปริมาณน้ำฝนด้วยสถานีเรดาร์ภาชีเจริญที่ระยะห่าง หน่วย 0.5 กิโลเมตร จากสถานีเรดาร์ภาชีเจริญ.....	37
5 - 2	การประยุกต์การทดสอบการคงตัวของข้อมูลด้วยวิธี Double Mass Curve เพื่อใช้ในเหตุการณ์.....	41
5 - 3	การทดสอบการคงตัวของข้อมูลด้วยวิธี Double Mass Curve เหตุการณ์ ที่คัดเลือกจากภาพเรดาร์ที่ยากต่อการปรับแก้.....	42
5 - 4	ตัวอย่างข้อมูลการทดสอบการคงตัวของข้อมูลด้วยวิธี Double Mass Curve ของเหตุการณ์ ก่อนปรับแก้ซ้ายมือและหลังปรับแก้ขวามือ.....	42
5 - 5	ตัวอย่างการแปลงความเข้มการตรวจให้เป็นความเข้มฝนของเหตุการณ์ ณ วันที่ 30 พ.ค 2548.....	46
5 - 6	ตัวอย่างแสดงข้อมูลความเข้มฝนจากสถานีเรดาร์ภาชีเจริญ (ซ้าย) และ จาก สถานีโทรมาตรกรุงเทพมหานคร (ขวา) เมื่อวันที่ 30 พ.ค 2548 เวลา 19:20... 46	46
6 - 1	ขั้นตอนการทดสอบแบบจำลอง SRE จากข้อมูลสังเคราะห์.....	48
6 - 2	ค่าจริงจากการสังเคราะห์สเกลที่ 1 - 8.....	49



รูปที่		หน้า
6 - 3	ค่าจริงจากการสังเคราะห์ (ด้านซ้ายมือ) ค่าการตรวจวัด (ด้านขวามือ) สเกลที่ 7 – 8.....	50
6 - 4	การทดสอบข้อมูลสังเคราะห์การเปรียบเทียบ RMSE โดยวิธี Monte Carlo.....	51
6 - 5	ตัวอย่างการทดสอบการหาพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ข้อมูลสังเคราะห์.....	53
6 - 6	ตัวอย่างการทดสอบการหาพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM พิจารณามลกระทบ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง SRE กรณีเลื่อนขึ้นบนและลงล่าง.....	54
6 - 7	ตัวอย่างการทดสอบการหาพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ข้อมูลสังเคราะห์การ เปรียบแต่ละสเกลโดยวิธีการ Monte Carlo กรณีเลื่อนขึ้นบนและลงล่าง.....	55
6 - 8	ตัวอย่างการทดสอบการหาพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM โดยการเฉลี่ยค่าของ Q สเกล 5-7 และค่า R สเกล 7 โดยวิธีการ Monte Carlo กรณีเลื่อนขึ้นบนและลง ล่าง.....	56
7 - 1	ตัวอย่างการทดสอบการการกระจายตัวของฝนแบบล็อกปกติ (Log – Normal Distribution) ของเหตุการณ์ฝนด้านซ้ายเป็นข้อมูลวันที่ 30-5-48 เวลา 19:40 และด้านขวามือเป็นข้อมูล ณ เหตุการณ์วันที่ 31-6-49 เวลา 16:10.....	58
7 - 2	ตัวอย่างการทดสอบค่าความแปรปรวนสะสมและอัตราส่วนลอการิทึมของ (Length Scale Ratio) ของเหตุการณ์ฝนด้านซ้ายเป็นข้อมูลวันที่ 30-5-48 เวลา 19:30 และด้านขวามือเป็นข้อมูล ณ เหตุการณ์วันที่ 29-6-48 เวลา 17:40.....	59
7 - 3	ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM.....	61
7 - 4	ตัวอย่างการทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ด้วยข้อมูลฝน ของเหตุการณ์ฝนข้อมูลวันที่ 30-05-48 เวลา 18:30, วันที่ 23-06-48 เวลา 18:30 และ วันที่ 29-06-48 เวลา 17:40.....	62
7 - 5	ตัวอย่างการทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ด้วยข้อมูลฝน ณ เหตุการณ์ฝนข้อมูลวันที่ 30-05-48 เวลา 18:40, 18:50, 19:00 ในกรณี ที่พิจารณาค่าความเข้มสูง.....	63
7 - 6	ตัวอย่างการทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ด้วยข้อมูลฝนจริง ณ เหตุการณ์ฝนข้อมูลวันที่ 13-07-48 เวลา 10:30, 10:50, 11:00 ในกรณี ที่ พิจารณาค่าความเข้มต่ำ.....	64

รูปที่		หน้า
7 - 7	สรุปผลการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ Q(s) ของระดับ สเกล 5 - 8 และ R(s) ที่สเกล 8.....	65
7 - 8	ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่.....	68
7 - 9	ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่จากการรวมข้อมูลเรดาร์ และ สถานีตรวจวัดแบบโทรมาตร (บน) วันที่ 30 พ.ค 2548 เวลา 18:10 (ล่างซ้าย) ฝนจากสถานีตรวจวัดโทรมาตร (ล่างขวา) ฝนจากเรดาร์.....	70
7 - 10	การเพิ่มเติมข้อมูลจากแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่ในบริเวณวงสีแดงภายใน รัศมี 5 กิโลเมตร วันที่ 30 พ.ค 2548 เวลา 18:50, 19:00 และ 19:10.....	71
7 - 11	แสดงการเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองลำดับชั้นและฝนจากวิธี Thiessen Polygons ณ เหตุการณ์ วันที่ 30 พ.ค 2548 เวลา 18:10.....	72
7 - 12	การเปรียบเทียบผลการจำลองโดยใช้ค่า $a = 128$ , $b = 1.5$ ก่อนและหลังเข้าสู่ แบบจำลองลำดับชั้นกับฝนจากวิธี Thiessen Polygons วันที่ 30 พ.ค 2548 เวลา 18:20, 18:30, 19:40, 19:50.....	73
7 - 13	การเปรียบเทียบผลการจำลองโดยใช้ค่า $a = 128$ , $b = 1.5$ , +5 dBZ ก่อนและหลัง เข้าสู่ แบบจำลองลำดับชั้นกับฝนจากวิธี Thiessen Polygons วันที่ 30 พ.ค 2548 เวลา 18:20, 18:30, 19:40, 19:50.....	74
7 - 14	การเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองโดยใช้ค่า $a = 200$ , $b = 1.6$ .....	78
7 - 15	การเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองโดยใช้ค่า $a = 128$ , $b = 1.5$ , +5dBZ.....	78
7 - 16	การเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองโดยใช้ค่า $a = 200$ , $b = 1.6$ และ $a = 12$ $b = 1.5$ , +5 dBZ, Thiessen Polygons.....	78
7 - 17	กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างฝนที่ได้จากความสัมพันธ์ Z-R และ ฝนที่ได้จากแบบจำลองลำดับชั้น กับวิธี Thiessen Polygons.....	79
7 - 18	การเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองโดยใช้ค่า $a = 128$ , $b = 1.5$ , +5 dBZ ก่อน และหลังเข้าสู่แบบจำลองกับฝนจากสถานีตรวจวัดของเหตุการณ์ วันที่ 30 - 05 - 2548.....	80
7 - 19	การเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองโดยใช้ค่า $a = 128$ , $b = 1.5$ , +5 dBZ ก่อน และหลังเข้าสู่แบบจำลองกับฝนจากสถานีตรวจวัดของเหตุการณ์ วันที่ 13 - 05 - 2548.....	80

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$X^+$	ค่าประมาณเชิงเส้นที่มีคลาดเคลื่อนกำลังสองต่ำที่สุด (Linear Least Square Estimate, LLSE)
$X^-$	ค่าเริ่มต้นหรือค่าพยากรณ์จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ (Prior)
$Z^-$	ค่าตรวจวัด (Measurement)
$\sigma^2$	ค่าความแปรปรวน (Variance) ของกลุ่มตัวอย่าง
$K$	ค่าสัมประสิทธิ์ของคาลมาน (Kalman Gain)
$w(s)$	ตัวแปรสุ่มแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยศูนย์เท่ากับศูนย์และมีความแปรปรวนเท่ากับ $Q(s)$
$v(s)$	ตัวแปรสุ่มแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยศูนย์เท่ากับศูนย์และมีความแปรปรวนเท่ากับ $R(s)$
$Q_x(s)$	ค่าความแปรปรวน (Variance) ของ $X^+$ ซึ่งมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) กรณีปกติ
$R_x(s)$	ค่าความแปรปรวน (Variance) ของ $Z^-$ ซึ่งมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) กรณีปกติ
$Q_y(s)$	ค่าความแปรปรวน (Variance) ของ $X^+$ ซึ่งมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) กรณีเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง
$R_y(s)$	ค่าความแปรปรวน (Variance) ของ $Z^-$ ซึ่งมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) กรณีเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง
$Q_x$	ค่าความเฉลี่ยสเกล 5 - 7 ความแปรปรวน (Variance) ของ $X^+$ ซึ่งมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) กรณีปกติ
$Q_y$	ค่าความเฉลี่ยสเกล 5 - 7 ความแปรปรวน (Variance) ของ $X^+$ ซึ่งมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) กรณีเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง
$R_x$	ค่าความเฉลี่ยสเกล 5 - 7 ความแปรปรวน (Variance) ของ $Z^-$ ซึ่งมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) กรณีปกติ
$R_y$	ค่าความเฉลี่ยสเกล 5 - 7 ความแปรปรวน (Variance) ของ $Z^-$ ซึ่งมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) กรณีเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้อมูลลักษณะ ความชื้น และตำแหน่งของฝนที่เป็นปัจจุบัน (Real-time) มีความสำคัญอย่างมากในงานวิศวกรรม เช่น ในการจัดการและการออกแบบวางแผน ทรัพยากรน้ำ เพราะฝนเป็นจุดเริ่มต้นของวัฏจักรอุทกวิทยา ก่อนที่จะหมุนเวียนไปเป็นน้ำท่า น้ำใต้ดินและระเหยกลับไปสู่ชั้นบรรยากาศต่อไป นอกจากนี้ยังเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ ปริมาณน้ำที่มีมากหรือน้อยจนเกินไปก็สามารถทำให้เกิดโทษและความเสียหายแก่มนุษย์ได้ ด้วยเหตุนี้หากเราสามารถทราบข้อมูลปริมาณน้ำฝนและตำแหน่งของฝนเชิงที่เป็นปัจจุบันอย่างทั่วถึงและถูกต้องนั้นจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำและการเตือนภัยต่างๆ

แม้ว่าเราจะตระหนักถึงความสำคัญของข้อมูลน้ำฝนและพยายามตรวจวัดข้อมูลดังกล่าวอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลานาน แต่การประมาณข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์นั้นเป็นเรื่องที่ยุ่งยากโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการประมาณที่เป็นปัจจุบันในพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ การใช้เครื่องมือตรวจเพียงชนิดเดียว เช่น จากสถานีตรวจวัดเพียงลำพัง อาจไม่เพียงพอที่จะให้ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงหรือมีความสมบูรณ์เชิงพื้นที่มากนัก ในปัจจุบันเรดาร์ได้เข้ามามีบทบาทในการประยุกต์ใช้ด้านอุตุนิยมวิทยามากขึ้น เรดาร์เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการสำรวจและรวบรวมข้อมูลสภาพอากาศเพราะสามารถเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ความละเอียดสูงได้ค่อนข้างครบถ้วน รวมทั้งสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและสะดวกสบายกว่าการตรวจวัดโดยสถานีวัดน้ำฝนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ห่างไกลยากจะเข้าถึง จากประโยชน์ที่กล่าวมานี้จึงได้มีการนำเทคโนโลยีด้านเรดาร์เข้ามาช่วยในการสำรวจเก็บรายละเอียดและพฤติกรรมของฝนรวมทั้งระบุนขนาดและตำแหน่งของฝนที่ตกอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวในการพยากรณ์ฝนล่วงหน้าอีกด้วย

สำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานครได้มีการนำเรดาร์มาติดตั้งเพื่อติดตามและเก็บรายละเอียดของฝน เช่น ความชื้นฝน ทิศทางการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน เป็นต้น การตรวจข้อมูลน้ำฝนด้วยเรดาร์มีข้อจำกัดที่ว่า ข้อมูลดิบที่ได้จากการตรวจวัดเป็นความชื้นการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ที่สะท้อนมาจากกลุ่มหยดน้ำในอากาศ (Radar Reflectivity) ไม่ใช่เป็นการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนที่ตกลงบนพื้นที่โดยตรงเช่นเดียวกับการตรวจวัดด้วยสถานีภาคพื้นดิน ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการ

แปลงค่าของคลื่นสะท้อนมาเป็นปริมาณน้ำฝน รวมทั้งต้องปรับค่าให้สอดคล้องกับปริมาณฝนที่ตกถึงพื้นดิน อย่างไรก็ตามวิธีข้อมูลน้ำฝนที่ได้จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศมีข้อได้เปรียบ ข้อมูลจากสถานีตรวจวัด ตรงที่มีความละเอียดค่อนข้างสูงทั้งเชิงเวลาและพื้นที่ สามารถเข้าถึงได้รวดเร็ว มีความสมบูรณ์และมีวิธีที่มีทำการครอบคลุมบริเวณกว้างจึงทำให้สามารถบอกลักษณะของฝนได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่องมากกว่าการ

การนำข้อมูลเรดาร์มาใช้จำเป็นต้องมีการแปลงข้อมูลตรวจวัดที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสะท้อนจากมวลน้ำในอากาศมาเป็นปริมาณน้ำฝน การปรับแก้ข้อมูลฝนจากสถานีเรดาร์ในปัจจุบัน มักกระทำโดยการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณฝนสะสมที่ได้จากสถานีตรวจวัดในหน่วยมิลลิเมตรต่อชั่วโมงกับข้อมูลคลื่นสะท้อนกลับของภาพเรดาร์ ณ ตำแหน่งและเวลาที่สอดคล้องกัน จากนั้นจึงวิเคราะห์ด้วยสมการความถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) แนวทางดังกล่าวจำเป็นต้องมีการรวบรวมข้อมูลในอดีตเป็นจำนวนมาก และไม่สามารถดำเนินการแบบเป็นปัจจุบัน (Real-Time) ได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากวิธีการดังกล่าวไม่ได้นำข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดน้ำฝนมาปรับแก้ข้อมูลเรดาร์ตำแหน่งและเวลาเดียวกันโดยตรง ซึ่งที่ตำแหน่งดังกล่าวข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดมักมีความถูกต้องมากกว่า นอกจากนี้ความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ได้มักมีการกระจายตัวของข้อมูลที่สูง อีกทั้งวิธีการดังกล่าวยังไม่สามารถเติมเต็มข้อมูลที่ขาดหายไปได้ ด้วยเหตุนี้ข้อมูลน้ำฝนจากเรดาร์ที่ผ่านการปรับแก้ด้วยวิธีการดังกล่าวยังคงมีความคาดเคลื่อนและไม่สมบูรณ์ครบถ้วน ส่งผลให้หน่วยงานและบุคลากรต่างๆ ที่ต้องการข้อมูลปริมาณน้ำฝนเพื่อไปใช้ในการวางแผน การปฏิบัติงาน หรือการเตือนภัย ขาดความเชื่อมั่นในข้อมูลจากสถานีเรดาร์ ถึงแม้ว่าเรดาร์จะสามารถแสดงลักษณะและตำแหน่งของฝนเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วกว่าการใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนก็ตาม

จากข้อจำกัดในเรื่องความถูกต้องและความไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ในการการประมาณปริมาณฝนจากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศที่ได้กล่าวมาทั้งหมด ผนวกกับความต้องการในการใช้ประโยชน์จากข้อมูลฝนเชิงพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพผู้วิจัยจึงได้นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับชั้นของฝนเชิงพื้นที่ (Cascade Rainfall Model) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของน้ำฝนเชิงพื้นที่ในสภาพปัจจุบันที่มีความถูกต้องมากขึ้นและช่วยเติมข้อมูลฝนจากเรดาร์ในส่วนที่ขาดหายไปให้สมบูรณ์อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อทบทวนถึงหลักการทำงานของระบบเรดาร์และการประยุกต์ใช้เรดาร์ในงานอุทกวิทยา
2. เพื่อทบทวนหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลกลุ่มฝนจากเรดาร์กับข้อมูลน้ำฝนจากกลุ่มสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินจากความสัมพันธ์ Z-R โดยวิธีการปรับแก้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear Regression Equation Adjustment )
3. เพื่อศึกษาและประยุกต์การใช้แบบจำลองสถิติของลักษณะฝนเชิงพื้นที่ (Cascade Rainfall Model) ในการประมาณน้ำฝนโดยการรวมข้อมูลจากสถานีเรดาร์และสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินเข้าด้วยกัน

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. การศึกษาแบบจำลองสถิติของลักษณะฝนเชิงพื้นที่ ในครั้งนี้จะศึกษาเฉพาะพื้นที่ในบริเวณเขตกรุงเทพมหานครเท่านั้น
2. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่จากสถานีตรวจวัดน้ำฝนภาคพื้นดินที่มีเครื่องวัดฝนอัตโนมัติ และข้อมูลคลื่นการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Radar Reflectivity) จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคีเจริญของสำนักกระบายน้ำ กรุงเทพมหานครเท่านั้น
3. คัดเลือกเหตุการณ์ฝนที่เหมาะสม และทำการปรับแก้ข้อมูลที่ผิดพลาด กับเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นโดยการเปรียบเทียบตำแหน่ง ความเข้ม และช่วงเวลา ของข้อมูลเรดาร์กับข้อมูลสถานีตรวจวัดน้ำฝนให้มีความสอดคล้อง
4. ศึกษาทบทวนหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับกับความเข้มฝนจากเรดาร์ (Z-R Relationship) กับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน
5. ศึกษาแบบจำลองลักษณะฝนเชิงพื้นที่ จะเริ่มจากการศึกษาแบบจำลองโดยทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง แล้วทำการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองและการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM จากข้อมูลสังเคราะห์ (Synthetic Data)
6. หาค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลฝนจริงที่รวบรวมได้โดยใช้เทคนิค EM ที่สอดคล้องในการรวมข้อมูลฝนโดยใช้แบบจำลองลำดับขั้นฝนเชิงพื้นที่ (Cascade Rainfall Model)



7. รวมข้อมูลฝนจากสถานีเรดาร์และสถานีตรวจวัดน้ำฝนเข้าด้วยกันโดยใช้แบบจำลองลำดับขั้น (Cascade Rainfall Model) เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณน้ำฝนที่มีความถูกต้อง
8. การประเมินความถูกต้องของปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองนี้จะทำการเปรียบเทียบกรณีที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ในสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่  $a = 200$ ,  $b = 1.60$  (Marshall และ Palmer, ปี 1948) และที่  $a = 128$ ,  $b = 1.5$  (ศิริลักษณ์, ปี 2550) โดยเปรียบเทียบกับฝนจากสถานีตรวจวัดที่ได้จากวิธี Thiessen polygons

#### 1.4 การศึกษาที่ผ่านมา

จากข้อเด่นของเรดาร์ในการให้ข้อมูลน้ำฝนครอบคลุมพื้นที่กว้างขวาง รวดเร็ว มีความถี่ในการตรวจวัดสูง และเป็นระบบตรวจวัดระยะไกล (Remote sensing) ทำให้เกิดแนวคิดและความพยายามในการหาวิธีการลดข้อจำกัดของเรดาร์ในการที่ไม่สามารถให้ข้อมูลน้ำฝนที่มีความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำฝนที่ได้รับจากเครื่องวัดฝนมาตรฐานเป็นตัวสอบเทียบ งานวิจัยในระยะเริ่มแรกจะเป็นผลงานของ Marshall และ Palmer (1948) Hitschfeld และ Bordan (1954) และได้มีการพัฒนากันต่อๆ มา เช่น Woodley และคณะ (1957, 1982); Wilson และ Brades (1975, 1979) เนื่องจากแนวทางดังกล่าวไม่ได้ใช้ประโยชน์ของข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้มีผู้คิดค้นการรวมข้อมูลจากเรดาร์และข้อมูลจากแหล่งอื่นๆโดยใช้แบบจำลองฝนแบบลำดับขั้น (Gorenburg, 1996) และ (Bocchiola, 2007) และการศึกษาในเรื่องการประมาณน้ำฝนในประเทศไทยโดยใช้เรดาร์นั้นได้เริ่มเข้ามามีบทบาทไม่นานนัก ซึ่งมีหลายหน่วยงานที่นำเรดาร์มาใช้ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา สำนักฝนหลวง และการบินเกษตรและกองทัพไทย และสำนักกระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ซึ่งการนำเรดาร์มาใช้ตรวจวัดฝนของหน่วยงานต่างๆ นั้นเพื่อทำการขยายผลเป็นการพยากรณ์น้ำฝนล่วงหน้าและแนวทางในการบริหารจัดการที่เหมาะสม

Marshall และ Palmer (1948) ใช้วิธีการประมาณค่าเชิงเส้น (Linear Regression) ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์  $a$  และ ของความสัมพันธ์  $Z = aR^b$  จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าค่าพารามิเตอร์  $a$  เท่ากับ 200, และค่าพารามิเตอร์  $b$  เท่ากับ 1.6 และต่อมา สถาบันการบริการด้านสภาพอากาศแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (The National Weather Service) ได้นำสมการของ Marshall และ Palmer ไปใช้กับเรดาร์ WSR-57

Rosenfeld et al (1992) ทำการศึกษาเพื่อประเมินฝนจากเรดาร์โดยสังเกตพบว่าค่าประเมินได้จากเครื่องวัดทั้งสองชนิดยังมีความแตกต่างกันโดยปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากเรดาร์เป็นปริมาณน้ำฝนที่อยู่เหนือพื้นดินส่วนปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดน้ำฝนเป็นปริมาณน้ำฝนที่อยู่บนพื้นดิน ดังนั้นในการศึกษาในครั้งนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะหาค่าความสัมพันธ์ Z-R โดยใช้ข้อมูลเรดาร์ C-Band มีค่าความกว้างลำคลื่น 1.65 ร่วมกับสถานีตรวจวัดฝน 22 สถานี ที่ตั้งอยู่ใกล้เมือง ดาวิน (Darwin) ประเทศ Australia ทำการศึกษาโดยวิธี Probability Matching Method (PMM) จากผลการศึกษาพบว่าวิธีการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินปริมาณฝนจากเรดาร์และทำให้ค่า Z-R มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

Morin et al. (1995) ทำการศึกษาเพื่อประเมินฝนจากเรดาร์ในเชิงพื้นที่และเวลาในประเทศอิสราเอล โดยวิธี Window Probability Matching Method (WPMM) จากผลการศึกษาทำให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z-R ที่ดี และจากการศึกษาในหลายๆ กรณีพบว่าในกรณีที่เหตุการณ์ฝนที่ตกรุนแรงผลการวิเคราะห์จะมีความถูกต้องมากกว่ากรณีที่เหตุการณ์ฝนไม่รุนแรง

William et al (1995) ทำการประเมินน้ำฝนจากเรดาร์และข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน ในพื้นที่รัฐฟลอริดา (Florida) ในช่วงฤดูร้อนในปี ค.ศ 1991 โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างผลการศึกษาที่ใช้สมการความสัมพันธ์  $Z = 300R^{1.4}$  และ ค่าความสัมพันธ์ Z-R ที่หาโดยวิธี Probability Matching Method (PMM) ผลการศึกษาพบว่าการประเมินฝนโดยใช้วิธี PMM มีความถูกต้องและความคาดเคลื่อนมีค่าลดลง 20 – 30 %

Gorenburg (1996) ได้นำสมมุติฐานการปรับสเกล (Scale – Recursive Estimation) จากการศึกษาของ (Chou et al. 1994) มาประยุกต์ใช้เพื่อประมาณฝนที่หลายสเกลภายใต้กรณีศึกษา TOGA-COARE โดยใช้กับข้อมูลเรดาร์และดาวเทียมปี 1992-1993 ของนาซา (NASA) ที่สเกลต่างๆ แต่ยังคงพบว่าเป็นการยากที่จะหาตัวแปรของแบบจำลอง และยังคงมีความคาดเคลื่อนของแบบจำลอง (Model) ที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่

Moraes et al. (2002) ใช้ข้อมูลเรดาร์เพื่อทำการศึกษาใน Eastern Coast of Northeastern Brazil หาสมการความสัมพันธ์  $Z-R$  ของฝน Stratiform และฝน Convective โดยใช้วิธี Linear Regression และจากผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังนี้ 1) ฝน Stratiform ค่า  $a$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง 134-269 และค่า  $b$  มีค่า อยู่ระหว่าง 1.22-1.38 2) ฝน Convective ค่า  $a$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง 31-136 และค่า  $b$  มีค่าอยู่ระหว่าง 1.4-1.9

Gray และ Larsen (2004) ได้นำเสนอความถูกต้องในการประมาณการปริมาณฝนเรดาร์ ซึ่งการตรวจวัดน้ำจากฟ้าด้วยเรดาร์โดยรวมค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการสะท้อนจากพื้นดินและพื้นผิวของทะเล ความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดของเสาอากาศ ความคลาดเคลื่อนในการทวนสัญญาณสะท้อนกลับของเมฆน้ำและความคลาดเคลื่อนในกรณีที่สัญญาณไม่เพียงพอ ซึ่งทั้งสองได้เสนอให้พิจารณาความคลาดเคลื่อนจากแหล่งต่าง ๆ ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาเตรียมเครื่องมือเพื่อลดความคลาดเคลื่อน ผลลัพธ์ทั้งหมดได้ถูกนำมาจัดกลุ่มใหม่ และเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งคือสามารถลดความคลาดเคลื่อนของค่าสะท้อนในแนวตั้งได้

Thanapon (2004) ได้จัดทำการศึกษาการประยุกต์เรดาร์ในอุทกวิทยา (Applications of Weather Radar in Hydrology With Case Study) (AIT, 2004) ได้รวบรวมข้อมูลเรดาร์ในประเทศไทยไว้ และสรุปสถานภาพ การศึกษาการนำเรดาร์ตรวจอากาศทั้งในและต่างประเทศมาประยุกต์ใช้ในงานด้านแหล่งน้ำ มีการศึกษาเรื่องการวัดฝนโดยใช้เรดาร์ตรวจอากาศมาประมาณ 35 ปีแล้ว ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1970 ได้มีการหาความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนกลับกับความเข้มฝน ( $Z-R$  relationship) อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์นี้จะขึ้นกับชนิดและขนาดของเม็ดฝน ดังนั้นจึงต้องหาความสัมพันธ์ให้เหมาะสมกับเหตุการณ์ แต่จนถึงปัจจุบันก็ยังพบว่ามีความคลาดเคลื่อนพลาดอยู่มาก ซึ่งส่วนใหญ่มาจาก 1) การผันแปรของการสะท้อน (variance in the vertical profile of reflectivity) 2) ความคลาดเคลื่อนของเรดาร์ในการวัด 3) ความคลาดเคลื่อนในการแปลค่าการสะท้อนกลับเป็นความเข้มฝน 4) การใช้ฝนเฉพาะจุด (point rain gauge rainfall) เป็นตัวแทนของฝนเฉลี่ยทั้งพื้นที่และได้สมการความสัมพันธ์แต่ละเหตุการณ์ของพายุฝนดังนี้  $Z = 518R^{1.25}$  (ใต้ฝุ่น),  $Z = 300R^{1.30}$  (ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้),  $Z = 196R^{1.28}$  (ฝนแบบ Convective Rain)



Chatdarong (2006) และ Bocchiola (2007) ได้ศึกษาหลักการหาตัวแปรและนำเอาหลักการหาตัวแปรที่เหมาะสม (Parameter Estimation) โดยใช้หลักการ Maximum likelihood Estimation โดยได้อ้างอิงจากรายงานการศึกษาของ (Kannan, 2000) พบว่าสามารถหาตัวแปรของสมมุติฐานการปรับสเกล (Scale – Recursive Estimation) ของเหตุการณ์ฝนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**ศิริลักษณ์ (2548)** หาปริมาณฝนจากเรดาร์ ทำได้โดยแปลงค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Radar Reflectivity, Z) ให้เป็นความเข้มฝน (R) โดยใช้สมการ Z-R ที่ได้จากการสอบเทียบข้อมูลเรดาร์กับข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนในอดีต 2-3 ปี เมื่อนำค่าฝนจากเรดาร์ที่คำนวณได้จากสมการ Z-R มาเปรียบเทียบกับฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนพบว่า ยังมีความลำเอียง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างเครื่องมือวัดน้ำฝนทั้งสองชนิด ค่าความแตกต่างของฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่มีรูปแบบแน่นอนจะสามารถกำจัดออกไปได้ โดยการนำค่าแฟคเตอร์ปรับแก้คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่าง ฝนจากสถานีวัดน้ำฝนต่อฝนเรดาร์ (G/R) ไปคูณกับฝนเรดาร์ที่คำนวณได้ในครั้งแรกจากสมการ Z-R และได้ศึกษาผลกระทบของการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการหาค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ โดยผู้ศึกษาใช้ข้อมูลจากเรดาร์ตอนเมือง ซึ่งเป็นเรดาร์ชนิด S-band และข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 106 สถานี ที่ตั้งอยู่ภายในพื้นที่กรุงเทพมหานครและพื้นที่ข้างเคียง ซึ่งพบว่าการใช้ค่าแฟคเตอร์การปรับแก้ที่คำนวณโดยใช้ข้อมูลฝน จากสถานีวัดน้ำฝนที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลแล้วทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยตลอดเหตุการณ์ ที่ได้จากรเรดาร์หลังปรับแก้แล้วมีค่าลดลงถึง 12.61% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ข้อมูลที่ไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

**ธนพล (2549)** ได้ศึกษาสำหรับการหาสมการ Z-R พบว่า Z-R ที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากเรดาร์และฝนจากสถานีภาคพื้นดินหลายๆเหตุการณ์ จึงจำเป็นต้องเก็บรวบรวมข้อมูลดังกล่าวก่อน ซึ่งในปัจจุบันทางหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา เริ่มเก็บข้อมูลเรดาร์ในรูปแบบที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษา นอกเหนือจากการเป็นแบบภาพอย่างเดียว เพื่อที่จะใช้คำนวณสมการ Z-R ในอนาคต และได้หาค่าสมการ Z-R ของ เรดาร์อมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ (อยู่ในความรับผิดชอบของสำนักฝนหลวงและการบินเกษตร) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีภูเขาโดยรอบ และพบว่าสมการ  $Z = 18.05R^{1.45}$  เหมาะสมกับเรดาร์อมก๋อยซึ่งทำให้การแปลงค่าการสะท้อนกลับเป็นปริมาณฝนมีค่าใกล้เคียงกับฝนที่วัดโดยสถานีภาคพื้นดินมากที่สุด



**ศิริลักษณ์ (2550)** ได้นำเสนอวิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Radar Reflectivity, Z) และ ความเข้มฝน (R) ของเรดาร์ภาคีเจริญ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูล การสะท้อนกลับของเรดาร์แบบ PPI ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้น ระหว่างปี 2548 – 2550 จำนวน 31 เหตุการณ์ และ ข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน จำนวนทั้งสิ้น 47 สถานีโดยใช้วิเคราะห์การ เปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของสมการความสัมพันธ์  $Z-R$  ;  $Z=aR^b$  ของแต่ละเหตุการณ์ฝน ผล การศึกษา พบว่าค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ภาคีเจริญมีค่าน้อยกว่า ความเป็นจริงโดยเฉลี่ยประมาณ 5 dBZ สมการความสัมพันธ์  $Z - R$  เฉลี่ยของเรดาร์ภาคีเจริญ หลังจากบวกค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ตรวจวัดได้ค่า 5 dBZ คือ  $Z = 128R^{1.5}$  และการ ประเมินความเข้มฝนจากเรดาร์ภาคีเจริญโดยการใส่สมการ  $Z = 128R^{1.5}$  เพื่อแปลงค่าการสะท้อน กลับจากเรดาร์ที่มีการบวกเพิ่มด้วยค่า 5 dBZ แล้ว ทำให้ความเข้มฝนที่ได้จากเรดาร์มีค่า ใกล้เคียงกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝนมากกว่าวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

นอกจากแนวทางการปรับแก้ข้อมูลเรดาร์โดยใช้ความสัมพันธ์  $Z-R$  ด้วยวิธีการวิเคราะห์ ความถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) แล้ว ยังมีแนวทางอื่นๆ ในการปรับแก้ข้อมูลจากเรดาร์ เช่น การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) Naoya Maeda, Shunichi Kobayashi, Kaoru Izumi, Shigekazu Kouno (2001) ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียม และ แบบจำลองการพยากรณ์น้ำฝนล่วงหน้าระยะสั้นเพื่อหาค่าน้ำฝนจากสถานีเรดาร์ที่เมืองเคนโต (Kanto) และเมืองชูบุ (Chubu) ประเทศญี่ปุ่น หรือการศึกษาของ M.Grecu, and W.F Krajewski (2000) ที่เสนอให้ปรับแก้ข้อมูลจากเรดาร์ด้วยการใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ของเมฆ (Cloud Model) เป็นแบบจำลองเคลื่อนที่แบบสโตคาสติก (Dynamic Stochastic) 1 มิติ พบว่า การเลียนแบบข้อมูลให้เหมือนสามารถที่จะชดเชยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแบบจำลองได้ ซึ่งช่วย ลดความผิดพลาดของข้อมูลเรดาร์ได้เล็กน้อย และ M.Grecu, and W.F Krajewski (2000) ได้ เสนอเทคนิคการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน โดยใช้ข้อมูลขนาดใหญ่อายุของเรดาร์ (S-band) WSR-880 จาก Tulsa, Oklahoma เทคนิคที่นำมาใช้มีหลายเทคนิครวมทั้ง Persistence, Advection และ Neural-Network-Base Schemes ขอบเขตของการศึกษาจำกัดอยู่การพยากรณ์ระยะสั้นไม่ เกิน 3 ชั่วโมง โดยพิจารณาพื้นที่หลาย ๆ Resolutions ระหว่าง  $4 \times 4 \text{ km}^2$  ถึง  $32 \times 32 \text{ km}^2$  ระบบการจัดการการปฏิบัติการหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ความโน้มเอียง (Bias) ต่างๆ และ ความน่าจะเป็นของการตรวจจับ และยังสามารถอธิบายถึงอิทธิพลของความเข้มของพายุและความเข้ม ของฝนรวมถึงความสำคัญของการจำกัดของพื้นที่และช่วงเวลา Todini (2001) ทำการศึกษาโดย

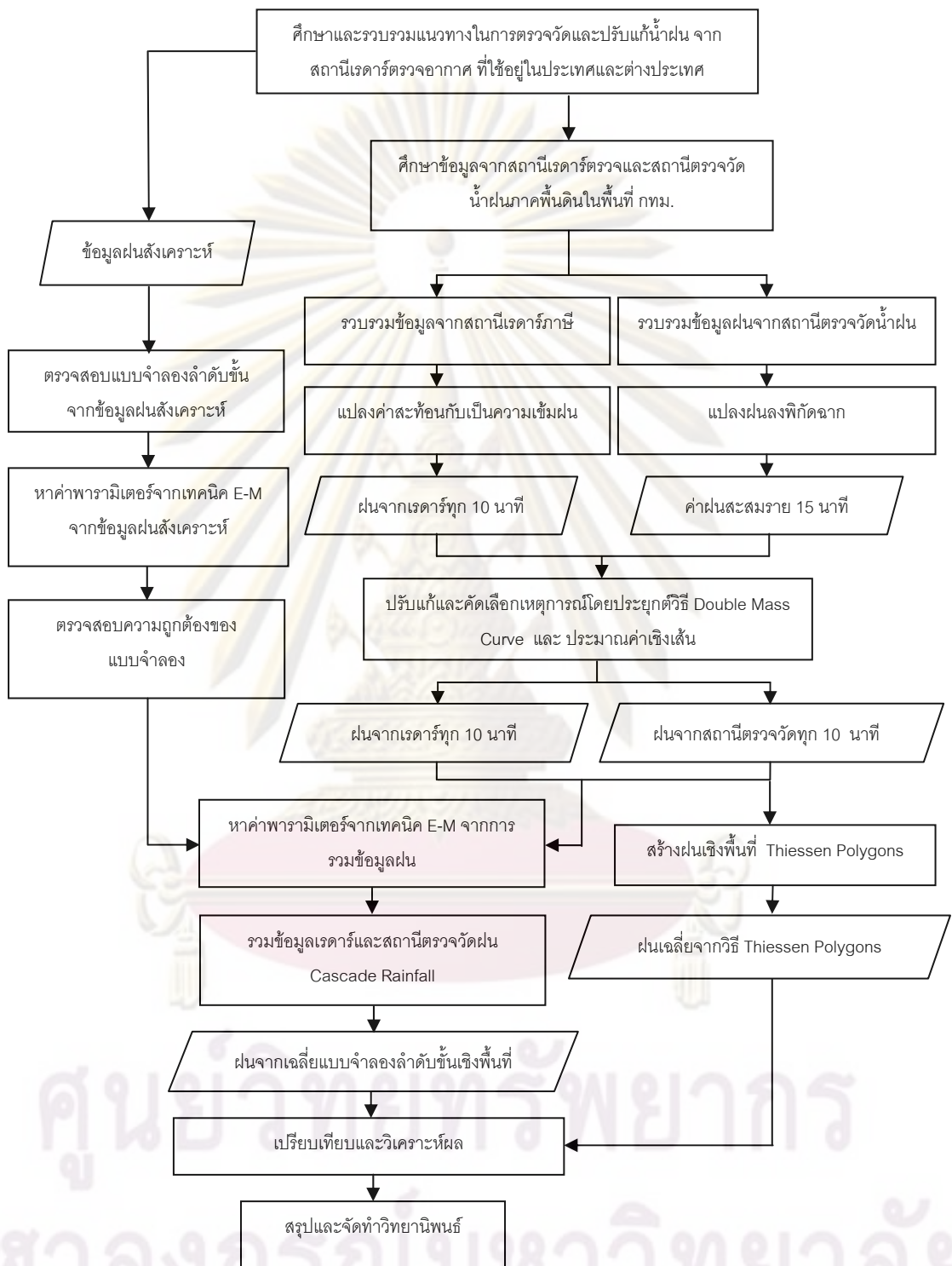
การรวมข้อมูลเรดาร์และเกจ โดยใช้วิธี Bayesian โดยวิธีการดังกล่าวประกอบด้วยบล็อกคิง (Block-Kriging) และวิธีการตัวกรองของคาลมาน (Kalman filtering) วิธีการดังกล่าวสามารถลดความแปรปรวนของการตรวจวัดและปรับปรุงฝนเชิงพื้นที่ให้ดีขึ้น W.F. Krajewski, and J.A. Smith (2002) ได้ทำเสนอบทความเกี่ยวกับการนำข้อมูลจากเรดาร์มาประยุกต์ใช้ในทางอุทกวิทยาเพื่อประมาณการปริมาณน้ำฝน ข้อมูลปริมาณฝนที่ตรวจจับได้จากเรดาร์มีความสำคัญอย่างยิ่งในการที่จะไปเป็นข้อมูลนำเข้า ในการศึกษาได้นำเสนอการพัฒนาข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับของเรดาร์ และ ทฤษฎีและความต้องการเกี่ยวกับการใช้แผนที่ของเรดาร์และเทคโนโลยีใหม่ๆของเรดาร์ อภิปรายเกี่ยวกับโครงสร้างของเรดาร์เกี่ยวกับการสะท้อนโดยนำมาใช้ จากการประมาณการ ทั้งสองได้เสนอวิธีการ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 จะอยู่ในรูปของขนาดการกระจายตัวของเม็ดฝน (Drop Size Distribution, DSD) โดยความสัมพันธ์ของ Z-R ได้มาจากการสังเกต กระจายตัวของเม็ดฝน (Drop Size Distribution, DSD) ตัวอย่างเช่น กำหนดบริเวณพื้นที่และแทนปริมาตรด้วยการสุ่มในปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร เพราะอัตราการตกของฝนและค่าสะท้อนของเรดาร์หามาได้จากค่าสังเกตของ สังเกต กระจายตัวของเม็ดฝน (Drop Size Distribution, DSD) วิธีที่ 2 ทำได้โดยอาศัยการประมาณการทางสถิติ ขั้นตอนคือทำการวัดการสะท้อนเทียบกับอัตราการตกของฝน และ Revela และ Chatdarong (2006) ได้ใช้เทคนิคการหาสนามความเร็วของข้อมูลเรดาร์และดาวเทียมโดยเพิ่มความถี่การตรวจวัด ด้วยวิธี MVA หรือ Variational เทคนิค วิธี Multi-resolution Viscous Alignment (MVA) เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ โดยใช้หลักการของ Bayesian เพื่อหาสนามความเร็วที่มีความสัมพันธ์และสอดคล้องกันในพื้นที่ สามารถประยุกต์ใช้กรณีที่มีหลายความละเอียด (Multi-resolution) ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณ

## 1.5 แนวทางการศึกษา

แนวทางการศึกษาแบบจำลองสถิติของลักษณะฝนเชิงพื้นที่เพื่อรวมข้อมูลฝนจากเรดาร์และข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัดมีแนวทางการศึกษาดังนี้

- 1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และ รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน และข้อมูลคลื่นการสะท้อนกลับจากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศ จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคหิมาลัย และสถานีตรวจวัดน้ำฝนแบบโทรมาตร ของสำนักระบายน้ำ กรุงเทพมหานครและสถานีตรวจวัดน้ำฝน

- 2 วิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนที่รวบรวมได้ เพื่อคัดเลือกเหตุการณ์ฝนที่เหมาะสม โดยเลือกข้อมูลที่มีความสอดคล้องของเหตุการณ์เพื่อเตรียมข้อมูลที่มีคุณภาพไปใช้ในการศึกษาแบบจำลอง
- 3 ทบทวนและหาความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนกลับกับความเข้มฝน (Z-R Relationship) เพื่อพิจารณาใช้ในแบบจำลอง
- 4 ศึกษาแบบจำลองลักษณะฝนเชิงพื้นที่ ทดสอบแบบจากข้อมูลจำลอง (Synthetic Data) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า เทคนิค EM (Expectation - Maximization Technique) ข้อมูลจำลอง (Synthetic Data) ที่ทราบค่าตัวแปรก่อน รวมถึงในลักษณะการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ SRE
- 5 หาพารามิเตอร์จากการรวมข้อมูลเรดาร์และสถานีตรวจวัดน้ำฝนซึ่งเป็นข้อมูลฝนจริงที่รวบรวมได้โดยเทคนิค EM (Expectation - Maximization Technique) เพื่อนำใช้ในแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่
- 6 รวมข้อมูลฝนจากสถานีเรดาร์และสถานีตรวจวัดน้ำฝนเข้าด้วยกัน เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณน้ำฝนที่มีความถูกต้องโดยใช้แบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่และค่าพารามิเตอร์จากเทคนิค EM
- 7 ตรวจสอบปริมาณฝนเชิงพื้นที่ได้จากแบบจำลองนี้ จะวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเทคนิคการประมาณปริมาณน้ำฝนจากสถานีเรดาร์ด้วยการหาสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ ระหว่าง Z และ R ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป  $a = 128$ ,  $b = 1.5$ , +5 dBZ และ  $a = 200$ ,  $b = 1.6$  เพื่อเปรียบเทียบกับฝนจากสถานีตรวจวัดที่ปรับแก้ด้วยวิธี Thiessen Polygons เพื่อให้ได้ปริมาณฝนเชิงพื้นที่



รูปที่ 1 - 1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา



## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

แบบจำลองฝนแบบลำดับขั้น (Cascade Rainfall Model) เป็นแบบจำลองทางสถิติเชิงพื้นที่ที่สามารถประยุกต์ใช้กับข้อมูลพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ โดยมีการพัฒนาในการรวมข้อมูลฝนจากเครื่องมือตรวจวัดจากดาวเทียมและเรดาร์ในประเทศ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของฝนเชิงพื้นที่ในวิทยานิพนธ์นี้จะนำวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลฝนจากเรดาร์และสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในประเทศไทยบริเวณกรุงเทพมหานครโดยประโยชน์ที่คาดว่าจะได้ดังนี้

1. พัฒนาแบบจำลองสถิติของฝนแบบลำดับขั้น (Cascade Rainfall Model) เพื่อใช้ในการประมาณปริมาณน้ำฝนในลักษณะเชิงพื้นที่
2. ประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกับความเข้มฝน (Z-R Relationship) กับแบบจำลองสถิติเชิงพื้นที่ (Cascade Rainfall Model)
4. รวมข้อมูลจากหลายแหล่งได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้แบบจำลองสถิติของลักษณะฝนเชิงพื้นที่ (Cascade Rainfall Model)
5. เสนอเป็นแนวทางเพื่อประยุกต์ใช้ในการรวมข้อมูลฝนจากเรดาร์และสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินแหล่งอื่นๆ

## บทที่ 2

### สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองสถิติของลักษณะฝนเชิงพื้นที่ เพื่อรวมข้อมูลปริมาณฝนที่ได้จากเรดาร์ตรวจอากาศและจากสถานีวัดน้ำฝนเข้าด้วยกัน ใช้ข้อมูลฝนจากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคีเจริญ และข้อมูลสถานีตรวจวัดฝนภายในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมด 1,562.2 ตารางกิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2-1

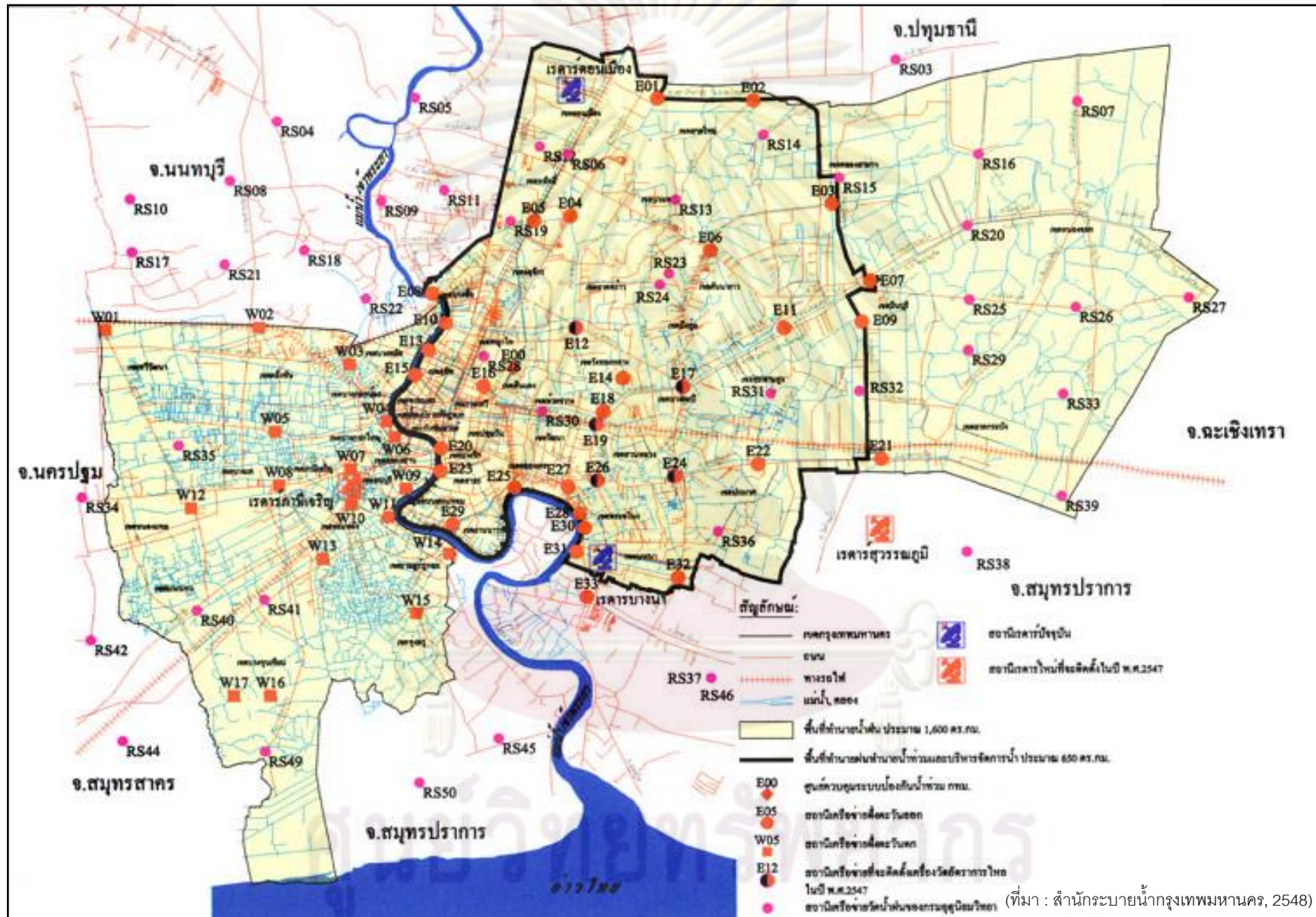
#### 2.1 สภาพภูมิประเทศ

กรุงเทพมหานครเป็นเมืองหลวง และเมืองที่มีประชากรมากที่สุดของประเทศไทย ตั้งอยู่ที่พิกัดละติจูด  $13^{\circ} 45'$  เหนือ ลองจิจูด  $100^{\circ} 31'$  ตะวันออก บริเวณที่ราบภาคกลางตอนล่าง โดยมีอาณาเขตติดต่อดังนี้

- ทิศเหนือ มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดนนทบุรีและจังหวัดปทุมธานี
- ทิศใต้ มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดสมุทรปราการ
- ทิศตะวันออก มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดฉะเชิงเทรา
- ทิศตะวันตก มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดนครปฐมและจังหวัดสมุทรสาคร

กรุงเทพมหานครมีแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแม่น้ำสายสำคัญที่ไหลผ่านจากตอนเหนือไปลงอ่าวไทยในทิศใต้ นอกจากนี้ในเขตกรุงเทพมหานครยังมีลำคลองต่างๆ มากมายหลายสาย ซึ่งได้ขุดขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการคมนาคม การชลประทาน การระบายน้ำ ลำคลองเหล่านี้ นอกจากจะเป็นทางระบายน้ำออกจากพื้นที่ในช่วงฝนตกแล้ว ยังเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียที่ระบายจากอาคารพักอาศัย แหล่งพาณิชย์ และโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2 - 1 พื้นที่ศึกษา



## 2.2 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษามีลักษณะอากาศร้อนชื้น โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ อุณหภูมิในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลรายเดือนอยู่ในเกณฑ์สูงสุดเกือบตลอดปี อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนอยู่ในช่วง 25.4 ถึง 29.7 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนต่ำสุดที่ 20.6 องศาเซลเซียส และสูงสุดที่ 34.9 องศาเซลเซียส ช่วงที่อุณหภูมิต่ำจะอยู่ในช่วงเดือน ธันวาคมถึงเดือนมกราคม และอุณหภูมิสูงจะอยู่ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม

ฝนที่ตกในกรุงเทพมหานครได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมีบางส่วนที่ได้รับมีความชื้นสูงมาจากพายุไซนร้อน ความถี่ของพายุไซนร้อนที่เข้ามาในประเทศไทยประมาณ 2 ลูก ต่อปี ซึ่งโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงธันวาคม 85 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำฝนจะเกิดขึ้นในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม โดยทั่วไปแล้วปริมาณน้ำฝนในเดิอกันยายนจะมีปริมาณสูงที่สุด ช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายนเป็นช่วงที่แล้งที่สุด ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี มีค่าประมาณ 1400 มิลลิเมตร โดยตารางที่ 2.1 ได้แสดงรายละเอียดของสภาพภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนของกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 2 - 1 สภาพภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนของกรุงเทพมหานคร

เดือน	มค.	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุด (°C)	32	33	39	43	37	33	32	32	32	31	31	31
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุด (°C)	19	22	24	25	25	24	24	24	24	24	22	18
ค่าเฉลี่ยปริมาณฝน (mm)	8	20	36	58	198	160	160	175	305	206	66	5
ค่าเฉลี่ยของวันที่ฝนตก	1	1	3	3	9	10	13	13	15	14	5	1

(ที่มา : วิรัช และ คณะ, 2551)



## บทที่ 3

### ทฤษฎีและหลักการทำงานของเรดาร์

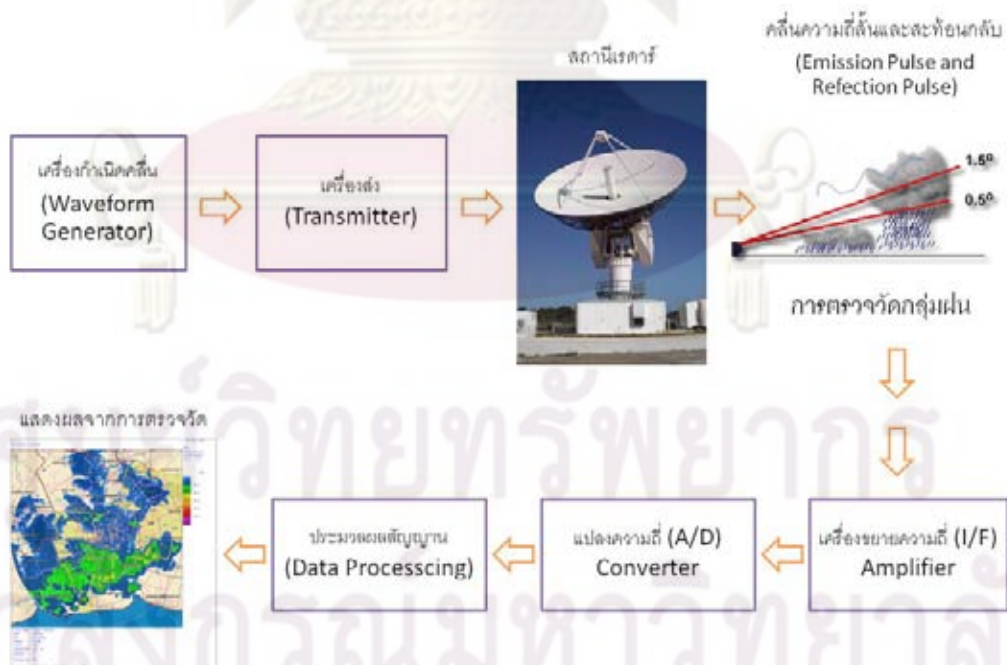
#### 3.1 ประวัติของเรดาร์

ในช่วงเวลาก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง ( ค.ศ.1939 - 1945 ) ได้มีการประดิษฐ์คิดค้นเรดาร์ขึ้นเป็นครั้งแรก โดยระบบเรดาร์เป็นผลงาน การประดิษฐ์คิดค้นของ นายโรเบิร์ต อเล็กซานเดอร์ วัตสัน-วัตต์ ชาวสกอตแลนด์ เมื่อปี ค.ศ.1941 และเป็นผู้ช่วยสร้างสถานีเรดาร์จนกระทั่งใช้งานได้จริงครั้งแรก ในสหรัฐอเมริกา ระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง คือ สถานีเรดาร์ที่ เฟอร์ล ฮาร์เบอร์ ที่หมู่เกาะฮาวายประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อใช้ในการตรวจหาและติดตามเครื่องบินและเรือ ในระหว่างสงครามก็มีการพัฒนาต่อเนื่องกันอย่างรวดเร็วทั้งเรดาร์ประจำภาคพื้นดินและเรดาร์ที่ติดตั้งในอากาศยานดังนั้นตั้งแต่ ค.ศ.1945 เรดาร์ก็กลายเป็นองค์ประกอบสำคัญของการควบคุมการจราจรทางอากาศสำหรับเรดาร์ที่ใช้ช่วงคลื่นยาวๆที่ใช้ในระยะเริ่มแรกนั้นไม่มีผลเกี่ยวข้องกับข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาแต่อย่างใด ถ้าเรดาร์ที่ใช้ช่วงความยาวคลื่นที่สั้นลงกล่าวคือต่ำกว่า 10 ซม. หรือน้อยกว่าพบว่าจะมีการสะท้อนคืนของคลื่นเรดาร์จากเป้าหมายอุตุนิยมวิทยาเช่น กลุ่มเมฆและยังอาจทำให้ระยะพิสัยในการตรวจวัดลดน้อยลงอีกด้วย

