

การประยุกต์ใช้ MVA เพื่อหาการเคลื่อนที่
และปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์

โดย

สุดาใจ โล่ห์วิชชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2552

Application of the Multi-resolution Viscous Alignment (MVA) for Rainfall filed
movement and Improvement on Radar Rainfall Estimation

By

Sudajai Lowanichchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Thammasat University
2009

การประยุกต์ใช้ MVA เพื่อหาการเคลื่อนที่และปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์
Application of the Multi-resolution Viscous Alignment (MVA) for Rainfall filed movement
and Improvement on Radar Rainfall Estimation

โดย

นางสุดาใจ โล่ห์วนิชชัย
Mrs.Sudajai Lowanichchai

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2552

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสุดาใจ โล่ห์วนิชชัย

เรื่อง

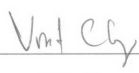
การประยุกต์ใช้ MVA เพื่อหาการเคลื่อนที่และปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

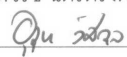
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

เมื่อ วันที่ 29 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2552

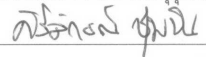
ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์


(ดร.วิรัช จันตรรงค์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์


(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรุยา วิสกุล)

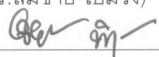
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม


(ดร.ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น)

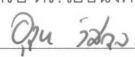
กรรมการวิทยานิพนธ์


(ดร.สมชาย ไบม่วง)

กรรมการวิทยานิพนธ์


(รองศาสตราจารย์ ดร.โยนกศักดิ์ ทิมสุวรรณ)

คณบดี


(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรุยา วิสกุล)

บทคัดย่อ

การวิจัยเพื่อเพิ่มพูนความถูกต้องแม่นยำของการประมาณปริมาณฝนด้วยข้อมูลฝนเรดาร์ในประเทศไทยได้ มีผู้ให้ความสนใจศึกษาอย่างหลากหลายรูปแบบ แต่อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอีกหลายปัจจัยที่ยังไม่ได้นำไปคำนึงถึงในกระบวนการคำนวณเพื่อประมาณค่าปริมาณฝนสำหรับการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประมาณฝนด้วยข้อมูลฝนเรดาร์โดยการพิจารณาการเคลื่อนที่ของเมฆฝนในกระบวนการคำนวณฝนเรดาร์สะสมรายชั่วโมงด้วยวิธี Multi - resolution Viscous Alignment (MVA) ซึ่งนำไปใช้ในขั้นตอนการคำนวณการเคลื่อนที่ของเมฆฝนจากภาพเรดาร์ 2 ภาพ ณ เวลาต่อเนื่องกัน ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้พื้นที่กรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่ศึกษาโดยใช้ข้อมูลการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่มีการตรวจวัดทุก 10 นาที จากสถานีภาชีเจริญ และใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนทุก 15 นาที จากสถานีวัดน้ำฝน 47 แห่ง ในการวิเคราะห์ที่ได้ใช้ฝนจำนวน 28 เหตุการณ์ในระหว่างปี 2548 และ 2549 เพื่อการหาค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ Z-R และใช้ฝนอีก 13 เหตุการณ์ ในปี 2550 เพื่อการทดสอบความน่าเชื่อถือของพารามิเตอร์ที่นำเสนอ จากการเปรียบเทียบผลการประมาณปริมาณฝนที่ได้จากวิธีเดิม ($Z = 45R^{1.5}$) กับผลการประมาณปริมาณฝนที่ได้จากการใช้วิธี MVA ช่วยในการหาความสัมพันธ์ Z-R ($Z = 130R^{1.5}$) พบว่าการเพิ่มความถี่ของภาพเรดาร์ด้วยวิธี MVA สามารถช่วยให้ได้ความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมที่ทำให้เพิ่มความแม่นยำในการประมาณปริมาณฝนได้ดีขึ้นโดยลดความคลาดเคลื่อนในรูปแบบของค่า RMSE จากเดิม 3.61 มม.ต่อชม. เป็น 2.99 มม.ต่อชม. สำหรับช่วงการสอบเทียบ และลดค่า RMSE จากเดิม 3.66 มม.ต่อชม. เป็น 2.61 มม.ต่อชม. ในช่วงของการทดสอบความน่าเชื่อถือของความสัมพันธ์ Z-R นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบหาค่าช่วงเวลาที่ดีที่สุดที่ใช้ในการเพิ่มความถี่ของภาพเรดาร์ โดยการทดลองเพิ่มความถี่ทุก 1 - 9 นาที ด้วยวิธี MVA ซึ่งพบว่าช่วงเวลา 5 นาที คือเวลาที่ดีที่สุดที่ใช้ในการเพิ่มความถี่ในการประมาณปริมาณฝนรายชั่วโมงด้วยเรดาร์ เนื่องจากเป็นช่วงที่ให้ค่าความถี่ความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณฝนน้อยที่สุด และยังพบว่าการพิจารณาแยกชนิดของเมฆในกระบวนการคำนวณช่วยให้การประมาณปริมาณฝนมีความถูกต้องยิ่งขึ้น โดยที่วิธี MVA ที่นำเสนอนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะใช้กับเมฆคิวมูลัส ยิ่งไปกว่านั้นยังได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ของการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์และพบว่าการประยุกต์ใช้วิธี MVA กับข้อมูลเรดาร์ที่มีการตรวจวัดทุก ๆ 20 นาที โดยทำการสังเคราะห์ข้อมูลเรดาร์ใหม่ให้มีความถี่ทุก ๆ 10 นาที พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนเรดาร์รายชั่วโมงที่ได้จากชุดข้อมูลดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับการใช้ข้อมูลการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที และท้ายที่สุดพบว่าการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเรดาร์โดยการพิจารณาผลของระยะทางจากสถานีเรดาร์ช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณฝนได้ดีกว่าการใช้วิธีปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและวิธีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

Abstract

Several studies, aiming to improve accuracy of estimation of rainfall from radar observation data in Thailand were conducted; however there are still various factors in the manipulation of radar rainfall estimation process which have to be considered. This research aims to improve accuracy of radar rainfall estimation by accounting for a storm movement in radar rainfall accumulation process. The Multi-resolution Viscous Alignment (MVA) technique was used to estimate velocity of rain field from two consecutive measured radar images. Bangkok was selected as the study area, using data of 10-minute radar reflectivity of the Pasicharoen radar and 15-minute rainfall data of the corresponding 47 rain gauge stations. 28 rainfall events during 2005 and 2006 were used in the calibration process while other 13 rainfall events occurred in 2007 were used for validation. Comparison between radar rainfall estimates obtained from the exiting conventional calibrated method ($Z=45R^{1.5}$) and the proposed relationship obtained from using the MVA technique ($Z=130R^{1.5}$) revealed that finer temporal resolutions generated by MVA can improve accuracy of hourly radar rainfall by reducing error of the radar rainfall estimation in term of RMSE from 3.61 mm/hr to 2.99 mm/hr and from 3.66 mm/hr to 2.61 mm/hr for the calibration and validation processes, respectively.

In addition, investigation of the optimal temporal resolution of reflectivity data by generating 9 finer temporal resolutions of radar reflectivity data sets which were between 1-minute to 9-minute based on the MVA technique revealed that the generated 5-minute MVA reflectivity data gave the smallest error in hourly radar rainfall estimation. It was further found that classification of cloud types can improve accuracy of radar rainfall estimation and that MVA technique was more suitable to be applied to cumulus cloud type. The effectiveness of applying the MVA technique to reduce frequency of reflectivity measurement was also performed. The result showed that the accuracy of hourly radar rainfall estimation obtained from using the MVA technique to generate 10-minute reflectivity data based on 20-minute measured reflectivity data was the same as using the 10-minute measured reflectivity data without applying MVA. It was finally found that using the range dependent bias adjustment method gave the smallest error in hourly radar rainfall estimation compared to mean field bias adjustment and temporal bias adjustment methods.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อุรุยา วิสกุล กรรมการและที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำแนะนำแก้ไขปัญหาในประเด็นต่างๆ อย่างครอบคลุมและรอบด้าน ทั้งยังถ่ายทอดประสบการณ์การทำงานวิจัย มุมมองประเด็นปัญหาของงานวิจัย เทคนิคการเขียนรายงานวิจัยและการเขียนบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ และช่วยเหลือแก้ไขให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งอบรมสั่งสอนแนะนำเทคนิคการเป็นครูและนักวิจัยที่ดี และการทำประโยชน์ให้แก่สังคม ให้คติในการดำเนินชีวิตทั้งทางด้านการทำงานและด้านครอบครัว ตลอดจนแง่คิด มุมมองต่างๆที่ทำให้เราใช้ชีวิตอยู่ในสังคมอย่างมีคุณค่าและมีความสุข ให้คำแนะนำเทคนิคการนำเสนอผลงาน การเขียนรายงาน และให้ความเมตตาามาโดยตลอด

นอกจากนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ ดร.วิรัช ฉัตรตรงค์ ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำในการเขียนโปรแกรม MATLAB ให้คำแนะนำเกี่ยวกับเทคนิคต่างๆ ด้วยความเมตตาขอบคุณ ดร.สมชาย ไบม่วง ผู้อำนวยการสำนักพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้ความรู้และแนะนำการประยุกต์ใช้ข้อมูลเรดาร์ในรูปแบบต่างๆ และ รองศาสตราจารย์ ดร.โยนงค์ ทิมสุวรรณ ที่ได้ให้คำแนะนำแนวทางการทำวิจัยครั้งนี้ และได้ช่วยตรวจสอบวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงคำแนะนำในการแก้ไขจนเสร็จสมบูรณ์

ขอบคุณ คุณสรวิชัย เรืองฤทธิ์ วิศวกรประจำสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ คุณอนุสรณ์ หอมเมือง น้องปริญญาโท วิศวกรรมศาสตร์ (แหล่งน้ำ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และ คุณรัชเวช หาญชูวงศ์ น้องนักศึกษาปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตร์ (โยธา) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจกันอยู่เสมอ

ขอขอบคุณ คุณวิทยา โล่ห์วนิชชัย ที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และให้โอกาสผู้วิจัยได้ใช้เวลาทุ่มเทกับงานวิจัยอย่างเต็มที่ และขอบคุณแรงใจอันยิ่งใหญ่จาก นายธราธร โล่ห์วนิชชัย นางสาวพรรณพัชร โล่ห์วนิชชัย เด็กหญิงพิมพ์ชนก โล่ห์วนิชชัย และเด็กหญิงญานันท์ ชุ่มชื่น ที่ทำให้ผู้วิจัยทำงานจนสำเร็จ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาและให้โอกาสในการศึกษา ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่อนุเคราะห์ให้สถานที่ในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอย่างยิ่งต่อ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวของผู้วิจัย
ที่ให้การอบรมเลี้ยงดูจนผู้วิจัยมีวันนี้ได้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะมีผลดีและ
ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อส่วนรวม ผู้วิจัยขออุทิศความดีนี้ให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสุดาใจ โล่ห์วนิชชัย
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2552

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	XIII
สารบัญภาพ	XVI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	8
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	9
1.4 พื้นที่ศึกษา	9
1.4.1 สภาพภูมิประเทศ	10
1.4.2 ลักษณะและปริมาณฝน	11
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 วิธีการติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน	15
2.1.1 การติดตามการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวล	15
2.1.2 การติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนโดยการใช้ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน	18
2.1.3 การติดตามกลุ่มฝนด้วยลักษณะการเปลี่ยนแปลง	19
2.2 มัลติเรโซลูชันวิศกส์อะไคแมนท์	20
2.3 เมฆและชนิดของเมฆ	24
2.3.1 เมฆตามลักษณะการปรากฏของเมฆ	25
2.3.1.1 เมฆระดับสูง	25
2.3.1.2 เมฆระดับกลาง	25
2.3.1.3 เมฆระดับต่ำ	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1.4 เมฆก่อตัวในแนวตั้ง	27
2.3.2 ชนิดของเมฆตามพฤติกรรมก่อเกิด	27
2.3.2.1 เมฆที่เกิดจากการพาความร้อน	27
2.3.2.2 เมฆที่เกิดจากการลอยตัวขึ้นทำให้เกิดแนวปะทะอากาศ	28
2.3.2.3 เมฆที่เกิดจากกระแสปั่นป่วน	29
2.4 หลักการทำงานของเรดาร์	29
2.5 การประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์	36
2.5.1 กระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลเรดาร์	36
2.5.2 วิธีหาสมการความสัมพันธ์ Z-R	37
2.5.2.1 Least-squares regression technique	38
2.5.2.2 Robust regression technique	38
2.5.2.3 A non-parametric technique	38
2.5.2.4 Neural network technique	38
2.6 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อน	39
2.6.1 ค่าคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณน้ำฝน	39
2.6.2 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณน้ำฝน	41
2.6.2.1 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	41
2.6.2.2 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนตามระยะทาง	42
2.6.2.3 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนที่แปรเปลี่ยนตามเวลา	43
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการประมาณการปริมาณฝนจากเรดาร์	44
บทที่ 3 ข้อมูลและขั้นตอนการวิจัย	
3.1 ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์	60
3.2 ข้อมูลจากสถานีวัดความเข้มฝน	63

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล	68
3.3.1 ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์	68
3.3.2 ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน	69
3.4 วิธีการศึกษา	71
3.4.1 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	72
3.4.2 การพัฒนาโปรแกรมเพื่อแปลงค่าสะท้อนกลับ 3 มิติ เป็น 2 มิติ	72
3.4.3 การประยุกต์ใช้วิธี MVA	72
3.4.4 การวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของสมการความสัมพันธ์ Z-R	72
3.4.5 การประเมินความถูกต้องของปริมาณน้ำฝนโดยเรดาร์ที่คำนวณจาก สมการความสัมพันธ์ Z-R ต่าง ๆ เทียบกับข้อมูลฝนจากสถานี วัดน้ำฝน	73
3.4.6 การทดสอบประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อประมาณฝน เรดาร์ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆชนิดต่างๆ	73
3.4.7 การปรับแก้ค่าปริมาณฝนจากเรดาร์ให้เทียบเท่ากับ ฝนจากสถานีวัดน้ำฝน	74
3.4.8 การทดสอบประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์	75
3.4.9 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	75
บทที่ 4 การประยุกต์ใช้ Multi-resolution Viscous Alignment	
4.1 การดำเนินการตรวจวัดฝนด้วยเรดาร์	76
4.2 ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการตรวจวัดด้วยเรดาร์	76
4.2.1 Plan Position Indicator	77
4.2.2 Constant Altitude Plan Position Indicator	78
4.2.3 Range-Height Indicator	79

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การประยุกต์ใช้ MVA เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ในการเพิ่มความถี่ข้อมูลฝนจากเรดาร์	80
4.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของสนามความเร็วที่ได้จากวิธี MVA	81
4.3.2 วิธีการสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลเรดาร์	83
4.4 การประยุกต์วิธี MVA ในการสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ ณ. ช่วงเวลาต่างๆ	86
4.5 การประยุกต์ใช้ MVA กับกลุ่มเมฆฝนชนิดต่าง ๆ	91
4.5.1 ผลของการวิเคราะห์	93
4.6 สรุปผลการศึกษาการประยุกต์ใช้ MVA เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์	97
บทที่ 5 ประยุกต์ใช้วิธี MVA ในขบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง	
5.1 การประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลเรดาร์	99
5.2 ขั้นตอนการดำเนินการ	101
5.2.1 การสอบเทียบเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย	101
5.2.2 การหาค่าความถี่ของข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์ที่เหมาะสม	102
5.3 ผลการศึกษา	105
5.3.1 ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์	105
5.3.2 การประยุกต์ใช้ข้อมูลที่สังเคราะห์จากเทคนิควิธี MVA ในการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง	106
5.3.2.1 ผลการสอบเทียบ	106
5.3.2.2 ผลการทวนสอบ	108
5.4 สรุปผลการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง	110
บทที่ 6 ผลกระทบของชนิดเมฆต่อการประมาณปริมาณฝนรายชั่วโมง	
6.1 ผลกระทบของชนิดของเมฆในการประมาณปริมาณฝน	112
6.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	113
6.3 ผลกระทบของชนิดของเมฆฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์	114

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.4 การวิเคราะห์ชนิดของเมฆฝนกับช่วงเวลาที่ภาพข้อมูลเรดาร์ห่างกัน 2 ภาพ	115
6.4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	115
6.4.1.1 เมฆฝนคิวมูลัส	115
6.4.1.2 เมฆฝนคิวมูโลนิมบัส	115
6.4.2 วิธีดำเนินการ	116
6.4.3 ผลการวิเคราะห์หาค่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสม	117
6.4.3.1 เมฆฝนคิวมูลัส	117
6.4.3.2 เมฆฝนคิวมูโลนิมบัส	118
6.5 สรุปผลการศึกษาผลกระทบของชนิดเมฆฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝน	120
 บทที่ 7 การปรับแก้ปริมาณฝนเรดาร์ด้วยข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน	
7.1 การปรับแก้ฝนบนฟ้าให้เทียบเท่ากับฝนบนพื้นดิน	122
7.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	123
7.3 ผลกระทบของการปรับแก้ปริมาณน้ำฝนเรดาร์	123
7.3.1 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนแบบค่าเฉลี่ยทั้งหมด	124
7.3.2 การปรับแก้ตามระยะทาง	126
7.3.3 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนตามเวลา	129
7.4 สรุปการปรับแก้ปริมาณฝนเรดาร์ด้วยข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน	132
 บทที่ 8 การทดสอบประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์	
8.1 นโยบายการดำเนินการตรวจวัดด้วยเรดาร์	134
8.2 การประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ในช่วงเวลาการตรวจวัดต่าง ๆ	135
8.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	135
8.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์	136
8.2.3 การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสม	138

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
8.2.3.1 ช่วงเวลาตรวจวัดห่างกัน 40 นาที	139
8.2.3.2 ช่วงเวลาตรวจวัดห่างกัน 30 นาที	140
8.2.3.3 ช่วงเวลาตรวจวัดห่างกัน 20 นาที	141
8.2.3.4 ช่วงเวลาตรวจวัดห่างกัน 10 นาที	143
8.3 สรุปผลการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์	145
บทที่ 9 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
9.1 สรุปผลการศึกษา	147
9.1.1 ผลจากการศึกษาการประยุกต์ใช้ MVA เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์	148
9.1.2 ผลจากการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง	149
9.1.3 ผลการศึกษาลักษณะของชนิดเมฆฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝน	149
9.1.4 ผลการปรับแก้ปริมาณน้ำฝนเรดาร์ด้วยข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน	150
9.1.5 ผลการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์	151
9.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป	151
9.3 คุณค่าทางวิชาการของวิทยานิพนธ์	152
บรรณานุกรม	153
ภาคผนวก ก Regression Model	
ภาคผนวก ข การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน	
ภาคผนวก ค โปรแกรมแปลงข้อมูลค่าสะท้อนกลับลงพิกัดจาก Radar Gauge ประวัติการศึกษา	

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	สภาพภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนในรอบ 30 ปี (พ.ศ 2504-2533) ของ กรุงเทพมหานคร	11
ตารางที่ 2.1	แถบคลื่น ความถี่และลักษณะการใช้งานของเรดาร์ชนิดต่าง ๆ	31
ตารางที่ 3.1	คุณสมบัติของเรดาร์ภาชีเจริญ เป็นชนิด C-band Minimax	60
ตารางที่ 3.2	ลักษณะของเหตุการณ์ฝน 41 เหตุการณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	65
ตารางที่ 3.3	รายละเอียดตำแหน่งของสถานีวัดความเข้มฝนที่ใช้ในการศึกษา	66
ตารางที่ 3.4	ตัวอย่างข้อมูลความเข้มฝนสะสมสถานีตรวจวัด ณ ศูนย์ควบคุมการป้องกัน น้ำท่วม กรุงเทพมหานคร วันที่ 3 เดือนเมษายน 2548	68
ตารางที่ 4.1	ผลการวิเคราะห์หาค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้ MVA และค่าสะท้อนที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์	87
ตารางที่ 4.2	ลักษณะเหตุการณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แยกตามชนิดของเมฆฝน	92
ตารางที่ 4.3	เปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างค่าสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้จากเทคนิค วิธี MVA และ สังเคราะห์ได้จากวิธีเฉลี่ยค่าสะท้อนกลับ	93
ตารางที่ 5.1	แสดงการแบ่งกลุ่มในการสังเคราะห์ภาพใหม่	105
ตารางที่ 5.2	เปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละความถี่ที่ใช้ในสังเคราะห์ข้อมูลค่า สะท้อนกลับของเรดาร์	106
ตารางที่ 5.3	สมการ Z-R เฉลี่ยของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบจำนวน 28 เหตุการณ์	107
ตารางที่ 5.4	เปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างประมาณปริมาณฝนเรดาร์ และฝนจากสถานีวัด น้ำฝนของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ	109
ตารางที่ 6.1	เกณฑ์วิธีการจำแนกกลุ่มเมฆฝนตามรูปแบบกลุ่มเมฆฝน	113
ตารางที่ 6.2	เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการวิเคราะห์เริ่มตั้งแต่ 19 มีนาคม – 20 กันยายน 2550	114
ตารางที่ 6.4	เปรียบเทียบ RMSE ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆฝนคิวมูโลนิมบัส ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ	118
ตารางที่ 6.5	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบเหตุการณ์เมฆคิวมูโลนิมบัส	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 6.6	เปรียบเทียบ RMSE ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆฝนคิวมูโลนิมบัสสำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ	120
ตารางที่ 7.1	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ด้วย G/R ค่าเฉลี่ยทั้งหมด (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้สอบเทียบ)	125
ตารางที่ 7.2	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้โดยใช้ G/R แบบค่าเฉลี่ยทั้งหมด (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ทวนสอบ)	125
ตารางที่ 7.3	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ด้วยวิธีปรับแก้ตามระยะทาง (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้สอบเทียบ)	128
ตารางที่ 7.4	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ด้วยวิธีปรับแก้ตามระยะทาง (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ทวนสอบ)	129
ตารางที่ 7.5	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ด้วยวิธีปรับแก้แบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้สอบเทียบ)	130
ตารางที่ 7.6	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ด้วยวิธีปรับแก้แบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ทวนสอบ)	131
ตารางที่ 7.7	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้แฟคเตอร์ปรับแก้ G/R ทั้ง 3 วิธี (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้สอบเทียบ)	132
ตารางที่ 7.8	RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้แฟคเตอร์ปรับแก้ G/R ทั้ง 3 วิธี (สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ทวนสอบ)	132
ตารางที่ 8.1	รายละเอียดเหตุการณ์ฝนทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์	135
ตารางที่ 8.2	ช่วงเวลาในการตรวจวัด และ ช่วงเวลาที่ใช้วิธี MVA ในการสังเคราะห์ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ภาพใหม่	136

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 8.3	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 40 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีสอบเทียบ)	139
ตารางที่ 8.4	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 40 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีทวนสอบ)	140
ตารางที่ 8.5	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 30 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีสอบเทียบ)	141
ตารางที่ 8.6	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 30 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีทวนสอบ)	141
ตารางที่ 8.7	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 20 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีสอบเทียบ)	142
ตารางที่ 8.8	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 20 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีทวนสอบ)	142
ตารางที่ 8.9	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 10 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีสอบเทียบ)	143
ตารางที่ 8.10	เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 20 นาที และช่วง ความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีทวนสอบ)	144
ตารางที่ 8.11	RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนเรดาร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ข้อ มูลค่าสะท้อนกลับที่ความถี่ต่าง ๆ (กรณีสอบเทียบ)	145
ตารางที่ 8.12	RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนเรดาร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ข้อมูลค่าสะท้อนกลับที่ความถี่ต่าง ๆ (กรณีทวนสอบ)	145

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1	ทิศทางของมรสุมและช่วงเวลาที่เกิดในบริเวณประเทศไทย
ภาพที่ 1.2	ตำแหน่งที่ตั้งของเรดาร์ภาชีเจริญ
ภาพที่ 1.3	พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร
ภาพที่ 1.4	กราฟแสดงอุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และปริมาณฝน เฉลี่ยในรอบ 30 ปี ของกรุงเทพมหานคร
ภาพที่ 2.1	ตัวอย่างการจัดกลุ่มฝนตามค่าสะท้อน ซึ่งค่าสะท้อนเกินกว่าค่าที่กำหนดให้
ภาพที่ 2.2	การกำหนดค่าความเข้มของกลุ่มฝน 50, 45, 40, 35 และ 30 dBZ ในแต่ละส่วน ของกลุ่มฝนตามรัศมีการตรวจวัด
ภาพที่ 2.3	แนวความคิด Filed alignment ภาพ $X(r)$ บนกริดปกติมีการเปลี่ยนแปลงไป ตามสนามความเร็ว q
ภาพที่ 2.4	เมฆและชนิดของเมฆที่ระดับความสูงต่างๆ
ภาพที่ 2.5	เมฆในระดับสูงจะเห็นเป็นเงาสีขาวบาง ๆ เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ
ภาพที่ 2.6	เมฆในระดับกลาง จะเห็นเป็นปุยสีขาว
ภาพที่ 2.7	เมฆในระดับต่ำ ประกอบด้วยเม็ดน้ำจำนวนมาก
ภาพที่ 2.8	ก่อดัวในแนวตั้งรุนแรง มีการปลดปล่อยพลังงานผ่านไอน้ำทำให้เกิดฝนฟ้า คะนอง
ภาพที่ 2.9	พฤติกรรมการเกิดเมฆฝนจากการพาความร้อน
ภาพที่ 2.10	พฤติกรรมการเกิดเมฆที่เกิดจากแนวปะทะ
ภาพที่ 2.11	พฤติกรรมการเกิดเมฆจากกระแสปั่นป่วน
ภาพที่ 2.12	เรดาร์ส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปกระทบเป้าหมายและสะท้อน กลับมายังเครื่องรับที่เรดาร์
ภาพที่ 2.13	เรดาร์ส่งลำแสงคลื่นพลังงานออกไปในลักษณะพัลส์ซึ่งมีความกว้าง h ในช่วง เวลา τ

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 2.14	การหาความสูงของเป้าหมายในการกวาดของเรดาร์ 32
ภาพที่ 2.15	ข้อมูลที่เรดาร์ตรวจวัด ณ มุมต่าง ๆ กัน 33
ภาพที่ 2.16	ค่าการกระจายฝนในหนึ่งพิกเซลของเรดาร์ 40
ภาพที่ 2.17	ผิวของโลกเป็นลักษณะเส้นโค้ง 42
ภาพที่ 2.18	ลักษณะของลำคลื่นพลังงานเรดาร์เมื่อดำเนินการตรวจวัด 42
ภาพที่ 3.1	ข้อมูลโพลาร์พิกัด ($13, 23^\circ$) 61
ภาพที่ 3.2	ภาพ PPI แสดงข้อมูลวันที่ 23 มิถุนายน 2548 เวลา 19.00 น. 62
ภาพที่ 3.3	พื้นที่ของกรุงเทพมหานครแสดงตำแหน่งที่ตั้งของเรดาร์ภาชีเจริญและสถานีวัด ความเข้มฝน 64
ภาพที่ 3.4	ข้อมูลภาพค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ วันที่ 12 กรกฎาคม 2548 (ก) ข้อมูลภาพ ณ เวลา 12.40 น. (ข) ข้อมูลภาพ ณ เวลา 13.50 น. 69
ภาพที่ 3.5	การตรวจสอบความถูกต้องของสถานีวัดน้ำฝน (I) RE18 และ (II) RE19 โดยวิธี Double mass curve 70
ภาพที่ 3.6	ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย 71
ภาพที่ 4.1	ลักษณะการตรวจวัดแบบ PPI 77
ภาพที่ 4.2	ภาพ PPI แสดงค่าสะท้อนกลับการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของพายุ 78
ภาพที่ 4.3	ค่าสะท้อนกลับของข้อมูลแสดงแบบ CAPPI ที่ระยะความสูง 1.5 กิโลเมตร ของ เรดาร์ Montreal 79
ภาพที่ 4.4	เรดาร์กวาดจับเป้าหมายด้วยมุมคงที่ 79
ภาพที่ 4.5	ภาพหน้าตัดขวางของ convective rain สร้างใหม่เป็น RHI โดยใช้ข้อมูล PPI จากเรดาร์ NEXRAD 80

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.6	ผลการทดสอบหาสนามความเร็วด้วยวิธี MVA ภาพ (I) และภาพ (II) เป็นข้อมูลนำเข้า (III) เป็นสนามความเร็วจริงและ(IV) เป็นสนามความเร็วที่คำนวณได้จาก MVA	82
ภาพที่ 4.7	ผลการเคลื่อนที่ของมวลฝนสังเคราะห์ด้วยสนามความเร็วจากวิธี (I),(II)เป็นข้อมูลมวลฝนนำเข้า ณ เวลาที่ 1 และ 2 ,(III) สนามความเร็วที่คำนวณได้จาก MVA	83
ภาพที่ 4.8	จุด (x,y) หาได้จากการประมาณค่า จากจุด (x_0,y_0) และ (x_1,y_1)	84
ภาพที่ 4.9	การเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการสังเคราะห์ข้อมูลเรดาร์โดยใช้วิธี MVA และวิธี SLI	85
ภาพที่ 4.10	ารเปรียบเทียบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์จากวิธี MVA (RMSE =8.56 dBZ) และวิธี SLI (RMSE= 11.69 dBZ) ของเหตุการณ์ฝน ณ วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 เวลา 18:11 น.โดยภาพ 2 ภาพห่างกัน 20 นาที	88
ภาพที่ 4.11	การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์จากวิธี MVA (RMSE = 11.81 dBZ) และวิธี SLI (14.74 dBZ)ของเหตุการณ์ฝน ณ วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 เวลา 18:21 น.โดยภาพ 2 ภาพห่างกัน 40 นาที	88
ภาพที่ 4.12	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์(ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 20 นาที) ทุก ๆ 10 นาที	89
ภาพที่ 4.13	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 40 นาที)ทุก ๆ 10 นาที	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.14	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 40 นาที) ทุก ๆ 20 นาที	91
ภาพที่ 4.15	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA จากกลุ่มเมฆคิวโมโลนิมบัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพซึ่งห่างกัน 20 นาที) ทุก ๆ 10 นาที	94
ภาพที่ 4.16	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA จากกลุ่มเมฆคิวมูลัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 20 นาที) ทุก ๆ 10 นาที	94
ภาพที่ 4.17	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA ของกลุ่มเมฆฝนคิวโมโลนิมบัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 40 นาที) ทุก ๆ 20 นาที	95
ภาพที่ 4.18	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA ของกลุ่มเมฆฝนคิวมูลัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 40 นาที) ทุก ๆ 20 นาที	96
ภาพที่ 4.19	กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA ของกลุ่มเมฆคิวโมโลนิมบัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 40 นาที) ทุก ๆ 10 นาที	96

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.20	แจกแจงความถี่ของ RMSE ระหว่างค่าสะท้อนที่ตรวจวัดได้จริงกับค่าสะท้อนที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA ณ นาฬิกาที่ 10 จากข้อมูลภาพ 2 ภาพห่างกัน 40 นาที สำหรับกลุ่มเมฆคิวมูลัส	97
ภาพที่ 5.1	ผังแสดงขั้นตอนการหาสนามความเร็วของ MVA เพื่อใช้ในการสร้างภาพใหม่	104
ภาพที่ 5.2	กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน (กรณีทวนสอบ)	110
ภาพที่ 6.1	ตัวอย่างเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูโลนิมบัส; (I) คือ ลักษณะเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูโลนิมบัส; (II) คือ ภาพเหตุการณ์ฝนวันที่ 16 กรกฎาคม 2550	116
ภาพที่ 6.2	ตัวอย่างเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูลัส; (I) ลักษณะเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูลัส (II) คือ ภาพเหตุการณ์ฝนวันที่ 19 มีนาคม 2550	116
ภาพที่ 7.1	ค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ G/R ตามระยะทางจากสถานีเรดาร์ของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ	127
ภาพที่ 8.1	ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ได้จากการตรวจวัด ; (I) ภาพเรดาร์ 2 ภาพ ห่างกัน 20 นาที, (II) ภาพเรดาร์ 2 ภาพ ห่างกัน 30 นาที, (III) ภาพเรดาร์ 2 ภาพ ห่างกัน 40 นาที	137
ภาพที่ 8.2	ภาพที่สังเคราะห์ใหม่จากวิธี MVA ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ; (I) ภาพเรดาร์สังเคราะห์ใหม่จากภาพการตรวจวัด 2 ภาพซึ่งห่างกัน 20 นาที, (II) ภาพเรดาร์สังเคราะห์ใหม่จากภาพการตรวจวัด 2 ภาพซึ่งห่างกัน 30 นาที, (III) ภาพเรดาร์สังเคราะห์ใหม่จากภาพการตรวจวัด 2 ภาพซึ่งห่างกัน 40 นาที	138

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ฝนเป็นน้ำตามธรรมชาติในวัฏจักรของน้ำที่ให้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ฝนก่อให้เกิดการไหลของน้ำในแม่น้ำลำคลองลงสู่ทะเลมหาสมุทร รวมถึงซึมลงไปถึงกักยังแหล่งน้ำใต้ดินที่สามารถนำเอามาใช้งานให้เกิดประโยชน์ ฝนที่ตกลงโดยตรงในพื้นที่เกษตรกรรมก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญ อย่างไรก็ตามฝนที่มากเกินไปในช่วงเวลาหนึ่งๆ สามารถทำให้เกิดน้ำท่วมก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ฝนที่น้อยเกินไปในช่วงเวลาหนึ่งๆ ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่เกษตรกรรมและความเป็นอยู่ของประชาชน ดังนั้นความสามารถในการพยากรณ์ฝนได้ล่วงหน้าจึงเป็นประโยชน์ต่อการเตรียมการวางแผนและการบริหารจัดการน้ำได้เป็นอย่างดี

ในทางอุทกวิทยาฝนเป็นตัวแปรสำคัญที่มีบทบาทในการนำไปใช้ในการคำนวณแทบทุกประเภท ตั้งแต่ตัวแปรนำเข้าของแบบจำลองทางอุทกวิทยาหรือแบบจำลองทางการจัดการน้ำ ตลอดจนแบบจำลองทางชลศาสตร์ที่ใช้ในการพยากรณ์น้ำท่วม หากแต่ปัญหาที่พบอยู่เสมอในกระบวนการคำนวณก็คือ ยังไม่สามารถหาวิธีประมาณปริมาณน้ำฝนได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ทั้งในเชิงการกระจายของฝนในพื้นที่ และการกระจายของฝนในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งเนื่องมาจากวิธีตรวจวัดฝนที่มีอยู่ในปัจจุบัน

โดยทั่วไปแล้วการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนที่สถานีตรวจวัดฝนบนพื้นดิน จึงเป็นปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นดิน ปัญหาในการประมาณปริมาณน้ำฝนที่พบอยู่เสมอคือ ความสามารถในการคำนวณหาการกระจายของปริมาณฝนในพื้นที่ต่าง ๆ ที่ไม่มีสถานีวัดน้ำฝนตั้งอยู่จึงไม่มีความแม่นยำ เนื่องจากความหนาแน่นของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ไม่เพียงพอ

ต่อมาได้มีความพยายามในการตรวจวัดฝนที่จะเกิดขึ้นให้ครอบคลุมพื้นที่ต่าง ๆ ให้กว้างขึ้น จึงได้มีการตรวจวัดฝนจากระยะไกลโดยใช้เรดาร์ตรวจอากาศ (Weather radar) ซึ่งสามารถตรวจวัดฝนบนฟ้าได้ครอบคลุมบริเวณพื้นที่กว้างขวางขึ้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับรัศมีในการตรวจวัดของเรดาร์ (มีขนาดตั้งแต่ 100 กิโลเมตร ขึ้นไป) นอกจากจะสามารถตรวจวัดฝนบนฟ้าให้ครอบคลุมพื้นที่จริงแล้ว เรดาร์ตรวจอากาศยังสามารถตรวจวัดพฤติกรรมของฝนตั้งแต่การกระจาย

ของขนาดเม็ดฝนตลอดจนทิศทาง และความเร็วของการเคลื่อนที่ของกลุ่มเม็ดฝน ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญที่ช่วยให้การพยากรณ์ฝนให้มีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ดี เนื่องจากฝนบนฟ้าที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์กับฝนบนดินที่ตกลงมาจริงและตรวจวัดได้ที่สถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินมีปริมาณที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีการวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างละอองน้ำของฝนบนฟ้า ซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Z) และความเข้มของเม็ดฝนที่ตกลงมาบนดิน (R) จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาความสัมพันธ์ดังกล่าวถูกเรียกว่าเป็นความสัมพันธ์ $Z-R$ และนำเสนอให้อยู่ในรูปแบบ $Z = aR^b$ โดยที่ค่าคงที่ a กับ b เป็นพารามิเตอร์ที่สามารถใช้อธิบายลักษณะการกระจายของขนาดเม็ดฝนได้ด้วย (Martner et al. 2005) สำหรับการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่าง $Z-R$ ในประเทศไทยสามารถสรุปได้ดังนี้

รัชนิวรรณ ตาพุมาศสวัสดิ์ (2549) ทำการศึกษาประมาณการปริมาณน้ำฝนโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ ในบริเวณพื้นที่อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่เป็นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ 2,093.8 ตารางกิโลเมตร ในการหาความสัมพันธ์ระหว่าง Z และ R ใช้ข้อมูลเรดาร์แบบ Constant Altitude Plan Position Indicator (CAPPI) มีความถี่ทุก ๆ 5 นาที กับข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติจำนวน 40 สถานี ซึ่งกระจายในพื้นที่สม่ำเสมอ กล่าวคือมีระยะห่างระหว่างสถานี 10 กิโลเมตร ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนมีการบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้วิเคราะห์หาค่า $Z-R$ เป็นข้อมูลปี พ.ศ. 2539 ในการวิเคราะห์ดังกล่าวได้ใช้วิธีสมการถดถอย (Regression) เปรียบเทียบกับวิธี Probability Matching Method (PMM) จากผลการวิเคราะห์ทำให้ได้ ความสัมพันธ์ $Z-R$, จากวิธีสมการถดถอยเป็น $Z=96R^{1.71}$ โดยมีค่าของ $R^2 = 0.8607$ และได้ความสัมพันธ์ $Z-R$ โดยวิธี PMM ได้สมการความสัมพันธ์ของสมการ $Z-R$ ที่เหมาะสมคือ $Z=300R^{1.42}$ และค่าของ $R^2 = 0.9725$ ซึ่งให้ผลการประมาณการปริมาณฝนเรดาร์ใกล้เคียงกับค่าของปริมาณฝนที่วัดจากสถานีวัดน้ำฝน เพราะปริมาณฝนเรดาร์จากสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่ได้จากวิธี PMM มีค่าความแปรปรวนน้อยกว่าปริมาณฝนที่ได้จากความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่หาได้จากวิธีสหสัมพันธ์ถดถอย อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ ไม่ได้นำเอาชนิดของเมฆมาพิจารณาในการหาความสัมพันธ์ระหว่าง $Z-R$ ทำให้ค่าพารามิเตอร์ a กับ b จากความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นพารามิเตอร์ทั่วไป ที่ไม่สะท้อนค่าขนาดและการกระจายของเม็ดฝน

ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น (2549) ทำการศึกษารูปแบบการปรับแก้ข้อมูลฝนเรดาร์โดยการหาแฟคเตอร์ที่พิจารณาผลกระทบของการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนเพื่อที่จะใช้ในการหาแฟคเตอร์การปรับแก้ค่าความถูกต้องของฝนเรดาร์โดยพิจารณาหลังจากปรับแก้แล้ว ในการศึกษาดังกล่าวใช้ข้อมูลเรดาร์จากสถานีเรดาร์ดอนเมือง ซึ่งเป็นเรดาร์ชนิด S-band และใช้ข้อมูลฝนจาก

สถานีวัดน้ำฝนจำนวน 106 สถานี ที่กระจายอยู่ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลฝนและข้อมูลเรดาร์ที่ใช้ในการศึกษาคือข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่บันทึกระหว่างวันที่ 13-14 กันยายน พ.ศ. 2548 ซึ่งเป็นปริมาณน้ำฝนที่ทำให้เกิดน้ำท่วมพื้นที่กรุงเทพมหานคร จากการเปรียบเทียบความถูกต้องของปริมาณน้ำฝนที่ประมาณได้จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพและผ่านการปรับแก้ โดยใช้แฟคเตอร์ที่คำนวณได้จากสถานีวัดน้ำฝนที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพแล้ว กับความถูกต้องของปริมาณน้ำฝนที่ประมาณได้จากสถานีวัดน้ำฝนที่ไม่มีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลพบว่า การประมาณปริมาณน้ำฝนที่ประมาณแบบที่ข้อมูลปรับแก้มีความถูกต้องมากกว่าโดยวัดจากค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยตลอดเหตุการณ์ที่ได้จากการปรับแก้แล้ว มีค่าลดลง 12.61% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้ข้อมูลสถานีวัดฝนที่ไม่มีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตามในการศึกษาดังกล่าว การปรับแก้โดยคิดค่าแฟคเตอร์เป็นการปรับแก้แต่เป็นการปรับแก้โดยคิดค่าแฟคเตอร์เป็นปรับแก้โดยภาพรวม ไม่ได้มีการแยกพิจารณาว่าสถานีวัดน้ำฝนนั้นอยู่ห่างจากเรดาร์เป็นเท่าไร

ต่อมาในปี พ.ศ. 2550 ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น ได้นำเสนอวิธีการหาความสัมพันธ์ Z-R ของเรดาร์สถานีภาชีเจริญ โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์โดยคำนึงถึงค่าสะท้อนกลับที่ตรวจวัดได้โดยเรดาร์ชนิด C-band ซึ่งมีค่า Attenuation สูงทั้งนี้เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของการประมาณการปริมาณฝนด้วยข้อมูลเรดาร์ ในการศึกษาดังกล่าวใช้ข้อมูลการสะท้อนกลับของเรดาร์ภาชีเจริญซึ่งเป็นข้อมูลเรดาร์แบบ Plan Position Indicator (PPI) และข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำกรุงเทพมหานครจำนวน 61 แห่งที่กระจายอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยใช้ข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2548-2549 จำนวน 31 เหตุการณ์ จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของสมการความสัมพันธ์ Z-R พบว่าเมื่อปรับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดให้สูงขึ้น 5dBZ ส่งผลให้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยที่วิเคราะห์ได้ ($Z=128R^{1.5}$) สามารถประมาณปริมาณน้ำฝนได้ถูกต้องขึ้นโดยลดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 7.89 % เมื่อเปรียบเทียบกับการประมาณการปริมาณน้ำฝนด้วยสมการความสัมพันธ์เดิมที่ใช้อยู่ คือ $Z = 200R^{1.6}$ (Marshall และ Palmer, 1948) อย่างไรก็ตามในการศึกษาดังกล่าวยังไม่ได้คำนึงถึง การเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน หรือคัตแยกชนิดของเมฆฝนในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ Z-R

Piman et al. (2007) ได้ศึกษาหาค่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ในกรณีที่ฝนเป็นฝนภูเขาบนภูมิประเทศพื้นที่ภูเขา (ฝนแบบ Orographic) โดยใช้พื้นที่ลุ่มน้ำแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ เป็นพื้นที่ศึกษา โดยใช้ข้อมูลเรดาร์ทุก 5 นาที และข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ในพื้นที่ ข้อมูลที่ใช้

อยู่ในช่วง วันที่ 15-18 กันยายน ค.ศ. 1999 สำหรับการ Calibration และ ใช้ข้อมูลในช่วง วันที่ 11-14 กันยายน ค.ศ. 2000 สำหรับการ Validation ทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Window Correlation Matching Method (WCMM) ขนาด 7x7 km และจากผลการวิเคราะห์พบว่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมคือ $Z=18.05R^{1.45}$ และสรุปว่า วิธี WCMM สามารถนำมาใช้ในการหาสมการความสัมพันธ์ Z-R เพื่อช่วยในการประมาณการปริมาณน้ำฝนได้โดยมีความถูกต้องเพิ่มขึ้น 3 % เมื่อเทียบกับปริมาณฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน อย่างไรก็ตามในการศึกษาดังกล่าวยังไม่ได้คำนึงถึงกระบวนการเกิดฝนในพื้นที่ภูเขา กล่าวคือยังไม่ได้คำนึงถึงการเคลื่อนที่ของเมฆฝนตลอดจนลักษณะสภาพภูมิประเทศความสูงชันของภูเขาซึ่งสามารถทำให้เมฆฝนที่เคลื่อนมาปะทะเกิดเป็นฝนได้ ดังนั้นหากการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต นำปัจจัยเหล่านี้ เข้าไปพิจารณาในกระบวนการคำนวณประมาณปริมาณฝน น่าจะทำให้ความสามารถในการประมาณปริมาณฝนมีความถูกต้องแม่นยำขึ้น

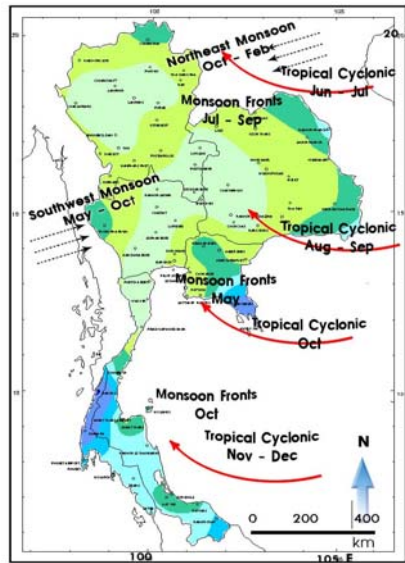
Puttaraksa and Sriwongsitnon (2008) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ของค่าสะท้อนกลับเรดาร์และอัตราการตกของฝน ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนโดยใช้ข้อมูลฝนเฉลี่ยจากเรดาร์อมก๋อยและข้อมูลฝนเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝนรายวัน มาวิเคราะห์ด้วยวิธี Linear regression จากผลการวิเคราะห์ได้ค่าความสัมพันธ์ $Z=74R^{1.6}$ เมื่อนำค่าที่หาได้มาเปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนแล้วพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนในช่วงสอบเทียบของสมการที่หาได้มีค่าต่ำกว่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากสมการ Z-R, $Z=200R^{1.6}$ อย่างไรก็ตามสมการใหม่นี้ยังไม่ได้นำไปทดสอบความน่าเชื่อถือกับเหตุการณ์ฝนจริงนอกจากเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการหาพารามิเตอร์ ยิ่งไปกว่านั้นในการวิเคราะห์ยังไม่ได้คำนึงถึงการกระจายของฝนในช่วงเวลาที่เหมาะสม กล่าวคือใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์ซึ่งขาดความสอดคล้องกับการกระจายของฝนในเวลา ซึ่งอย่างน้อยควรจะเป็นข้อมูลราย 15 นาที หากการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคตคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าว น่าจะทำให้การประมาณปริมาณน้ำฝนมีความถูกต้องมากขึ้นและนำไปใช้จริงในทางปฏิบัติ

จากการ ศึกษาวิจัยที่ผ่านมาดังกล่าวมาแล้วในเบื้องต้น เป็นความพยายามในการปรับปรุงความถูกต้องของการประมาณปริมาณฝน โดยการนำข้อมูลเรดาร์ในประเทศไทย ซึ่งเห็นได้ว่ายังมีปัจจัยอีกหลากหลายปัจจัยในกระบวนการเกิดฝนที่ต้องนำมาพิจารณาในการประมาณการปริมาณฝนให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น สำหรับการศึกษานี้จะได้นำเอาการเคลื่อนที่ของเมฆฝนรวมทั้งชนิดของเมฆฝนมาพิจารณาในกระบวนการคำนวณหาปริมาณฝนจากข้อมูลเรดาร์ ดังจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชียระหว่างละติจูด 5 องศา 37 ลิปดาเหนือ กับ 20 องศา 27 ลิปดาเหนือ และระหว่างลองจิจูด 97 องศา 22 ลิปดา ตะวันออกกับ 105 องศา 37 ลิปดาตะวันออก มีพื้นที่ 513,115 ตารางกิโลเมตร (ประเสริฐ วิทยารัตน์, 2545) ทำเลที่ตั้งของประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุม 2 ชนิด คือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (Southwest monsoon) และ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Northeast monsoon) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 1.1

มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พัดปกคลุมประเทศไทยระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม โดยมีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูง ในซีกโลกใต้บริเวณมหาสมุทรอินเดีย ซึ่งพัดออกจากศูนย์กลางเป็นลมตะวันออกเฉียงใต้ และเปลี่ยนเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้เมื่อพัดข้ามเส้นศูนย์สูตร มรสุมนี้จะนำมวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดียมาสู่ประเทศไทย ทำให้มีเมฆมากและฝนตกชุกทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามบริเวณชายฝั่งทะเล และเทือกเขาด้านรับลมจะมีฝนมากกว่าบริเวณอื่น

มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ หลังจากหมดอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แล้ว ประมาณกลางเดือนตุลาคม จะมีมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทย จนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ มรสุมนี้มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดดันสูงบนซีกโลกเหนือแถบประเทศมองโกเลียและจีน จึงพัดพาเอามวลอากาศเย็นและแห้งจากแหล่งกำเนิดเข้ามาปกคลุมประเทศไทย ทำให้ท้องฟ้าโปร่ง อากาศเย็นและแห้งทั่วไป โดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนภาคใต้จะมีฝนตกชุกโดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันออก เนื่องจากมรสุมนี้นำความชื้นขึ้นจากอ่าวไทยเข้ามาปกคลุม การเริ่มต้นและสิ้นสุดของมรสุมทั้งสองชนิดอาจผันแปรไปจากปกติได้ทุกปี



ภาพที่ 1.1 ทิศทางของมรสุมและช่วงเวลาที่เกิดในบริเวณประเทศไทย

ฝนที่เกิดในประเทศไทย มี 3 ลักษณะ คือ

1. ฝนที่เกิดจากการพาความร้อน (Convective precipitation)
2. ฝนปะทะภูเขา (Orographic precipitation)
3. ฝนที่เกิดจากแนวปะทะ (Cyclonic precipitation)

ฝนในพื้นที่ต่าง ๆ จะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปซึ่งขึ้นอยู่กับว่าจะเกิดในลักษณะใด ดังนั้นการประมาณปริมาณน้ำฝนในแต่ละพื้นที่ให้มีความถูกต้องได้นั้น ต้องอาศัยกระบวนการที่สามารถจะวิเคราะห์ความสลับซับซ้อนของการเกิดฝนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นประเทศไทยอยู่ในแนวอิทธิพลมรสุม จากการศึกษาของรัชนีวรรณ ตาพุมาศสวัสดิ์ (2549) พบว่าฝนที่เกิดขึ้นในประเทศไทยส่วนใหญ่เกิดจากสภาวะเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้ง (Convective cloud) เป็นฝนที่เกิดจากลักษณะการพาความร้อน ฝนที่ตกจากเมฆดังกล่าวมีความผันแปรทั้งในเชิงเวลา (Time) และ พื้นที่ (Space) ซึ่งเมื่อนำในฝนที่เกิดแบบนี้จะมีขนาดใหญ่ (ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น และคณะ, 2552) เนื่องจากขนาดและการกระจายของเมฆน้ำมีอิทธิพลต่อค่าของพารามิเตอร์ a และ b ดังนั้นสาเหตุของการเกิดฝนในประเทศไทยจึงมีอิทธิพลต่อการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วย

กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ที่ราบทางตอนกลางของประเทศไทย ดังนั้นฝนที่เกิดขึ้นครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานครจึงเป็นฝนที่เกิดจากสภาวะเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้งและยังเกิดขึ้นตามความผันแปรของมรสุมซึ่งในการที่มีมรสุมพัดเข้าสู่ประเทศไทยนั้น ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนที่ตกในบริเวณกรุงเทพมหานคร บ่อยครั้งที่ทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลันหรือน้ำท่วมขัง สร้าง

ความเดือดร้อนให้กับประชากรที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครเป็นอย่างยิ่งและประกอบกับที่ตั้งของกรุงเทพมหานครตั้งอยู่ในพื้นที่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลประมาณ 1.5 ม.(กองสารสนเทศระบายน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร, 2548) ดังนั้นกรุงเทพมหานคร โดยสำนักการระบายน้ำจึงได้จัดทำโครงการการพยากรณ์และป้องกันน้ำท่วมขึ้น โดยจัดตั้งเรดาร์ตรวจอากาศขึ้นที่เขตภาษีเจริญ ดังแสดงในภาพที่ 1.2 เพื่อตรวจวัดปริมาณน้ำฝนและติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนที่เคลื่อนเข้ามาครอบคลุมบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งจะสามารถช่วยในพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนที่กำลังจะตกในอีกไม่กี่ชั่วโมง ประเทศไทยได้มีการนำเรดาร์ตรวจอากาศมาใช้ในการตรวจวัดฝน ซึ่งมีอยู่หลายสถานี โดยอยู่ภายใต้การดูแลของหน่วยงานต่าง ๆ เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร กระทรวงมหาดไทย และสำนักฝนหลวงและการบินเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ Z-R เพื่อใช้ในการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ จุดประสงค์ก็เพื่อให้สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำฝนที่แท้จริง หรือถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการประมาณปริมาณน้ำฝนในประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้นยังไม่มี การนำเอาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนมาวิเคราะห์ร่วมกับการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วย จึงทำให้ค่าปริมาณน้ำฝนที่ประมาณได้ไม่ถูกต้อง (Hannasen, 2004) เนื่องจากกลุ่มฝนมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา และดังที่กล่าวมาแล้วฝนที่เกิดในกรุงเทพมหานครเป็นฝนที่เกิดจากการพาความร้อน ฝนดังกล่าวนี้จะเกิดในช่วงเวลาสั้นๆ และครอบคลุมบริเวณพื้นที่ไม่กว้าง (Johnson et al., 1999) กลุ่มฝนเคลื่อนที่เร็วตามกระแสลม แต่การประมาณปริมาณน้ำฝนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันสำหรับกรุงเทพมหานครไม่ได้คำนึงถึงการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน เป็นเหตุให้การประมาณปริมาณน้ำฝนมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงนำการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ามาในกระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนเพื่อปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนที่ตกในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานครด้วยการหาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนซึ่งทำให้สามารถเพิ่มความถี่ของข้อมูลภาพเรดาร์ได้ นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงชนิดของเมฆฝน และการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อน เพื่อเป็นการปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ให้มีความถูกต้อง



ภาพที่ 1.2 ตำแหน่งที่ตั้งของเรดาร์ภาชีเจริญ

1.2 วัตถุประสงค์

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณปริมาณน้ำฝนในประเทศไทยโดยการใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ยังไม่มีการนำเอาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนมาวิเคราะห์ร่วมกับการประมาณปริมาณน้ำฝน อีกทั้งยังไม่มี การนำเอาชนิดของเมฆที่ทำให้เกิดฝนมาพิจารณาร่วมด้วย เมื่อคำนึงถึงข้อเท็จจริงของการเกิดฝนประกอบกับผลการวิจัยในต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการประมาณปริมาณน้ำฝนโดยใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศ (ดังจะได้กล่าวละเอียดในบทที่ 2) ทำให้น่าสนใจที่จะนำเอาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนและชนิดของเมฆฝนมาร่วมพิจารณาเพื่อปรับปรุงการประมาณการปริมาณน้ำฝนโดยการใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศ

ดังนั้นในการศึกษารั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการประมาณปริมาณน้ำฝนโดยการใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น โดยการพิจารณานำเอาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนมาช่วยในการวิเคราะห์หาประมาณปริมาณน้ำฝน ด้วยการเพิ่มความถี่ข้อมูลเรดาร์ ด้วยเทคนิควิธี Multi-resolution Viscous Alignment (MVA) นอกจากนี้ยังนำเอาชนิดของเมฆในมาใช้ในการปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้นด้วย

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาวิจัยเพื่อปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ ในขั้นตอนนี้มีขอบเขตการศึกษาวิจัย ดังนี้

(1) กำหนดขอบเขตของพื้นที่ศึกษาเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครในส่วนที่ครอบคลุมโดยสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นทวีปเท่านั้น ซึ่งรัศมีทำการครอบคลุมพื้นที่ในรัศมี 120 กิโลเมตร

(2) ข้อมูลที่ใช้ในการทำการวิจัยพิจารณาเฉพาะข้อมูลเรดาร์ของสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นทวีป ซึ่งเป็นชนิด C-band Minimax เป็นข้อมูล Volume ทำการตรวจวัด 3 มิติ ในระบบพิกัดแบบโพลาร์ (Polar coordinate)

(3) ข้อมูลจากสถานีเครือข่ายวัดน้ำฝนอัตโนมัติจำนวน 61 สถานีกระจายอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยอยู่ฝั่งตะวันตกของกรุงเทพมหานคร 41 สถานี และ อยู่ทางฝั่งตะวันออกของกรุงเทพมหานคร 20 สถานี

(4) การปรับปรุงวิธีการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ พิจารณาเฉพาะการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนด้วยเทคนิควิธี MVA เท่านั้น

(5) ข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ Z-R และตรวจสอบความถูกต้องและน่าเชื่อถือของวิธีการประมาณปริมาณน้ำฝนเป็นข้อมูลผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือแล้ว ซึ่งอยู่ในระหว่างปี พ.ศ. 2548 - พ.ศ. 2550 เท่านั้น

1.4 พื้นที่ศึกษา

ในการศึกษานี้เลือกใช้พื้นที่กรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่ศึกษา ด้วยสาเหตุหลายประการ กล่าวคือ กรุงเทพมหานครประสบปัญหาน้ำท่วมขังเนื่องจากฝนตกหนักเป็นประจำทุกปี ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อเศรษฐกิจ ตลอดจนสภาพจิตใจ และความเป็นอยู่ของประชาชนในเขตกรุงเทพมหานครเป็นอย่างมาก การเพิ่มความสามารถในการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์เป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยในการเตรียมการและลดปัญหาดังกล่าวได้ กรุงเทพมหานครโดยสำนักการระบายน้ำได้เล็งเห็นถึงความสำคัญนี้ จึงได้ติดตั้งเรดาร์ตรวจอากาศที่สถานีภาคพื้นทวีปเพื่อประโยชน์ในการตรวจวัดน้ำฝนและพยากรณ์น้ำฝน

นอกจากนี้กรุงเทพมหานครยังมีการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินที่กระจายอยู่ในพื้นที่เป็นจำนวนมาก และมีระบบการตรวจวัดแบบอัตโนมัติทุกๆ 15 นาที ซึ่งเป็นข้อมูลที่เหมาะสมที่จะนำมาวิจัย เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการวิจัย

ด้วยปัจจัยดังกล่าวข้างต้น คือ ปัญหาทางกายภาพ ความต้องการผลการวิจัยที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และข้อมูลที่เหมาะสมในการศึกษาวิจัย พื้นที่กรุงเทพมหานครจึงถูกเลือกให้เป็นพื้นที่ศึกษาในการวิจัยนี้ ดังจะได้อธิบายลักษณะสภาพภูมิประเทศ และภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาดังต่อไปนี้

1.4.1 สภาพภูมิประเทศ

กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ในภาคกลางติดกับอ่าวไทย มีเนื้อที่ 1,562.2 ตารางกิโลเมตร เป็นเมืองหลวงและเป็นเมืองที่มีประชากรมากที่สุดของประเทศไทย ตั้งอยู่ที่พิกัดละติจูด $13^{\circ} 45'$ เหนือ ลองจิจูด $100^{\circ} 31'$ ตะวันออก มีลักษณะเป็นบริเวณที่ราบภาคกลางตอนล่าง โดยมีอาณาเขตติดต่อดังนี้ (ภาพที่ 1.3)

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



ภาพที่ 1.3 พื้นที่ศึกษารุงเทพมหานคร

(ที่มา : กองสารสนเทศ สำนักกระบวนน้ำ กรุงเทพมหานคร)

ด้วยลักษณะของสภาพภูมิประเทศที่เป็นที่ราบ มีแม่น้ำเจ้าพระยาไหลผ่าน และน้ำไหลสู่อ่าวไทย เมื่อเกิดน้ำท่วมจึงทำให้ การระบายน้ำฝนออกจากพื้นที่เป็นไปได้ยากและใช้เวลานาน ในช่วงเวลาวิกฤตดังกล่าว ความสามารถในการประมาณปริมาณน้ำฝนที่ถูกต้องจะมีส่วนอย่างยิ่งในการช่วยการเตรียมการและบรรเทาผลกระทบน้ำท่วมขังในเขตกรุงเทพมหานคร

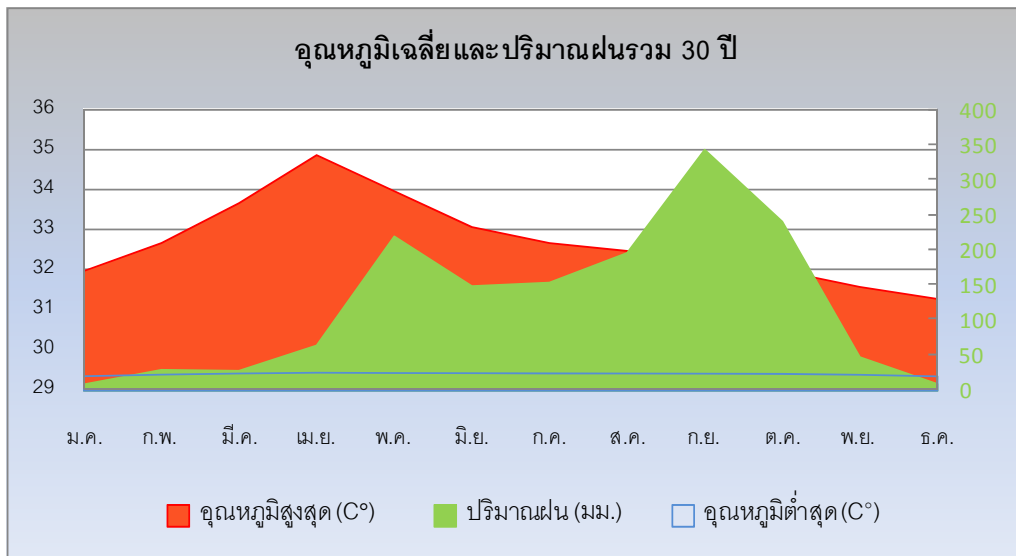
1.4.2 ลักษณะและปริมาณฝน

ฝนที่ตกในกรุงเทพมหานคร ส่วนใหญ่เป็นฝนที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเริ่มพัดผ่านตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ประกอบกับฝนที่เกิดจากพายุโซนร้อนและดีเปรสชันซึ่งมีความถี่ของการพัดผ่านประเทศไทยประมาณ 2 ลูกต่อปี และมักจะเกิดขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงธันวาคม (กองสารสนเทศ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร, 2550) ดังนั้นปริมาณฝนในช่วงฤดูฝน (พ.ค.- ต.ค.) จึงมีมากกว่าร้อยละ 85% ของปริมาณน้ำฝนตลอดทั้งปี (1,500 มม.) ดังแสดงในตารางที่ 1.1 และ ภาพที่ 1.4 จากสถิติข้อมูลในช่วง 30 ปี (พ.ศ.2504 - พ.ศ. 2533) แสดงให้เห็นว่าโดยทั่วไปจะเกิดฝนมากที่สุดในช่วงเดือนกันยายน และช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายนจะมีปริมาณค่าเฉลี่ยฝนน้อย ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำหรับในส่วน of สำนักการระบายน้ำ สังกัดกรุงเทพมหานคร จัดเก็บข้อมูลฝนสะสมในคาบ 17 ปี คือ ปี พ.ศ.2534 ถึงปี พ.ศ. 2550 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปีที่ตกในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร ประมาณ 1,635.5 มม.

ตารางที่ 1.1 สภาพภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนในรอบ 30 ปี (พ.ศ 2504-2533)
ของกรุงเทพมหานคร

เดือน	อุณหภูมิ ต่ำสุด °C	อุณหภูมิ สูงสุด °C	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)	จำนวน วันฝนตก (วัน)
มกราคม	21	32	9.1	1
กุมภาพันธ์	23.3	32.7	29.9	3
มีนาคม	24.9	33.7	28.6	3
เมษายน	26.1	34.9	64.7	6
พฤษภาคม	25.6	34	220.4	16
มิถุนายน	25.4	33.1	149.3	16
กรกฎาคม	25	32.7	154.5	18
สิงหาคม	24.9	32.5	196.7	20
กันยายน	24.6	32.3	344.2	21
ตุลาคม	24.3	32	241.6	17
พฤศจิกายน	23.1	31.6	48.1	6
ธันวาคม	20.8	31.3	9.7	1

(ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร)



ภาพที่ 1.4 กราฟแสดงอุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย
ในรอบ 30 ปี ของกรุงเทพมหานคร

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประมาณปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้งานซึ่งต้องการรู้ความละเอียดของพื้นที่และเวลา เช่น พื้นที่รับน้ำ ชนิดของเหตุการณ์ฝน และชนิดของแบบจำลองที่นำมาใช้ (Cole และ Moore, 2008) ความถูกต้องแม่นยำในการประมาณปริมาณน้ำฝนในพื้นที่รายชั่วโมงด้วยช่วงเวลาที่ยาวขึ้นจะทำให้สามารถประมาณการปริมาณน้ำท่วมและพยากรณ์ได้ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ คือ ข้อมูลที่อยู่ในเชิงพื้นที่และเวลาที่ต่อเนื่องกัน อีกทั้งครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ และข้อมูลที่เป็นเวลาเดียวกันกับเวลาเกิดเหตุการณ์ฝน

การตรวจวัดปริมาณฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศจะรวมเอาความคลาดเคลื่อน (Errors) และความไม่แน่นอน (Uncertainties) ต่างๆ ไว้ด้วย (Fabry et al., 1994 ; Jordan et al., 2000 ; Krajewski and Smith, 2002; Chumchaen et al., 2006) ดังนั้นจึงมีการวิจัยเพื่อเสนอวิธีที่จะทำปรับปรุงความถูกต้องในการประมาณปริมาณน้ำฝนมากกว่า 60 ปี ซึ่งก็รวมทั้งขั้นตอนวิธีการที่จะกำจัดค่าความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนที่เกิดจากการตรวจวัดค่าพลังงานสะท้อนกลับของเรดาร์ (Anagnatsou and Morales, 2001; Chumchean et al., 2004a; Ozturk and Yilmazer, 2007) และการความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากแปลงค่า Z-R (Joss and Waldvogel, 1990; Liu, 1995; Collier, 1996; Chumchean et al. 2008) และค่าคลาดเคลื่อนรวมทั้งหมดในการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลเรดาร์ (Seed and Austin, 1990; Barnston, 1991; Bradley et al., 1997; Anagnostou et al., 1998; Krajewski and Smith 2002; Chumchean et al. 2006; Ciach et al., 2007; Garmann et al., 2009)

ปกติการดำเนินการตรวจวัดโดยเรดาร์จะทำการตรวจวัดโดยกวาดเป็น volume 3 มิติ โดยทำการหมุนเสาอากาศไปรอบๆ ในแนวตั้ง เพื่อทำการตรวจวัดสัญญาณสะท้อนกลับ ซึ่งลำพลังงานที่ส่งออกไปในบรรยากาศจะมีรูปร่างคล้ายกรวย อัตราการหมุนเสาอากาศรอบแกนของเรดาร์ที่ใช้ในแต่ละ Volume จะใช้มุมคงที่ และหมุนไปในทิศทางเดียวกัน ในเวลาหนึ่ง ๆ ต่อเนื่องกัน ซึ่งเวลาที่แตกต่างกันนี้แทนความถี่ หรือความละเอียดของเวลาในการดำเนินการของเรดาร์ (Wilson and brandes, 1979; Smith and Krajewski, 1991; Anagnostou et al., 1998; Chumchean, 2004; Piccolo and Chirico, 2005; Villarini et al., 2008)

โดยปกติการประมาณปริมาณน้ำฝนสะสมรายชั่วโมงสามารถคำนวณหาได้โดยหาผลคูณของความเข้มฝนเรดาร์ที่ตรวจวัดกับช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด แล้วทำการคำนวณให้เป็นปริมาณฝนสะสมรายชั่วโมง แต่เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วฝนมีการเคลื่อนและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงมีความคลาดเคลื่อนในการคำนวณหาปริมาณน้ำฝน

ฝนที่ตกลงมาบนบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานครเกิดขึ้นจากสภาวะเมฆก่อตัวในแนวตั้งดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 และบริเวณที่ตั้งของกรุงเทพมหานครตั้งอยู่ที่ราบทางตอนกลางของประเทศ ไทย ดังนั้นฝนที่เกิดขึ้นครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานครจึงเป็นฝนที่เกิดจากสภาวะเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้งและยังเกิดขึ้นตามความผันแปรของมรสุมซึ่งในการที่มีมรสุมพัดเข้าสู่ประเทศไทยนั้น ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนที่ตกลงมาในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร บ่อยครั้งที่ทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลันหรือน้ำท่วมขังสร้างความเดือดร้อนให้กับประชากรที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครเป็นอย่างมาก ยิ่ง สำหนักระบาย กรุงเทพมหานครจึงได้ทำการจัดตั้งเรดาร์ตรวจอากาศที่สถานีภาษีเจริญเพื่อใช้ข้อมูลในการป้องกันและพยากรณ์น้ำท่วม เรดาร์ภาษีเจริญนี้ดำเนินการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที และดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าฝนที่ตกลงมาในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานครเป็นฝนที่เกิดจากสภาวะเมฆก่อตัวในแนวตั้ง ดังนั้นจึงมีความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณฝนรายชั่วโมงและการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน เพราะการฝนมีการเคลื่อนที่และมีการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าความถี่ในการตรวจวัดของเรดาร์

ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการคำนวณหาปริมาณน้ำฝนสะสมรายชั่วโมงโดยรวมการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนในช่วงเวลาที่เรดาร์ทำการตรวจวัด โดยใช้วิธี MVA เพื่อหาการเคลื่อนที่ของข้อมูลค่าสะท้อนกลับของภาพเรดาร์ 2 ภาพ ที่ทำการตรวจวัดต่อเนื่องกันเพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลภาพเรดาร์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด

ในบทนี้นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย ได้แก่ การติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน วิธี Multi-resolution Viscous alignment (MVA), การคัดแยกชนิดของเมฆฝน, หลักการทำงานของเรดาร์, วิธีประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์, การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนข้อมูลฝนที่ประมาณได้จากเรดาร์โดยใช้ข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน, งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์และวิธีการปรับปรุงปริมาณฝนเรดาร์ให้มีความถูกต้องมากขึ้น เนื้อหาในบทนี้ได้ลำดับดังต่อไปนี้