ภายหลังสงครามโลกครั้งที่สองแล้วตั้งแต่ปี ค.ศ.1945 เป็นต้นมานักอุตุนิยมวิทยาก็ได้รับอุปกรณ์เรดาร์ที่เหลือใช้จากสงครามซึ่งส่วนมากเป็นเรดาร์ที่ใช้ช่วงคลื่น 10 หรือ 3 เซนติเมตร เพื่อใช้ศึกษาในงานด้านอุตุนิยมวิทยา ต่อมานักอุตุนิยมวิทยาเหล่านี้ก็ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะใช้เรดาร์เป็นเครื่องมือตรวจลักษณะอากาศที่แตกต่างไปจากเครื่องมืออื่นๆ ดังนั้นจึงมีการศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลที่ได้มาจากเรดาร์และประโยชน์ที่จะได้รับ จนกระทั่งในทศวรรษที่ 1950 และ 1960 ก็เริ่มมีการใช้เรดาร์เพื่อการตรวจอากาศ โดยเรดาร์ที่ใช้นี้มีลักษณะแตกต่างจากเรดาร์ที่ใช้ในการเดินเรือและเดินอากาศ เรดาร์ตรวจอากาศดังกล่าวมักถูกติดตั้งในบริเวณสนามบินหรือบริเวณที่มีการเกิดพายุบ่อยครั้ง ในบางโอกาสก็มีการออกคำเตือนเกี่ยวกับพายุต่อนักบินและชุมชน เราจะเห็นว่าข้อมูลที่ได้จากเรดาร์ก็เป็นส่วนประกอบเพิ่มเติมจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาอื่นๆ เพื่อช่วยในการพยากรณ์อากาศ ในขณะที่เดียวกันนักวิจัยก็ได้พยายามที่จะค้นคว้าหาวิธีที่จะวิเคราะห์ค่าปริมาณฝนจริงๆโดยมีความแม่นยำเพียงพอเพื่อเป็นประโยชน์ต่อนักอุตุนิยมวิทยาและนักอุทกวิทยา

### 3.2 หลักการทำงานของเรดาร์

คำว่า RADAR ย่อมาจากคำว่า Radio Detection And Ranging หมายถึง การตรวจจับเป้าระยะไกลด้วยคลื่นวิทยุโดยทั่วไปเรดาร์ตรวจอากาศเป็นเรดาร์แบบพัลส์ (Pulse Radar) คำว่า พัลส์ คือ การส่งคลื่น (Transmitter) วิทยุหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นจังหวะช่วงสั้น ๆ จากเครื่องกำเนิดคลื่น (Waveform Generator) ในลักษณะลำคลื่นมุมแคบ ๆ เมื่อคลื่นดังกล่าวกระทบวัตถุ เช่น กลุ่มฝน ต้นไม้ ภูเขา ฯลฯ จะเกิดการสะท้อนกลับมาสู่จานสายอากาศ ซึ่งทำหน้าที่ทั้งส่งและรับ แต่เนื่องจากสัญญาณสะท้อนนี้เบามากเครื่องรับในเรดาร์จึงขยายสัญญาณให้แรงขึ้น (Amplifier) แล้วทำการแปลงความถี่ (Converter) และประมวลผลสัญญาณ (Data Processing) ก่อนที่จะถูกส่งไปแสดงข้อมูลบนจอภาพเรดาร์ต่อไป เรดาร์ตรวจอากาศเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดอย่างหนึ่งซึ่งช่วยในการพยากรณ์อากาศระยะสั้น และมีประโยชน์อย่างมากในการเดินอากาศ เนื่องจากเรดาร์สามารถตรวจจับกลุ่มฝนฟ้าคะนอง ซึ่งเป็นอันตรายอย่างมากต่อขึ้น - ลงของอากาศยาน จากข้อสังเกตดังกล่าวนักวิทยาศาสตร์จึงได้ประยุกต์ใช้หลักการของเรดาร์เพื่อตรวจวัดมวลน้ำในอากาศในเวลาต่อมา



รูปที่ 3-1 หลักการทำงานของเรดาร์

### 3.3 สมการพื้นฐานของเรดาร์

สมการพื้นฐานของเรดาร์ ( Batten 1973, Rinehart 1991, Doviak and Zrnich 1992, Collier 1996) สามารถได้ดังนี้ คลื่นเรดาร์หรือพลังงานคลื่นที่ส่งออกจากจานสัญญาณไปในอากาศ จากนั้นเมื่อสัญญาณกระทบเป้าหมาย คลื่นเรดาร์จะสะท้อนกลับไปที่จานรับพลังที่สะท้อนกลับ สามารถหาค่าได้จากสมการที่ 3.1 ซึ่งสมการดังกล่าวมีสมมุติฐานว่า การกระจายตัวของอนุภาคที่อยู่ในปริมาตรที่คลื่นเรดาร์ส่งออกไปมีการกระจายแบบสม่ำเสมอ ค่าพื้นที่ภาคตัดขวางของการสะท้อนกลับสามารถหาได้ตามสมการ

$$\bar{P}_r = \frac{P_t g^2 \lambda^2 \sigma_v}{64\pi^3 r^4} \quad \text{-----(3.1)}$$

$$\sigma_v = v \sum_{vol} \sigma_i \quad \text{-----(3.2)}$$

$\bar{P}_r$  = ค่าพลังงานสะท้อนกลับเฉลี่ยจากเป้าหมายที่เรดาร์ได้รับ

$P_t$  = ค่าพลังงานคลื่นเรดาร์ที่ส่งออกไป

$\sigma_v$  = ค่าอัตราส่วนของพื้นที่ภาคตัดขวางของพลังงานการสะท้อนกลับในหนึ่งหน่วยปริมาตร

$v$  = ปริมาตรการสุ่มข้อมูลเรดาร์

$\sum_{vol} \sigma_i$  = ผลรวมค่าพื้นที่ภาคตัดขวางของพลังงานการสะท้อนกลับในหนึ่งหน่วยปริมาตร

Probert-Jones (1962) ได้หาสมการเรดาร์สำหรับ  $v$  ซึ่งรวมการกระจายตัวแบบเกาส์เซียน (Gaussian power) ในพลังงานคลื่นเรดาร์ที่ส่งออกไปในรูป Parabolic ดังแสดงในสมการที่ 3.3

$$v = \frac{1}{8} \times \frac{\pi r^2 \theta \phi h}{2 \ln(2)} \quad \text{-----(3.3)}$$

$\theta$  และ  $\phi$  คือค่าความกว้างของลำพลังงานคลื่นเรดาร์ในแนวนอนและในแนวตั้ง มีหน่วยเป็นองศา

$r$  คือ ระยะห่างจากเรดาร์,  $h$  คือ ความยาวของคลื่นพลังงานที่ส่งไปในอากาศในช่วงเวลา  $\tau$  และสามารถหาได้จาก  $h = c\tau$  ซึ่งค่า  $c$  คือความเร็วแสง นิพจน์  $2\ln(2)$  คือนิพจน์ที่เกิดจากการรวมค่าการกระจายของพลังงานเกาส์เซียน Gaussian จากนั้นแทนสมการที่ 3.2 และ 3.3 ลงในสมการที่ 3.1 จะได้สมการการกระจายพลังงานสะท้อนกลับสำหรับเป้าหมายใหม่ดังแสดงในสมการที่ 3.4

$$\bar{Pr} = \frac{P_i g^2 \lambda^2 \theta \phi h \sum \sigma_i}{1024 \ln(2) \pi^2 r^2} \quad \text{.....(3.4)}$$

เม็ดฝนมีเส้นผ่าศูนย์กลาง  $D_i$  ซึ่งก็คือ  $\left(\frac{D_i}{\lambda} < \frac{1}{16}\right)$  ดังนั้นกฎของ Rayleigh law (1981) สามารถมาประยุกต์ใช้ได้ พื้นที่ภาคตัดขวางของการกระจายกลับของหยดน้ำ  $i$  ครอบคลุมด้วยกฎของ Rayleigh's scatter law คือสมการที่ 3.5 ดังนี้

$$\sigma_i = \frac{\pi^5 |K_w|^2}{\lambda^4} D_i^6 \quad \text{.....(3.5)}$$

เมื่อค่า  $|K_w|$  คือดัชนีการหักเหเนื่องจากไอน้ำ ซึ่งเท่ากับ 0.93 ที่อุณหภูมิน้ำ และ เท่ากับ 0.19 สำหรับอนุภาคน้ำแข็ง (Battan 1973) สมการที่ 3.4 สามารถเขียนได้เป็น

$$\bar{Pr} = \frac{\pi^3 P_i g^2 \theta \phi h |K_w|^2 \sum_{vol} D_i^6}{1024 \ln(2) \lambda^2 r^2} \quad \text{.....(3.6)}$$

แทนค่า  $Z = \sum_{vol} D_i^6$  (Battan 1973) โดยค่าแฟคเตอร์การสะท้อนกลับของพลังงานมีหน่วยเป็น  $\text{มม.}^6/\text{ม.}^3$ . และผลรวมค่าลดทอนสัญญาณเนื่องจากบรรยากาศ  $l$  (ซึ่ง  $0 < l < 1$ ) เมื่อนำไปแทนค่าในสมการที่ 3.6 จะได้

$$\bar{Pr} = \frac{\pi^3 P_i g^2 \theta \phi h |K_w|^2 Z l}{1024 \ln(2) \lambda^2 r^2} \quad \text{.....(3.7)}$$

สมการที่ 3.7 สามารถเขียนได้อีกรูปแบบหนึ่งคือ



$$\overline{Pr} = \frac{CkZ}{r^2} \quad \text{.....(3.8)}$$

ค่า  $C$  คือค่าคงที่กับค่าพารามิเตอร์ของเรดาร์ ได้แก่ ความยาวคลื่น (Wavelength), พลังงานในการส่งผ่าน (Transmitted Power), ค่าการขยายของเสาอากาศ (Antenna gain), ความกว้างของลำแสงและความยาวของพัลส์ (Beam width and Pulse length),  $k$  คือค่าการปรับลดทอนพลังงานของเรดาร์ตลอดการเคลื่อนที่ (ลดทอนลงเนื่องจากพลังงานเคลื่อนผ่านไปในตัวกลางจะต้องสูญเสียพลังงาน),  $Z$  คือพลังงานสะท้อนกลับของเรดาร์ เนื่องจากค่าดังกล่าวมีค่าจากหน่วยจะเห็นว่าเป็นค่ายกกำลัง 6 เพื่อความสะดวกในการนำการใช้จึงเปลี่ยนอยู่ในรูป

$$dBZ = 10 \log Z \quad \text{.....(3.9)}$$

เรดาร์ตรวจอากาศสามารถแบ่งได้เป็นหลายชนิดด้วยกันโดยใช้เกณฑ์ความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นเป็นตัวแบ่งตามตารางแสดงข้างล่างนี้

ตารางที่ 3 - 1 การแบ่งชนิดของเรดาร์

ชนิด ( Band )	ความยาวคลื่น (Wave Length, Cm)	ความถี่ (Frequency, GHz)
L	15-30	1- 2
S	8 - 15	2 - 4
C	4 - 8	4 - 8
X	2.5 - 4	8 - 12
K	0.75 - 1.2	12 - 40

(ที่มา : Skolnik M., Radar Handbook)

### 3.4 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับกับความเข้มฝน (Z-R Relationship)

ระบบเรดาร์อุตุนิยมวิทยาในยุคต้นๆ นำโดย Ryde (1941) ในด้านการศึกษาทฤษฎีและการทดลองเกี่ยวกับคลื่นสะท้อนกับเรดาร์ (Radar reflectivity) และพัฒนาการตรวจวัดน้ำฝนเป็นผลงานที่สำคัญของ Marshall และคณระ (1974) ในความสัมพันธ์ในลักษณะ Simple Power Law เนื่องจากการค่าสะท้อนกลับที่เรดาร์วัดได้ (Z) แปรผันตามเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำฝนที่ตกลงมา (D) โดยในที่นี้จะเป็นค่าของเป้า และ ขนาดการกระจายของหยดน้ำ

$$Z_e = \sum D^6 / V \tag{3.10}$$

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝน

V = ปริมาตรบรรยากาศที่สำรวจ

โดยจะสามารถเขียนสมการค่า Z ให้เป็นในรูปแบบของ Gamma function ได้คือ

$$Z_e = \int_0^{D_{max}} N_0 e^{-\Lambda D} D^3 dD \tag{3.11}$$

$$N_D = N_0 e^{-\Lambda D}$$

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝน

$N_D$  = จำนวนเม็ดฝนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง D และ D +  $\delta D$  ภายในปริมาตรหนึ่งหน่วย

$N_0$  = ค่าคงที่

$$\Lambda = 41 \times R^{-0.21} \text{ ซม.}^{-1}$$

ค่าปริมาณน้ำฝน (R) สามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปของเม็ดฝน ในลักษณะที่แสดงถึง ปริมาตร และความเร็วในการตกได้คือ

$$R = \int_0^{D_{max}} N_0 e^{-\Lambda D} (\pi D^3 / 6) v(D) dD \tag{3.12}$$

v(D) = ความเร็วการตกของเม็ดฝน(Terminal Velocity)

ความเร็วในการตกของเม็ดฝนในอากาศที่นิ่ง (Still Air) จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝน ทำให้สามารถใช้สมการยกกำลัง (Power Law) ในการคำนวณค่า  $v(D)$  โดยประมาณได้ ดังสมการยกกำลังของความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) และ ความเข้ม (R), (Z-R Relationship) สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3.21

$$Z = aR^b \quad \text{.....(3.13)}$$

การหาค่า a และค่า b ทำได้โดยฟิตสมการความสัมพันธ์ Z - R กับข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ ในหน่วย มม.<sup>6</sup>/ม<sup>3</sup>. และความเข้มฝน ในหน่วย มม./ชม. หรือ ได้มาจากการหาค่าพารามิเตอร์ของการแพร่กระจายของเม็ดฝนโดยที่ค่า a, b ขึ้นอยู่กับลักษณะในการตกของฝน ซึ่งจะทำให้ตัวแปรในสมการมีการเปลี่ยนแปลงค่าไปจากเดิมดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3 - 2 สมการ Z-R กับประเภทของฝนที่เหมาะสม

ความสัมพันธ์	ประยุกต์ใช้	แนะนำให้ใช้กับ
Marshall-Palmer ( $Z=200R^{1.6}$ )	ฝนตกแบบ Stratiform	
East-Cool Stratiform ( $Z=130R^{2.0}$ )	ฝนตกแบบ Stratiform ในฤดูหนาว ในแถบทวีปซีกตะวันออก	ฝนตกแบบ Orographic ในแถบ ทวีปซีกตะวันออก
West-Cool Stratiform ( $Z=75R^{2.0}$ )	ฝนตกแบบ Stratiform ในฤดูหนาว ในแถบทวีปซีกตะวันตก	ฝนตกแบบ Orographic ในแถบ ทวีปซีกตะวันตก
WSR-88D Convective ( $Z=300R^{1.4}$ )	ฝนตกแบบ Convective ในฤดูร้อน	
Rosenfeld Tropical ( $Z=250R^{1.2}$ )	ฝนตกแบบ Convective ในระบบ ของเมืองร้อน	

(ที่มา : [http://www.roc.noaa.gov/ops/zr\\_ osf5.asp](http://www.roc.noaa.gov/ops/zr_ osf5.asp))

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 4

### หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

การประยุกต์ใช้แบบจำลองฝนแบบลำดับชั้นเชิงพื้นที่เพื่อปรับปรุงข้อมูลฝนจากเรดาร์และสถานีตรวจวัดเกี่ยวข้องกับทฤษฎีต่างๆมากมาย ในบทนี้จะได้กล่าวถึงทฤษฎีและเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าว

#### 4.1 แนวทางการรวมข้อมูล (Data Assimilation Concept)

แนวทางการรวมข้อมูลอาศัยวิธีการทางสถิติเพื่อการผสมผสานข้อมูลจากหลายๆแหล่งเข้าด้วยกัน และหาค่าที่มีความเหมาะสมที่สุดเพื่อไปใช้งานต่อไป โดยปกติข้อมูลของตัวแปรที่สนใจมักประกอบด้วยเริ่มต้นหรือค่าพยากรณ์จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ (Prior) และข้อมูลจากการตรวจวัด (Measurement) การหาค่าประมาณของตัวแปรที่สนใจ (State) ที่ดีที่สุดด้วยวิธีการทางสถิติ สามารถทำได้โดยการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักข้อมูลแต่ละตัว ด้วยส่วนกลับของความแปรปรวน (Variance) ซึ่งบอกถึงความเชื่อมั่นของข้อมูลนั้นๆ ค่าที่ประมาณที่ได้หลังการปรับแก้ (Posterior) ในลักษณะดังกล่าวจะมีความแปรปรวนน้อยที่สุด ซึ่งนิยมเรียกว่าเป็นค่าประมาณเชิงเส้นที่มีความคาดเคลื่อนกำลังสองต่ำที่สุด (Linear Least Square Estimate, LLSE)

แนวทางการรวมข้อมูล สามารถจะอธิบายผ่านตัวอย่างอย่างง่ายโดยสมมติให้  $X^-$  เป็นค่าเริ่มต้นและ  $Z$  เป็นข้อมูลจากการตรวจวัดค่าประมาณหลังการปรับแก้หรือ  $X^+$  หาได้จากที่ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของ  $X^-$  และ  $Z$  ด้วยส่วนกลับของความแปรปรวน  $\sigma_{x^-}^2$  และ  $\sigma_z^2$  ตามลำดับสมการ

$$X^+ = \frac{\frac{1}{\sigma_{x^-}^2}}{\frac{1}{\sigma_{x^-}^2} + \frac{1}{\sigma_z^2}} \cdot X^- + \frac{\frac{1}{\sigma_z^2}}{\frac{1}{\sigma_{x^-}^2} + \frac{1}{\sigma_z^2}} \cdot Z \quad \text{.....(4.1)}$$

$$X^+ = (1-K)X^- + KZ \quad \text{.....(4.2)}$$

$$X^+ = X^- + K(Z - X^-) \quad \text{.....(4.3)}$$

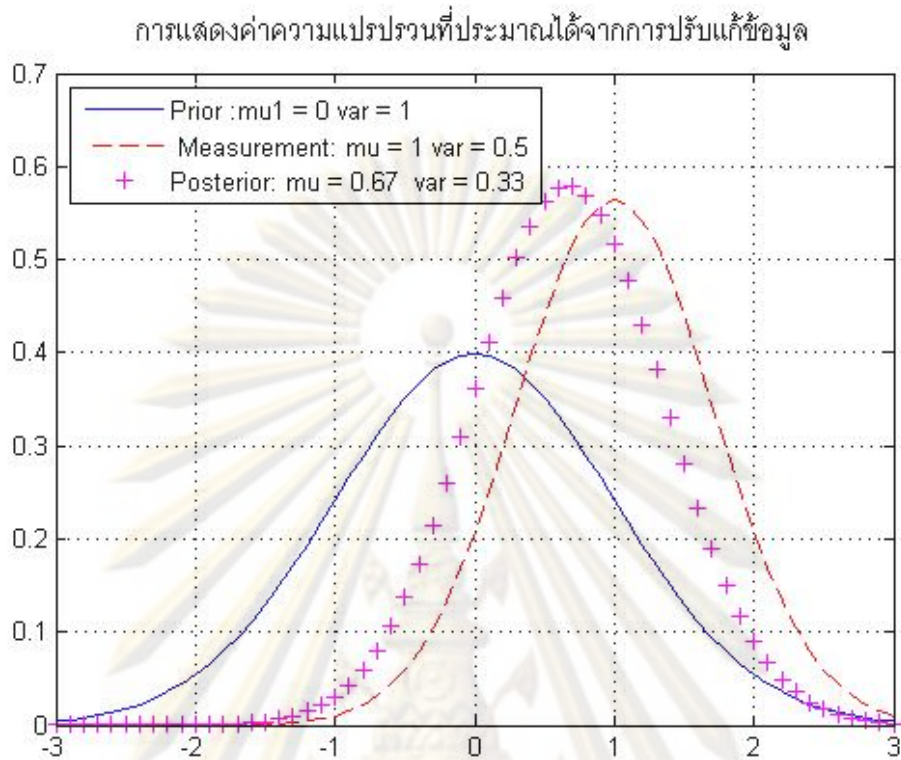
$$K = \frac{\frac{1}{\sigma_z^2}}{\frac{1}{\sigma_x^2} + \frac{1}{\sigma_z^2}} \quad \text{.....(4.4)}$$

- เมื่อ  $X^+$  = ค่าประมาณเชิงเส้นที่มีคลาดเคลื่อนกำลังสองต่ำที่สุด  
(Linear Least Square Estimate, LLSE)
- $X^-$  = ค่าเริ่มต้นหรือค่าพยากรณ์จากแบบจำลอง (Prior)
- $Z$  = ค่าตรวจวัด (Measurement)
- $\sigma_x^2$  = ค่าความแปรปรวน (Variance) ของ  $X^-$
- $\sigma_z^2$  = ค่าความแปรปรวน (Variance) ของ  $Z$
- $K$  = สัมประสิทธิ์การปรับแก้

ค่าประมาณ  $X^+$  จะมีความเหมาะสมที่สุด (Optimum) ถ้า  $X^-$  และ  $Z$  มีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distributed) ซึ่งสามารถอธิบายด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความแปรปรวน (Variance) ของตัวแปร  $X^-$  และ  $Z$

รูปที่ 4 - 1 แสดงผลการจำลองการผสมข้อมูล โดยสมมติให้ค่าเริ่มต้น เท่ากับ 0 และมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1 และสมมติให้ข้อมูลตรวจวัดเท่ากับ 1 และมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.5 คำนวณหา  $X^+$  โดยใช้สมการที่ 4.3 มีค่า เท่ากับ 0.67 และมีค่าความแปรปรวนลดลงเหลือ 0.33 ตัวอย่างดังกล่าวเป็นพื้นฐานของหลักการรวมข้อมูลและเทคนิคที่ซับซ้อนขึ้น เช่น เทคนิค 3DVAR 4DVAR ตัวกรองของคาลมาน (Kalman Filter) และเทคนิค Ensemble Kalman Filter เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4 – 1 ตัวอย่างการผสมผสานข้อมูลค่าเริ่มต้น (Prior) และค่าตรวจวัด (Measurement) เพื่อให้ได้ข้อมูลหลังการปรับแก้ (Posterior)

หากเราสมมุติให้ข้อมูลเวกเตอร์การตรวจวัด  $Z$  สัมพันธ์กับตัวแปร  $X$  ที่เราสนใจในลักษณะเชิงเส้นตรงและมีผลของความคาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดข้อมูล (Measurement error) ซึ่งแทนด้วยเวกเตอร์  $v$  ตามสมการ

$$Z = H.X + v \quad \text{.....(4.5)}$$

โดยที่  $Z$  เป็นเวกเตอร์ขนาด  $m \times 1$   $H$  คือค่าคงที่ของเมตริกซ์ที่มีขนาด  $m \times n$  รวมทั้ง  $X$  ที่มีขนาด  $n \times 1$  และ  $v$  เป็นเวกเตอร์ตัวแปรสุ่มขนาด  $m \times 1$  ที่สมมุติให้ไม่สัมพันธ์กับ  $X$  (Uncorrelated) จากสมการที่ 4.5 ค่าประมาณเชิงเส้นที่มีความคาดเคลื่อนกำลังสองต่ำที่สุดหรือ  $X^+$  จะสามารถคำนวณจากเวกเตอร์ของข้อมูลเริ่มต้น  $X^-$  และเวกเตอร์ค่าตรวจวัด  $Z$  ได้ดังนี้



$$X^+ = X^- + K(Z^- - H.X^-) \quad \text{.....(4.6)}$$

$$K = HC_{xx} (HC_{xx} H^T + R)^{-1} \quad \text{.....(4.7)}$$

โดยเมตริกซ์สัมประสิทธิ์การปรับแก้ K ในสมการที่ 4.7 นิยมเรียกว่า สัมประสิทธิ์ของคาลมาน (Kalman Gain) ซึ่งคำนวณจากเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม  $C_{xx}$  ของเวกเตอร์ค่าเริ่มต้น (Prior Covariance Matrix) และเมตริกซ์ค่าความแปรปรวนร่วม R ที่เกิดจากข้อผิดพลาดจากการวัด (Measurement Error Covariance Matrix)

#### 4.2 ตัวกรองคาลมานและการปรับแบบราบเรียบ (Kalman Filter and Smoothing)

ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) เป็นวิธีการปรับแก้ทางคณิตศาสตร์ ที่พัฒนาโดย ดร. รูดอล์ฟ คาลมาน (R.E Kalman) ในปี 1960 ถูกนำมาใช้งานจริงครั้งแรกเพื่อประมาณสถานะของระบบนำร่องวิถีโคจรของยานอพลโล่ 11 (Apollo Project) ในการภารกิจไปกลับดวงจันทร์และประยุกต์ใช้กับข้อมูลเรดาร์ในการตรวจวัดที่สำหรับการบินและอวกาศ เทคนิคดังกล่าวใช้สำหรับหาค่าประมาณค่าที่ดีที่สุดของสถานะของระบบโดยนำข้อมูลเกี่ยวกับความไม่แน่นอน เช่น ความไม่แน่นอนของกลศาสตร์ของระบบที่มีการเคลื่อนที่ (System Dynamics) ความคลาดเคลื่อนของเซ็นเซอร์ (Measurement Noise) มาประกอบการพิจารณาบนพื้นฐานของความน่าจะเป็นในลักษณะที่เกื้อกูลกันอย่างดีที่สุด (Optimal) วิธีการของตัวกรองคาลมาน ประกอบด้วยสมการการเคลื่อนที่ของตัวแปรเชิงเส้น (Linear Dynamic Equation) จากเวลา  $t$  ไปที่เวลาที่  $t + 1$  และสมการการตรวจวัด (Measurement Equation) ที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สนใจกับค่าที่เราสามารถตรวจวัดได้ที่เวลา  $t$  ตามสมการที่ 4.8 และสมการที่ 4.9 ตามลำดับ

$$X(t+1) = F.X(t) + W(t) \quad \text{.....(4.8)}$$

$$Z(t) = H.X(t) + V(t) \quad \text{.....(4.9)}$$

$X(t)$  = ตัวแปรที่เราสนใจ ณ เวลา  $t$  (System state vector)

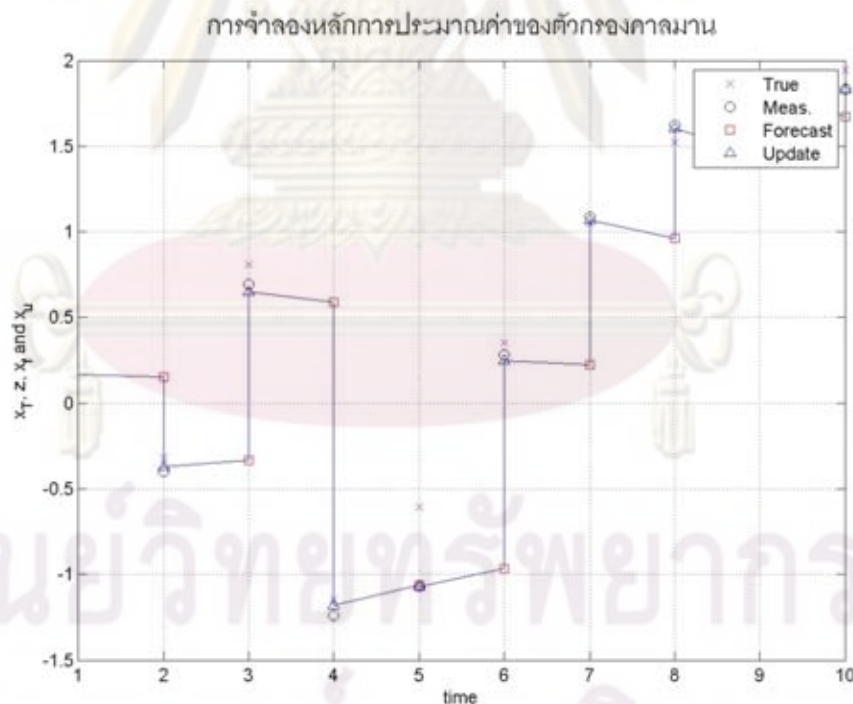
$X(t+1)$  = ตัวแปรที่เราสนใจ ณ เวลาถัดไปหรือ  $t + 1$  (Prediction State vector)

$W(t)$  = ข้อผิดพลาดที่เกิดที่ค่าประมาณตัวแปร  $x$  ที่เวลา  $t$  (System noise)

$V(t)$  = ข้อผิดพลาดที่เกิดจากการตรวจวัด (Measurement noise)

- $Z(t)$  = ข้อมูลจากการตรวจวัด (Measurement vector)  
 $F$  = สัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ (Dynamic coefficient matrix)  
 $H$  = ค่าคงที่สมการการวัด (Measurement sensitivity matrix)

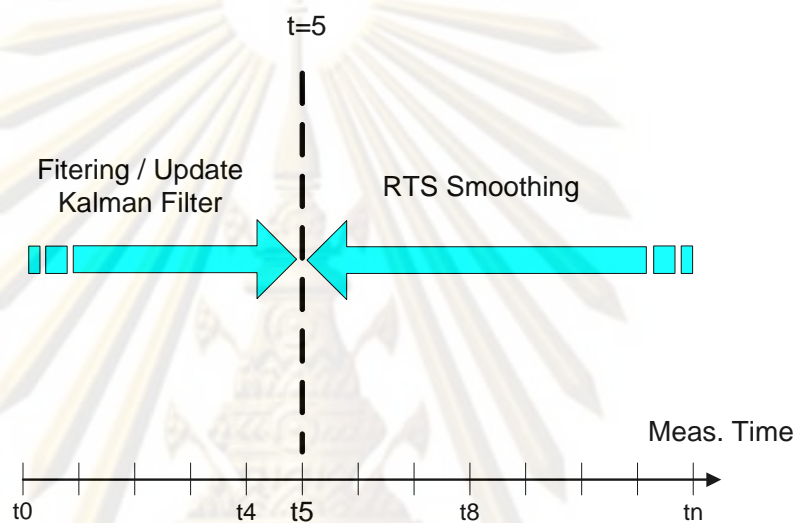
สมมติให้  $W(t)$  และ  $V(t)$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือ สมมุติฐานเกาส์เซียน (Gaussian) จากความสัมพันธ์ดังกล่าว เราสามารถหาค่าประมาณที่มีความคลาดเคลื่อนกำลังสองต่ำที่สุดได้ ตามสมการที่ 4.8 และ 4.9 โดยค่าประมาณที่ได้นี้จะเป็ค่าประมาณเชิงเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุด ที่ใช้ข้อมูลค่าเริ่มต้นและข้อมูลตรวจวัดที่ทุกเวลาในอดีตจนถึงเวลา  $t$  ที่เราสนใจ ซึ่งหลักการดังกล่าวเหมาะสมกับการพิจารณาค่าปัจจุบัน (real time) ตัวอย่างการพิจารณาโดยกำหนดให้ค่าพยากรณ์เป็นค่าเริ่มต้น (Forecast) จากนั้นจะเพิ่มค่าการตรวจวัดหลังจากนั้นจะทำการปรับแก้ (Update) ดังแสดงในรูปที่ 4 - 2 เป็นการจำลองการทำงานของวิธีการดังกล่าว



รูปที่ 4 - 2 ตัวอย่างการจำลองหลักการคำนวณตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter)

สำหรับการปรับแก้ข้อมูลในอดีต (Reanalysis) เทคนิคการคำนวณด้วยการคำนวณตัวกรองของคาลมานจะให้ค่าประมาณที่เวลา  $t$  ใดๆ ที่เราสนใจที่เราโดยใช้ทั้งหมดในอดีตจนถึง

เวลา  $t$  เท่านั้นไม่ได้นำข้อมูลการตรวจวัดที่เวลาหลังจากนั้น เช่นที่  $t+1$ ,  $t+2$  มาช่วยในการปรับแก้ด้วย ดังนั้นการประมาณที่ได้จึงยังไม่เหมาะสมที่สุดการจะรวมข้อมูลที่เวลา  $t+1$ ,  $t+2$  ...  $t+n$ , มาช่วยในการปรับแก้สามารถทำได้โดยการใช้เทคนิคการปรับแก้ย้อนกลับ (Backward Algorithm) เช่น เทคนิค RTS Smoothing ซึ่งทำให้ค่าประมาณที่ได้มีการปรับแก้ด้วยข้อมูลทั้งหมดและมีความถูกต้องมากขึ้นดังรูปที่ 4 - 3 ในรายงานนี้ไม่ได้กล่าวถึง RTS Smoothing โดยละเอียดผู้ที่สนใจสามารถอ้างอิงได้จาก Chou (1994)



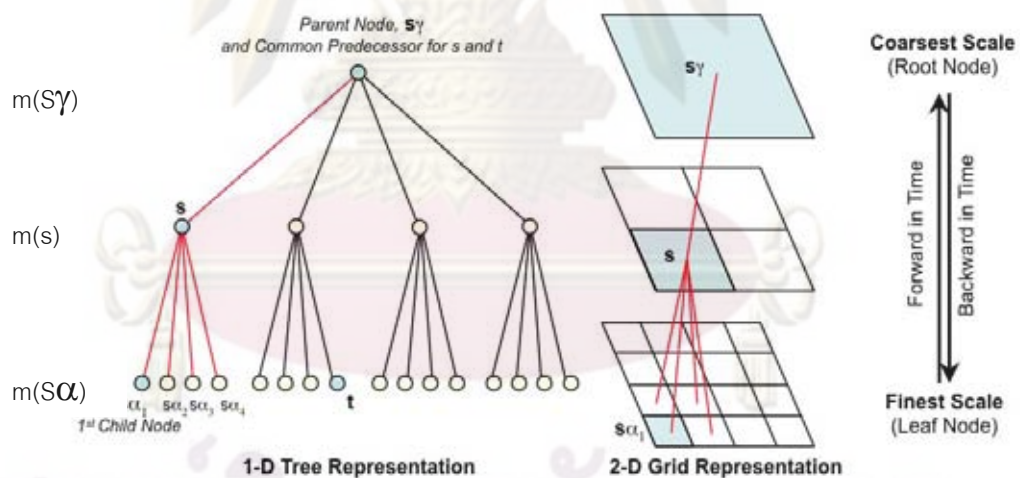
รูปที่ 4 - 3 หลักการคำนวณของตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) ที่ช่วงเวลา  $t$  และ การคำนวณย้อนกลับ RTS Smoothing

แม้ว่าสมการที่ 4.6 และ 4.7 จะสามารถประยุกต์ใช้กับข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ที่ได้โดย  $X$  แทนข้อมูลที่สนใจและ  $Z$  แทนการตรวจวัดน้ำฝนแต่ในการใช้งานจริง  $X$  และ  $Z$  จะผันแปรตามพื้นที่ขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น กรณีที่ศึกษาพื้นที่ขนาด  $1000 \times 1000$  ตร.กม. ที่ความละเอียด  $1$  ตร.กม. ขนาดของค่าเวกเตอร์  $X$  และ  $Z$  จะมีขนาด  $1,000,000 \times 1$  และเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance matrix) จะมีขนาด  $1,000,000 \times 1,000,000$  การคำนวณหาเมตริกซ์สัมประสิทธิ์คาลมาน  $K$  สมการที่ 4.6 และ 4.7 จำเป็นต้องกลับเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมดังกล่าว ต้องใช้กำลังและเวลาในการคำนวณมาก และยิ่งเกิดความผิดพลาดได้ง่ายหากเมตริกซ์ไม่มีเสถียรภาพ (ill-conditioned) ซึ่งมีความเป็นไปได้สูงสำหรับข้อมูลฝนในพื้นที่ขนาดใหญ่ ดังนั้นแนวทางการใช้เทคนิคตัวกรองคาลมานโดยตรงจึงอาจไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Chou et al. (1994) โดยการใช้การประมาณด้วยการปรับสเกล (Scale Recursive Estimation)



### 4.3 การประมาณของการปรับสเกล (Scale Recursive Estimation)

การประมาณของการปรับสเกล (Scale Recursive Estimation) เป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนา มาจากเทคนิคตัวกรองของตัวกรองคาลมาน (Kalman filter) เพื่อแก้ปัญหาข้อผิดพลาดของการ กลับเมตริกซ์ขนาดใหญ่เมื่อใช้กับข้อมูลเชิงพื้นที่ขนาดใหญ่ (Chou et al,1994) แนวทางดังกล่าว สามารถแก้ไขได้โดยพิจารณาปรับแก้ตัวแปรแยกออกจากกัน และกำหนดความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ เพื่อแสดงเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม ลักษณะของแบบจำลองจะถูกแบ่งเป็นพื้นที่ย่อยๆ ที่ความ ละเอียดต่างๆ และเพิ่มความละเอียดให้มากขึ้นตามลำดับ เป็นไปในลักษณะพีระมิด (Pyramid) ดังรูปที่ 4 - 4 จากความสัมพันธ์นี้จะสามารถปรับแก้ค่าของตัวแปรที่พื้นที่ย่อยต่างๆ จากพื้นที่ย่อย ช่างเคียงหรือจากข้อมูลที่มีความละเอียดอื่น ๆ ได้อีกด้วย หลักการดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้เชิง สถิติของแบบจำลองลักษณะฝน ในการรวมข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัดและเรดาร์ ที่มีความ ละเอียดต่างกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4 - 4 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ย่อยต่างๆ ในลักษณะคล้ายต้นไม้

หัวกลับหรือพีระมิดในแบบจำลองลำดับชั้น (Chatdarong,2006)

การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ตำแหน่งต่างๆ ต่างๆ จะต้องเริ่มต้นจากการสร้าง โครงสร้าง SRE โดยกำหนดจำนวนชั้นหรือสเกลตามจำนวนข้อมูลตรวจวัดที่ละเอียดสุดที่มี เช่น หากมีข้อมูลที่ละเอียดที่สุดจำนวน 4 x 4 ช่อง เราสามารถที่จะกำหนดโครงสร้าง SRE เป็น 3 ชั้น

โดยสเกลแรกจะมีข้อมูล  $1 \times 1$  ช่อง สเกลที่ 2 มีข้อมูล  $2 \times 2$  ช่อง สเกลที่ 3 มี  $4 \times 4$  ช่อง ดังตัวอย่างโครงสร้างแสดงในรูปที่ 4 - 4 เหตุผลที่ต้องมีการสร้างสเกลที่หยาบขึ้นนั้นเพื่อช่วยในการกำหนดความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างตำแหน่งต่างๆ ดังจะได้แสดงต่อไป โดยเมื่อทำการปรับแก้เสร็จแล้วผู้ใช้สามารถเลือกพิจารณาเฉพาะในสเกลที่สนใจสเกลใดก็ได้

จากโครงสร้าง SRE ที่ได้ นิยาม  $s$  เป็นตำแหน่งที่เราสนใจ ณ สเกล  $m(s)$  กำหนดให้ตำแหน่ง  $s\gamma$  ที่สเกล  $m(s)-1$  เป็นบรรพบุรุษ (Parent) ของตำแหน่ง  $s$  ที่มีความละเอียดต่ำกว่าที่ตำแหน่ง  $s$  นี้สามารถขยายไปยังตำแหน่งตำแหน่งลูก (children)  $s\alpha_i; i = 1 \dots q$  ที่สเกล  $m(s)+1$  ที่ละเอียดกว่า กำหนดให้  $x(s)$  แทนตัวแปรที่เราสนใจที่ตำแหน่ง  $s$  ซึ่งสามารถหาได้ตัวแปรบรรพบุรุษตามสมการที่ 4.10 รวมทั้งกำหนดให้ค่าการตรวจวัด  $z(s)$  ที่ตำแหน่ง  $s$  สามารถหาได้จากตัวแปร  $x(s)$  ตามสมการที่ 4.11

$$x(s) = F(s)x(s\gamma) + w(s) \quad \text{.....(4.10)}$$

$$z(s) = H(s)x(s) + v(s) \quad \text{.....(4.11)}$$

$x(s)$  = ตัวแปรที่สนใจที่ตำแหน่ง  $s$  (System state vector)

$z(s)$  = ข้อมูลตรวจวัดที่ตำแหน่ง  $s$  (Measurement vector)

$w(s)$  = ความคาดเคลื่อนของระบบ (System noise)

$v(s)$  = ความคลาดเคลื่อนของการตรวจวัด (Measurement noise)

โดยที่  $F(s)$  และ  $H(s)$  จะเป็นเมตริกซ์ของค่าคงที่และสมมุติให้  $w(s)$  และ  $v(s)$  มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distributed) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และค่าความแปรปรวนเท่ากับ  $Q(s)$  และ  $R(s)$  ตามลำดับ จากความสัมพันธ์ดังกล่าวเราสามารถหาค่าความแปรปรวนร่วม (Covariance Matrix) ระหว่างจุด  $s$  และ  $t$  ได้จากสมการ 4.12 และ 4.13

$$Px(s) = F(s).Px(s\gamma).F^T(s) + Q(s) \quad \text{.....(4.12)}$$

$$Cxx(s,t) = \Phi(s, s^t).Px(s^t)\Phi^T(t, s^t) \quad \text{.....(4.13)}$$

$$\phi(s_1, s_2) = \begin{cases} I & , s_1 = s_2 \\ F(s_1)\phi(s_1, \gamma, s_2) & , m(s_1) > m(s_2) \end{cases} \dots\dots\dots(4.14)$$

ที่จุด  $s \wedge t$  คือจุดเริ่มต้นก่อนจุด  $s$  และ  $t$  ตามตัวอย่างในรูปที่ 4-4 สมการที่ 4.12 ถึง 4.14 นี้บอกถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ตำแหน่งต่างๆ บนโครงสร้าง SRE ซึ่งทำให้เราสามารถคำนวณหาเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมหรือ  $C_{xx}$  ในสมการที่ 4.10 ได้และใช้เทคนิคการปรับแก้ของคาลมานและการปรับแก้แบบราบเรียบ เพื่อให้ค่าประมาณหลังการปรับแก้ที่มีความคาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุดได้เช่นเดียวกันกับการใช้สมการ 4.6 โดยตรง แต่มีความรวดเร็วกว่าในการคำนวณซึ่งรายละเอียดของเทคนิค SRE ได้แสดงไว้ในการศึกษาของ Chou และคณะ (1994)

อย่างไรก็ดีเทคนิค SRE ยังไม่สามารถประยุกต์ใช้กับข้อมูลฝนได้โดยตรง เนื่องจากเทคนิคดังกล่าวมีสมมุติฐานว่าตัวแปรต้องมีการกระจายแบบปกติ แต่ข้อมูลฝนไม่ได้มีการกระจายในลักษณะดังกล่าว ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้สมมุติฐานอื่นๆ เพิ่มเติมเพื่อให้เทคนิค SRE สามารถใช้งานกับข้อมูลฝนได้

#### 4.4 แบบจำลองฝนแบบลำดับชั้นเชิงพื้นที่ (Spatial Cascade Rainfall Model)

แบบจำลองฝนแบบลำดับชั้นเชิงพื้นที่ (Spatial Cascade Rainfall Model) เป็นแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ของฝนที่ความละเอียดต่างๆกัน ซึ่งนำเสนอโดย Luettgen (1993), Gupta และ Waymire (1993) แบบจำลองนี้กำหนดให้  $X(s)$  ซึ่งเป็นข้อมูลฝนที่ตำแหน่ง  $s$  ณ สเกล  $m(s)$  มีความสัมพันธ์กับ  $X(s\gamma)$  หรือฝนที่ตำแหน่งบรรพบุรุษ  $s\gamma$  ที่สเกล  $m(s) - 1$  ตามสมการ

$$X(s) = X(s\gamma).W(s) \dots\dots\dots(4.15)$$

โดย  $W(s)$  คือ สัมประสิทธิ์ลำดับชั้น (Cascade Weight) ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มที่แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมของข้อมูลที่สูงขึ้นตามสเกลหากกำหนดให้ตัวแปร  $X(s)$  และ  $W(s)$  มีการกระจายแบบล็อกปกติ (Log-normal Distributed) ดังนี้



$$X(s) = \exp\{x(s) - \sigma_x^2(s)/2\} \quad \text{.....(4.16)}$$

$$W(s) = \exp\{w(s) - \sigma_w^2(s)/2\} \quad \text{.....(4.17)}$$

จะได้ว่า  $x(s)$  และ  $w(s)$  มีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และค่าความแปรปรวนเท่ากับ  $\sigma_x^2(s) = C_{xx}(s)$  และ  $\sigma_w^2(s) = Q(s)$  ตามลำดับ เมื่อถอดลึ้อคสมการที่ 4.15 เราจะได้สมการที่ 4.21 ที่มี  $F(s)$  เท่ากับ 1 ในทำนองเดียวกันหากสมมติให้ข้อมูลฝนตรวจวัด  $Z(s)$  สัมพันธ์กับข้อมูลฝน  $X(s)$  ตามสมการ

$$Z(s) = X(s).V(s) \quad \text{.....(4.18)}$$

โดยสมมติให้  $V(s)$  เป็นเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อนการตรวจวัดและให้  $v(s)$  และ  $z(s)$  ที่มีการกระจายแบบลึ้อคปกติ

$$Z(s) = \exp\{z(s) - \sigma_z^2(s)/2\} \quad \text{.....(4.19)}$$

$$V(s) = \exp\{v(s) - \sigma_v^2(s)/2\} \quad \text{.....(4.20)}$$

จะได้ว่า  $z(s)$  และ  $v(s)$  มีการกระจายตัวแบบปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และค่าความแปรปรวนเป็น  $\sigma_z^2(s)$  และ  $\sigma_v^2(s) = R(s)$  ตามลำดับ หากทำการถอดลึ้อคสมการที่ 4.18 จะได้ตามสมการที่ 4.22 โดยมีค่า  $H(s)$  เท่ากับ 1 เช่นกัน

จากแนวทางดังกล่าวถ้าเราพิจารณาลึ้อคของตัวแปรต่างๆ ได้แก่  $x(s)$ ,  $w(s)$ ,  $z(s)$ , และ  $v(s)$  ซึ่งทั้งหมดมีการกระจายแบบปกติเราจะได้ความสัมพันธ์

$$x(s) = x(s\gamma) + w(s) \quad \text{.....(4.21)}$$

$$z(s) = x(s) + v(s) \quad \text{.....(4.22)}$$

$x(s)$  = ลึ้อคของฝนที่ต้องการประมาณที่ตำแหน่ง  $s$

$z(s)$  = ลึ้อคของฝนจากการตรวจวัด

$w(s)$  = ลึ้อคของข้อผิดพลาดที่เกิดจากการประมาณ

$v(s)$  = ลึ้อคของข้อผิดพลาดที่เกิดจากการตรวจวัด

จากสมการที่ 4.21 และ 4.22 จะเห็นว่าเราสามารถประยุกต์ใช้เทคนิค SRE กับข้อมูล ลีตของฝนได้เมื่อใช้แบบจำลองฝนแบบลำดับชั้นเชิงพื้นที่ แต่ยังคงจำเป็นต้องทราบความแปรปรวน  $Q(s)$  และ  $R(s)$  ที่ทุกตำแหน่ง ซึ่งค่าพารามิเตอร์ความแปรปรวน  $Q(s)$  และ  $R(s)$  นี้ไม่สามารถกำหนดเป็นคงที่ได้เพราะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พื้นที่และช่วงเวลา แนวทางหนึ่งในการหาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากเทคนิค EM ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

#### 4.5 การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM (Expectation – Maximization)

การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM (Kannan, 2000) เป็นการคำนวณความคาดการณื ตัวแปรที่เหมาะสม (Expectation – Maximization Algorithm) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ (1) การคำนวณตัวแปรพารามิเตอร์เริ่มต้น (Expectation Step) และ (2) ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ใหม่ที่มีความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum-Likelihood Estimation Step) โดยจะทำการแก้สมการซ้ำๆ ไปจนกว่าจะได้ค่าพารามิเตอร์ที่ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ (Iteration Method) เทคนิคนี้มีความถูกต้องสูง และสอดคล้องกับลักษณะของการคำนวณเทคนิค SRE เทคนิคดังกล่าวสามารถใช้หาค่าพารามิเตอร์  $Q(s)$  และ  $R(s)$  ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Chatdarong, 2006)

สำหรับรายละเอียดของเทคนิค EM ที่ทำให้หาค่าพารามิเตอร์  $F$ ,  $H$ ,  $Q$  และ  $R$  ที่ใช้กับโครงสร้าง SRE ได้แสดงไว้ในการศึกษาของ Kannan และคณะ (2000) จากทฤษฎีที่กล่าวมา จะเห็นว่าเราสามารถประยุกต์ใช้สมมติฐานตามแบบจำลองลำดับชั้นและหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM อย่างไรก็ดีหากเราต้องการใช้เทคนิคดังกล่าวในการรวมข้อมูลฝนจากเรดาร์เราจำเป็นต้องจัดรูปแบบข้อมูลตรวจวัดให้เป็นไปประเภทเดียวกันก่อนดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนข้อมูลความเข้มเป็นจากการสะท้อนกลับจากเรดาร์ ( $\text{mm}^0/\text{mm}^3$ ) มาเป็นความเข้มฝนในหน่วย ( $\text{mm}/\text{ชม.}$ ) เสียก่อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.6 สมการความสัมพันธ์ของ Z-R (Z-R Relationship)

จากสมการความสัมพันธ์ของ Z และ R (Z-R Relationship) หาความสัมพันธ์แบบจุดต่อจุดนำค่า Z กับค่า R ณ ตำแหน่งเดียวกันมาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{จากสมการของฝน } Z = aR^b \quad \text{.....(4.23)}$$

$$\log Z = \log aR^b$$

$$\log Z = b \log R + \log a$$

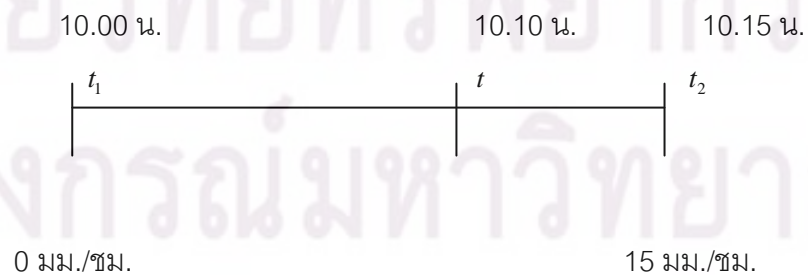
$$\text{เทียบกับสมการ } y = m x + c$$

$$\text{โดยที่ } \log Z = \frac{\text{dBZ}}{10}$$

หน่วยของ Z คือ มม.<sup>6</sup>/ม.<sup>3</sup>

หน่วยของ R คือ มม./ชม.

จากนั้นจึงทำการพล็อตกราฟระหว่าง  $\log Z$  กับ  $\log R$  โดยที่ค่า  $\log Z$  นั้นเป็นหน่วยปริมาณน้ำฝนที่อ่านได้จากค่าการสะท้อนกลับจากเรดาร์ และค่า  $R$  คือค่าที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝนในเลือกข้อมูลน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน หลักเกณฑ์ในการเลือกนั้น คือ จะเอาเวลาที่เลือกไว้จากภาพเรดาร์เป็นหลักโดยที่จะเลือกเวลาให้ตรงกัน ในกรณีที่เวลาที่คัดเลือกมานั้นไม่ตรงกันสาเหตุมาจากข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน (Rain gauge) เก็บรวบรวมทุก 15 นาที แต่ข้อมูลที่ได้จากเรดาร์ (Radar Reflectivity) นั้นจะทำการเก็บรวบรวมทุกๆ 10 นาที จะมีวิธีการหาค่า  $R$  โดยการถ่วงน้ำหนักค่า  $R$  ณ เวลารอบๆเวลาที่ต้องการหาค่าเช่น



รูปที่ 4 - 5 การเลือกค่า R ให้เป็นช่วงเวลาเดียวกับค่า Z

พิจารณาจากตัวอย่างในรูปที่ 4-5 เราสามารถประมาณค่าของฝนที่เวลาทุก 10 นาที หาได้ตาม

$$R_t = W_1 R_{t_1} + W_2 R_{t_2} \quad \text{.....(4.24)}$$

$$W_1 = \frac{t - t_1}{t_2 - t_1}; \quad W_2 = \frac{t_2 - t}{t_2 - t_1} \quad \text{.....(4.25)}$$

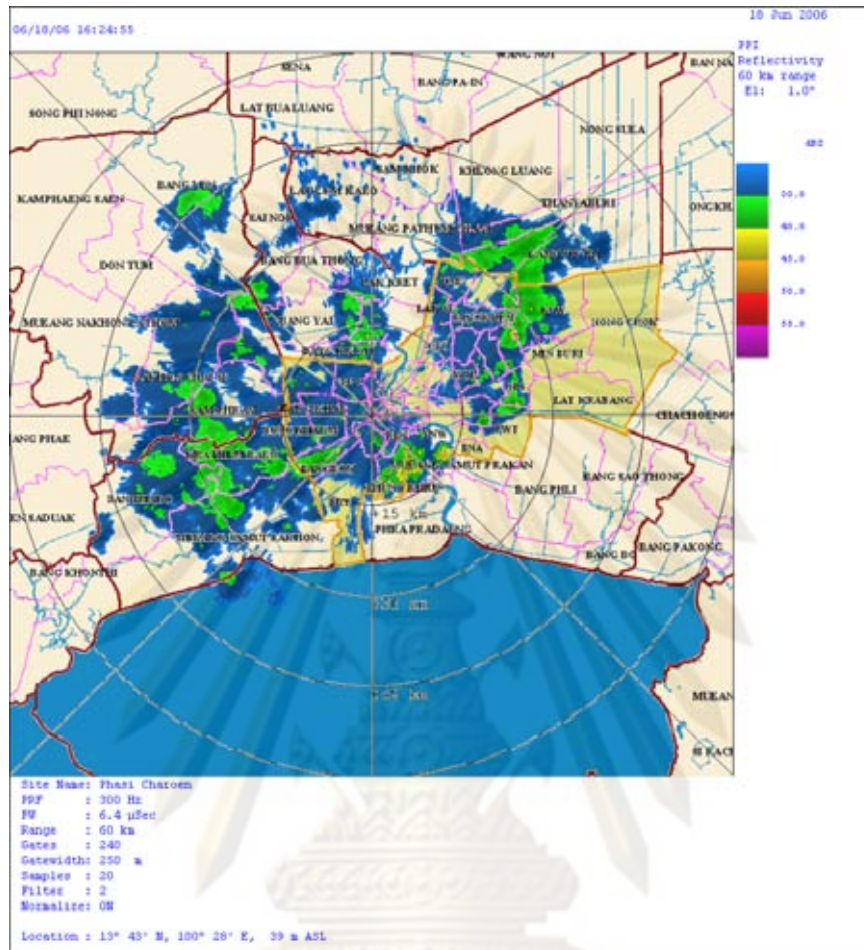
ค่าการสะท้อนกลับนี้จะแบ่งตามลักษณะของประเภทของฝนได้ตามตารางที่ 4 -1 และแสดงตัวอย่างค่าความเข้มสะท้อนกลับของเรดาร์ภาคีเจริญดังรูปที่ 4 - 6

ตารางที่ 4 - 1 การจำแนกประเภทฝนกับค่าการสะท้อนกลับ (Radar Reflectivity)

ประเภทฝน	ค่าการสะท้อน
ท้องฟ้าโปร่ง	0 dBZ
ฝนหรือหิมะตกปรอยๆ	10 dBZ
ฝนหรือหิมะตกเบาๆ	25 dBZ
ฝนตกพอสสมควร	35 dBZ
ฝนตกหนัก	45 dBZ
ฝนตกหนักมากหรือมีลูกเห็บ	55 dBZ

(ที่มา [http://www.radar.mcgill.ca/z\\_cappi.html](http://www.radar.mcgill.ca/z_cappi.html))





รูปที่ 4 - 6 ข้อมูลรูปภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดกลุ่มฝนจากสถานีเรดาร์ภาษีเจริญ  
(ที่มา : สำนักระบายกรุงเทพมหานคร)

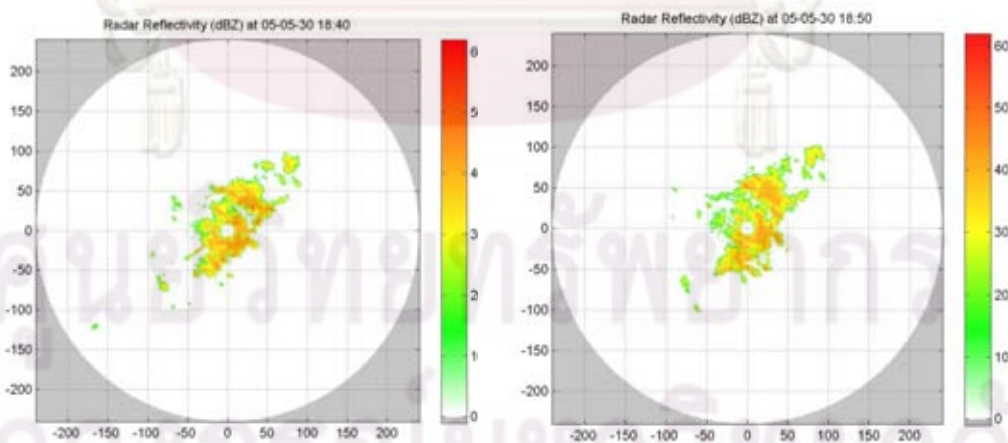
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

### 5.1 โครงสร้างของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

5.1.1 ข้อมูลเรดาร์ ในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (Radar Reflectivity) ของเรดาร์จากสถานีเรดาร์ภาชีเจริญระหว่างปี พ.ศ 2548 – 2550 เป็นเรดาร์ชนิด C – band Minimax จากสำนักกระบายน้ำกรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่ในฝั่งตะวันตกของกรุงเทพมหานคร ที่ละติจูด  $43^{\circ}13'16.02''$  และที่ลองจิจูด  $25^{\circ}100'58.61''$  โดยข้อมูลค่าการสะท้อนกลับจากละอองน้ำหรือฝนในอากาศมีหน่วยเป็นเดซิเบล (dBZ) ข้อมูลมีการตรวจวัดทุก 10 นาที ในรูปแบบแนวคลื่นสะท้อนพีพีไอ (Pipitation Plan Indiccater : PPI) ทำมุม 0.5, 1.5 และ 3.5 องศาจากแนวราบ รัศมีทำการสูงสุด 120 กิโลเมตร และมีระยะที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ที่ 5 กิโลเมตร จากศูนย์กลางเรดาร์ภาชีเจริญ

การนำข้อมูลจากเรดาร์มาใช้นั้นทางสถานีเรดาร์จะจัดเก็บดิจิทัลไฟล์ในรูปแบบไบนารี (binary) เป็นนามสกุลโพหรือดอตโพ (.pol) ซึ่งเก็บข้อมูลในพิกัดโพล่า (Polar Coordinate) และจะต้องแปลงไฟล์ลงพิกัดฉาก (Cartesian Coordinate) เป็นนามสกุลแมทหรือดอตแมท (.mat) ด้วยโปรแกรม Matlab ที่ความละเอียด 0.5 X 0.5 ตารางกิโลเมตร โดยใช้โปรแกรม MATLAB จะเป็น software สำหรับการวิเคราะห์เชิงตัวเลข



รูปที่ 5 - 1 ข้อมูลรูปภาพที่ได้การวัดปริมาณน้ำฝนด้วยสถานีเรดาร์ภาชีเจริญที่ระยะห่างหน่วย 0.5 กิโลเมตร จากสถานีเรดาร์ภาชีเจริญ

5.1.2 ข้อมูลฝน ที่จะใช้ในการศึกษาครั้งนี้ข้อมูลฝนสะสมที่จากโครงข่ายสถานีวัดน้ำฝนแบบโทรมาตร(SCADA) ของสำนักกระบายน้ำกรุงเทพมหานครที่ตั้งที่อยู่ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร จำนวนทั้งสิ้น 61 สถานี ซึ่งเป็นสถานีที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ฝั่งตะวันออกจำนวน 41 สถานีและพื้นที่กรุงเทพมหานครฝั่งตะวันตกจำนวน 20 สถานี ที่ตั้งดังแสดงในตารางที่ 5 - 2 ข้อมูลน้ำฝนเหล่านี้เป็นเครื่องชนิดถ้วยกระดก (Tipping Bucket Rain Gauge) ข้อมูลฝนสะสมมีการจัดเก็บรูปแบบตารางเอ็กซ์เซล (Excel Format) แยกออกเป็นแต่ละสถานีและจะบันทึกค่าในทุกๆ 1 ปี โดยจะบันทึกข้อมูลสะสมเป็นราย 15 นาที, 1, 3, 6, และ 24 ชั่วโมง โดยข้อมูลที่น่ามาใช้จะไม่นำข้อมูลที่น้อยกว่า 0.5 มม. เนื่องจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนชนิดถ้วยกระดก(Tipping Bucket Rain Gauge) สามารถตรวจวัดปริมาณได้อย่างน้อยที่สุด 0.5 (ศิริลักษณ์, 2550) ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 5 - 1 โดยการศึกษาในครั้งนี้จะใช้ข้อมูลในปี 2548 - 2550 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลเรดาร์

ตารางที่ 5 - 1 ตัวอย่างข้อมูลฝนสะสมจากสถานีตรวจวัด E01

stn	dt	tm	rf	rf1h	rf3h	rf6h	rf24h
E01	20/5/2005	11:00	10.5	10.5	10.5	10.5	15.5
E01	20/5/2005	11:15	0.5	11	11	11	16
E01	20/5/2005	11:30	0	11	11	11	16
E01	20/5/2005	11:45	0	11	11	11	16
E01	20/5/2005	12:00	0	0.5	11	11	16
E01	20/5/2005	12:15	0.5	0.5	11.5	11.5	16.5
E01	20/5/2005	12:30	0	0.5	11.5	11.5	16.5
E01	20/5/2005	12:45	0	0.5	11.5	11.5	16
E01	20/5/2005	13:00	0	0.5	11.5	11.5	16
E01	20/5/2005	13:15	0	0	11.5	11.5	16
E01	20/5/2005	13:30	0	0	11.5	11.5	16
E01	20/5/2005	13:45	0	0	11.5	11.5	16
E01	20/5/2005	14:00	0	0	1	11.5	16



ตารางที่ 5 - 2 รายชื่อและที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนระบบ SCADA

รหัส สถานี	ชื่อสถานี	Latitude			Longitude		
		องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา
E00	ศูนย์ควบคุมระบบป้องกันน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร	13	46	6.66	100	33	31.72
E01	ปตร.คลองสอง	13	55	16.8	100	38	16.9
E02	ปตร.คลองพระยาสุเรนทร์	13	55	45.31	100	41	35.37
E03	ปตร.คลองสามวา	13	51	26.27	100	43	56.71
E04	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝนคลองบางบัว	13	51	20.59	100	35	31.06
E05	ปตร.คลองเปรมประชากร	13	51	12.39	100	34	0.07
E06	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝนคลองลำชะล่า	13	50	14.75	100	39	51.39
E07	ปตร.คลองแสนแสบ ตอนถนนประชาชื่น	13	49	9.77	100	45	4.3
E08	สถานีสูบน้ำคลองบางเขนใหม่	13	48	53.65	100	30	49.64
E09	ปตร.คลองบึงขวาง	13	47	52.36	100	44	59.06
E10	สถานีสูบน้ำคลองบางซื่อ	13	48	27.44	100	31	17.78
E11	ปตร.คลองแสนแสบ ตอนบางชัน	13	47	37.59	100	42	11.79
E12	ปตร.คลองลาดพร้าว	13	47	43.52	100	35	32.25
E13	สถานีสูบน้ำคลองสามเสน	13	46	58.2	100	30	35.58
E14	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝนคลองเจ้าคุณสิงห์ ตอน รร. บดินทร์เดชา	13	46	4.6	100	37	4.2
E15	สถานีสูบน้ำเทเวศน์	13	46	12.76	100	30	15.31
E16	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝนคลองสามเสน ตอนอนุสาวรีย์ ชัยสมรภูมิ	13	46	0.62	100	32	16.77
E17	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝนคลองแสนแสบ เขตบางกะปิ	13	45	46.62	100	38	59.55
E18	สถานีสูบน้ำคลองสามเสน ตอนคลองแสนแสบ (ศูนย์วิจัย)	13	44	49.22	100	36	1.03
E19	สถานีสูบน้ำคลองแสนแสบ ตอนคลองตัน	13	44	21.6	100	35	55.85
E20	สถานีสูบน้ำกรุงเทพมหานคร	13	43	42.78	100	31	0.96
E21	ปตร.คลองพระโขนง ตอนลาดกระบัง	13	43	19.36	100	44	56.36
E22	ปตร.คลองพระโขนง ตอนวัดกระทู้มเสื่อปลา	13	43	19.33	100	41	6.68
E23	สถานีสูบน้ำคลองสาร	13	43	0.47	100	31	0.59
E24	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝนคลองพระโขนง ตอนวัดจวรศิริ	13	42	44.58	100	38	29.98
E25	สถานีสูบน้ำพระรามสี่	13	42	20.49	100	33	30.23
E26	สถานีสูบน้ำพระโขนง	13	42	26.13	100	35	46.75
E27	สถานีสูบน้ำคลองเตย	13	42	21.42	100	35	20.08
E28	สถานีสูบน้ำคลองแจ็ก	13	41	47.14	100	35	36.5
E29	สถานีสูบน้ำคลองวัดไทร	13	41	6.49	100	31	13.27
E30	สถานีสูบน้ำคลองบางอ้อ	13	40	50.16	100	35	41.1
E31	สถานีสูบน้ำคลองบางนา	13	40	22.6	100	35	25.94



ตารางที่ 5-2 รายชื่อและที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนระบบ SCADA (ต่อ)

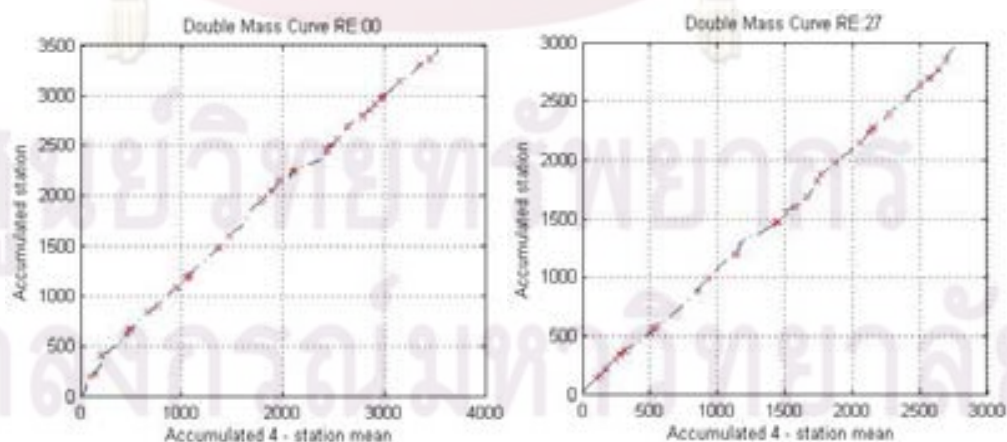
รหัส สถานี	ชื่อสถานี	Latitude			Longitude		
		องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา
E32	สถานีวัดระดับ-น้ำฝน คลองบางนา ตอนถนนศรีนครินทร์	13	39	32.52	100	38	38.63
E33	สถานีสูบน้ำคลองสำโรง	13	38	44.76	100	35	58.56
E34	ปตร.คลองแสนแสบ ตอนถนนสังขสันติสุข	13	51	17	100	25	18
E35	สถานีคลองวัดด่าน	13	41	3	100	31	8
E36	สถานีคลองช่องนนทรี	13	41	35	100	33	7
E37	สถานีคลองบางจาก	13	41	15	100	35	37
E38	สถานีสูบน้ำ รัชดา-วิภาวดี	13	49	70.44	100	33	62.56
E39	ประตูระบายน้ำ คลองอรชร	13	44	65.68	100	32	34.82
E40	สถานีวัดน้ำฝน เบนจตุร	13	43	66.87	100	34	17.59
W01	ปตร.คลองทวีวัฒนา	13	48	2.12	100	19	53.24
W02	ปตร.คลองบัว ตอนทางรถไฟสายใต้	13	48	2.45	100	23	46.37
W03	สถานีสูบน้ำคลองชักพระ	13	46	37.95	100	28	5.61
W04	สถานีสูบน้ำคลองมอญ	13	44	45.2	100	29	24.81
W05	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝนคลองบางเชือกหนัง ตอนคลองราชมนตรี	13	44	30.26	100	25	39.98
W06	สถานีสูบน้ำคลองบางกอกใหญ่	13	44	22.34	100	29	37.98
W07	ปตร.คลองภาษีเจริญ	13	43	14.44	100	28	24.31
W08	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝนคลองภาษีเจริญ ตอนคลองราชมนตรี	13	42	20.04	100	25	45.85
W09	สถานีสูบน้ำคลองสำเหร่ ตอนแม่น้ำเจ้าพระยา	13	42	16.9	100	30	2.15
W10	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝน คลองสนามไชย ตอนคลองบางขุนเทียน	13	41	46.71	100	28	3.46
W11	สถานีสูบน้ำคลองดาวคะนอง	13	41	34.78	100	29	30.26
W12	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝน คลองทวีวัฒนา ตอนคลองภาษีเจริญ	13	41	24	100	23	4.36
W13	สถานีสูบน้ำคลองสี่บาท	13	40	53.7	100	27	2.57
W14	สถานีสูบน้ำคลองแจรงร้อน	13	40	28.98	100	31	26.34
W15	ปตร.คลองรางจาก ตอนถนนประชาอุทิศ	13	37	20.5	100	30	41.67
W16	สถานีสูบน้ำคลองเลนเปญ	13	36	46.98	100	24	55.05
W17	สถานีสูบน้ำคลองระหาลุ	13	36	6.41	100	23	52.13
W18	สถานีสูบน้ำคลองพระยาราชมนตรี	13	37	35	100	26	23
W19	สถานีคลองบางยี่ขัน	13	45	54	100	29	51
W20	สถานีคลองบางไผ่	13	42	18	100	30	2

(ที่มา: สำนักงานระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร, 2548)

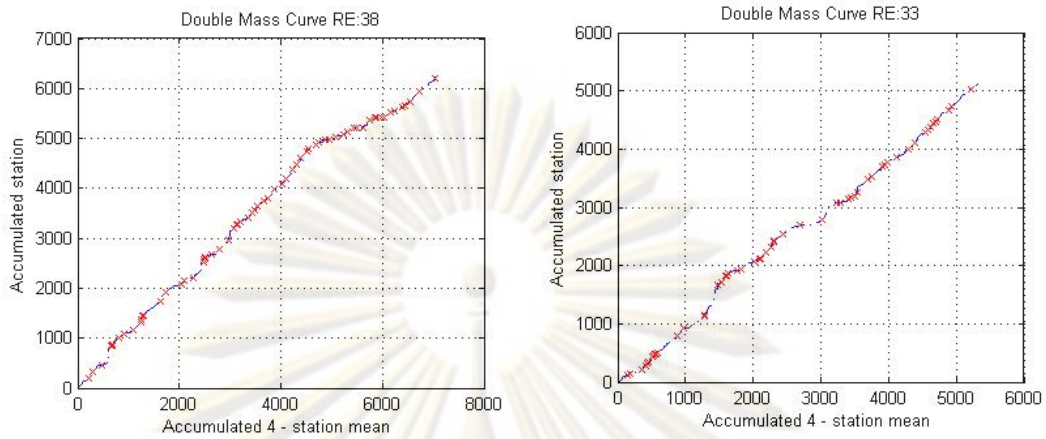
## 5.2 การคัดเลือกเหตุการณ์ฝนเพื่อใช้ในการศึกษา

การคัดเลือกเหตุการณ์ฝนที่ตกในพื้นที่กรุงเทพมหานครระหว่างปี 2548 – 2550 จะพิจารณาคัดเลือกเหตุการณ์ที่มีฝนตกหนัก รวมถึงพิจารณาช่วงเวลาระยะเวลาที่ฝนเริ่มตกจนถึงฝนหยุดตกลงพื้นที่กรุงเทพมหานคร จากการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นพบว่าจากข้อมูลทั้งหมด 61 สถานี มีสถานีที่ไม่มีการบันทึกการตรวจวัดข้อมูลจำนวน 4 สถานี ได้แก่ สถานี RE36 RE37 RW19 RW20 ดังนั้นจึงตัดสถานีเหล่านี้จากนั้นจึงได้ประยุกต์ใช้ Double Mass Curve เพื่อตรวจสอบความคงตัวของสถานีตรวจวัดและไม่แน่นอนของข้อมูล ดังรูปที่ 5 - 2 พบว่าข้อมูลข้อมูลไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลของสถานีข้างเคียง 4 สถานีซึ่งยากต่อการปรับแก้ ได้แก่ สถานี RE02 RE06 RE34 RE35 RE40 RW03 RW04 RW08 RW15 RW18 ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5 - 3 สาเหตุดังกล่าวอาจเกิดมาจากความไม่สอดคล้องของเหตุการณ์ การส่งข้อมูลของระบบ SCADA ของสำนักกระบายน้ำกรุงเทพมหานครผิดพลาดรวมถึงลักษณะของรูปแบบฝนที่เป็นลักษณะแบบ Convective ซึ่งมีลักษณะการก่อตัวเป็นหย่อมๆไม่แพร่กระจายทั่วทั้งพื้นที่ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริลักษณ์ (2550) ดังนั้นจึงตัดข้อมูล 14 สถานี ดังกล่าวออกจากการศึกษาทำให้เหลือข้อมูลในการศึกษารังนี้จำนวนสถานีทั้งสิ้น 47 สถานี

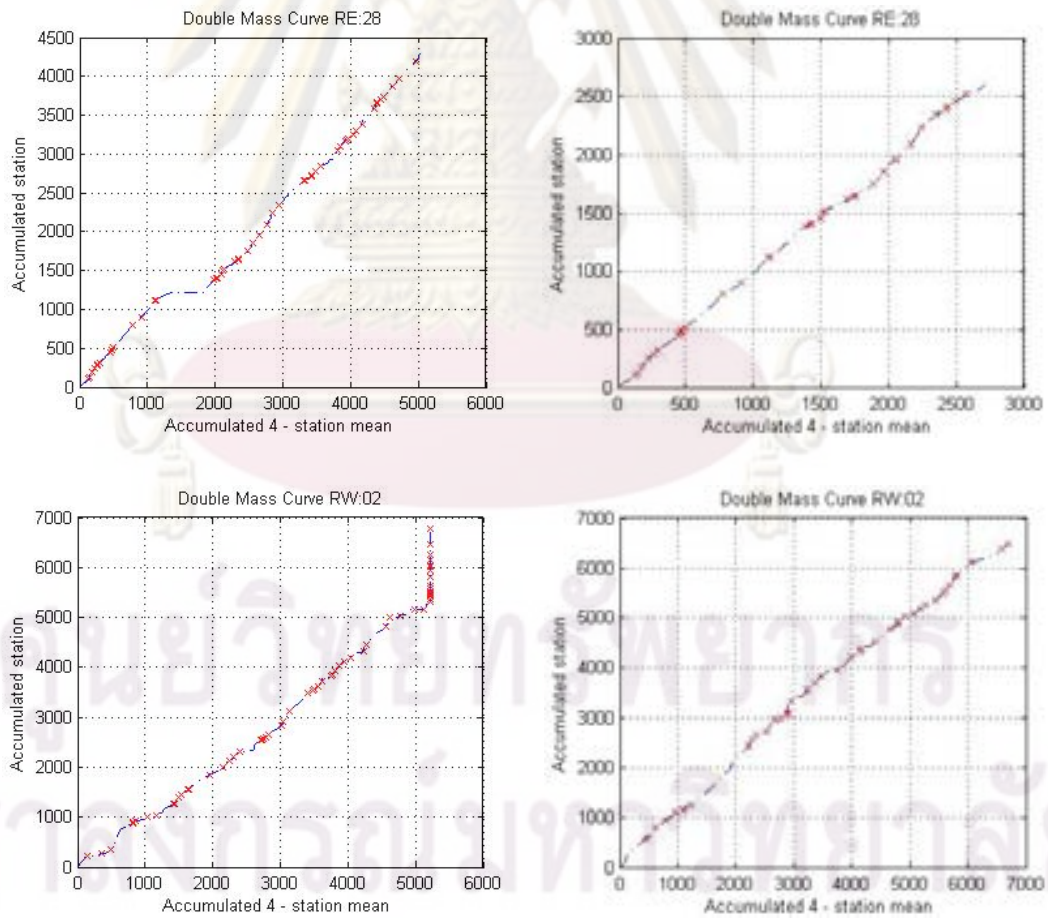
การคัดเลือกเหตุการณ์จะนำข้อมูลที่พิจารณาจากความเข้มฝนแล้วหลังจากนั้นข้อมูลของเหตุการณ์มาต่อกันและประยุกต์ Double Mass Curve พบว่าข้อมูลฝนที่ไม่สอดคล้องกับวิธีการดังกล่าวจะตัดเหตุการณ์นั้นออกจากการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 5 - 4 สำหรับผลวิธีการประยุกต์ Double Mass Curve ทั้ง 61 สถานีแสดงในผนวก ก



รูปที่ 5 - 2 การประยุกต์การทดสอบการคงตัวของข้อมูลด้วยวิธี Double Mass Curve เพื่อใช้ในเหตุการณ์



รูปที่ 5 - 3 การทดสอบการคงตัวของข้อมูลด้วยวิธี Double Mass Curve ของเหตุการณ์ที่คัดเลือกจากภาพเรดาร์ที่ยากต่อการปรับแก้



รูปที่ 5 - 4 ตัวอย่างข้อมูลการทดสอบการคงตัวของข้อมูลด้วยวิธี Double Mass Curve ของเหตุการณ์ ก่อนปรับแก้ซ้ายมือและหลังปรับแก้ขวามือ



จากรูป 5 - 4 รูปด้านซ้ายมือจะพบเหตุการณ์ที่ไม่สอดคล้องกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดจะตัดเหตุการณ์นั้นออกดังแสดงในรูป 5 - 4 ด้วยขวามือ และจากการตรวจสอบข้อมูลพบว่าข้อมูลมีความไม่สอดคล้องคือเหตุการณ์ 2550 จึงจำเป็นต้องตัดเหตุการณ์ปีดังกล่าวออกไปรวมถึงเหตุการณ์ที่ไม่สอดคล้องจากวิธีดังกล่าวดังกล่าวจากการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งเหลือจำนวนเหตุการณ์ศึกษาในครั้งนี้ จำนวนทั้งสิ้น 40 เหตุการณ์ ดังแสดงตารางที่ 5 - 4

ตารางที่ 5 - 4 รายละเอียดเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษา

จำนวนเหตุการณ์	เหตุการณ์ฝน	เวลาฝนเริ่มต้น	ช่วงเวลาฝนตก (นาที)	ฝนเฉลี่ย (มม/ชม)
1	30 พค. 48	18:10	200	8.15
2	23 มิย. 48	17:50	160	3.4
3	29 มิย. 48	17:00	150	3.95
4	13 กค. 48	8:20	270	10.29
5	28 กค. 48	16:10	100	2.9
6	9 สค. 48	16:21	80	2.88
7	18 สค. 48	17:31	340	3.75
8	28 สค. 48	1:11	170	1.18
9	29 สค. 48	1:51	1200	4.15
10	30 สค. 48	18:41	160	2.69
11	3 กย. 48	2:11	1210	1.53
12	7 กย. 48	18:51	100	0.46
13	8 กย. 48	2:21	50	7.18
14	14 กย. 48	0:11	600	6.03
15	15 กย. 48	18:41	150	5.44
16	21 กย. 48	18:11	250	10.29
17	14 ตค. 48	2:21	900	3.18
18	07 มิย. 49	17:31	30	2.22
19	11 มิย. 49	18:21	40	0.37
20	16 มิย. 49	18:01	69	9.04
21	18 มิย. 49	14:41	220	5.77
22	23 มิย. 49	0:31	80	3.27
23	24 มิย. 49	0:01	80	16.16
24	26 มิย. 49	0:01	70	6.94
25	30 มิย. 49	6:11	30	3.17
26	1 กค. 49	18:31	110	6.22
27	2 กค. 49	17:11	100	8.45
28	5 กค. 49	16:11	160	5.97
29	6 กค. 49	17:31	40	3.15
30	12 กค. 49	15:11	90	5.65
31	31 กค. 49	15:11	80	7.75
32	04 สค. 49	16:31	120	3.89
33	29 สค. 49	20:01	110	6.24
34	06 กย. 49	21:51	120	8.86
35	14 กย. 49	1:20	171	4.82
36	15 กย. 49	21:01	49	6.71
37	18 กย. 49	15:50	61	3.46
38	26 กย. 49	17:41	100	10.93
39	27 กย. 49	19:21	50	8.24
40	18 ตค. 49	0:51	39	9.44



### 5.3 การเตรียมข้อมูลเรดาร์และข้อมูลฝนสะสมที่ใช้ในแบบจำลอง

การเตรียมข้อมูลฝนจากสถานีเรดาร์และข้อมูลฝนสะสมฝนสะสมจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนแบบโทรมาตรเพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

#### 5.3.1 การเตรียมข้อมูลเรดาร์

- 1) แปลงข้อมูลเรดาร์จากเหตุการณ์ที่คัดเลือกมาลงพิกัดฉากที่ความละเอียด 0.5 x 0.5 ตร.กม. โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่สถานีเรดาร์ภาชีเจริญดังรูปที่ 5 – 6
- 2) กำหนดพื้นที่วงกลม 5 กม. รอบสถานีเรดาร์เป็นเขตพื้นที่เรดาร์ที่ขาดข้อมูลการตรวจวัด
- 3) กำหนดให้ข้อมูลเรดาร์ที่ความเข้มสะท้อนต่ำกว่า 15 dBZ เป็นตำแหน่งไม่มีฝนและตำแหน่งที่มีความเข้มสูงกว่า 53 dBZ มีค่าคงที่ 53 (ศิริลักษณ์ ,2550)
- 4) แปลงข้อมูลความเข้มสะท้อนกลับเรดาร์ในรูปแบบ dBZ เป็นความเข้มฝน มม./ชม. ด้วยความสัมพันธ์ของ Z-R ตามสมการ 5.1

$$R = 10^{\frac{1}{b} \left( \frac{DBZ + \Delta}{10} \right) - \log(a)} \quad \text{.....(5.1)}$$

โดยกำหนดให้ a,b และ  $\Delta$  เป็นสองกรณี

- 4.1) กำหนดให้ a = 200, b = 1.6,  $\Delta = 0$  ตามการศึกษาของ Marshall (1948)
- 4.2) กำหนดให้ a = 128, b = 1.5,  $\Delta = +5$  ตามการศึกษาของ ศิริลักษณ์ (2550)

### 5.3.2 การเตรียมข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตร

1) แปลงข้อมูลฝนสะสมราย 15 นาที มาเป็นความเข้มฝนในหน่วย มม./ชม. โดยมีสมมุติฐานว่า

2) ประมาณค่าเชิงเส้นหาความเข้มฝนทุก 10 นาที ให้สอดคล้องกับความถี่การตรวจวัดของเรดาร์

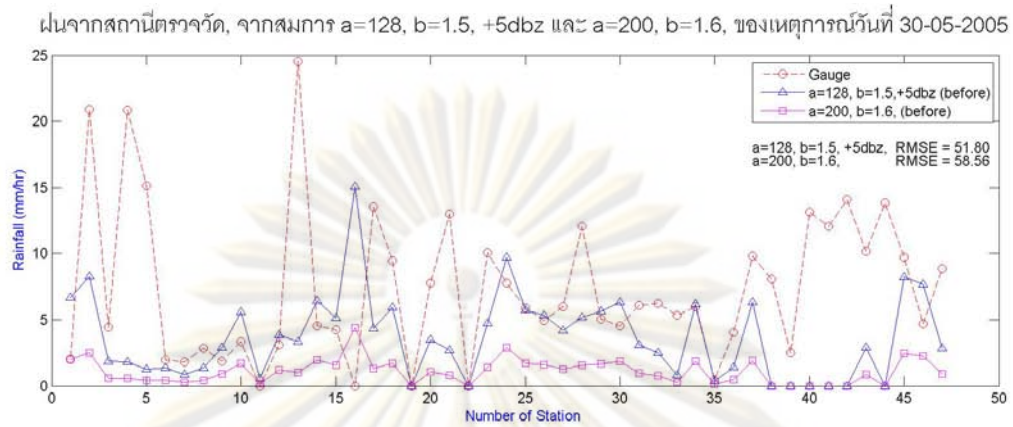
3) แปลงข้อมูลความเข้มฝนจากสถานีโทรมาตร ลงในพิกัดฉากที่ความละเอียด  $0.25 \times 0.25$  ตร.กม. โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่สถานีเรดาร์ภาคีเจริญสำหรับตำแหน่งที่ไม่ตรงกับสถานีโทรมาตรข้อมูลการตรวจวัดที่ตำแหน่งนั้น

เมื่อทำการขั้นตอนดังกล่าวครบถ้วนสมบูรณ์แล้ว จะได้ข้อมูล 3 ประเภท ได้แก่

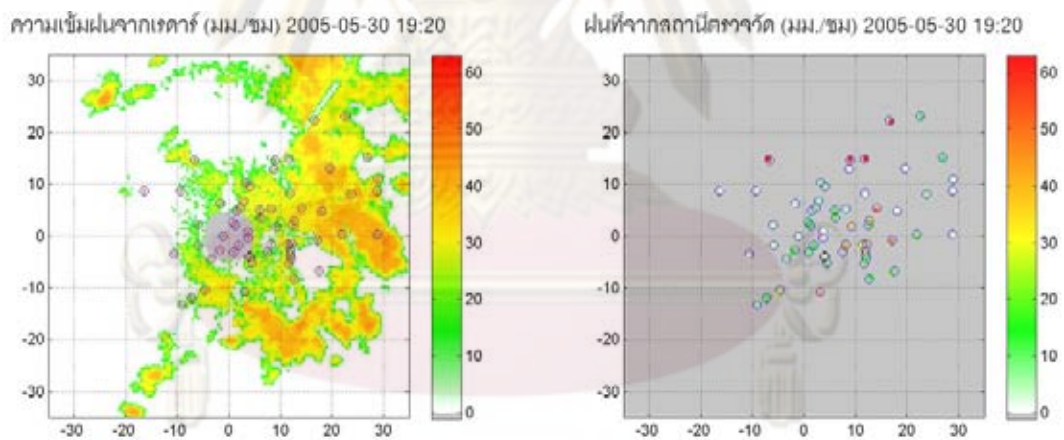
- 1) ข้อมูลเรดาร์ (มม./ชม.) แบบที่ 1 ซึ่งใช้สมการ Z-R ตามการศึกษาของ Marshall ที่ความละเอียด  $0.5 \times 0.5$  ตร.กม.
- 2) ข้อมูลเรดาร์ (มม./ชม.) แบบที่ 2 ซึ่งใช้สมการ Z-R ตามการศึกษาของ ศิริลักษณ์ ที่ความละเอียด  $0.5 \times 0.5$  ตร.กม.
- 3) ข้อมูลความเข้มฝนจากสถานีโทรมาตร ที่ความละเอียด  $0.5 \times 0.5$  ตร.กม.

ข้อมูลทั้ง 3 ชนิดมีความถี่ทุก 10 นาที ประกอบด้วยเหตุการณ์ฝนจำนวน 40 เหตุการณ์ในปี พ.ศ 2548 – 2550

ตัวอย่างการแปลงข้อมูลฝนจาก 47 สถานี รูปที่ 5 – 5 แสดงค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของความเข้มฝนจากข้อมูลทั้ง 3 ชนิด ซึ่งจะพบว่าส่วนใหญ่ฝนจากสถานีโทรมาตรจะมีค่าสูงที่สุดและฝนจากเรดาร์แบบที่ 2 จะสูงกว่าเรดาร์แบบที่ 1 เสมอและรูปที่ 5 – 6 แสดงการเตรียมข้อมูลฝนของสถานีเรดาร์ (รูปด้านซ้ายมือ) และ (รูปด้านขวามือ) การเตรียมข้อมูลฝนของสถานีวัดแบบโทรมาตร



รูปที่ 5 – 5 ตัวอย่างการแปลงความเข้มการตรวจให้เป็นความเข้มฝนของเหตุการณ์วันที่ 30 พ.ค 2548



รูปที่ 5 - 6 ตัวอย่างแสดงข้อมูลความเข้มฝนจากสถานีเรดาร์ภาคีเจริญ (ซ้าย) และจากสถานีโทรมาตรกรุงเทพมหานคร (ขวา) เมื่อ วันที่ 30 พ.ค 2548 เวลา 19:20

## บทที่ 6

### การทดลองแบบจำลองสถิติบนเชิงพื้นที่ด้วยข้อมูลสังเคราะห์

#### 6.1 การทดสอบเทคนิค SRE ด้วยข้อมูลสังเคราะห์

เพื่อให้มั่นใจว่าแบบจำลองสามารถใช้งานได้จึงจำเป็นต้องมีการตรวจความถูกต้องของแบบจำลองด้วยข้อมูลสังเคราะห์ โดยมีขั้นตอนดำเนินงานดังนี้

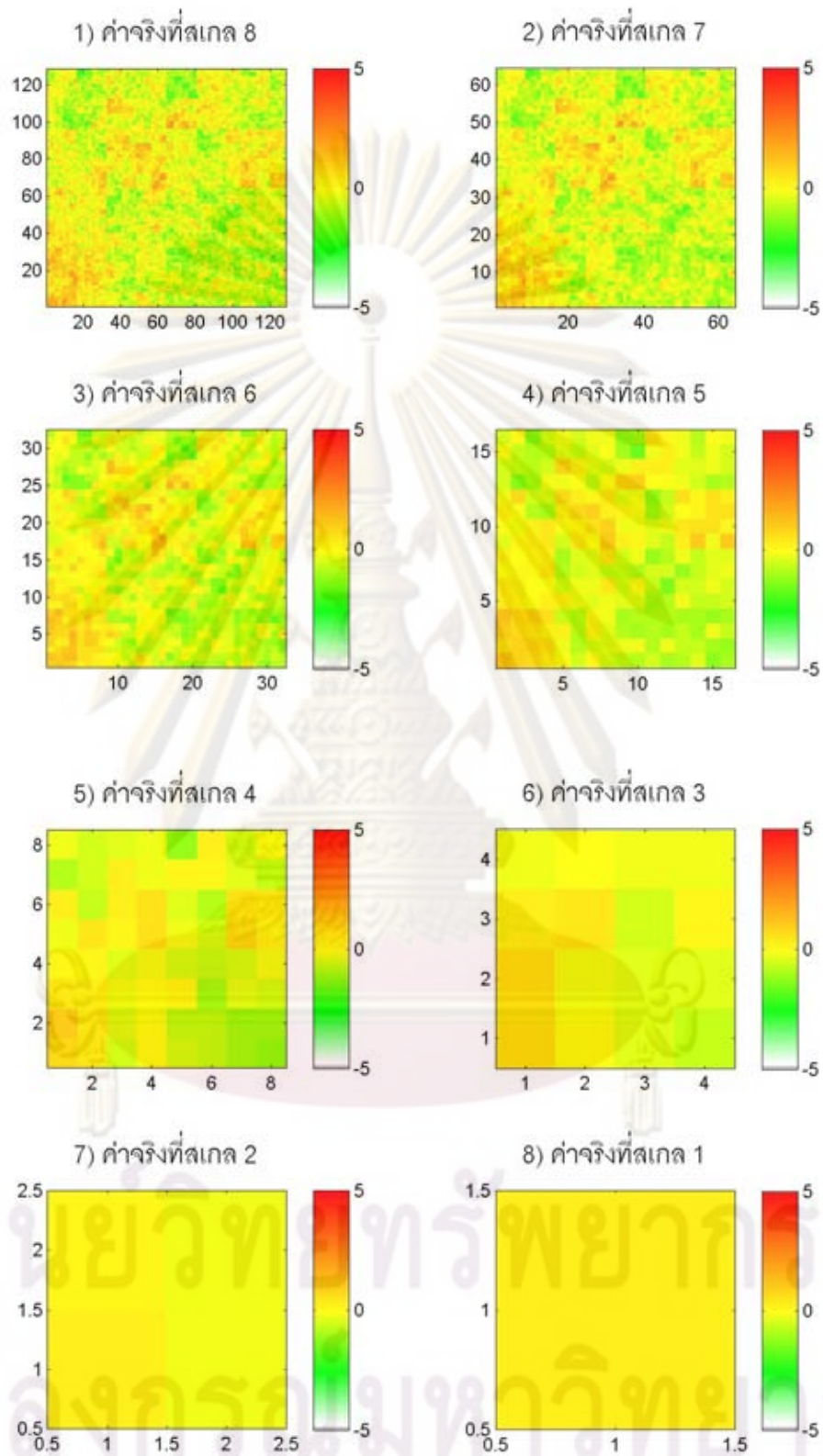
- 1) กำหนดโครงสร้างลำดับชั้นแบบ 2 มิติให้มี 8 สเกลซึ่งสเกลที่ 1 ถึง 8 จะมีจำนวนช่อง (Pixel) เท่ากับ  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$ ,  $4 \times 4$ ,  $8 \times 8$ ,  $16 \times 16$ ,  $32 \times 32$ ,  $64 \times 64$ , และ  $128 \times 128$
- 2) สร้างข้อมูลสังเคราะห์แทนข้อมูลจริงเริ่มต้นจากกำหนดค่าที่สเกลที่ 1 เป็นศูนย์ และคำนวณค่าที่สเกลต่อๆ มาโดยใช้สมการ 4.21 ที่กำหนดค่า  $Q(s)$  คงที่เท่ากับ 0.1 ดังแสดงในรูป 6 - 2
- 3) สร้างข้อมูลการตรวจวัดที่สเกล 7 ให้สอดคล้องกับความละเอียดของข้อมูลเรดาร์โดยใช้สมการ 4.22 ที่กำหนดค่า  $R(7)$  เท่ากับ 0.5 ดังแสดงในรูปที่ 6 - 2
- 4) สร้างข้อมูลการตรวจวัดที่สเกลที่ 8 ให้สอดคล้องกับความละเอียดของข้อมูลสถานีโทรมาตรโดยใช้สมการ 4.22 ที่กำหนดค่า  $R(8)$  เท่ากับ 0.01 จากนั้นจึงเลือกแบบสุ่มเพียง 10 เปอร์เซ็นต์จากข้อมูลทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 6 - 2
- 5) นำข้อมูลตรวจวัดที่สเกล 7 และ 8 เข้าแบบจำลอง SRE เลือกผลลัพธ์จากแบบจำลองที่สเกลที่ 7 ดังแสดงในรูปที่ 6 - 2
- 6) คำนวณค่า RMSE ระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากข้อ 5) กับข้อมูลจริงที่สเกล 7 เพื่อเปรียบเทียบกับค่า RMSE ระหว่างข้อมูลตรวจวัดกับข้อมูลจริงที่สเกล 7
- 7) เก็บค่า RMSE ที่คำนวณได้ และดำเนินตามขั้นตอนที่ 1 - 6 ซ้ำจำนวน 1000 รอบ เพื่อหาความน่าจะเป็นและเปรียบเทียบการกระจายตัวดังแสดงในรูปที่ 6 - 4

จากการตรวจสอบพบว่าข้อมูลจะมีความถูกต้องที่สเกลน้อยจะมีความถูกต้องสูงกว่าเนื่องจากข้อมูลจะมีการแบ่งพื้นที่ ที่ความละเอียดน้อยกว่าทำให้ส่งผลต่อค่า  $Q(s)$  และ  $R(s)$  ดังแสดงในรูปที่ 6 - 4

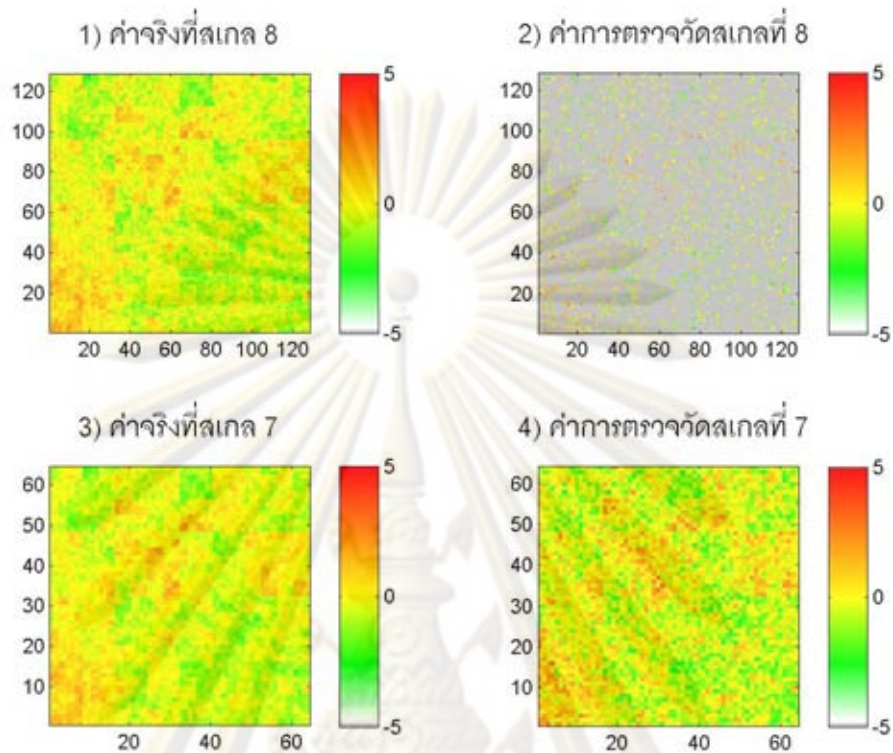




รูปที่ 6 -1 ขั้นตอนการทดสอบแบบจำลอง SRE จากข้อมูลสังเคราะห์



รูปที่ 6-2 ค่าจริงจากการสังเคราะห์สเกลที่ 1 - 8

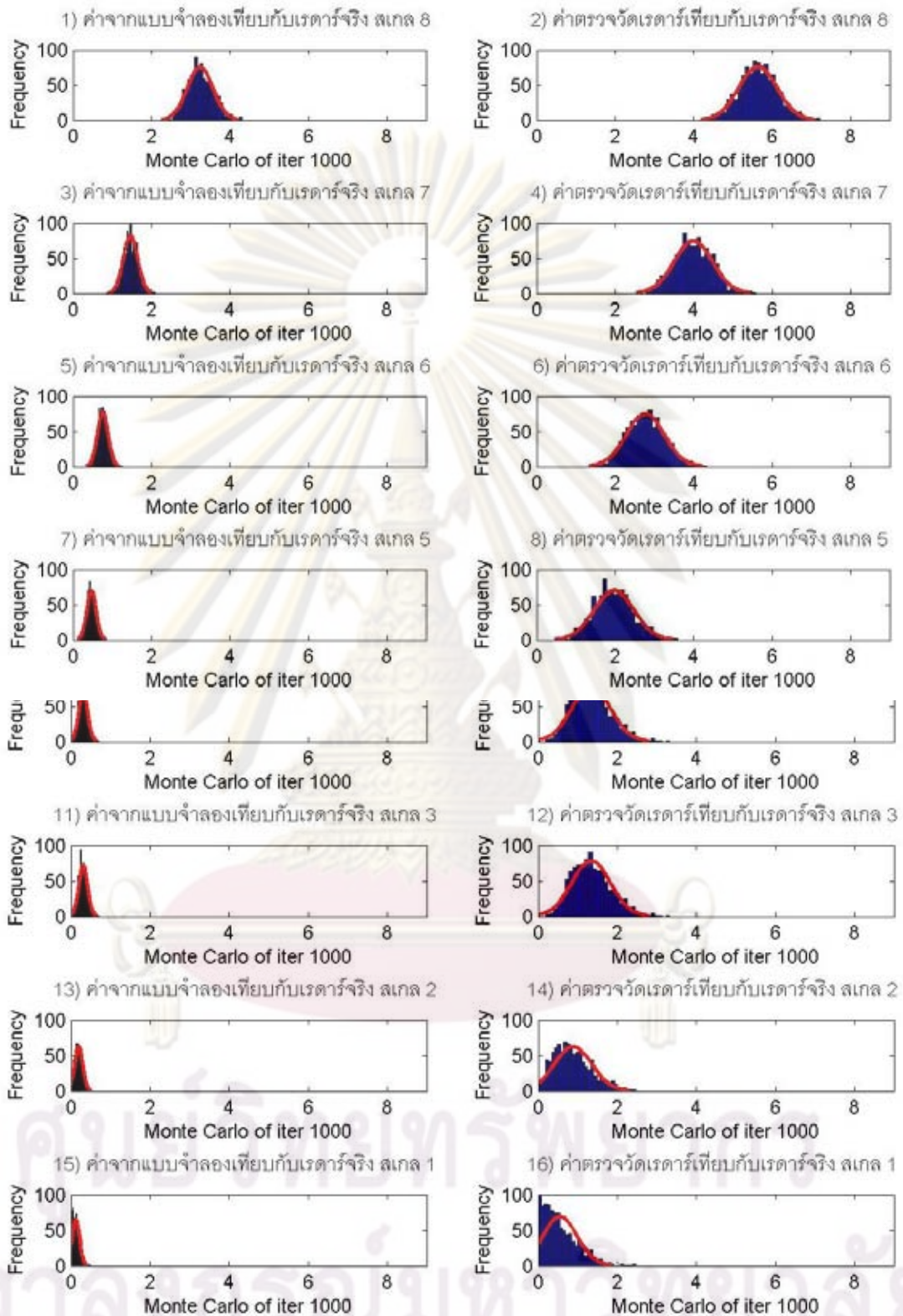


รูปที่ 6 - 3 ค่าจริงจากการสังเคราะห์ (ด้านซ้ายมือ) ค่าการตรวจวัด (ด้านขวามือ) สเกลที่ 7 – 8

จากการเปรียบเทียบข้อมูลดังกล่าวนำไปพิจารณาเพื่อดูความน่าจะเป็นโดยหาค่า RMSE ที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าจริง และ RMSE ที่ได้จากการตรวจวัดเปรียบเทียบกับค่าจริง โดยการสุ่มซ้ำจากแบบจำลองวิธีการนี้เรียกว่า Monte Carlo ดังรูปที่ 6 – 4 โดยพิจารณาสเกลที่สนใจ 7 และ 8

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 6 – 4 การทดสอบข้อมูลสังเคราะห์การเปรียบเทียบ RMSE โดยวิธี Monte Carlo

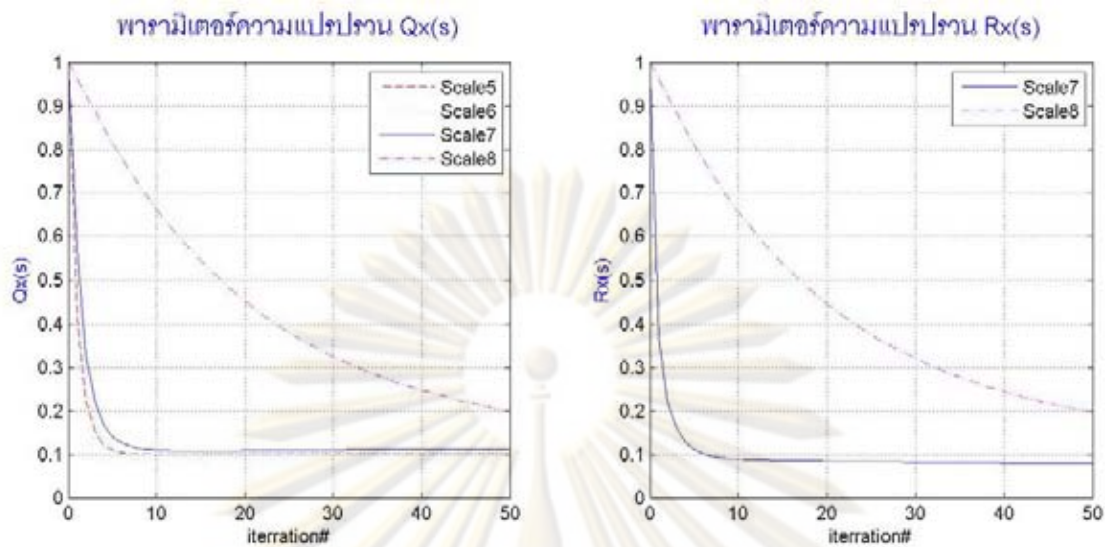


## 6.2 การทดสอบหาพารามิเตอร์ฝนด้วยเทคนิค EM ด้วยข้อมูลสังเคราะห์

เมื่อเรากำหนดรูปแบบพฤติกรรมฝนให้เป็นไปตามแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่และลักษณะโครงสร้าง SRE รูปแบบดังกล่าวจำเป็นจะต้องประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง โดยค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่และช่วงเวลา ในโครงสร้าง SRE เราสามารถประยุกต์ใช้เทคนิค EM เพื่อประมาณค่าได้ตามการศึกษาของ คานาน Kannan, (2000) โดยวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์โดยมีขั้นตอนดำเนินงานดังนี้

- 1) กำหนดโครงสร้างลำดับชั้นแบบ 2 มิติให้มี 8 สเกลซึ่งสเกลที่ 1 ถึง 8 จะมีจำนวนช่อง (Pixel) เท่ากับ  $1 \times 1, 2 \times 2, 4 \times 4, 8 \times 8, 16 \times 16, 32 \times 32, 64 \times 64, 128 \times 128$  ตามลำดับ
- 2) สร้างข้อมูลสังเคราะห์แทนข้อมูลจริง เริ่มต้นจากกำหนดค่าที่สเกลที่ 1 เป็นศูนย์ และคำนวณค่าที่สเกลต่อๆ มาโดยใช้สมการ 4.21 ที่กำหนดค่า  $Q(s)$  จริงคงที่เท่ากับ 0.1 ทุกสเกล
- 3) สร้างข้อมูลการตรวจวัดที่สเกลให้สอดคล้องกับความละเอียดของข้อมูลเรดาร์โดยใช้สมการ 4.22 ที่กำหนดค่า  $R(7)$  เท่ากับ 0.1
- 4) สร้างข้อมูลการตรวจวัดที่สเกลที่ 8 ให้สอดคล้องกับความละเอียดของข้อมูลสถานี โทรมาตรโดยใช้สมการ 4.22 ที่กำหนดค่า  $R(8)$  เท่ากับ 0.01 จากนั้นจึงเลือกแบบสุ่มเพียง 10 เปอร์เซ็นต์จากข้อมูลทั้งหมด
- 5) สมมุติค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นที่ไม่ทราบเป็นค่าเริ่มต้น  $F(s), Q(s), H(s)$  และ  $R(s)$  ที่ทุกสเกลเท่ากับ 1
- 6) เพิ่มค่าการตรวจวัด  $Z(s)$  ทำการคำนวณหา  $X(s)$  ที่ทุกตำแหน่งด้วยเทคนิค SRE
- 7) คำนวณค่าพารามิเตอร์ใหม่,  $Q_{i+1}(s), R(s)_{i+1}$  ที่ทุกสเกลจนเข้าสู่ค่าคงที่

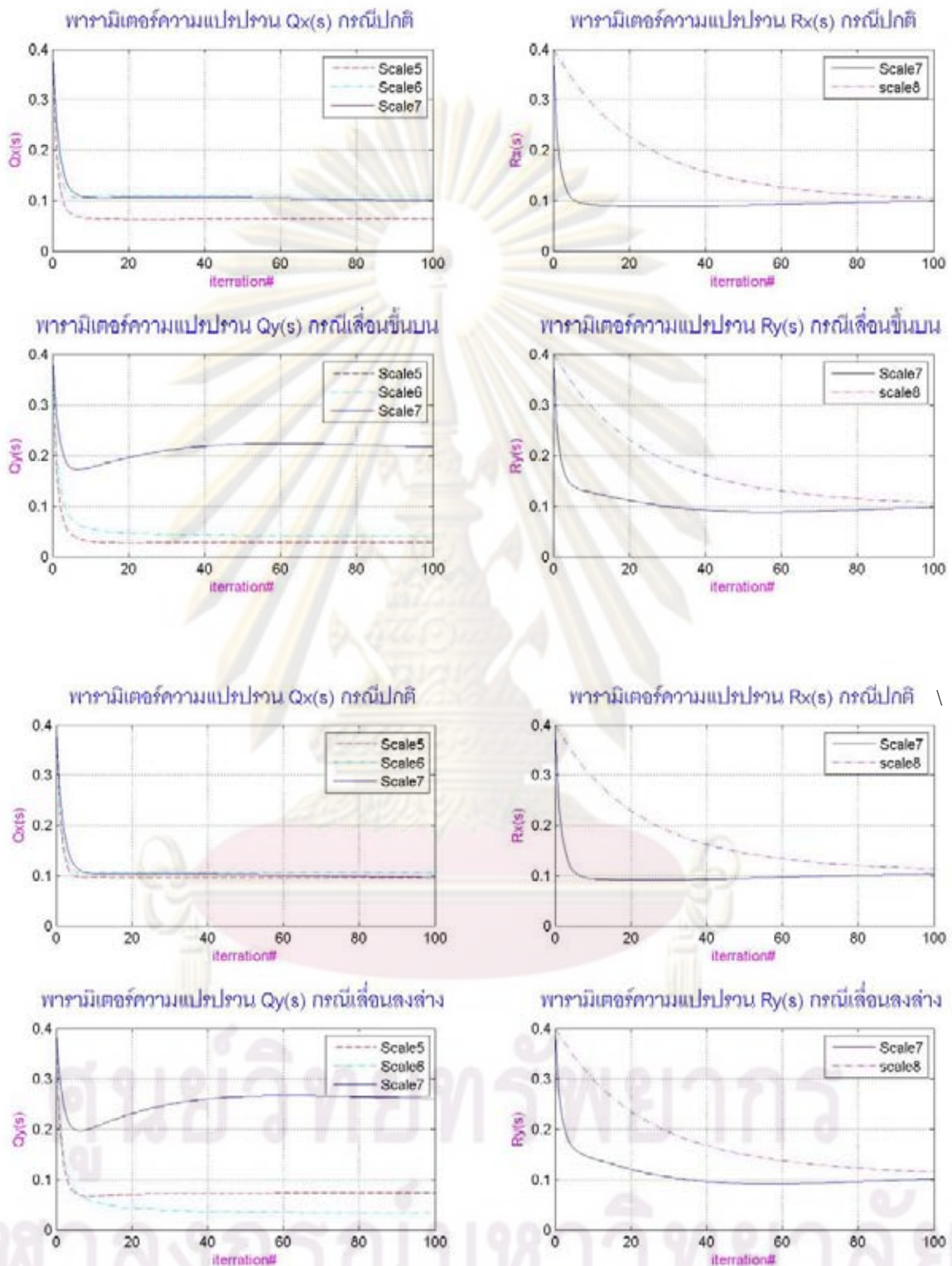
จากผลการทดสอบเทคนิค EM ด้วยข้อมูลสังเคราะห์จะกำหนดพารามิเตอร์จริงคือ 0.1 จากนั้นจะกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มให้เท่ากับ 1 แล้วทำการคำนวณซ้ำจนกว่าจะเข้าสู่ค่าคงที่ และผลแสดงให้เห็นว่ามีความแม่นยำจะเข้าสู่ค่าจริงไม่ก็รอบที่กำหนดไว้เริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 6-5 แสดงการเข้าสู่ค่าตอบของ  $Q(s)$  สเกลที่ 5-7 และ  $R(s)$  สเกลที่ 7



รูปที่ 6 – 5 ตัวอย่างการทดสอบการหาพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ข้อมูลสังเคราะห์

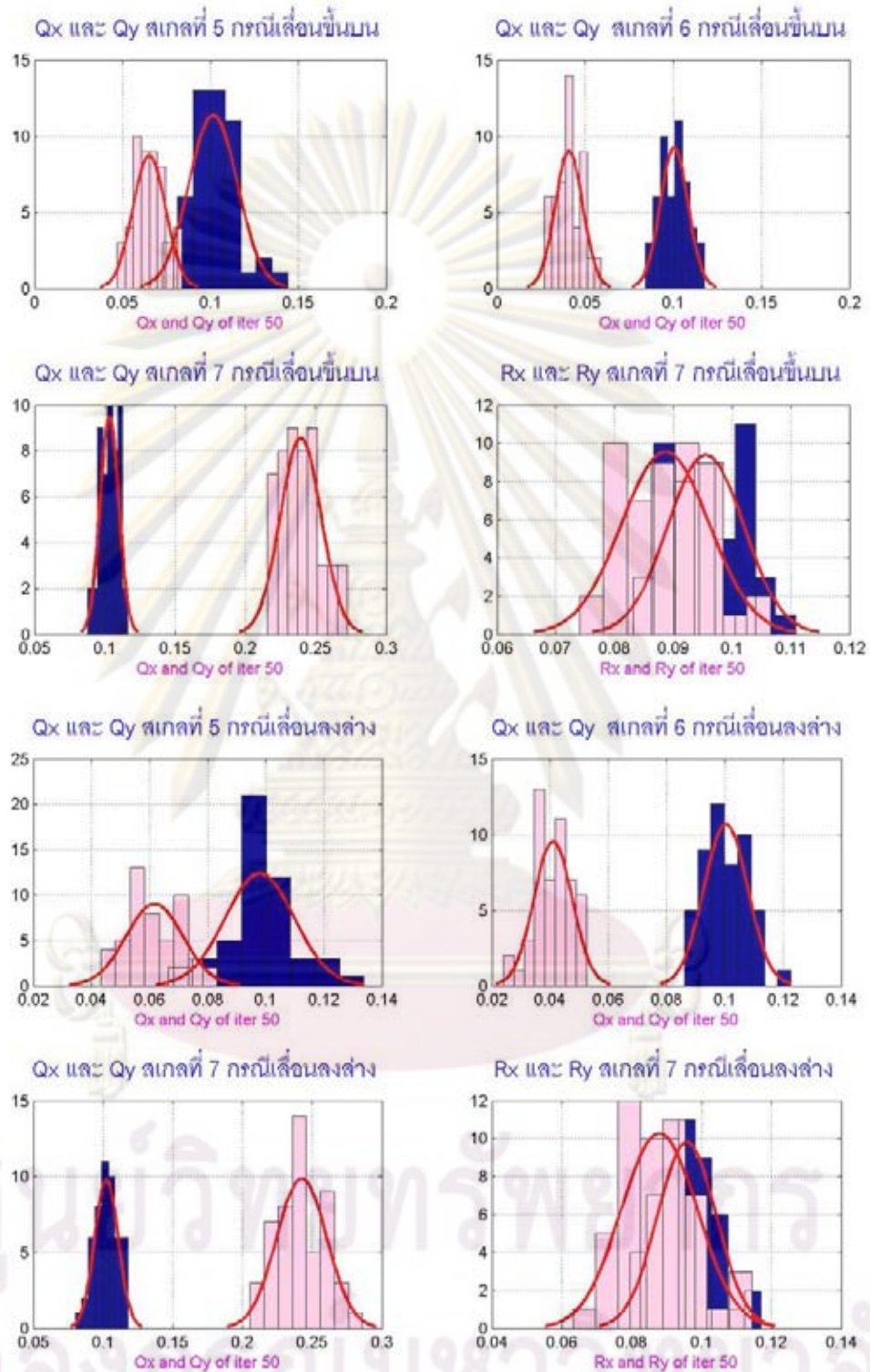
### 6.3 การทดสอบหาพารามิเตอร์ฝนด้วยเทคนิค EM ด้วยข้อมูลสังเคราะห์โดยพิจารณาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง SRE