2.1 วิธีการติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน (Tracking technique)

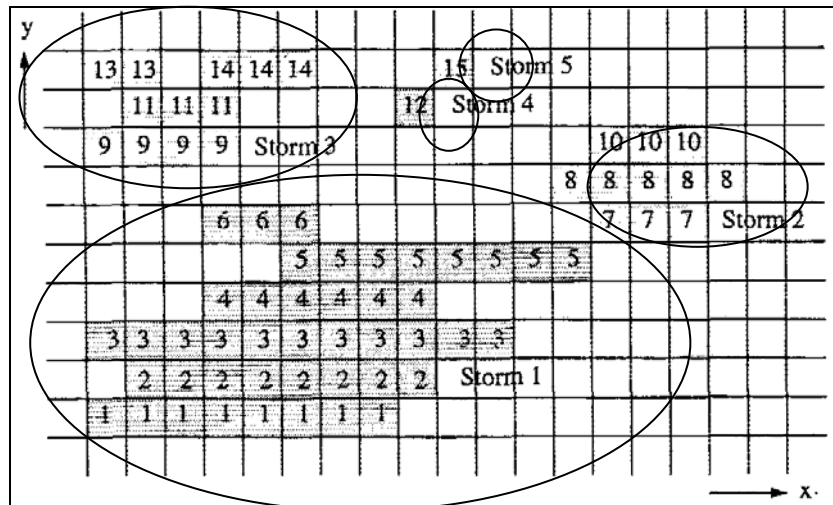
โดยทั่วไปเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน เกิดขึ้นท่ามกลางการเปลี่ยนแปลงของสภาวะภูมิอากาศ และมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทิศทางการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนมีทิศทางตามการเคลื่อนที่ของอากาศและเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล การติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนจะทำให้ทราบถึงทิศทางของการเคลื่อนที่และก่อตัว (Growth) ตลอดจนการสลายตัว (Decay) ของกลุ่มฝน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้มีประโยชน์ต่อการประมาณปริมาณน้ำฝนหรือพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน คือการเคลื่อนตัวของอากาศหรือลม ดังที่ได้กล่าวมาแล้วจากบทที่ 1 ว่า ประเทศไทยอยู่ในเขตอิทธิพลมรสุม และฝนที่เกิดขึ้นในประเทศไทยเกิดได้ 3 ลักษณะ คือ ฝนจากการพาความร้อน ฝนจากการปะทะภูเขา ฝนจากแนวปะทะ ฝนที่เกิดจากการพาความร้อนจะเกิดขึ้นในช่วงสั้น ๆ และครอบคลุมบริเวณพื้นที่ไม่กว้าง (Johnson, 1999) ฝนปะทะภูเขา เกิดจากกระแสลมพัดพามวลอากาศมาปะทะกับภูเขาและยกตัวตามแนวลาดของภูเขา ส่วนฝนจากแนวปะทะ เกิดจากตำแหน่งของอากาศที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันปะทะกันแล้วทำให้อากาศยกตัวขึ้น ดังนั้นเพื่อที่จะทราบทิศทางเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนจึงได้มีการศึกษาวิธีการติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน โดยสามารถแบ่งวิธีการติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเป็น 3 กลุ่ม คือ

2.1.1 การติดตามการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวล (Cell centroid tracking technique)

วิธี Cell Centriod Tracking (Boak et al., 1977; Bjerkaas and Forsyth, 1979; Austin and Bellon, 1982; Rosenfeld, 1987; Dixon and Wiener, 1993; Johnson et al., 1998; Handwerker, 2002) มีหลักการ คือ ต้องมีการกำหนดตำแหน่งกลุ่มฝนให้ได้ก่อนซึ่งทำได้โดยกำหนดความเข้มฝนที่จะพิจารณา (Threshold intensity) แล้วจึงทำการคำนวณหาขนาด รูปร่าง และตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของแต่ละกลุ่มฝน เซลล์ฝนที่กำหนดขึ้นมาใหม่จะทำการเปรียบเทียบกับเซลล์ฝนเก่าในเวลาก่อนหน้านั้น แล้วกำหนดเวกเตอร์การเคลื่อนที่พร้อมทั้งหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาดเวกเตอร์ที่พิจารณา โดยการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดให้ทั้งขนาดและตำแหน่ง ซึ่งแนวคิดของการติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนแบบนี้ค่อนข้างง่ายแต่เป็นแนวคิดที่ยากต่อการที่จะสร้างแบบจำลองในการติดตามการเคลื่อนที่กลุ่มฝนแบบอัตโนมัติ โดยเฉพาะการรวมกันของเซลล์ฝนหรือการแยกกันของเซลล์ฝน ดังนั้นวิธีนี้จึงเหมาะสำหรับการที่จะติดตามกลุ่มฝนกลุ่มเดียวโดด ๆ นอกจากนี้เวกเตอร์ความเร็วของจุดศูนย์กลางมวล

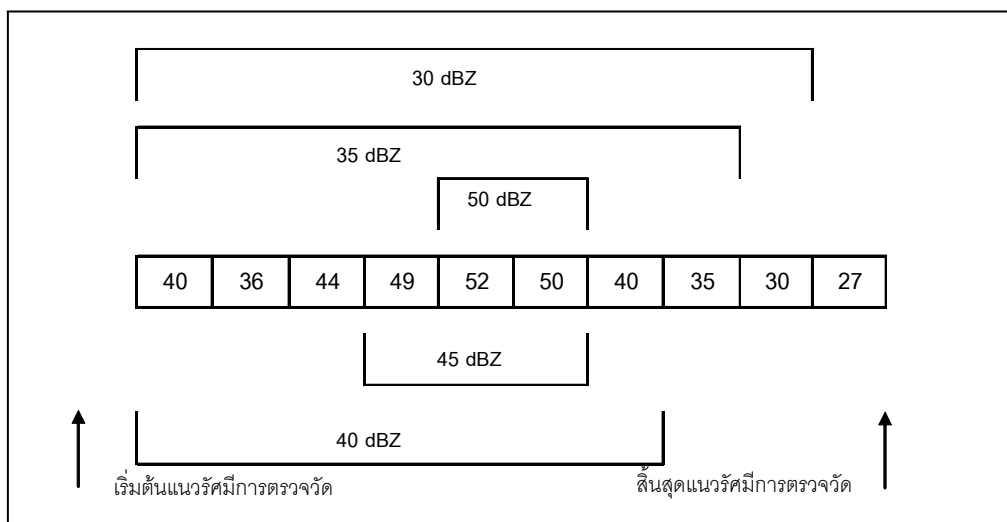
ก็หาได้ยาก (Hannesen, 2002) วิธีการติดตามการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวลถูกนำมาใช้เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของพายุโดยเรดาร์ WSR-57 (Marshall, 1975; Steiner and Smith, 2002) ขั้นตอนวิธีที่ใช้วิธีติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนโดยใช้จุดศูนย์กลางมวลที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายคือ TITAN (Thunderstorm Identification, Tracking and Analysis) เป็นขั้นตอนวิธีที่เสนอโดย Dixon และ Wiener (1993) และ SCIT (Storm Cell Identification Tracking) เป็นอัลกอริทึมที่เสนอโดย Johnson et al. (1998)

การติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนแบบจุดศูนย์กลางมวล ของขั้นตอนวิธี TITAN ทำได้โดยกำหนดค่าความเข้มของฝนเพื่อแทนกลุ่มฝนชนิดต่าง ๆ ซึ่งทำให้สามารถกำหนดกลุ่มฝนได้ เช่น กลุ่มฝนที่เป็นแบบ convective ชนิดเซลล์เดียว กำหนดให้มีค่าความเข้มฝนอยู่ระหว่าง 40-50 dBZ, กลุ่มฝนที่เป็นกลุ่ม convective มีความเข้มฝนอยู่ระหว่าง 30-40 dBZ เป็นต้น วิธีการกำหนดค่าความเข้มฝนหรือค่าสะท้อนมี 2 ขั้นตอน คือ 1) กำหนดลำดับของ pixel ในเซลล์หรือกลุ่มฝนที่มีพื้นที่ติดกันเป็นกลุ่ม ๆ 2) จัดค่าสะท้อนที่อยู่ติดกันเป็นกลุ่ม ๆ ซึ่งเป็นการแยกกลุ่มหรือเซลล์ฝน ดังแสดงในภาพที่ 2.1 จากภาพจะเห็นว่ามีการกลุ่มฝนอยู่หลายกลุ่มดังนั้นในการวิเคราะห์จะแยกวิเคราะห์เป็นกลุ่มโดยหาพื้นที่ที่กลุ่มฝนครอบคลุมซึ่งทำให้รู้ตำแหน่งของกลุ่มฝน แล้วทำการหาจุดศูนย์กลางของกลุ่มฝนซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้วิธีแทนพื้นที่กลุ่มฝน ดังนั้นจึงสามารถหาพื้นที่และหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของพื้นที่ได้ การติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนทำได้โดยพิจารณาจากกลุ่มของฝนคนละเวลาเช่นกลุ่มที่หนึ่งบริเวณพื้นที่ที่ฝนครอบคลุมที่เวลา t_1 และที่เวลา t_2 ค่าเวลาที่แตกต่างกันคือ Δt คือเวลาที่ใช้ในการตรวจวัดค่าสะท้อนแต่ละครั้ง จาก t_1 ไปถึง t_2 ฝนมีการเคลื่อนที่ไปทิศทางใดจะทราบโดยเปรียบเทียบตำแหน่ง ณ ที่เวลา t_1 และที่เวลา t_2 โดยทำการคำนวณหาพื้นที่และตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มฝนจากค่าสะท้อนที่อยู่ติดกัน ของเวลา t_2 แล้วเปรียบเทียบกับกันก็จะทราบระยะทางที่เซลล์ฝนเคลื่อนที่ไปในระหว่าง Δt ซึ่งจะสามารถคำนวณหาการเคลื่อนที่ของเซลล์ฝนได้เมื่อทราบระยะทางและเวลา



ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างการจัดกลุ่มฝนตามค่าสะท้อน ซึ่งค่าสะท้อนเกินกว่าค่าที่กำหนดให้
(ที่มา : ดัดแปลงจาก Dixon และ Wiener, 1993)

SCIT จะกำหนดค่าความเข้มฝนหลายค่า (Multiple threshold) เพื่อแทนกลุ่มฝนค่าหนึ่ง ๆ อย่างไรก็ตาม โดยในการกำหนดกลุ่มฝน ทำได้โดย กำหนดค่าความเข้มฝนข้อมูล 3 มิติที่ตรวจวัด ได้ทีละ 1 มิติ แล้วทำการกำหนดค่าความเข้มฝนในแต่ละมิติ ให้ครอบคลุมรัศมีการตรวจวัดของเรดาร์



ภาพที่ 2.2 การกำหนดค่าความเข้มของกลุ่มฝน 50, 45, 40, 35 และ 30 dBZ ในแต่ละส่วนของกลุ่มฝนตามรัศมีการตรวจวัด (ที่มา : ดัดแปลงจาก Johnson, 1998)

ดังแสดงในภาพที่ 2.2 เมื่อกำหนดค่าความเข้มฝนกลุ่มฝนได้แล้ว ก็จะทำการศึกษาพื้นที่และหาจุดศูนย์กลางของกลุ่มฝน สำหรับการติดตามกลุ่มฝนก็จะทำการเปรียบเทียบพื้นที่และตำแหน่งของกลุ่มฝนจากการตรวจวัดในช่วงเวลาที่ 1 เปรียบเทียบกับพื้นที่และตำแหน่งของกลุ่มฝนจากการตรวจวัดในช่วงเวลาที่ 2 ซึ่งจะทำให้ทราบระยะทางที่กลุ่มฝนเคลื่อนที่ไปจากเวลาที่ 1 ไปเวลาที่ 2

จากการศึกษาของ Han et al. (2008) พบว่า เมื่อกลุ่มฝนเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ขนาดและรูปร่าง หรือความเร็วของกลุ่มฝนจะเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วด้วย หรือในกรณีที่กลุ่มฝนเกิดการรวมตัวกัน วิธีที่ใช้ในการติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนแบบจุดศูนย์กลางมวลนั้นจะยากต่อการกำหนดตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของกลุ่มฝน ติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนตลอดจนพยากรณ์การเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าผิดพลาดมากเมื่อเปรียบเทียบกับเคลื่อนที่จริง ๆ ข้อด้อยอย่างเห็นได้ชัดของการติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนแบบใช้จุดศูนย์กลางมวล คือ การกำหนดตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของกลุ่มฝนที่แยกตัวหรือรวมตัวกันนั้นทำได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่เหมาะสำหรับการติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

2.1.2 การติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนโดยการใช้ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน (Cross-correlation tracking technique)

การติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนโดยการใช้ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน (Hilst and Russo ,1960; Rinehart and Garvey, 1979; Tuttle and Foote ,1990; Li et al. ,1995; Lai,1999) วิธีนี้จะแบ่งข้อมูลเรดาร์ที่เป็นเก็บบนอยู่ Cartesian Array หรือ แมททริกซ์ ในแนวแกน) X-Y ออกเป็นส่วน ๆ ที่เท่ากัน แล้วหาเวกเตอร์ของการเคลื่อนที่จากตำแหน่งของข้อมูลใน Cartesian Array ที่สุ่มก่อนและสุ่มหลังซึ่งมีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด ข้อดีของวิธีนี้คือความแม่นยำในการหาความเร็วและตำแหน่งของค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ (Johnson et al., 1998) Crane (1979) ได้เสนอวิธีนี้ในการหาค่าสะท้อนกลับของเรดาร์เพื่อหาสนามความเร็วซึ่งถูกแยกจากพื้นที่สะท้อนหรือ เซลล์ที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ และวิธีนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาการติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนแบบอัตโนมัติ อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสียอยู่การหลายข้อ Ravela และ Chatdarong (2006) ได้โต้แย้ง ดังนี้ 1) กระบวนการสร้างเซลล์ฝนใหม่จะทำการสมมติว่าตลอดบริเวณพื้นที่ที่เป็นจุดสนใจทั้งหมดหรือ pixel ทั้งหมดถูกแปลงจากรูปหนึ่งไปยังอีกรูปหนึ่ง ซึ่งสมมติฐานนี้ใช้ได้ทุกกรณี โดยใช้ได้ในกรณีที่รู้มาตราส่วนอย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหลายครั้งหรือจนกระทั่งเกิดการแยกกลุ่มวิธีนี้ไม่สามารถที่กำหนดตำแหน่งได้ดี 2) วิธี

นี้จะสมมติว่า การจับคู่ที่เหมือนกัน (Match) ในบริเวณพื้นที่ทั้งหมดจะมีได้เพียงคู่เดียวเท่านั้นที่สามารถเทียบกันได้โดยไม่มีคู่่อื่นอีก นั่นคือ ข้อสมมติแบบนี้จะต้องถ้ามีการกำหนดตำแหน่งขนาด ได้ถูกต้อง (Well-define) และมีการพิสูจน์ (Identify) ได้อย่างถูกต้อง 3) วิธีนี้มีปัญหาในการควบคุมคุณภาพ เพราะพื้นที่ใกล้เคียงกับบริเวณพื้นที่ที่สนใจจะมีจุดที่สามารถจับคู่กันได้ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของการกำหนดและพิสูจน์ตำแหน่ง 4) ขนาดของหน้าต่าง (Search window) ที่ใช้ในการค้นหาขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ใช้ ว่าควรจะมีความเท่าไร ถ้ากำหนดขนาดใหญ่เกินไปก็อาจทำให้หาตำแหน่งที่แท้จริงไม่เจอหรือถ้ากำหนดขนาดเล็กเกินไปก็ทำให้ค่าที่ได้ผิดไป 5) วิธีนี้จะได้ผลดีถ้าสนามความเร็วเริ่มต้นหนาแน่น แต่ในความเป็นจริงแล้วไม่ใช่ทุกจุดในพื้นที่ที่สนใจจะมีความหนาแน่นของสนามความเร็วน้อย บางจุดก็มีความหนาแน่นมาก ดังนั้นทำให้ไม่สามารถกำหนดตำแหน่งสนามความเร็วที่ถูกต้องได้

2.1.3 การติดตามกลุ่มฝนด้วยลักษณะการเปลี่ยนแปลง (Variational technique)

การติดตามกลุ่มฝนด้วยลักษณะการเปลี่ยนแปลง (Euler, 1744) ใช้วิธีการประมาณการหาค่าที่ใช้ใน ควอนตัมแมคคานิค แนวคิดพื้นฐานของวิธีนี้คือ เริ่มเดาคำตอบแล้วทำซ้ำจนกระทั่งมีค่าการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเพื่อหาคำตอบของฟังก์ชัน ซึ่งจะทำให้การปรับจนกระทั่งสนามความเร็วที่ทำซ้ำมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดหรือไม่เปลี่ยนแปลง วิธีนี้จะต้องมีการกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายและข้อจำกัดของเป้าหมาย ซึ่งฟังก์ชันเป้าหมายจะใช้แทนเหตุการณ์หรือรูปแบบของข้อมูลที่ได้จากการสังเกต ตัวอย่างของแบบจำลองที่ใช้วิธี Variational ได้แก่ Optical flow model (Bowler et al., 2004), Feature calibration alignment (Chatdarong, 2006) และ Filed alignment (Ravela et al., 2006; Ravela and Chatdarong, 2006), Multi-resolution Viscous Alignment (MVA) (Ravela and Chatdarong, 2006) ซึ่งวิธี MVA ได้นำมาใช้ในการหาการเคลื่อนที่ของภาพถ่ายดาวเทียม GOSE ซึ่งผล คือ สามารถใช้วิธีนี้ประยุกต์หาความเร็วของภาพถ่ายดาวเทียมต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดีเหมือนจริง ข้อดี ของการใช้ MVA ในการหาสนามความเร็วมีดังนี้ 1) สามารถใช้กับข้อมูลได้กว้างขวางไม่จำกัด 2) วิธีนี้ไม่ต้องกำหนดตำแหน่งก่อนการคำนวณหาความเร็ว 3) การเข้าถึงใช้ในการควบคุมคุณภาพของข้อมูลไปโดยปริยายในรูปของ Smoothness และสามารถสร้างสนามความเร็วที่มีความหนาแน่นได้ 4) การใช้วิธีนี้สามารถที่จะนำไปรวมอยู่กับการสนับสนุนในการดำเนินการตรวจวัดข้อมูลได้ ด้วยเหตุนี้ ทำให้ผลที่ได้เหมือนกับผลที่เกิดขึ้นจริง สุดท้าย กฎเกณฑ์ของข้อจำกัดใน Field alignment คือ ข้อจำกัดอย่างอ่อนและค่าถ่วงน้ำหนักจะเป็นตัวกำหนด และเป็นข้อจำกัดในการหาสนามความเร็วของการเคลื่อนที่ จากข้อดีทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วทำให้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เลือกวิธี Multi-resolution viscous

alignment (MVA) เพื่อประยุกต์ใช้ในการหาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนจากข้อมูลเรดาร์ เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลเรดาร์โดยการสังเคราะห์ข้อมูลขึ้นใหม่จากข้อมูลเดิมที่มี และนำมาปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์ได้ทำให้เกิดการรวมการเคลื่อนตัวของกลุ่มฝนเข้ามาใช้ในการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ หัวข้อต่อไปจะอธิบายถึงอัลกอริทึมที่ใช้ในการหาสนามความเร็วโดยใช้ MVA

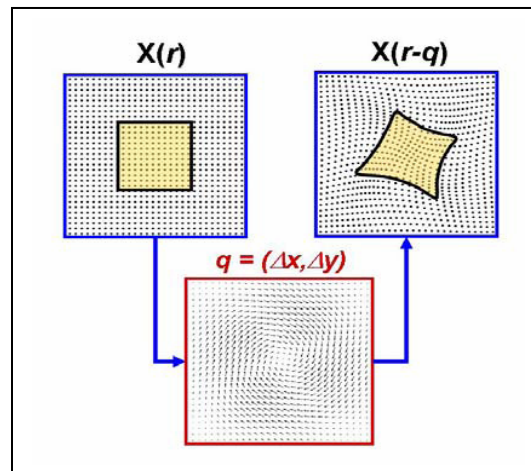
2.2 มัลติเรโซลูชันวิสคัสอะไลเมนต์ (Multi-resolution Viscous Alignment: MVA)

วิธี MVA นี้ได้ประยุกต์โดยตรงมาจากการทับซ้อนของสนามความเร็ว (Ravela et al., 2006) ซึ่งเป็นวิธีที่แนวทางในการแก้ปัญหาการประมาณการเคลื่อนที่ของ Bayesian เพื่อหาการเคลื่อนที่หรือสนามความเร็วที่สอดคล้องกันและสัมพันธ์กันของภาพสองภาพในบริเวณพื้นที่เดียวกันแต่เวลาต่างกัน และกำหนดให้ใช้เงื่อนไขภายในภาพเพื่อหาการเคลื่อนที่และแทนการเคลื่อนที่ด้วยสนามความเร็วที่ราบเรียบ Ravela and Chatdarong (2006) ใช้วิธีนี้ในการหาความเร็วลมจากอุณหภูมิยอดเมฆ โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม GOES ทำให้พบว่าวิธีนี้สามารถนำไปใช้สนามความเร็วจากภาพ 2 ภาพ ที่ระยะเวลาห่างกันค่อนข้างมาก หรือเมื่อมีเหตุการณ์แปรเปลี่ยนอย่างรวดเร็วได้

การแก้ปัญหาของวิธี MVA ทำได้โดยการคำนวณซ้ำโดยการปรับแก้ฟังก์ชันการหาดำแหน่งให้น้อยที่สุดขึ้นอยู่กับค่า Gradient ของนิพจน์ กับค่า Divergence ของนิพจน์ ของสมการ (2.1) วิธีนี้มีประโยชน์สำหรับข้อมูลที่ไม่สามารถจะกำหนดตำแหน่งได้แน่นอน และยังมีความเสถียรมากกว่าวิธี Correlation ซึ่งระยะการเคลื่อนที่หามาจากส่วนของภาพ 2 ภาพ ที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด (Junck et al., 1990; Dong and Boyer, 1996) นอกจากนี้ วิธีนี้ยังใช้เงื่อนไขที่เป็นเงื่อนไขภายในภาพเพื่อหาการเคลื่อนที่และแทนการเคลื่อนที่ด้วยสนามความเร็วที่ราบเรียบ ซึ่งทำให้วิธีนี้สามารถนำไปใช้หาการเคลื่อนที่ในพื้นที่ขนาดใหญ่ซึ่งมีคุณลักษณะและลักษณะภูมิประเทศมีการแปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา

แนวคิดของการทับซ้อนของสนามความเร็วเพื่อหาการเคลื่อนที่ของภาพ 2 ภาพแสดงอยู่ในภาพที่ 2.1 ซึ่งสมมติให้ $X(r)$ และ $Y(r)$ เป็นเวกเตอร์ของข้อมูลภาพในพื้นที่กริดปกติยังไม่มีเปลี่ยนแปลง q แทนเวกเตอร์การเคลื่อนที่ แล้ว $X(r-q)$ การเคลื่อนที่ของภาพ X ด้วยสนามความเร็ว q ค่าสนามความเร็ว q มีค่าเป็นจำนวนจริง ดังนั้นสามารถหาค่า $X(r-q)$ ได้ด้วยการประมาณค่า (interpolation) สนามความเร็ว q สามารถมองเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงไปของพิกัด (x,y) จาก

กริดปกติซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้ข้อมูลที่อยู่ในกริดเปลี่ยนแปลงด้วยดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แนวความคิด Filed alignment ภาพ $X(r)$ บนกริดปกติมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสนามความเร็ว q (ที่มา : วิรัช ฉัตรตรงค์ และ อนงค์นาถ วรรณราช, 2550)

สมการสำหรับคำนวณหาการทับซ้อนของสนามความเร็วได้นำเสนอโดย Ravela และ Chatdarong (2006) สามารถแสดงในสมการที่ (2.1)

$$w_1 \nabla^2 q_i + w_2 \nabla (\nabla \cdot q_i) + \left[\nabla X \Big|_p H^T R^{-1} (HX(p) - Y) \right]_i = 0 \quad (2.1)$$

โดยที่ เวกเตอร์ X กับ เวกเตอร์ Y มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเป็นเส้นตรงดังนี้

$$Y(r) = HX(r - q) + V \quad (2.2)$$

โดยที่	H	คือ	เมทริกซ์การเปลี่ยนรูป ซึ่งในที่นี้คือ identity เมทริกซ์
	V	คือ	เป็นเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน (Gaussian Random Noise) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และ Covariance matrix เป็น R
	X	คือ	ค่าความเข้มของภาพที่ 1
	Y	คือ	ค่าความเข้มของภาพที่ 2
	R	คือ	เมทริกซ์ covariance

q_i คือ เวกเตอร์การเคลื่อนที่
 w_1, w_2 คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก

สมการที่ (2.1) ไม่ใช่สมการเส้นตรง และสามารถแก้สมการได้โดยการทำซ้ำ ๆ (Iterative) คล้ายกับการแก้สมการของเพียร์สัน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือค่าประมาณการของระยะทางการเคลื่อนที่ ในระหว่างการทำซ้ำ ๆ แต่ละรอบ ค่า q_i จะถูกคำนวณและใช้ในการเปลี่ยนรูปจาก $X(r)$ ไปเป็น $X(r-q)$ กระบวนการคำนวณนี้จะทำซ้ำโดยใช้การประมาณการแบบ Bi-cubic จนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมในการเปลี่ยนรูปจากภาพที่ 1 $X(r-q)$ และภาพที่ 2 $Y(r)$ หรือจนกระทั่งครบจำนวนรอบที่กำหนด เวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ในสมการที่ (2.1) สามารถแยกออกได้เป็น 2 เวกเตอร์ในแนวแกน x-y ซึ่งสนามความเร็วในแนวแกน x คือ $q_{xi} = \Delta x_i$ และ สนามความเร็วในแนวแกน y คือ $q_{yi} = \Delta y_i$ ผลลัพธ์ที่ได้ คือ การทับซ้อนของสนามความเร็ว ดังนั้นภาพ $X(r-q)$ กับภาพ $Y(r)$ จะทับซ้อนกันพอดี แต่จะมีการเปลี่ยนรูปไปตามแนวของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ และสนามความเร็วในการเคลื่อนที่คือผลรวมของ เวกเตอร์ q_i ในแต่ละรอบของการทำซ้ำ นั่นคือ $q_{sum} = \sum_{i=1}^N q_i$ โดยเหตุที่ว่ากระบวนการได้ผลรวมของเวกเตอร์ q_i คือ ผลรวมของเวลา ดังนั้น แนวคิด MVA จึงประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความเร็วในการคำนวณหาระยะการเคลื่อนที่ โดยเริ่มจากการทำการแปลงภาพ 2 ภาพ คือ $X(r)$ และ $Y(r)$ ให้หายบขึ้นแล้วจึงแก้สมการหาสนามความเร็ว q เพื่อมาปรับแก้ ภาพ $X(r-q)$ ให้มีความละเอียดสูงขึ้น สำหรับค่าความละเอียดเริ่มต้นใช้ภาพ 2 ภาพ ที่แปลงให้หายบขึ้นและใช้ความละเอียดที่แปลงให้หายบขึ้นนี้ และทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งความละเอียดของภาพกลับมาสู่ความละเอียดเดิมของภาพ $X(r)$ และ $Y(r)$ ซึ่งสนามความเร็วที่ได้จะได้จากผลรวมของสนามความเร็วจากทุกรอบที่ทำการปรับค่าความละเอียด การแก้ปัญหาโดยใช้วิธีภาพหายบไปถึงภาพละเอียดทำให้ลดระยะเวลาในการคำนวณหาสนามความเร็วได้มาก และนอกจากนี้วิธีนี้ยังแยกพิจารณาเป็นแต่ละเหตุการณ์และหาความเร็วในแต่ละความถี่ของข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มความเสถียรในการคำนวณหาสนามความเร็ว (วิรัช ฉัตรตรงค์และ อนงค์นาถ วรรณราช, 2550)

ที่มาของสมการ (2.1) ซึ่งศึกษาโดย Ravela (2006) ใน Field alignment มีดังนี้

พิจารณาสมการ (2.2) สมมติให้ทุกพจน์ในสมการ มีการกระจายแบบปกติ (Gaussian) จะสามารถเขียน Likelihood function ได้ดังนี้

$$P(x, y | q) = \frac{\exp\{-\frac{1}{2}(Y - X(r - q))^T R^{-1}(Y - X(r - q))\}}{(2\pi)^{n/2} |R|^{1/2}} \quad (2.3)$$

จากกฎของ Bayes's Rule การกระจาย Posterior $P(q|X, Y)$ เป็น

$$P(q | X, Y) \propto P(X, Y | q)P(q) \quad (2.4)$$

ถ้าเราสมมติให้การกระจาย Prior, $P(q)$ มีค่าเป็น

$$P(q) \propto e^{-L(q)} \quad (2.5)$$

โดยที่ $L(q)$ เป็นสมการพลังงานที่สร้างจากข้อจำกัดด้านความต่อเนื่องและสนามการไหลราบเรียบสอดคล้องกันตามลักษณะสมการแบบ Tikhonov (1977), ดังนั้นสามารถเขียนสมการ $L(q)$ ซึ่งเป็นสมการในการปรับค่าในพจน์ ของ gradient และ divergent ได้คือ

$$L(q) = \frac{w_1}{2} \sum_{j \in \Omega} \{(\nabla q_j)(\nabla q_j)^T\} + \frac{w_2}{2} \sum_{j \in \Omega} \{\nabla q_i\}^2 \quad (2.6)$$

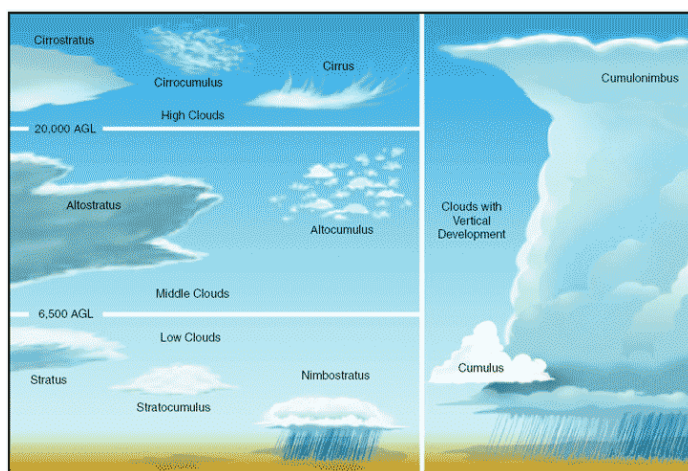
สมการที่ (2.6) เรียกว่าข้อจำกัดอย่างอ่อน (Weak constraints) ใช้สำหรับการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ เมื่อกำหนดให้สมการวัตถุประสงค์, J เป็นสมการความน่าจะเป็นแบบล็อกของสมการที่ (2.4) ดังนั้นสามารถหาสนามความเร็วได้จาก

$$\frac{\partial J}{\partial q} = \nabla X|_p H^T R^{-1}(HX(p) - Y) + \frac{\partial L(q)}{\partial q} = 0 \quad (2.7)$$

โดยที่ $p = r - q$ คือตำแหน่งของการสร้างใหม่หลังจากที่เคลื่อนที่ด้วยสนามความเร็ว q เมื่อแทนที่ $L(q)$ ด้วยสมการ (2.6) และจัดรูปแบบใหม่ จะได้สนามความเร็วตำแหน่งที่ i มีค่าดังแสดงในสมการที่ (2.1)

2.3 เมฆและชนิดของเมฆ (Cloud and cloud type)

เมฆ (Cloud) คือ มวลของเม็ดน้ำที่มีขนาดเล็ก หรือ เกล็ดน้ำแข็งในบรรยากาศเหนือพื้นโลก หรือประกอบด้วยทั้งสองอย่าง ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม เม็ดน้ำจะรวมตัวกันและเกิดเป็นฝนตกลงสู่พื้นดิน ลักษณะการก่อตัวและเติบโตของเมฆฝน นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามที่จะพัฒนาทฤษฎีที่จะอธิบายโครงสร้างของเมฆฝนด้วยการศึกษาถึงอนุภาคของเม็ดน้ำ เมฆแต่ละชนิดก็ประกอบด้วยเม็ดน้ำที่ขนาดแตกต่างกัน ความก้าวหน้าของเรดาร์ตรวจอากาศและดาวเทียมทำให้สามารถศึกษาและเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการเกาะกลุ่มของเม็ดน้ำที่ทำให้เกิดเป็นเมฆฝนเพิ่มมากขึ้น เมื่อเข้าใจลักษณะทางกายภาพของเมฆฝนก็จะเข้าใจลักษณะทางกายภาพของฝนได้ดียิ่งขึ้น ทำให้สามารถประมาณปริมาณน้ำฝนได้ถูกต้องมากขึ้น



ภาพที่ 2.4 เมฆและชนิดของเมฆที่ระดับความสูงต่างๆ
(ที่มา : www.free-online-private-pilot-ground-school.com)

การแบ่งชนิดของเมฆสามารถแบ่งได้ 2 แบบ เช่นแบ่งตามลักษณะของเมฆ ซึ่งพิจารณาตามความสูงที่พบ รูปร่าง และการปรากฏ (Ahrens, 1994) และ แบ่งตามพฤติกรรมการเกิดซึ่งทำให้เกิดฝนตก

2.3.1 เมฆตามลักษณะการปรากฏของเมฆ

2.3.1.1 เมฆระดับสูง (High level cloud) เมฆที่อยู่ในระดับนี้จะอยู่เหนือระดับพื้นดินมากกว่า 6,000 เมตร หรือ 20,000 ฟุต เมฆในระดับนี้จะประกอบด้วยเกล็ดน้ำแข็งจึงไม่ก่อให้เกิดฝน ลักษณะของเมฆที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจะมีลักษณะเป็นสีขาวบาง ๆ และจะเห็นชัดขึ้นเมื่อดวงอาทิตย์ใกล้ตกดินหรือเพิ่งขึ้นสู่ท้องฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 2.5 เมฆในระดับนี้ คือ เซอโรสคิวมูลัส (Cirrocumulus) เซอโรสเตรตัส (Cirrostratus) เซอรัส (Cirrus) เป็นต้น



ภาพที่ 2.5 เมฆในระดับสูงจะเห็นเป็นเงาสีขาวบาง ๆ เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ
(ที่มา:Kevin Knupp, University of Alabama in Huntsville)

2.3.1.2 เมฆระดับกลาง (Middle level cloud) เมฆที่อยู่ในระดับนี้จะอยู่เหนือระดับพื้นดินระหว่าง 2,000-6,000 เมตร หรือ 6,500-20,000 ฟุต เมฆในระดับนี้จะประกอบด้วยเม็ดน้ำ (Droplet) ที่เริ่มก่อตัวขึ้นเป็นละอองฝน บางทีก็จะมีเกล็ดน้ำแข็งในกรณีที่อุณหภูมิต่ำลงมาก ๆ ลักษณะของเมฆที่มองจากภายนอกจะเห็นเป็นปุยสีขาวคล้ายสำลี ดังแสดงในภาพที่ 2.6 เมฆชนิดนี้ได้แก่ อัลโตคิวมูลัส (Alto cumulus) อัลโตสเตรตัส (Altostratus)



ภาพที่ 2.6 เมฆในระดับกลาง จะเห็นเป็นปุยสีขาว
(ที่มา : Ron Holle Meteorology & Photography)