เนื่องจากการหาพารามิเตอร์จำเป็นจะต้องพิจารณาผลกระทบของโครงสร้าง SRE การจัดเรียงตำแหน่งในการตรวจวัดอาจส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวโดยทำการสร้างค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวในกรณีปกติ แล้วทำการสร้างข้อมูลในตำแหน่งเดียวกัน และทำการเลื่อนตำแหน่งต่างๆ เป็นการเลื่อนเลื่อนขึ้นบน ลงล่างรวมทั้งการสไลด์ขึ้นบน, ลงล่าง และ ซ้ายขวาในสเกลที่กำหนด โดยในรูปที่ 6 - 6 เป็นตัวอย่างแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ปกติและกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์การเลื่อนขึ้นบน ลงล่าง โดยด้านซ้ายมือคือ  $Q(s)$  ซี่ดำคือกรณีปกติและสีเทาคือการเปลี่ยนโครงสร้าง SRE จะเห็นว่าค่าพารามิเตอร์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งมีการเปลี่ยนแปลงไป โดยในสเกลที่ 7 จะมีการเปลี่ยนแปลงมากเนื่องจากความสัมพันธ์ได้ถูกเปลี่ยนแปลงไปและด้านขวามือคือ  $R(s)$  จะต่ำกว่าเล็กน้อยจากแนวทางดังกล่าวจึงจำเป็นเพื่อตรวจสอบพฤติกรรมในทดสอบหลายๆ ครั้งและพิจารณาจากค่าเฉลี่ยโดยวิธีการนี้เรียกว่า Monte Carlo โดยแสดงในรูปที่ 6 - 7 เป็นทดสอบเปรียบเทียบสเกลปกติและสเกลที่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไป จะสังเกตได้ว่าสเกลที่ 6 สเกลที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากและ 5 การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังนั้นจึงใช้วิธีการเฉลี่ยสเกล 5 - 7 เพื่อตรวจพฤติกรรมดังแสดงในรูปที่ 6 - 8 และ ค่าที่ได้จากการเฉลี่ยดังกล่าวมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกรณีปกติ โดยสามารถดูผลเพิ่มเติมได้ภาคผนวก ข



รูปที่ 6 – 6 ตัวอย่างการทดสอบการหาพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM พิจารณาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง SRE กรณีเพิ่มขึ้นบนและลงล่าง

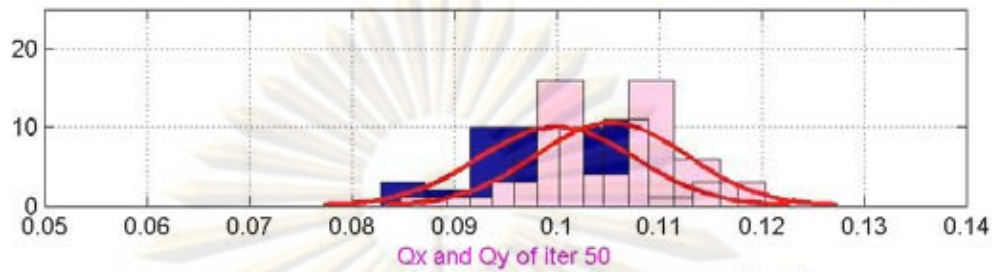




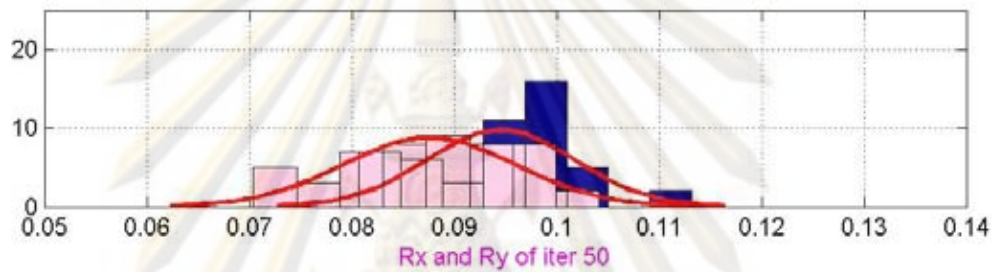
รูปที่ 6 – 7 ตัวอย่างการทดสอบการหาพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ข้อมูลสังเคราะห์การเปรียบเทียบแต่ละสเกลโดยวิธีการ Monte Carlo กรณีเลื่อนขึ้นบนและลงล่าง



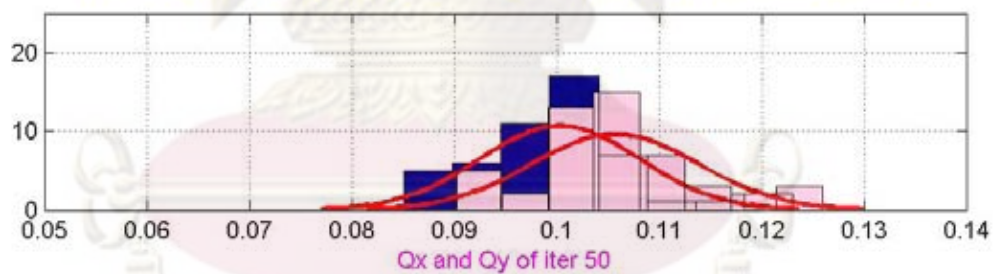
ค่าเฉลี่ยความแปรปรวน  $Q_x$  และ  $Q_y$  สเกลที่ 5-7 กรณีเลื่อนขึ้นบน



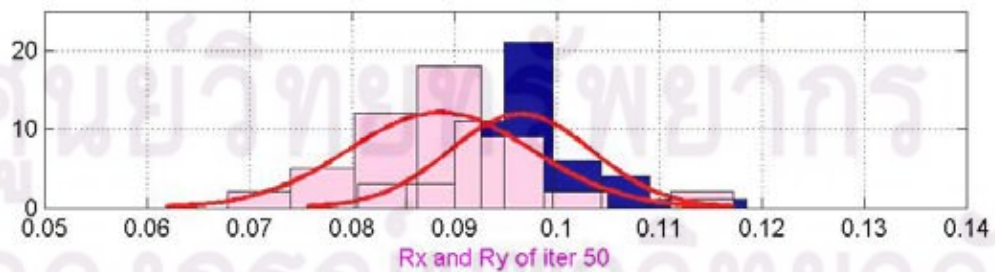
ค่าความแปรปรวน  $R_x$  และ  $R_y$  สเกลที่ 7 กรณีเลื่อนขึ้นบน



ค่าเฉลี่ยความแปรปรวน  $Q_x$  และ  $Q_y$  สเกลที่ 5-7 กรณีเลื่อนลงล่าง



ค่าความแปรปรวน  $R_x$  และ  $R_y$  สเกลที่ 7 กรณีเลื่อนลงล่าง



รูปที่ 6 – 8 ตัวอย่างการทดสอบการหาพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM โดยการเฉลี่ยค่าของ  $Q$  สเกล 5-7 และค่า  $R$  สเกล 7 โดยวิธีการ Monte Carlo กรณีเลื่อนขึ้นบนและลงล่าง

#### 6.4 สรุปผลการทดสอบแบบจำลองและพารามิเตอร์ฝนจากข้อมูลสังเคราะห์

จากศึกษาแบบจำลองฝนแบบลำดับขั้นด้วยข้อมูลสังเคราะห์พบว่าการใช้เทคนิค SRE (Scale Recursive Estimation) เพื่อประมาณตัวแปรที่สนใจจากข้อมูลตรวจวัดที่สเกลต่างๆโดยใช้ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ผลการทดสอบพบว่าเทคนิคดังกล่าวทำให้ค่าคาดเคลื่อนลดลงจริงโดยความคลาดเคลื่อนจะลดลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการแบ่งพื้นที่ศึกษาและค่าของพารามิเตอร์

สำหรับการหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองด้วยเทคนิค EM (Expectation Maximization) จะแสดงให้เห็นว่าเทคนิคดังกล่าวสามารถให้ค่าพารามิเตอร์ที่ถูกต้องหลังการคำนวณซ้ำเพียงไม่กี่รอบ

การเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้าง SRE โดยการเปรียบเทียบแต่ละสเกลจากวิธีการ Monte Carlo การเปลี่ยนพฤติกรรมของโครงสร้างมีผลต่างค่าพารามิเตอร์  $Q(s)$  มีความแตกต่างเพิ่มขึ้นตามความละเอียดของสเกลและ  $R(s)$  เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และยังแสดงให้เห็นว่าที่ความละเอียดมากมีความแตกต่างระหว่างกรณีเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและปกติในสเกลนั้นๆก็จะสูงตามไปด้วย ซึ่งความแตกต่างนี้เองจึงจำเป็นพิจารณาใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างสเกลที่ 5 - 7 จากวิธีการ Monte Carlo พบว่าค่าที่ได้มีความแตกต่างกันไม่มากนัก

โดยสรุปแนวทางการปรับแก้ข้อมูลเรดาร์ โดยใช้แบบจำลองฝนลำดับขั้นเชิงพื้นที่ (Cascade Rainfall Model) เป็นแนวทางที่ง่ายต่อการประยุกต์ สะดวก รวดเร็ว และน่าจะสามารถนำไปใช้เพื่อปรับแก้ข้อมูลฝนจากเรดาร์จริงได้ อย่างไรก็ตามการหาพารามิเตอร์จำเป็นต้องตรวจสอบกับข้อมูลจริงเพราะมีความแตกต่างกันอยู่มากดังจะกล่าวในบทถัดไปจะกล่าวถึงการหาค่าพารามิเตอร์ข้อมูลฝนจริงและใช้ในการรวมข้อมูลฝนจริงระหว่างฝนจากเรดาร์และจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 7

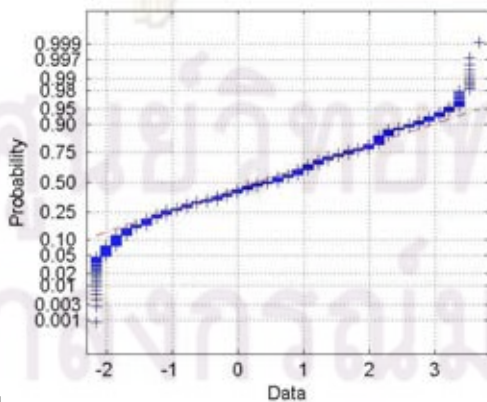
### การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถิติในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถิติในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร เกี่ยวข้องสมมุติต่างๆ มากมายจึงจำเป็นต้องตรวจสอบตามสมมุติฐานของรูปแบบของฝนก่อนว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบสมมุติฐานที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบฝน รวมถึงการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองจากข้อมูลฝนและการประยุกต์ใช้แบบจำลองในพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร

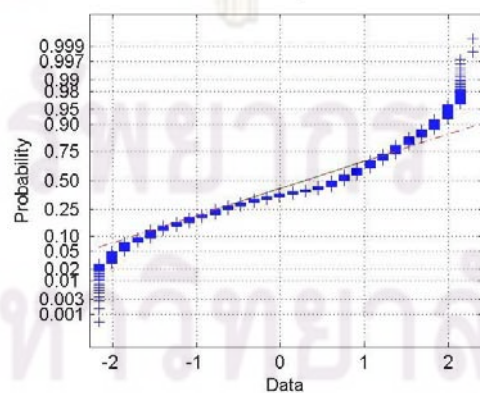
#### 7.1 การทดสอบสมมุติฐานการกระจายแบบลึอกปกติ (Log- Normal Distribution)

เมื่อเรากำหนดรูปแบบของฝนให้เป็นไปตามสมมุติฐานแบบจำลองลำดับขั้นเชิงพื้นที่ (Cascade Rainfall Model) สมมุติฐานหนึ่งที่ใช้คือข้อมูลฝนจะต้องการกระจายตัวแบบลึอกปกติ (Log- Normal Distribution) ดังนั้นการการใช้แบบจำลองลำดับขั้นเชิงพื้นที่จำเป็นต้องทดสอบสมมุติฐานดังกล่าวว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ก่อน โดยการทดสอบได้ทำการคัดเลือกจากเหตุการณ์ฝน 40 เหตุการณ์ โดยนำข้อมูลฝนมาทำการแปลงลอการิทึมแล้วนำไปข้อมูลไปพล็อตแบบปกติ (Normal Plot) ซึ่งแสดงการกระจายสะสม (Cumulative Distribution) จากการทดสอบดังกล่าวถ้าข้อมูลที่เป็นไปตามสมมุติฐานคือมีการกระจายตัวแบบปกติข้อมูลจุดจะอยู่บนเส้นประซึ่งเป็นตามสมมุติฐานฝนแบบลึอกปกติโดยแสดงดังรูปที่ 7 - 1 และสามารถดูผลเพิ่มเติมได้ภาคผนวก ค จะเห็นว่าข้อมูลจะเป็นไปตามแนวเส้นประ ซึ่งจากการทดสอบ 40 เหตุการณ์จากสมมุติฐานดังกล่าว

การพล็อตเหตุการณ์ปกติ



การพล็อตเหตุการณ์ปกติ



รูปที่ 7 - 1 ตัวอย่างการทดสอบการกระจายตัวของฝนแบบลึอกปกติ (Log- Normal Distribution)

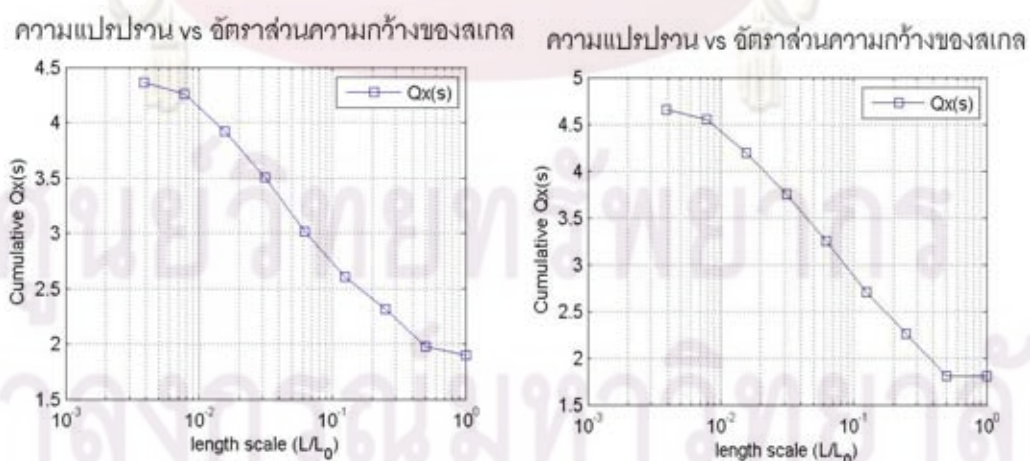
ของเหตุการณ์ฝนด้านซ้ายเป็นข้อมูลวันที่ 30-5-48 เวลา 19:40 และด้านขวามือเป็นข้อมูล ณ เหตุการณ์วันที่ 31-6-49 เวลา 16:10



## 7.2 การทดสอบรูปแบบค่าพารามิเตอร์ (State Variance)

จากแนวทางดังกล่าวเราจำเป็นต้องนอกจากจะทดสอบสมมุติฐานการกระจายตัวของฝน แล้วทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากโครงสร้าง SRE มีความเหมาะสมหรือไม่ จึงจำเป็นต้องทดสอบสถานะของค่าความแปรปรวนของตัวแปร (State Variance) ซึ่งพิจารณาจากผลรวมของค่า  $Q(s)$  จากสเกลที่มีความละเอียดน้อยที่สุดมาถึงสเกลที่เราสนใจ ทำการเปรียบกับสัดส่วนความยาวของสเกล (Length Scale Ratio) กล่าวคือนำข้อมูลค่าความแปรปรวน  $Q(s)$  พล็อตสะสมเปรียบกับสเกลที่สนใจส่วนด้วยความกว้างของพื้นที่ศึกษา โดยแกนอนจะแสดงสัดส่วนของสเกลที่สนใจต่อความกว้างทั้งหมดแกนตั้งจะแสดงค่าของ  $Q(s)$  โดยแสดงดังรูปที่ 7 - 2 และสามารถดูผลเพิ่มเติมได้ภาคผนวก ค

จากการตรวจสอบพบว่าค่าของอัตราส่วนต่อค่าความแปรปรวนดังกล่าวมีลักษณะเชิงเส้นตรง เหตุผลความแปรปรวนที่สเกลหยาบไม่สอดคล้องที่สเกลละเอียดน่าจะเกิดมาจากข้อมูลฝนที่สเกลหยาบมีน้อย ทำให้เกิดความคาดเคลื่อนในการคำนวณ (Chutdarong, 2006) ถึงแม้ว่าค่าความแปรปรวนและอัตราส่วนของสเกลต่อสเกลที่สนใจจะเป็นเส้นตรงจากเหตุการณ์ที่เลือกมาทั้งหมดแต่ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวยังเปลี่ยนแปลงไปตามเหตุการณ์ฝนจึงควรพิจารณาตำแหน่งหรือความละเอียดที่เหมาะสมและเลือกใช้ให้เหมาะสมรวมทั้งรูปแบบของพารามิเตอร์ของฝนที่มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ของฝนหรือไม่ โดยศึกษาการหาพารามิเตอร์จากฝนโดยการรวมข้อมูลจากเครื่องวัดทั้งสองชนิดในข้อถัดไป



รูปที่ 7 - 2 ตัวอย่างการทดสอบค่าความแปรปรวนสะสมและอัตราส่วนลอการิทึมของ (Length Scale Ratio) ของเหตุการณ์ฝนด้านซ้ายเป็นข้อมูลวันที่ 30-5-48 เวลา 19:30 และด้านขวามือเป็นข้อมูล ณ เหตุการณ์วันที่ 29-6-48 เวลา 17:40

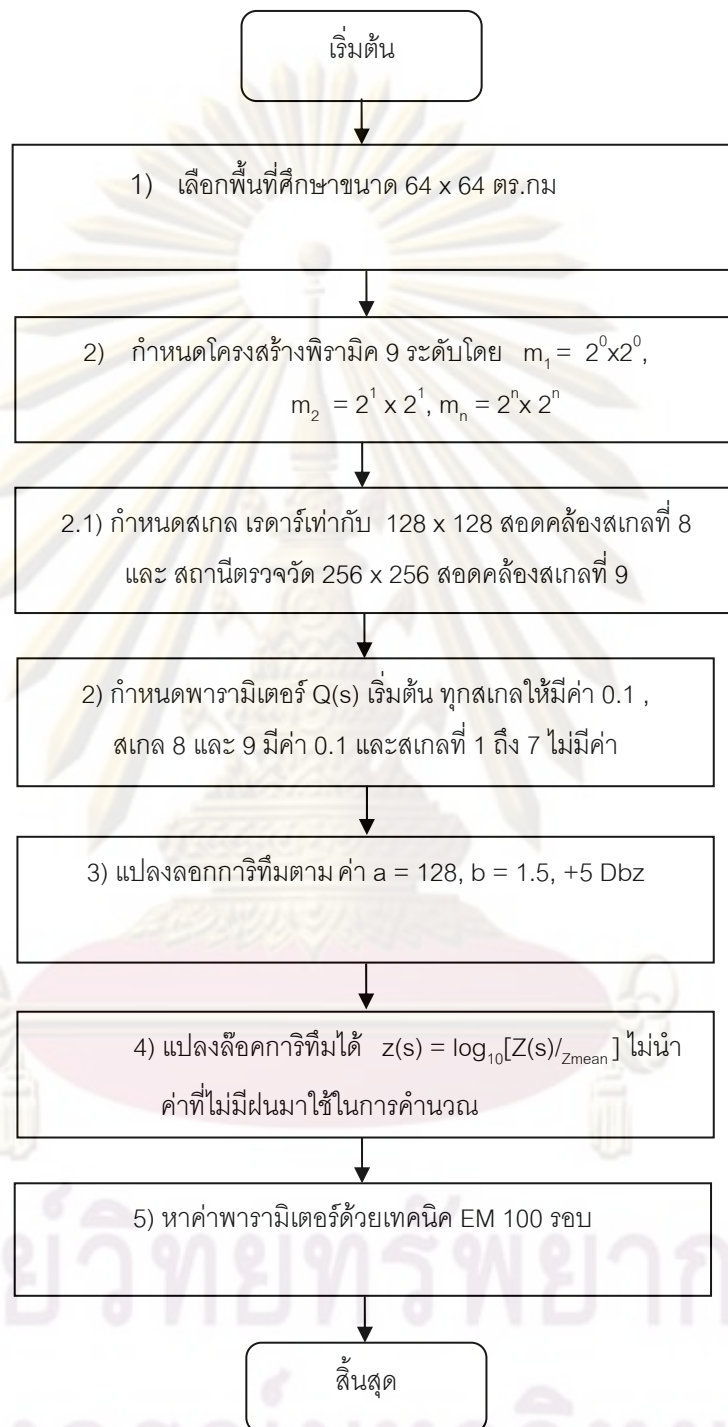


### 7.3 การหาค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลฝนด้วยเทคนิค EM

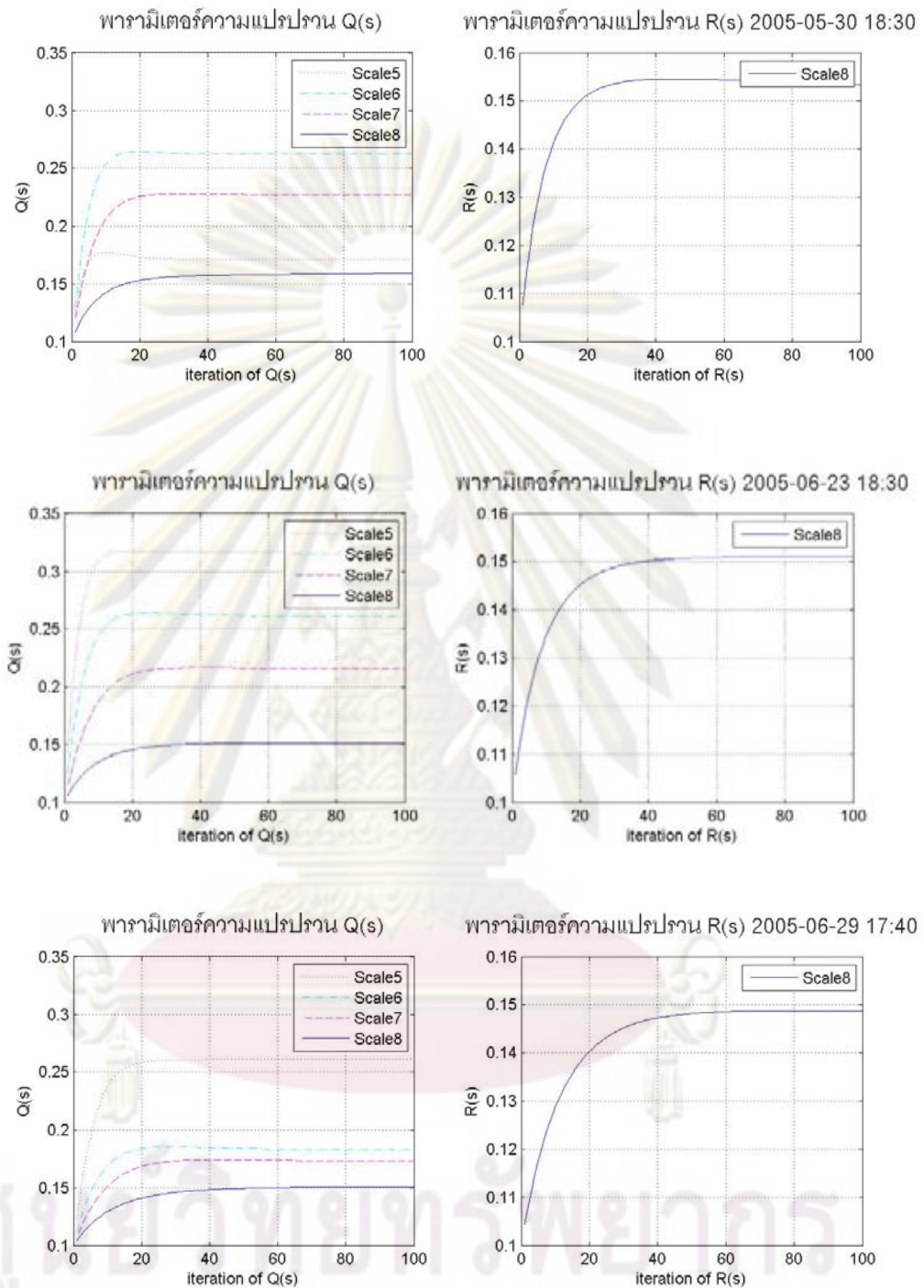
การทดสอบพารามิเตอร์ด้วยข้อมูลฝนจากการรวมข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัดเข้ากับข้อมูลเรดาร์ด้วยแบบจำลอง EM เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์แนวทางดังกล่าวสามารถกำหนดขั้นตอนได้ดังนี้

1. เลือกพื้นที่ศึกษาขนาด 64 x 64 ตร.กม รอบตำแหน่งสถานีตรวจวัดสำหรับการศึกษาในครั้งนี้
2. กำหนดโครงสร้างของระดับของเครื่องมือตรวจวัดแต่ละชนิดโดยในการทดสอบนี้ กำหนดให้มีระดับของสเกล 9 ระดับโดยกำหนดข้อมูลเรดาร์อยู่สเกลที่ 8 ขนาดพื้นที่ 128 X 128 ช่อง (ที่ความละเอียด 0.5 x 0.5 ตร.กม.ต่อช่อง) และข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัดอยู่ที่สเกลที่ 9 ขนาดพื้นที่ 256 X 256 ช่อง (ที่ความละเอียด 0.25 x 0.25 ตร.กม.ต่อช่อง)
3. กำหนดพารามิเตอร์  $Q(s)$  เริ่มต้นที่ทุกสเกลให้มีค่า 0.1 ในการทดสอบและค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น  $R(s)$  ที่สเกล 8 และ 9 มีค่า 0.1 และสเกลที่ 1 ถึง 7 ไม่มีการตรวจวัด
4. แปลงลอกการิทึมตามการศึกษาของศิริลักษณ์ (2550) โดยใช้ค่า  $a = 128$ ,  $b = 1.5$ ,  $+5$  Dbz ของค่าตรวจวัดจากเรดาร์
5. แปลงล็อกการิทึมได้  $z(s) = \log_{10}[Z(s)/Z_{\text{mean}}]$  ไม่นำค่าที่ไม่มีฝนมาใช้ในการคำนวณ
6. หาค่าพารามิเตอร์ EM จากการรวมข้อมูลเรดาร์และสถานีตรวจวัดโดยกำหนดรอบการคำนวณ (iteration) ให้มีค่า 100 รอบสำหรับการการการศึกษาในครั้งนี้

โดยค่าพารามิเตอร์ที่ได้จะคำนวณจำนวน 100 รอบเพื่อดูลักษณะของการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ลู่ออกค่าที่ดังแสดงในรูปที่ 7-4 เป็นตัวอย่างการหาค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลฝนเรดาร์และจากสถานีตรวจวัดจากนั้นจะพิจารณาฝนที่ความเข้มฝนที่สูงดังรูปที่ 7-5 และความเข้มฝนน้อยดังรูปที่ 7-6 สามารถดูผลเพิ่มเติมได้ภาคผนวก ง

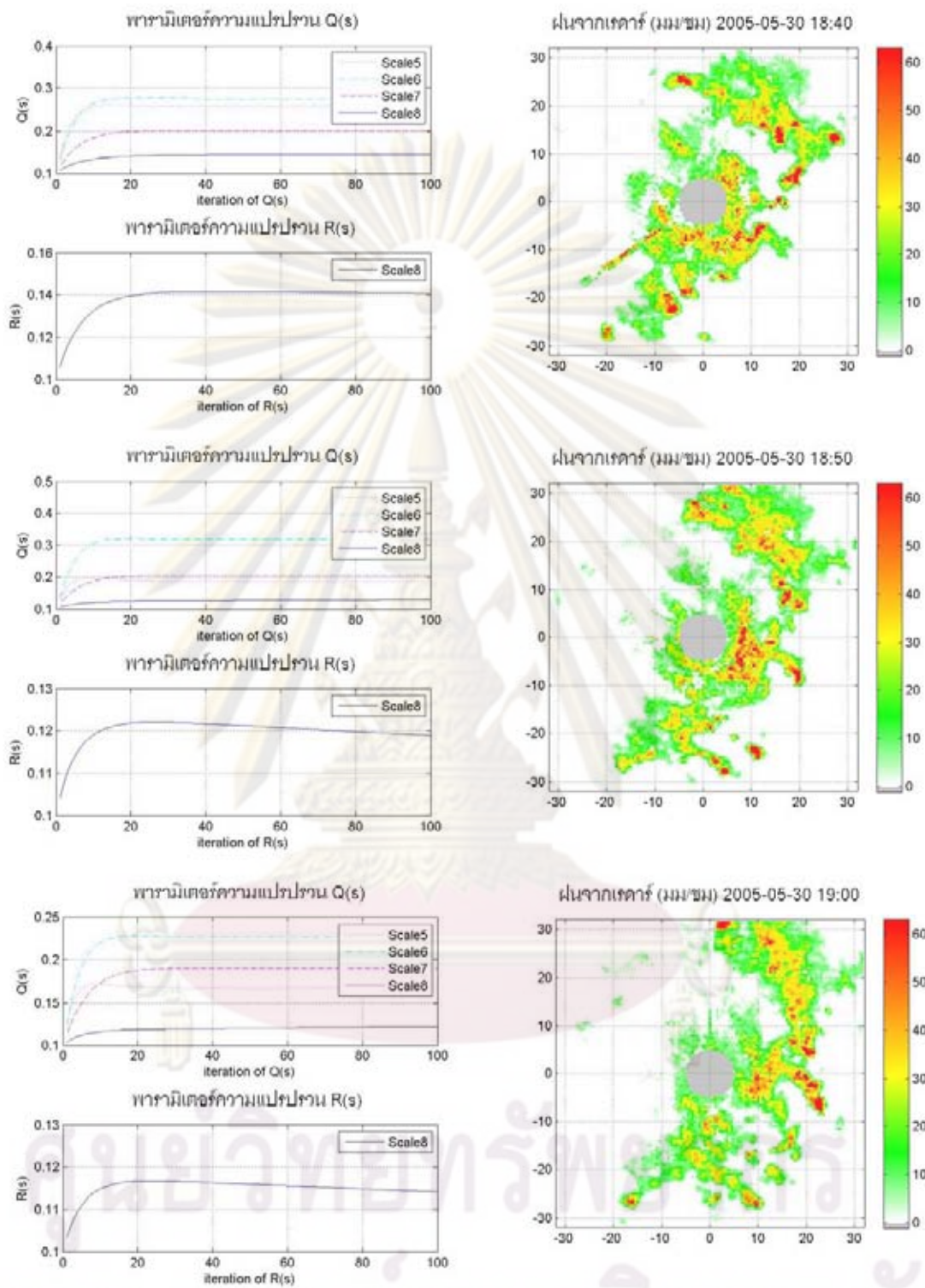


รูปที่ 7-3 ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM

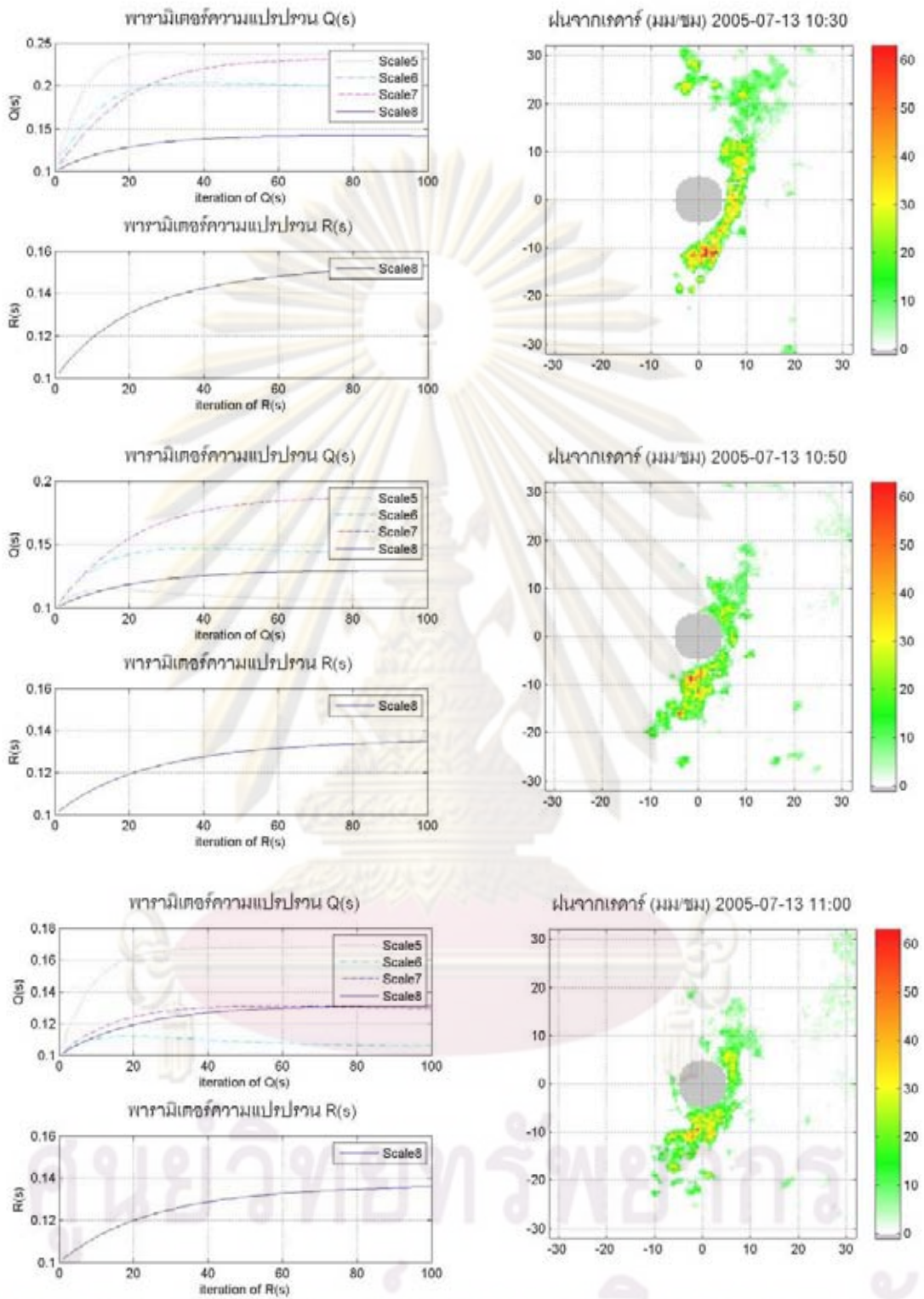


รูปที่ 7 – 4 ตัวอย่างการทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ด้วยข้อมูลฝนของเหตุการณ์ฝนข้อมูลวันที่ 30-05-48 เวลา 18:30, วันที่ 23-06-48 เวลา 18:30 และ วันที่ 29-06-48 เวลา 17:40



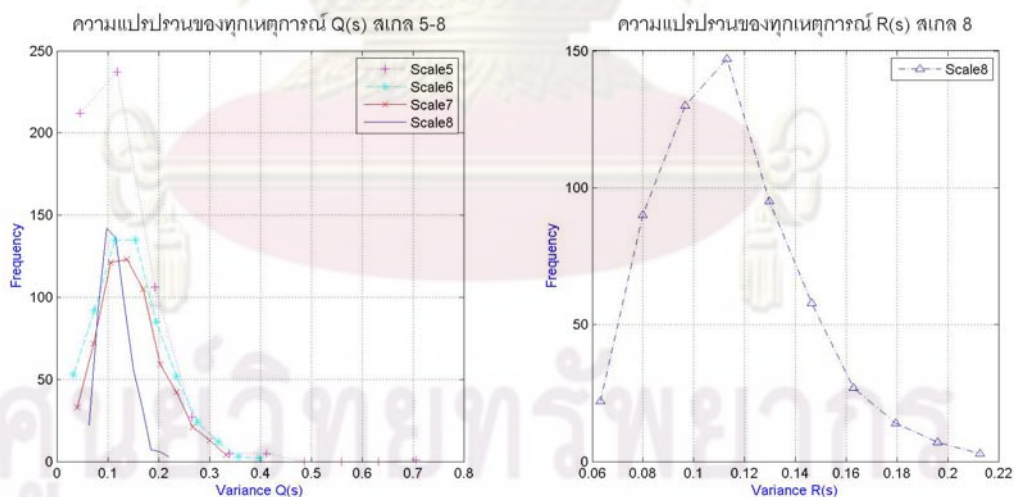


รูปที่ 7-5 ตัวอย่างการทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ด้วยข้อมูลฝน  
 ฝน เหตุการณ์ฝนข้อมูลวันที่ 30-05-48 เวลา 18:40, 18:50, 19:00 ในกรณี  
 ที่พิจารณาค่าความเข้มสูง



รูปที่ 7 - 6 ตัวอย่างการทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ด้วยข้อมูลฝน  
 ณ เหตุการณ์ฝนข้อมูลวันที่ 13-07-48 เวลา 10:30, 10:50, 11:00 ในกรณี  
 ที่พิจารณาค่าความเข้มต่ำ

ตัวอย่างการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7-5 และ 7-6 จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่าที่เราค่าพารามิเตอร์จะลู่เข้าสู่ค่าคงที่ไม่ก็กรอบ ในกรณีที่มีความเข้มฝนสูงๆ และจะลู่เข้าสู่ค่าคงที่ที่จำนวนรอบที่มากขึ้นในกรณีที่มีความเข้มฝนไม่มาก จากการทดสอบพบว่าพารามิเตอร์โดยส่วนจะเปลี่ยนแปลงไปตามความตามเข้มของฝนจากการรวมข้อมูลสถานีตรวจวัดและเรดาร์โดยส่วนใหญ่พบว่าค่าพารามิเตอร์ขึ้นลงไม่แน่นอนขึ้นอยู่กัเหตุการณ์ จากการทดสอบพารามิเตอร์พบว่าสเกล Q(s) ที่ 5-8 โดยส่วนใหญ่ จะลู่เข้า 0.1 - 0.4 และสเกลที่ 8 ส่วนใหญ่จะลู่เข้า 0.1 - 0.12 ในกรณีที่มีและฝนสูงๆ หรือฝนตกหนักครอบคลุมสถานีทั่วทั้งพื้นที่และค่าพารามิเตอร์ Q(s) สเกลที่ 5-7 โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 0.1 - 0.4 และค่าพารามิเตอร์ R(8) จะอยู่ในช่วง 0.1 - 0.12 ตามลักษณะของความเข้มฝนจากการตรวจวัดจากผลเนื่องจากค่าพารามิเตอร์ในการประยุกต์ใช้สามารถที่จะหาได้ในแต่ละช่วงเวลา การพิจารณาดังจะถูกนำไปใช้ประยุกต์ในการรวมข้อมูลเรดาร์และฝนจากสถานีตรวจโดยจะกำหนดรอบของพารามิเตอร์ เพื่อให้ค่าพารามิเตอร์ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ โดยการศึกษานี้จะกำหนด 80 รอบที่ใช้ในการประยุกต์รวมข้อมูลฝนจากสถานีเรดาร์และสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน ซึ่งจำนวนรอบนี้จะแตกต่างจากข้อมูลสังเคราะห์ในกรณีของข้อมูลสังเคราะห์จะทำไม่ก็กรอบก็จะลู่เข้าสู่ค่าคงที่ค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มของการตรวจวัดดังได้สรุปเป็นกราฟดังรูปที่ 7-6



รูปที่ 7-7 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ Q(s) ของระดับ สเกล 5-8 และ R(s) ที่สเกล 8



#### 7.4 สรุปขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่

การประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่ (Cascade Rainfall Model) เกี่ยวข้องกับ ทฤษฎีและเทคนิคจำนวนมากรวมทั้งสมมุติฐานต่างๆ เพื่อให้สามารถเข้าใจลำดับขั้นตอนของการ ประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่ จึงได้สรุปแนวทางในการรวมข้อมูลฝนและปรับแก้จาก การตรวจวัดฝนด้วยเรดาร์และสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินด้วยแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่ จึงได้ สรุปเป็นขั้นตอนตามรูปที่ 7 – 8 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) การเตรียมข้อมูลฝนจากเรดาร์และตำแหน่งสถานีตรวจวัดฝนลงพิกัดฉาก โดยพิจารณา ตำแหน่งค่าการตรวจวัดให้มีความสอดคล้องกัน พิจารณาเทียบจากตำแหน่งของสถานีเรดาร์ภาคี เจริญเป็นจุดศูนย์กลางของพื้นที่ศึกษา หากข้อมูลการตรวจวัดแต่ละเครื่องเป็นคนละเวลา จำเป็นต้องใช้ประมาณค่า จากข้อมูลที่เวลาข้างเคียง ให้เป็นเวลาเดียวกัน โดยใช้การประมาณ เชิงเส้น (Linear Interpolation)
- 2) แปลงลอการิทึม (Logarithm) ของค่าตรวจวัดความเข้มฝน เพื่อให้ข้อมูลมีความสอดคล้องกับ เทคนิค SRE ในลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distributed) โดยกำหนดให้ตัวแปรมี ค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (Mean) จึงจำเป็นต้องหารความเข้มฝนด้วยความเข้มฝนเฉลี่ยของพื้นที่ก่อน การแปลงลอการิทึม ค่าเฉลี่ยนี้จะคำนวณมาจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลการตรวจวัดทั้งหมด ถ้า ตำแหน่งใดความเข้มฝนมีค่าเป็นศูนย์หรือไม่มีฝนตกจำเป็นต้องแยกออกไม่นำมาใช้ในการคำนวณ เพราะค่าลอคศูนย์ไม่มีค่าและจะทำให้ทำสมมุติฐานการกระจายตัวผิดไปได้ หรือตำแหน่งที่ไม่มี ฝนอาจใช้สมมุติฐานค่าไม่มีการเก็บข้อมูล (Missing Data) ซึ่งมีความสะดวกรวดเร็วกว่าและให้ผล ใกล้เคียงกัน
- 3) กำหนดจำนวนสเกลและค่ากึ่งของโครงสร้าง SRE เพื่อให้สอดคล้องกับพื้นที่ศึกษาและความ ละเอียดของข้อมูลที่ได้มีการตรวจวัดโดยการศึกษานี้ ข้อมูลเรดาร์มีความละเอียดที่ 0.5 X 0.5 ตารางกิโลเมตรและข้อมูลสถานีตรวจวัดฝน มีความละเอียด 0.25 x 0.25 ตารางกิโลเมตร กำหนดให้พื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่ 64 x 64 ตารางกิโลเมตร และกำหนดให้ค่ากึ่ง (Branch) มี ค่าเป็น 2 x 2 กล่าวคือช่องใด ๆ ที่ระดับหรือสเกลหยาบ ( Coarse Scale) จะสามารถแบ่งเป็นช่อง ที่สเกลถัดมา (M+1) (Fine Scale) 2 x 2 ดังนั้นในการศึกษานี้ ได้แบ่งเป็น 9 ระดับซึ่งประกอบด้วย ตาราง 1 x 1, 2 x 2, 4x 4, 8 x 8, 16 x 16, 32 x 3 2, 64 x 64, 128 x 128, 256 x 256,

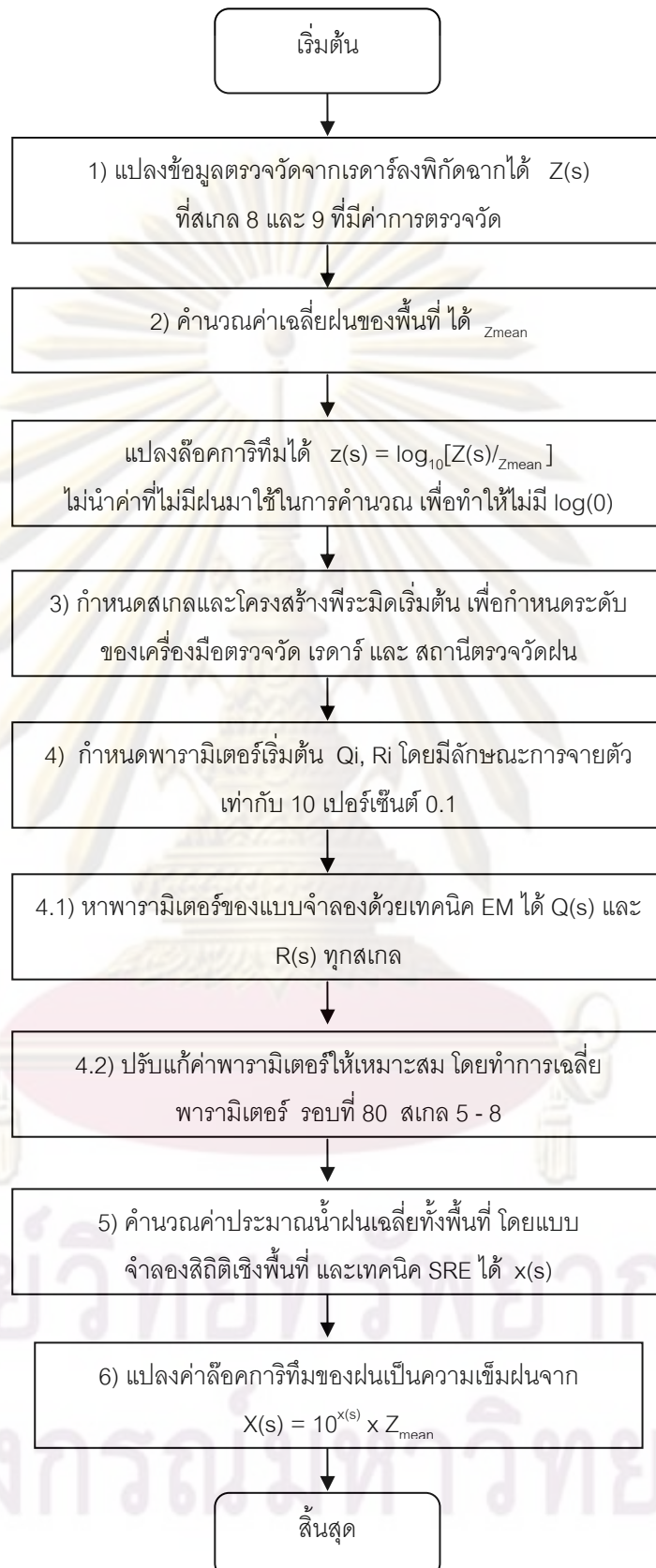


ข้อมูลเรดาร์และของมูลจากสถานีตรวจวัดจะอยู่ระดับสเกลที่ 8 และ 9 ซึ่งมีความละเอียด  $0.5 \times 0.5$  ตร.กม/ช่อง และ  $0.25 \times 0.25$  ตร.กม/ช่อง ตามลำดับ

4) การหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่ ด้วยเทคนิค EM ขั้นตอนนี้จะใช้เทคนิคเทคนิค EM ทำการหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองลำดับชั้น ค่าพารามิเตอร์ฝน  $Q(s)$  ที่สเกล 1 ถึงสเกลสุดท้ายสเกลที่ 9 และค่า  $R(s)$  ที่ระดับสเกลของการตรวจวัดสเกลที่ 8 ของเรดาร์และที่ 9 ของสถานีตรวจวัดฝน ค่า  $Q(s)$  นี้ ปกติจะมีค่าใกล้เคียงกันที่สเกลต่างๆ และความถูกต้องที่สเกลละเอียด (Fine Scale) จะสูงกว่าสเกลหยาบ (Coarse Scale) แต่ไม่สามารถหาค่าที่สเกลสุดท้ายได้เนื่องจากข้อจำกัดของสมการตามการศึกษา Chatdarong (2006) ดังนั้นเมื่อได้ค่าพารามิเตอร์จากเทคนิค EM แล้วทำการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์  $Q(s)$  ที่สเกลต่างๆ ใหม่โดยการกำหนดให้  $Q(s)$  ทุกสเกลเท่ากัน ที่สเกล 5 ถึง 8 ส่วนค่า  $R(s)$  สามารถหาค่าได้จากเทคนิค EM ยกเว้นสเกลที่ละเอียดที่สุด ( $m = 9$ ) ซึ่งค่า  $R(9)$  ที่สเกลดังกล่าวจะสมมติให้มีค่าเท่ากับ 0.1

5) หาค่าฝนเชิงพื้นที่ด้วยเทคนิค SRE โดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 4) ซึ่งจะให้ค่าลอการิทึมของฝนหลังการปรับแก้ที่ทุกสเกลบนโครงสร้าง SRE สำหรับในการศึกษานี้ จะสนใจข้อมูลที่ระดับสเกลของข้อมูลเรดาร์เท่านั้น

6) แปลงค่าลอการิทึมของฝนเป็นความเข้มฝน ฝนที่ได้จากขั้นตอนที่ 5) จะอยู่ในสมมติฐานแบบลอการิทึม จะทำการแปลงส่วนกลับค่าลอการิทึม ของฝนโดยการยกกำลังด้วยฐานธรรมชาติ (Natural Exponential) กลับมาในรูปแบบให้สอดคล้องกับการในลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distributed) จากนั้นจะทำการคูณด้วยค่าความเข้มฝนเฉลี่ยของพื้นที่จะได้ความเข้มฝนปรับแก้จากแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่



รูปที่ 7 – 8 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่

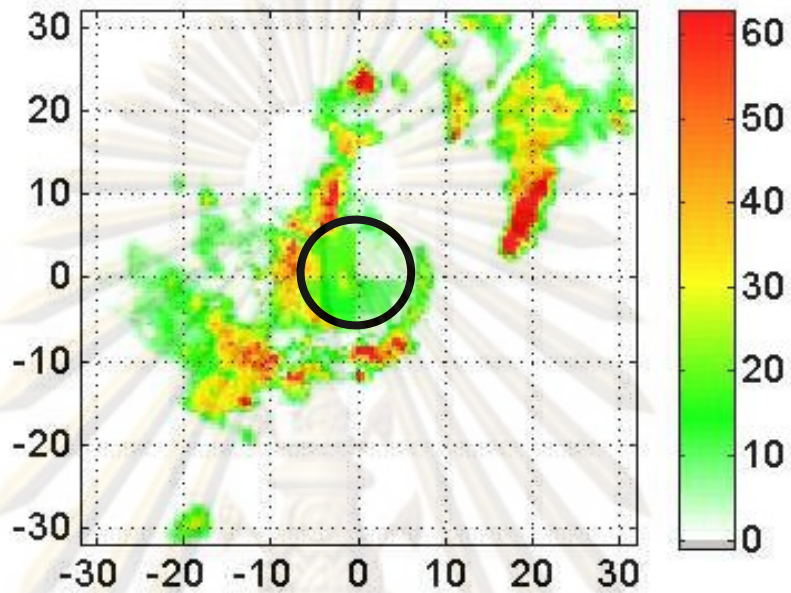
## 7.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่ในบริเวณกรุงเทพมหานคร

จากผลการศึกษาการปรับแก้ข้อมูลเรดาร์จากแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่ (Cascade Model) จะได้ว่าข้อมูลเรดาร์จะมีลักษณะคล้ายกับข้อมูลฝนที่ทำการแปลงจากความสัมพันธ์ของ Z-R แต่จะมีความราบเรียบและใกล้เคียงค่าเฉลี่ย เนื่องจากการปรับแก้จากแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Gorenburg (1996) ที่ได้ใช้การรวมข้อมูลดาวเทียมและเรดาร์และข้อมูลที่ไม่มีการตรวจวัด (Blind Area) ภายในรัศมี 5 กิโลเมตร จะถูกเพิ่มเติมและปรับแก้จากแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลของสถานีตรวจวัดแบบโทรมาตร และผลการปรับแก้ข้อมูลข้างเคียงจากโครงสร้าง SRE ไปยังตำแหน่งต่างๆที่ในสเกลของข้อมูลเรดาร์ที่กำหนดไว้สเกลที่ 8 โดยฝนที่ได้แบบจำลองลำดับชั้นเป็นฝนที่มีจะมีลักษณะใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้นแต่เนื่องจากฝนที่ตำแหน่งสถานีโทรมาตรมีไม่มากนัก เมื่อถูกนำมาใช้กับพื้นที่ขนาดใหญ่อาจจะทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่เหมือนข้อมูลฝนที่ตกจริงมากนัก ดังตัวอย่างการประยุกต์ฝนจากแบบจำลองลำดับชั้น ณ วันที่ 30 พ.ค 2548 เวลา 18:10 ดังรูปที่ 7 – 9 และการเพิ่มเติมข้อมูลตรวจที่เวลา ณ วันที่ 30 พ.ค 2548 เวลา 18:50, 19:00 และ 19:10 ดังรูปที่ 7 – 10 โดยผลสามารถดูผลเพิ่มเติมได้ภาคผนวก จ

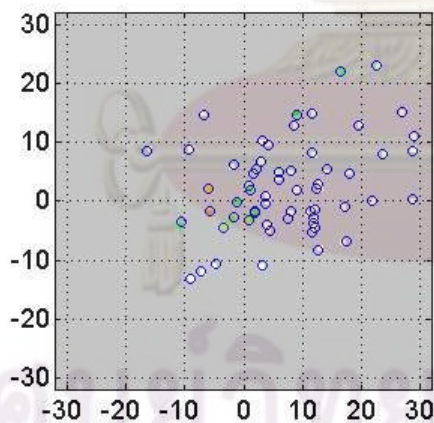
อย่างไรก็ตามก็สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาเชิงพื้นที่ได้โดยการศึกษาจะนำไปเปรียบเทียบกับฝนจากวิธี Thiessen Polygons ในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานครรอบๆ บริเวณสถานีเรดาร์ภาษีเจริญ ภายใน 32 ตารางกิโลเมตร ในข้อถัดไป



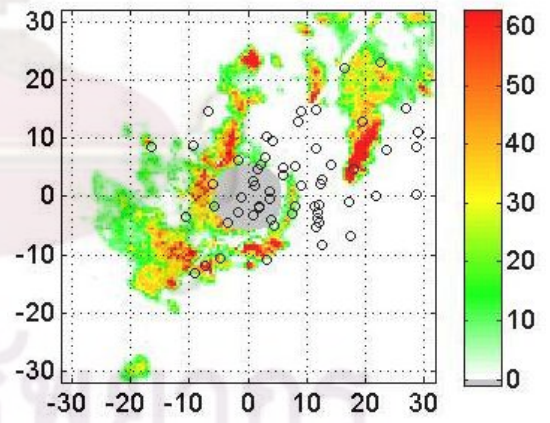
ฝนจากแบบจำลอง 2005-05-30 18:10



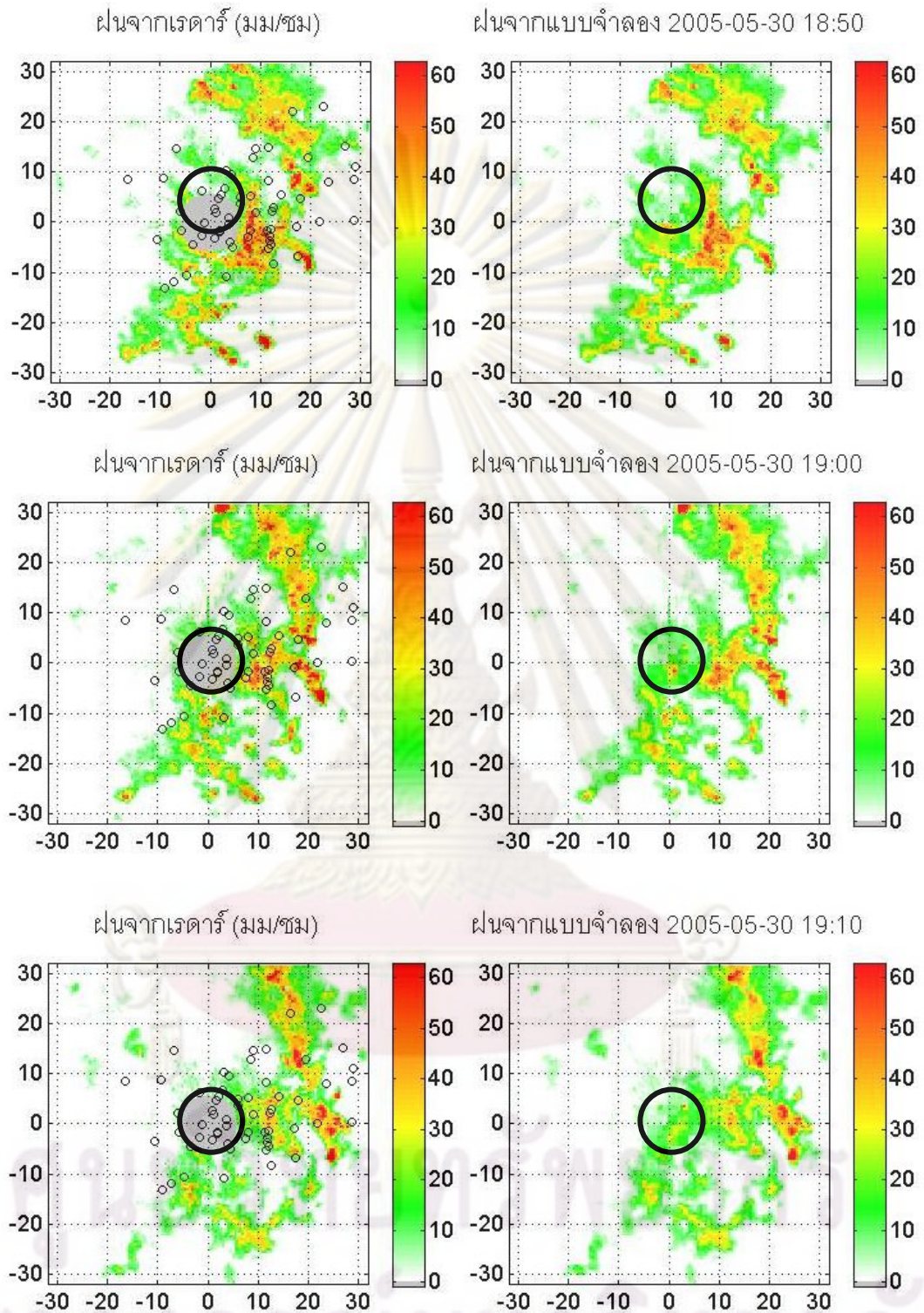
ฝนจากเกจ (มม/ชม)