2.3.1.3 เมฆระดับต่ำ (Low level cloud) เมฆที่อยู่ในระดับนี้จะอยู่เหนือระดับพื้นดินต่ำกว่า 2,000 เมตร หรือ 6,500 ฟุต เมฆในระดับนี้จะประกอบด้วยเม็ดน้ำจำนวนมาก เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงมาก ๆ เม็ดน้ำเหล่านี้ก็จะกลาย变成น้ำแข็งหรือหิมะ ซึ่งเมฆชนิดนี้จะทำให้เกิดละอองฝนหรือเกิดฝน ลักษณะของเมฆในระดับนี้มองจากภายนอกจะเป็นกลุ่มขนาดใหญ่มีสีขาวจนถึงสีเทา ดำดังแสดงในภาพที่ 2.7 เมฆชนิดนี้ได้แก่ สเตรตัส (Stratus) สเตรโตคิวมูลัส (Stratocumulus) นิมโบสเตรตัส (Nimbostratus) เป็นต้น



ภาพที่ 2.7 เมฆในระดับต่ำ ประกอบด้วยเม็ดน้ำจำนวนมาก
(ที่มา : Ron Holle Meteorology & Photography)

2.3.1.4 เมฆก่อตัวในแนวตั้ง (Vertical development cloud) เมฆชนิดนี้มีโอกาสที่จะพัฒนาก่อตัวเป็นเมฆฝน ได้แก่เมฆคิวมูลัส และ เมฆคิวมูโลนิมบัส โดยทั่วไปแล้วจะเกิดขึ้นจาก Thermal convection หรือ Frontal lifting เมฆชนิดนี้สามารถจะเติบโตขึ้นไปจนมีความสูงมากกว่า 39,000 ฟุต หรือ 12,000 เมตร เมฆชนิดนี้มีการปลดปล่อยพลังงานออกมาจากตัวเองโดยผ่านการควบแน่นของไอน้ำอย่างฉับพลัน ลักษณะของเมฆชนิดนี้จะก่อตัวและยกตัวในแนวตั้ง ตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 2.8

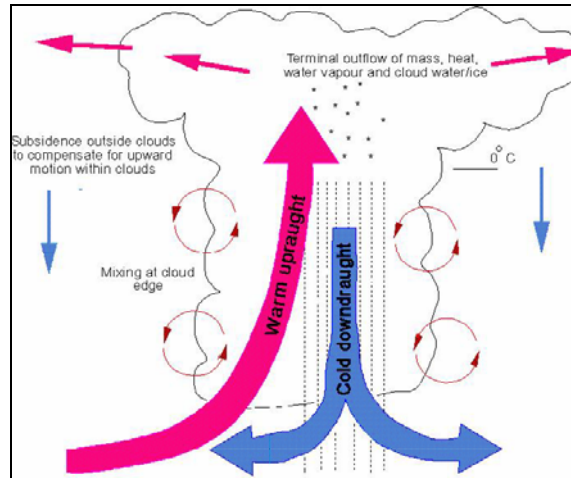


ภาพที่ 2.8 ก่อตัวในแนวตั้งรุนแรง มีการปลดปล่อยพลังงานผ่านไอน้ำทำให้เกิดฝนฟ้าคะนอง (ที่มา : Ron Holle Meteorology & Photography)

2.3.2 ชนิดของเมฆตามพฤติกรรมการเกิด

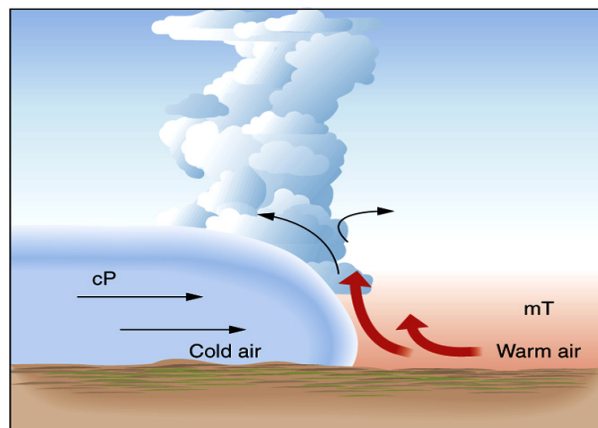
การแบ่งชนิดของเมฆตามพฤติกรรมการเกิดสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

2.3.2.1 เมฆที่เกิดจากการพาความร้อน (Convective cloud) เป็นเมฆที่เกิดจากอากาศอุ่นขึ้นจึงขยายตัวและความหนาแน่นลดลงอากาศที่เย็นกว่าด้านล่างทำให้เกิดความไม่คงตัว อากาศอุ่นเคลื่อนที่ขึ้นไปอากาศเย็นเคลื่อนลงมาแทนที่ ขณะที่อากาศอุ่นเคลื่อนที่ขึ้นจะนำความร้อนขึ้นไปด้วย ดังแสดงในภาพ 2.9 ดังนั้นเมฆชนิดนี้จึงมีพฤติกรรมก่อตัวในลักษณะตามแนวตั้ง ซึ่งเมฆชนิดนี้ก่อตัวในระดับต่ำและมีโอกาสพัฒนาไปเป็นเมฆในระดับสูงต่อไป



ภาพที่ 2.9 พฤติกรรมการเกิดเมฆฝนจากการพาความร้อน
(ที่มา: www.nstlearning.com)

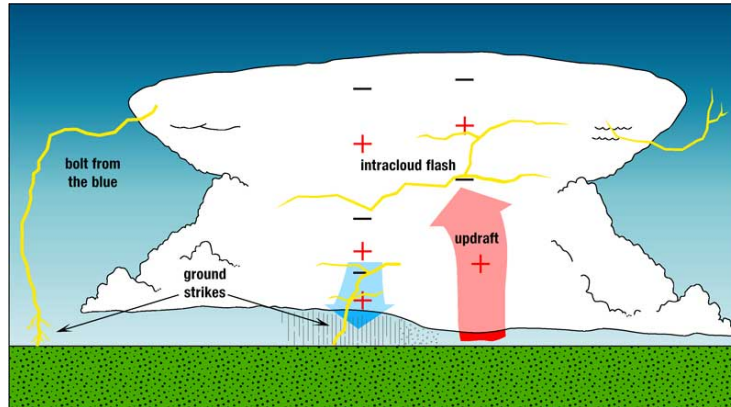
2.3.2.2 เมฆที่เกิดจากการลอยตัวขึ้นทำให้เกิดแนวปะทะอากาศ (Stratiform cloud) เมฆฝนชนิดนี้มีลักษณะบางเป็นแผ่นเกิดในบริเวณที่ความชื้นหรือไอน้ำมีการเคลื่อนที่ ความเร็วของการเคลื่อนที่เป็นไปตามกระลมที่พัดในแนวตั้ง (Updraught) ความเร็วในการเคลื่อนที่จะน้อยกว่า 1 เมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 2.10



(d) Frontal (e.g. cold front)

ภาพที่ 2.10 พฤติกรรมการเกิดเมฆที่เกิดจากแนวปะทะ
(ที่มา: http://jamaica.u.arizona.edu/ic/nats1011/lectures/ch05/FIG05_025D.JPG)

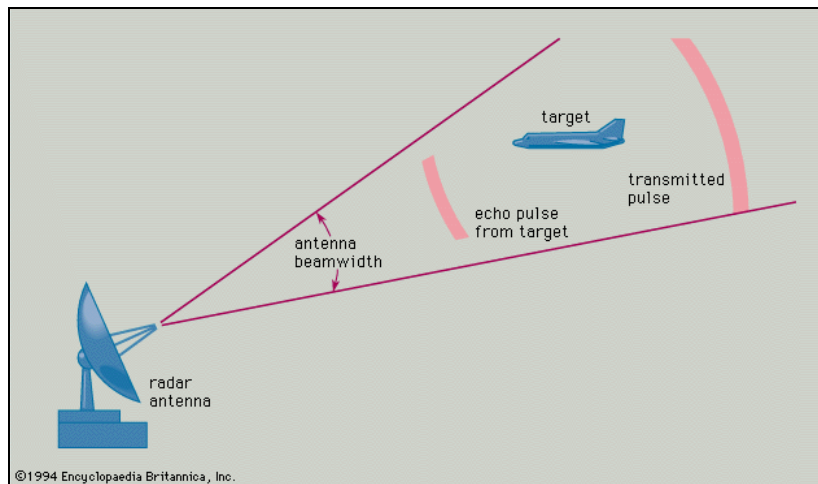
2.3.2.3 เมฆที่เกิดจากกระแสปั่นป่วน (Turbulent flow) เมฆฝนที่มีพฤติกรรมแบบนี้จะมีลักษณะของเมฆเป็นระลอก หรือเป็นแผ่นบาง ๆ ลักษณะของพฤติกรรมกการเกิดเมฆแบบกระแสปั่นป่วน แสดงในรูปที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 พฤติกรรมการเกิดเมฆจากกระแสปั่นป่วน
(ที่มา: www.nssl.noaa.gov/.../ltgtypes_schematic.jpg)

2.4 หลักการทำงานของเรดาร์ (Radar operation)

“RADAR” ย่อมาจาก “RADio Detection And Ranging” หมายถึง การตรวจจับและวัดระยะด้วยคลื่นวิทยุ (Battan, 1973) หลักการทำงานของเรดาร์ คือ เรดาร์จะส่งพลังงานคลื่นวิทยุจากเครื่องส่งออกไปเป็นลำแสงกวาดเป้าหมายเมื่อพลังงานไปกระทบวัตถุที่เป็นเป้าหมาย ได้แก่ เครื่องบิน สิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ ภูเขา ฝน ลูกเห็บ ฯลฯ และสะท้อนพลังงานคลื่นวิทยุกลับมายังที่เครื่องรับทำให้สามารถตรวจจับวัตถุที่เป็นเป้าหมายได้ทำให้ทราบขนาด ระยะ และตำแหน่งที่อยู่ได้ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.12 นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้เรดาร์ในการตรวจสอบสภาพอากาศซึ่งเรียกเรดาร์ชนิดนี้ว่าเป็นเรดาร์ตรวจอากาศ (Weather radar) ซึ่งเป็นเรดาร์ที่ใช้ตรวจวัดปริมาณน้ำจากฟ้า (Precipitation) และสามารถติดตามตำแหน่งการเคลื่อนที่ได้ ทำให้สามารถประมาณการว่าเป็นน้ำจากฟ้าชนิดใด ได้แก่ ฝน หิมะ ลูกเห็บ เป็นต้น ในปัจจุบันนี้เรดาร์ตรวจอากาศได้มีการพัฒนาไปจนถึงขนาดที่สามารถนำข้อมูลจากการตรวจวัดมาวิเคราะห์ลักษณะ รูปแบบ เพื่อที่จะทำให้สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศได้



ภาพที่ 2.12 เรดาร์ส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปกระทบ
เป้าหมายและสะท้อนกลับมายังเครื่องรับที่เรดาร์
(ที่มา: Encyclopaedia Britannica, Inc, 1994)

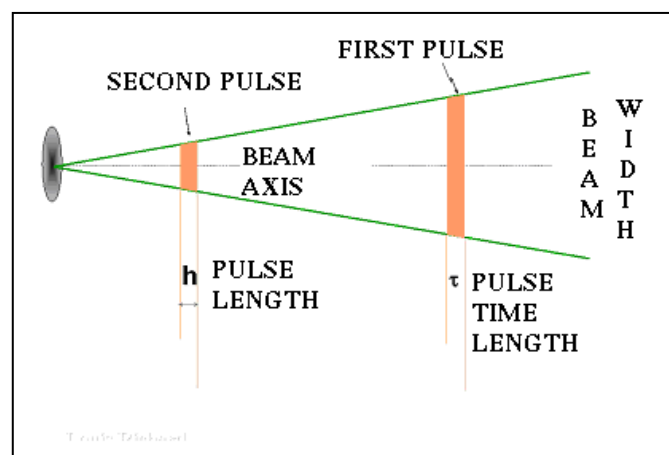
เรดาร์ได้เริ่มนำมาใช้งานในด้านตรวจสภาพภูมิอากาศเมื่อสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยกองทัพสหรัฐอเมริกาได้นำมาเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจจับ การเคลื่อนไหวของศัตรูเพื่อรักษาความปลอดภัย (Probert-Jones, 1989) เนื่องจากการดำเนินการตรวจจับของเรดาร์นั้นได้พบว่ามีสิ่งรบกวนที่ทำให้เกิดสัญญาณการสะท้อนกลับมากมาย ซึ่งได้แก่ ฝน หิมะ ลูกเห็บ เป็นต้น ดังนั้นหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 นักวิทยาศาสตร์ในกองทัพสหรัฐจึงได้ดำเนินการศึกษาและพัฒนาการใช้เรดาร์ในตรวจวัดสิ่งต่าง ๆ อย่างจริงจัง ในสหรัฐอเมริกา David Atlas (1990) ได้เริ่มพัฒนาให้เรดาร์ใช้สำหรับกองทัพอากาศเพื่อตรวจวัดและควบคุมการบิน ต่อมา MIT ได้มีการพัฒนาเรดาร์สำหรับตรวจอากาศ (Weather radar) ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดช่วงคลื่นและรายละเอียดการใช้งานของเรดาร์ในช่วงคลื่นต่าง ๆ กัน

เรดาร์จะส่งคลื่นพลังงานเรดาร์ออกไปจากสถานีเรดาร์ ซึ่งการที่คลื่นพลังงานนี้จะกระจายเป็นลำคล้ายรูปกรวยออกไปในบรรยากาศในลักษณะดังภาพที่ 2.13 นั่นคือคลื่นหรือลำพลังงานได้กระจายออกไปครอบคลุมบริเวณกว้างเมื่ออยู่ไกลจากสถานีเรดาร์ และ บริเวณใกล้กับสถานีเรดาร์จะครอบคลุมบริเวณที่แคบกว่า ซึ่งลำพลังงานนี้จะมีจุดสิ้นสุดอยู่ระยะ 100-250 กิโลเมตร แล้วแต่ชนิดของเรดาร์ ลำพลังงานนี้จะตรวจจับเป้าหมายในอากาศด้วยพัลส์เพียงพัลส์

เดี่ยวแต่เป็นพัลส์ที่ส่งออกไปอย่างต่อเนื่องซึ่งพัลส์แต่ละพัลส์จะครอบคลุมปริมาตรในอากาศมีหน่วยเป็นลูกบาศก์กิโลเมตร

ตารางที่ 2.1 แถบคลื่น ความถี่ และลักษณะการใช้งานของเรดาร์ชนิดต่าง ๆ

แถบคลื่น	ความถี่	ความยาวคลื่น	ลักษณะการใช้งาน
HF	3-30 MHz	10-100 m	เป็นเรดาร์ชนิดตรวจวัดอย่างหยาบ
P	<300 MHz	1 m+	เป็นแบบเก่า ประยุกต์ใช้เป็นเรดาร์อย่างง่าย
VHF	50-330 MHz	0.9-6 m	ความถี่สูง ระยะไกล สามารถทะลุพื้นดินได้
UHF	300-1000 MHz	0.3-1 m	ตรวจได้ระยะไกลมาก ทะลุทะลวงได้ ใช้สำหรับตรวจจับ จรวดโจมตี
L	1-2 Ghz	15-30 cm	ใช้บนเครื่องบิน ใช้ตรวจวัดระยะไกล
S	2-4 GHz	7.5-15 cm	ควบคุมท้ายเครื่องบิน เรดาร์ตรวจอากาศ เรือดำน้ำ
C	4- 8 GHz	7.75-7.5 cm	อยู่ในอุปกรณ์การส่งดาวเทียม จะอยู่ระหว่าง X และ S แบนของเรดาร์ตรวจอากาศ
X	8-12 GHz	2.5-3.75 cm	อุปกรณ์นำทางจรวดนำวิถี เรดาร์เรือดำน้ำ เรดาร์ตรวจอากาศ
Ku	12-18 GHz	1.67-2.5 cm	สามารถสำรวจมีความละเอียดสูง ความถี่อยู่ต่ำกว่า K แบน
K	18-24 Ghz	1.11-1.67 cm	ใช้สำหรับตรวจวัดเมฆ , ตรวจจับความเร็วรถยนต์
K_a	24-40 GHz	0.75-1.11 cm	แผนที่, คลื่นสั้น, ตรวจจระเข้ขนามบิน , ความถี่สูงกว่า K แบน , เรดาร์ถ่ายภาพ ใช้ในการตรวจจับวัตถุวิ่งฝ่าไฟแดง
mm	40-300 GHz	7.5 mm -1 mm	มิลลิเมตรแบน, แบ่งให้ต่ำกว่า.ระยะความถี่ขึ้นอยู่กลับตัวกลางคลื่น
Q	40-60 GHz	7.5 mm - 5 mm	เป็นคลื่นไมโครเวฟใช้ในการสื่อสารทหาร
V	50-75 GHz	6.0-4 mm	คลื่นย่านความถี่เดียวกับคลื่นแม่เหล็ก ใช้สำหรับการสื่อสารแบบจุดต่อจุด
E	60-90 GHz	6.0-3.33 mm	คลื่นวิทยุ มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า NA TO แบน
W	75-110 GHz	2.7 - 4.0 mm	มีความละเอียดสูง ใช้ในการตรวจจับความเร็ว การสื่อสาร ใช้ในการทดลอง
UWB	1.6-10.5 GHz	18.75 cm -2.8 cm	ใช้สำหรับตรวจทะลุกำแพง ถ่ายภาพ



ภาพที่ 2.13 เรดาร์ส่งลำแสงคลื่นพลังงานออกไปในลักษณะพัลส์ซึ่งมีความกว้าง h ในช่วงเวลา τ (ที่มา : Wikipedia, free encyclopededia)

ปริมาณที่เรดาร์ตรวจจับได้โดยการส่งพัลส์ออก ณ จุดใดๆ ที่เวลา t สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

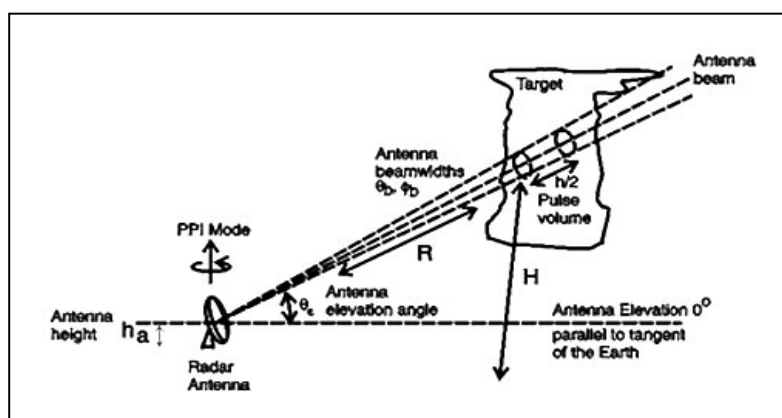
$$V = hr^2\theta^2 \quad (2.8)$$

โดยที่ h คือ ความกว้างของพัลส์ มีหน่วยเป็น เมตร

r คือ ระยะทางจากเรดาร์ไปจนถึงพัลส์ที่ตรวจจับเป้าหมายได้ มีหน่วยเป็น เมตร

θ คือ ความกว้างของ ลำพลังงาน มีหน่วยเป็น เรเดียน

ซึ่งในสมการที่ 2.8 Doviak and Zrnich (1992) ได้สมมติให้ ลำพลังงานของคลื่นเป็นแบบวงกลมสมมาตร (Symmetrical circular) และ r มีค่ามากกว่า h ดังนั้น ค่า r คิดที่จุดเริ่มต้นของพัลส์หรือจุดสิ้นสุดของพัลส์ ก็มีค่าเท่ากัน สถานีเรดาร์ที่ส่งและรับสัญญาณจะคอยตรวจจับสัญญาณที่สะท้อนกลับหลังจากที่คลื่นพลังงานชนกับเมฆฝนในอากาศ ช่วงเวลาที่รับสัญญาณสะท้อนกลับมีหน่วยเป็นมิลลิวินาที เนื่องจากโลกเป็นทรงกลมในการคำนวณหาความสูงเหนือพื้นดินของเป้าหมาย ซึ่งเป้าหมายอยู่ในอากาศหรือบรรยากาศ แสดงในภาพที่ 2.14 ดังนั้นในการหาความสูงของเป้าหมายจะต้องรู้ค่าความเปลี่ยนแปลงการหักเหในอากาศและระยะทางจากเรดาร์ถึงเป้าหมาย หลังจากที่เราเริ่มการกวาดโดยการหมุนเสาอากาศ (Antenna) ในแต่ละรอบแล้วเปลี่ยนมุมไปหลาย ๆ มุมซึ่งในการกวาดแต่ละครั้งจะกวาดทั้งปริมาตรของอากาศรอบ ๆ เรดาร์ ซึ่งโดยปกติการกวาดแต่ละรอบจะทำได้สมบูรณ์ในช่วงระยะเวลา 5 ถึง 10 นาที



ภาพที่ 2.14 การหาความสูงของเป้าหมายในการกวาดของเรดาร์

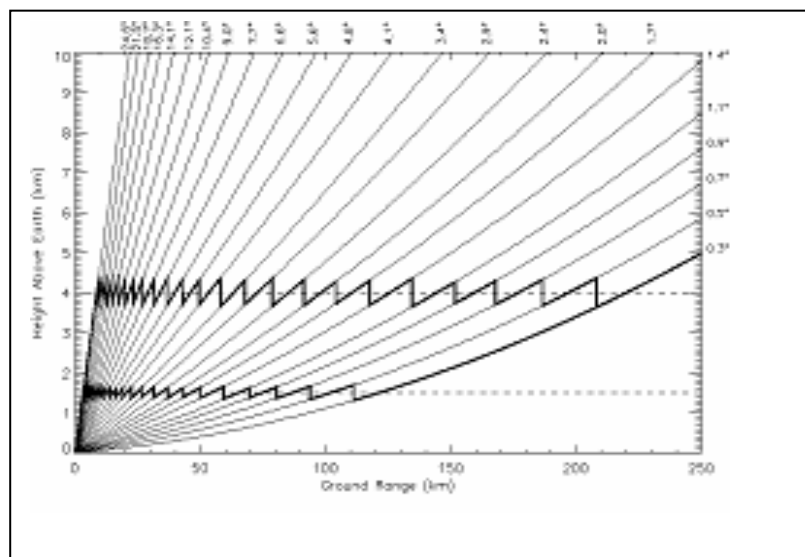
(Wikipedia, free encyclopedia 2008)

ในการหาความสูงของเป้าหมายที่ตรวจวัดโดยเรดาร์นั้นหาได้จากสมการ

$$H = \sqrt{r^2 + (k_e a_e)^2 + 2rk_e a_e \sin \theta_e} - k_e a_e + h_e \quad (2.9)$$

โดยที่ r คือ ระยะห่างระหว่างเรดาร์ถึงเป้าหมาย หน่วยเป็นกิโลเมตร
 k_e คือ ค่าสัมประสิทธิ์การหักเหของแสง มีค่า 4/3
 a_e คือ ค่ารัศมีของโลกมีค่า 6,378 กิโลเมตร (วัดจากเส้นศูนย์สูตร)
 θ_e คือ มุมระหว่างเสาอากาศของเรดาร์กับพื้นโลก หน่วยเป็นเรเดียน
 h_e คือ ความสูงของเรดาร์เหนือพื้นดิน หน่วยเป็นกิโลเมตร

จากสมมติฐานที่ว่าโลกเป็นทรงกลม และจากทฤษฎีค่าดัชนีการหักเหของแสงจะเปลี่ยนแปลงไปตามความสูง ดังนั้นเรดาร์จึงไม่สามารถตรวจจับเป้าหมาย ณ มุมต่ำๆ ใกล้เคียงตำแหน่งที่ตั้งเรดาร์ได้เพราะจะถูกส่วนโค้งของโลกบังซึ่งแนวที่เรดาร์จะเริ่มกวาดแล้วส่งค่าสะท้อนกลับมาได้จะต้องอยู่ในแนวเส้นสายตา (Line of sight) ภาพที่ 2.15 แสดงค่าข้อมูลที่ได้จากการกวาด ณ มุมต่าง ๆ กัน



ภาพที่ 2.15 ข้อมูลที่เรดาร์ตรวจวัด ณ มุมต่าง ๆ กัน

(ที่มา : Wikipedia, free encyclopedia, 2008)

ในการตรวจวัดข้อมูลของเรดาร์เป้าหมายที่ตรวจพบไม่ได้มีสิ่งเดียว ดังนั้น Doviak and Zrnic (1992) จึงได้เสนอสมการเรดาร์เพื่อใช้สำหรับคำนวณค่าพลังงานที่สะท้อนกลับเพื่อจะได้ทราบว่าพบเป้าหมายใด และเป็นสมการพื้นฐานสำหรับเรดาร์ ดังแสดงในสมการที่ 2.10

$$P_r = \left[P_t \frac{G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \right] \propto \frac{\sigma}{R^4} \quad (2.10)$$

โดยที่ P_r คือ พลังงานที่สะท้อนกลับ

P_t คือ พลังงานที่ส่งออกไป

G_t คือ กำลังขยายในการส่งพลังงานออกไปของเสาอากาศ

λ คือ ความยาวคลื่นของเรดาร์ หน่วยเมตร

σ คือ พื้นที่หน้าตัดของเป้าหมาย หน่วยตารางกิโลเมตร

มีค่าเท่ากับ $V\eta$ โดยที่ V มีค่าเท่ากับ $\left[\frac{c\tau}{2} \right] \times \left[\frac{\pi R^2 \theta^2}{4} \right]$

R คือ ระยะทางจากเรดาร์ถึงเป้าหมาย หน่วยเป็นกิโลเมตร

ในที่นี้จะทำการรวมพื้นที่หน้าตัดของเป้าหมายทุกเป้าหมายเข้าด้วยกัน ดังนั้น แทนค่า σ ลงในสมการที่ 2.4 ฉะนั้นจะได้สมการใหม่ คือ

$$P_r = \left[P_t \frac{G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \right] \times \left[\frac{c\tau}{2} \right] \times \left[\frac{\pi R^2 \theta^2}{4} \right] \eta = \left[P_t \tau G^2 \lambda^2 \theta^2 \right] \times \left[\frac{c}{512(\pi^2)} \right] \times \frac{\eta}{R^2} \quad (2.11)$$

จากสมการที่ 2.11 ทำให้ได้ความสัมพันธ์ $P_r \propto \frac{\eta}{R^2}$

ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการตรวจวัดของเรดาร์ คือ ค่าพลังงานคลื่นสะท้อนกลับจากการที่คลื่นกระทบเป้าหมาย และสามารถแสดงได้ในรูปแบบของความเข้มของอัตราการตกของน้ำจากฟ้าในปริมาตรของการตรวจจับ ความยาวคลื่นที่ใช้อยู่ระหว่าง 1 ซม. ถึง 10 ซม. ทำให้ค่าพลังงานคลื่นสะท้อนกลับเป็นสัดส่วนกับอัตราการตกของน้ำจากฟ้า เนื่องจากอยู่ในเงื่อนไขของกฎการ

กระจายของ Rayleigh (Rayleigh scattering) ซึ่งกล่าวว่าอนุภาคของน้ำจากฟ้าจะต้องมีค่าน้อยกว่าความยาวคลื่นของเรดาร์ที่ใช้ $\left(\frac{D_i}{\lambda} > \frac{I}{16}\right)$, Rayleigh's law (1871)

ค่าพลังงานสะท้อนกลับของเรดาร์ P_r จะถูกแปลงไปเป็นค่าสะท้อนกลับ Z_e ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) ของเม็ดฝนยกกำลัง 6 , ค่าไดอิเล็กทริกยกกำลังสอง (K) และการกระจายของเม็ดฝน ดังนั้น แกมมาฟังก์ชัน (Gamma function) (Yau and Roger ,1976) อยู่ในรูปแบบ

$$Z_e = \int_0^{Dmax} |K|^2 N_0 e^{-4D} D^6 dD \quad (2.12)$$

ความเข้มของฝน (R) หรือสามารถเขียนได้ในรูปของ เม็ดฝน ปริมาตร และความเร็วในการตกของเม็ดฝน

$$R = \int_0^{Dmax} N_0 e^{-4D} \left(\frac{\pi D^3}{6}\right) v v(D) dD \quad (2.13)$$

ดังนั้น Z_e และ R สามารถเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่าง Z และ R ได้ดังนี้

$$Z = aR^b \quad (2.14)$$

ค่า a, b ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำจากฟ้า (หิมะ ฝน เมฆแนวตั้ง เมฆแผ่น) ซึ่งจะมีค่า A, K, N_0, v แตกต่างกัน

Marshall and Palmer (1948) ได้เสนอผลการศึกษาเกี่ยวกับการกระจายของเม็ดฝน ซึ่งได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างค่าสะท้อนกลับของเรดาร์และค่าความเข้มของฝนจากสถานีวัดน้ำฝน (Z - R relationship) โดยให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานสะท้อนกลับของเรดาร์กับอัตราการตกของเมื่อน้ำที่ตกลงสู่พื้นดิน คือ $Z=200R^{1.6}$ ซึ่งสมการความสัมพันธ์ Z - R นี้ได้ถูกนำมาใช้จนถึงปัจจุบัน

Jordan (2000) ได้จำแนกความคลาดเคลื่อนของการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรก คือ 1) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดในการดำเนินใช้เครื่องมือการตรวจวัด (Measurement error) 2) คือ ความคลาดเคลื่อนในการแปลงค่าพลังงานการสะท้อนกลับสัญญาณเรดาร์เป็นปริมาณน้ำฝน (Z-R Conversion error) นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องความถี่ของข้อมูลในการตรวจวัดฝนของเรดาร์ (Temporal error) เนื่องจากฝนมีการเคลื่อนที่โดยมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้นเมื่อกลุ่มฝนมีการเคลื่อนที่เร็วมากขึ้นหรือเกิดพายุฝน ดังนั้นความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความถี่ในการกวาดของเรดาร์ได้ถูกนำมาศึกษาโดย fabry (1994) ในปัจจุบันนี้ได้มีการศึกษามากมายที่พยายามปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนและเพิ่มความถูกต้องของการประมาณการปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลเรดาร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยการตรวจสอบความถูกต้องของปริมาณฝนเรดาร์ที่ประมาณได้จากเรดาร์จะทำโดยเปรียบเทียบกับปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่สอดคล้องกันกับข้อมูลเรดาร์ (Ciach et al., 1995)

2.5 การประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์ (Radar rainfall estimation)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการประมาณการปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลเรดาร์ วิธีการที่นำมาใช้ในการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลเรดาร์

2.5.1 กระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลเรดาร์

(Radar -rainfall estimation process)

การเปลี่ยนข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ให้เป็นปริมาณน้ำฝนได้เป็นที่รู้จักกันมากกว่า 60 ปี แต่การดำเนินการเกี่ยวกับการใช้เรดาร์ตรวจอากาศประยุกต์ในงานอุตุนิยมวิทยาก็ยังอยู่ในวงจำกัด ในการแปลงค่าสะท้อนกลับของเรดาร์จะเปรียบเทียบการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์กับค่าที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน ซึ่งได้มีการสรุปว่าการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ขาดความแม่นยำ ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนจากการที่จะเปลี่ยนค่าสะท้อนกลับของเรดาร์เป็นปริมาณน้ำฝนโดยเทียบกับปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินหรือจากการดำเนินการสอบเทียบ (Calibration) ของเรดาร์ หรือ การเลือกค่าพารามิเตอร์ a และ b ของสมการ Z-R เพื่อใช้ในการแปลงค่าสะท้อนกลับ (Z) เป็นค่าปริมาณความเข้มของฝน (R) และการปรับแก้ค่าปริมาณฝนจากเรดาร์ซึ่งได้จากการตรวจวัดฝนในอากาศให้เทียบเท่ากับฝนที่ตกลงบนพื้นดิน (Joss and Waldvogel, 1990; Sauvageot, 1994) ในการแปลงค่าสะท้อนกลับของเรดาร์

เพื่อให้เป็นปริมาณน้ำฝนโดยหาได้จากความสัมพันธ์ของ $Z-R$ ที่เหมาะสม จากการศึกษาของ Collier et al.(1983) พบว่า การทำนายปริมาณน้ำฝนขึ้นอยู่กับแพคเตอร์สองแพคเตอร์ คือ ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) และ ความเข้มของฝนที่วัดโดยสถานีวัดน้ำฝน (R) ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่เหมาะสมที่เป็นมาตรฐาน ที่สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนได้ทั้งหมด (Seed et al., 1997) ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนอาจจะเกิดจากลักษณะทางกายภาพของเรดาร์ หรือในการสอบเทียบของเรดาร์ การลดทอนสัญญาณเนื่องจากระยะทาง หรือส่วนของลำพลังงาน ดังนั้นควรจะแก้ไขให้ถูกต้องในช่วงที่ทำการสอบเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์ทางสถิติของสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ จะได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเรดาร์ได้ถูกนำมาใช้ในการอุตุ-อุตุนิยมวิทยา มาตั้งแต่ ปี 1960 เพื่อหาปริมาณน้ำฝน โดยทั่วไปแล้ววิธีที่จะใช้ข้อมูลเรดาร์ในการหาปริมาณน้ำฝนนั้นขึ้นอยู่ กับค่าความสัมพันธ์ ระหว่าง ค่าสะท้อนกลับของเรดาร์และค่าอัตราการตกของฝน $Z = aR^b$ ค่าสัมประสิทธิ์ a และ b มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าการกระจายของขนาดเม็ดฝน (DSD) และ จำนวนเม็ดฝนภายใต้ปริมาตรของบรรยากาศที่สำรวจ (Martner et al., 2005)ซึ่งสมการความสัมพันธ์นี้ได้ถูกศึกษาเพื่อหาสมการที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในการประมาณปริมาณน้ำฝนในหลายประเทศ และโดยสมการความสัมพันธ์ที่ Marshall และ Plamer (1948) จะถูกนำมาใช้เป็นสมการเบื้องต้น ($Z=200R^{1.6}$) โดยในประเทศไทย อุตุวิทยามหาวิทยาลัย หรือ สำนักงานระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ได้นำค่าสมการเบื้องต้นนี้มาใช้เช่นกัน ความเปลี่ยนแปลงของค่าสมการความสัมพันธ์ Z และ R เกิดจากผลโดยตรงของค่า การกระจายของขนาดเม็ดฝนและ จำนวนเม็ดฝนในหน่วยปริมาตร และลักษณะของมวลอากาศ (Dickens, 2003) ค่าการกระจายของขนาดเม็ดฝนและจำนวนเม็ดฝน หามาได้จากกระบวนการทางไมโครฟิสิกส์ของเมฆ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปเป็นรายวัน ฤดูกาล พื้นที่ แม้กระทั่งเมฆชนิดเดียวกันก็ตาม นอกจากนี้ยังมีแพคเตอร์อย่างอื่นเช่น การขัดขวางลำพลังงานของเรดาร์เนื่องจากลักษณะของพื้นที่และระยะที่มีผลต่อความเปลี่ยนแปลงเมื่อลำพลังงานของเรดาร์เคลื่อนผ่านเมฆที่มุมต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพื้นที่ รายละเอียดของวิธีการหาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ มีดังต่อไปนี้

2.5.2 วิธีหาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$

วิธีหาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันสำหรับการสอบเทียบเรดาร์ตรวจอากาศมีอยู่ด้วยกัน 4 วิธี ได้แก่

2.5.2.1 Least-squares regression technique (LSR) ซึ่งรูปแบบความสัมพันธ์แสดงอยู่ในรูป $Z = aR^b$ ซึ่ง Z คือ ค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ ค่าที่วัดได้อยู่ในรูปของ dBZ, R คือ อัตราการตกของฝน มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ค่า a และ b คือ ค่าพารามิเตอร์ของสมการซึ่งสามารถเปลี่ยนให้ไปอยู่ในรูปของสมการ $\log(Z) = b\log(R) + \log(a)$ และจากความสัมพันธ์นี้ LSR ก็สามารถจะประมาณการหาค่า b และ a

2.5.2.2 Robust regression technique วิธีการนี้สามารถลดความอ่อนไหวของสมการ Regression เพื่อให้มีความยุ่งยากน้อยที่สุดในการตั้งสมมติฐานและลดผลกระทบในกรณีที่ข้อมูลบางข้อมูลผิดแปลกไปนั่นคือสามารถตัดข้อมูลบางจุดออกไป ซึ่งโดยปกติข้อมูลของฝนจากสถานีภาคพื้นดินและฝนจากเรดาร์จะมีสิ่งรบกวน หรือผิดปกติได้ และโดยความเป็นจริงก็คือการตั้งสมมติฐานจะนำไปสู่สมการยกกำลัง จากความสัมพันธ์ $Z-R$ ไม่ถูกต้องทั้งหมด ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้คือใช้วิธี Robust linear regression เพื่อหาค่าเฉลี่ยความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ที่น้อยที่สุดแทน ค่าเฉลี่ยความเบี่ยงเบนยกกำลังสอง เหมือนการตัดค่าที่ผิดปกติออกไป (Press et al., 1992)

2.5.2.3 A non-parametric technique วิธีนี้จะทำการแปลงค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ (dBZ) ไปเป็นปริมาณน้ำฝน (มม./ชม.) ดังนั้น ความน่าจะเป็นของการกระจายการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์จะต้องเท่ากับปริมาณน้ำฝนที่วัดจาก Rain gauge ซึ่งวิธีการนี้พัฒนาขึ้นมาโดย Rosenfeld et al.(1993,1994) วิธีการนี้น่าสนใจโดยเหตุที่ว่า เมื่อตั้งสมมติฐานว่า ความน่าจะเป็นของฟังก์ชันความหนาแน่น (Probability density function:PDF) ของฝนจากเรดาร์เหมือนกับ ความน่าจะเป็นของฟังก์ชันความหนาแน่นของฝนจากสถานีวัดน้ำฝน เมื่อเทียบนาที่ต่อนาที่ โดยไม่สนใจพื้นที่ ดังนั้นในเหตุการณ์เดียวกันจึงสามารถนำฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนมาเทียบเคียงกันได้เมื่อทำให้อยู่ในรูปแบบฟังก์ชัน PDF ข้อเสียของวิธีนี้คือ ถ้าข้อมูลน้อยเกินไปจะไม่สามารถเป็นตัวแทนทางข้อมูลสถิติได้

2.5.2.4 Neural network technique วิธีนี้ยังไม่แพร่หลายในปัจจุบัน เพราะต้องมีการสอนให้แบบจำลองเรียนรู้และจึงสามารถทำการหาค่าพารามิเตอร์

วิธีที่กล่าวมาทั้งหมด 4 วิธี เป็นวิธีที่ใช้ในการหาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ซึ่งจะทำให้สามารถประมาณปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลเรดาร์ได้ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำฝนจริง สำหรับในการศึกษานี้ เลือกใช้วิธี Linear regress เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ a โดยเลือกใช้พารามิเตอร์ $b = 1.5$ เนื่องจากการศึกษาของ Steiner and Smith (2000) ที่ศึกษาโดยใช้ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์

หลายๆ ปีที่ได้จากการตรวจวัดโดยเครื่องมือ Disdrometer พบว่า ค่าพารามิเตอร์ b ที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทน คือ 1.5 สอดคล้องกับการศึกษาของ Seed et al. (2002) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนพารามิเตอร์ b ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของรากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) ระหว่างปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน

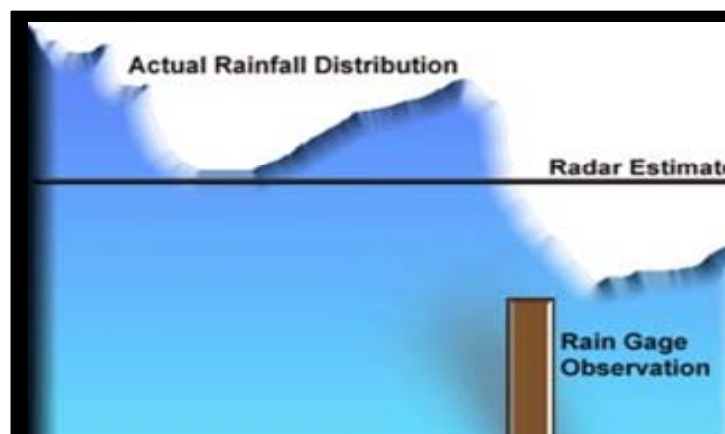
2.6 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อน (Bias adjustment)

2.6.1 ค่าคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณน้ำฝน

เป้าหมายของการประมาณการปริมาณน้ำฝนเรดาร์ คือ ต้องการค่าปริมาณน้ำฝนที่ใกล้เคียงหรือถูกต้องกับปริมาณน้ำฝนที่ตกจริงมากที่สุด ซึ่งปริมาณน้ำฝนที่ถูกต้องทำให้รู้ถึงปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่ในเวลาหนึ่งๆ ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวิธีหรือหากระบวนการที่ทำอย่างไรจึงจะรู้ปริมาณน้ำฝนใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากเรดาร์ตรวจอากาศจะประกอบด้วยข้อมูลในเชิงพื้นที่และเวลา ในเชิงพื้นที่นั้นสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ไม่น้อยกว่า 10^4 ตารางกิโลเมตร ความละเอียดเชิงพื้นที่ 1-5 ตารางกิโลเมตร และในเชิงเวลา สามารถหาค่าได้ตั้งแต่รายนาที่จนถึงสะสมรายชั่วโมง (Borga et al. 2002) ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากตรวจวัดของเรดาร์ตรวจอากาศจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตุนิยมวิทยาได้อย่างกว้างขวาง และยังช่วยให้สามารถใช้น้ำฝนล่วงหน้าได้ 1-2 ชั่วโมง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการทำนายน้ำท่วมได้ต่อไป แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากเรดาร์ตรวจอากาศไม่สามารถตรวจวัดฝนได้โดยตรงแต่ค่าข้อมูลฝนเรดาร์ที่ตรวจวัดได้คือค่าสะท้อนกลับของพลังงานที่คลื่นเรดาร์ไปกระทบเม็ดฝนและสะท้อนกลับมา แล้วจึงเปลี่ยนค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ให้เป็นค่าปริมาณน้ำฝน ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะเกิดค่าคลาดเคลื่อนจากการแปลงค่าสะท้อนกลับเป็นปริมาณน้ำฝนได้ ซึ่งค่าสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์นี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนและการกระจายตัวของเม็ดฝนภายในหนึ่งหน่วยปริมาตรของบรรยากาศที่ทำกรตรวจวัด นอกจากนี้ในการทดสอบหาความเชื่อมั่นว่าปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการตรวจวัดของเรดาร์จะต้องทดสอบเทียบกับสถานีภาคพื้นดินภายใต้รัศมีทำการของเรดาร์เนื่องจากสถานีภาคพื้นดินมีการตรวจวัดฝนอย่างต่อเนื่อง แต่เรดาร์ตรวจวัดฝนเมื่อมีการกวาดคลื่นผ่านกลุ่มฝนเท่านั้น

ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนและปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากเรดาร์เป็นปริมาณที่เปรียบเทียบกันโดยตรงได้ยากถึงแม้ว่ากระบวนการตรวจวัดทางกายภาพเหมือนกันแต่

ที่มาของปริมาณทั้งสองได้มาจากการตรวจวัดแตกต่างกัน (David, 2000) คือ ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากเรดาร์ ประมาณการมาจากฝนที่ตกบนพื้นตารางกิโลเมตร ที่เป็นความละเอียดของพิกเซลของเรดาร์ เช่น เรดาร์ภาชีเจริญมีขนาดกริดเท่ากับ 0.5×0.5 ตารางกิโลเมตร ต่อ 1 พิกเซล แต่ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝนเป็นปริมาณที่วัดที่จุดที่สถานีตั้งอยู่ เช่น หากถึงวัดน้ำฝนมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 12 นิ้ว พื้นที่ประมาณ 0.0000009 ตารางกิโลเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับกันจะเห็นว่าพิกเซลของเรดาร์จะซ้อนทับตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝน ในภาพที่ 2.16 แสดงการกระจายของฝนเมื่อเทียบกับพิกเซลของเรดาร์ 1 พิกเซล การประมาณการของเรดาร์คือค่าเฉลี่ยของพิกเซล แต่การวัดปริมาณน้ำฝนของถึงวัดน้ำฝนที่สถานีจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของถึงวัดน้ำฝนในพิกเซล การตรวจวัดทั้งสองจะสามารถบอกได้อย่างถูกต้องแท้จริงได้และยังบอกความแตกต่างได้อย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 2.16 ค่าการกระจายฝนในหนึ่งพิกเซลของเรดาร์ (ที่มา : David, 2000)

ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน (Battan, 1973) โดยค่าสะท้อนกลับจะถูกแปลงไปเป็นข้อมูลปริมาณความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (มม./ชม.) โดยใช้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่เหมาะสม การนำค่าข้อมูลสะท้อนกลับของเรดาร์มาใช้นั้นจะต้องมีกระบวนการตรวจสอบและปรับแก้ค่าความไม่ถูกต้องหรือความคลาดเคลื่อนก่อน ซึ่งกระบวนการปรับแก้ข้อมูลเรดาร์นี้ถือเป็นสิ่งแรกที่ต้องทำในการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ โดยปกติแล้ว เรดาร์ตรวจอากาศจะทำการตรวจวัดค่าสะท้อนที่อยู่เหนือพื้นดิน 1-3 กิโลเมตร และปริมาณน้ำฝนที่ต้องนำมาใช้งานคือปริมาณน้ำฝนที่อยู่เหนือพื้นดิน ขั้นตอนต่อมาคือ การปรับแก้

ฝนบนฟ้าที่วัดได้จากเรดาร์ให้เทียบเท่ากับฝนบนดิน ซึ่งสามารถทำได้โดยปรับแก้ข้อมูลฝนจากเรดาร์ที่คำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ด้วยข้อมูลฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน

2.6.2 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณน้ำฝน

(Bias adjustment)

การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนนี้เป็นการปรับแก้ปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ ซึ่งเป็นฝนบนฟ้าให้เทียบเท่ากับปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่บนพื้นดิน การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนมีดังต่อไปนี้

2.6.2.1 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean field bias adjustment)

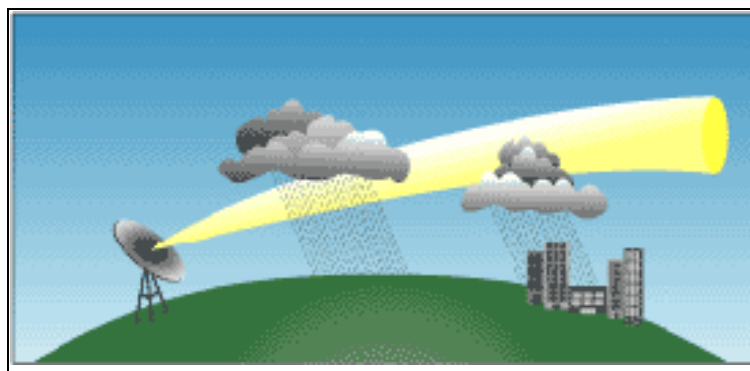
(Wilson 1970; Brandes. 1975; collinge, 1991; Seo and Breidenbach, 2002) ทำได้โดยการหาค่าแฟคเตอร์การปรับแก้ซึ่งมีค่าเท่ากันทั้งพื้นที่ศึกษา แฟคเตอร์ในการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยหาได้จากสมการ (2.15)

$$G/R = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T G_{i,t}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T R_{i,t}} \quad (2.15)$$

โดยที่ $G_{i,t}$ คือ ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t
 $R_{i,t}$ คือ ปริมาณน้ำฝนที่คำนวณจากข้อมูลเรดาร์โดยใช้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ จากกรณีต่าง ๆ ที่ตำแหน่งพิกเซลเดียวกันกับสถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t
 N คือ จำนวนสถานีวัดน้ำฝนทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ
 T คือ ช่วงเวลาที่ฝนตกให้เหตุการณ์ฝน (ชั่วโมง)

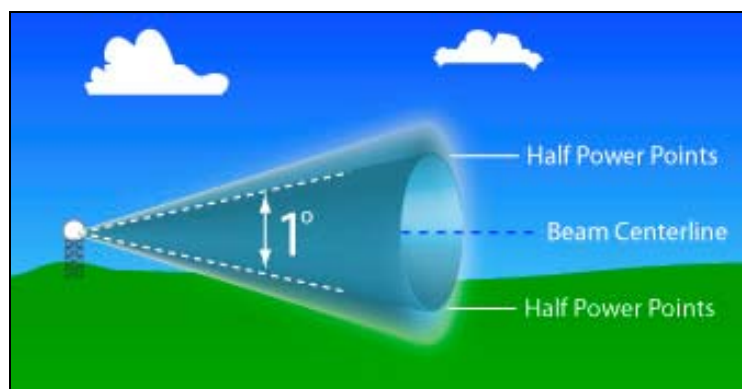
วิธีการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยวิธีการดังกล่าวจะมีข้อจำกัดอยู่ที่ ในกรณีที่พื้นที่ศึกษาที่มีลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน เช่น พื้นที่ด้านหน้าและพื้นที่ด้านหลังภูเขา ควรจะมีค่าแฟคเตอร์ในการปรับแก้ไม่เท่ากัน

2.6.2.2 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนตามระยะทาง (Range dependent bias adjustment) (Wilson, 1970; Brandes, 1975; Collinge, 1991; Seo and Breidenbach, 2002) เนื่องจากผิวโลกเป็นส่วนโค้งไม่ได้แบนราบดังแสดงในภาพที่ 2.17 และการตรวจวัดของเรดาร์จะส่งคลื่นพลังงานออกไปเป็นลำคลื่นดังแสดงในภาพที่ 2.18 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในระยะที่ห่างจากตำแหน่งที่ตั้งของเรดาร์ออกไปความแรงของคลื่นเรดาร์จะลดลงทำให้ค่าสะท้อนกลับที่ได้รับก็จะมีค่าลดลง เพื่อที่จะทำให้ได้ค่าปริมาณน้ำฝนเรดาร์ที่ถูกต้องจำเป็นต้องหาค่าแฟคเตอร์ตามระยะทางที่ห่างจากเรดาร์ออกไป



ภาพที่ 2.17 ผิวของโลกเป็นลักษณะเส้นโค้ง

(ที่มา: www.erh.noaa.gov/.../14May2006/curvature.gif)



ภาพที่ 2.18 ลักษณะของลำคลื่นพลังงานเรดาร์เมื่อดำเนินการตรวจวัด

(ที่มา: www.srh.noaa.gov/jetstream/doppler/beam_max.htm)

ค่าเผดเตอร์ในการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนตามระยะทางของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนหาได้จากสมการที่ (2.16)

$$G/R = \frac{\sum_{i=1}^T G_{i,t}}{\sum_{i=1}^T R_{i,t}} \quad (2.16)$$

โดยที่ $G_{i,t}$ คือ ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t
 $R_{i,t}$ คือ ปริมาณน้ำฝนที่คำนวณจากข้อมูลเรดาร์โดยใช้สมการ
 ความสัมพันธ์ Z-R จากกรณีต่าง ๆ ที่ตำแหน่งพิกเซลเดียวกัน
 กับสถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t
 T คือ ช่วงเวลาที่ฝนตกให้เหตุการณ์ฝน (ชั่วโมง)

2.6.2.3 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนที่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Temporal bias adjustment) (Hudlow, 1973, Seo et al., 1995) โดยการหาค่าปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนตามเวลา ซึ่งนิยมใช้ได้แก่ Random walk process และ Autoregressive: AR (1) process (Krajewski, W., 1997) ทั้งสองแบบจำลองแสดงลักษณะค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง ซึ่งโดยทั่วไปจะไม่ทราบค่าความแปรปรวนของแบบจำลองแต่จะสามารถหาได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง สำหรับในการศึกษานี้เลือกใช้แบบจำลอง AR (1) เพื่อจำลองค่าการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนตามเวลา

ค่า Time series $\{X_t\}$ คือ แบบจำลอง Autoregressive ลำดับที่ p AR (p) ถ้า

$$(X_t - \mu) = \alpha_1(X_{t-1} - \mu) + \dots + \alpha_p(X_{t-p} - \mu) + E_t \quad (2.17)$$

ค่า μ หาได้จากค่าเฉลี่ยของ $\bar{X}$ จากสมการ (2.17) เพื่อให้ง่ายแก่การคำนวณหาค่า สมมติให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 แล้วทำการหาค่า acf และถ้า p เท่ากับ 1 จะได้แบบจำลองเป็น AR (1) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในรูปแบบ กระบวนการ Markov หรือ Markov chain (Markov 1856-1922) โดย AR (1) กำหนดได้เป็น

$$X_t = \alpha X_{t-1} + E_t \quad (2.18)$$

ในที่นี้ X_t คือ ค่า G/R ณ เวลาปัจจุบันตามที่สถานีวัดน้ำฝนได้ทำการบันทึก. X_{t-1} คือ ค่า G/R ณ เวลาที่ผ่านมา α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ Time series G/R ซึ่งเขียนให้อยู่ในรูป G/R ได้ดังนี้

$$(G/R)_t = \alpha(G/R)_{t-1} + E_t \quad (2.19)$$

วิธีดังกล่าวมีข้อจำกัดอยู่ที่ค่าแฟคเตอร์ที่หาค่าได้ ยังมีความคลาดเคลื่อน ซึ่งเกิดจากผลกระทบของคุณภาพของข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนที่นำมาใช้ในการคำนวณหาค่าปรับแก้ ประกอบกับจำนวนคู่ข้อมูลความสัมพันธ์ ($Z-R$) ที่มีอยู่ในแต่ละช่วงเวลาไม่เท่ากัน ส่งผลทำให้ค่าการปรับแก้ที่คำนวณได้ในแต่ละช่วงเวลามีความมีความแน่นอนไม่เท่ากัน (ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น, 2549)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการประมาณการปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ (Radar rainfall estimation) และการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อน (Bias adjustment)

งานวิจัยที่ทำการศึกษาการประมาณปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลเรดาร์ด้วยสมการความสัมพันธ์ $Z = aR^b$ และการปรับปรุงเพื่อให้การประมาณปริมาณน้ำฝนมีความแม่นยำ ถูกต้องสรุปได้ดังนี้

Marshall and Palmer (1948) ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานสะท้อนกลับและค่าปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนโดยใช้วิธี Linear regression เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ a และ b ของสมการความสัมพันธ์ $Z = aR^b$ จากผลการศึกษาได้ค่าพารามิเตอร์ a มีค่าเท่ากับ 200 และ ค่าพารามิเตอร์ b มีค่าเท่ากับ 1.6 ต่อมา The national weather service ประเทศสหรัฐอเมริกาได้นำสมการของ Marshall and Palmer ไปใช้กับเรดาร์ WSR-57 จนถึงปัจจุบัน และนำมาใช้เป็นค่าเบื้องต้นของการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์ด้วยสมการความสัมพันธ์ $Z-R$

Takeuchi (1985) ได้ทำการศึกษาวิธีติดตามกลุ่มฝนแบบอัตโนมัติโดยวิธีติดตามจุดศูนย์กลางมวลซึ่งวิเคราะห์ลักษณะพื้นที่ที่มีฝนตกหนัก ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาคือ ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ และ ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน ทำการวิเคราะห์โดยกำหนดลักษณะพื้นที่บริเวณที่มีขนาดตั้งแต่ 2.04 กิโลเมตร $\times$ 3.4 กิโลเมตร ขึ้นไปภายในรัศมีการตรวจวัด 102 กิโลเมตร มีปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 16 มม./ชม. ส่วนพื้นที่บริเวณที่ใกล้เคียงรัศมี 102 กิโลเมตร ที่มีปริมาณฝนตกหนัก ถือว่าอยู่ในรัศมี 102 กิโลเมตร และอยู่ในช่วงเวลาเดียวกัน (Duration time) เช่นกัน ยกเว้นพายุไต้ฝุ่น จะทำการติดตามในลักษณะของการติดตามการเคลื่อนที่ของตาของพายุไต้ฝุ่น ซึ่งการเปลี่ยนตำแหน่งทิศทางการเคลื่อนที่จะพิจารณาเปรียบเทียบภาพเรดาร์โดยพิจารณาจากระดับที่ตรวจวัด การเคลื่อนที่ของอากาศระดับบนที่ 700 มิลลิบาร์ จากการศึกษาพบว่าช่วงเวลาของพายุฝนตกหนักที่เกิดขึ้นไม่เกิน 20 นาที และการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนที่ตกหนักสามารถทำนายด้วยวิธี Simple extrapolation แต่ไม่เกิน 20 นาที ด้วยการพิจารณาภาพเรดาร์อากาศระดับบน

Joss and Waldvogel (1989) ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานสะท้อนกลับของเรดาร์และค่าปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน จากสมการความสัมพันธ์ $Z = aR^b$ ผลการศึกษาได้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ของลักษณะฝน 3 รูปแบบ ได้แก่

$$\begin{aligned} Z &= 140R^{1.5} && \text{สำหรับฝนตกปรอยๆ} \\ Z &= 250R^{1.5} && \text{สำหรับฝนตกกระจายครอบคลุมบริเวณกว้าง} \\ Z &= 500R^{1.5} && \text{สำหรับพายุฝนฟ้าคะนอง} \end{aligned}$$

สมการที่หาได้ทั้งหมดข้างต้น สมมติให้การกระจายของขนาดของเม็ดฝนอยู่ในรูปการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล (Marshall and Palmer, 1948; Atlas, 1953; Gunn และ Marshall, 1958)

Rosenfeld et al. (1993) ศึกษาการประมาณปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลเรดาร์โดยใช้ข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนราย 3 นาทีและข้อมูลค่าพลังงานสะท้อนกลับของเรดาร์ พบว่าค่าประมาณปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากเครื่องมือสองชนิดมีความแตกต่างกัน โดยปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากเรดาร์เป็นปริมาณน้ำฝนที่อยู่เหนือพื้นดินส่วนปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนเป็นน้ำฝนที่อยู่บนพื้นดิน ดังนั้นในการศึกษาจึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศชนิด C-band มีค่าความกว้างลำคลื่น 1.65° ร่วมกับสถานีวัดน้ำฝน 22 สถานี ที่ตั้งอยู่ใกล้เมือง Darwin ประเทศ Australia ทำการศึกษาโดยใช้วิธี

Probability Matching Method (PMM) ผลการศึกษาพบว่าวิธีการดังกล่าวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์และทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่สามารถประมาณปริมาณน้ำฝนได้ถูกต้องเพิ่มมากขึ้น 30 % เมื่อเทียบกับสมการความสัมพันธ์เบื้องต้น $Z=200R^{1.6}$

William et al. (1995) ศึกษาการประมาณปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลภาพเรดาร์และข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน ในพื้นที่ Florida ในช่วงฤดูร้อนในปี ค.ศ. 1991 โดยทำการเปรียบเทียบผลการศึกษาในกรณีที่ใช้สมการความสัมพันธ์ $Z=300R^{1.4}$ (สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ เบื้องต้นของเรดาร์ WSR-88D) และ สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่หาค่าโดยวิธี PMM ผลการศึกษาพบว่า การประมาณปริมาณน้ำฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่ได้จากสมการยกกำลังมีค่าความคลาดเคลื่อนสูง (+90%-110%) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินในเวลาเดียวกัน การประยุกต์ใช้ค่าพลังงานสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เริ่มต้น 36.5 dBZ โดยใช้วิธี PMM พบว่ามีประสิทธิภาพในการปรับปรุงค่าปริมาณน้ำฝนที่ได้จากสมการยกกำลัง โดยลดค่าความคลาดเคลื่อนลง 20%-33% ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการประมาณการของสมการยกกำลังของสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ และค่าเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝนของฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่มีมากกว่าปริมาณน้ำฝนแบบเฉพาะจุด การประมาณปริมาณน้ำฝนที่ได้จากวิธี PMM สามารถปรับปรุงทั้งค่าความคลาดเคลื่อน และค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่ได้จากทั้งสองกรณีมีค่าลดลง สเกลเวลาที่น้อยที่สุดที่ประยุกต์ใช้ PMM กับข้อมูลเรดาร์ที่ได้จากการศึกษา คือ ประมาณหนึ่งวัน สำหรับพื้นที่ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย มาตรฐานของพื้นที่ที่น้อยที่สุดยากที่จะกำหนด ถึงแม้ว่าจากการศึกษาพบว่าจะต้องน้อยกว่า 350 ตารางกิโลเมตร แต่ก็ยังเป็นข้อสรุปสำหรับใช้กับเรดาร์ WSR-88D เท่านั้น นั่นคือสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ นอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะของฝนแล้วยังขึ้นอยู่กับระบบการทำงานของเรดาร์ด้วย

Morin et al. (1995) ศึกษาการประมาณปริมาณน้ำฝนในเชิงพื้นที่และเวลา ในหลายพื้นที่ของประเทศอิสราเอล วัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้กับแบบจำลองทางอุทกวิทยา วิธีการประมาณปริมาณน้ำฝนแบบเดิมใช้เรดาร์ตรวจอากาศเพื่อรวบรวมความแปรปรวนระหว่างค่าสะท้อนของฝนจากเรดาร์และความเข้มฝน โดยใช้วิธี Window Probability Matching Method (WPMM) การเปรียบเทียบฝนสะสมรายวันจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลเรดาร์มีค่า 7% สำหรับในกรณีที่รวมค่าเฉลี่ยฝนสะสม 328 มม. ความถูกต้องในการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูล

เรดาร์สามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับลำดับความเข้มของฝนและปริมาณน้ำฝน ถือเป็นการนำเสนอข้อมูลแบบใหม่เพื่อใช้ในอุทกวิทยา ตัวอย่างการศึกษาได้แสดงให้เห็นถึงความง่ายในการใช้ข้อมูลเพื่อปรับปรุงการคำนวณปริมาณน้ำฝนที่เป็นส่วนเกินในแต่ละพื้นที่และเวลา ซึ่งจากการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าสามารถประมาณปริมาณน้ำฝนได้แม้ในกรณีที่ไม่มีสถานีวัดน้ำฝนในบริเวณพื้นที่ นอกจากนี้ผู้ศึกษายังแสดงให้เห็นถึงความยุ่งยากในการแปลงค่า ปริมาณน้ำฝนสู่ข้อมูลน้ำหลาก ถึงแม้จะเชื่อว่าโปรแกรม GIS มีความสามารถที่จะทำการเปรียบเทียบตัวแปรหลักซึ่งควบคุมความสัมพันธ์ปริมาณน้ำฝนและน้ำหลากได้ก็ตาม

Hilario (1998) ศึกษาการประมาณปริมาณน้ำฝนช่วงสั้นๆโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม ภาพอินฟราเรด (IR) ในช่วง 10.5-12.5 เมตร และ ภาพแบบ Visible (VIS) สามารถมองเห็นได้ 0.55 - 0.75 เมตร ข้อมูลนี้ได้จากดาวเทียมตรวจอากาศและสำรวจภาคพื้นดินของญี่ปุ่น (GMS) การประมาณปริมาณน้ำฝนเลือกใช้ข้อมูลฝนสะสมราย 3 ชม., 6 ชม. และ 12 ชม. จากเหตุการณ์มรสุมที่เกิดขึ้นโดยคำนวณจากภาพที่มีช่วงเวลาห่างกัน 3 ชม. แบบจำลองที่ใช้คือ Linear regression เมื่อทำการรวมภาพ IR และภาพ VIS เพื่อใช้สำหรับประมาณปริมาณน้ำฝนในช่วงสั้น, ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง พบว่าค่าปริมาณน้ำฝนที่มีความเข้มสูงมีความสัมพันธ์กับค่าความสว่างของ IR เสมอ แต่ค่าความสว่างของ IR ไม่ได้มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนที่มีความเข้มสูงเสมอไป คาบเวลารวมทั้งหมดของการประมาณปริมาณน้ำฝนที่หาได้ปรากฏว่าเป็นแฟคเตอร์ที่มีความสำคัญต่อความถูกต้องในการประมาณปริมาณน้ำฝน โดยทั่วไปการหาปริมาณน้ำฝนสำหรับคาบ 3 ชม., 6 ชม. และ 12 ชม. แสดงให้เห็นว่ามีการประมาณปริมาณน้ำฝนเกินความเป็นจริงสำหรับกรณีที่ฝนมีความเข้มต่ำ และประมาณปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าความเป็นจริงสำหรับกรณีที่ฝนมีความเข้มสูง การศึกษานี้เป็นการศึกษาที่ใช้ภาพมุมกว้างคือภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งอยู่สูงจากพื้นดินเป็นข้อมูลที่ถ่ายจากข้างบนลงมา ฉะนั้นสิ่งที่นำมาใช้เป็นข้อมูลจึงเป็นข้อมูลในแนวราบ แต่ฝนที่ตกในพื้นที่เป็นฝนที่เกิดจากเมฆฝนระดับต่ำที่อยู่เหนือพื้นดินไม่เกิน 3 กิโลเมตร และมีการเปลี่ยนแปลงทั้งในแนวดิ่งและแนวราบดังนั้นก็มีความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณน้ำฝนมาก

Willis et al. (1999) ศึกษาหาค่าความสัมพันธ์ $Z=aR^b$ โดยใช้ เรดาร์ WSR-88D ร่วมกับ Disdrometer และ gauge โดยศึกษาการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนจากการกระจายของเม็ดฝนด้วย Disdrometer บริเวณศูนย์วิจัย Everglades อำเภอ Florida ประเทศสหรัฐอเมริกา แล้วคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ a และ b โดยใช้วิธี Regression และวิธี Probability Matching Method (PMM)

โดยมีรายละเอียดของการศึกษาดังนี้ กรณีที่ใช้วิธี Regression ใช้ข้อมูลการกระจายของเม็ดฝน 1 นาที ผลการศึกษาสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ได้ค่าความสัมพันธ์ $Z=209R^{1.89}$ โดยใช้ค่า Z และ R ที่วัดได้จาก Disdrometer และใช้วิธีการแบบเดิม กรณีที่ 2 ได้ค่าความสัมพันธ์ $Z=222R^{1.42}$ โดยใช้ค่า Z ที่วัดได้จากการกระจายของเม็ดฝน 1 นาทีโดย Disdrometer และ R ที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนราย 1 นาที ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกับที่ Woodley et al. (1970) เคยศึกษาไว้ที่ไม่อามี กรณีที่ใช้วิธี PMM ใช้ข้อมูลฝนรายชั่วโมงจากสถานีวัดน้ำฝน ผลการศึกษามี 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 ได้ค่าความสัมพันธ์ $Z=318R^{1.17}$ โดยใช้ค่า Z ที่วัดได้จากเรดาร์ และค่า R ที่วัดได้จาก Disdrometer กรณีที่ 2 ได้ค่าความสัมพันธ์ $Z=316R^{1.18}$ โดยใช้ค่า Z ที่วัดได้จากเรดาร์ และค่า R ที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำ ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกันมาก

Lee et al. (2001) ศึกษาหาค่าสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่เมือง Busan ประเทศเกาหลี โดยใช้เรดาร์ DWSR-88C ร่วมกับ Disdrometer ในการตรวจวัดปริมาณน้ำฝน จากนั้นคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ a และ b โดยใช้วิธี Linear regression เนื่องจากการใช้สมการความสัมพันธ์ $Z=200R^{1.6}$ ไม่สามารถใช้กับฝนชนิดอื่นได้นอกจากฝนแบบ Stratiform การศึกษาใช้ข้อมูลในช่วงเดือนมีนาคมถึงกันยายน 2001 ได้ค่าสมการความสัมพันธ์ $Z=415R^{1.51}$ ถึงแม้ว่าสมการความสัมพันธ์นี้ไม่สามารถใช้ได้กับฝนทุกชนิด เพราะข้อมูลที่ใช้เป็นช่วงสั้น ๆ แต่ทำให้ทราบว่าเรดาร์ DWSR-88C ควรมีการสอบเทียบโดยใช้ข้อมูลมากกว่านี้และการหาสมการความสัมพันธ์ควรใช้ข้อมูลที่เก็บมานานกว่านี้ และมีวัดการกระจายของขนาดเม็ดฝน เพื่อจะทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ประมาณปริมาณน้ำฝนชนิดอื่นได้

Todini (2001) ศึกษาการประมาณการปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลเรดาร์โดยเสนอวิธีการใหม่ซึ่งเป็นการนำ Block-kriging และ Kalman filtering มาใช้ร่วมกัน โดยสร้างสมการในรูปแบบของสมการ Bayesain จากการศึกษาพบว่า ฝนเชิงพื้นที่ที่ประมาณได้จาก เรดาร์ของอุตุนิยมหาวิทยาลัยกับฝนที่วัดได้แต่ละจุดจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน เท่ากับค่าฝนของแต่ละสถานีวัดน้ำฝน ทฤษฎีนี้พัฒนาขึ้นทำตามจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของฝนเชิงพื้นที่ประกอบด้วย ค่าคลาดเคลื่อนจากการรบกวนและค่าที่ปรับแก้ ประมาณ 30% ได้ถูกเพิ่มให้กับฝนเชิงพื้นที่ที่ทราบค่า เพื่อแสดงศักยภาพของขั้นตอนวิธี ผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 1,000 ตัวอย่างแสดงให้เห็นว่า ค่าที่ประมาณการรวมสุดท้ายของค่าที่ไม่ปรับแก้และค่าสัญญาณรบกวนแปรปรวนลดลงในแต่ละตัวอย่าง ยิ่งกว่านั้นในกรณีศึกษาแสดงให้เห็นว่าสามารถปรับปรุงการประมาณ

ปริมาณน้ำฝนบริเวณตอนบนของแม่น้ำ Reno ในประเทศอิตาลีได้ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นการปรับปรุงการกระจายของฝนในเชิงพื้นที่ที่ได้มาจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลเรดาร์ตามเงื่อนไขอีกด้วย

Hannesen (2002) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์โดยใช้ข้อมูลเรดาร์ของ Polar55 Radar Montagnana/Firenze ที่ทำการตรวจวัดทุกๆ 6 นาที ซึ่งอยู่ระหว่างเดือนกันยายน 1999 ถึง เดือน พฤศจิกายน 1999 และข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน ที่ทำการตรวจวัดโดย State institute for environmental protection โดยการศึกษาเพื่อหารูปแบบการเคลื่อนที่ของฝนด้วยการติดตามการเคลื่อนที่กลุ่มฝนในวิธีที่แตกต่างกัน 4 วิธี คือ Cell centriod tracking, Cross-correlation tracking, Volume velocity processing, Uniform wind technique ผลการศึกษาพบว่าวิธี Cross-correlation tracking สามารถติดตามการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนได้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกันได้ เช่น 6 นาที, 10 นาที เป็นต้น และสามารถติดตามกลุ่มฝนที่เป็น ชนิด Convective ได้ดีกว่ากลุ่มฝนที่เป็นแบบ Stratiform