ฝนจากเรดาร์ (มม/ชม)



รูปที่ 7 – 9 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับขั้นเชิงพื้นที่จากการรวมข้อมูลเรดาร์ และสถานีตรวจวัดแบบโทรมาตร (บน) วันที่ 30 พ.ค 2548 เวลา 18:10 (ล่างซ้าย) ฝนจากสถานีตรวจวัดโทรมาตร (ล่างขวา) ฝนจากเรดาร์



รูปที่ 7 – 10 การเพิ่มเติมข้อมูลจากแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่ในบริเวณวงสีดำภายในรัศมี 5 กิโลเมตร วันที่ 30 พ.ค 2548 เวลา 18:50, 19:00 และ 19:10

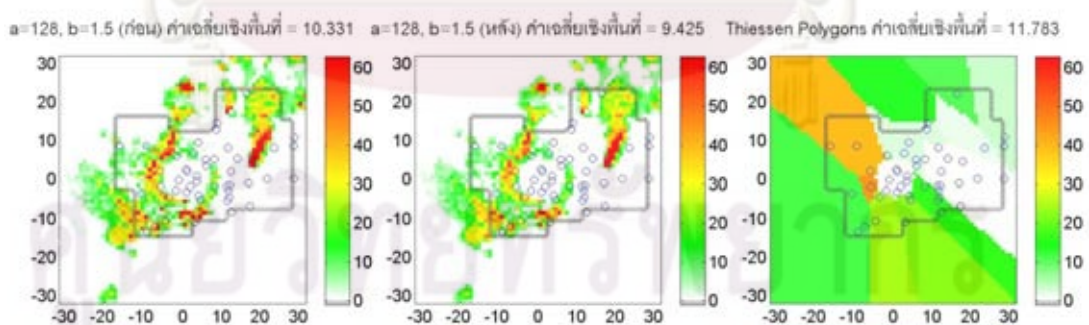


## 7.6 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองลำดับชั้นกับวิธีของ Thiessen Polygons

การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่ที่จะทำการเปรียบเทียบกับวิธี Thiessen Polygons โดยจะใช้ข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัดโทรมาตรที่ทำการคัดเลือกทำการสร้าง Thiessen Polygons จากข้อมูลฝนที่ตำแหน่งสถานีตรวจวัดแล้วเปรียบเทียบกับในแต่ละช่วงเวลากับข้อมูลที่ได้จากแบบฝนจำลองลำดับชั้น (Cascade Rainfall Model) โดยการหาค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่โดยจะพิจารณาค่าในพื้นที่กรุงเทพมหานครที่มีสถานีตรวจวัดข้อมูลฝนแบบโทรมาตร โดยจะเปรียบเทียบจากพื้นที่กำหนดรอบๆ ตำแหน่งที่ข้อมูลของสถานีตรวจวัดและจะไม่พิจารณาจากตำแหน่งที่มีการเพิ่มข้อมูลในแบบจำลองภายในรัศมี 5 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 7 - 11

ผลการเปรียบเทียบแสดงให้ว่า ค่าของ Thiessen Polygons จะมีค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่มากกว่าฝนจากแบบจำลองลำดับชั้น เนื่องจากการพิจารณาแบบปัจจุบัน (Real Time) ของการตรวจวัดเรดาร์เป็นหลักของจากตำแหน่งดังกล่าวฝนที่สถานีตรวจวัดที่ 10 นาที และใช้จุดดังกล่าวเป็นตัวแทนของพื้นที่ทำให้ข้อมูลสูงกว่า ดังรูปที่ 7 - 10

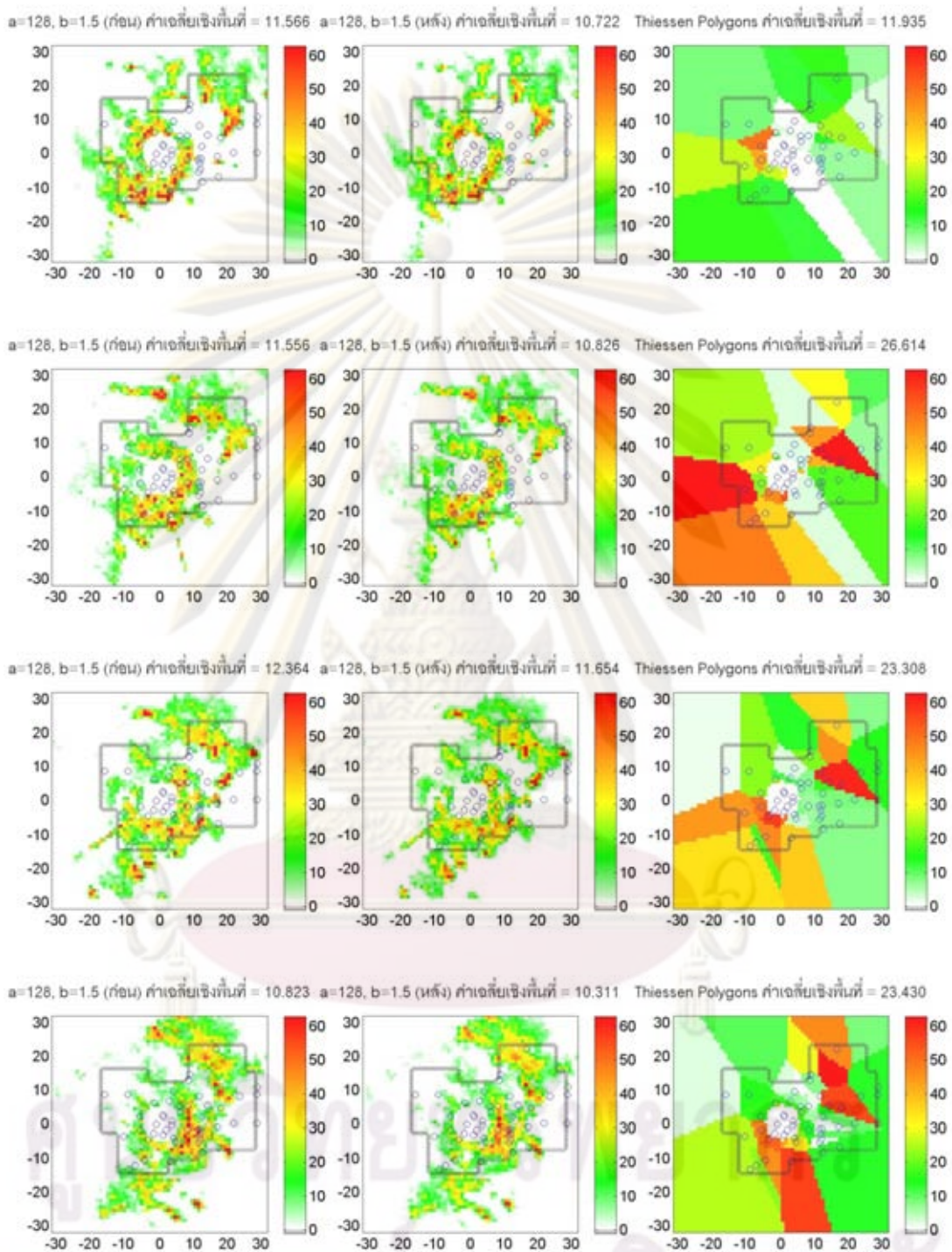
นอกจากนี้ยังได้พิจารณาการเปรียบเทียบโดยใช้  $a = 128$ ,  $b = 1.5$ ,  $+5\text{dBZ}$  เปรียบเทียบกับ  $a = 200$ ,  $b = 1.6$  จากในการศึกษาครั้งโดยผลแสดงให้เห็นว่าค่าฝนที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้  $a = 200$ ,  $b = 1.6$  น้อยกว่าฝนที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้  $a = 128$ ,  $b = 1.5$ ,  $+5\text{dBZ}$  ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริลักษณ์ (2550) ดังแสดงในรูปที่ 7 - 12 และ 7 - 13 และสามารถดูเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ข



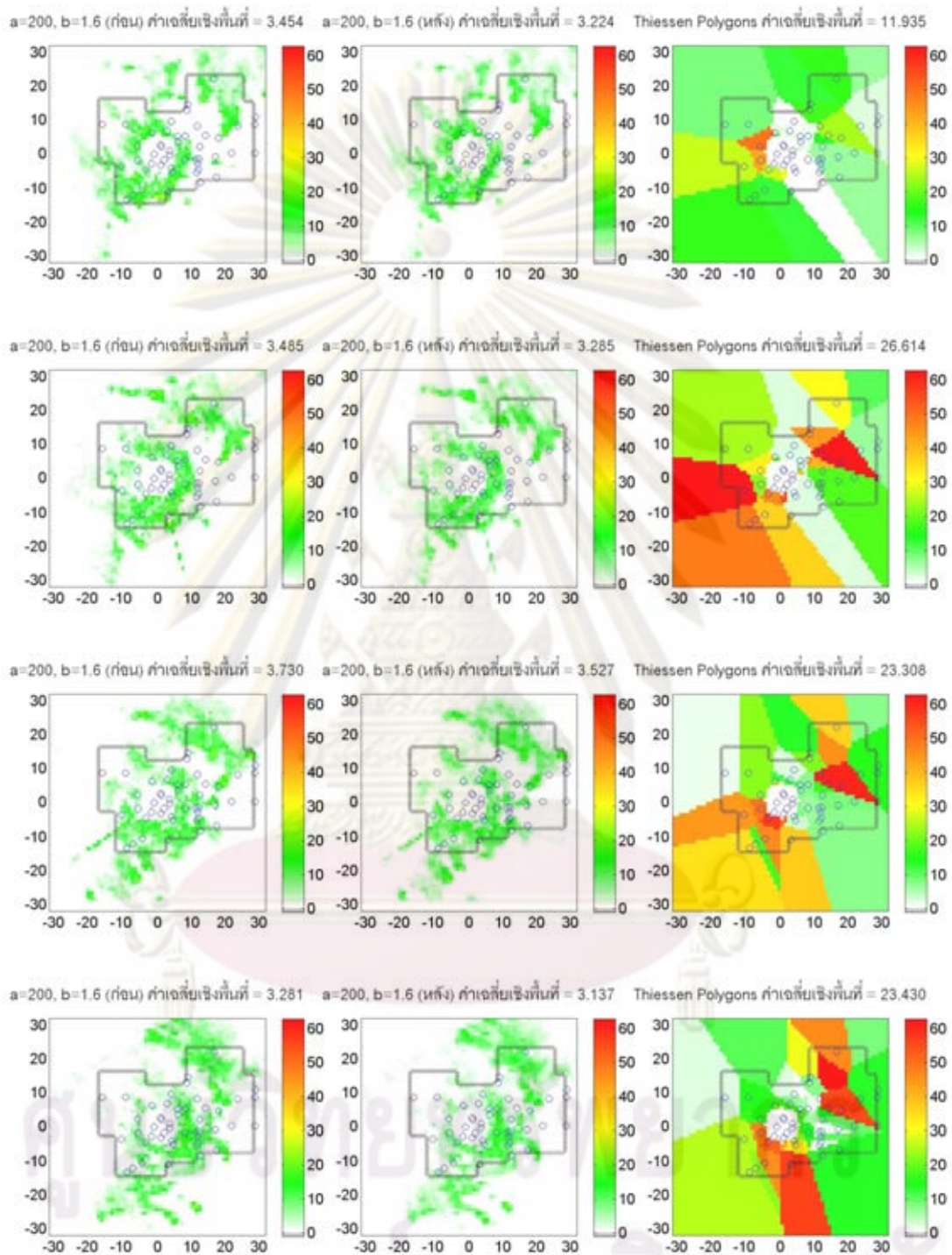
รูปที่ 7 - 11 การเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองลำดับชั้นและฝนจากวิธี Thiessen Polygons

ณ เหตุการณ์ วันที่ 30 พ.ค 2548 เวลา 18:10





รูปที่ 7 – 12 การเปรียบเทียบผลการจำลองโดยใช้ค่า  $a = 128$ ,  $b = 1.5$ , +5 dBZ ก่อนและหลังเข้าสู่แบบจำลองลำดับขั้นกับฝนจากวิธี Thiessen Polygons วันที่ 30 พ.ค 2548 เวลา 18:20, 18:30, 19:40, 19:50



รูปที่ 7-13 การเปรียบเทียบผลการจำลองโดยใช้ค่า  $a = 200$ ,  $b = 1.6$  ก่อนและหลังเข้าสู่แบบจำลองลำดับขั้นกับฝนจากวิธี Thiessen Polygons วันที่ 30

พ.ศ 2548 เวลา 18:20, 18:30, 19:40, 19:50



จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าฝนที่ได้จากแบบจำลองลำดับชั้นจะได้ตำแหน่งตามข้อมูลเรดาร์ด้วยการแปลงตามความสัมพันธ์จาก Z-R โดยได้อ้างอิงการศึกษาของการศึกษาของ Marshall (1948) และ ศิริลักษณ์ (2550) จะครอบคลุมบริเวณที่กลุ่มเมฆฝน ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบใน 2 กรณี ในกรณีที่ 1 ใช้ค่าของ  $a = 200$  และ  $b = 1.6$  ก่อนกับค่า  $a = 200$  และ  $b = 1.6$  หลังที่เข้าสู่แบบจำลองฝนแบบลำดับชั้นเชิงพื้นที่ โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าข้อมูลฝนที่ได้จากค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ที่ได้จากแบบจำลองโดยค่า  $a = 200$ ,  $b = 1.6$  ต่ำกว่าก่อนเข้าสู่แบบจำลอง 7.24 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 7 - 14 และกรณีที่ 2 ได้เปรียบเทียบเชิงพื้นที่ โดยใช้ค่า  $a = 128$  และ  $b = 1.5$ , +5 dBZ ก่อนและหลังที่นำเข้าสู่แบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่ และพบว่าค่าเฉลี่ยฝนเชิงพื้นที่หลังเข้าสู่แบบจำลองที่ได้ต่ำกว่าก่อนเข้าสู่แบบจำลอง 7.26 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 7 - 15 เหตุผลที่ฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่จากแบบจำลองต่ำกว่าก่อนเข้าแบบจำลองเนื่องจากการปรับแบบราบเรียบจากแบบจำลอง

หลังจากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบกับ วิธี Thiessen Polygons ผลการศึกษาแสดงให้เห็นฝนที่ได้จากวิธี Thiessen Polygons จะให้ค่าฝนเชิงพื้นที่ที่สูงกว่าทั้งสองกรณี ดังแสดงในรูปที่ 7 - 16 เนื่องจากใช้ตำแหน่งฝนนั้นเป็นตัวแทนในพื้นที่ถูกแบ่งเป็น Polygons รอบจุดของสถานี และนำฝนทั้งสามวิธีมาเปรียบเทียบเชิงพื้นที่โดยในการพิจารณานี้จะพิจารณาในกรอบบริเวณสถานีตรวจวัดของสถานีตรวจวัดฝนทั้งหมดในแต่ละช่วงเวลา แล้วนำค่าฝนเชิงพื้นที่มาหาผลรวมค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาแล้วนำไปเฉลี่ยทั้งหมดจากข้อมูลที่คัดเลือก 40 เหตุการณ์ ดังได้สรุปเป็นตารางที่ 7 - 1 เปรียบเทียบระหว่างค่าฝนจากการใช้พารามิเตอร์  $a = 200$ ,  $b = 1.6$  ก่อนและหลังเข้าสู่แบบจำลองและวิธี Thiessen Polygons ส่วนตารางที่ 7 - 2 เปรียบฝนจากการใช้พารามิเตอร์  $a = 128$ ,  $b = 1.5$ , +5 dBZ ก่อนและหลังเข้าสู่แบบจำลองและวิธี Thiessen Polygons โดยในคอลัมภ์ที่ 5 เป็นเปอร์เซ็นต์ก่อนและหลังเข้าสู่แบบจำลองในแต่ละเหตุการณ์

นอกจากนี้ยังได้นำค่าฝนเฉลี่ยที่ได้ไปพล็อตกราฟดูความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ โดยแกน X จะเป็นฝนเฉลี่ยจากแบบจำลองลำดับชั้นและจากความสัมพันธ์ Z-R และแกน Y จะเป็นค่าเฉลี่ยของฝนจากวิธี Thiessen Polygons ดังรูปที่ 7 - 17 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าฝนที่ได้จากแบบจำลองลำดับชั้นโดยใช้สมการ Z-R  $a = 200$ ,  $b = 1.6$  และ  $a = 128$ ,  $b = 1.5$ , +5 dBZ ที่ได้จากจากแบบจำลองมีการปรับปรุงจากความสัมพันธ์ที่ขึ้นเล็กน้อยดังแสดงใน รูปที่ 7 - 17 และทำการเปรียบเทียบฝนก่อนและหลังที่ได้จากแบบจำลองลำดับชั้นกับฝนสถานีตรวจวัด พบว่าฝนจากแบบจำลองลำดับชั้นจะใกล้เคียงข้อมูลจากสถานีตรวจวัดดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 7 - 18 และรูปที่ 7 - 19 เป็นการพล็อตฝนสะสมของฝนก่อนและหลังเข้าสู่แบบจำลองโดยเทียบกับสถานีตรวจวัดของตัวอย่างเหตุการณ์ วันที่ 30 - 05 - 2548 และเหตุการณ์ วันที่ 13 - 07 - 2548



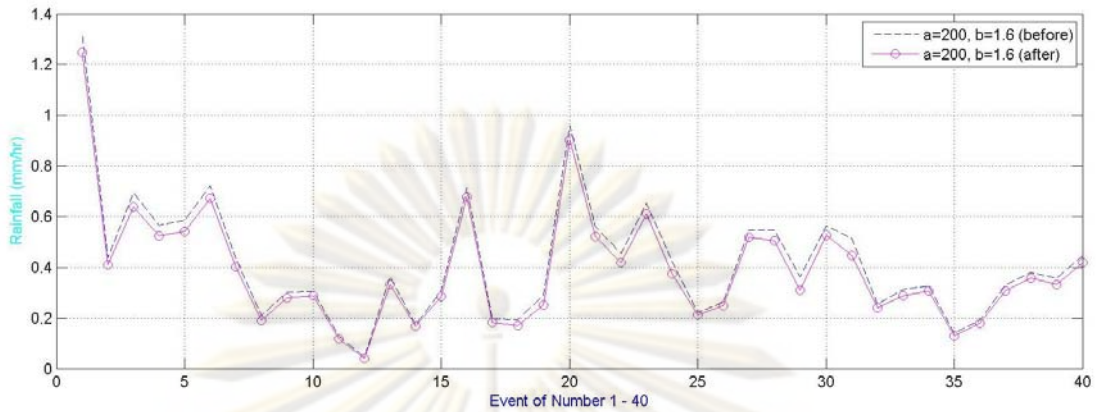
ตารางที่ 7 - 1 การเปรียบเทียบฝนก่อนและหลัง จากแบบจำลอง a = 200, b=1.6 และวิธี Theissen Polygons

เหตุการณ์ฝน	ฝนจาก Z-R a = 200 b=1.6 (มม/ชม)	ฝนเฉลี่ยจากแบบจำลอง a = 200, b=1.6 (มม/ชม)	ฝนเฉลี่ยจากวิธี Theissen Polygon (มม/ชม)	ผลต่าง (เปอร์เซ็นต์)
30/05/2548	1.32	1.25	14.59	5.45
23/06/2548	0.44	0.41	9.90	6.45
29/06/2548	0.69	0.64	8.77	7.86
13/07/2548	0.57	0.52	7.87	7.51
28/07/2548	0.59	0.54	6.06	7.26
9/08/2548	0.72	0.67	9.74	6.91
18/08/2548	0.44	0.40	6.00	7.54
28/08/2548	0.21	0.19	12.83	9.09
29/08/2548	0.30	0.28	11.67	7.64
30/08/2548	0.31	0.29	8.10	5.46
3/09/2548	0.13	0.12	7.60	7.80
7/09/2548	0.05	0.04	5.64	13.04
8/09/2548	0.36	0.33	1.49	8.79
14/09/2548	0.17	0.17	4.36	2.65
15/09/2548	0.31	0.29	5.03	6.74
21/09/2548	0.72	0.68	7.07	5.10
14/10/2548	0.20	0.18	10.43	7.87
7/06/2549	0.19	0.17	5.90	10.39
11/06/2549	0.29	0.25	3.57	12.93
16/06/2549	0.96	0.90	17.77	5.86
18/06/2549	0.56	0.52	9.79	6.96
23/06/2549	0.45	0.42	9.53	7.82
24/06/2549	0.65	0.61	16.96	6.47
26/06/2549	0.42	0.37	10.46	11.90
30/06/2549	0.22	0.21	5.39	4.49
1/07/2549	0.26	0.25	6.47	5.40
2/07/2549	0.55	0.52	11.02	5.31
5/07/2549	0.55	0.51	8.36	7.79
6/07/2549	0.36	0.31	6.22	13.90
12/07/2549	0.56	0.53	11.84	6.65
31/07/2549	0.51	0.45	11.52	13.06
4/08/2549	0.26	0.24	8.19	5.86
29/08/2549	0.31	0.29	8.00	7.87
6/09/2549	0.33	0.31	11.09	6.11
14/09/2549	0.14	0.13	6.85	6.77
15/09/2549	0.19	0.18	6.92	6.14
18/09/2549	0.33	0.31	15.14	6.67
26/09/2549	0.38	0.36	17.80	6.22
27/09/2549	0.36	0.33	12.73	7.01
18/10/2549	0.45	0.42	9.76	6.15

ตารางที่ 7 - 2 การเปรียบเทียบฝนก่อนและหลัง จากแบบจำลอง a = 128, b=1.5, + 5 dBZ และวิธี Thiessen Polygons

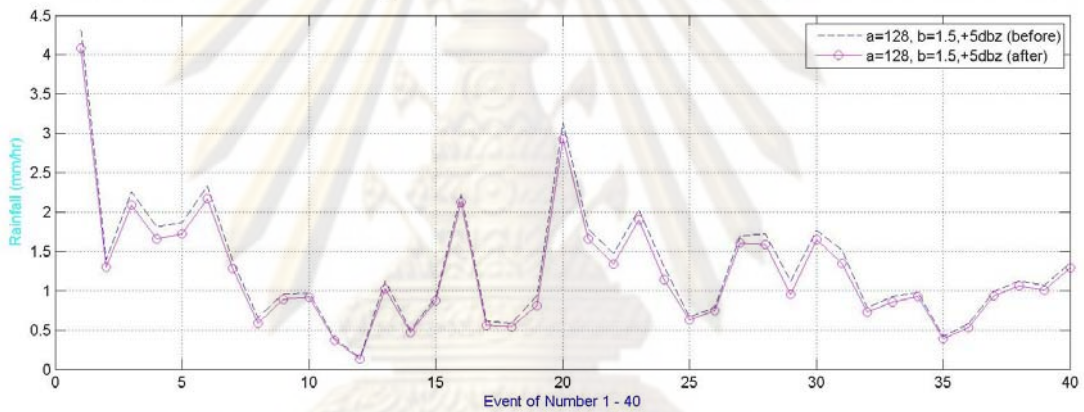
เหตุการณ์ฝน	ฝนจาก Z-R a = 128, b=1.5 (มม/ชม)	ฝนเฉลี่ยจากแบบจำลอง a = 128, b=1.5 (มม/ชม)	ฝนเฉลี่ยจากวิธี Thiessen Polygon (มม/ชม)	ผลต่าง (เปอร์เซ็นต์)
30/05/2548	4.34	4.09	14.59	5.85
23/06/2548	1.39	1.30	9.90	6.54
29/06/2548	2.26	2.09	8.77	7.69
13/07/2548	1.81	1.66	7.87	8.42
28/07/2548	1.87	1.73	6.06	7.63
9/08/2548	2.33	2.17	9.74	6.88
18/08/2548	1.38	1.28	6.00	7.15
28/08/2548	0.65	0.58	12.83	10.70
29/08/2548	0.96	0.89	11.67	7.46
30/08/2548	0.97	0.92	8.10	5.03
3/09/2548	0.40	0.37	7.60	7.79
7/09/2548	0.15	0.13	5.64	10.96
8/09/2548	1.13	1.02	1.49	9.24
14/09/2548	0.50	0.47	4.36	5.04
15/09/2548	0.92	0.87	5.03	5.81
21/09/2548	2.23	2.12	7.07	4.74
14/10/2548	0.62	0.56	10.43	8.60
7/06/2549	0.58	0.54	5.90	7.73
11/06/2549	0.94	0.81	3.57	13.60
16/06/2549	3.13	2.93	17.77	6.58
18/06/2549	1.79	1.66	9.79	7.32
23/06/2549	1.47	1.34	9.53	8.71
24/06/2549	2.03	1.90	16.96	6.29
26/06/2549	1.30	1.14	10.46	12.14
30/06/2549	0.67	0.63	5.39	5.62
1/07/2549	0.78	0.74	6.47	4.80
2/07/2549	1.69	1.61	11.02	4.99
5/07/2549	1.72	1.58	8.36	8.02
6/07/2549	1.13	0.96	6.22	15.19
12/07/2549	1.77	1.65	11.84	6.58
31/07/2549	1.52	1.34	11.52	11.40
4/08/2549	0.78	0.73	8.19	7.14
29/08/2549	0.93	0.86	8.00	7.63
6/09/2549	0.98	0.93	11.09	5.45
14/09/2549	0.42	0.39	6.85	7.20
15/09/2549	0.58	0.54	6.92	6.67
18/09/2549	0.99	0.94	15.14	5.65
26/09/2549	1.12	1.06	17.80	4.87
27/09/2549	1.07	1.01	12.73	5.93
18/10/2549	1.36	1.29	9.76	4.97

การเปรียบเทียบฝนก่อนและหลังเข้าสู่จากแบบจำลอง a=200, b=1.6, เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง : -7.24



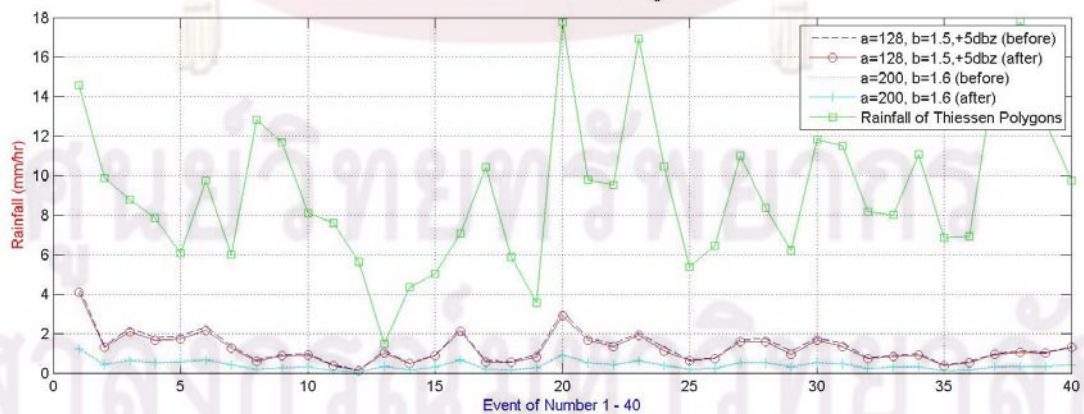
รูปที่ 7 – 14 การเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองโดยใช้ค่า a = 200, b = 1.6

การเปรียบเทียบฝนก่อนและหลังเข้าสู่จากแบบจำลอง a=128, b=1.5, +5dbz, เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง : -7.26



รูปที่ 7 – 15 การเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองโดยใช้ค่า a = 128, b = 1.5, +5dBZ

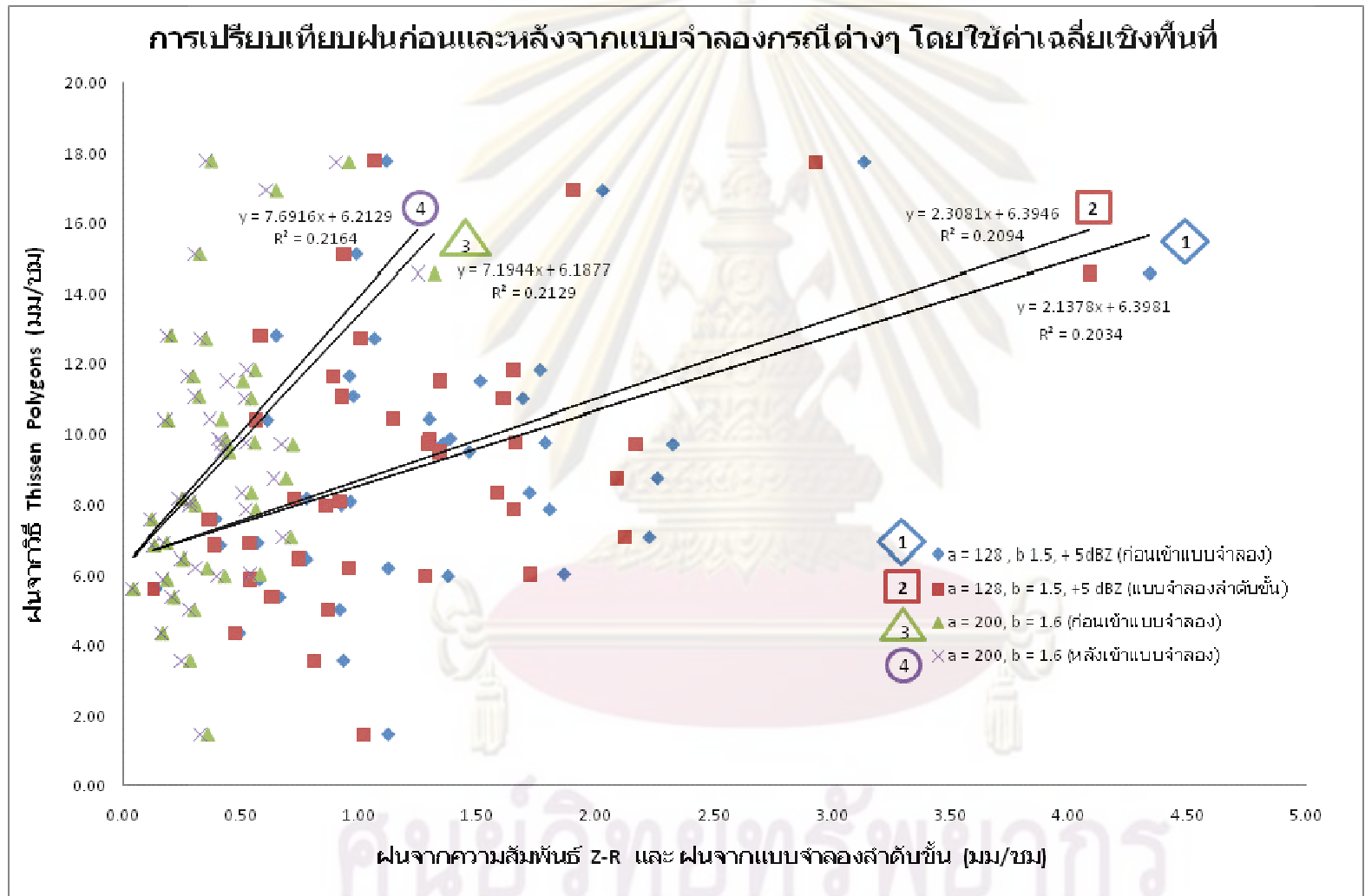
การเปรียบเทียบฝนก่อนและหลังเข้าสู่จากแบบจำลอง



รูปที่ 7 – 16 การเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองโดยใช้ค่า a = 200, b = 1.6

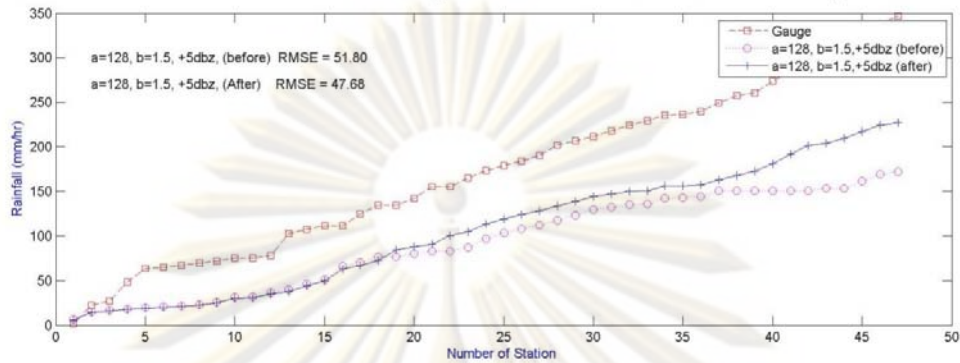
a = 128, b = 1.5, +5dBZ และ Thiessen Polygons





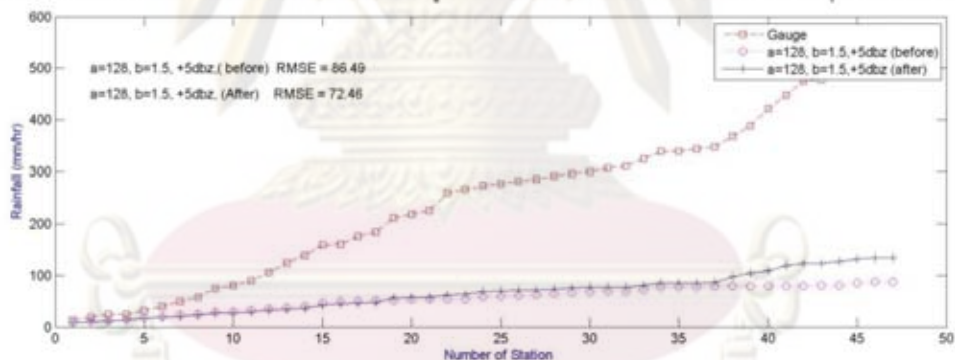
รูปที่ 7 - 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างฝนที่ได้จากความสัมพันธ์ Z-R และฝนที่ได้จากแบบจำลองลำดับชั้น กับวิธี Thiessen Polygons

ฝนสะสมจากสถานีตรวจวัดกับฝนสะสมก่อนและหลังเข้าสู่จากแบบจำลอง  $a=128, b=1.5, +5\text{dbz}$  ของเหตุการณ์วันที่ 30-05-2005



รูปที่ 7 – 18 การเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองโดยใช้ค่า  $a = 128, b = 1.5, +5 \text{ dBZ}$  ก่อนและหลังเข้าสู่แบบจำลองกับฝนจากสถานีตรวจวัดของเหตุการณ์วันที่ 30 - 05 - 2548

ฝนสะสมจากสถานีตรวจวัดกับฝนสะสมก่อนและหลังเข้าสู่จากแบบจำลอง  $a=128, b=1.5, +5\text{dbz}$  ของเหตุการณ์วันที่ 13-07-2005



รูปที่ 7 – 19 การเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองโดยใช้ค่า  $a = 128, b = 1.5, +5 \text{ dBZ}$  ก่อนและหลังเข้าสู่แบบจำลองกับฝนจากสถานีตรวจวัดของเหตุการณ์วันที่ 13 - 07 - 2548

จากรูปที่ 7 – 18 และรูปที่ 7 – 19 เป็นการพล็อตฝนสะสมของฝนก่อนและหลังเข้าสู่แบบจำลองเปรียบเทียบกับฝนจากสถานีตรวจวัดโดยใช้ค่าเฉลี่ยของฝนในแต่ละสถานีตรวจวัดในเหตุการณ์และค่า RMSE คำนวณมาจากค่าดังกล่าว

## บทที่ 8

# สรุปผลการศึกษาระยะการประยุกต์ใช้แบบจำลองในพื้นที่ศึกษา

### 8.1 สรุปผลการศึกษาระยะการประยุกต์ใช้แบบจำลองในพื้นที่ศึกษา

การศึกษาได้นำเสนอเทคนิคและวิธีการในการรวมฝนจากเครื่องมือตรวจวัดระยะไกล (Remote Sensing) และแนวทางการผสมผสานข้อมูลฝนจากหลายเครื่องมือตรวจวัด (Data Assimilation Method) โดยใช้แบบจำลองฝนแบบลำดับขั้น (Cascade Rainfall Model) และเทคนิคการหาพารามิเตอร์ตัวแปรที่เหมาะสม (Expectation Maximization)

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองฝนแบบลำดับขั้น (Cascade Rainfall Model) ร่วมกับเทคนิคการหาพารามิเตอร์ตัวแปรที่เหมาะสม (Expectation Maximization) สามารถประยุกต์กับการรวมข้อมูลฝนจากเรดาร์และสถานีตรวจวัดได้ ดังได้เสนอในผลการศึกษาทั้งในแบบข้อมูลสังเคราะห์ (Synthesis Data) ของแบบจำลองฝนทางสถิติแบบลำดับขั้น การทดสอบสมมุติฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการพารามิเตอร์ด้วยเทคนิคดังกล่าว การเปลี่ยนรูปแบบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง SRE ของพารามิเตอร์ของเทคนิค EM การหาพารามิเตอร์ความแปรปรวนด้วยเทคนิคดังกล่าวแล้วนำประยุกต์ใช้กับข้อมูลฝนจริง การหาพารามิเตอร์ความแปรปรวนจากข้อมูลฝนผลแสดงได้ว่าค่าพารามิเตอร์ความแปรปรวนเปลี่ยนแปลงได้ค่อนข้างมากขึ้นอยู่กับลักษณะของเหตุการณ์ จะเข้าสู่ค่าคงที่ไม่ก็รอบในกรณีที่มีความเข้มการตรวจวัดสูงๆ และจะเข้าสู่ค่าคงที่ในจำนวนรอบที่มากขึ้น ในกรณีที่ความเข้มฝนไม่มากค่าพารามิเตอร์ความแปรปรวนของข้อมูลฝนจะผันแปรตามความเข้มของการตรวจวัด ช่วงเวลา และ เหตุการณ์ที่ต่างกัน ในทางปฏิบัตินั้นสามารถประยุกต์ใช้ในแต่ละเหตุการณ์ได้ที่เป็น (Real Time) รวมถึงการเพิ่มจำนวนของการคำนวณได้ ขึ้นอยู่กับข้อมูลฝนในแต่ละพื้นที่ ในการศึกษานี้ได้กำหนดไว้ที่ 80 รอบ ของการคำนวณในประยุกต์การรวมข้อมูลฝนจากเรดาร์และจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินเข้าด้วยกัน

จากผลการศึกษาได้ใช้ความสัมพันธ์ของ Z-R ตามการศึกษาของศิริลักษณ์ (2550) ในการแปลงข้อมูลฝนเข้าสู่แบบจำลองฝนแบบลำดับขั้นเชิงพื้นที่ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นลักษณะของฝนจะครอบคลุมในบริเวณที่มีกลุ่มฝนจากเรดาร์ จากนั้นได้นำฝนจากสมการดังกล่าวไปเทียบกับฝนใช้  $a = 200$ ,  $b = 1.6$  ของ Marshall (1948) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลฝนจาก



$a = 128$ ,  $b = 1.5$ ,  $+5$  dBZ เมื่อนำเข้าสู่แบบจำลองจะสูงกว่าใช้  $a = 200$ ,  $b = 1.6$  และเมื่อนำเข้าสู่แบบจำลองฝนจากสมการทั้งสองกรณีจะถูกปรับเข้าใกล้เคียงฝนจากสถานีตรวจวัด และมีความสัมพันธ์ดีขึ้นเล็กน้อย แต่ค่าเฉลี่ยฝนเชิงพื้นที่ของทุกเหตุการณ์จากแบบจำลองจะต่ำกว่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ก่อนเข้าสู่แบบจำลองเนื่องจากการปรับแบบราบเรียบ (Smooth) และได้้นำค่าเฉลี่ยฝนเชิงพื้นที่จากแบบจำลองทั้งสองดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับวิธี Thiessen Polygons ผลแสดงให้ว่าค่าเฉลี่ยของฝนจากวิธี Thiessen Polygons จะมากกว่าทั้งสองแบบเนื่องจากฝนจาก Thiessen Polygons จะใช้ฝนดังกล่าวเป็นตัวแทนของพื้นที่ในบริเวณรอบๆจุด (Polygons) ซึ่งแตกต่างจากฝนจากแบบจำลองลำดับขั้นเชิงพื้นที่เนื่องจากจะได้ฝนที่ครอบคลุมบริเวณนั้นจึงทำให้ค่าเฉลี่ยฝนจากวิธี Thiessen Polygons เชิงพื้นที่มากกว่า แม้ว่าแบบจำลองจะสามารถเพิ่มความถูกต้องในการประมาณปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่ได้เพียงเล็กน้อย แต่ก็สามารถช่วยเติมข้อมูลที่ขาดหายไปได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพดังที่ได้แสดงในการศึกษาในครั้งนี้

## 8.2 ข้อเสนอแนะจากศึกษา

จากการศึกษาพบว่าข้อมูลส่วนใหญ่จะมีลักษณะใกล้เคียงจากข้อมูลเรดาร์ที่แปลงจากความสัมพันธ์ Z-R การติดตั้งสถานีตรวจวัดและการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่เหมาะสมยังมีความจำเป็นอยู่มากเนื่องจากจะเพิ่มความถูกต้องของข้อมูลเรดาร์ก่อนเข้าแบบจำลองฝนแบบลำดับขั้นและข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองจะพยายามปรับเข้าหาข้อมูลจากสถานีตรวจวัดเนื่องจากการใช้วิธีการตัวกรองของคามาาน (Kalman filter) เป็นตัวปรับแก้ (Update) ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้พิจารณาฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่บริเวณเรดาร์ไม่มีการตรวจวัดข้อมูล (Blind Area) เนื่องจากยังไม่มี การตรวจสอบความถูกต้องจากการเติมข้อมูลบริเวณดังกล่าว อย่างไรก็ตามการเติมข้อมูลนำมาพิจารณาประกอบด้วยก็จะทำให้ได้ฝนเชิงพื้นที่สูงขึ้น การศึกษาครั้งต่อไปควรมีการตรวจสอบความถูกต้องบริเวณดังกล่าวด้วยและเรดาร์ที่ใช้เป็นชนิด C-band เป็นเรดาร์ขนาดเล็ก ซึ่งประสบปัญหา Attenuation ทำให้ตรวจวัดความเข้มฝนได้ในรัศมีระยะสั้น ดังนั้นควรจะมีการประยุกต์ใช้กับเรดาร์ชนิดอื่นๆ เช่น เรดาร์ชนิด S - Band เป็นต้น และในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการเพิ่มข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ เช่น ดาวเทียมตรวจอากาศ หรือ จากสถานีเรดาร์ข้างเคียง เข้ามาเพิ่มเติมด้วยจะทำให้ข้อมูลมีความครอบคลุมทั่วพื้นที่น่าจะทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องในเชิงพื้นที่สูงขึ้น

### 8.3 ข้อจำกัดของแบบจำลอง

1. แบบจำลองจะมีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นตามขนาดของพื้นที่ศึกษาที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่และมีผลของตำแหน่งของข้อมูลที่ไม่มีฝนทำให้มีความคลาดเคลื่อนสูงตามไปด้วย
2. สมมติฐานฝนที่ใช้เป็นแบบลอจปกติ (lognormal) เท่านั้น
3. แบบจำลองจะสามารถใช้รวมข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกันเท่านั้นเนื่องจากแบบจำลองดังกล่าวเป็นแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่เท่านั้น ไม่มีการสร้างความสัมพันธ์เชิงเวลา ทำให้ไม่สามารถหาการเคลื่อนตัวกลุ่มฝนจากเวลาหนึ่งไปสู่อีกเวลาหนึ่งได้
4. การตรวจสอบความต้องในเชิงพื้นที่ทำได้เพียงข้อมูลสังเคราะห์เท่านั้น (Synthetic Data) เนื่องจากไม่สามารถที่จะทราบข้อมูลฝนจริงเชิงพื้นที่ได้

### 8.4 แนวทางการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม

1. แนวทางการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเนื่องจากข้อจำกัดของมูลค่าของการตรวจวัด จึงควรมีการเพิ่มข้อมูลมูลค่าของการตรวจให้มากยิ่งขึ้นเพื่อให้เพิ่มข้อมูลที่ละเอียดของการตรวจวัดให้ดียิ่งขึ้นโดยใช้วิธี Multi-Resolution Viscous Alignment (MVA) เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ โดยใช้หลักการของ Bayesian เพื่อหาสนามความเร็วที่มีความสัมพันธ์และสอดคล้องกันในพื้นที่ Chatdarong (2006)
2. นำข้อมูลฝนจากแบบจำลองและนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง อุทกวิทยา (Hydrological Model) เข้ามาใช้ในการศึกษาประเมินปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ตรวจอากาศและใช้ในการประเมินปริมาณน้ำ
3. เพิ่มเติมข้อมูลเรดาร์จากหลายๆแหล่ง หรือข้อมูลดาวเทียมตรวจอากาศโดยเพิ่มที่ระดับของสเกลต่างๆของแบบจำลองลำดับขั้น

## รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรุงเทพมหานคร. แผนปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2544. สำนักระบายน้ำกรุงเทพมหานคร, 2544.

กฤษฎา แสงเพชรส่อง. แนวคิดพื้นฐานและหลักการทำงานของ Kalman Filter Algorithm. วารสารโรงเรียนนายเรือ 4 (2547).

ณัฐวิวัฒน์ ดนัยดุขฎีกุล และ นพคุณ ชัยเจริญสุขเกษม. การปรับแก้ค่าคงที่ในสมการความสัมพันธ์ Z-R เพื่อประมาณปริมาณน้ำฝนจากสถานีเรดาร์. โครงการปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550

วิรัช ฉัตรตรงค์ และ บุญชนะ ทวีรัตน์. แนวทางการปรับปรุงข้อมูลน้ำฝนจากสถานีเรดาร์โดยแบบจำลองฝนเชิงพื้นที่แบบลำดับชั้น. การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13, จ.ชลบุรี. (2551): 107-112.

วิรัช ฉัตรตรงค์, บุญชนะ ทวีรัตน์ และ รศ.ดร.หรรษา วัฒนานุกิจ . โครงการพัฒนาระบบตรวจวัดน้ำฝนอัตโนมัติจากสถานีเรดาร์และสถานีตรวจวัดน้ำฝนด้วยแบบจำลองสถิติเชิงพื้นที่ในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนบน. รายงานฉบับสมบูรณ์ เมษายน 2551.

วรารุช ชันดียานันท์. โครงการนำร่องการพัฒนาวิธีการตรวจวัดน้ำฝนด้วยระบบเรดาร์อัตโนมัติ. รายงานการวิจัยสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพมหานคร: 2543.

ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น. ผลกระทบของการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนต่อปริมาณฝนจากเรดาร์. การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 11 จ.ภูเก็ต. (2549)

ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น. การหาความสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์กับความเข้มฝนของเรดาร์ภาคีเจริญ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติ ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร (2550).

สุจิต คุณธนกุลวงศ์, วิรัช ฉัตรตรงค์ และ อรอนงค์ วรรณราช. การประเมินและพยากรณ์น้ำฝนจากข้อมูลระยะไกล. ISBN: 978-974-9897-14-0, หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

สุดาใจ โฉ่ววินิชชัยม. การปรับปรุงการประเมินฝนจากเรดาร์. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 2552.



ภาษาอังกฤษ

Brian, D. Hahn., and Daniel, T. Valentine. Multi Sensor Rainfall Data Assimilation Using Ensemble Approaches. Third Edition. Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford, Burlington : Elsevier, (2007)

Bocchiola, D., . Use of Scale Recursive Estimation for Assimilation of Precipitation Data from TRMM (PR and TMI) and NEXRAD. Journal of Advances in Water Resources. 30. (2007). pp. 2354-2372.

Chatdarong, V., Multi Sensor Rainfall Data Assimilation Using Ensemble Approaches. PhD Thesis. Civil and Environmental Engineering Massachusetts Institute of Technology, 2006

Chatdarong, V., Parameter Estimation for Rainfall Events Bangkok Using EM – SRE Algorithm. J. the 4th Asian Oceania Geosciences Society (AOGS) Conference, Queen Sirikit National Convention Center Bangkok Thailand. (July 30th – August 2007)

Chou, K.C., A.S. Willsky., and A. Benveniste. Multiscale Recursive Estimation Data Fusion and Regularization. IEEE Trans. Automat. Contr., 37(3). (1994) : 464-478.

Dimitri P. Bertsekas and John N. Tsitsiklis. Introduction to Probability. America : Massachusetts Institute of Technology, (2000)

Douglas C. Montgomery and George C. Runger. Applied Statistics and Probability for Engineers. Third Edition. America : John Wiley and Sons, 2003

Doviak, R. J. and Znic', D. S. Doppler Radar and Weather Observations. J. Academic Press, Inc. (1984)

Gelb, A. Applied Optimal Estimation. Sixteenth Edition. Written by Technical Staff The Analytic Sciences. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology Press, 2001.

Gorenburg, I.P., . Scale-Recursive Estimation of Precipitation Using Remote Sensing Data. M.Eng. Thesis Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. 1996

Gorenburg, I.P.; D. Mclaughlin.; and D. Entekhabi. Scale-Recursive Assimilation of Precipitation Data. Journal of Advances in Water Resources 24.(2001) : 941-953

- Gupta, R.; V. Venugopal.; and E. Foufoula – Georgiou., . A Methodology for Merging Multisensor Precipitation Estimates Based on Expectation Maximization and Scale-Recursive Estimation. Journal of Geophys. Res 111(D02102) (2006) : 11-14
- Gupta, V.K., and E.C Waymire. A Statistical Analysis of Mesoscale Rainfall as a Random Cascade. Journal of Appl. Meteorol 32 (1993) : 251-267
- Ho, T.J., . Multiscale Modeling and Estimation of Large Scale Dynamic System. PhD Thesis. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, September. 1998
- J. Thielen a,b,\* , B. Boudevilain a,c , H. Andrieu c. A Radar data based Short-term Rainfall Prediction Model for Urban Areas – a Simulation using Meso- scale Meteorological Modeling, Journal of Hydrology 239 (2000) : 97-114
- Jaan Kiusalaas., . Numerical Methods in Engineering with Matlab. The Edinburgh Building New York Cambridge, UK, Published in the United States of America by Cambridge University Press , 2005
- Kannan, A., M. Ostendorf, W.C. Karl, D.A. Castanon, and R.K. Fish. ML Parameter Estimation of a Multi-Scale Stochastic Process using the EM Algorithm. Journal of IEEE Trans. Sig. Proc., 48(6). (2000) :1836-40.
- Kumar, P ., and Foufoula, Georgiou . A Multi-component Decomposition of Spatial Rainfall Fields: 1 Segregation of large and small scale features using wavelet transforms. Journal of Water Resources (1993)
- Marsan, D.; D Schertzer.; and S. Lovejoy. Casual space-time multifractal process: Predictability and forecasting of rainfall fields. Journal of Geophys. (1996): 333-46.
- Marshall, J. S., W. Hirschfeld, and K. L. S. Gunn. Advances in Radar Weather. Journal of Advances Geophys 2 (1955): 1-56.
- M. Grecu., and W.F. Krajewski. Simulation study of the effects of model Uncertainty in Variational Assimilation of Radar on rainfall Forecasting. Journal of Hydrology (2000) : 85-96.
- Merrill I. Skolnik. Radar Handbook. Third Edition. America:The McGraw-Hill, 2008.

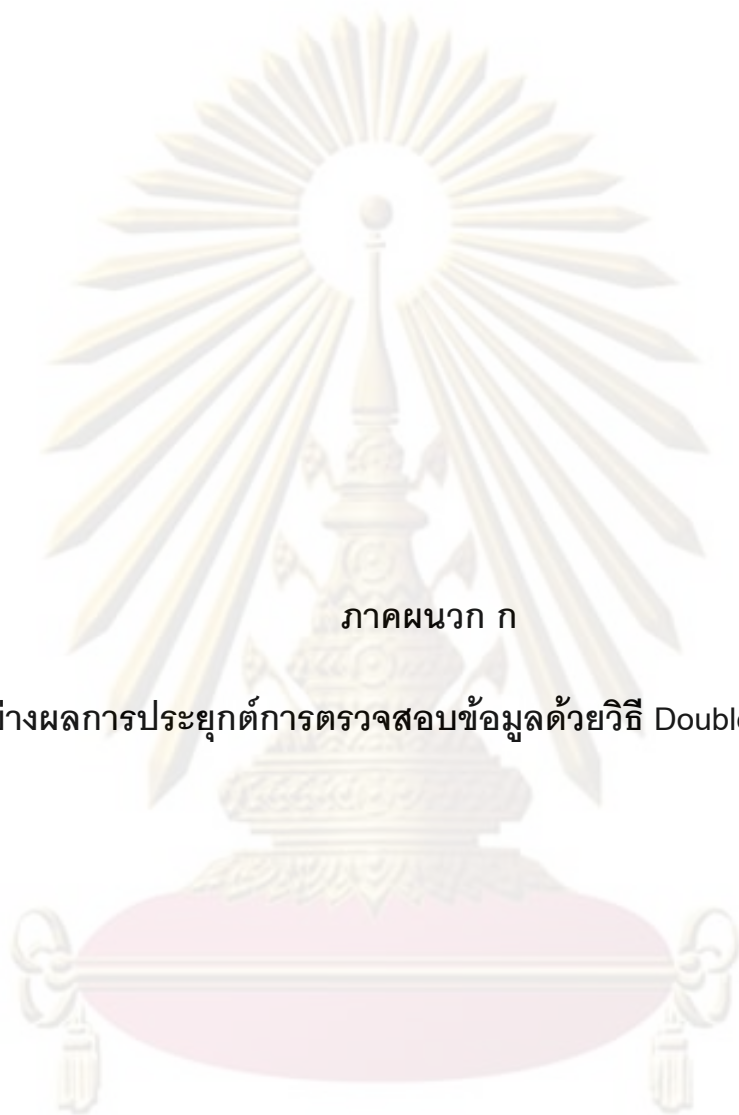
- Masashi, T., and et al. The Development of Short-term Rainfall Prediction System in Mountainous Region by the combination of Extrapolation Model and Meso-scale Atmospheric Model. Journal of proceedings in Sixth international Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar Conference, Melbourne Australia. (2-4 February 2004)
- Monhider, S. G., and Angus, P.A.. Kalman Filtering Theory and Practice Using Matlab. Second Edition. America: John Wiley and Sons, (2001)
- Naoya Maeda, Shunichi Kobayashi, Kaoru Izumi. Shigekazu Kouno, Prediction . Journal of Natural Disaster Science (Number1 2001): 23-33
- Piman, T. Applications of Weather Radar in Hydrology With Case Study. PhD Thesis Water Engineering and Management. Asian Institute of Technology Bangkok Thailand. 2004
- Piman, T. Improvements in Radar-Measured Rainfall for Hydrological Modeling. A Case Study in Mae Chaem Watershed A Special Study Report. Water Engineering and Management. Asian Institute of Technology. Bangkok. Thailand. 2005.
- Rolf H. Reichle. Data Assimilation Methods in Earth Sciences. Journal of Advances in Water Resources 31.(2008) : 1411-1418
- Welch G. and Bishop G.. An Introduction to kalman Fiter. Los Angeles AMC. 2001.
- Peter S. Maybeck . Stochastic Model Estimation and Control. New York: Academic Press. 1979.
- Ray, K. L., JR Max, A., Kohler J. L., and Paulhus, H.. Hydrology for Engineers. SI Metric Edition. America: McGraw - Hill, 1998.
- Tustison, B., E. Foufoula-Georgiou, and D. Harris. Scale-Recursive Estimation for MultiSensor Quantitative Precipitation Forecast. Journal of Geophy. (2003) : 8377-8390.