Moraes et al. (2002) ใช้ข้อมูลเรดาร์เพื่อทำการศึกษาใน Eastern coast of northeastern brazil หาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ของฝน Stratiform และฝน Convective โดยใช้วิธี Linear Regression และ ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้ 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 ค่าพารามิเตอร์ของฝน แบบ Stratiform สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา แต่ฝนแบบ Convective ไม่สอดคล้อง สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ มีค่าพารามิเตอร์เหมือนกลุ่มของ Stratiform อย่างไรก็ตามไม่ได้หมายความว่าอัตราการตกของฝนแบบ stratiform มีมากในช่วงที่ศึกษา แต่ภูมิอากาศในช่วงนั้นเป็นช่วงฤดูฝน ซึ่งจะมีมรสุมตะวันออกเฉียงใต้และ Convective เซลล์ ความชื้นแฝงมาด้วย ดังนั้นอัตราตกของฝนจึงเป็นไปได้ที่จะผสมกันระหว่างฝนทั้งสองแบบ ดังนั้นข้อมูลที่มีคาบยาวนานก็จะรวมการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศเข้าไปด้วย ซึ่งจะต้องมีการหาคำตอบต่อไป เพื่อเปรียบเทียบว่าความสัมพันธ์ $Z-R$ ในฤดูเดียวกัน ซึ่งไม่ได้นำเสนอในการศึกษานี้

Preeyaporn (2003) ศึกษาการประมาณปริมาณน้ำฝนในประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลระยะไกล (Remote sensing) และข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน โดยทำการวิเคราะห์เพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนในบริเวณที่ทำการศึกษากับข้อมูลดาวเทียมของอุตุนิยมวิทยา ใช้สมการความสัมพันธ์ในการหาปริมาณน้ำฝนจากสมการ $P = aT^b$ เมื่อ T คือ อุณหภูมิของยอดเมฆมีหน่วยเป็น K ผลที่ได้แบ่งเป็น 2 กรณี คือ 1) กรณีที่อุณหภูมิยอดเมฆได้จาก

GMS 4 และ ข้อมูลฝนจากพื้นดินจำนวน 20 สถานี และใช้ Non-linear regression หาพารามิเตอร์ จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิยอดเมฆ (T) และ ปริมาณน้ำฝน (P) สำหรับภาคเหนือ $P = 4.3932 \times 10^{58} T^{24.80}$ ($r^2 = 0.97$) สำหรับฤดูแล้ง (มีนาคม ถึงพฤษภาคม 1993) และ $P = 1.8462 \times 10^{22} T^{8.93}$ ($r^2 = 0.62$) สำหรับฤดูฝน (สิงหาคม ถึงกันยายน 1994) 2) สมการความสัมพันธ์ของภาคเหนือ, ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, ตะวันออก และภาคใต้ ระหว่างเดือนมกราคม ถึงธันวาคม 1994 คือ $P = 1.1102 \times 10^{13} T^{4.8288}$, $P = 4.4905 \times 10^{10} T^{3.8012}$, $P = 5.2384 \times 10^{12} T^{4.6683}$, $P = 2.4916 \times 10^{11} T^{4.0840}$ ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ r^2 คือ 0.71, 0.73, 0.70 และ 0.71 ตามลำดับ

Sokol (2003) ศึกษาการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงโดยใช้ข้อมูลเรดาร์ Tulsa ซึ่งเป็นเรดาร์ชนิด S-band ที่ตั้งอยู่ Oklahoma ร่วมกับข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่ โดยใช้วิธี Simple linear regression และทดสอบความเชื่อมั่นของผลการศึกษาโดยใช้ค่า RMSE, ค่าคลาดเคลื่อน และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จากการศึกษาพบว่าค่าดังกล่าวแปรผันตามค่าความหนาแน่นของสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ในพื้นที่ โดยผลการศึกษาพบว่าถึงแม้จะมีความหนาแน่นของสถานีวัดน้ำฝนน้อย (50 สถานีวัดน้ำฝน ซึ่งสถานีวัดน้ำฝน 1 สถานีต่อพื้นที่ไม่เกิน 4,000 ตารางกิโลเมตร) ในบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษาก็สามารถปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนได้ การปรับปรุงจะเพิ่มมากขึ้นหากจำนวนสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่มีจำนวนหนาแน่นมากขึ้น

Chumchean (2003) ทำการศึกษาชนิดของฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝนโดยใช้ข้อมูลจากเรดาร์ดำเนินการโดย อุตุนิยมิวิทยาของ ออสเตรเลีย ข้อมูลจากเครื่องวัดน้ำฝน 169 สถานี ระหว่าง เดือนพฤศจิกายน 2000 ถึงเดือน เมษายน 2001 ซึ่งในการศึกษาได้ทำการจำแนกชนิดของฝน โดยจัดกลุ่มค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ระหว่างฝนแบบ convective และฝนแบบ stratiform การจำแนกชนิดของเหตุการณ์ฝนหามาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงในพื้นที่และชนิดของฝน จากการศึกษาพบว่าจากวิธีการที่นำเสนอสามารถจำแนกชนิดของฝนได้ถูกต้อง 70% และเมื่อนำค่าการประมาณปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการประมาณการแบบเดิมมาเปรียบเทียบกับค่าประมาณปริมาณน้ำฝนที่มีการจำแนกชนิดของฝน พบว่ามีความแม่นยำในการประมาณปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น 13% และ 11% ในช่วง Calibration และ Cross-validation ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ชนิดของฝนมีนัยสำคัญในการประมาณปริมาณน้ำฝน

Gray และ Larsen (2004) ได้นำเสนอความถูกต้องในการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์ ซึ่งการตรวจวัดน้ำจากฟ้าด้วยเรดาร์โดยรวมค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการสะท้อนจากพื้นดินและพื้นผิวทะเล ความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดของเสาอากาศ ความคลาดเคลื่อนในการทวนสัญญาณสะท้อนกลับของเมฆน้ำและความคลาดเคลื่อนในกรณีที่สัญญาณไม่เพียงพอ ซึ่งทั้งสองได้เสนอให้พิจารณาความคลาดเคลื่อนจากแหล่งต่าง ๆ ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาเตรียมเครื่องมือเพื่อลดความคลาดเคลื่อน ผลลัพธ์ทั้งหมดได้ถูกนำมาจัดกลุ่มใหม่ และเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งคือ สามารถลดความคลาดเคลื่อนของค่าสะท้อนในแนวตั้งได้ เมื่อนำผลลัพธ์ของความคลาดเคลื่อนเหล่านี้รวมเข้าด้วยกัน และเปรียบเทียบระหว่าง การประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ ณ บริเวณพื้นที่และข้อมูลอัตราการไหลของน้ำท่าในพื้นที่จะเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้อง เมื่อเปรียบเทียบกับเครือข่ายของสถานีวัดน้ำฝน ถ้าเรดาร์มีความแน่นอนในการประมาณปริมาณน้ำฝน ความถูกต้อง การปรับแก้ต้องทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจาก Ground clutter และ VPR (Vertical Profile of Reflectivity) ลดลง ซึ่งต้องพิจารณาความเปลี่ยนแปลงผลจากสัญญาณที่เปลี่ยนไปมาอยู่ตลอดเวลาด้วย เมื่อทำการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อน และทำการประมาณปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย เพื่อนำเข้าสู่พื้นที่ตามมาตราสวน ผลลัพธ์ที่ได้ชี้ให้เห็นว่าการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลเรดาร์มีความแม่นยำเมื่อทำการสอบเทียบกับพื้นที่ที่มีสถานีวัดน้ำฝนเป็นเครือข่ายกันอย่างหนาแน่น

Velasco (2004) ใช้วิธี Merging radar and raingauge เข้ามาช่วยเพื่อปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ โดยใช้ข้อมูลจากเรดาร์ C-band ของ Spanish Weather Service ร่วมกับข้อมูลน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝน 77 สถานีที่อยู่ใน Catalunya (NE Spain) ที่ตั้งอยู่ในแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน โดยทำการรวบรวมข้อมูลน้ำฝนในช่วงวันที่ 28 กันยายน ค.ศ. 2000 ในช่วงเวลา 12 ชั่วโมงที่เรดาร์ตรวจวัดได้ ในหน่วย (dBZ) จากนั้นทำการศึกษาโดยเลือกวิธีการทาง Geostatistical ซึ่งประกอบไปด้วยวิธี Ordinary Kriging (OK) ,Kriging with External Drift (KED) และ Collocated CoKriging (ColCOK) เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ และจากผลการศึกษาเมื่อตรวจสอบด้วยค่า Cross validation พบว่าวิธีการ Kriging with External Drift (KED) เป็นวิธีการที่ดีที่สุด และในการศึกษายังพบว่าอิทธิพลของหน่วย ของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (dBZ หรือ mm.h^{-1}) มีผลต่อการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ดังนั้นในอนาคตควรพิจารณาตรงจุดนี้ในการศึกษาด้วย

Chumchean (2004) ได้นำเสนอวิธีการประมาณปริมาณน้ำฝนแบบทันเวลา โดยนำเสนอขั้นตอนสำหรับการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนอัตโนมัติของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยโดยใช้ฝนสะสมรายชั่วโมงจากเครือข่ายสถานีวัดน้ำฝน โดยใช้ข้อมูล CAPPI ของเหตุการณ์ฝนจำนวน 27 เหตุการณ์ และข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน 168 ชั่วโมง ซึ่งวัตถุประสงค์ คือ ลดค่าความแตกต่างระหว่างฝนจากข้อมูลเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน ภายใต้ปรัชญาของการประมาณปริมาณน้ำฝนแบบทันทีที่ใช้ในการศึกษา คือ ค่าประมาณปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลเรดาร์จะต้องถูกปรับแก้ก่อน ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการแปลงค่าสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ และวิธีทางสถิติจะใช้สำหรับกำจัดค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่แตกต่างกัน ระหว่างการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ ณ ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนและขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนรวมของสถานีวัดน้ำฝน โดยใช้วิธี Kalman filtering เพื่อปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยแบบทันที รูปแบบบล็อกรูปของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเหมือนกับกระบวนการ Autoregressive ลำดับ 1 (AR (1)) ซึ่งมีค่าความเบี่ยงเบนคงที่ ค่าเบี่ยงเบนของคลาดเคลื่อนรายชั่วโมงถูกประมาณการโดยใช้ค่าความเบี่ยงเบนของค่าคลาดเคลื่อนจากการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ ขึ้นอยู่กับความเข้มของฝนจำนวนสถานีวัดน้ำฝนและที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนใช้ในการประมาณการค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรายชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า ความหนาแน่นของสถานีวัดน้ำฝนมีผลต่อการปรับค่าความคลาดเคลื่อน โดยการปรับค่าความคลาดเคลื่อนที่ง่ายที่สุด คือ แฟคเตอร์ G/R เหมาะสมสำหรับในกรณีที่มีความหนาแน่นของสถานีวัดน้ำฝน และ Kalman filtering ใช้ได้ในกรณีที่สถานีวัดน้ำฝนไม่หนาแน่น ดังนั้น Kalman filtering สามารถลดจำนวนสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการปรับค่าคลาดเคลื่อนและทำให้การประมาณปริมาณน้ำฝนได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้น

Chumchean (2005) ศึกษาการประมาณปริมาณน้ำฝนแบบทันเวลา สำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยใช้ข้อมูลค่าสะท้อนกลับจากเรดาร์ตรวจอากาศตอนเมือง ซึ่งเป็นเรดาร์ชนิด S-band รัศมีทำการ 240 กิโลเมตร ระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม 2004 และข้อมูลสถานีวัดน้ำฝน ซึ่งเงื่อนไข คือ ใช้ข้อมูลความเข้มฝนมากกว่า 0.5 มม./ชม. ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการประมาณปริมาณน้ำฝนโดยใช้ข้อมูลปัจจุบันและย้อนหลังไป 120 นาทีโดยมีการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนด้วย G/R ให้ค่า RMSE ต่ำสุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น (ข้อมูลย้อนหลังไป 30 และ 60 นาที) จากการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่า การใช้ข้อมูลย้อนหลังไปไม่ควรเกิน 120 นาที หรือ 2 ชั่วโมง จึงใช้ในการประมาณปริมาณน้ำฝนได้ถูกต้องแม่นยำ

Wesson and Pegram (2006) ศึกษาการปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์ ข้อมูลที่ใช้ คือข้อมูล CAPPI ความละเอียด 1 กิโลเมตร x 1 กิโลเมตร ทุก ๆ 5 นาที และข้อมูลจาก สถานีวัดน้ำฝน 45 สถานี ปี ค.ศ.1995 – ค.ศ.1996 ที่อยู่ในรัศมีประมาณ 10 กิโลเมตร ครอบคลุม พื้นที่บริเวณ 3,600 ตารางกิโลเมตร ดังนั้นความหนาแน่นของสถานีวัดน้ำฝน คือ พื้นที่ 80 ตารางกิโลเมตรต่อ 1 สถานี ทั้งสองได้พัฒนาวิธีแยกชนิดของฝนออกเป็น 2 ชนิด คือ ฝนแบบ Convective และ ฝนแบบ Stratiform การแยกชนิดของฝนทำคล้ายกับวิธีของ Steiner (1995) คือ กำหนดค่าสะท้อนของเรดาร์เป็นช่วงๆ ค่าสะท้อนกลับที่น้อยกว่า 18 dBZ กำหนดให้ฝนเป็น 0 มม./ชม. และค่าสะท้อนกลับที่เท่ากับหรือมากกว่า 35 dBZ ให้ถือว่าฝนเป็นแบบ Convective ดังนั้นฝนที่เป็นแบบ Stratiform จะมีค่าสะท้อนกลับอยู่ระหว่าง 18 dBZ ถึง 35 dBZ นอกจากนั้นยังมีการกำจัด Bright band เพื่อปรับค่าคลาดเคลื่อนของฝนแบบ Stratiform ที่มีผลกระทบจากค่า Bright band แล้วจึงหาค่า สะท้อนกลับจากพื้นดิน โดยใช้ Cascade kriging เพื่อเติมข้อมูล CAPPI ที่ขาดหายไปที่ระดับใกล้กับพื้นดิน แล้วทำการเปรียบเทียบการประมาณปริมาณน้ำฝนใกล้กับระดับพื้นดินกับวิธี Nearest pixel และ Average profile พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (MSE) ของ Cascade kriging มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทั้งสองวิธี ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สามารถปรับปรุงค่าประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ได้

ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น (2549) หาปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์โดยแปลงค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) ให้เป็นปริมาณน้ำฝนเรดาร์ (R) โดยใช้สมการ $Z-R$ และนำมาเปรียบเทียบกับฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน พบว่ายังมีความลำเอียงเนื่องจากความแตกต่างระหว่างเครื่องมือวัดน้ำฝนทั้งสองชนิด จึงทำการปรับแก้โดยการนำค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ที่คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่าง ฝนจากสถานีวัดน้ำฝนต่อฝนเรดาร์ (G/R) ไปคูณกับฝนเรดาร์ที่คำนวณได้ในครั้งแรกจากสมการความสัมพันธ์ ($Z-R$) และทำการศึกษาผลกระทบของการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้คำนวณค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ พบว่าการใช้ค่าแฟคเตอร์การปรับแก้ที่คำนวณได้โดยข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลแล้ว ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยตลอดเหตุการณ์ที่ได้จากเรดาร์หลังปรับแก้แล้วมีค่าลดลงถึง 12.61% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ข้อมูลที่ไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

รัชนิวรรณ รัชนิวรรณ ตาพุมาศสวัสดิ์ (2549) ทำการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยการหาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ของเรดาร์อมก๋อย โดยใช้ข้อมูลเรดาร์ CAPPI ทุก ๆ 5 นาที และข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติจำนวน 40 สถานีทุกๆ สถานีติดตั้งห่างกัน 10 กิโลเมตร บันทึกข้อมูล

ทุก ๆ 1 นาที ผลของการศึกษาจากการวิเคราะห์โดยวิธี Regression ได้ สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ คือ $Z=96R^{1.71}$ และ ค่าของ $R^2 = 0.8607$ และ โดยวิธี PMM ได้สมการความสัมพันธ์ของสมการ $Z-R$ ที่เหมาะสมคือ $Z=300R^{1.42}$ ค่าของ $R^2 = 0.9725$ การศึกษาไม่ได้แยกชนิดของเมฆว่าเป็นชนิดใด เช่น Convective หรือ Stratiform

Wesson and Pegramm (2006) ทำการศึกษาเพื่อประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นโดยใช้ข้อมูลจากเรดาร์ S-band ร่วมกับข้อมูลน้ำฝนจาก สถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ Liebenbergsvlei มีพื้นที่รับน้ำ 3,600 ตารางกิโลเมตร และตั้งอยู่ใกล้เมือง Bethlehem โดยทำการรวบรวมข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 1995–ค.ศ.1996 เพื่อที่จะนำมาใช้ในการศึกษา โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้ 1) ใช้ค่าการสะท้อนของคลื่นเรดาร์ในการจำแนกชนิดของฝน Stratiform และ Convective 2) ทำการประมาณปริมาณน้ำฝนจากค่าการสะท้อนกลับเนื่องจากเรดาร์ที่ใช้ประมาณปริมาณน้ำฝนที่อยู่บนฟ้าโดยใช้วิธี Nearest neighbourhood Cascade kriging และใช้สมการความสัมพันธ์ของ Marshall Palmer แทนฝนบนพื้นดินซึ่งจากการศึกษาเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่พบว่าผลการศึกษามีความถูกต้องมากขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์โดยใช้สมการ Marshall Palmer เพียงอย่างเดียว

ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น (2550) นำเสนอวิธีการหาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ของเรดาร์สถานี ภาชีเจริญ โดยใช้ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ในรูปแบบ PPI และข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำ กรุงเทพมหานคร วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ของแต่ละเหตุการณ์ฝน ผลการศึกษาพบว่าค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ภาชีเจริญ มีค่าน้อยกว่าความเป็นจริงโดยประมาณ 5 dBZ และสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ เฉลี่ยของเรดาร์ ภาชีเจริญหลังจากบวกค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ตรวจวัดด้วยค่า 5 dBZ คือ $Z=128R^{1.5}$ ทำให้ความเข้มฝนที่ได้จากเรดาร์มีและทำการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ภาชีเจริญโดยการใช้สมการ $Z=128R^{1.5}$ ความใกล้เคียงกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝนมากกว่าวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

Haberlandt (2006) ศึกษาการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ในพื้นที่ Elbe river basin ใน เยอรมัน ในช่วงวันที่ 10-13 สิงหาคม ค.ศ. 2002 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ โดยในการศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้วิธีในการดำเนินการศึกษาหลายวิธีดังนี้ วิธี Kriging with external drift (KED) วิธี Indicator kriging with external drift (IKED) วิธี Thessen polygon วิธี Inverse square distance weight (IDW) วิธี Ordinary kriging (OK) วิธี Ordinary indicator kriging (IK)

จากผลการศึกษาโดยพิจารณาจากค่า Cross-validation พบว่าวิธี KED และ IKED จะให้ผลการศึกษาที่ดีกว่าวิธี Thessen polygon, วิธี Inverse square distance weight (IDW), วิธี Ordinary kriging (OK) และวิธี Ordinary indicator kriging (IK) ส่วนวิธีการในการศึกษาที่ดีที่สุดของการศึกษาในครั้งนี้ คือ วิธี KED ซึ่งการศึกษานี้ใช้ข้อมูลเป็นจำนวนมากเหมาะสมสำหรับพื้นที่กว้าง ๆ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสำหรับในกรณีที่ข้อมูลมีจำนวนน้อยและการทวนสอบควรนำไปทวนสอบ (Verification) กับ Hydrological model

Ozturk and Yilmazer (2007) ศึกษาเพื่อที่จะปรับปรุงค่าการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ให้ดีขึ้นโดยศึกษาในพื้นที่ Balikesir ซึ่งเป็นเมืองที่อยู่ทางทิศตะวันตกของตุรกี การศึกษาใช้เรดาร์ที่ตั้งอยู่ที่ Balikesir ในการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนจากนั้นจะทำการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนจากการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์ด้วยสถานีวัดน้ำฝน 16 สถานีที่อยู่บนพื้นดิน (AWOS) และอยู่ภายในรัศมีเรดาร์ 120 กิโลเมตร แล้วทำการหาค่าแฟคเตอร์การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อน จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผลรวมของปริมาณน้ำฝนทั้งหมดในพื้นที่ที่ประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ต่อปริมาณน้ำฝนทั้งหมดในบริเวณพื้นที่ที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนในช่วงเวลาที่พิจารณา ผลการศึกษาก่อนที่จะมีการปรับแก้ ใช้ข้อมูลฝนระหว่าง 24-25 พฤศจิกายน ค.ศ. 2005 ที่ Balikesir และใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจวัดฝน 48 ชั่วโมง สามารถวัดปริมาณน้ำฝนทั้งหมดได้ 803.8 มิลลิเมตร (ค่าเฉลี่ย 50.24 มิลลิเมตร) ของฝนทั้งหมดที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน (AWOS) ในช่วง 48 ชั่วโมง และข้อมูลฝนทั้งหมดที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ 314 มิลลิเมตร (ค่าเฉลี่ย 19.63 มิลลิเมตร) ผลคือมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่างกัน 30.61 มิลลิเมตร และผลการศึกษาภายหลังที่มีการปรับแก้จะทำให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยลดลงถึง 16.46 มิลลิเมตร และค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน ลดลงจาก 36.04 เหลือ 18.78 มิลลิเมตร

Piman (2007) ศึกษาหาความสัมพันธ์ $Z-R$ ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่แจ่ม ที่ฝนอยู่ในเขตภูมิประเทศที่เป็นภูเขา จึงเป็นฝนแบบ Orographic โดยใช้ข้อมูลเรดาร์ทุก 5 นาทีและข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ในบริเวณพื้นที่มาวิเคราะห์ด้วยวิธี Window Correlation Matching Method (WCMM) ขนาด 7×7 กิโลเมตร และจากผลการวิเคราะห์พบว่าสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่เหมาะสม คือ $Z=18.05R^{1.45}$ และสรุปว่าการใช้วิธี WCMM ในการหาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ จะช่วยในการประมาณการปริมาณน้ำฝนได้ถูกต้องยิ่งขึ้น เนื่องจากวิธีการดังกล่าวจะช่วยลดค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจาก collocation and timing error ระหว่างฝนที่วัดด้วยเรดาร์ซึ่งเป็นฝนที่อยู่ในอากาศกับฝนที่อยู่บนพื้นดินที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน ในอนาคตควรมีการพัฒนา WCMM ที่

สามารถแทนกระบวนการทางกายภาพของฝนในรูปแบบของเม็ดฝนที่ตก และอิทธิพลของลมหรือมรสุม และในกรณีที่ฝนอยู่สูงมากกว่าจะตกลงถึงพื้น อย่างไรก็ตามวิธีที่ Piman ศึกษาไม่ได้รวมเอาความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ในแนวตั้งด้วย แต่ก็ยังสรุปว่า WCMM สามารถใช้ในการปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนแบบทันเวลาได้ ถึงแม้จะอยู่ในพื้นที่ที่ไม่มีเครื่องวัดน้ำฝนก็ตาม

Teschl et al. (2007) ศึกษาการปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลเรดาร์ โดยใช้วิธีเครือข่ายใยประสาทเทียมป้อนข้อมูลล่วงหน้า (Feed-forward) สถานีวัดน้ำฝนวัดฝนโดยตรงบนพื้นดิน แต่เรดาร์วัดค่าสะท้อนกลับ (Z) และค่าปริมาณน้ำฝน (R) หาได้จากสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ นอกจากนี้ความเป็นจริงที่ว่าอัตราการตกของฝนหาได้จากการประมาณการจากค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ ซึ่งเมื่อเรดาร์ส่งพลังงานออกไปสะท้อนกลับมานั้น ค่าสะท้อนกลับอาจมาจากหลายเป้าหมาย ไม่ใช่ฝนเพียงเป้าหมายเดียวจึงเป็นไปได้ที่จะเกิดค่าคลาดเคลื่อนจากการตรวจวัด หรืออาจจะกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าเกิดการรบกวนจากการเก็บข้อมูลจึงทำให้ต้องมีการสอนให้เครือข่ายใยประสาทเทียมเรียนรู้แบบป้อนข้อมูลล่วงหน้าด้วยค่าสะท้อนกลับ Z ค่า R คือค่าข้อมูลที่น่าเข้าเพื่อที่จะสอนการพยากรณ์อัตราการตกของฝนบนดิน ผลจากการศึกษาชี้ว่าแบบจำลองสามารถที่จะสร้างและหาค่าข้อมูลนำเข้า ผลลัพธ์ แทนสำหรับเรดาร์ใกล้เคียงได้ ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้อมูลเรดาร์ทุก ๆ 5 นาที และข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบถึงกระดกอัตโนมัติ ทุก ๆ ความละเอียด 0.1 มิลลิเมตร ทุก ๆ 15 นาที จากการศึกษาประสิทธิภาพการหาค่าของเครือข่ายใยประสาทเทียมเมื่อทำการสอนด้วยค่าต่าง ๆ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เพิ่มจาก 0.5249 เป็น 0.6307 ค่าคลาดเคลื่อนของรากที่สองของค่าเฉลี่ยและค่าปรับแก้มีค่าลดลงถึง 0.7508 และ 0.0043 ตามลำดับเมื่อทำการประมาณการค่าปริมาณน้ำฝนพบว่ามีความถูกต้องเพิ่มขึ้น 18.3%

Puttaraksa and Sriwongsitnon (2008) ศึกษาหาความสัมพันธ์ของค่าสะท้อนกลับเรดาร์และอัตราการตกของฝน $Z-R$ ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนของการเปลี่ยนความสัมพันธ์ค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ Z ไปเป็นค่าความเข้มฝน R โดยนำข้อมูลฝนเฉลี่ยจากเรดาร์อมก๋อยและข้อมูลฝนเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝนรายวันมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Linear regression จากผลการวิเคราะห์จะได้ค่าสมการความสัมพันธ์ $Z=74R^{1.6}$ ซึ่งเหมาะที่จะใช้ประโยชน์ในการทำนายปริมาณน้ำฝนที่จะตกในพื้นที่และยังเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จะช่วยในการวางแผนในการป้องกันปัญหาน้ำท่วมที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ต่อไป ซึ่งในการศึกษายังไม่ได้ทำปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจากการตรวจวัด และการแยกเหตุการณ์ฝนจึงควรมีการศึกษาต่อไปโดยคัดแยก

เหตุการณ์ ชนิดของฝน และการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อน อีกทั้งยังไม่มี การทดสอบความเชื่อมั่นของ ผลที่ได้

วิรัช ฉัตรตรงค์ และ บุญชนะ ทวีรัตน์ (2551) ประยุกต์ใช้แบบจำลองลำดับขั้น (Cascade model) ร่วมกับแนวทางการผสานข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เข้ามาใช้ในการปรับปรุงข้อมูลเรดาร์ที่ใช้ในการประมาณปริมาณน้ำฝน ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าเมื่อประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวจะช่วย ทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ใน ประเทศไทยต่อไป

Pfaff and Bardossy (2008) ศึกษาวิธีการปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนโดยใช้ วิธี Merging radar and raingauge เข้ามาใช้เพื่อปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ โดยใช้ข้อมูลจากเรดาร์ของหน่วยงาน (DWD) ที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของเยอรมัน สร้าง ภาพ PPI ทุก 5 นาที โดยทำการรวบรวมข้อมูลในช่วงเดือน สิงหาคม 2006 ประกอบด้วยภาพเรดาร์ 8,928 ภาพ ร่วมกับข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ จากนั้นได้นำวิธีการ Kriging เข้าช่วยใน การหาสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีความถูกต้องของฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและข้อมูลที่เป็น ตัวแทนที่ดีกว่าของข้อมูลเรดาร์ในเชิงพื้นที่ จากการศึกษาปรากฏว่าข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์นั้น ค่อนข้างที่จะได้ผลการศึกษาที่ไม่ค่อยดีซึ่งอาจจะเนื่องจากข้อมูลเรดาร์มีค่าเปลี่ยนแปลงตาม ระยะทาง และข้อมูลที่ใช้ประโยชน์ได้น้อยมากจึงทำให้การประเมินค่าจาก Variogram เป็นไปได้ ไม่ค่อยดี

Suk et al. (2008) ศึกษาการประมาณการปริมาณน้ำฝนแบบทันเวลา โดยใช้วิธี RAR (Radar-AWS Rainrate) ซึ่งเป็นการดัดแปลงความสัมพันธ์ Z-R อย่างง่าย ที่ใช้สำหรับคาบสมุทร เกาหลี ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาคือข้อมูลเรดาร์ที่เป็น 3 มิติ ตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที จากเรดาร์ 10 ตัว สถานีตรวจวัดน้ำฝน 613 สถานี ที่ติดตั้งรอบคาบสมุทรเกาหลี ข้อมูลที่ใช้อยู่ระหว่างเดือนมิถุนายน ถึงเดือนกรกฎาคม 2006 ผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับ RMSE ของปริมาณน้ำฝนที่ได้จาก RAR จะ ดีกว่า เมื่อเทียบกับ การประมาณปริมาณน้ำฝนด้วย M-P และ NWS แต่เมื่อเทียบกับของ Morin et al. (2005) และ Chumchean et al. (2006) พบว่าผลของวิธีดังกล่าวทั้งสองยังดีกว่า RAR เล็กน้อย ผลการทวนสอบเชิงพื้นที่ตอนกลางของคาบสมุทรเกาหลีให้ผลไม่ค่อยดี แนะนำให้ทำการทวนสอบ ทั้งในบริเวณพื้นที่ที่เรดาร์แต่ละตัวมีรัศมีการตรวจวัดครอบคลุมเพื่อเปรียบเทียบผล

Goudenhoofd and Delobbe (2008) ศึกษาวิธีตรวจสอบความถูกต้องของการ ประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยวิธีหาค่ารวมกันของข้อมูล เรดาร์และข้อมูลฝนจากเครื่องวัดน้ำฝน โดย

เรดาร์ที่ใช้เป็น C-band และเครือข่ายวัดน้ำฝน ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลฝนสะสมรายวัน พื้นที่ในการศึกษาคือ Walloon ของ Belgium ซึ่งอยู่ในลุ่มน้ำ Meuse ประสิทธิภาพวิธีที่แตกต่างกันเมื่อรวมกันเป็นวิธีเดียวกันสามารถหาโดยการเปรียบเทียบ ฝนรายวันที่วัดจากเครือข่ายเครื่องวัดน้ำฝนที่ไม่เกี่ยวข้องกัน การทวนสอบ 3 ปี ทำโดยการใช้ค่าทางสถิติหลาย ๆ ค่า ซึ่งปรากฏว่าวิธีการรวมกันทางสถิติภูมิศาสตร์ให้ค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ลดลง 40% เมื่อเทียบกับข้อมูลเดิม ค่าปรับแก้เฉลี่ยลดลง 25% ผลจากวิเคราะห์ตามฤดูกาลแสดงให้เห็นว่ามีนัยสำคัญในช่วงฤดูร้อนสำหรับเครือข่ายวัดน้ำฝนที่หนาแน่นและประสิทธิภาพจะต้องการคำตอบต่อไป สำหรับวัตถุประสงค์นี้จะเสนอวิธีการเอาเครื่องวัดฝนออกจากเครือข่ายวัดน้ำฝน ผลจากการศึกษาชี้ชัดว่าวิธีการอย่างง่าย ๆ เช่นการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสามารถลดค่าคลาดเคลื่อนของการประมาณการปริมาณน้ำฝนได้ แต่ทั้งนี้มีการใช้แพ็คเกจการปรับแก้ทางพื้นที่เพื่อทำให้สามารถลดค่าคลาดเคลื่อนได้ชัดเจนยิ่งขึ้น วิธีที่ดีที่สุดนำมาใช้ในการศึกษาคือ Kriging เพื่อทำการปรับปรุงการเพิ่มเติมค่าของเครื่องวัดน้ำฝน ซึ่งวิธีนี้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพเหมือนกันแต่ค่าใช้จ่ายในการคำนวณลดลง การทวนสอบด้วยฤดูกาล แสดงให้เห็นว่า ในฤดูหนาว ฝนแบบ Stratiform วิธีการ Ordinary kriging ให้ผลดีเช่นเดียวกับวิธี Radar-gauge แต่ในฤดูร้อน เมื่อฝนเป็นแบบ Convective ผลที่ได้จากการใช้ ค่าข้อมูล Radar กับวิธี Radar-gauge ให้ผลที่ชัดเจนกว่า จุดอ่อนของการวิเคราะห์คือความหนาแน่นของสถานีวัดน้ำฝนแสดงให้เห็นว่าการรวมกันตามวิธีการทางภูมิศาสตร์จะให้ผลที่ดีสำหรับเครือข่ายที่มีเครื่องวัดน้ำฝนหนาแน่นนอกจากเครือข่ายเล็กมากๆ (1:500 ตารางกิโลเมตร) ค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในพื้นที่และปรับแก้ตามระยะทาง จะให้ผลที่ดีที่สุด

Chumchuan et al. (2008) ได้ทำการศึกษาวิธีการประมาณปริมาณน้ำฝนโดยนำการแยกชนิดของฝนเข้ามาในกระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์ด้วยวิธีการปรับปรุงวิธีซึ่งเสนอโดย Stienner et al. (1995) ซึ่งสามารถแยกพิกเซลแต่ละพิกเซลภาพเรดาร์ว่าเป็น Stratiform หรือ Convective เพื่อใช้แยกค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้ว่าเป็นชนิดใด ทั้งนี้ยังได้เสนอวิธีการที่จะหาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ สำหรับฝนแบบ Convective และ Stratiform การทดสอบความเชื่อมั่นของการแยกชนิดของฝนใช้ตรวจสอบกับค่าสะท้อนกลับในแนวตั้ง ซึ่งทางเลือกสำหรับวิธีการแยกชนิดของฝนขึ้นอยู่กับฟังก์ชันความน่าจะเป็นของการกระจายของสถานีวัดน้ำฝนของฝนทั้งสองแบบ ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้อมูลเรดาร์และข้อมูลสถานีวัดน้ำฝน 6 เดือน ของเมืองซินีเย่ ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2000 ถึง เมษายน 2001

เพื่อทำสอบเทียบและข้อมูลเหตุการณ์ฝนระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2007 ถึงเดือน มีนาคม 2007 ใช้สำหรับหาประสิทธิภาพและประยุกต์กับวิธีที่เสนอ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำวิธีการที่เสนอในการแยกชนิดของฝนเข้ามาในกระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนทำให้สามารถลดค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนจาก 4.63 มม./ชม. เป็น 4.30 มม./ชม. และจาก 5.31 มม./ชม. เป็น 5.01 มม./ชม. สำหรับช่วงสอบเทียบและช่วงทดสอบความเชื่อมั่นตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ เพียงสมการเดียว