ภาคผนวก

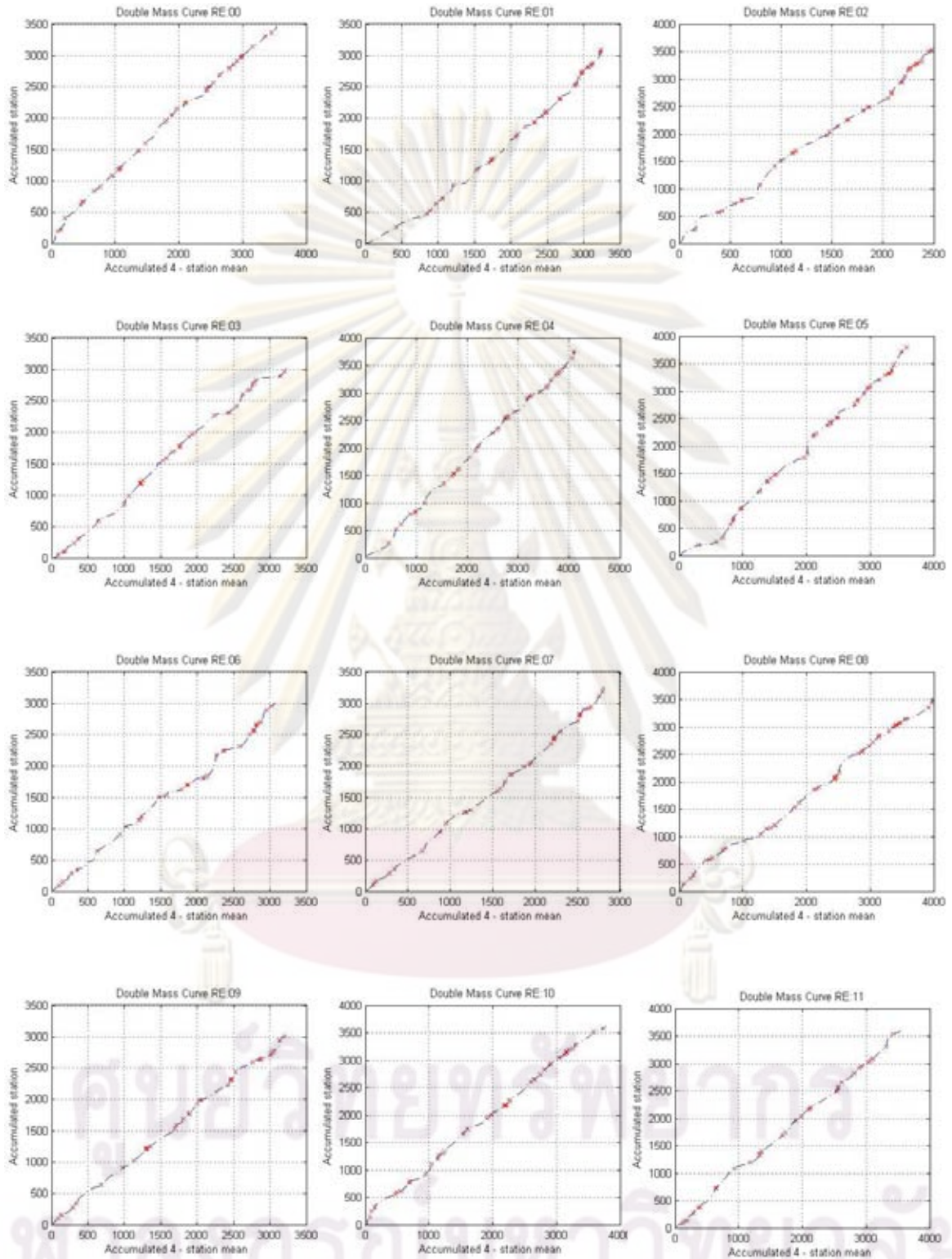
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

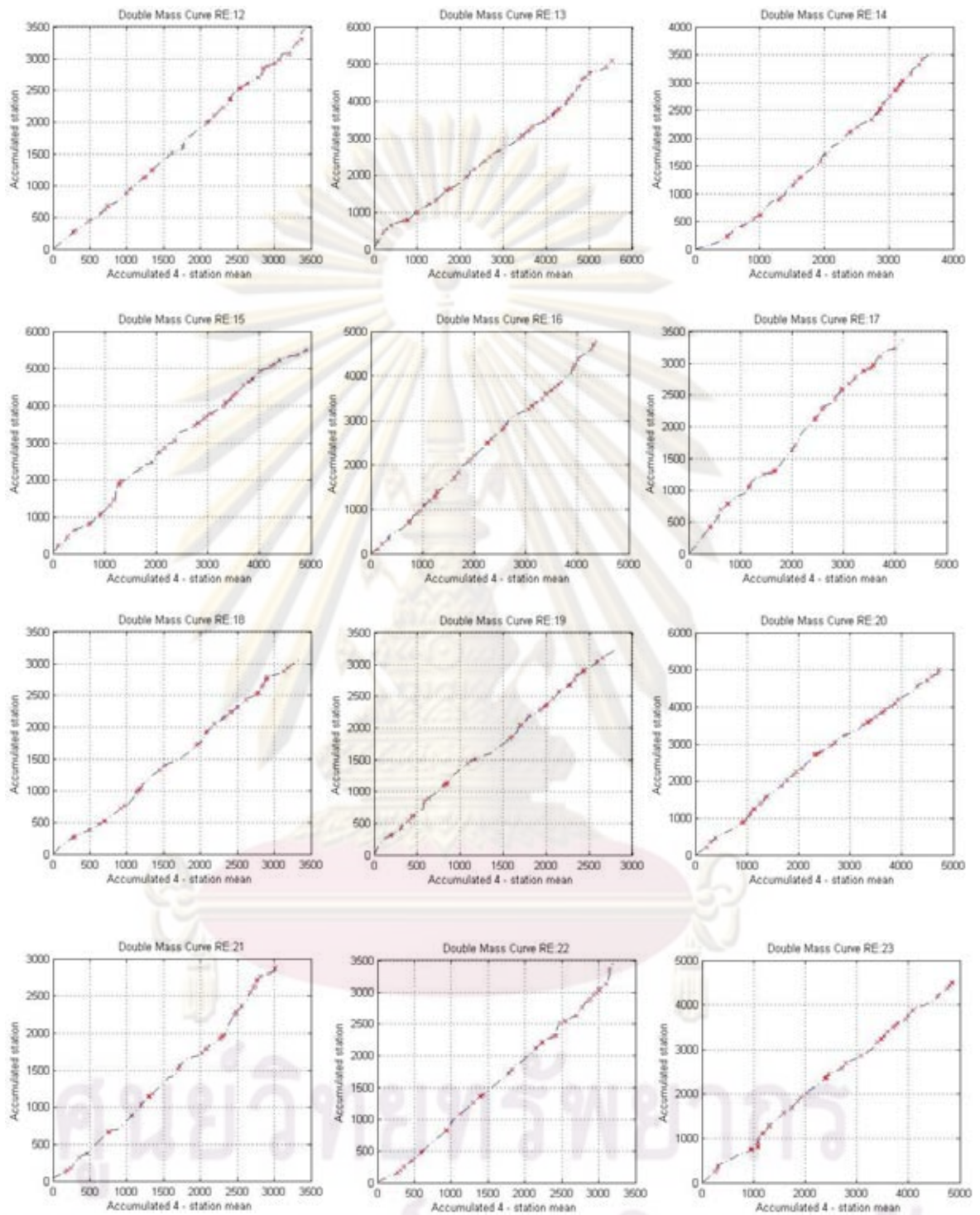
ตัวอย่างผลการประยุกต์การตรวจสอบข้อมูลด้วยวิธี Double Mass Curve

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



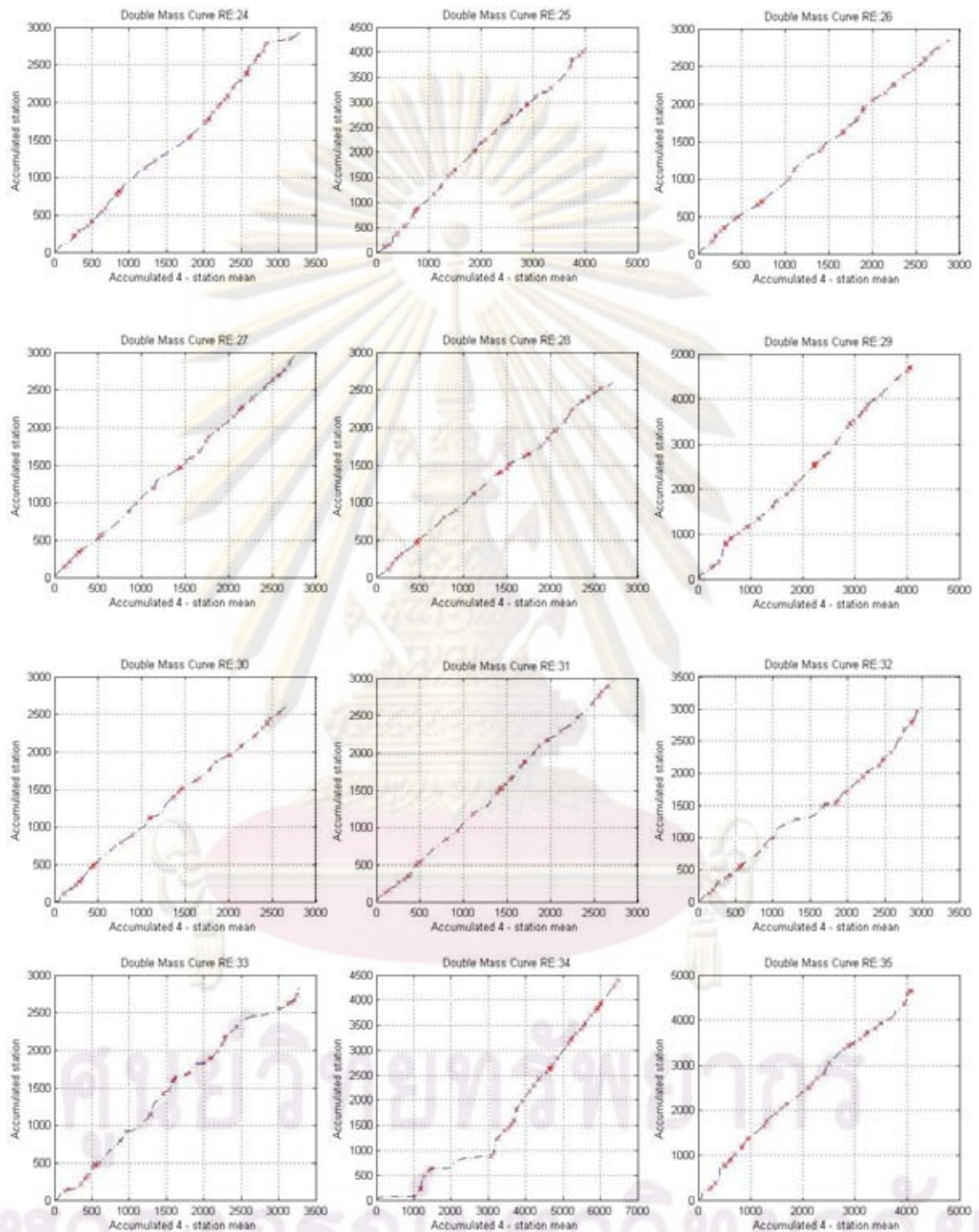
รูป ก - 1 ตัวอย่างการประยุกต์วิธี Double Mass Curve เพื่อตรวจสอบความคงตัวของข้อมูล





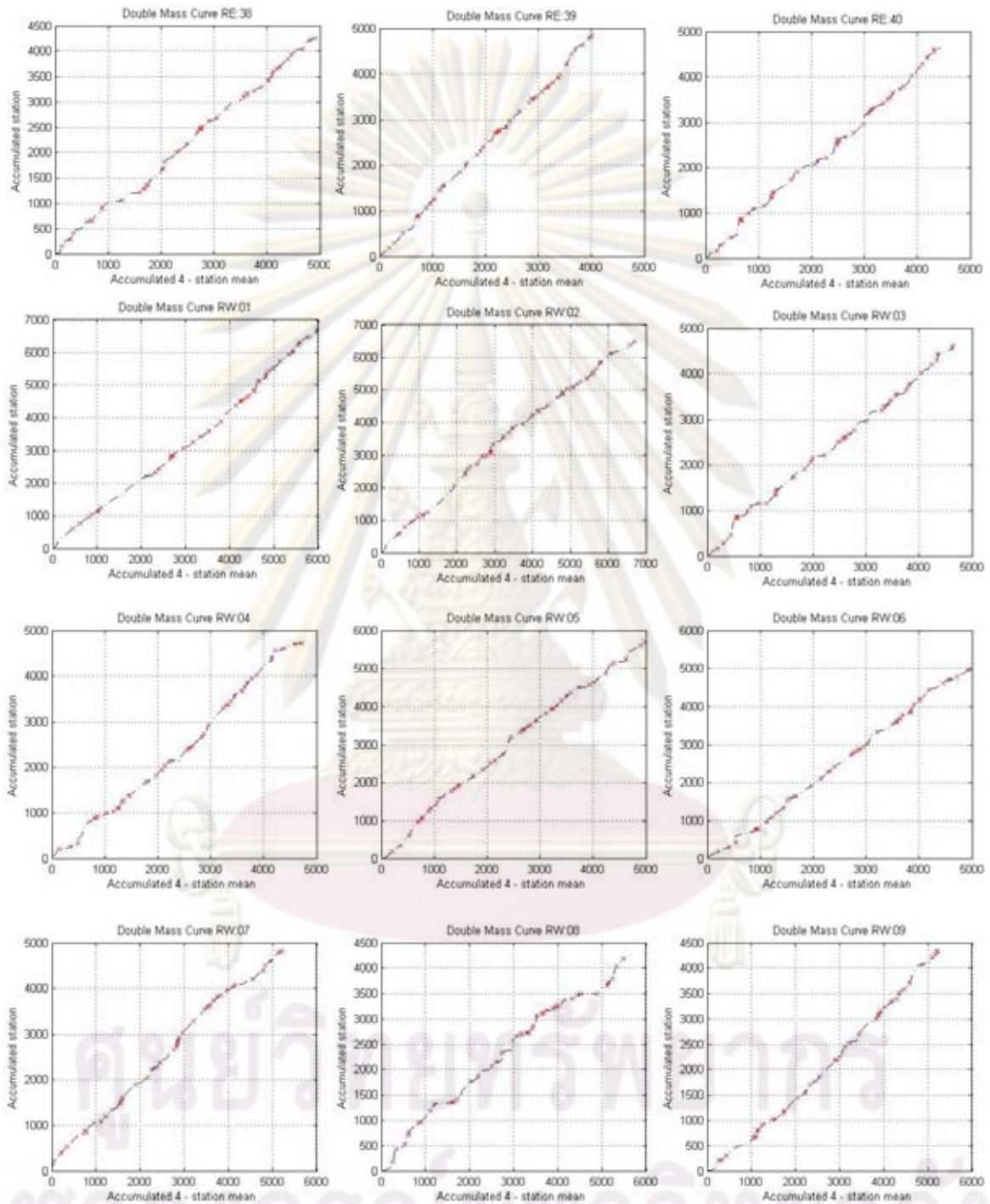
รูป ก - 2 ตัวอย่างการประยุกต์วิธี Double Mass Curve เพื่อตรวจสอบความคงตัวของข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



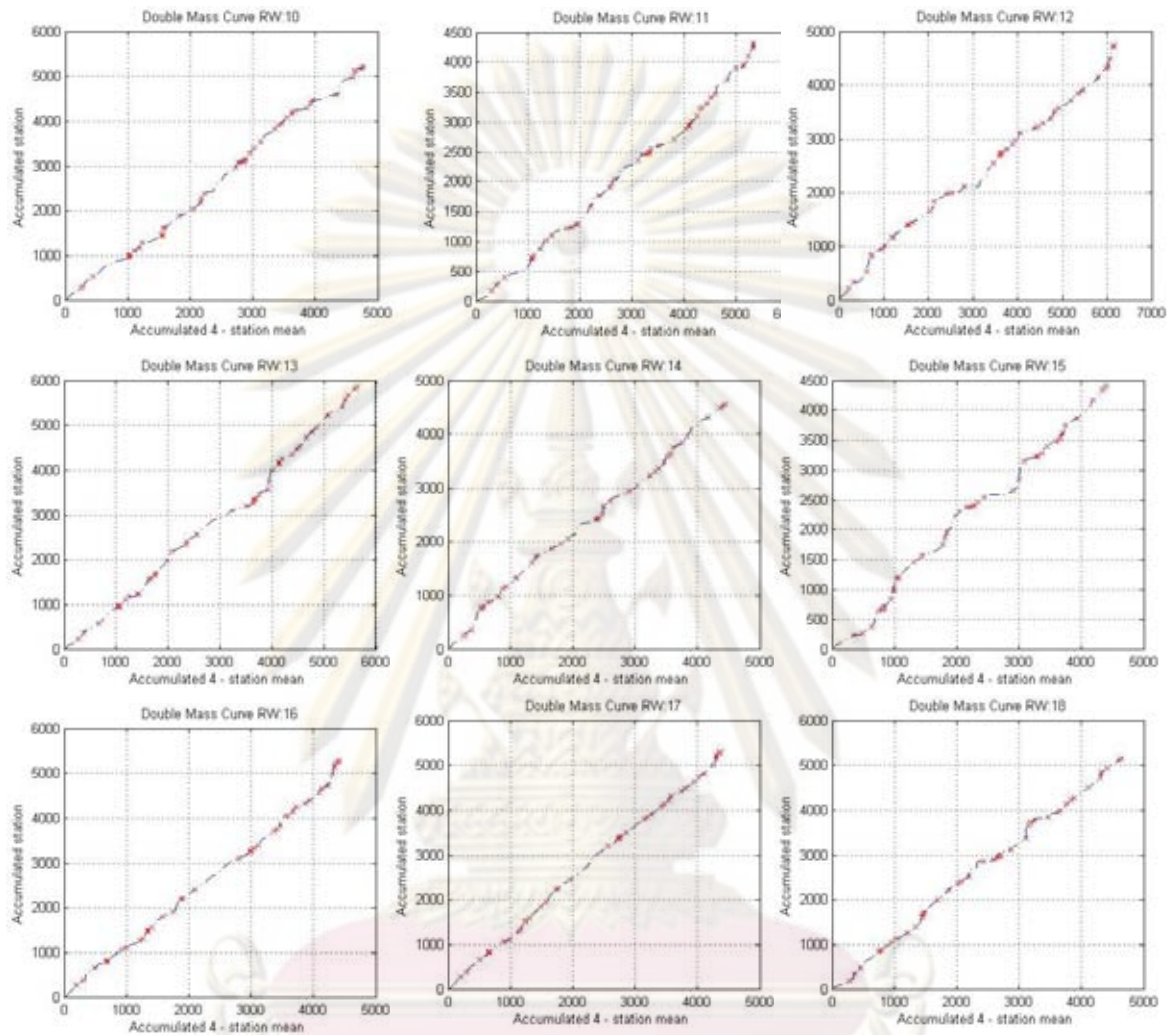
รูป ก - 3 ตัวอย่างการประยุกต์วิธี Double mass curve เพื่อตรวจสอบความคงตัวของข้อมูล





รูป ก - 4 ตัวอย่างการประยุกต์วิธี Double mass curve เพื่อตรวจสอบความคงตัวของข้อมูล





รูป ก - 5 ตัวอย่างการประยุกต์วิธี Double mass curve เพื่อตรวจสอบความคงตัวของข้อมูล

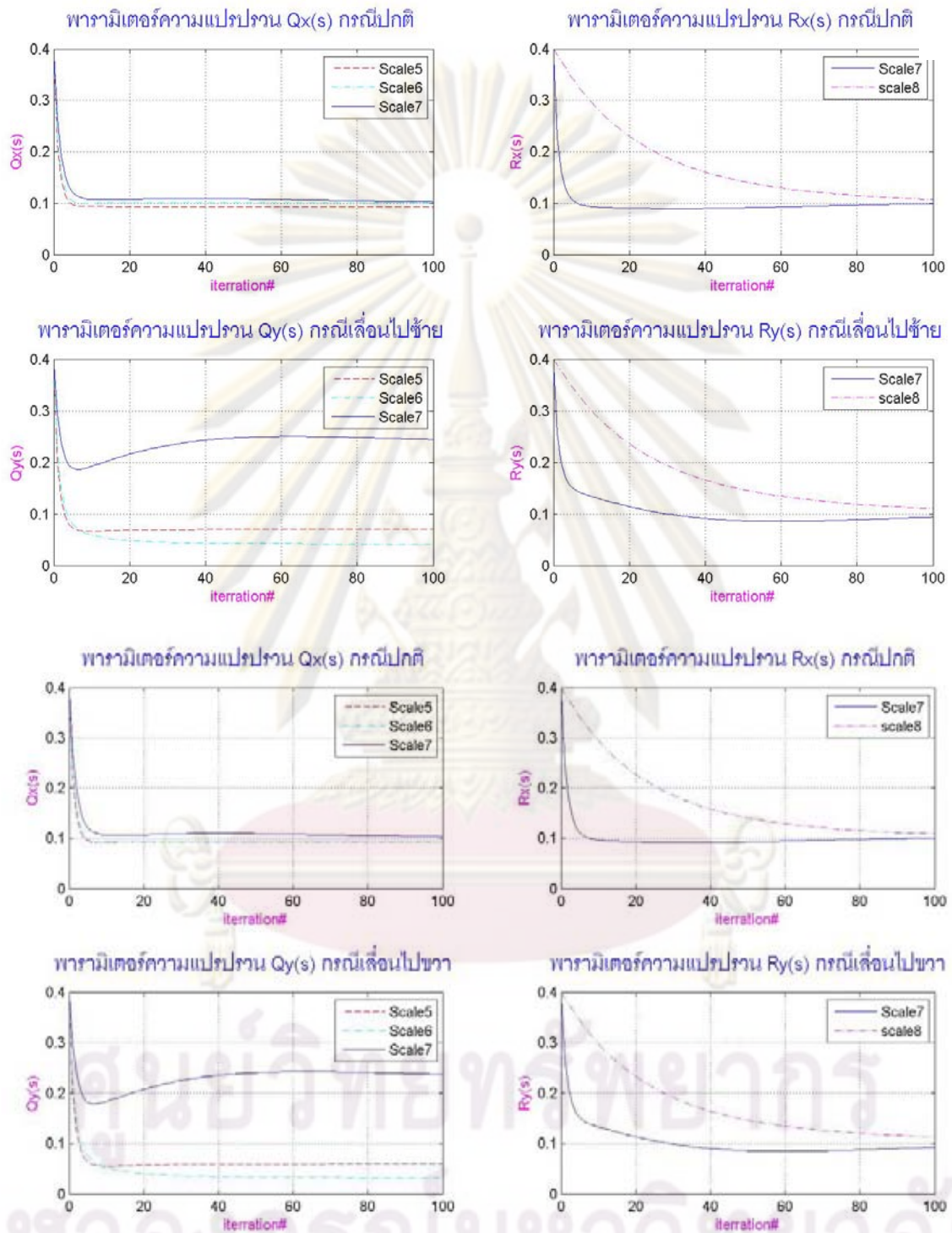
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

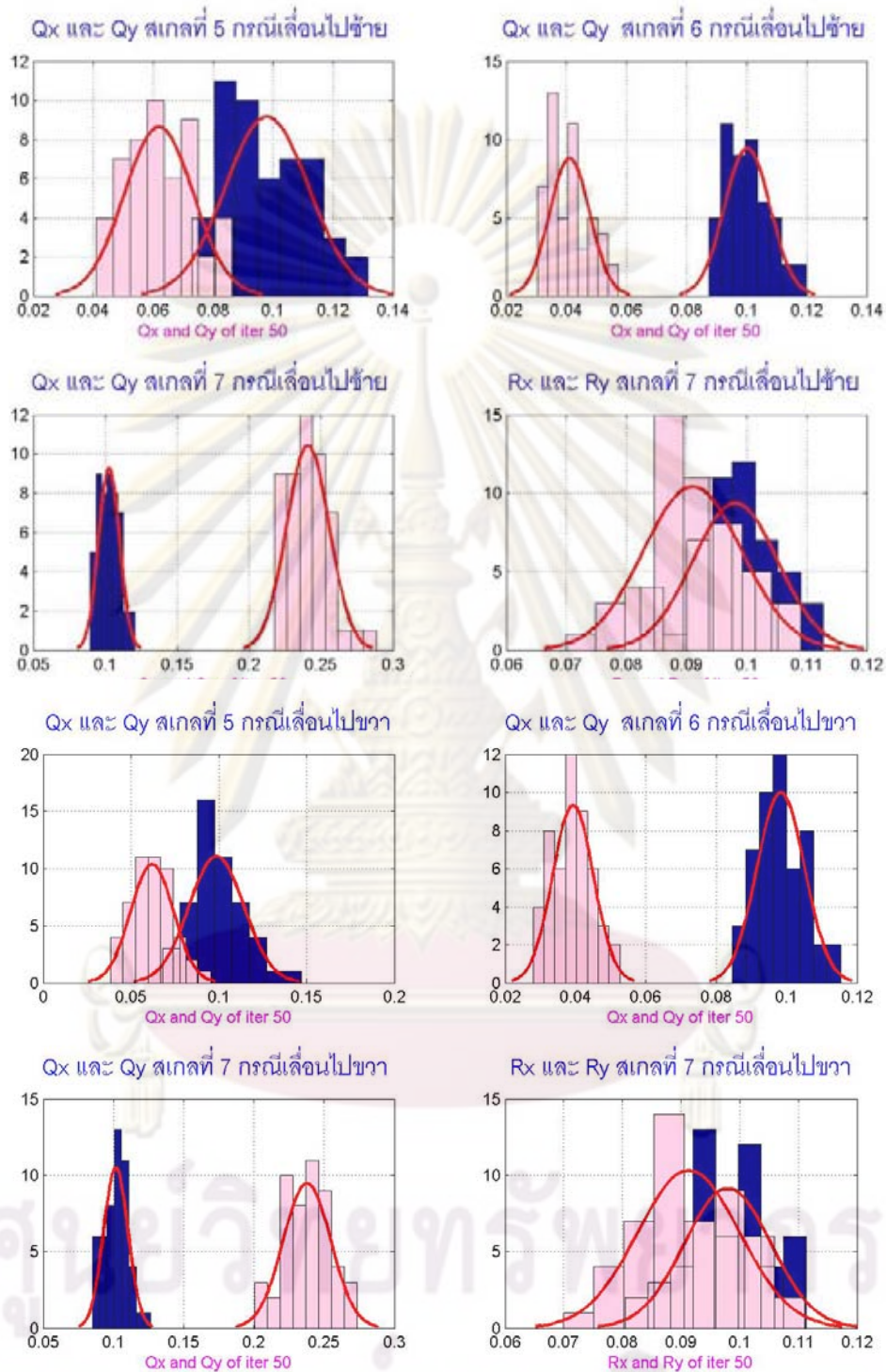
ตัวอย่างผลการจำลองการหาพารามิเตอร์ด้วยข้อมูลสังเคราะห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



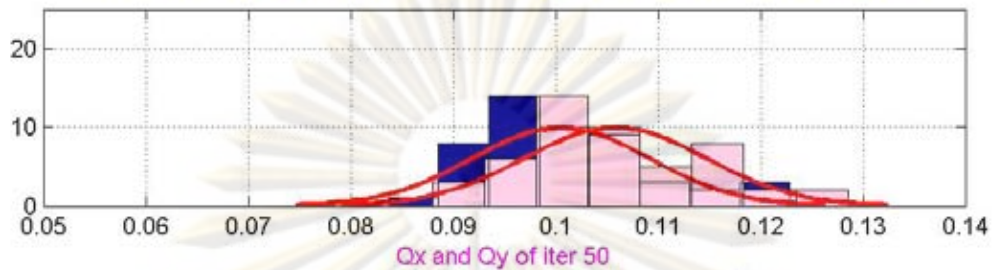
รูป ข - 1 ตัวอย่างการทดสอบการหาพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM กรณีสี่เหลี่ยมและกรณีผลกระทบ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง SRE กรณีเส้นซ้ายและเส้นขวา



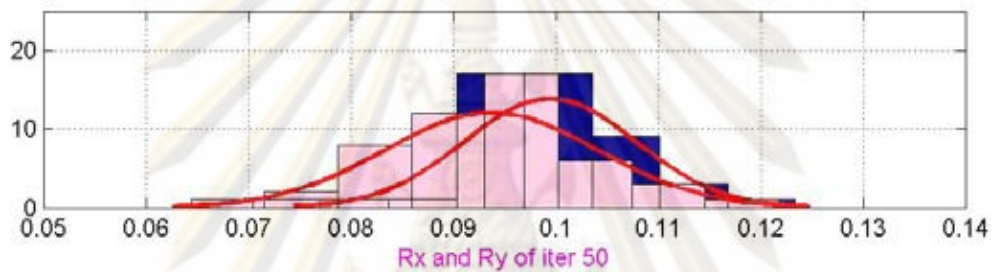


รูป ข - 2 ตัวอย่างการทดสอบการหาพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ข้อมูลสังเคราะห์การเปรียบเทียบแต่  
สเกลโดยวิธีการ Monte Carlo กรณีเลื่อนซ้ายและเลื่อนขวา

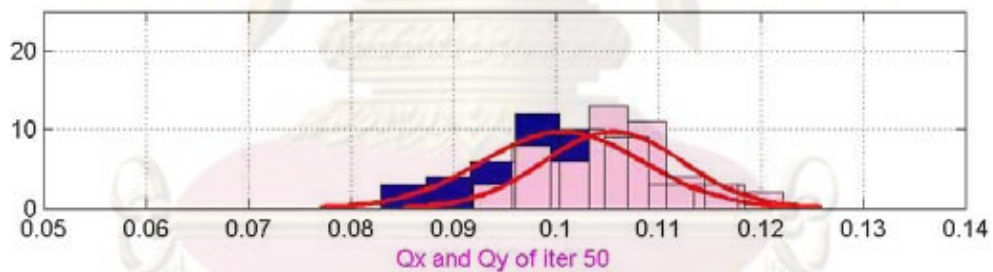
ค่าเฉลี่ยความแปรปรวน  $Q_x$  และ  $Q_y$  สเกลที่ 5-7 กรณีเลื่อนไปซ้าย



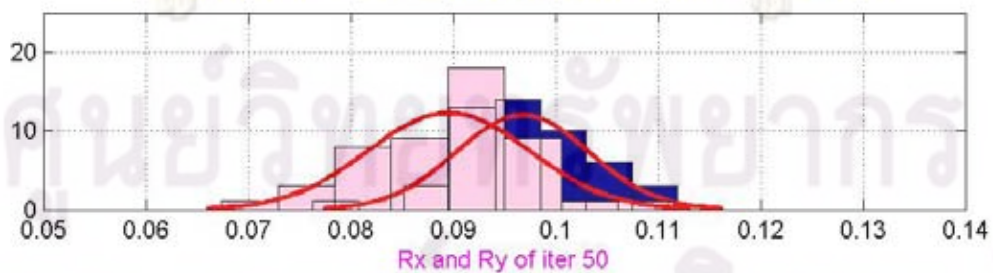
ค่าความแปรปรวน  $R_x$  และ  $R_y$  สเกลที่ 7 กรณีเลื่อนไปซ้าย



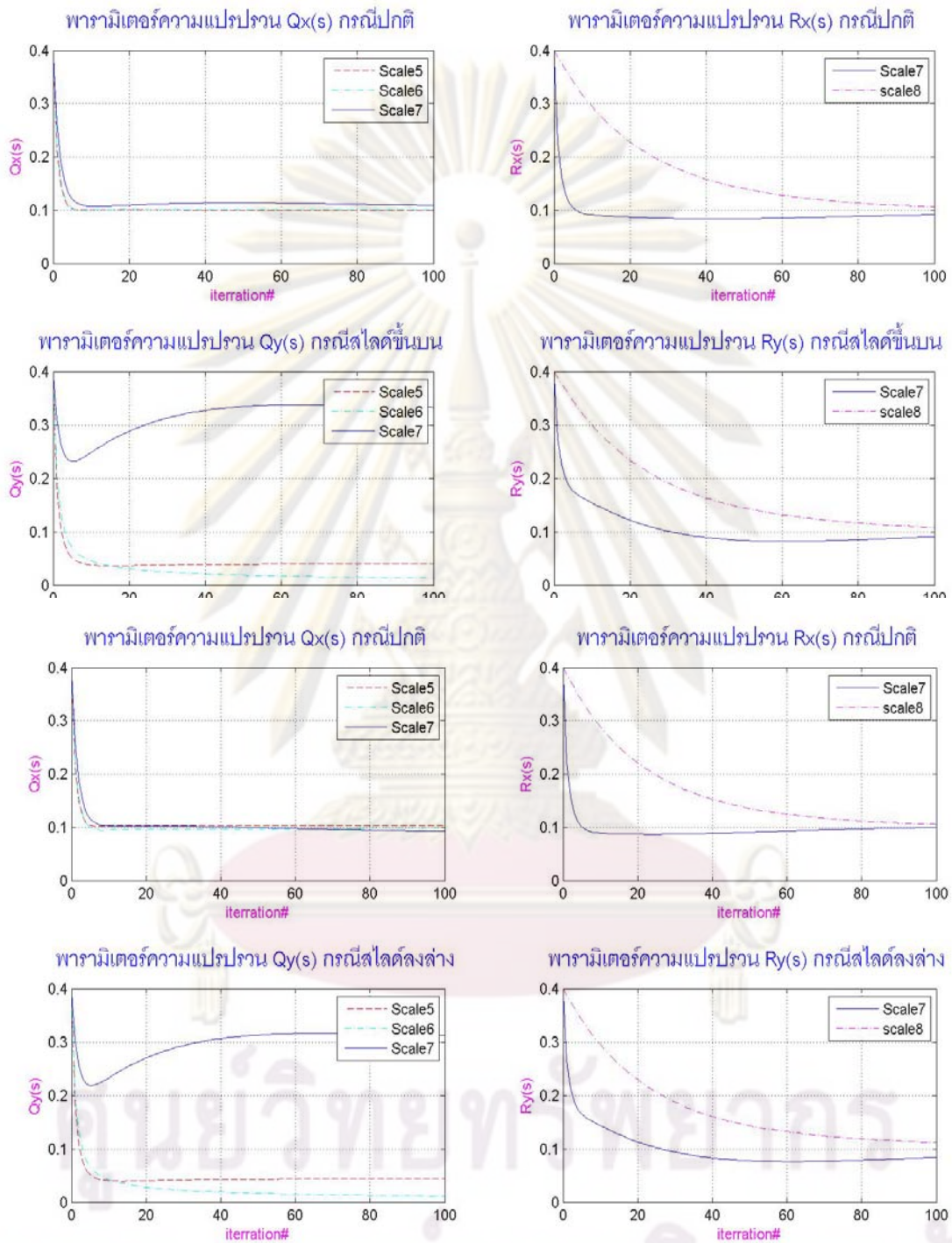
ค่าเฉลี่ยความแปรปรวน  $Q_x$  และ  $Q_y$  สเกลที่ 5-7 กรณีเลื่อนไปขวา



ค่าความแปรปรวน  $R_x$  และ  $R_y$  สเกลที่ 7 กรณีเลื่อนไปขวา

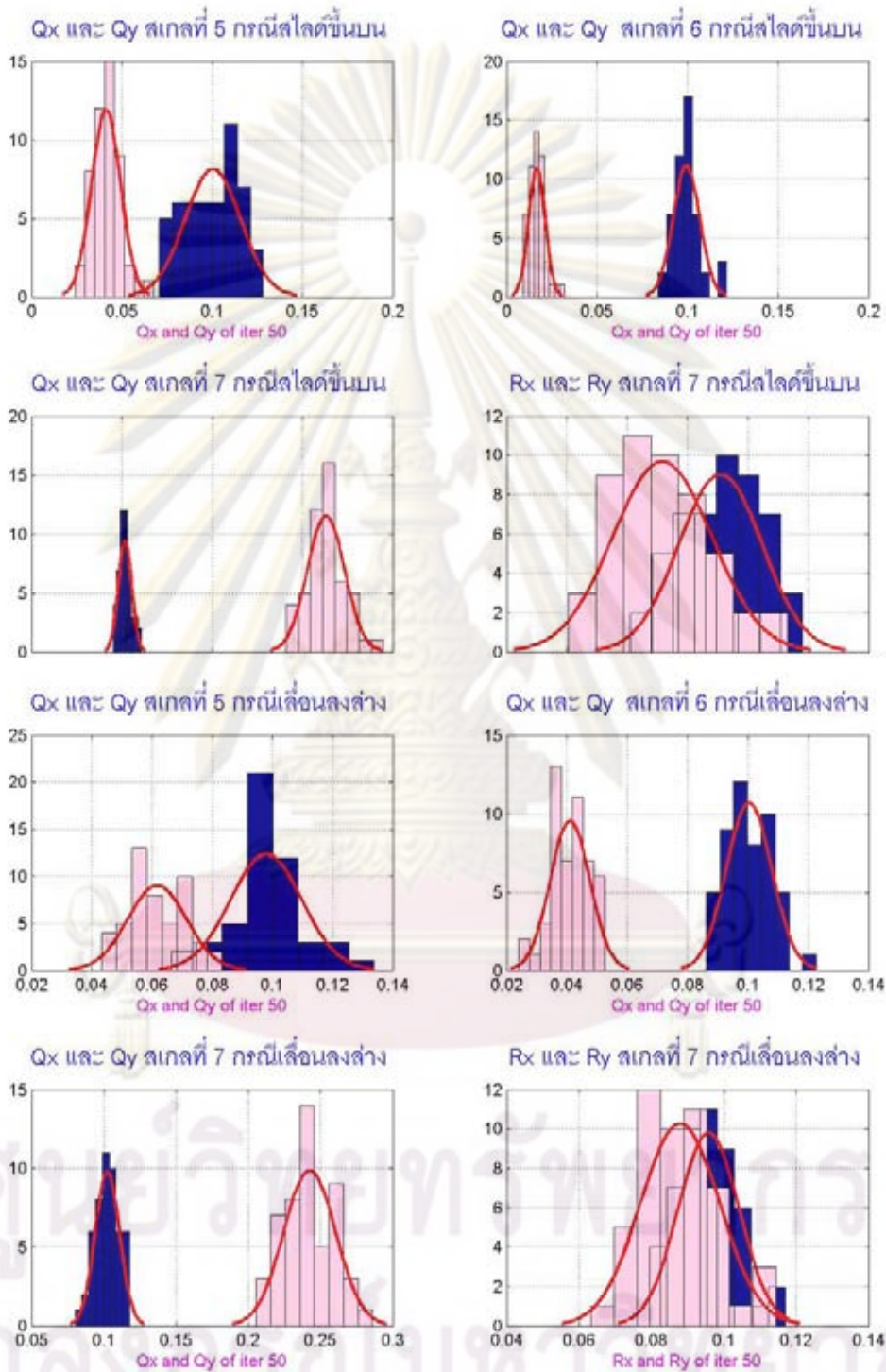


รูป ข - 3 ตัวอย่างการทดสอบการหาพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM โดยการเฉลี่ยค่าของ  $Q$  ที่สเกล 5 - 7 และค่า  $R$  สเกล 7 โดยวิธีการ Monte Carlo กรณีเลื่อนซ้ายและเลื่อนขวา



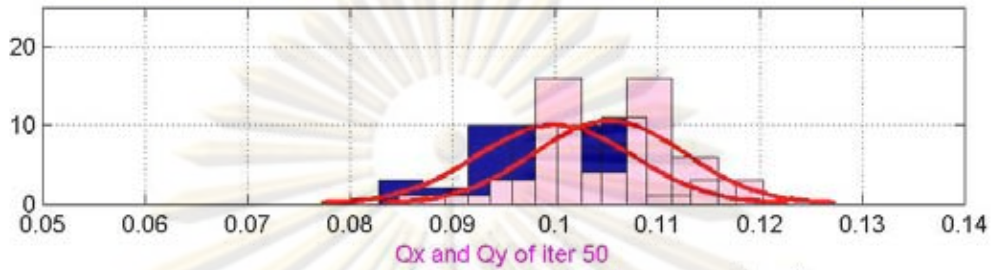
รูปที่ ๔ - 4 ตัวอย่างการทดสอบการหาพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM กรณีที่พิจารณาผลกระทบ  
การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง SRE กรณีเลื่อนสไลด์ขึ้นบนและสไลด์ลงล่าง



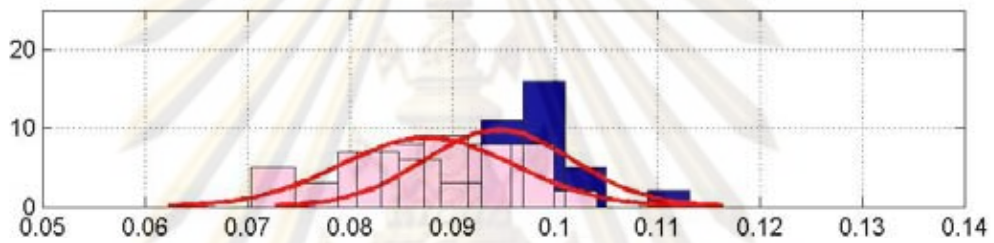


รูป ข – 5 ตัวอย่างการทดสอบการหาพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ข้อมูลสังเคราะห์การแปรปรวนแต่ละสเกลโดยวิธีการ Monte Carlo กรณีสไลด์ขึ้นบนและสไลด์ลงล่าง

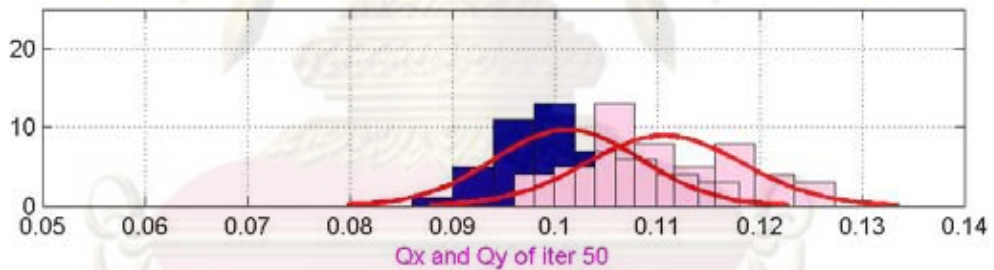
ค่าเฉลี่ยความแปรปรวน  $Q_x$  และ  $Q_y$  สเกลที่ 5-7 กรณีเลื่อนขึ้นบน



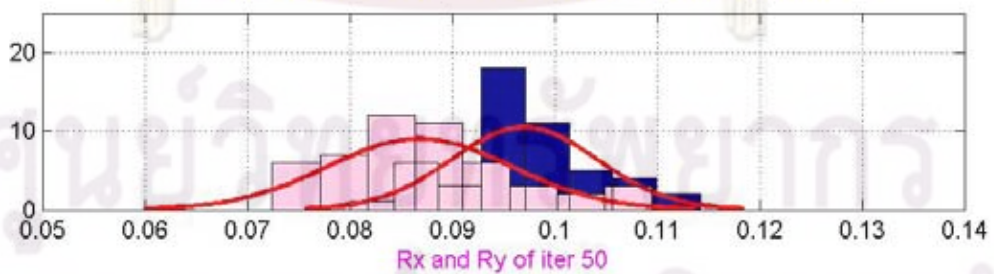
ค่าความแปรปรวน  $R_x$  และ  $R_y$  สเกลที่ 7 กรณีเลื่อนขึ้นบน



ค่าเฉลี่ยความแปรปรวน  $Q_x$  และ  $Q_y$  สเกลที่ 5-7 กรณีสไลด์ลงล่าง



ค่าความแปรปรวน  $R_x$  และ  $R_y$  สเกลที่ 7 กรณีสไลด์ลงล่าง



รูป ข - 6 ตัวอย่างการทดสอบการหาพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM โดยการเฉลี่ยค่าของ  $Q$  สเกล 5-7 และค่า  $R$  สเกล 7 โดยวิธีการ Monte Carlo กรณีสไลด์ขึ้นบนและสไลด์ลงล่าง

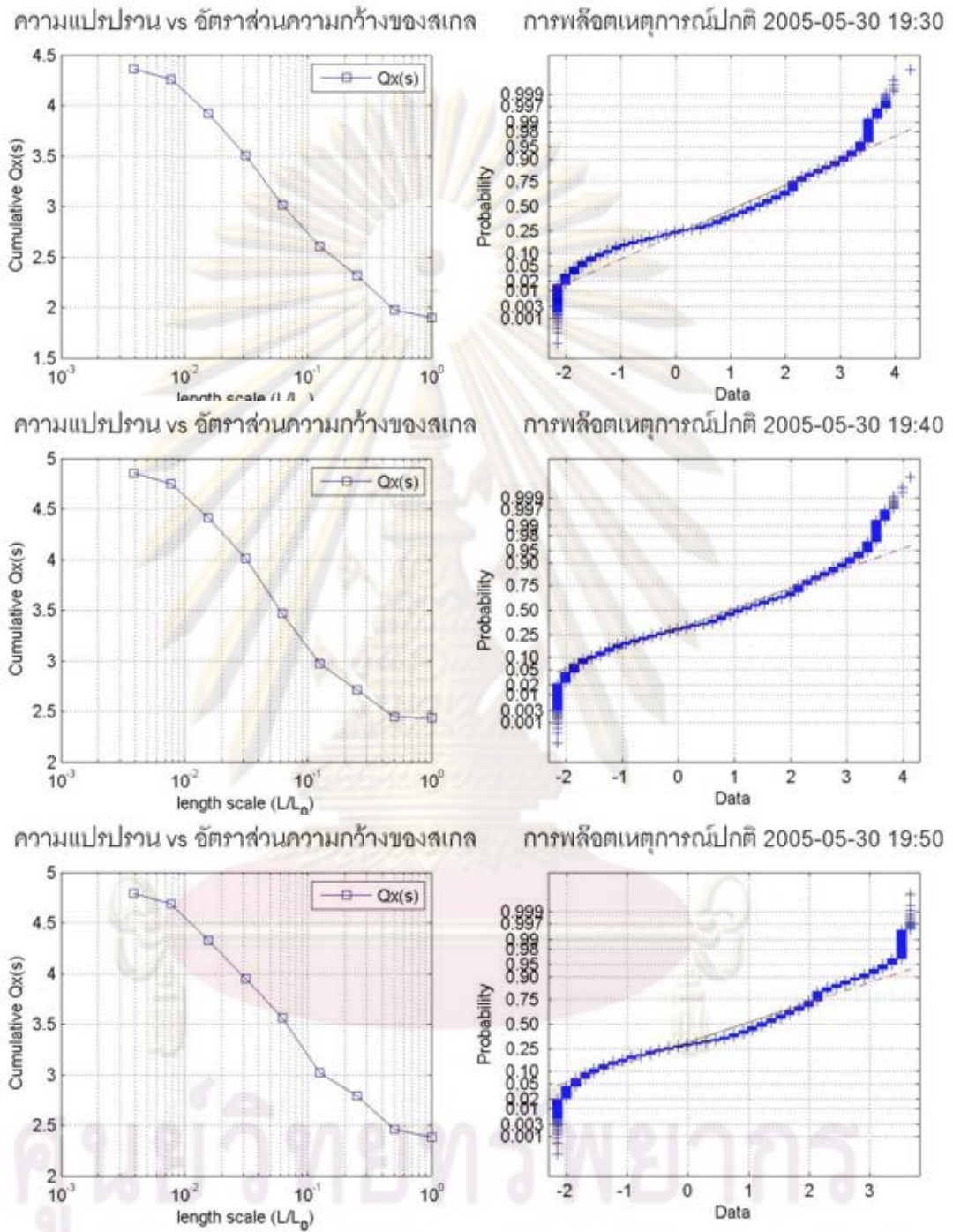


ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการทดสอบค่าความแปรปรวนสะสมและอัตราส่วนลอการิทึมและการ  
พล็อตเหตุการณ์ปกติ

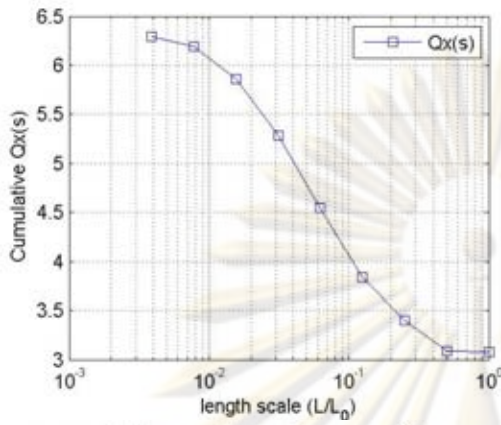
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



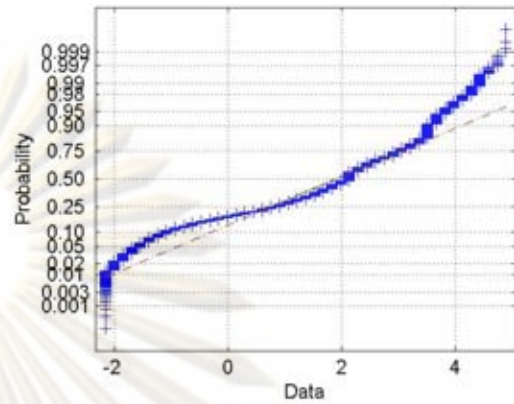


รูป ค - 1 ตัวอย่างการทดสอบค่าความแปรปรวนสะสมและอัตราส่วนลอการิทึมและการพล็อตเหตุการณ์ปกติ ณ เหตุการณ์วันที่ 30 - 06 - 2005

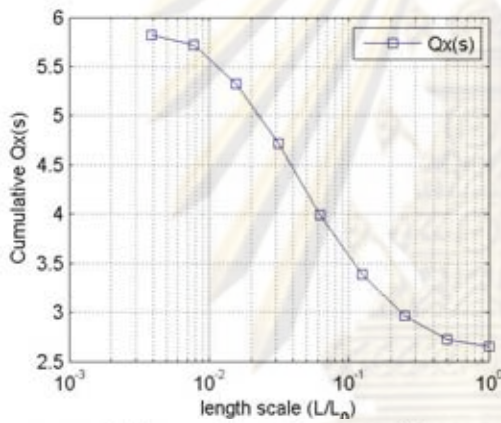
ความแปรปรวน vs อัตราส่วนความกว้างของสเกล



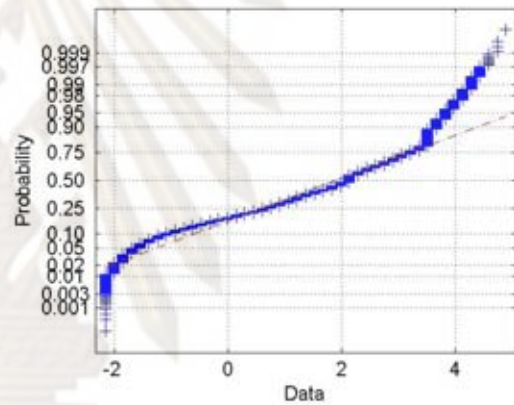
การพล็อตเหตุการณ์ปกติ 2005-06-23 18:10



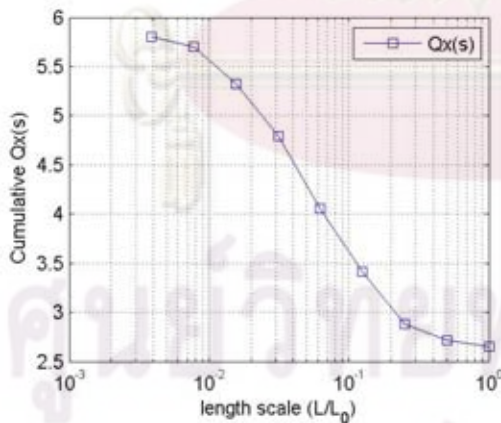
ความแปรปรวน vs อัตราส่วนความกว้างของสเกล



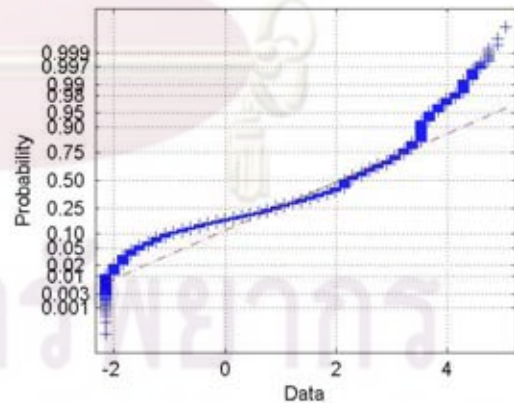
การพล็อตเหตุการณ์ปกติ 2005-06-23 18:20



ความแปรปรวน vs อัตราส่วนความกว้างของสเกล



การพล็อตเหตุการณ์ปกติ 2005-06-23 18:30

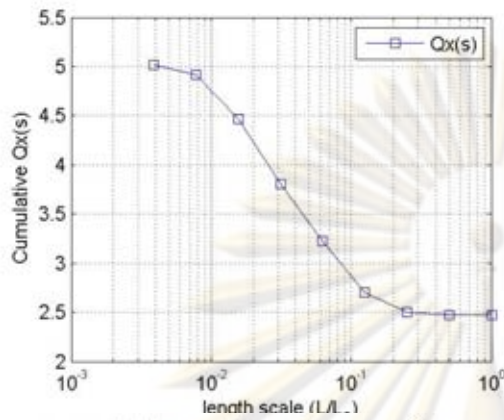


รูป ค - 2 ตัวอย่างการทดสอบค่าความแปรปรวนสะสมและอัตราส่วนลอการิทึมและ  
การพล็อตเหตุการณ์ปกติ ณ เหตุการณ์วันที่ 23 - 06 - 2005

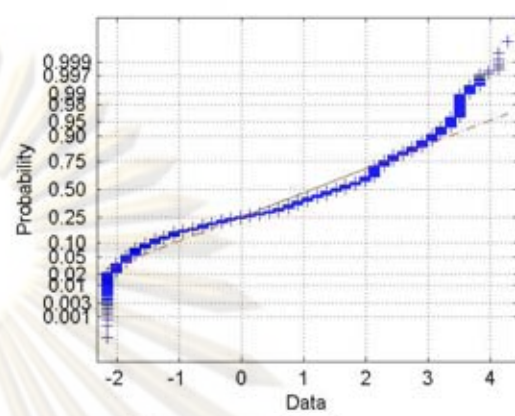
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



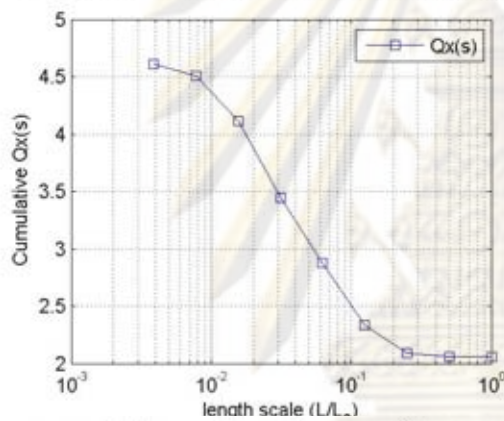
ความแปรปรวน vs อัตราส่วนความกว้างของสเกล



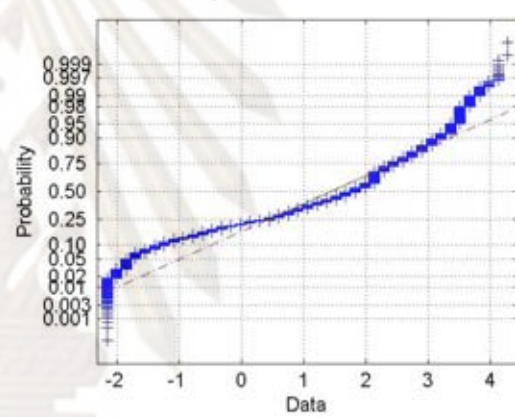
การพล็อตเหตุการณ์ปกติ 2005-08-29 02:31



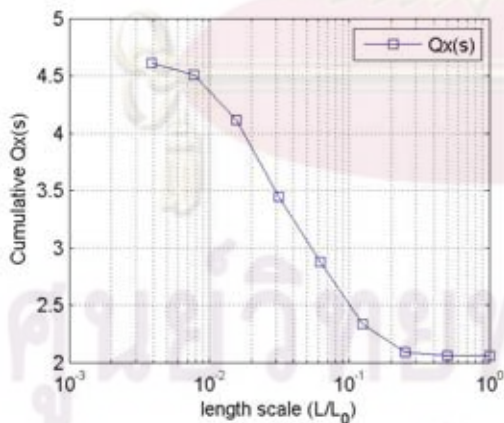
ความแปรปรวน vs อัตราส่วนความกว้างของสเกล



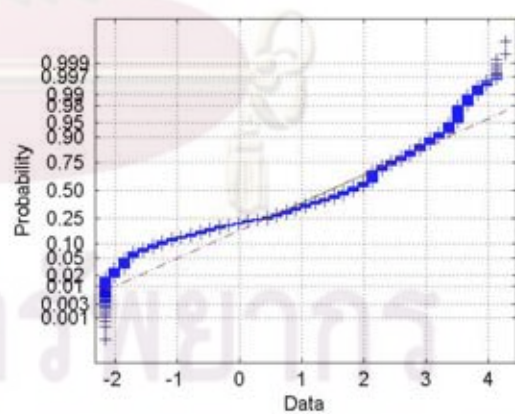
การพล็อตเหตุการณ์ปกติ 2005-08-29 02:41



ความแปรปรวน vs อัตราส่วนความกว้างของสเกล



การพล็อตเหตุการณ์ปกติ 2005-08-29 02:41

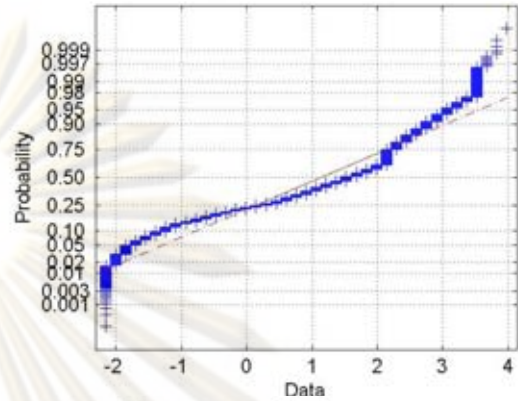
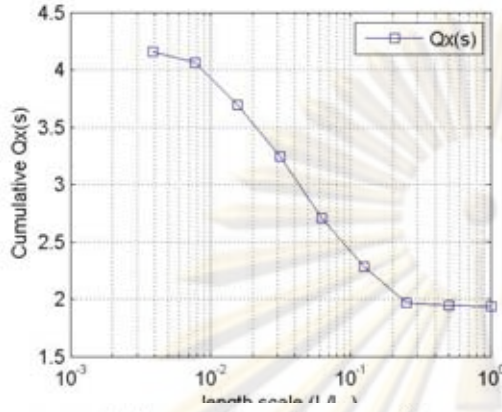


รูป ค - 3 ตัวอย่างการทดสอบค่าความแปรปรวนสะสมและอัตราส่วนลอการิทึมและการพล็อตเหตุการณ์ปกติ ณ เหตุการณ์วันที่ 29 - 08 - 2005



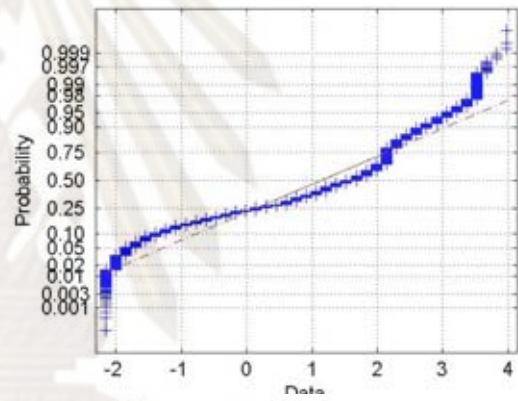
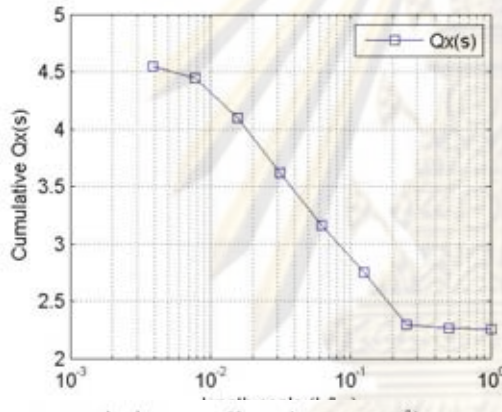
ความแปรปรวน vs อัตราส่วนความกว้างของสเกล

การพล็อตเหตุการณ์ปกติ 2005-09-03 19:11



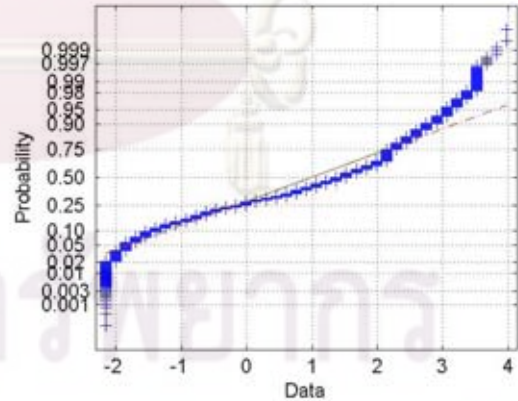
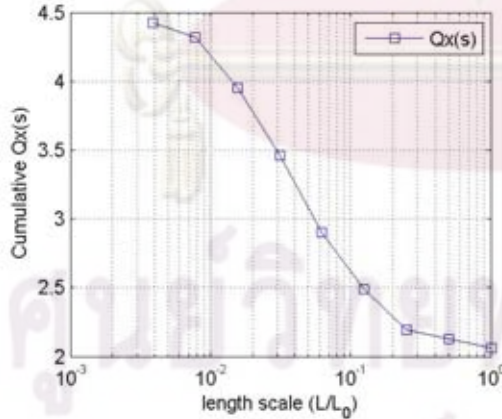
ความแปรปรวน vs อัตราส่วนความกว้างของสเกล

การพล็อตเหตุการณ์ปกติ 2005-09-03 19:21



ความแปรปรวน vs อัตราส่วนความกว้างของสเกล

การพล็อตเหตุการณ์ปกติ 2005-09-03 19:31



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

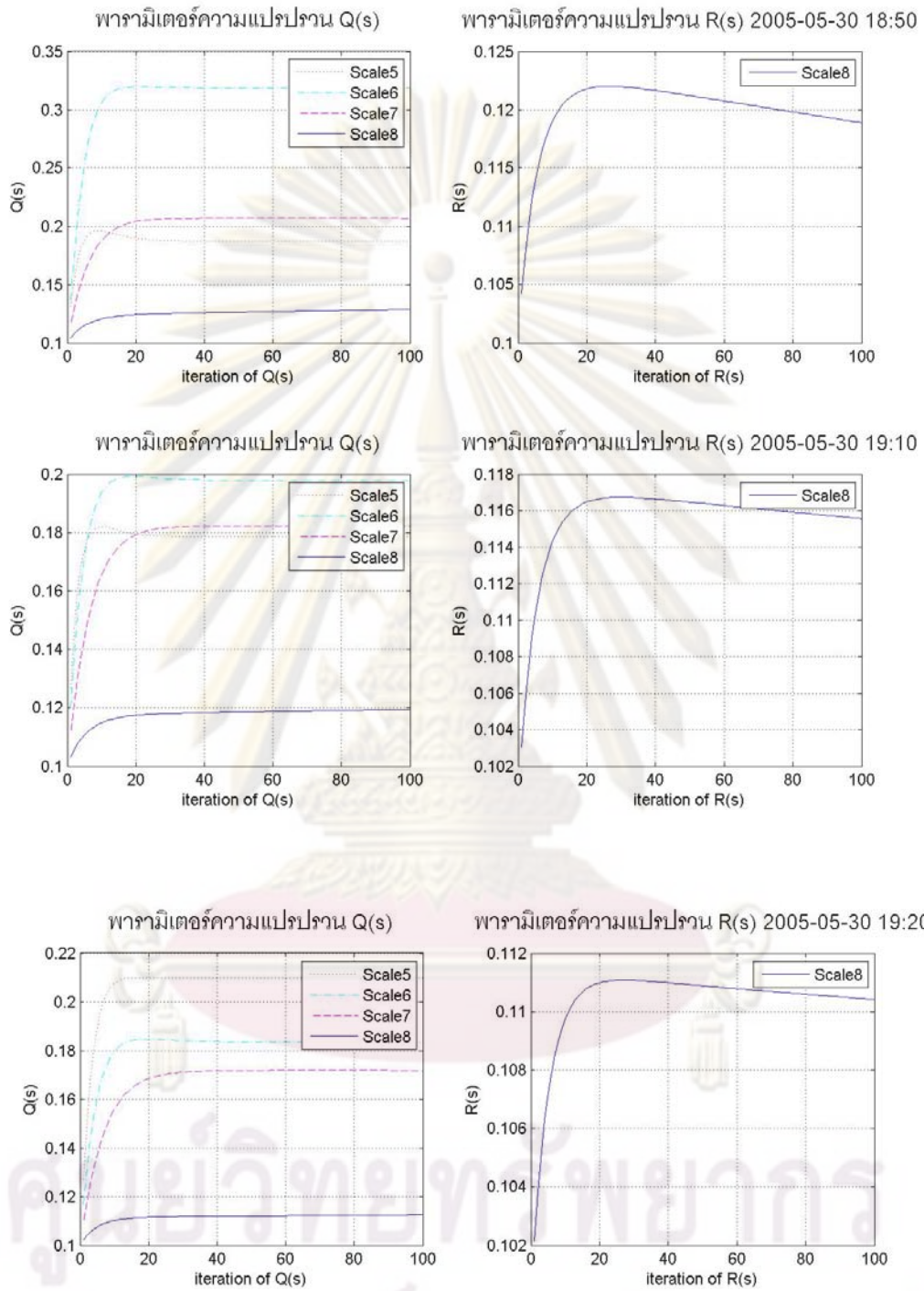
รูป ค - 4 ตัวอย่างการทดสอบค่าความแปรปรวนสะสมและอัตราส่วนลอการิทึมและการพล็อตเหตุการณ์ปกติ ณ เหตุการณ์วันที่ 3 - 09 - 2005



ภาคผนวก ง

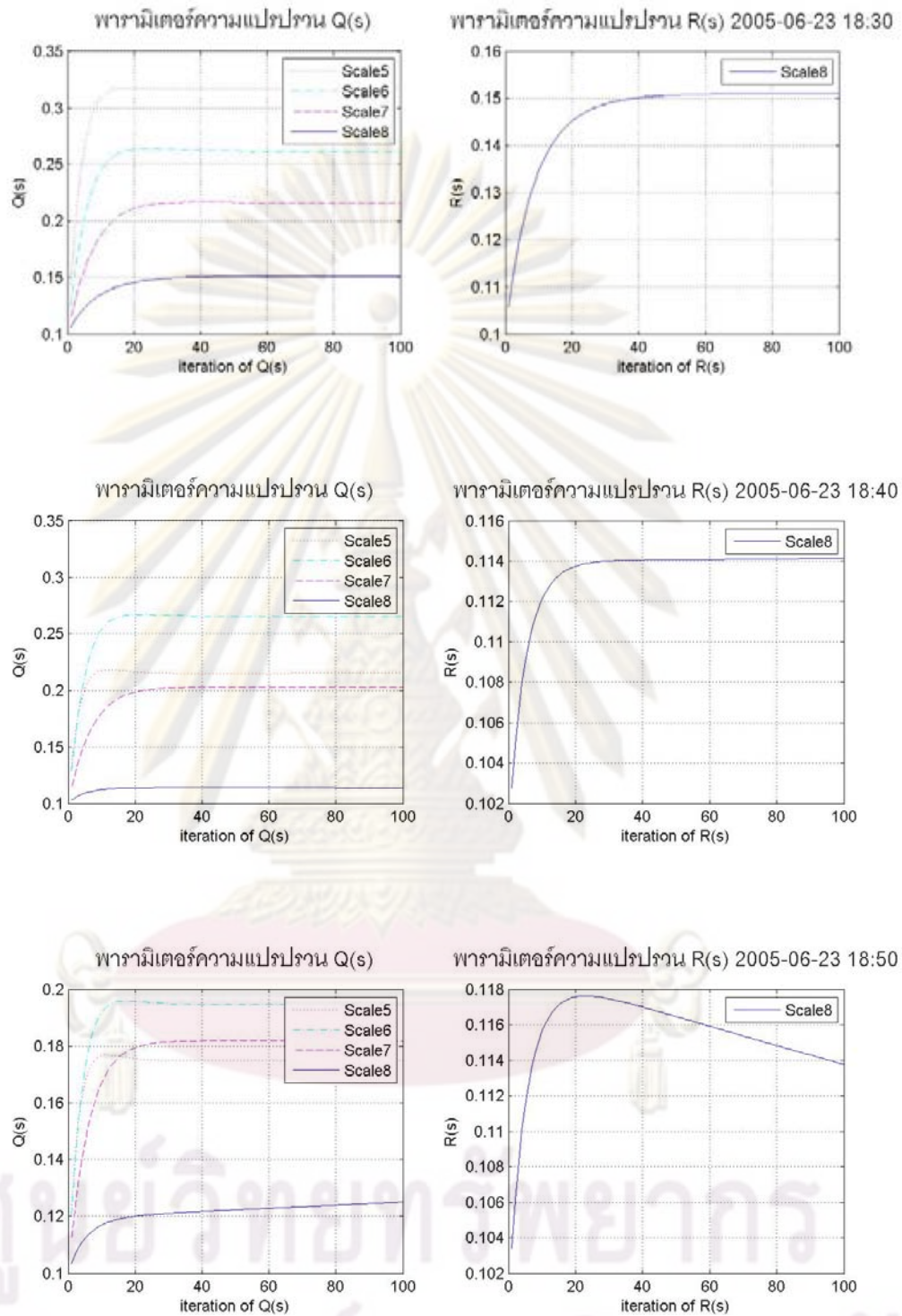
ตัวอย่างผลการจำลองหาพารามิเตอร์ด้วยข้อมูลฝนจริงและการพิจารณาความเข้ม  
การตรวจที่สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

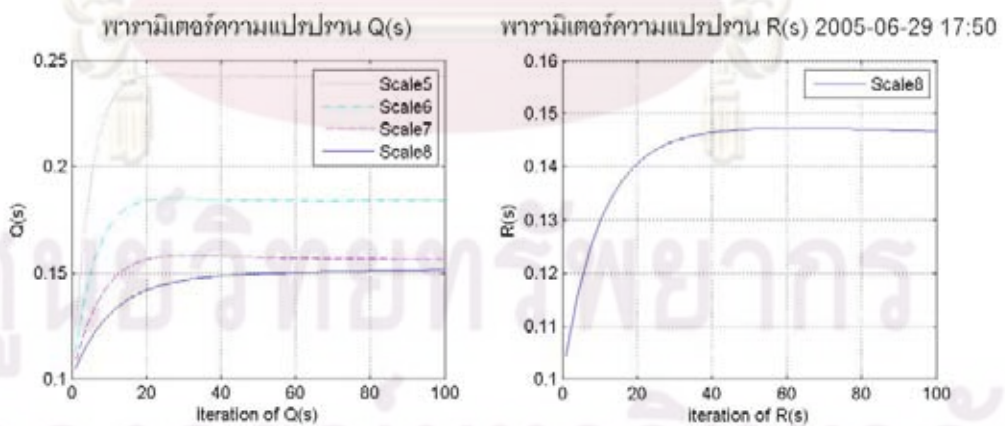
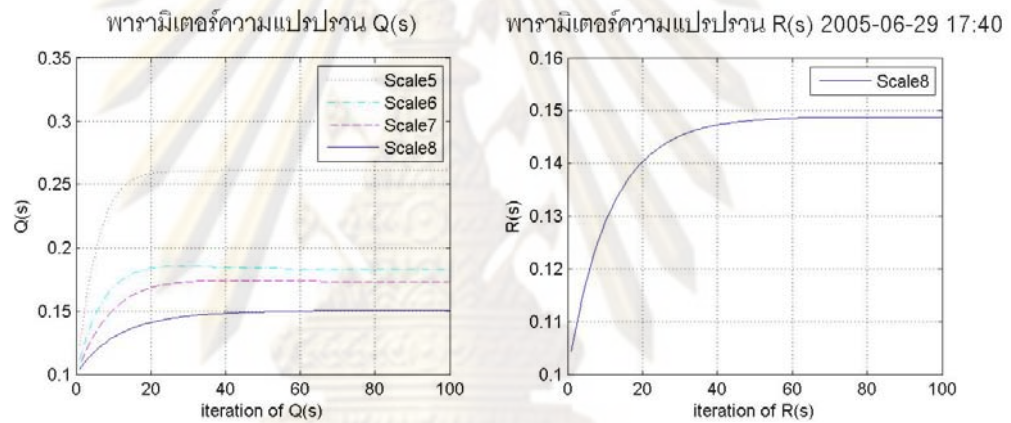
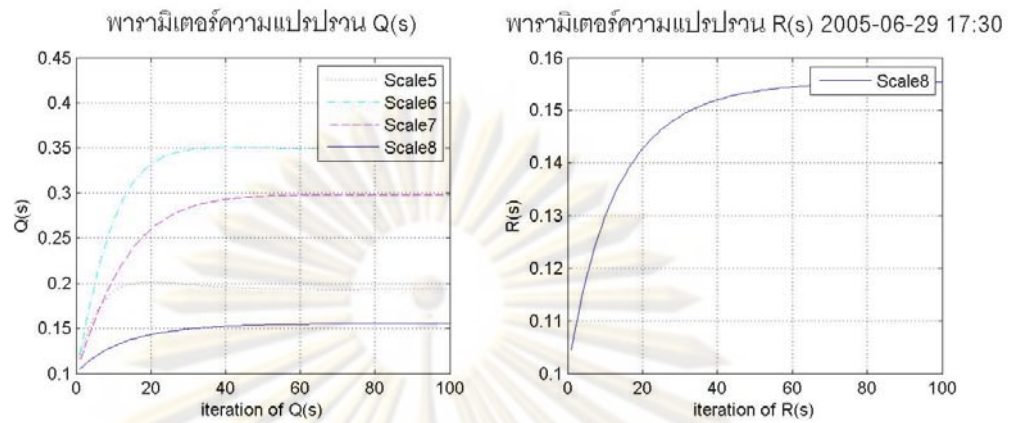


รูป ง - 1 ตัวอย่างการทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ด้วยข้อมูลฝนจริง  
ของเหตุการณ์ฝนข้อมูล ณ เหตุการณ์วันที่ 30-05-2005

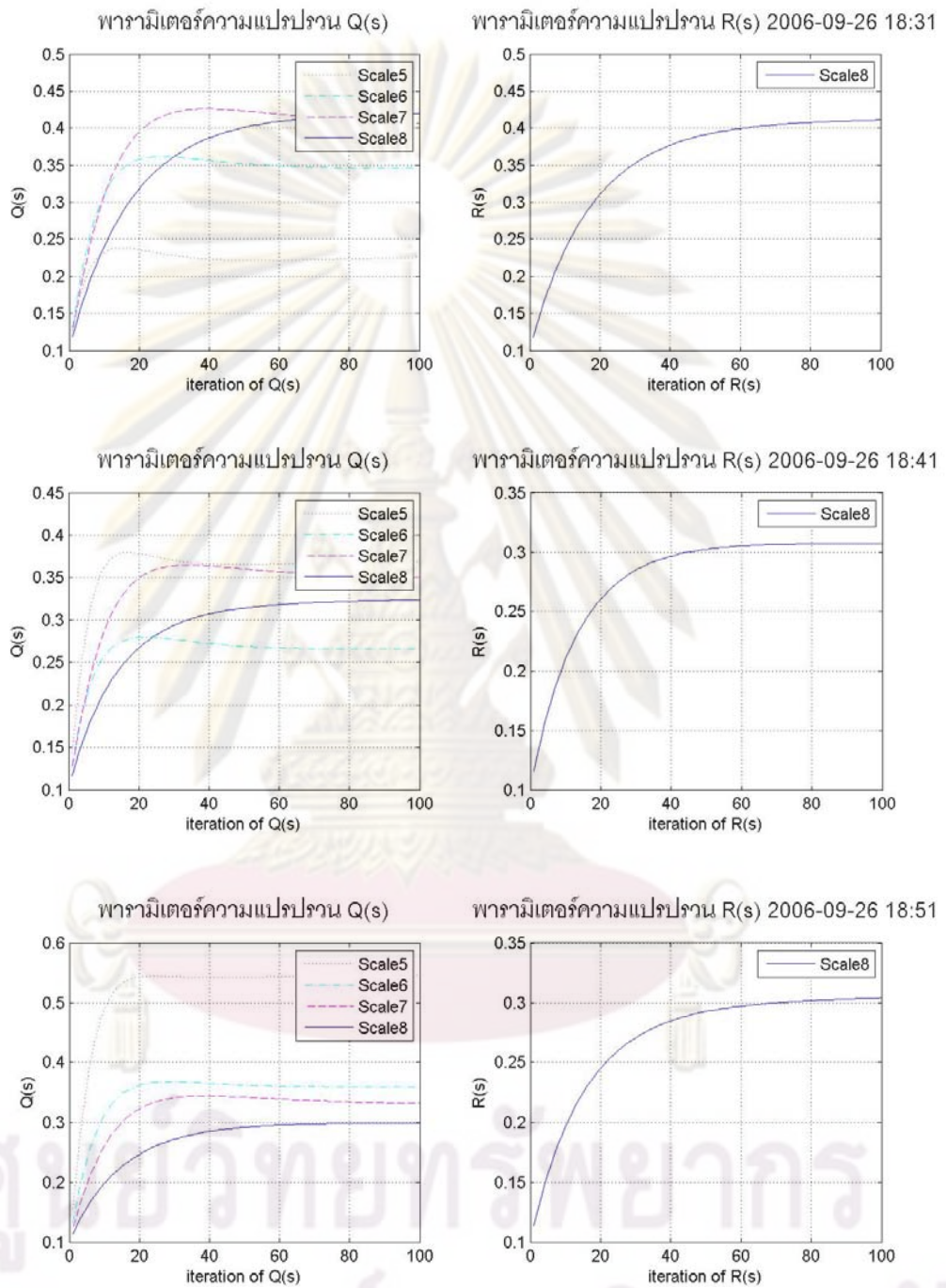




รูป ง - 2 ตัวอย่างการทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ด้วยข้อมูลฝนจริงของเหตุการณ์ฝนข้อมูล ณ เหตุการณ์วันที่ 23- 06 - 2005

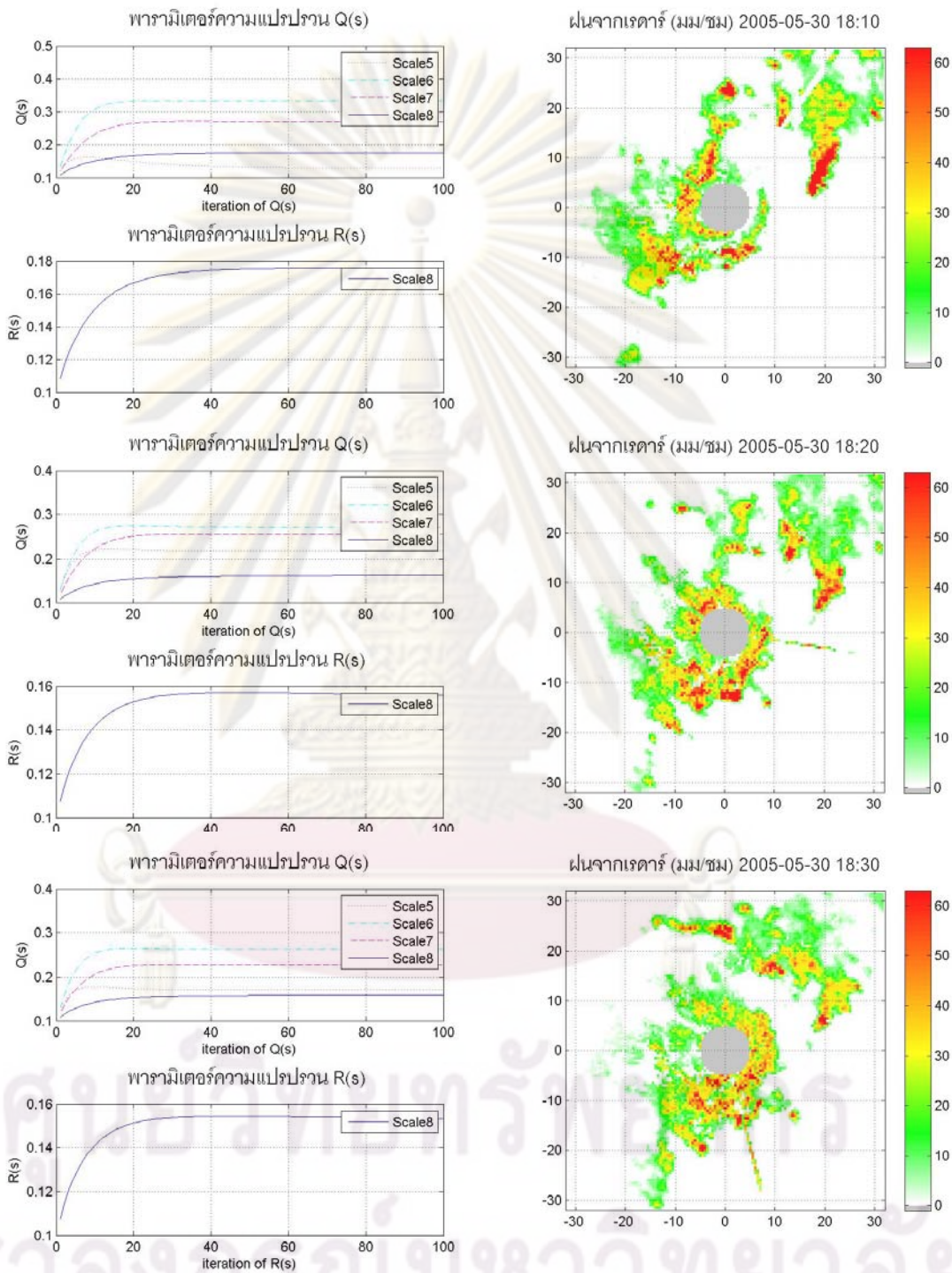


รูป 3 ตัวอย่างการทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ด้วยข้อมูลฝนจริง  
ของเหตุการณ์ฝนข้อมูล ณ เหตุการณ์วันที่ 29 - 06 - 2005

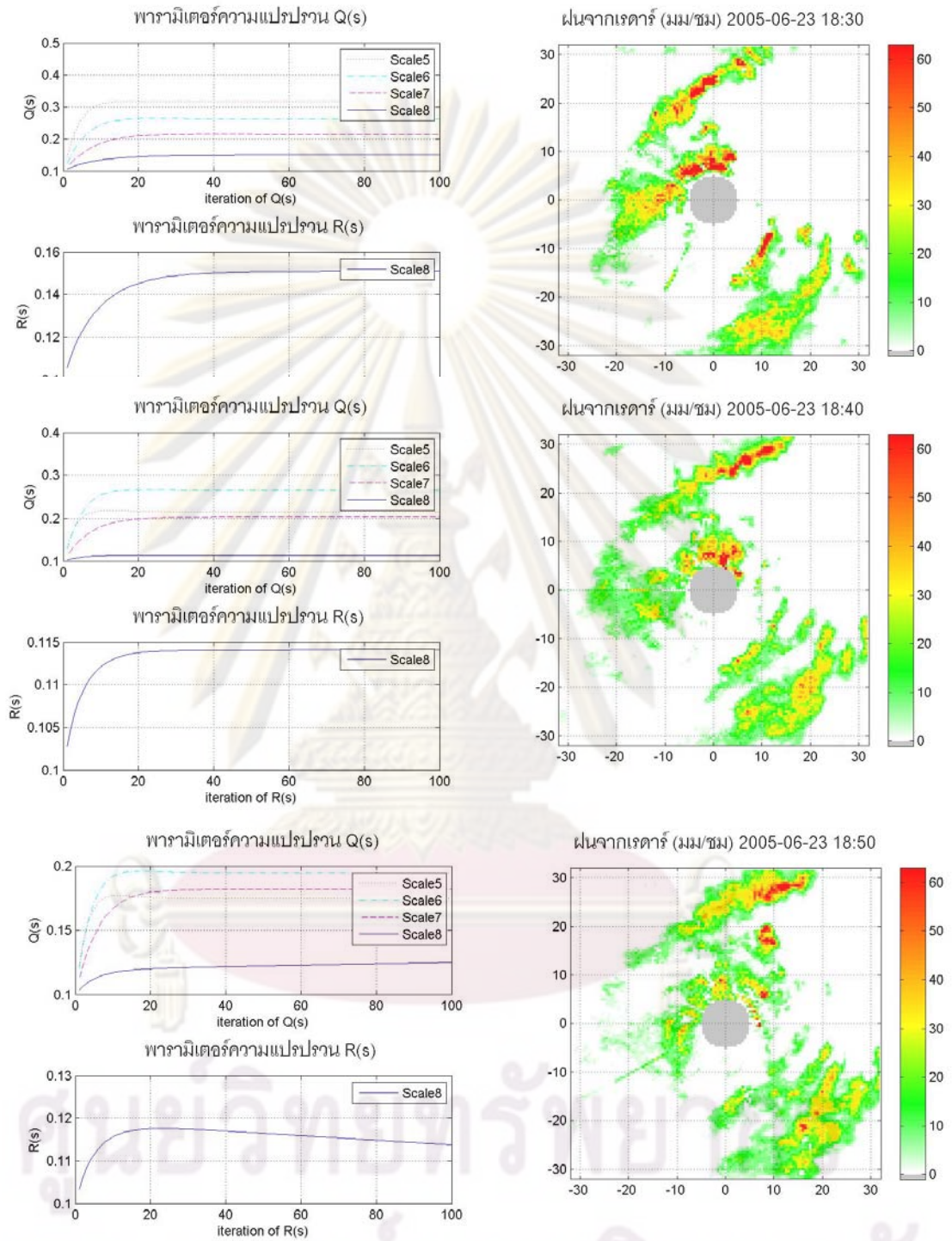


รูป ง – 4 ตัวอย่างการทดสอบการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยเทคนิค EM ด้วยข้อมูลฝนจริง  
ของเหตุการณ์ฝนข้อมูล ณ เหตุการณ์วันที่ 26 - 09 - 2005



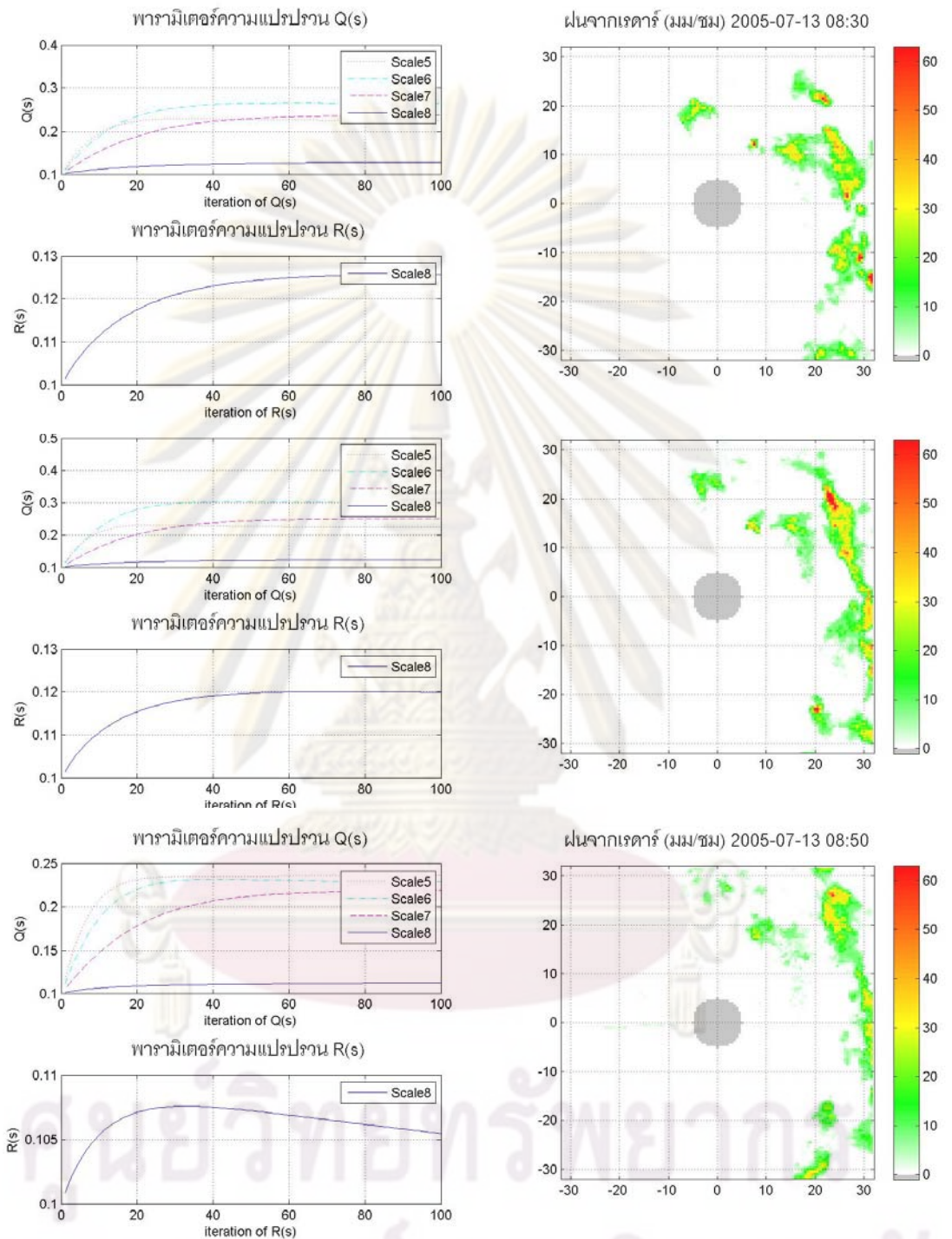


รูป ๕ – ๕ ตัวอย่างการการพิจารณาความเข้มการตรวจที่สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์  
ณ เหตุการณ์การวันที่ 30 – 05 – 2005



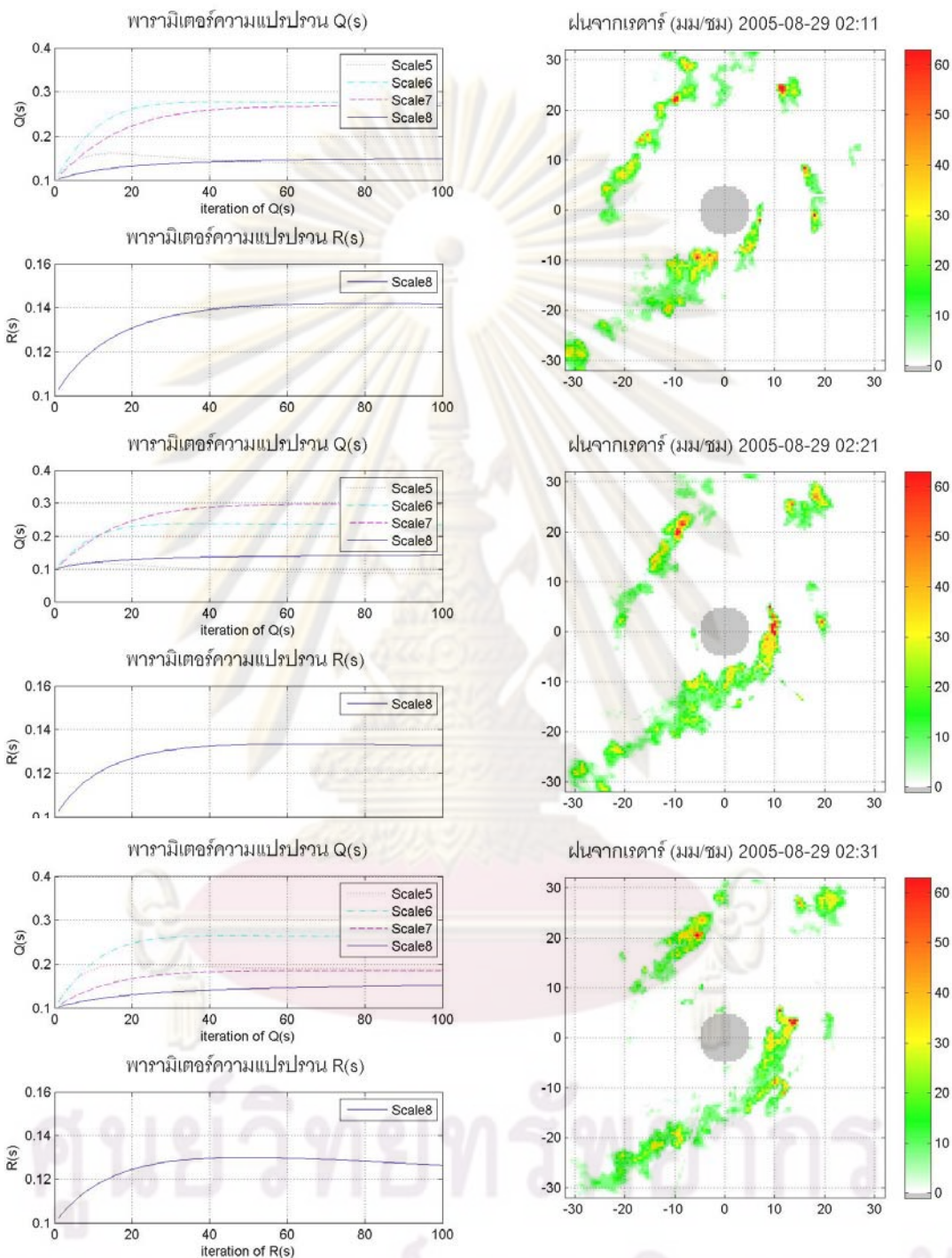
รูปที่ 6 ตัวอย่างการการพิจารณาความเข้มการตรวจที่สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ เหตุการณ์การวันที่ 23 - 06 - 2005



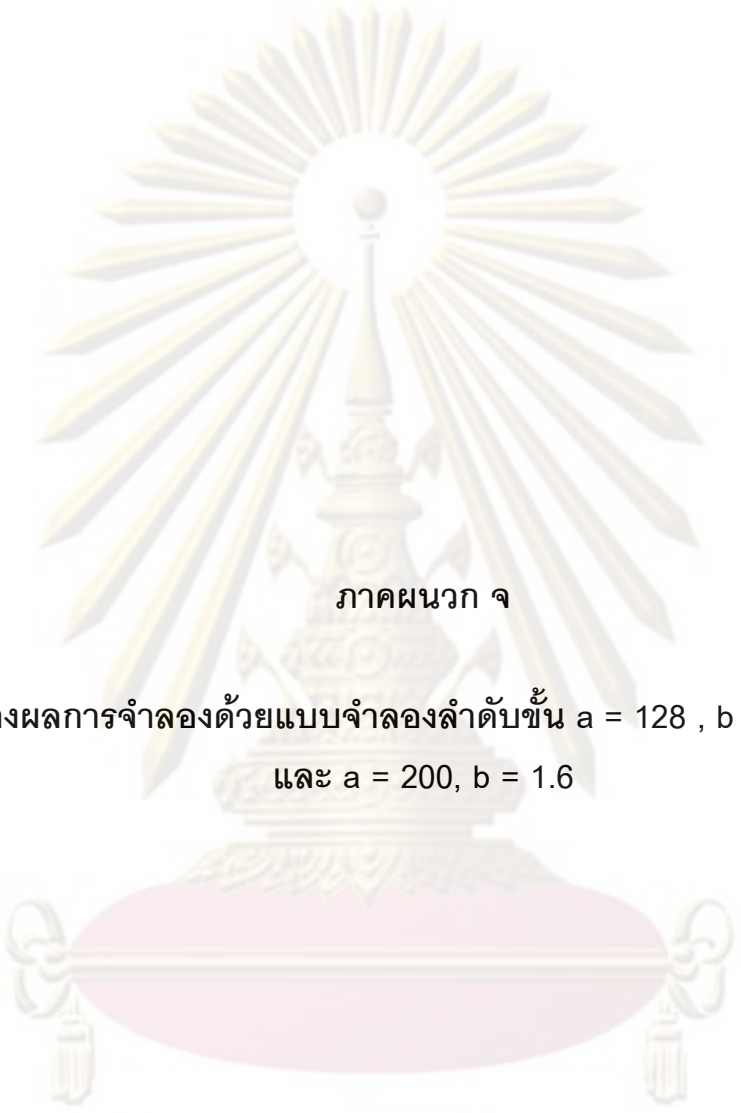


รูป 7 ตัวอย่างการการพิจารณาความเข้มการตรวจที่สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ เหตุการณ์การวันที่ 13 - 07 - 2005





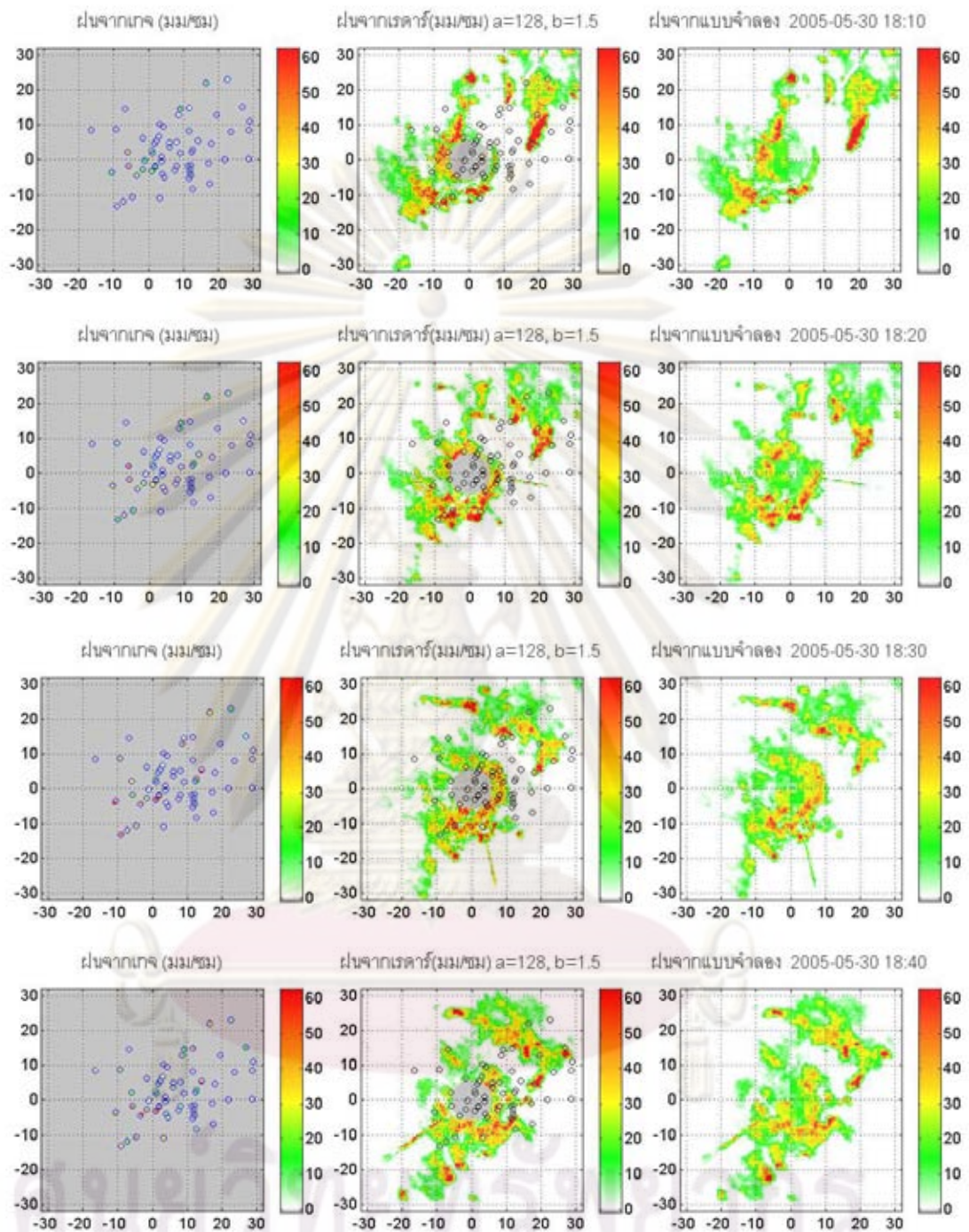
รูป ง - 8 ตัวอย่างการการพิจารณาความเข้มการตรวจที่สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ ณ เหตุการณ์การวันที่ 29 - 08 - 2005



ภาคผนวก จ

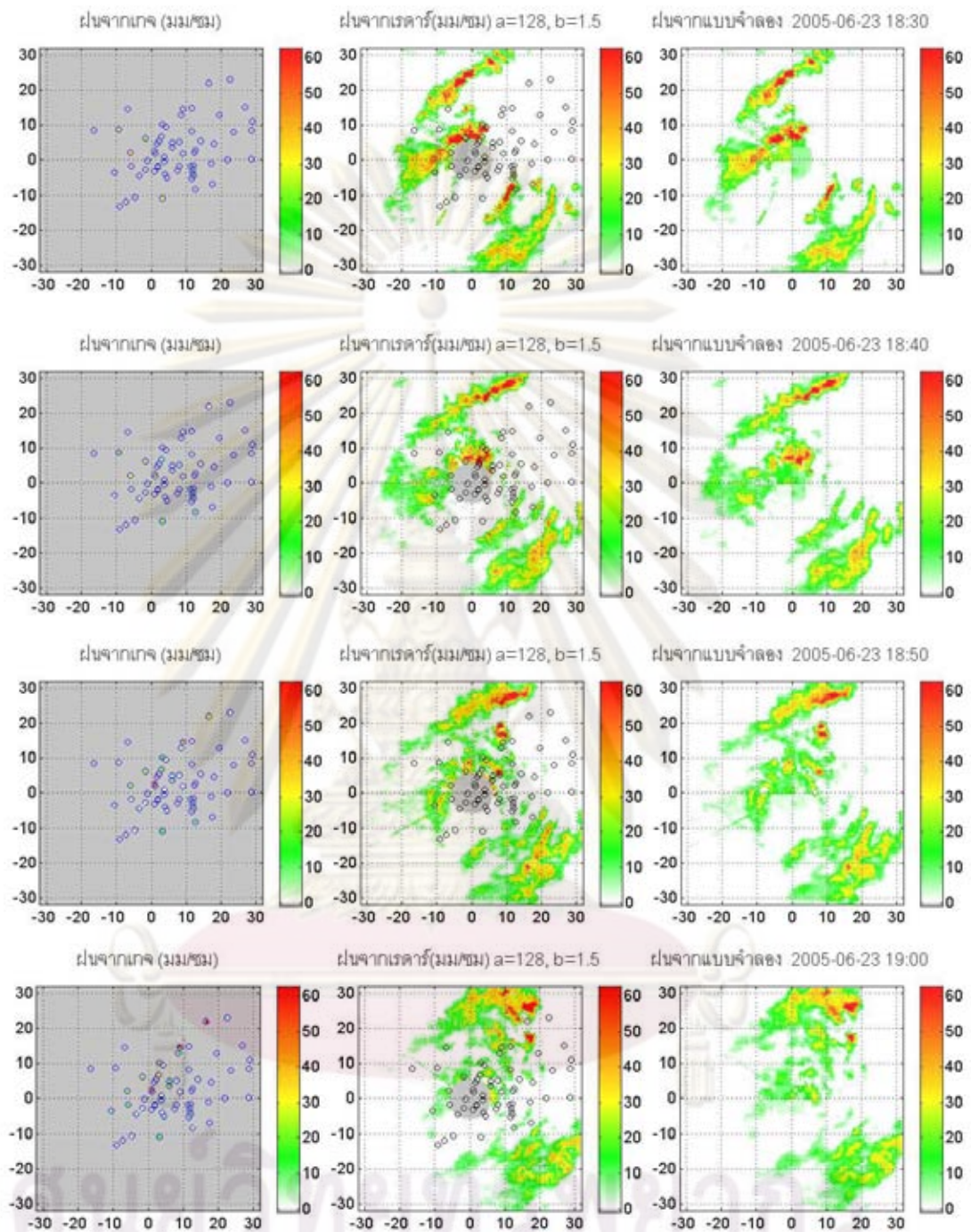
ตัวอย่างผลการจำลองด้วยแบบจำลองลำดับชั้น  $a = 128$  ,  $b = 1.5$ , +5 dBZ  
และ  $a = 200$ ,  $b = 1.6$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

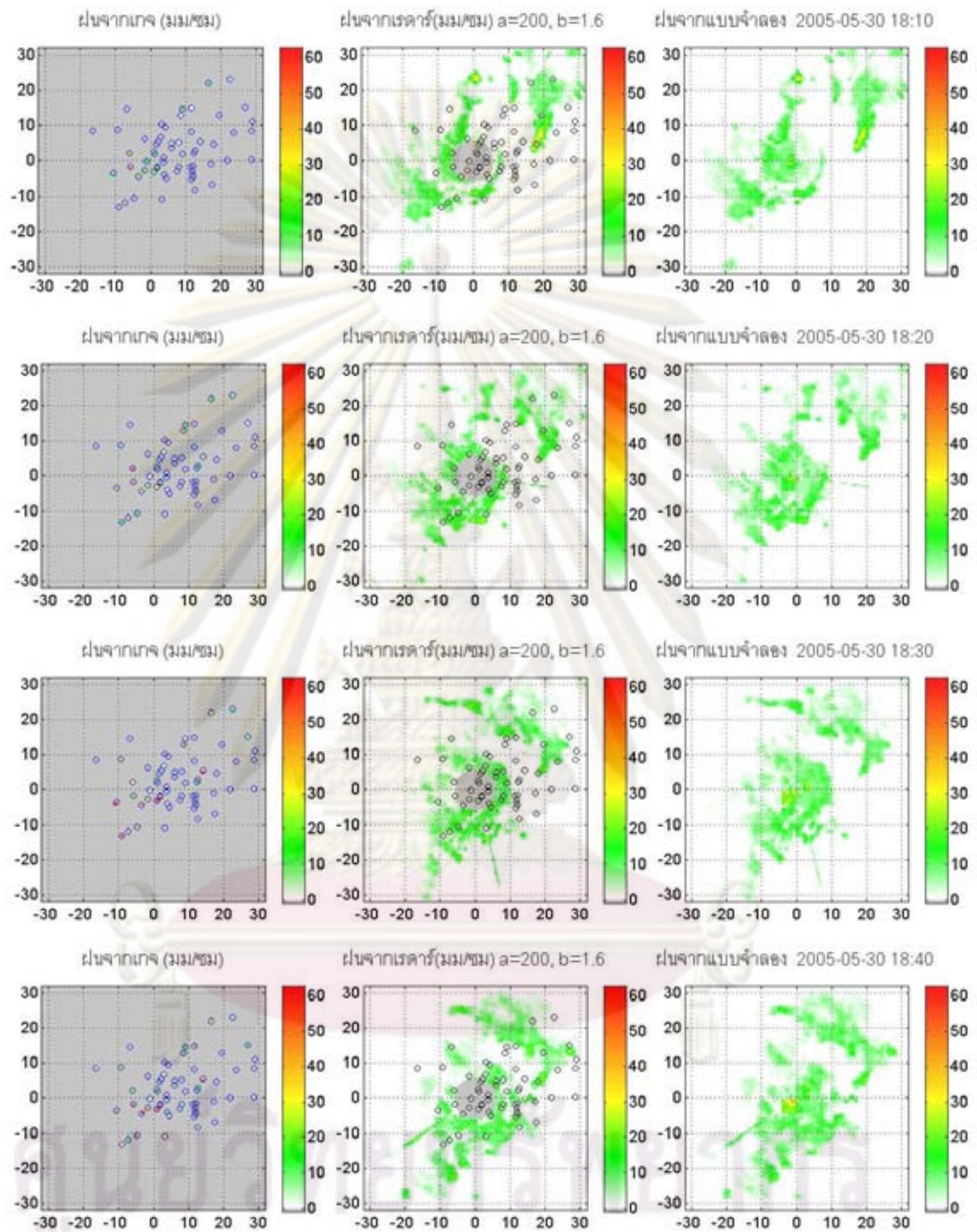


รูป ๑ - 1 ตัวอย่างการทดสอบฝนจากแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่  $a = 128$ ,  $b = 1.5$ , +5 dBZ ของเหตุการณ์ฝนข้อมูล ณ เหตุการณ์วันที่ 30-05-2005



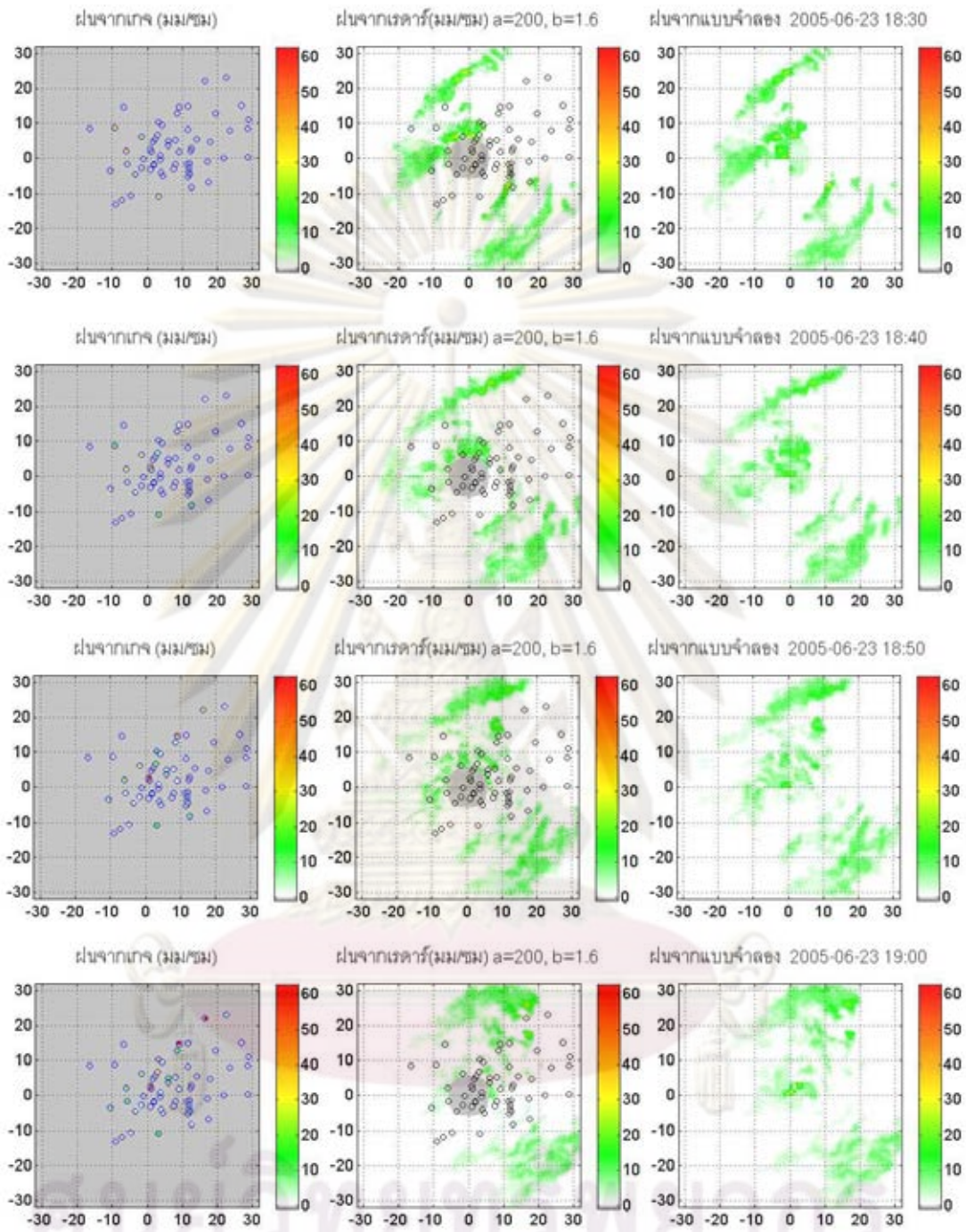


รูป ๑ - 2 ตัวอย่างการทดสอบฝนจากแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่  $a = 128$ ,  $b = 1.5$ , +5 dBZ ของเหตุการณ์ฝนข้อมูล ณ เหตุการณ์วันที่ 23-06-2005



รูป ๓ - 3 ตัวอย่างการทดสอบฝนจากแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่  $a = 200$ ,  $b = 1.6$  ของเหตุการณ์ฝนข้อมูล ณ เหตุการณ์วันที่ 30-05-2005





รูป ๔ - 4 ตัวอย่างการทดสอบฝนจากแบบจำลองลำดับขั้นเชิงพื้นที่  $a = 200$ ,  $b = 1.6$  ของเหตุการณ์ฝนข้อมูล ณ เหตุการณ์วันที่ 23-05-2005