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตพบว่าการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์มุ่งเน้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพของการประมาณปริมาณน้ำฝน โดยศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับลักษณะการเกิดฝน ชนิดของเมฆ และฤดูกาล แต่ไม่ได้นำเอาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ามาในกระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝน ดังที่ทราบกันอยู่ว่าฝนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของมวลอากาศในสภาวะต่าง ๆ จะสังเกตเห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของมวลอากาศจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอนุภาคไม่ว่าจะเป็นการสลาย หรือการรวมตัวกันใหม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งในเชิงพื้นที่ และเวลา ซึ่ง Heymsfield (1976) ได้ศึกษาและพบว่าฝนแบบ Stratiform มีความเร็วไม่เกิน 1 เมตรต่อวินาที โดยเฉพาะฝนแบบ Convective จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เห็นได้ว่าการประมาณปริมาณน้ำฝนแบบเดิมนั้นไม่มีการนำการเคลื่อนที่หรือความเร็วเข้ามาใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ประมาณปริมาณน้ำฝน ดังนั้นหากนำเอาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ามารวมในกระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วย น่าจะทำให้ผลการประมาณปริมาณน้ำฝนมีความถูกต้อง แม่นยำยิ่งขึ้น และจากการศึกษางานวิจัยที่มีในประเทศพบว่า การประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลจากเรดาร์ในวิธีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันในประเทศไทยคิดว่าฝนไม่มีการเคลื่อนที่ จึงไม่ได้นำการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้าในการประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลจากเรดาร์ และเนื่องจากเรดาร์ไม่สามารถตรวจวัดค่าปริมาณน้ำฝนได้โดยตรงจึงต้องใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง Z และ R ในการเปลี่ยนค่าพลังงานการสะท้อนกลับของเรดาร์ให้เป็นค่าปริมาณน้ำฝน เมื่อไม่ได้นำความเร็วในการเคลื่อนที่ของฝนเข้ามาในกระบวนการประมาณการฝน ก็ทำให้ค่าปริมาณน้ำฝนที่ประมาณการได้ไม่ถูกต้อง ดังนั้นในการศึกษารั้งนี้จึงทำการศึกษาโดยนำการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ามาคิดในกระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝน

บทที่ 3

ข้อมูลและวิธีการศึกษา

3.1 ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ (Reflectivity data)

ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศทุก ๆ 10 นาที จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศภาชีเจริญ ของสำนักงานกรุงเทพมหานคร ซึ่งตั้งอยู่ทางฝั่งตะวันตกของกรุงเทพมหานคร ที่ละติจูด $13^{\circ} 43' 16.02''$ และลองจิจูด $100^{\circ} 25' 58.61''$ เรดาร์ภาชีเจริญเป็นเรดาร์ตรวจอากาศชนิดซีแบน (C-Band Minimax) ซึ่งมีการตรวจฝนแบบ Plan Position Indicator (PPI) โดยทำการตรวจวัดที่มุม 0.5° , 1.5° และ 3.5° และให้ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์จากละอองน้ำหรือเม็ดฝนภายในปริมาตรบรรยากาศที่ทำการตรวจวัด ซึ่งจะแสดงผลในหน่วย dBZ ตามลำดับ คุณสมบัติของเรดาร์แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของเรดาร์ภาชีเจริญ เป็นชนิด C-band Minimax

ลำดับที่	คุณสมบัติ	คุณลักษณะ
1	ชนิดเรดาร์	C-Band MINIMAX
2	ความยาวช่วงคลื่น : ซม.	5.42
3	ความกว้างของลำแสง : องศา	0.95×0.95
4	Pulse Length : ไมโครวินาที	2, 4, 8
7	รัศมีตรวจวัดสูงสุด : กิโลเมตร	120
8	มุมของการตรวจวัด : องศา	$0.5, 1.5, 3.5$

ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ได้จากเรดาร์ตรวจอากาศภาชีเจริญที่ดำเนินการโดยสำนักงานกรุงเทพมหานครถูกจัดเก็บในรูปแบบไบนารี (Binary file) ในพิกัดโพลาร์ (Polar coordinate) ซึ่งมีความละเอียดในเชิงองศาในแนวราบ 0.5 องศา และระยะในแนวรัศมีทุกๆ 0.5 กิโลเมตร รัศมีทำการสูงสุดของเรดาร์ภาชีเจริญมีระยะ 120 กิโลเมตร และมีระยะเรดาร์ตาบอดหรือไม่สามารถตรวจวัดได้ (Blind area) ภายในรัศมีประมาณ 5 กิโลเมตร จากตำแหน่งของสถานี

เรดาร์ ข้อมูลดิบจากสถานีเรดาร์ภาคีเจริญในพิกัดโพลาร์ จะถูกนำมาปรับแก้ลงพิกัดฉาก (Cartesian Coordinates) ที่ความละเอียด 0.5 x 0.5 ตารางกิโลเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.2

การเปลี่ยนจาก พิกัดโพลาร์ (r, θ) ไปเป็น พิกัดคาร์ทีเซียน (x, y) ทำได้ดังนี้

$$x = r \cos \theta \quad (3.1)$$

$$y = r \sin \theta \quad (3.2)$$

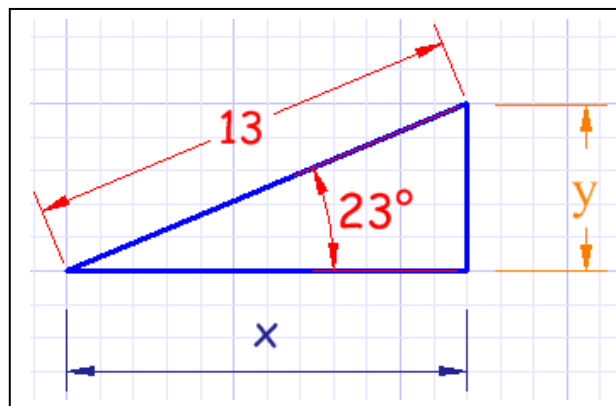
โดยที่ r คือ ระยะห่างจากจุดเริ่มต้น

θ คือ มุมที่ยกขึ้นจากจุดเริ่มต้น

ตัวอย่างการแปลงจากพิกัดโพลาร์ไปเป็นพิกัดคาร์ทีเซียนทำได้ดังนี้

สมมติมีค่าข้อมูลในพิกัดโพลาร์ $(13, 23^\circ)$ สามารถแปลงเป็นค่าข้อมูลในพิกัดคาร์ที

เซียน

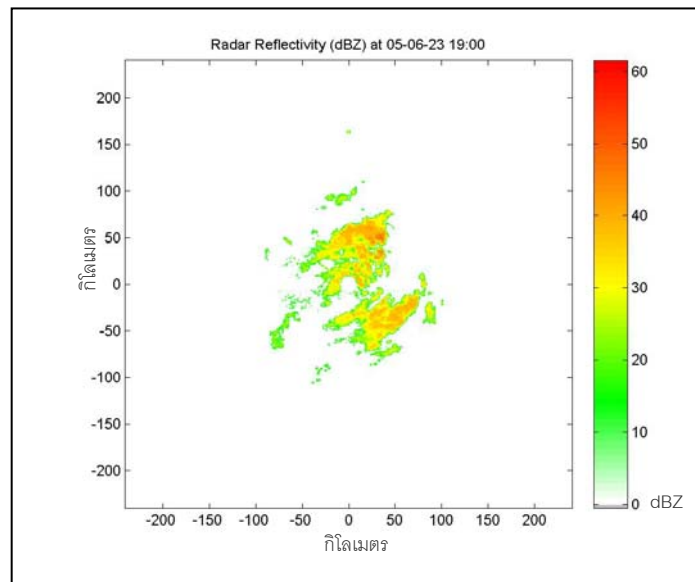


ภาพที่ 3.1 ข้อมูลโพลาร์พิกัด $(13, 23^\circ)$

จากสมการ (3.1) $x = 13 \cos 23^\circ$

จากสมการ (3.2) $y = 13 \sin 23^\circ$

ภาพที่ 3.2 แสดงข้อมูลค่าสะท้อนของเรดาร์ภาคีเจริญในระบบพิกัดฉาก เป็นข้อมูลค่าสะท้อนกลับ วันที่ 23 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2548 เวลา 19.00 น. ซึ่งค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์จะแสดงในลักษณะสีแตกต่างกันไปตามการกระจายของความเข้มฝนเชิงพื้นที่



ภาพที่ 3.2 ภาพ PPI แสดงข้อมูลวันที่ 23 มิถุนายน 2548 เวลา 19.00 น.

จากภาพที่ 3.2 ภาพ PPI แสดงลักษณะของฝน โดยที่ระดับสีแทนค่าพลังงานสะท้อนกลับของเรดาร์ที่แสดงในหน่วยของ dBZ เช่น สีเหลือง แสดงว่าพลังงานสะท้อนกลับของคลื่นที่ตรวจวัดกระทบกับการกระจายของเมฆน้ำและมีพลังงานส่งกลับมายังเครื่องรับคลื่นของเรดาร์กับมีค่าประมาณ 30 dBZ หรือ หากเป็น สีแดงแสดงว่าการกระจายของเมฆน้ำหนาแน่นค่าพลังงานสะท้อนกลับของเรดาร์จึงสูง เป็นต้น

สำหรับค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ที่เรดาร์ตรวจวัดได้สามารถแปลงเป็นฝนได้จากความสัมพันธ์ $Z = aR^b$ โดยที่ Z คือ ค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ที่แปลงมาจาก dBZ มีหน่วยเป็น มม.⁶ม.⁻³, R คือ ค่าปริมาณความเข้มฝน มีหน่วยเป็น มม./ชม., a, b คือ ค่าพารามิเตอร์ที่หาได้จากความสัมพันธ์ความเข้มฝนและค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ ซึ่งค่าทั้งสองจะขึ้นอยู่กับการกระจายของขนาดของเม็ดฝน ซึ่งค่า Z สามารถแปลงให้อยู่ในรูปของ dBZ ได้โดยสมการ

$$dBZ = 10\log Z \quad (3.3)$$

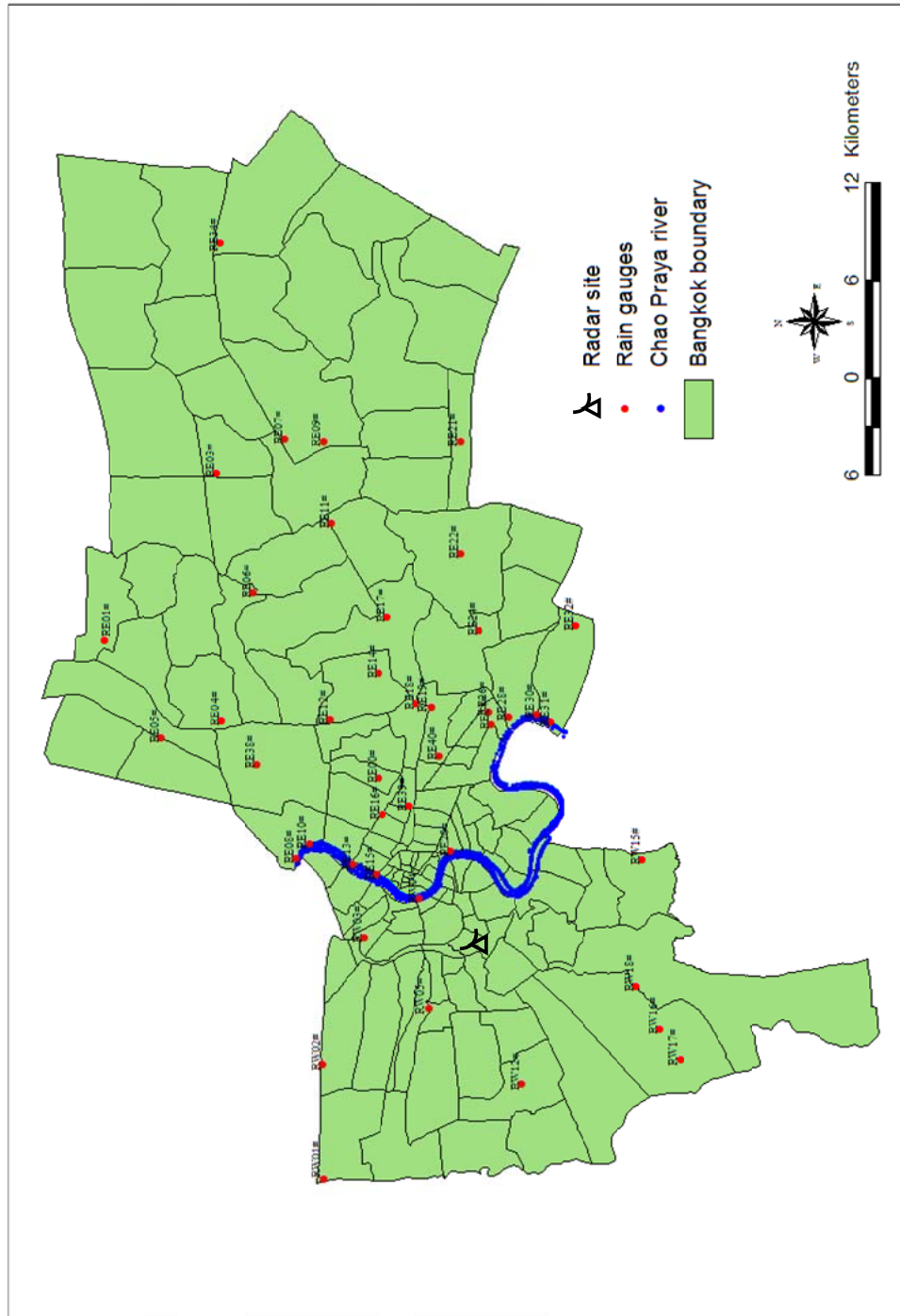
โดยที่ dBZ คือ ค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ มีหน่วยเป็น เดซิเบล Z

เพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนและสัญญาณค่าสะท้อนจากลูกเห็บ การวิเคราะห์ในการศึกษานี้จึงเลือกค่าสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่มีค่าอยู่ระหว่าง ค่าที่มากกว่า 15 dBZ และน้อยกว่า 53 dBZ (Fulton et al., 1998) โดยพิจารณาให้ ค่าสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่น้อยกว่า 15 dBZ จะให้ค่าเท่ากับ $0 \text{ mm}^6/\text{m}^{-3}$ และค่าสะท้อนกลับที่มากกว่า 53 dBZ จะให้ค่าเท่ากับ 53 dBZ

เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษาอยู่ระหว่าง ปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2550 จำนวนทั้งหมด 41 เหตุการณ์ โดยมีรายละเอียดของเหตุการณ์ฝนแต่ละเหตุการณ์ แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

3.2 ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน (Gauge rainfall data)

ข้อมูลจากสถานีวัดความเข้มฝนที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้จากเครือข่ายสถานีวัดความเข้มฝนของกรุงเทพมหานคร จำนวน 61 สถานี ถังวัดความเข้มฝนเป็นแบบชนิดถังกระดก (Tripping bucket) ตั้งอยู่ในรัศมี 50 กิโลเมตร จากที่ตั้งของเรดาร์ภาชีเจริญ ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 พื้นที่ของกรุงเทพมหานครแสดงตำแหน่งที่ตั้งของเรดาร์ภาคีเจริญ
และสถานีวัดน้ำฝน

สถานีวัดความเข้มข้นทั้งหมดนี้อยู่ในความดูแลของสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ทุกสถานีวัดความเข้มข้นเป็นแบบถังกระดกอัตโนมัติ (Tipping bucket) มีความละเอียด 0.5 มม. และทำการบันทึกทุก ๆ 15 นาที สถานีวัดน้ำฝนจำนวน 41 สถานี อยู่ทางฝั่งตะวันออกและ 20 สถานีอยู่ฝั่งตะวันตกของกรุงเทพมหานคร ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้การศึกษาได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ลักษณะของเหตุการณ์ฝน 41 เหตุการณ์ ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

เหตุการณ์ ฝน	เริ่มต้น		สิ้นสุด		ช่วงเวลา (นาที)	จำนวนสถานี วัดน้ำฝน	ค่าฝนเฉลี่ย (มม./ชม.)	ค่าฝนสูงสุด (มม./ชม.)
	วัน เดือน ปี	เวลา	วัน เดือน ปี	เวลา				
1	23 มิ.ย. 2548	18:20	23 มิ.ย. 2548	21:30	120	28	11.14	132.00
2	29 มิ.ย. 2548	17:20	29 มิ.ย. 2548	20:30	130	26	11.35	84.00
3	3 ก.ค. 2548	16:10	3 ก.ค. 2548	17:10	60	10	8.19	52.80
4	13 ก.ค. 2548	08:20	13 ก.ค. 2548	11:50	200	34	29.44	98.00
5	28 ก.ค. 2548	16:20	28 ก.ค. 2548	17:30	70	23	6.56	63.80
6	12 ต.ค. 2548	16:51	12 ต.ค. 2548	18:21	90	9	18.39	77.00
7	14 ต.ค. 2548	02:41	14 ต.ค. 2548	07:21	280	33	17.58	105.60
8	14 ต.ค. 2548	14:01	14 ต.ค. 2548	16:31	150	11	11.03	105.60
9	15 ต.ค. 2548	19:41	15 ต.ค. 2548	21:41	120	17	5.71	46.20
10	19 ต.ค. 2548	15:31	19 ต.ค. 2548	15:31	230	37	24.7	94.60
11	26 ต.ค. 2548	17:01	26 ต.ค. 2548	19:51	170	20	8.65	85.40
12	4 พ.ย. 2548	17:01	4 พ.ย. 2548	18:21	80	12	12.14	103.40
13	8 พ.ย. 2548	11:31	8 พ.ย. 2548	14:21	170	20	19.32	114.20
14	11 พ.ย. 2548	13:21	11 พ.ย. 2548	15:21	120	14	24.35	99.00
15	12 พ.ย. 2548	12:31	12 พ.ย. 2548	14:21	110	10	9.78	90.20
16	18 พ.ย. 2548	16:11	18 พ.ย. 2548	17:51	100	23	9.28	73.20
17	20 ก.พ. 2549	11:31	20 ก.พ. 2549	12:41	70	21	18.54	52.80
18	1 ก.ค. 2549	14:51	1 ก.ค. 2549	21:21	390	43	6.37	15.40
19	2 ก.ค. 2549	17:01	2 ก.ค. 2549	20:01	180	39	5.70	23.10
20	29 ส.ค. 2549	20:01	30 ส.ค. 2549	00:31	270	32	7.44	17.05
21	6 ก.ย. 2549	21:51	7 ก.ย. 2549	01:11	200	29	8.01	32.27
22	26 ก.ย. 2549	11:31	26 ก.ย. 2549	13:41	130	13	2.92	16.50
23	26 ก.ย. 2549	15:31	26 ก.ย. 2549	19:51	260	32	12.39	28.05
24	27 ก.ย. 2549	19:11	27 ก.ย. 2549	21:21	130	20	5.61	24.20
25	5 ต.ค. 2549	11:11	5 ต.ค. 2549	14:31	200	15	3.31	28.05
26	10 ต.ค. 2549	00:41	10 ต.ค. 2549	03:31	170	21	4.05	14.70
27	18 ต.ค. 2549	00:01	18 ต.ค. 2549	02:31	150	27	4.52	20.35
28	18 ต.ค. 2549	12:21	18 ต.ค. 2549	16:01	220	12	5.44	22.00
29	3 มี.ค. 2550	06:01	19 มี.ค. 2550	07:41	100	17	1.20	59.46
30	20 มี.ค. 2550	03:11	20 มี.ค. 2550	05:41	150	26	15.73	79.47
31	9 พ.ค. 2550	11:01	9 พ.ค. 2550	13:21	140	25	34.26	85.33
32	10 พ.ค. 2550	09:31	10 พ.ค. 2550	13:21	230	27	7.88	100.93
33	14 พ.ค. 2550	16:41	14 พ.ค. 2550	19:21	160	37	14.84	68.40
34	16 ก.ค. 2550	15:01	16 ก.ค. 2550	21:51	350	46	24.20	115.06
35	20 ก.ค. 2550	17:01	20 ก.ค. 2550	21:11	250	28	5.28	64.00
36	23 ก.ค. 2550	11:21	23 ก.ค. 2550	13:51	150	29	8.39	106.66
37	25 ก.ค. 2550	11:51	25 ก.ค. 2550	16:01	260	37	28.64	121.60
38	10 ก.ย. 2550	19:31	10 ก.ย. 2550	21:21	110	41	18.86	64.80
39	11 ก.ย. 2550	18:11	11 ก.ย. 2550	19:41	90	44	15.80	83.60
40	19 ก.ย. 2550	00:01	19 ก.ย. 2550	03:01	180	37	17.97	54.13
41	20 ก.ย. 2550	20:21	20 ก.ย. 2550	21:41	80	38	11.44	45.06

ค่าฝนเฉลี่ยคำนวณจากการพิจารณาปริมาณฝนที่ > 0.5 มม./ชม.

ข้อมูลปริมาณฝนสะสมมีการจัดเก็บในรูปแบบตารางในกระดาดหัดอิเล็กทรอนิกส์ (Excel format) แสดงปริมาณความเข้มฝนสะสม 15 นาที, 1, 3, 6 และ 24 ชั่วโมง บันทึกข้อมูลทุก ๆ 15 นาที ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 3.4 โดยแบ่งการจัดเก็บข้อมูลแยกตามรายชื่อสถานีและปีที่จัดเก็บ โดยในการศึกษาจะใช้ข้อมูลความเข้มฝนในปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2550 เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลเรดาร์ ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดความเข้มฝนแสดงอยู่ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดตำแหน่งของสถานีวัดความเข้มฝนที่ใช้ในการศึกษา

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	พิกัด		ระยะห่างจากเรดาร์
		X(m)	Y(m)	(กิโลเมตร)
E00	ศูนย์ควบคุมระบบป้องกันน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร	668522.92	1522671.34	9.74
E01	ปตร.คลองสอง	676973.36	1539634.94	27.78
E02	ปตร.คลองพระยาสุเรนทร์	682924.98	1540552.80	32.35
E03	ปตร.คลองสามวา	687225.57	1532622.23	30.90
E04	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝนคลองบางบัว	672043.55	1532342.13	18.99
E05	ปตร.คลองเปรมประชากร	669313.12	1532072.18	17.21
E06	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝนคลองลำชะล่า	679874.53	1530372.04	23.45
E07	ปตร.คลองแสนแสบ ตอนถนนประชาวมใจ	689285.85	1528442.00	30.98
E08	สถานีสูบน้ำคลองบางเขนใหม่	663622.23	1527771.88	10.90
E09	ปตร.คลองบึงขวาง	689145.89	1526061.77	30.08
E10	สถานีสูบน้ำคลองบางซื่อ	664472.43	1526971.74	10.44
E11	ปตร.คลองแสนแสบ ตอนบางชัน	684125.04	1525571.71	25.15
E12	ปตร.คลองลาดพร้าว	672123.65	1525671.61	14.40
E13	สถานีสูบน้ำคลองสามเสน	663222.25	1524221.39	7.42
E14	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝนคลองเจ้าคุณสิงห์ ตอน รร.บดินทร์เดชา	674549.00	1522839.62	15.21
E15	สถานีสูบน้ำเทเวศน์	662622.24	1522821.24	5.90
E16	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝนคลองสามเสน ตอนอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ	666272.87	1522471.27	7.81
E17	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝนคลองแสนแสบ เขตบางกะปิ	678374.41	1522121.13	18.64
E18	สถานีสูบน้ำคลองสามเสน ตอนคลองแสนแสบ (ศูนย์วิจัย)	673023.61	1520321.02	13.01
E19	สถานีสูบน้ำคลองแสนแสบ ตอนคลองตัน	672873.61	1519471.12	12.70
E20	สถานีสูบน้ำกรุงเทพ	664022.35	1518221.00	3.77
E21	ปตร.คลองพระโขนง ตอนลาดกระบัง	689125.73	1517670.99	28.78
E22	ปตร.คลองพระโขนง ตอนวัดกระทุ่มเสือปลา	682224.95	1517621.03	21.87
E23	สถานีสูบน้ำคลองสาร	664022.40	1516920.75	3.70
E24	สถานีวัดระดับน้ำ-น้ำฝนคลองพระโขนง ตอนวัดจวรศิริ	677524.22	1516520.66	17.19
E25	สถานีสูบน้ำพระรามสี่	668523.04	1515720.81	8.34
E26	สถานีสูบน้ำพระโขนง	672623.67	1515920.82	12.36

หมายเหตุ: ระดับอ้างอิง (Datum) ในรูปแบบการอ้างอิงบนพื้นฐาน WGS 84 UTM ZONE 7

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดตำแหน่งของสถานีวัดความเข้มฝนที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	พิกัด		ระยะห่างจากเรดาร์
		X(m)	Y(m)	(กิโลเมตร)
E27	สถานีสูบน้ำคลองเตย	671823.35	1515770.84	11.58
E28	สถานีสูบน้ำคลองเจ๊ก	672323.62	1514720.66	12.26
E29	สถานีสูบน้ำคลองวัดไทร	664422.43	1513420.56	5.68
E30	สถานีสูบน้ำคลองบางอ้อ	672473.40	1512970.51	12.90
E31	สถานีสูบน้ำคลองบางนา	672023.43	1512120.53	12.80
E32	สถานีวัดระดับน้ำฝน คลองบางนา ตอนถนนศรีนครินทร์	677824.22	1510620.16	18.73
E33	สถานีสูบน้ำคลองสำโรง	673023.47	1509120.37	15.12
E34	ปตร.คลองแสนแสบ ตอนถนนสังขสันติสุข	653636.93	1532115.87	16.20
E35	สถานีคลองวัดดำน	664264.74	1513312.37	5.64
E38	สถานีสูบน้ำรัชดาภิเษก	667834.04	1514318.41	8.08
E39	ประตูระบายน้ำคลองอรรถ	672345.16	1513733.04	12.53
E40	จุดวัดน้ำฝนสุขุมวิท (ฝั่งเหนือ) อุทยานเบญจสิริ	669559.57	1519188.87	18.59
W01	ปตร.คลองทวีวัฒนา	643919.64	1526071.57	12.86
W02	ปตร.คลองบัว ตอนทางรถไฟสายใต้	650920.61	1526121.51	6.41
W03	สถานีสูบน้ำคลองชักพระ	658721.82	1523571.23	2.85
W04	สถานีสูบน้ำคลองมอญ	661122.04	1520121.15	6.39
W05	สถานีวัดระดับน้ำฝนคลองบางเชือกหนัง ตอนคลองราชมนตรี	654371.11	1519621.20	2.36
W06	สถานีสูบน้ำคลองบางกอกใหญ่	661521.97	1519421.13	1.03
W07	ปตร.คลองภาษีเจริญ	659321.66	1517321.00	6.04
W08	สถานีวัดระดับน้ำฝนคลองภาษีเจริญ ตอนคลองราชมนตรี	654571.17	1515620.77	2.64
W09	สถานีสูบน้ำคลองสำเหร่ ตอนแม่น้ำเจ้าพระยา	662272.01	1515570.85	3.25
W10	สถานีวัดระดับน้ำฝน คลองสนามไชย ตอนคลองบางขุนเทียน	658621.51	1514620.72	3.25
W11	สถานีสูบน้ำคลองดาวคะนอง	661321.90	1514270.60	11.19
W12	สถานีวัดระดับน้ำฝน คลองทวีวัฒนา ตอนคลองภาษีเจริญ	649720.28	1513870.45	5.59
W13	สถานีสูบน้ำคลองสี่บาท	656892.02	1512981.30	6.79
W14	สถานีสูบน้ำคลองแจ่งร้อน	664822.34	1512270.40	11.36
W15	ปตร.คลองรางจาก ตอนถนนประชาอุทิศ	663522.23	1506470.08	14.02
W16	สถานีสูบน้ำคลองเลนเปญ	653104.69	1505377.36	16.10
W17	สถานีสูบน้ำคลองระหะก	651220.75	1504119.84	11.48
W18	สถานีสูบน้ำคลองพระยาราชมนตรี	655739.26	1506868.46	11475.53
W19	สถานีคลองบางยี่ขัน	661895.63	1522240.21	5103.15

หมายเหตุ: ระดับอ้างอิง (Datum) ในรูปแบบการอ้างอิงบนพื้นฐาน WGS 84 UTM ZONE 7

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลความเข้มฝนสะสมสถานีตรวจวัด ณ ศูนย์ควบคุม
การป้องกันน้ำท่วม กรุงเทพฯ วันที่ 3 เดือนเมษายน 2548

Stn	Dt	Tm	rf	rf1h	rf3h	rf6h	rf24h
E00	3/4/05	17:00	0	0	0	0	0
E00	3/4/05	17:15	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
E00	3/4/05	17:30	1	6.5	6.5	6.5	6.5
E00	3/4/05	17:45	0.5	7	7	7	7
E00	3/4/05	18:00	0	7	7	7	7
E00	3/4/05	18:15	0	1.5	7	7	7
E00	3/4/05	18:30	0	0.5	7	7	7

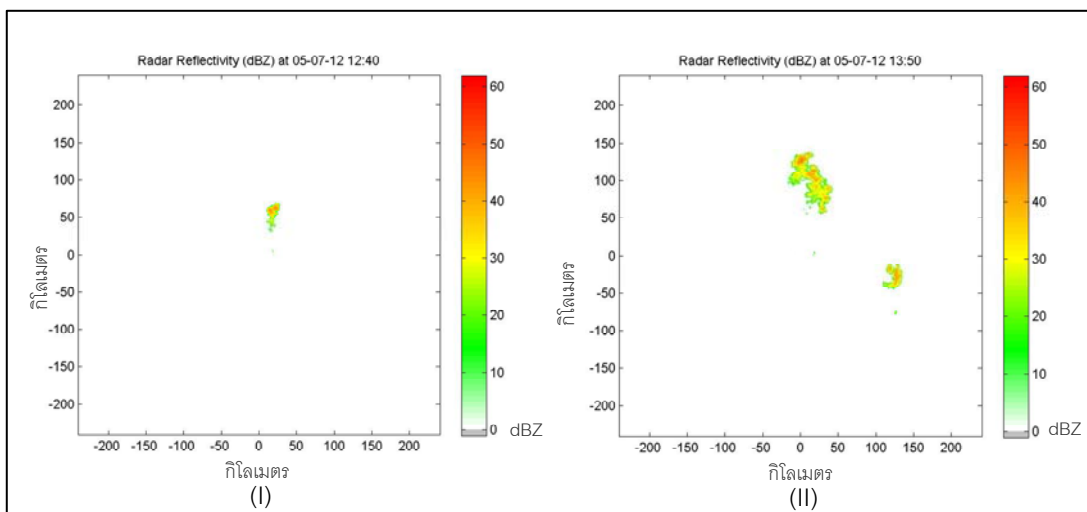
หมายเหตุ: Stn : รหัสสถานี, Dt : วันเดือนปี, Tm : เวลา, rf : ปริมาณฝนสะสม 15 นาที,
rf1h : ปริมาณฝนสะสม 1 ชั่วโมง, rf3h : ปริมาณฝนสะสม 3 ชั่วโมง,
rf6h : ปริมาณฝนสะสม 6 ชั่วโมง, rf24h : ปริมาณฝนสะสม 24 ชั่วโมง

3.3 การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล

การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะจะทำให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้อง ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาโดยพิจารณาดังนี้

3.3.1 ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์

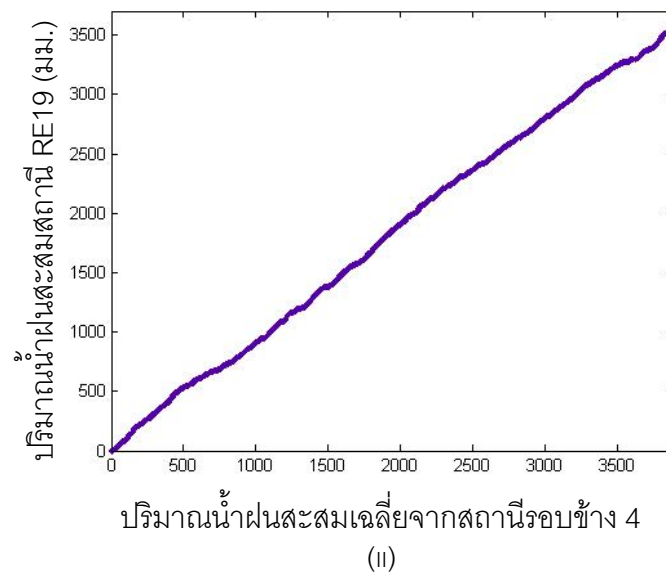
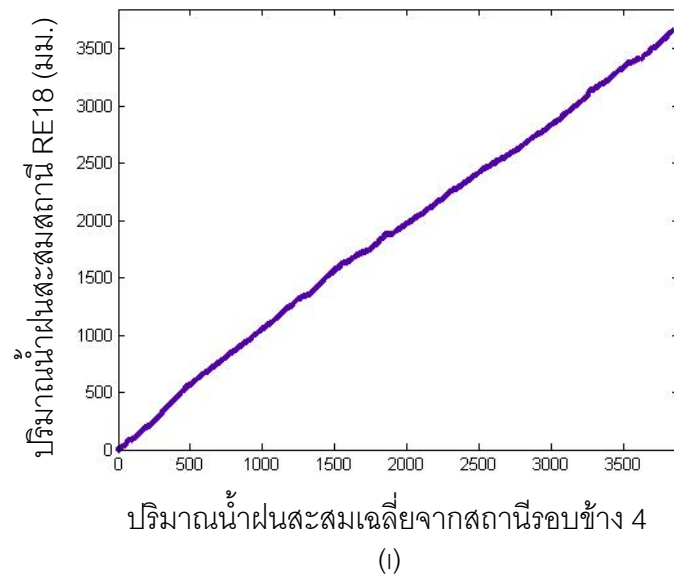
ในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาใช้เฉพาะข้อมูลเรดาร์ที่มีการตรวจวัดต่อเนื่องกันทุก ๆ 10 นาที ทั้งเหตุการณ์ฝน ดังตัวอย่างเช่น เหตุการณ์ฝนวันที่ 12 เดือนกรกฎาคม 2548 มีการตรวจวัดข้อมูลค่าสะท้อนกลับ ตั้งแต่เวลา 7.10 น. ถึง เวลา 15.30 น. แต่การบันทึกข้อมูลขาดช่วงเวลา คือ บันทึกห่างกัน 20 นาที หรือ 30 นาที และเมื่อทำการตรวจสอบสร้างภาพข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์พบว่า มีฝนตกในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เวลา 12.40 น. ถึง 15.30 น. คิดเป็นเวลาที่มีฝนตก 170 นาที นั่นคือต้องมีข้อมูลที่เป็น Volume scan ที่สามารถนำมาสร้างภาพข้อมูลเรดาร์ได้ 17 ภาพ แต่ในการบันทึกข้อมูลมีช่วงเวลาที่ขาดหายไป ดังนั้นจึงตัดข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ในช่วงนั้นออกไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ภาพที่ 3.4 แสดงตัวอย่างภาพข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ ของวันที่ 12 เดือน กรกฎาคม 2548 เวลา 12.40 และ 13.50 น. ที่มีการบันทึกไว้ และขาดช่วงไปดังนั้นเหตุการณ์นี้จึงไม่นำมาใช้ในการวิจัยนี้



ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลภาพค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ วันที่ 12 กรกฎาคม 2548; (I) ข้อมูลภาพ ณ เวลา 12.40 น.; (II) ข้อมูลภาพ ณ เวลา 13.50 น. (ข้อมูลการตรวจวัดที่เวลา 12.50 น. ถึงเวลา 13.40 น. ขาดหายไปทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ได้)

3.3.2 ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน

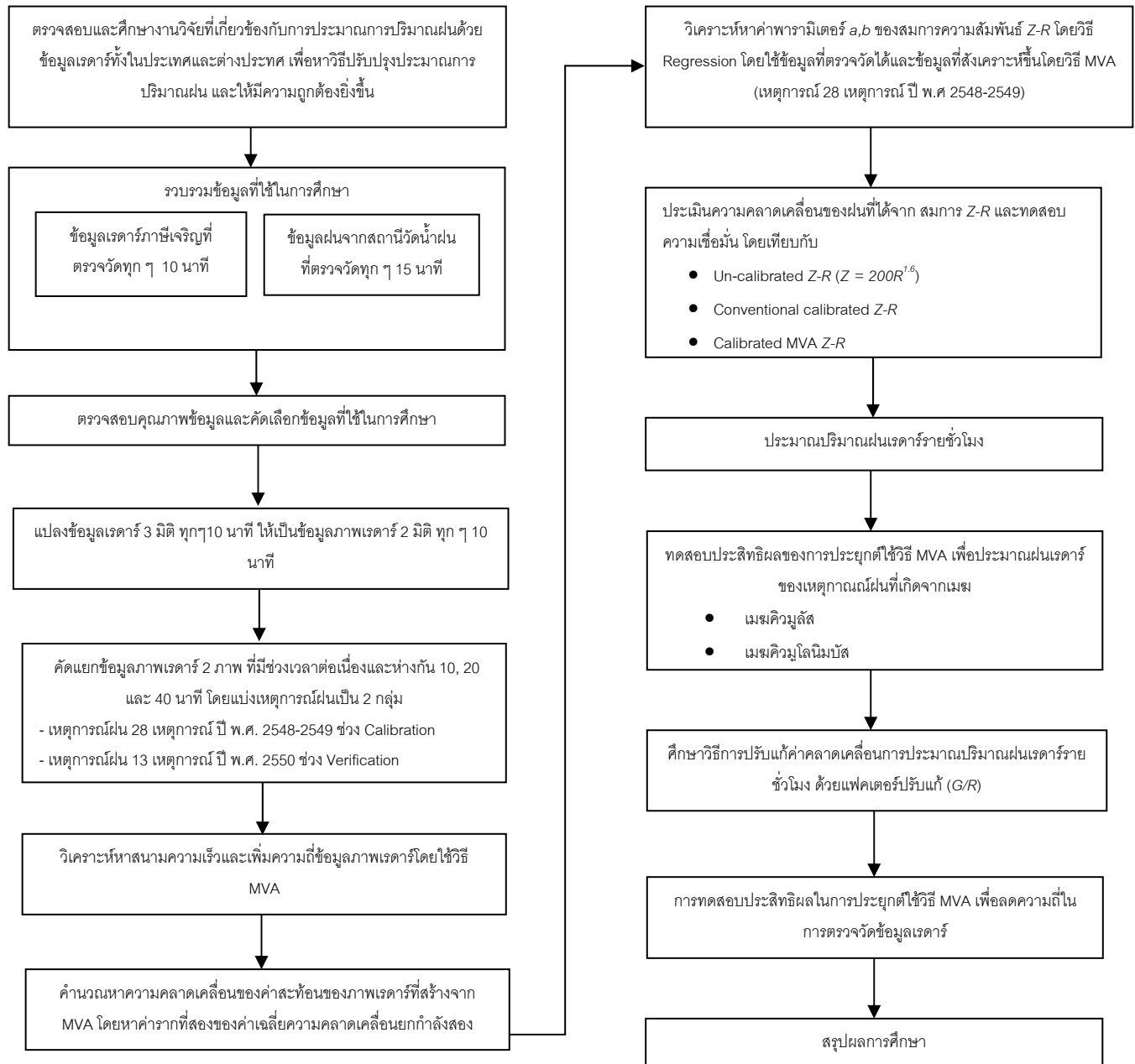
ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน ที่เลือกใช้ในการศึกษาวิจัยเก็บรวบรวมบันทึกระหว่างเดือน มิถุนายน ปี พ.ศ. 2548 ถึง เดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2550 โดยสำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าว พบว่ามีสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 5 สถานี คือ RE25, RE29, RE36, RE37 และ RW19 ที่ไม่ได้ดำเนินการเก็บข้อมูล การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลที่ได้รับจากสถานีวัดน้ำฝน พิจารณาข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสมจากสถานีที่ติดกันในทิศต่างๆ รอบข้างสถานีที่พิจารณา (ศิริลักษณ์ 2551) โดยใช้วิธี Double mass curve analysis เมื่อตรวจสอบความพร้อมต้องกัน (Consistency) ของข้อมูลฝนของสถานีใดสถานีหนึ่ง โดยนำการเปรียบเทียบปริมาณฝนสะสมราย ปีที่เฉลี่ยมาจากสถานีที่อยู่รอบๆ สถานีที่พิจารณาภาพที่ 3.5 แสดงตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของสถานีวัดน้ำฝน RE18 และ สถานีที่อยู่รอบๆ จำนวน 4 สถานี (ก) ปี พ.ศ.2548 (ข) ปี พ.ศ. 2549 (ค) ปี พ.ศ. 2550 จะเห็นว่าความชันของกราฟสะสมของสถานีทั้งสอง เป็นไปในลักษณะเดียวกันแสดงให้เห็นว่าข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานี RE 18, RE 19 มีความสอดคล้องกันกับสถานีข้างเคียง ดังนั้นข้อมูลฝนจากสถานี RE 18, RE 19 จึงมีความเชื่อถือได้ และสถานี ดังต่อไปนี้จำนวน 9 สถานี ได้แก่ W06, W07, W08, W09, W10, W11, W13, W20 และ RE23 ซึ่งสถานี เหล่านี้ไม่มีการตรวจวัดข้อมูลค่าการสะท้อนกลับจากเรดาร์หรือมีโอกาสอยู่ในเขตที่เรดาร์ภาชี เจริญไม่ได้ทำการตรวจวัดข้อมูล (อยู่ในรัศมี 5 กิโลเมตร) รวมสถานีวัดน้ำฝนที่ไม่ได้นำวิเคราะห์ จำนวน 14 สถานี และเหลือสถานีวัดฝนทั้งหมด 47 สถานีที่ใช้ในการศึกษาวิจัย



ภาพที่ 3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของสถานีวัดน้ำฝน (I) RE18 และ (II) RE19 โดยวิธี Double mass curve

3.4 วิธีการศึกษา

วิธีในการดำเนินการศึกษาวิจัยแสดงอยู่ภาพที่ 3.6 ซึ่งมีรายละเอียดในการดำเนินการวิจัยดังนี้



ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย

3.4.1 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยดังนี้

3.4.1.1 ข้อมูลเรดาร์จากเรดาร์ตรวจอากาศภาคีเจริญแบบ PPI มุมในการตรวจวัด 0.5° ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นระหว่าง ปี พ.ศ. 2548 - พ.ศ. 2550

3.4.1.2 ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนกรุงเทพมหานครที่อยู่ภายใต้รัศมีทำการของเรดาร์จำนวน 61 สถานี มีการเก็บบันทึกข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2548 – พ.ศ. 2550

3.4.2 การพัฒนาโปรแกรมเพื่อแปลงค่าสะท้อนกลับ 3 มิติ เป็น 2 มิติ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่ออ่านข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ที่เป็นตัวเลข แล้วทำการสร้างภาพเรดาร์จากข้อมูลที่อ่านมาได้ในแต่ละช่วงเวลาที่เรดาร์ทำการตรวจวัด ดังรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.

3.4.3 ประยุกต์ใช้วิธี MVA

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธี MVA ในการคำนวณหาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเพื่อปรับปรุงการประมาณปริมาณฝนเรดาร์ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น วิธี MVA (Ravela and Chatdarong, 2006) เป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธี Field alignment (Revela ,2006) เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลภาพเรดาร์โดยหาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน โดยทำการสังเคราะห์ข้อมูลเรดาร์ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ เช่น 10 นาที, 20 นาที และ 40 นาที จากนั้นหาค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าสะท้อนกลับที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่าสะท้อนกลับที่ได้จากการสังเคราะห์ใหม่ด้วยเทคนิควิธี MVA รวมทั้งพิจารณาลักษณะทางกายภาพของเมฆ ผลการศึกษาเสนอไว้ในบทที่ 4 และวิเคราะห์หาช่วงเวลาระหว่างภาพเรดาร์ 2 ภาพในกรณีที่ไม่สามารถดำเนินการตรวจวัดข้อมูลได้ก็ตามต้องการได้นำเสนอไว้ในบทที่ 8

3.4.4 การวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของสมการความสัมพันธ์ Z-R

การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมสำหรับช่วงเวลาต่าง ๆ ทำการศึกษาโดยใช้วิธีสมการถดถอย (Regression) และเสนอสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ใช้ประมาณปริมาณน้ำฝนของเรดาร์ภาคีเจริญ ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยข้อมูลภาพเรดาร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ข้อมูลเรดาร์ให้มีความถี่เพิ่มขึ้น แล้วทำการสอบเทียบหาสมการความสัมพันธ์ Z-R ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์มีทั้งหมด 41 เหตุการณ์ แบ่งเป็นเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบหาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมจำนวน 28 เหตุการณ์ คือ เหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2548-2549 และเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในทวนสอบ 13 เหตุการณ์ คือ เหตุการณ์ฝนที่เกิดในปี พ.ศ. 2550 เพื่อทดสอบความเชื่อมั่นของการประยุกต์ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เสนอ มาเทียบกับการใช้สมการความสัมพันธ์

$Z = 200R^{1.6}$ (Marshall และ Palmer, 1948) และสมการ Z-R ที่สอบเทียบโดยการใช้ข้อมูลตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที ซึ่งไม่คิดการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน ผลการวิเคราะห์เสนอไว้ในบทที่ 5

3.4.5 การประเมินความถูกต้องของปริมาณฝนโดยเรดาร์ที่คำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ Z-R ต่าง ๆ เทียบกับข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน

การประเมินความถูกต้องของปริมาณฝนที่ได้ จะวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเทคนิคการประมาณปริมาณน้ำฝนจากสถานีเรดาร์ด้วยการหาสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ ระหว่าง Z และ R ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือ $Z = 200R^{1.6}$ (Marshall and Plamer, 1948) ซึ่งในการศึกษานี้เรียกว่า สมการความสัมพันธ์ Z-R เบื้องต้น และ Z-R ที่ไม่ได้้นำการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ามาวิเคราะห์ (สมการความสัมพันธ์ No MVA Z-R) โดยความถูกต้องจะพิจารณาจากค่ารากที่สองของผลต่างความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) ระหว่างปริมาณฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน สมการที่ 3.4 คือ สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนจากเรดาร์ เมื่อเทียบกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝน

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{NG} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^{N_G} (R_{i,t} - G_{i,t})^2} \quad (3.4)$$

โดยที่ $R_{i,t}$ คือ ปริมาณสะสมของฝนเรดาร์ ณ ตำแหน่งพิกเซลที่ตำแหน่งเดียวกับสถานีวัดน้ำฝนที่ i ณ ชั่วโมงที่ t

$G_{i,j}$ คือ ปริมาณฝนรายชั่วโมงที่สอดคล้องกับฝนเรดาร์ ชั่วโมงที่ t

NG คือ จำนวนคู่ Z-R ในตำแหน่งที่สอดคล้องกัน

N_t คือ จำนวนคาบเวลา (ชั่วโมง)

N_G คือ จำนวนสถานีวัดน้ำฝน ที่มีการตรวจวัดฝนที่มี ค่าไม่เท่ากับ 0 ในช่วงเวลา t

3.4.6 การทดสอบประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อประมาณฝนเรดาร์ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆชนิดต่างๆ

การแยกเหตุการณ์ฝนตามชนิดของกลุ่มเมฆฝน พิจารณาจากพารามิเตอร์ซึ่งแสดงลักษณะทางกายภาพของกลุ่มฝน ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้ การคัดแยกเหตุการณ์ตามกลุ่มเมฆฝนตามลักษณะทางกายภาพในแนวนราบ ซึ่งศึกษาโดย อนุสรณ์ (2551) โดยพิจารณาคัดแยกเหตุการณ์ฝนโดยใช้สายตาพิจารณาลักษณะทางกายภาพในแนวนราบที่แตกต่างกันของกลุ่มฝนแต่

ละชนิด ซึ่งผลการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อประมาณฝนเรดาร์ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆชนิดต่าง ๆ เสนอไว้ในบทที่ 6

3.4.7 การปรับแก้ค่าปริมาณฝนจากเรดาร์ให้เทียบเท่ากับฝนจากสถานีวัดน้ำฝน

เพื่อปรับปรุงการประมาณปริมาณฝนเรดาร์ให้เทียบเท่ากับปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นดิน การศึกษาครั้งนี้จึงทำการปรับแก้ค่าฝนจากเรดาร์ด้วยข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินโดยใช้วิธีดังต่อไปนี้

3.4.7.1 ปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนของฝนเรดาร์ด้วยแฟคเตอร์ค่าปริมาณฝนของสถานีวัดน้ำฝนทั้งหมดต่อฝนเรดาร์ทั้งหมด (Mean field bias adjustment)

3.4.7.2 ปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนของฝนเรดาร์ด้วยแฟคเตอร์ค่าปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนต่อปริมาณฝนเรดาร์ตามระยะทาง (Range dependent bias adjustment)

3.4.7.3 ปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนของฝนเรดาร์ด้วยแฟคเตอร์ค่าปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนต่อปริมาณฝนเรดาร์ตามเวลา (Temporal bias adjustment)

ดังนั้นค่าปริมาณฝนเรดาร์ที่เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดิน (หลังปรับแก้) จะคำนวณได้จาก

$$R_{\text{เรดาร์ (หลังปรับแก้)}} = G/R \times R_{\text{เรดาร์ (ก่อนปรับแก้)}} \quad (3.5)$$

โดยที่ $R_{\text{เรดาร์ (หลังปรับแก้)}}$	คือ ปริมาณฝนจากเรดาร์หลังการปรับแก้ด้วยแฟคเตอร์แล้ว
$R_{\text{เรดาร์ (ก่อนปรับแก้)}}$	คือ ปริมาณฝนที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้สมการ Z-R ที่ตำแหน่งพิกเซลเดียวกับสถานีวัดน้ำฝน
G/R	คือ แฟคเตอร์การปรับแก้ของเหตุการณ์ฝน มีค่าเท่ากับ

$$G/R = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T G_{i,t}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T R_{i,t}} \quad (3.6)$$

$G_{i,t}$ คือ ปริมาณฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t

$R_{i,t}$ คือ ปริมาณฝนที่คำนวณจากข้อมูลเรดาร์โดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R จากกรณีต่าง ๆ ที่ตำแหน่งพิกเซลเดียวกันกับสถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t

N คือ จำนวนสถานีวัดน้ำฝนทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ

T คือ ช่วงเวลาที่ฝนตกให้เหตุการณ์ฝน (ชั่วโมง)

ผลการศึกษาการปรับแก้ปริมาณฝนจากเรดาร์ให้เทียบเท่ากับฝนจากสถานีวัดน้ำฝนได้นำเสนอในบทที่ 7

3.4.8 การทดสอบประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน ได้แก่ ข้อมูลภาพเรดาร์ 2 ภาพที่มีช่วงเวลาห่างกัน 40 นาที, 30 นาที, 20 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ ทำการทดสอบโดยดูผลจาก RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนจากเรดาร์ที่ได้มาจากการคำนวณความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่ได้จากการใช้ชุดข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์โดยวิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ให้กับข้อมูลภาพเรดาร์ทุก ๆ ช่วงเวลา ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้ MVA เพื่อลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 8

3.4.9 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาประกอบไปด้วย ค่าสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่เหมาะสมสำหรับการประมาณปริมาณฝนของเรดาร์ภาคีเจริญ วิธีการปรับค่าคลาดเคลื่อนที่เหมาะสม และช่วงเวลาที่สามารถใช้เทคนิควิธี MVA ในการสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ใหม่ เพื่อใช้ในการประมาณปริมาณฝนเรดาร์ ผลการศึกษาจะสรุปและเสนอแนะไว้ในบทที่ 9

บทที่ 4

การประยุกต์ใช้ Multi-resolution Viscous Alignment

4.1 การดำเนินการตรวจวัดฝนด้วยเรดาร์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วจากบทที่ 2 เรดาร์ไม่สามารถตรวจวัดฝนได้โดยตรง ดังนั้นการประมาณปริมาณฝนด้วยเรดาร์จึงเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งความคลาดเคลื่อนนั้นแบ่งเป็น 2 กลุ่ม (Jordan, 2000) คือ ความคลาดเคลื่อนจากการดำเนินการตรวจวัด ค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ และความคลาดเคลื่อนจากการใช้ความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่ไม่เหมาะสมเพื่อแปลงค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ให้เป็นความเข้มฝน ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดค่าฝนจากเรดาร์ คือ ความถี่ที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ สำหรับในประเทศไทยการดำเนินการตรวจวัดจะขึ้นอยู่กับวิธีการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอาจจะตรวจวัดแต่ละครั้งห่างกัน 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที หรือ บางหน่วยงานก็ดำเนินการตรวจวัดครั้งละ 1 ชั่วโมง เป็นต้น ปัญหาความถี่ในการตรวจวัดทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณฝนได้เนื่องจากฝนมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้จะมีค่าสูงสำหรับกรณีที่เกิดเหตุการณ์ฝนที่มีการเคลื่อนที่เร็ว เช่น ฝนชนิด Convective ดังนั้นความถี่ในการตรวจวัดฝนจึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณน้ำฝนโดยเรดาร์ เพื่อลดปัญหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความถี่ของการตรวจวัดฝนจึงควรมีการดำเนินการในการตรวจวัดฝนให้มีความถี่มากขึ้น แต่เนื่องจากต้นทุนในการบำรุงรักษาเรดาร์และการตรวจวัดฝนโดยเรดาร์มีค่าค่อนข้างสูงหากมีการดำเนินการตรวจวัดฝนถี่มากขึ้นจะต้องมีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น จึงทำให้หน่วยงานที่รับผิดชอบเลือกดำเนินการที่จะตรวจวัดตามช่วงเวลาต่าง ๆ กันตามความเหมาะสมของแต่ละหน่วยงาน

ในบทนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการเพิ่มความถี่ของข้อมูลเรดาร์โดยเน้นศึกษาถึงการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลเรดาร์ของสถานีเรดาร์ภาชีเจริญ โดยมีรายละเอียดของการศึกษาดังต่อไปนี้

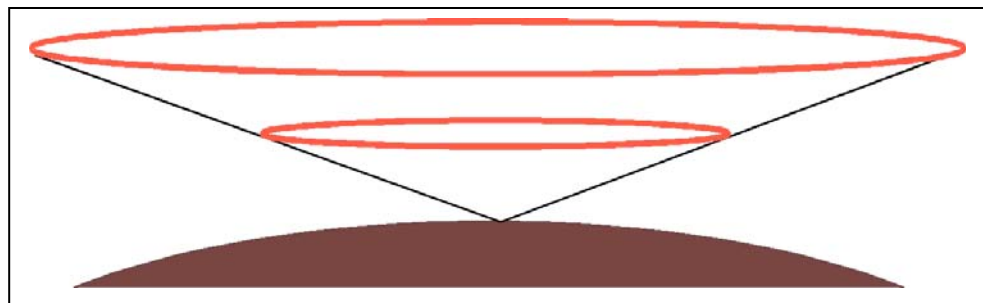
4.2 ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการตรวจวัดด้วยเรดาร์

ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการตรวจวัดโดยเรดาร์ คือ ค่าสะท้อนกลับของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งไปในบรรยากาศ แล้วคลื่นดังกล่าวกระทบกับเม็ดฝนและสะท้อนกลับมายังเครื่องรับสัญญาณของเรดาร์ (Radar receiver) โดยเครื่องรับสัญญาณจะเก็บข้อมูลไว้ หลังจากนั้น

ข้อมูลดังกล่าวจะถูกแปลงไปเป็นค่าสะท้อนกลับของเรดาร์โดยใช้สมการ (2.14) ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์จะถูกจัดเก็บในแต่ละมุมการตรวจวัดโดยจัดเก็บรวมกันเป็นข้อมูลที่เรียกว่า Volume scan

ข้อมูลค่าสะท้อนกลับทั้งหมดที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์นำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ ตามแต่ผู้ใช้จะเลือกใช้งานซึ่งข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ที่นำเสนอในรูปแบบที่แตกต่างกันนั้นมีรูปแบบของข้อมูลมีดังต่อไปนี้

4.2.1 Plan Position Indicator (PPI) คือ การแสดงผลของข้อมูลเรดาร์แบบธรรมดาและง่ายที่สุด ข้อมูลได้จากการหมุนกวาดของเสาอากาศของเรดาร์และเมื่อนำมาแสดงผลตำแหน่งของเสาอากาศจะแทนจุดศูนย์กลางของการแสดงผล และระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางและความสูงเหนือพื้นดินสามารถวาดแทนได้ด้วยวงกลม ภาพที่ 4.1 แสดงการตรวจวัดแบบ PPI

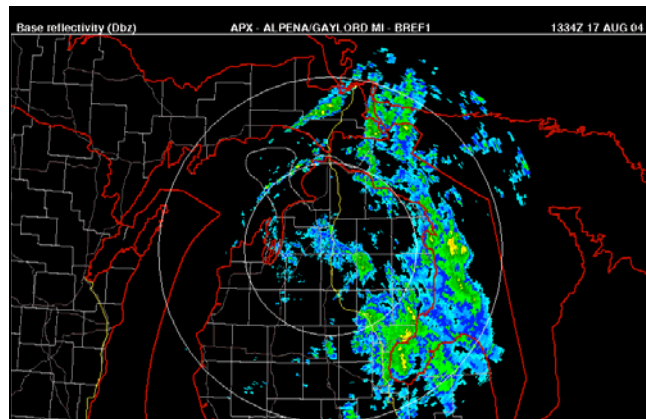


ภาพที่ 4.1 ลักษณะการตรวจวัดแบบ PPI

(ที่มา : Goeke, 2008)

เมื่อเสาอากาศของเรดาร์หมุนเพื่อกวาดค่าสะท้อนกลับของคลื่นและแสดงผลในรูปแบบ PPI ไปพร้อม ๆ กันบนจอภาพรอบจุดศูนย์กลาง เสาอากาศจะส่งสัญญาณพัลส์แทนข้อมูลในขณะที่ยกขึ้น 360 องศา รอบ ๆ สถานีเรดาร์ ณ. มุมหนึ่ง ๆ ที่คงที่ในแต่ละรอบ และสามารถดำเนินการตรวจวัดโดยการเปลี่ยนมุมได้ หรือตรวจวัดที่มุมเดิมได้ถ้าต้องการ อุปกรณ์รับค่าสะท้อนกลับ (Receiver) ที่อยู่ที่เสาอากาศจะทำหน้าที่รับค่าสะท้อนกลับของคลื่นสะท้อนจากการกระทบกับเมฆฝนแล้วทำการส่งข้อมูลมายังเครื่องควบคุมและแสดงผลภาพข้อมูลที่ได้เรียกว่า PPI ภาพเรดาร์แบบ PPI แสดงภาพของค่าสะท้อนออกมาในแบบ 2 มิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความสูงของค่าคลื่นสะท้อนกลับเพิ่มขึ้นตามระยะทางจากเรดาร์ ดังภาพที่ 2.15 ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 จะเห็นว่าเมื่อระยะทางห่างจากตำแหน่งที่ตั้งของเรดาร์การเปลี่ยนแปลงค่าสะท้อนกลับจะไม่ได้เป็นเส้นตรงแต่จะเป็นลักษณะโค้งเช่นเดียวกับส่วนโค้งของโลกและค่าสะท้อนมีค่าลดลงเนื่องจากปริมาตร

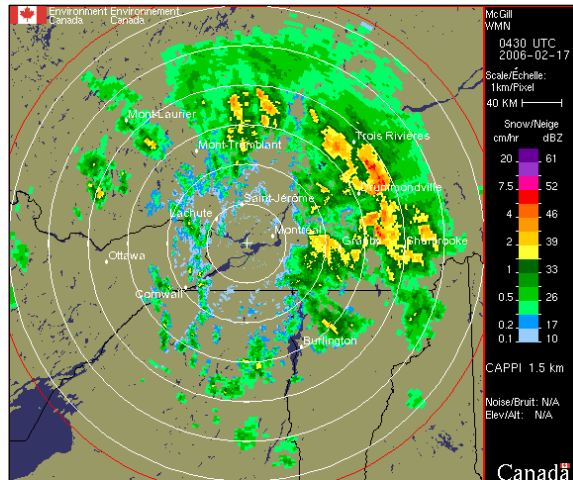
บรรยากาศที่ทำการตรวจวัดมีขนาดเพิ่มขึ้นตามระยะห่างจากเรดาร์ (Chumchean et al., 2004) ในกรณีเป็นสถานีเรดาร์ภาคพื้นดิน ทิศเหนือจะแทนส่วนบนของภาพเรดาร์แบบ PPI สัญญาณที่รับได้แทนค่าสะท้อนกลับที่มุ่ม ๆ หนึ่งของเสาอากาศ ดังนั้นจึงมีภาพ PPI หลาย ๆ ภาพ ณ เวลาเดียวกันได้ แต่เกิดจากการเปลี่ยนมุมของเสาอากาศหลาย ๆ มุม ภาพที่ 4.2 แสดงภาพข้อมูลเรดาร์แบบ PPI



ภาพที่ 4.2 ภาพ PPI แสดงค่าสะท้อนกลับการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของพายุ
(ที่มา : Goeke, 2008)

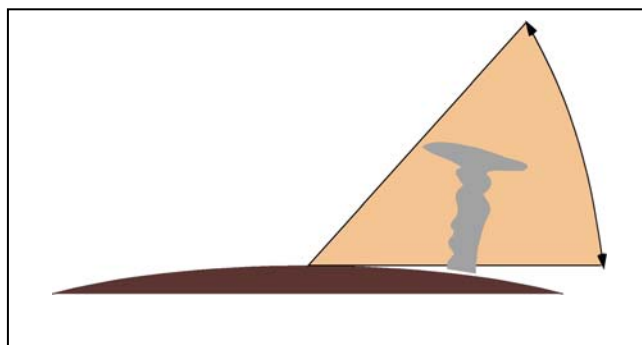
ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ได้มาจากการตรวจวัดที่ระยะต่าง ๆ กัน ซึ่งแต่ละระยะห่างจากเรดาร์จะมีความสูงจากพื้นดินไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากความโค้งของโลก

4.2.2 Constant Altitude Plan Position Indicator (CAPPI) เป็นภาพข้อมูลเรดาร์ซึ่งแสดงผลเป็นภาพหน้าตัดในแนวนอนของข้อมูลที่ระยะความสูงคงที่ ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยนักวิจัยที่มหาวิทยาลัย McGill ใน Montreal ประเทศแคนาดา เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดขึ้นกับ PPI กล่าวคือ ระยะความสูงของการตรวจวัดแบบ PPI มีค่าเพิ่มขึ้นจากพื้นดินตามระยะห่างจากเรดาร์ และปัญหาการสะท้อนของสัญญาณเนื่องจากวัตถุบนพื้นดิน ณ ตำแหน่งที่ใกล้กับสถานีเรดาร์ (Ground clutter) ข้อมูลภาพเรดาร์แบบ CAPPI ประกอบด้วยข้อมูลจากแต่ละมุมที่ระดับความสูงที่ต้องการ ดังตัวอย่างแสดงในภาพหน้าตัดในภาพที่ 4.3 ซึ่งแสดงตัวอย่างภาพเรดาร์แบบ CAPPI ที่ระยะความสูงระหว่าง 1.5 กิโลเมตร ซึ่งสร้างจากจากข้อมูลค่าสะท้อนกลับที่อยู่ในระดับภายใต้เส้นซิกแซกสีดำหนาจากภาพที่ 2.15

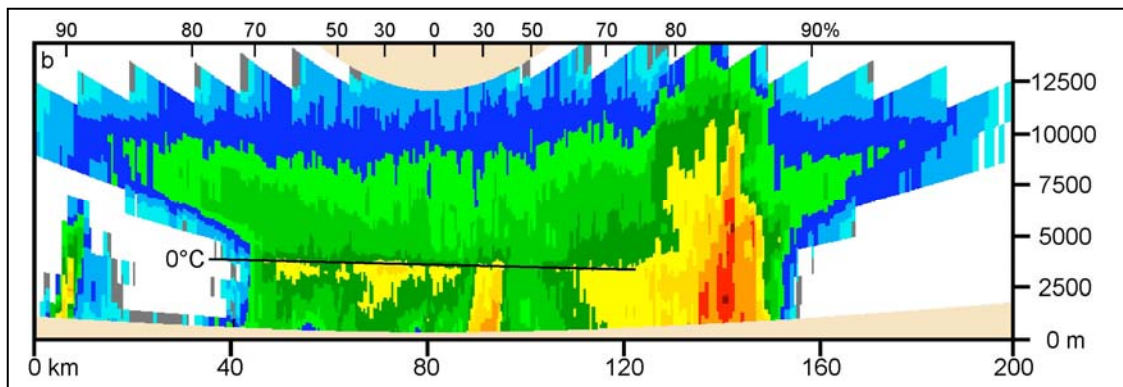


ภาพที่ 4.3 ค่าการสะท้อนกลับของข้อมูลเรดาร์แสดงแบบ CAPPI ที่ระยะความสูง 1.5 กิโลเมตร ของเรดาร์ (ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Constant_Altitude_Plan_Position_Indicator, 25 มกราคม 2552)

4.2.3 Range-Height Indicator (RHI) เป็นการแสดงผลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ในแนวตั้งที่ระนาบตรวจวัดหนึ่งๆ RHI แทนข้อมูลเป็นแบบ 2 มิติ ซึ่งจะสามารถมองเห็นรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลทางด้านแนวตั้งของฝนหรือกลุ่มฝน โดยทั่วไปแล้วการตรวจวัดเพื่อแสดงผลแบบนี้จะเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้ และจะดูลักษณะของฝนที่สนใจเท่านั้น ระหว่างที่ตรวจวัดเพื่อแสดงผลแบบ RHI เส้าอากาศจะมีมุมคงที่ และ ตรวจวัดเป็นมุมยกประมาณ 0 - 90 องศา เพื่อสร้างภาพหน้าตัดในแนวตั้งภาพที่ 4.4 เป็นภาพแสดงการตรวจวัดของเรดาร์ด้วยมุมที่คงที่จะได้ข้อมูลค่าสะท้อนกลับเป็นภาพหน้าตัดจะทำให้เห็นความสูงของเมฆฝน ณ ขณะนั้นด้วย ภาพที่ 4.5 แสดงตัวอย่างภาพข้อมูลค่าสะท้อนกลับตามหน้าตัด ซึ่งสีต่าง ๆ ที่แสดงในภาพจะแทนปริมาณค่าสะท้อนกลับของเรดาร์



ภาพที่ 4.4 เรดาร์กวาดจับเป้าหมายด้วยมุมคงที่ (ที่มา : Goeke, 2008)



ภาพที่ 4.5 ภาพหน้าตัดขวางของ Convective rain สร้างใหม่เป็น RHI โดยใช้ข้อมูล PPI จากเรดาร์ NEXRAD (ที่มา : Goeke, 2008)

ข้อมูล 2 มิติในรูปแบบพิกัดคาร์ทีเซียน ภาพเรดาร์แบบ PPI สามารถนำมาใช้ในการสร้างใหม่เป็นภาพ RHI แสดงข้อมูลหน้าตัดขวางในแนวดิ่ง ดังแสดงในภาพที่ 4.5

เนื่องจากข้อมูลที่สร้างจากค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ได้ถูกนำมาสร้างเป็นข้อมูลภาพในแบบที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งผู้ใช้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ได้ ดังนั้น ผู้ใช้จึงสามารถนำข้อมูลภาพเหล่านี้มาหารายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับลักษณะของฝน การเกิดฝน การเคลื่อนตัวของฝนได้ หรือสร้างข้อมูลเพิ่มจากภาพข้อมูลเดิมที่มีอยู่เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลได้

4.3 การประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลฝนจากเรดาร์

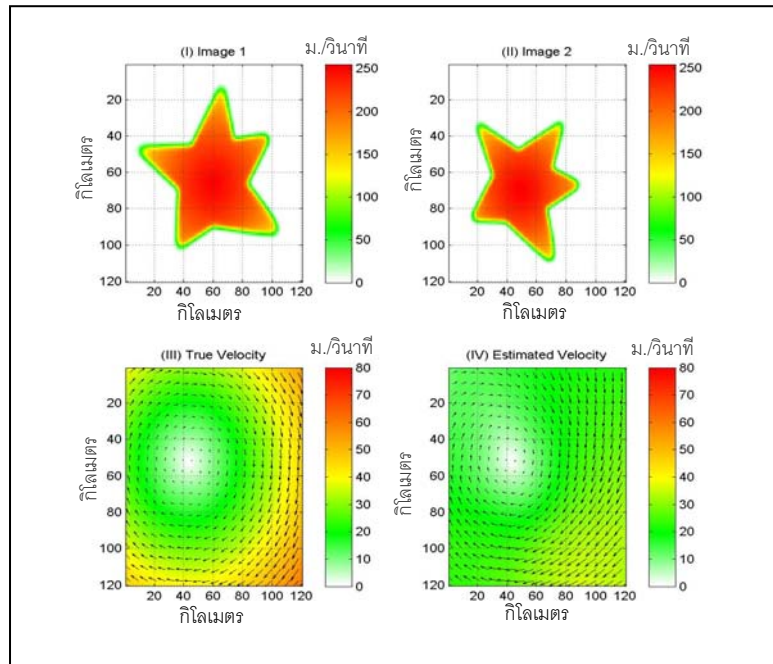
การตรวจวัดฝนของเรดาร์ตรวจอากาศ สามารถตรวจวัดการเคลื่อนที่ได้ 2 ชนิด คือ การเคลื่อนที่เฉลี่ยของหยดน้ำ (Droplet) ในอากาศ ซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดย Doppler เรดาร์ และการเคลื่อนที่ของพื้นที่กลุ่มฝนที่ปรากฏอยู่ลำดับของภาพในข้อมูลเรดาร์ (Peura and Hohti, 2005) ซึ่งการเคลื่อนที่ชนิดหลังนี้มีความสำคัญต่อการพยากรณ์แบบทันเวลา (Real-time) การเคลื่อนที่ทั้งสองแบบเกิดขึ้นมาจากลม แต่มีลักษณะแตกต่างกัน ในกรณีของหยดน้ำ สมมติฐานที่เหมาะสม คือ การเคลื่อนที่ของหยดน้ำในอากาศประมาณได้ว่าเป็นค่าเคลื่อนที่ของลมและจากเหตุนี้จึงสามารถประยุกต์ใช้ Doppler เรดาร์เพื่อตรวจวัดความเร็วลมได้ สมมติฐานนี้ใช้ได้โดยเฉพาะกรณีที่มีการตรวจวัดการเคลื่อนที่ในแนวนอนของหยดน้ำขนาดเล็ก สำหรับการเคลื่อนที่ของพื้นที่กลุ่มฝนนั้นเกิดขึ้นมาจากการเคลื่อนที่ของลมด้วย Chatdarong (2006) ได้หาสนามความเร็วของภาพถ่ายดาวเทียมจาก GOES โดยใช้วิธี Multi-resolution Viscous Alignment (MVA) ซึ่งเป็นวิธีที่ประยุกต์

มาจาก Data assimilation filed alignment พัฒนาโดย Ravela et al. (2006) เพื่อหาสนามความเร็วจากภาพในมุมกว้างถ่ายจากที่สูง สำหรับรายละเอียดของวิธี MVA ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 2.2 ในบทนี้ได้นำวิธี MVA มาประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพเรดาร์ เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ทำให้สามารถเพิ่มความถี่ของข้อมูลฝนจากเรดาร์ภาคีเจริญได้

เนื่องจากข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์สามารถแสดงเป็นข้อมูลภาพ ณ. เวลาต่าง ๆ กันได้ ดังนั้น การหาสนามความเร็วของฝน สามารถใช้ภาพ 2 ภาพ ณ. เวลาต่อเนื่องกันเพื่