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

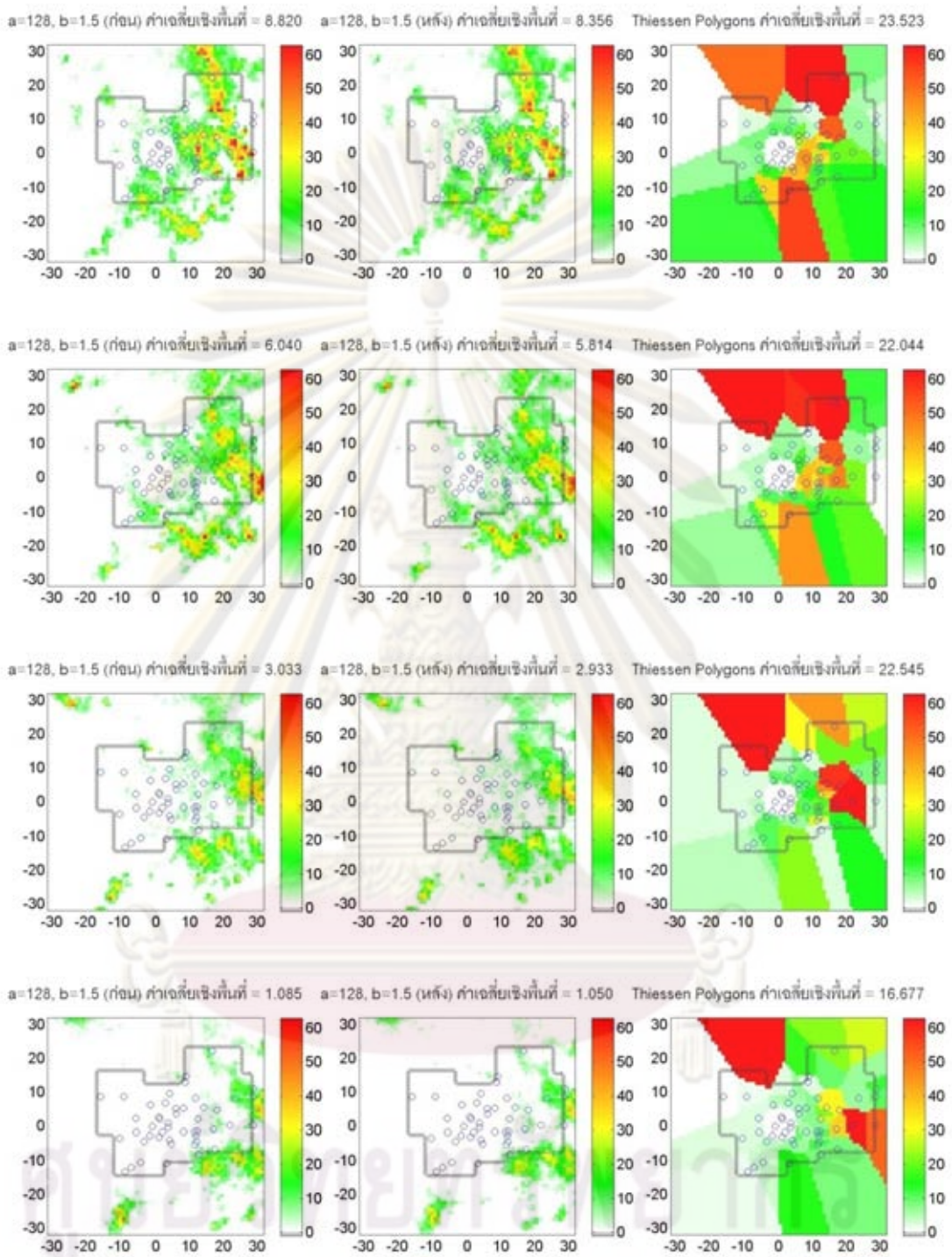




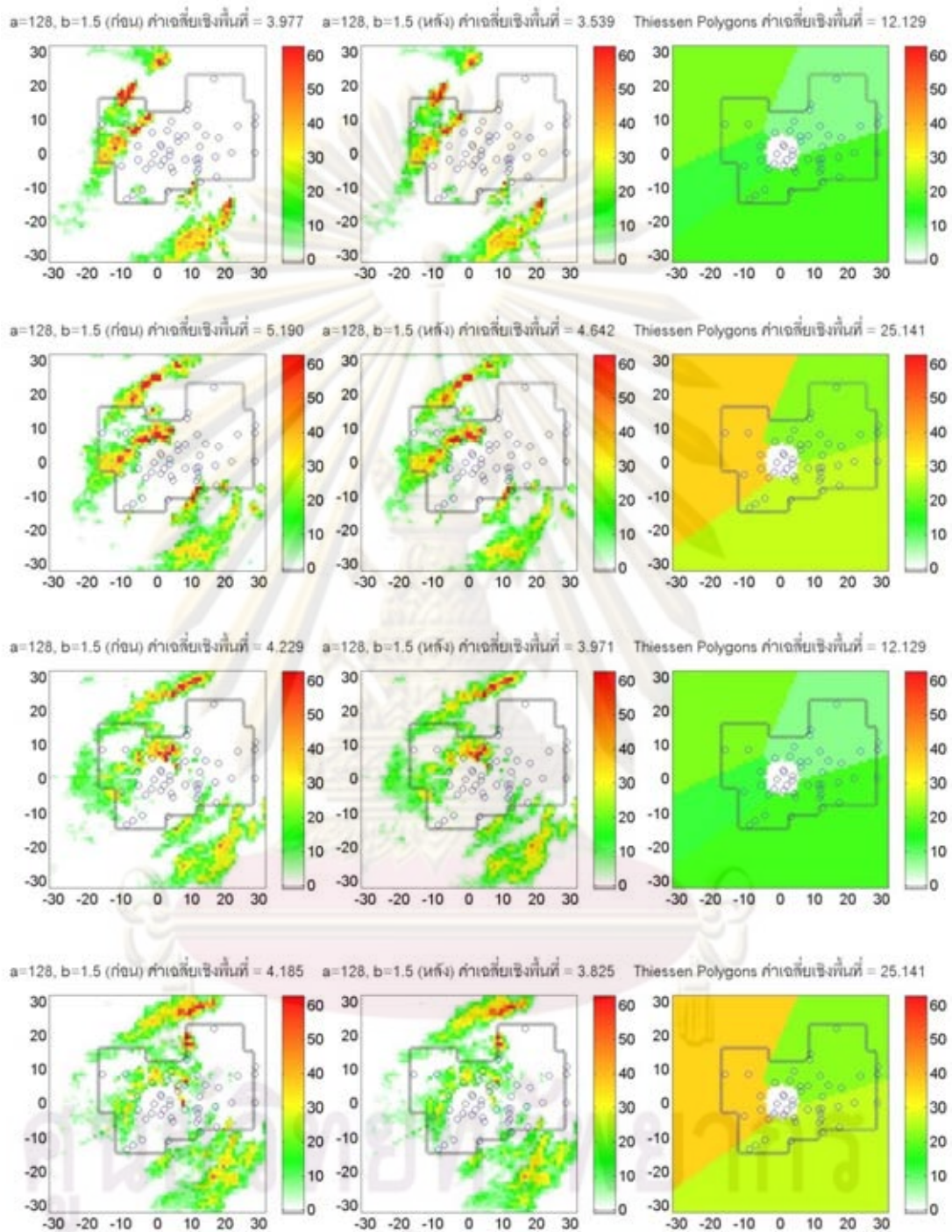
ภาคผนวก ช

ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังจากแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่  
กับวิธี Thiessen Polygons

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

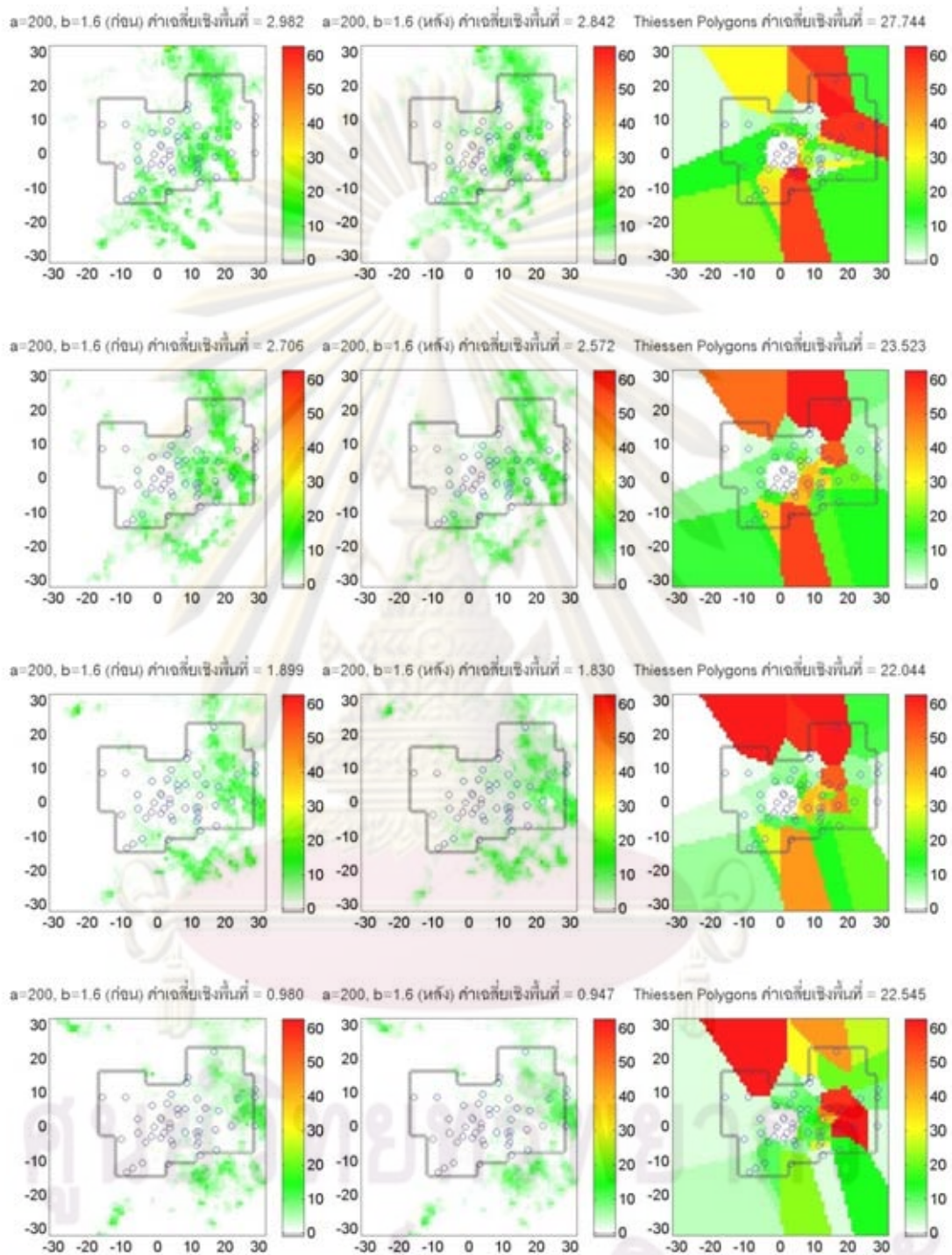


รูป ซ - 1 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่  $a = 128, b = 1.5$ , +5 dBZ ณ เหตุการณ์วันที่ 30-05-2005 เวลา 19:00 - 19:30



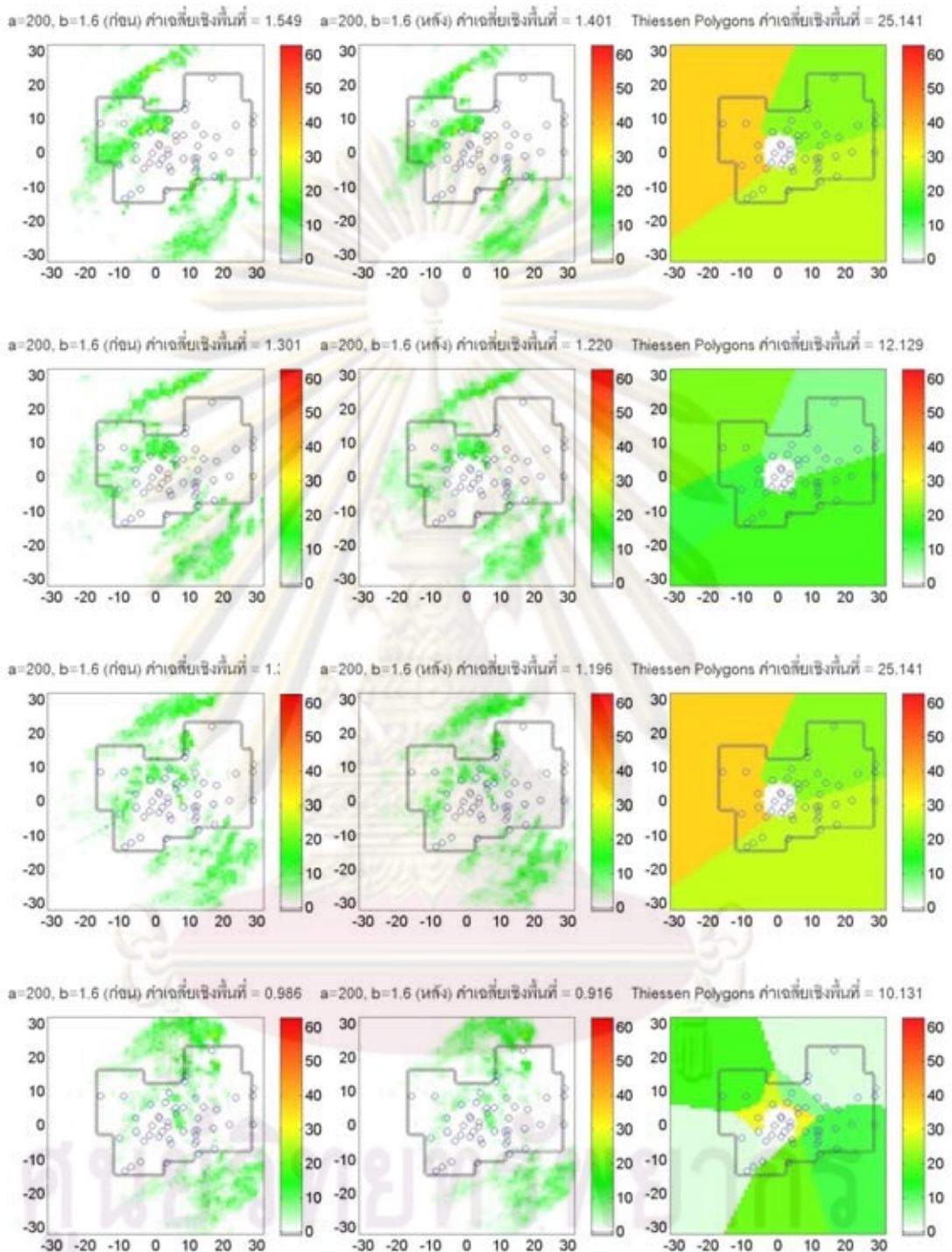
รูปที่ ๒ - ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่ a = 128, b = 1.5, +5 dBZ ณ เหตุการณ์วันที่ 23-05-2005 เวลา 18:30 - 19:00





รูป ช - 3 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบจากแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่  $a = 200, b = 1.6$

ณ เหตุการณ์วันที่ 30-05-2005 เวลา 19:00 - 19:30



รูป ข-4 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบฝนจากแบบจำลองลำดับชั้นเชิงพื้นที่  $a = 200, b = 1.6$   
 ณ เหตุการณ์วันที่ 23-05-2005 เวลา 18:30 - 19:00



ภาคผนวก ซ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



```

% SCALE RECURSIVE ESTIMATION CASE SYNATICDATA fSRE
% Modify 21/11/2007
% -----
% Copyright 2009 - Boonchana Taweerat <cboonchana@gmail.com>
% Last edited: Modifiy October. 21, 2008
% -----
clear all, clc, close all
% PARAMETER
% finest resolution = 32 x 32
% given Q = 0.2; Q0 = var(x0) = 0.1;
% has m = 0,..., 5, = 128 x 128 --> gauge Error R = 0.1
%                               64 x 64 --> radar Error R = 1

b = ([1 1; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2]); % band number scale
of x and z at initial time
Q = ([.1; .1; .1; .1; .1; .1; .1; .1]); % variance of x at
random variable for state Eq.X_T(normal distribution)
R = ([nan; nan; nan; nan; nan; nan; 0.5; 0.1]); % variance of z at
random variable for measurement Eq. Z_T(normal distribution)

x = 0:0.1:12;
n = length(b); % loop number of scale recursive
CDIM = cumprod(b); % dimension of the matrix at each scale
load cmap_rain2.txt

fig1 = figure(1);
set(fig1,'outerposition',[0 0 700 800],... % figure size
'color',[1 1 1]); % figure print mode
fig2 = figure(2);
set(fig2,'outerposition',[0 0 700 400],... % figure size
'color',[1 1 1]); % figure print mode

% create state Eq. X_T
X_T{1} = 0 + randn(1).*sqrt(Q(1));

for s = 2:n
X_T{s} = fchild(X_T{s-1},b(s,1),b(s,2));
X_T{s} = X_T{s}+ randn(size(X_T{s})).*sqrt(Q(s));

% X_T{s} = fchild(X_T{s-1},b(s,1),b(s,2)) +
rands(CDIM(s,:)).*sqrt(Q(s));
end

for s = 1:n
Z_T{s} = X_T{s} + randn(size(X_T{s})).*sqrt(R(s));
End

% make incomplete measurement
% leave only 10% of data
screen = rand(size(Z_T{n})) < 0.1;
Z_T{n}(screen==0) = nan;

for s = 1:n
Z_T{s}(isnan(Z_T{s})) = -99;
end
X_p = fCascade(b,Q,R,Z_T);

```

```

RMSE1 = sqrt( mean(sum (X_T{n-1}-X_p{n-1}).^2 ) );
RMSE2 = sqrt( mean(sum (X_T{n-1}-Z_T{n-1}).^2 ) );

figure(fig1),
% set(gcf,'Position',[100 100 1200 450]);
subplot(221)
    imagesc(X_T{n-1}), axis xy square,hold on,caxis([-5
5]),colorbar,
    colormap(cmap_rain2),ttl = title('1) ค่าจริงที่สังเกตของเรดาร์')
    set(ttl,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);
subplot(223)
    imagesc(Z_T{n-1}), axis xy square,hold on,caxis([-5
5]),colorbar,
    colormap(cmap_rain2),ttl = title('3) ค่าการตรวจวัดจากเรดาร์')
    set(ttl,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);
subplot(222)
    imagesc(X_T{n}), axis xy square,hold on,caxis([-5 5]),colorbar,
    colormap(cmap_rain2),ttl = title('2) ค่าจริงที่ตำแหน่งเกจ')
    set(ttl,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);
subplot(224)
    imagesc(Z_T{n}), axis xy square,hold on,caxis([-5 5]),colorbar,
    colormap(cmap_rain2),ttl = title('4) ค่าการตรวจวัดจากเกจ')
    set(ttl,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);

figure(fig2),
subplot(121), imagesc(X_p{n-1}), axis xy square,hold
on,caxis([-5 5]),colorbar,
    ttl = title(['1) ค่าจากแบบจำลองที่สังเกตเรดาร์',num2str(RMSE1,'%2.3f')]);
    colormap(cmap_rain2),%title(ttl),
    set(ttl,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);
subplot(122), imagesc(Z_T{n-1}), axis xy square,hold on,caxis([-5
5]),colorbar,
    ttl = title(['2) ค่าตรวจวัดเรดาร์เทียบกับเรดาร์จริง
',num2str(RMSE2,'%2.3f')]);
    colormap(cmap_rain2),%title(ttl),
    set(ttl,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);

saveas(figure(fig1),'pig1.jpg');
saveas(figure(fig2),'pig2.jpg');

```

```

% SCALE RECURSIVE ESTIMATION FEM CHENGDATA
% Modifile 2008/07/30
% -----
% Copyright 2009 - Boonchana Taweerat <cboonchana@gmail.com>
% Last edited: Modifiey Feb. 25, 2009
% -----
clear all; clc; close all;
% PARAMETER
% finest resolution = 384 x 384
% given Q = 0.2; Q0 = var(x0) = 0.1;
% has m = 0,..., 5, = 128 x 128 --> gauge Error R = 0.1
%                               64 x 64 --> radar Error R = 1
Pth.JpgOut = './Output/';

% cade chang data
iter2 = 50           % Monticarlo
POINT7_A = 65:128;   POINT7 = 63:126;
POINT8_A = 129:256; POINT8 = 125:252;

Textfilename = './Output_1.txt' ;
Textfilename2 = './Output_2.txt' ;
fid1 = fopen(Textfilename,'wt') ;
fid2 = fopen(Textfilename2,'wt');

b0 = ([1 1; 3 3; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2 ]); % band
number scale of x and z at initial time
Q0 = ([ .1; .1; .1; .1; .1; .1; .1; .1; .1 ]); % variance
of x state Eq.X_T ~N(0,Q(s))
R0 = ([nan; nan; nan; nan; nan; nan; nan; 0.1; 0.1 ]); % variance
of z measurement Eq. Z_T ~N(0,R(s))
x = 0:0.01:1;
iter = 100;           % loop number
n0 = length(b0);     % loop number of scale recusive
CDIM0 = cumprod(b0); % dimension of the matrix at each scale

b1 = [1 1; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2 ]);
Q1 = 0.4*ones(length(b1),1);
R1 = 0.4*ones(length(b1),1);
n1 = length(b1);
CDIM1 = cumprod(b1);
%----- SET PLOT -----
fig1 = figure(1);
set(fig1,'outerposition', [0 0 1100 700],..... % figure size
'PaperPositionMode', 'auto'); % figure print mode

fig2 = figure(2);
set(fig2,'outerposition', [0 0 900 700],..... % figure size
'PaperPositionMode', 'auto'); % figure print mode

for jj = 1:iter2 % Monticarlo
Time_Run = ((ii)/iter2)*100;
fprintf('Compepe Percent = %3.2f\n',Time_Run); % percent time run

% create state Eq. X0
% for ii = length(b0)
X0{1} = 0 + randn(1).*sqrt(Q1(1));

```



```

for s = 2:n0
    X0{s} = fchild(X0{s-1},b0(s,1),b0(s,2));
    X0{s} = X0{s}+ randn(size(X0{s})).*sqrt(Q0(s));
end

for s = 1:n0
    Z0{s} = X0{s} + randn(size(X0{s})).*sqrt(R0(s));
end

% make incomplete measurement
% leave only 10% of data
screen = rand(size(Z0{n0})) < 0.1;
Z0{n0}(screen==0) = nan;

for s = 1:n0-2
    Z0{s} = [];
end

% select only corresponding 128 x 128 pixel area around bkk
X1{n1-1} = X0{n0-1}(POINT7_A,POINT7_A); % chage data structure
X1{n1} = X0{n0}(POINT8_A,POINT8_A); % chage data structure
Z1{n1-1} = Z0{n0-1}(POINT7_A,POINT7_A); % normal data structure
Z1{n1} = Z0{n0}(POINT8_A,POINT8_A); % normal data structure

% Fine parameter Q(s) and R(s)
Qplot = Q1; Qx = Q1;
Rplot = R1; Rx = R1;

for ii = 1:iter
    % fprintf('.');
    [Qx,Rx] = fEMSRE(b1,Qx,Rx,Z1);
    Qplot = [Qplot, Qx(:)];
    Rplot = [Rplot, Rx(:)];
end

fprintf(fid1, '%2.4f\t', Qx);
fprintf(fid1, '%2.4f\t', Rx);
fprintf(fid1, '\n');
fprintf('\n');

% select only corresponding 128 x 128 pixel area around bkk
X2{n1-1} = X0{n0-1}(POINT7,POINT7); % chage data structure
X2{n1} = X0{n0}(POINT8,POINT8); % chage data structure
Z2{n1-1} = Z0{n0-1}(POINT7,POINT7); % chage data structure
Z2{n1} = Z0{n0}(POINT8,POINT8); % chage data structure

Qplot2 = Q1; Qy = Q1;
Rplot2 = R1; Ry = R1;

for ii = 1:iter ;
    % fprintf('.');
    [Qy,Ry] = fEMSRE(b1,Qy,Ry,Z2);
    Qplot2 = [Qplot2, Qy(:)];
    Rplot2 = [Rplot2, Ry(:)];
end

```

```

fprintf(fid2,'%2.4f\t',Qy);
fprintf(fid2,'%2.4f\t',Ry);
fprintf(fid2,'\n');
fprintf('\n');

QQ5(jj) = Qx(end-3);
QQ6(jj) = Qx(end-2);
QQ7(jj) = Qx(end-1);

QQ_5y(jj) = Qy(end-3);
QQ_6y(jj) = Qy(end-2);
QQ_7y(jj) = Qy(end-1);

RR1(jj) = Rx(end-1);
RR2(jj) = Ry(end-1);
clc
end

% graphic show data plot parameter interpolation
% plot figure
figure(fig1),
    ITR = 0:(size(Qplot,2)-1); % iterlagtion 1 normal structure
subplot(221), % plot(ITR,Qplot(5:7,:)),
    plot(ITR,Qplot(5,:), 'r--', ITR,Qplot(6,:), 'c-.', ITR,Qplot(7,:), 'b-
    '),ttl = title('พารามิเตอร์ความแปรปรวน Qx(s) กรณีปกติ', 'color', 'b');,
    grid,xlabel('iterration#','color','m'),ylabel('Qx(s)','color','m'),
    set(ttl,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);
    legend('Scale5','Scale6','Scale7');
subplot(222), plot(ITR,Rplot(end-1,:), 'b-', ITR,Rplot(end,:), 'm-.'),
    ttl = title('พารามิเตอร์ความแปรปรวน Rx(s) กรณีปกติ', 'color', 'b'), grid,
    xlabel('iterration#','color','m'), ylabel('Rx(s)','color','m'),
    set(ttl,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);
    legend('Scale7','scale8');

    ITR2 = 0:(size(Qplot2,2)-1); % iterlagtion 2 chang structure
subplot(223), % plot(ITR2,Qplot2(5:7,:)),
    plot(ITR2,Qplot2(5,:), 'r--', ITR2,Qplot2(6,:), 'c-.',
    ITR2,Qplot2(7,:), 'b-'),
    ttl = title('พารามิเตอร์ความแปรปรวน Qy(s) กรณีสไลด์ขึ้นบน 2 ช่อง
    ', 'color', 'b');, grid,
    xlabel('iterration#','color','m'), ylabel('Qy(s)','color','m'),
    set(ttl,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);
    legend('Scale5','Scale6','Scale7');
subplot(224), plot(ITR2,Rplot2(end-1,:), 'b-', ITR2,Rplot2(end,:), 'm-
    .'),
    ttl = title('พารามิเตอร์ความแปรปรวน Ry(s) กรณีสไลด์ขึ้นบน 2 ช่อง', 'color', 'b'),
    grid,
    xlabel('iterration#','color','m'), ylabel('Ry(s)','color','m'),
%axis([0 50 0 0.7]),
    set(ttl,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);
    legend('Scale7','scale8');

```

```

% Monticarlo
figure(fig2)
subplot(221), histfit(QQ5),hold on, histfit(QQ_5y),h =
get(gca,'Children'),
    set(h(2),'FaceColor',[1 .8 .9]),grid,%axis([0.05 0.14 0 25 ]),
grid,
    xlabel('Qx and Qy of iter 50','color','m');
    ttl = title ('Qx และ Qy สเกลที่ 5 กรณีสไลด์ขึ้นบน 2 ช่อง ','color','b'),
    set(ttl,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);

subplot(222), histfit(QQ6),hold on, histfit(QQ_6y),h =
get(gca,'Children'),
    set(h(2),'FaceColor',[1 .8 .9]),grid, %axis([0.05 0.14 0 25 ]),
grid,
    xlabel('Qx and Qy of iter 50','color','m');
    ttl = title ('Qx และ Qy สเกลที่ 6 กรณีสไลด์ขึ้นบน 2 ช่อง ','color','b'),
    set(ttl,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);

subplot(223), histfit(QQ7),hold on, histfit(QQ_7y),h =
get(gca,'Children'),
    set(h(2),'FaceColor',[1 .8 .9]),grid, %axis([0.05 0.14 0 25 ]),
grid,
    xlabel('Qx and Qy of iter 50','color','m');
    ttl = title ('Qx และ Qy สเกลที่ 7 กรณีสไลด์ขึ้นบน 2 ช่อง ','color','b'),
    set(ttl,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);

subplot(224), histfit(RR1),hold on, histfit(RR2),h =
get(gca,'Children'),
    set(h(2),'FaceColor',[1 .8 .9]),grid, %axis([0.05 0.14 0 25 ]),
    xlabel('Rx and Ry of iter 50','color','m');
    ttl = title ('Rx และ Ry สเกลที่ 7 กรณีสไลด์ขึ้นบน 2 ช่อง ','color','b'),
    set(ttl,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);
fclose(fid1)
fclose(fid2)

saveas(figure(fig1),'fig1.jpg');
saveas(figure(fig2),'fig2.jpg');

```

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



```

% Fine parameter runing the EM-SRE to merge Gauge & Radar
% True Parameter Gauge & Radar Plot
% -----
% Copyright 2009 - Boonchana Taweerat <cboonchana@gmail.com>
% Last edited: Modify Feb. 25, 2009
% -----
clear all; close all; clc; clf; fclose('all');

% Define Path
RadarPth = 'D:\DataRadar_2006\All_DataRadar_malab_2006\';
GaugePth = 'D:\Rainfall_2004_2007\2006_2549\';
Pth.JpgOut = './Output\';
TXTfname = './Output.txt';
TXTfname1 = './Output1.txt';

fid = fopen(TXTfname,'wt'); % write Q(s) and R(s) for .txt

GaugeFile = 'GaugeSample.mat';
GaugeLocation = 'station_UTMxy.txt';

if ~exist(Pth.JpgOut), mkdir(Pth.JpgOut); end
if ~exist(TXTfname), mkdir(Pth.JpgOut); end

%----- SET PLOT DATA -----
fig1 = figure(1);
set(fig1,'outerposition',[0 0 1200 550],... % figure size
'PaperpositionMode','auto'); % figure print
mode
fig2 = figure(2);
set(fig2,'outerposition',[0 0 900 420],... % figure size
'PaperpositionMode','auto'); % figure print
mode

%=====
% ----- Run Model and EM algorithm -----
%
%=====
% parameter Z = aR^b;

iter = 100;
a = 128;
b = 1.5;
DBZ_add = 5;
Thres = 0.1; % zero rainrate threshold (mm/hr)
Thres2 = 0.5; % Screen rainfall less then 0.5
Min_Radius = 5 ; % blind distance (km)

% Properties Set
load cmap_rain2.txt % colorbar
XYTick = -30:10:30; % length of image radar
FontSize = 14; % Dimention of Radar
FontSize2 = 18; % Title jpg

```

```

% FEM / fCascade parameters
bn = [1 1; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2];
Qi = [0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1]';
Ri = [nan nan nan nan nan nan nan 0.1 0.1]';
cdim = cumprod(bn);
colormap(cmap_rain2);

%===== START PROGRAM =====
% I. Prepare DATA
%
=====

% Extract the datenum of the event
fname = dir(fullfile(RadarPth,'RA*.mat'));
for ii = 1:length(fname)
    EventTime(ii) = datenum( fname(ii).name(3:12) , 'yyymmddHHMM' );
end

% Extract Gauge Data from CSV file (or load data if it exists.)
if exist(GaugeFile,'file'),
    load(GaugeFile);
else
    % Extract Gauge File
    [z,zid] = fLoadGauge(EventTime,GaugePth,'15m');

    save(GaugeFile,'z','zid','EventTime');
end

% Loop the EventTime
for ii = 1:length(fname) % Run for data

    Time_Run = ((ii)/length(fname) ) * 100;
    fprintf('Compepe Percent = %3.2f\n',Time_Run); % percent time run
    % RADAR RAINRATE (RR)
    % -----
    % Load Radar Rainrate
    load(fullfile(RadarPth,fname(ii).name)); % load data to DBZ
    fnames = fname(ii).name(3:12);
    Rx = -120:0.5:120;
    Ry = -120:0.5:120;
    [RX,RY] = meshgrid(Rx,Ry);

    % Make Radar-blind area missing data
    DBZ = double(DBZ(:,:,1));
    DBZ(DBZ<0) = 0;
    DBZ(DBZ<15) = 0;
    DBZ(DBZ>53) = 53;
    DBZ( (RX.^2+RY.^2)<=Min_Radius.^2 ) = nan;

    % Select only 128 x 128 pixel area around Bkk
    DBZ = DBZ(177:304,177:304);
    Rx = Rx(177:304);
    Ry = Ry(177:304);

```

```

% Convert Radar to Radar Rainrate
RR0 = 10.^((1/b)*((DBZ+DBZ_add)/10 - log10(a))); %Plot imagesc
RR = 10.^((1/b)*((DBZ+DBZ_add)/10 - log10(a)));
RR(RR<Thres) = nan; % NAN = dry pixeel (norain)
RRm = nanmean(RR(:)); % mean radar rainrate

clear RX RY row col

% GAUGE RAINRATE (GR)
% -----

% Load Gauge Rainrate
[GR,Gx,Gy] = fGauge2Grid(z(:,ii),zid,GaugeLocation,0.5,64);

% select only corresponding 256 x 256 pixel area around bkk
GR = GR(1:256,1:256);
Gx = Gx(1:256);
Gy = Gy(1:256);

% select only corresponding Gauge 128 x 128 around blind area
GR2 = GR(65:192,65:192);
Gx2 = Gx(65:192);
Gy2 = Gy(65:192);
GR2(GR2<Thres2); % Screen Rainfall data Less than 0.5

% FIND THE PARAMETER USING fem
% -----
% Convert to log-rainrate and treat no-rain pixel = NaN

M = length(Qi);
Z{M-1} = log(RR/RRm); Z{M-1}(RR<Thres) = nan; % not fill nan
Z{M} = log(GR/RRm); Z{M}(GR<Thres) = nan;

% Estimate the parameter: Qf and Rf

Qf = Qi;
Rf = Ri;
for jj = 1:iter
% fprintf('.');
 [Qf,Rf] = fEMSRE(bn,Qf,Rf,Z);
 w(jj,:) = Qf;
 v(jj,:) = Rf;
end
fprintf('\n');
VXs = cumsum(Qf);
clear jj DataZ

```



```

% ----- Display result -----
% fprintf('\n-----\n');

fprintf(fid, '%s\t', fnames);      % Filename
fprintf(fid, '%2.4f\t', Qf);      % Qs
fprintf(fid, '%2.4f\t', Rf);      % Rs (finest scale)
fprintf(fid, '\n');              % new line

% ----- Plot Qs) and Rs -----
n = 1:iter;
x = cdim(1,1) ./ cdim(:,1);

figure(fig1), % figure3
subplot(2,2,1), plot(n,w(:,5), 'r:', n,w(:,6), 'c-.', n,w(:,7), 'm--',
',.....
n,w(:,8), 'b-'), grid,
xlabel('iteration of Q(s)'), ylabel('Q(s)'),
legend('Scale5', 'Scale6', 'Scale7', 'Scale8'),
nn = title('พารามิเตอร์ความแปรปรวน Q(s)');
set(nn, 'Fontname', 'Cordiaupc', 'FontSize', 16);
subplot(2,2,3), plot(n,v(:,8), 'b-'), grid, % v(:,9), 'r--'),
xlabel('iteration of R(s)'), ylabel('R(s)'),
legend('Scale8', 'Scale9');
nn = title(['พารามิเตอร์ความแปรปรวน R(s) ']);
set(nn, 'Fontname', 'Cordiaupc', 'FontSize', 16);
subplot(2,2,[2,4]),
% subplot('position', [0.60 0.10 0.28 0.90]);
imagesc(Rx, Ry, RR0), axis xy square, colormap(cmap_rain2),
caxis([-1
63]), grid,
colorbar, axis([-32 32 -32 32]),
nn = title(['ฝนจากเรดาร์ (มม/ชม)', datestr(EventTime(ii), 'yyyy-mm-dd
HH:MM')]);
set(nn, 'Fontname', 'Cordiaupc', 'FontSize', 16);

figure(fig2)% figure2
subplot(122), normplot(log(RR(:))), grid on,
nn = title(['การพล็อตเหตุการณ์ปกติ ', datestr(EventTime(ii), 'yyyy-mm-
dd HH:MM')]);
set(nn, 'Fontname', 'Cordiaupc', 'FontSize', 16);
subplot(121), semilogx(x, VXs, 'b-s'), grid on,
nn = title('ความแปรปรวน vs อัตราส่วนความกว้างของสเกล');
xlabel('length scale (L/L_0)'), ylabel('Cumulative Qx(s)'),
legend('Qx(s)');
set(nn, 'Fontname', 'Cordiaupc', 'FontSize', 16);
print(fig1, '-djpeg75', [Pth.JpgOut, 'a_', fnames, '.jpg']);
% print(fig2, '-djpeg75', [Pth.JpgOut, 'b_', fnames, '.jpg']);
clc

end
fclose(fid);

```

```

%The Cascade model (EM-SRE) Merge Gauge Bangkok & Radar Pasrichalearn
% NOTE: Can Cheng Parameter a, b for Optimize data radar
% -----
% Copyright 2009 - Boonchana Taweerat <cboonchana@gmail.com>
% Last edited: Feb. 23, 2009
% Please credit me if you use or modify this code.
% -----
clear; clc; clf; fclose('all');

% Define Path Radar and Gauge
Radar_Pth = 'D:\DataRadar_2005\All_DataRadar_malab_2005\';
Gauge_Pth = 'D:\Rainfall_2004_2007\2005_2548\';

GaugeFile = 'GaugeSample.mat';
GaugeLocation = 'station_UTMxy.txt';

% Station Compare pasicharoen radar station
load station_xy.txt
sta_x = station_xy(:,1);
sta_y = station_xy(:,2);

JPG_Pth = './a128b15_fill/Output_JPG/';
Mat_Pth = './a128b15_fill/Output_Mat/';

if ~exist(JPG_Pth,'dir'), mkdir(JPG_Pth); end
if ~exist(Mat_Pth), mkdir(Mat_Pth); end

CSVfname1 = './a128b15_fill/OUT_EMSRE.csv'; % Estimated Rainrate
CSVfname2 = './a128b15_fill/OUT_DBZ.csv'; % DBZ from radar
CSVfname3 = './a128b15_fill/OUT_Gauge.csv'; % Gauge rainrate data
CSVfname4 = './a128b15_fill/OUT_RR.csv'; % Rainfall from z = aR^b
TXTfname5 = './a128b15_fill/OUT_Variance.txt'; % Variance Qf and Rf
TXTfname6 = './a128b15_fill/OUT_Var_Average.txt'; % Variance Average
scale

% initail parameter Z = aR^b;
a = 128; % select a
b = 1.5; % select b
DBZ_add = 5; % Add Dbz into Radar from Z-R
Thres = 0.1; % zero rainrate Threshold (mm/hr)
Thres2 = 0.5; % rain > 0.5 mm

Min_Blind = 5; % blind distance (km)
iter = 80 ; % Loop for parameter of EM

% fEM / fCascade parameters
bn = [1 1; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2; 2 2]; % banumber
Qi = [0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1]'; % Var(Xs)
Ri = [nan nan nan nan nan nan nan nan 0.1 0.1]'; % Var(Zs)
CDIM = cumprod(bn); % Level bannumber

% Properties Set

```

```

load cmap_rain2.txt      % colorbar
XYTick = -30:10:30;     % length of image radar
FontSize = 14;          % Dimention of Radar
FontSize2 = 18;         % Title jpg

set(gcf,'position',[51 201 1200 400],'PaperPositionMode','auto',...
        'color',[1 1 1]);
colormap(cmap_rain2);

%===== START PROGRAM =====
% I. Prepare Data Rdar and Gauge
%=====

% Extract the datenum of the event radar
fname = dir(fullfile(Radar_Pth,'RA*.mat'));
for ii = 1:length(fname)
    EventTime(ii) = datenum( fname(ii).name(3:12) , 'yymmddHHMM' );
end

% Extract Gauge Data from CSV file (or load data if it exists.)
if exist(GaugeFile,'file'),
    load(GaugeFile);
else
    Extract Gauge File save Dbz Station and Eventime
    [z,zid] = fLoadGauge(EventTime,Gauge_Pth,'15m');

    save(GaugeFile,'z','zid','EventTime');
end

% Write output to file // Header line
fid1 = fopen(CSVfname1,'wt');
fid2 = fopen(CSVfname2,'wt');
fid3 = fopen(CSVfname3,'wt');
fid4 = fopen(CSVfname4,'wt');
fid5 = fopen(TXTfname5,'wt');
fid6 = fopen(TXTfname6,'wt');

fprintf(fid1,'EMSRE');
fprintf(fid2,'DBZ');
fprintf(fid3,'Gauge');
fprintf(fid4,'Rainfall Z-R');
fprintf(fid5,'Variance');
fprintf(fid6,'Var_Average');

for jj = 1:length(zid)
    fprintf(fid1,',%s',zid{jj});
    fprintf(fid2,',%s',zid{jj});
    fprintf(fid3,',%s',zid{jj});
    fprintf(fid4,',%s',zid{jj});
end

fprintf(fid1,'\n');
fprintf(fid2,'\n');
fprintf(fid3,'\n');
fprintf(fid4,'\n');

```



```

fprintf(fid5,'\n');
fprintf(fid6,'\n');

% II. Cascade Rainfall Model(EM-SRE)
%=====

% Loop The EventTime

for ii = 1:length(fname)
    % PERCENT TIME RUN FOR ALL DATA
    Time_Run = ((ii)/length(fname) ) *100;
    fprintf('Compease Percent = %3.2f\n',Time_Run);    % percent time run

    % RADAR RAINRATE (RR)
    % -----
    % Load Radar Rainrate
    load(fullfile(Radar_Pth,fname(ii).name)); % load data to DBZ
    t_str = fname(ii).name(3:12);           % time data radar

    Rx = -120:0.5:120;
    Ry = -120:0.5:120;
    [RX,RY] = meshgrid(Rx,Ry);

    % Make Radar-blind area missing data
    DBZ1 = double(DBZ(:, :, 1));
    DBZ1(DBZ1<0) = nan;
    DBZ1(DBZ1<15) = 0;
    DBZ1(DBZ1>53) = 53;
    DBZ1( (RX.^2+RY.^2)<=Min_Blind.^2 ) = nan;

    % Select only 128 x 128 pixel area around Bkk
    DBZ = DBZ1(177:304,177:304);
    Rx = Rx(177:304);
    Ry = Ry(177:304);

    % Convert Radar to Radar Rainrate
    RR = 10.^( (1/b)*( (DBZ+DBZ_add)/10 - log10(a) ) );
    RRm = nanmean( RR( RR>Thres ) ); % mean radar rainrate

    % GAUGE RAINRATE (GR)
    % -----
    % Load Gauge Rainrate
    [GR,Gx,Gy] = fGauge2Grid(z(:,ii),zid,GaugeLocation,0.5,64);
    GR(GR<Thres2)= nan; % Screen rainfall less then 0.5

    % select only corresponding 256 x 256 pixel area around bkk
    GR = GR(1:256,1:256);
    Gx = Gx(1:256);
    Gy = Gy(1:256);

    % select only corresponding Gauge 128 x 128 around blind area
    GR2 = GR(65:192,65:192);
    Gx2 = Gx(65:192);
    Gy2 = Gy(65:192);

```

```

% Initially fill the missing with help from Gauge
idx = isnan(RR) & ~isnan(GR2);
RRb = RR;
RRb(idx) = GR2(idx);
RRb = fill_nans(RRb,0,0);

% FIND THE PARAMETER USING FEM
% -----
% Convert to log-rainrate and treat no-rain pixel = NaN
M = length(Qi);

Z{M-1} = log(RR/RRm);   Z{M-1}(RR<Thres) = nan;   % not fill
nan
Z{M}    = log(GR/RRm);   Z{M}(GR<Thres)    = nan;

% Estimate the parameter: Qf and Rf
Qf = Qi;
Rf = Ri;
for jj = 1:iter
    fprintf(' ');
    [Qf,Rf] = fEMSRE(bn,Qf,Rf,Z);
    Qsave = Qf(:);
    Rsave = Rf(:);
end
% Recalculate Qf from scale m = 5,...,M-1, and Rf(M) = 0.01
Qf = ones(size(Qf))*mean(Qf(5:end-1));
Rf(M) = 0.01;

% ESTIMATE THE ESTIMATE RAINRATE (XR) @ radar scale
% -----
X = fSRE(bn,Qf,Rf,Z);

% Convert log-rainrate to rainrate (mm/hr) at radar scale only
XR = exp(X{M-1})*RRm;
XR(RR<Thres) = 0;

% PLOT RR is Radar Rainfall from Z-R , GR is Rainfall from gauge ,
% and XR is Rainfall from Casacade Rainfall Model
% -----
figure(1), colormap(cmap_rain2);

% Plot Rainfall from z-r Relationship
subplot('position',[0.37 0.10 0.28 0.80]);
imagesc(Rx,Ry,RR),axis xy square, hold on,plot(sta_x,sta_y,'ok'),
set(gca,'FontSize',FontSize,'XTick',XYTick,'YTick',XYTick);
caxis([-1 63]), grid, colorbar('FontSize',FontSize),
nn = title('ฝนจากเรดาร์(มม/ชม) a=128, b=1.5');
axis([-32 32 -32 32]), %
set(nn,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',FontSize2);

```

```

% Plot Gagelocation
subplot('position',[0.05 0.10 0.28 0.80]);
imagesc(Gx,Gy,GR), axis xy square, hold on
plot(sta_x,sta_y,'ob'), hold off;
set(gca,'FontSize',FontSize,'XTick',XYTick,'YTick',XYTick);
caxis([-1 63]), grid, colorbar('FontSize',FontSize),
axis([-32 32 -32 32]),
nn = title('ฝนจากเกจ (มม/ชม)');
set(nn,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',FontSize2);
% clear GR

% Plot cascade rainfall Model
subplot('position',[0.69 0.10 0.28 0.80]);
imagesc(Rx,Ry,XR),axis xy square,
set(gca,'FontSize',FontSize,'XTick',XYTick,'YTick',XYTick);
caxis([-1 63]), grid, colorbar('FontSize',FontSize),
axis([-32 32 -32 32]), %
nn = title(['ฝนจากแบบจำลอง ',datestr(EventTime(ii),'yyyy-mm-dd
HH:MM')]);
set(nn,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',FontSize2);

% Save Figure
JPGfname = sprintf('%s.jpg',datestr(EventTime(ii),'yyyymmddHHMM'));
print(gcf,'-r90','-djpeg60',fullfile(JPG_Pth,JPGfname));

% Save Rainfall @ Gauge Location
xr = fGrid2Gauge(XR,Rx,Ry,GaugeLocation,zid);
dbz = fGrid2Gauge(DBZ,Rx,Ry,GaugeLocation,zid);
rr = fGrid2Gauge(RR,Rx,Ry,GaugeLocation,zid);

% Print estimate rainfall at gauge location
fprintf(fid1,'%s',datestr(EventTime(ii)));
fprintf(fid1,'%3.2f',xr);
fprintf(fid1,'\n');

% Print dbz at gauge location
fprintf(fid2,'%s',datestr(EventTime(ii)));
fprintf(fid2,'%3.2f',dbz);
fprintf(fid2,'\n');
% Print gauge value at gauge location
fprintf(fid3,'%s',datestr(EventTime(ii)));
fprintf(fid3,'%3.2f',z(:,ii));
fprintf(fid3,'\n');

% Print Rainfall from z = aR^b gauge location
fprintf(fid4,'%s',datestr(EventTime(ii)));
fprintf(fid4,'%3.2f',rr);
fprintf(fid4,'\n');

% Save Parameter Qf and Rf for level
fprintf(fid5,'%s\t',datestr(EventTime(ii)));
fprintf(fid5,'%2.3f\t',Qsave);
fprintf(fid5,'%2.3f\t',Rsave);

```



```

fprintf(fid5, '\n');

% Save Parameter Qf and Rf for Average scale m = 5,...,M-1,
% and Rf(M) = 0.01
fprintf(fid6, '%s\t', datestr(EventTime(ii)));
fprintf(fid6, '%2.3f\t', Qf);
fprintf(fid6, '%2.3f\t', Rf);
fprintf(fid6, '\n');

% Convert to int8 and save data plot
DBZ(isnan(DBZ)) = -1;
Rx(isnan(Rx)) = -1;
Ry(isnan(Ry)) = -1;
RR(isnan(RR)) = -1;
GR(isnan(GR)) = -1;
XR(isnan(XR)) = -1;

DBZ = int8(DBZ);
Rx = int8(Rx);
Ry = int8(Ry);
RR = int8(RR);
Gx = int8(Gx2);
Gy = int8(Gy2);
GR = int8(GR2);
XR = int8(XR);

% Save to Mat file .Mat Database
save([Mat_Pth, 'RA', t_str, '.mat'], 'Rx', 'Ry', 'RR', 'Gx', 'Gy', 'GR'....
    , 'Gx2', 'Gy2', 'GR2', 'XR');
%Clear data save
clear DBZ Rx Ry RR Gx Gy GR Gx2 Gy2 GR2 XR
clc
end

fclose(fid1);
fclose(fid2);
fclose(fid3);
fclose(fid4);
fclose(fid5);
fclose(fid6);

```

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

% An Application of a spatial cascade model for Estimating Rainfall
% Thiessen Polygon Method compare cascade Rainfall model
% -----
% Copyright 2009 - Boonchana Taweerat <cboonchana@gmail.com>
% Last edited: March. 1, 2009 Modify
% Please credit me if you use or modify this code.
% -----

clear all; clc; close all; fclose('all');

Pth.BinIn='D:\Matlab\2005_CadeModel_New\2005_a128b15_New_New\a128b15_
fill\Output_Mat\';
Gauge.Pth = 'D:\Rainfall_2004_2007\2005_2548\';
Pth.JpgOut = './Output_2005_a128b15/';

if ~exist(Pth.JpgOut), mkdir(Pth.JpgOut); end

% Name Radar Station
fname = dir([Pth.BinIn, '*.mat']);

% Load latitude, Longitude guge station compear pasijarean
GaugeLocation = 'station_UTMxy.txt';
GaugeFile = 'GaugeSample.mat';

load station_xy_New.txt
sta_x = station_xy_New(:,1);
sta_y = station_xy_New(:,2);

% Output file Mean Cascade and Thiessen
TXTfname1 = './Output_Mean/Mean_Cascade_and_thiessen.txt';

fid1 = fopen(TXTfname1,'wt');
fprintf(fid1,'date time/Before Cascade/After Cascade/Thiessen/ ');
fprintf(fid1,'\n');

% Properties Set
load cmap_rain2.txt % colorbar
XYTick = -30:10:30; % length of image radar
FontSize = 14; % Dimension of Radar
FontSize2 = 18; % Title jpg

Min_Blind = 5 ;

% Set Figure Thiensen Polygon Compare Cascade Model
set(gcf,'position',[51 201 1200 400],'PaperPositionMode','auto',...
'color',[1 1 1]);

colormap(cmap_rain2);

```

```

%===== START PROGRAM =====
% I. Compare Data Rdar and Gauge
%=====

fname = dir(fullfile(Pth.BinIn, 'RA*.mat'));
for ii = 1:length(fname)
    EventTime(ii) = datenum( fname(ii).name(3:12) , 'yymmddHHMM' );
end

for ii = 1:length(fname)
    Time_Run = ((ii)/length(fname) ) * 100;
    fprintf('Compease Percent = %3.2f\n', Time_Run); % percent time run
    fprintf('.....')

    load ([Pth.BinIn, fname(ii).name]); % load Pth.BinIn
    t_str = fname(ii).name(3:12); % load time
    t = datenum(t_str, 'yymmddHHMM');
    fprintf('\nExecuting %s', fname(ii).name);

% load RR

RR = double(RR);
GR2 = double(GR2);
XR = double(XR);

% Blind Area not Rainfall
[X_I, Y_I] = meshgrid(-32:0.5:31.5);
RR((X_I.^2 + Y_I.^2) <= Min_Blind.^2) = 0;

% Blind Area not Rainfall Cascade Model
[X_I, Y_I] = meshgrid(-32:0.5:31.5);
XR((X_I.^2 + Y_I.^2) <= Min_Blind.^2) = 0;

% Theissen Plot
[XI, YI] = meshgrid(-32:32);
[xi, yi] = meshgrid(-64:63);

% Point data to grid
Gx2_ = xi(~isnan(GR2));
Gy2_ = yi(~isnan(GR2));
GR2_ = GR2(~isnan(GR2));

% GR2_(GR2_==0) = nan;
[Gx2_ Gy2_ GR2_ ];

% Griddata plot Theissen from point
ZI = griddata(Gx2_, Gy2_, GR2_, XI, YI, 'nearest');

% Blind Area not Rainfall Cascade Model
[X_I, Y_I] = meshgrid(-32:32);
ZI((X_I.^2 + Y_I.^2) <= Min_Blind.^2) = 0;

```



```

Mask = ones(size(ZI)); % Mask Area Polytgon
Mask_2 = ones(size(XR)); % Mask Area Radar
Mask_3 = ones(size(RR)); % Mask Area Radar

% Theissen YI and XI before axis xy
Mask(1:30,1:20) = -1 ; % Mask_A1
Mask(30:65,1:15) = -1 ; % Mask_A2
Mask(50:65,14:30) = -1 ; % Mask_A3
Mask(46:65,30:40) = -1 ; % Mask_A4
Mask(47:65,41:41.5) = -1 ; % Mask_A5
Mask(57:65,42:58) = -1 ; % Mask_A6
Mask(49:65,59:65) = -1 ; % Mask_A7
Mask(1:49,62:65) = -1 ; % Mask_A8
Mask(22:25,45:65) = -1 ; % Mask_A9
Mask(1:22,36:65) = -1 ; % Mask_A10
Mask(1:18,21:36) = -1 ; % Mask_A11

% Radar YI and XI before axis xy
[x1,y1]=meshgrid(-32:32);
[x2,y2]=meshgrid(-32:0.5:32);

% Aear bangkok for Radar Before EM-SRE
Mask_2 = interp2(x1,y1,Mask,x2,y2,'nearest');
Mask_2 = Mask_2(1:128,1:128);
% clear x1 y1 x2 y2

% Aear bangkok for Radar After Z-R Relation Ship
Mask_3 = interp2(x1,y1,Mask,x2,y2,'nearest');
Mask_3 = Mask_3(1:128,1:128);

clear x1 y1 x2 y2

% Mask = int8(Mask);
% GRR = ZI;
% Rain = mean(ZI(:));
GRR = ZI;
XRR = XR;
RRR = RR;

% Mask_Check = sum(isnan(ZI(Mask==1))), % > 0 Becuse NaN in elemaent
Theis_aver = mean(GRR(Mask==1)); % Theissen Polygon Average
Rain
Cascade_aver = mean(XRR(Mask_2==1));
ZR_aver = mean(RR(Mask_3==1));

% Percent different
% Per_diff = ((Theis_aver - Cascade_aver)/Theis_aver)*100 ;

% Print estimate mean cascade and thiessen
fprintf(fid1, '%s', datestr(EventTime(ii)));
fprintf(fid1, '\t');

```

```

fprintf(fid1, '%3.2f\t', ZR_aver) ;
fprintf(fid1, '%3.2f\t', Cascade_aver);
fprintf(fid1, '%3.2f\t', Theis_aver);
fprintf(fid1, '\n');

% Plot & save jpg
figure(1),
subplot('position',[0.05 0.10 0.28 0.80]);
pcolor(Rx,Ry,RRR),shading flat, %shading interp,
axis xy square, hold on, plot(sta_x,sta_y,'ob'),
contour(XI,YI,Mask,'k:')
set(gca,'FontSize',FontSize,'XTick',XYTick,'YTick',XYTick);
hold off, caxis([-1 63]), grid, colorbar('FontSize',FontSize),
axis([-32 32 -32 32]), %
nn = title(['a=128, b=1.5 (ก่อน) ค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ = '
,num2str(ZR_aver, '%2.3f')]);
set(nn,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);

subplot('position',[0.37 0.10 0.28 0.80]);
pcolor(Rx,Ry,XRR),shading flat, %shading interp,
axis xy square, hold on, plot(sta_x,sta_y,'ob'),
contour(XI,YI,Mask,'k:')
set(gca,'FontSize',FontSize,'XTick',XYTick,'YTick',XYTick);
hold off, caxis([-1 63]), grid, colorbar('FontSize',FontSize),
axis([-32 32 -32 32]), %
nn = title(['a=128, b=1.5 (หลัง) ค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ = '
,num2str(Cascade_aver, '%2.3f')]);
set(nn,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);

subplot('position',[0.69 0.10 0.28 0.80])
pcolor(XI,YI,GRR),shading flat, %shading interp,
axis xy square, hold on, plot(sta_x,sta_y,'ob'),
contour(XI,YI,Mask,'k:')
set(gca,'FontSize',FontSize,'XTick',XYTick,'YTick',XYTick);
hold off, caxis([-1 63]), grid, colorbar('FontSize',FontSize),
axis([-32 32 -32 32]), %
nn = title(['Thiessen Polygons ค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ = '
,num2str(Theis_aver, '%2.3f')]);
set(nn,'Fontname','Cordiaupc','FontSize',16);

% Plot map station
fname_out = [Pth.JpgOut, './RA',t_str,'_a.jpg'];
print(gcf, '-djpeg75',fname_out);
clc
end

```

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ	นายบุญชนะ ทวีรัตน์
เกิด	28 สิงหาคม พ.ศ.2524
สถานที่เกิด	จ.สุรินทร์
การศึกษา	<p>พ.ศ.2548 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี</p> <p>พ.ศ.2552 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</p>

## ผลงานทางวิชาการ

ชื่อบทความ แนวทางการปรับปรุงข้อมูลน้ำฝนจากสถานีเรดาร์โดยใช้แบบจำลองฝนเชิงพื้นที่แบบลำดับขั้น..ชื่อวารสาร .....การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติแห่งชาติ ครั้งที่.....13.....ฉบับที่ .....13..... ปีที่ตีพิมพ์ ...2551..... หน้า...107-112... ประเทศ .....ไทย.....

ศูนย์วิทยุทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย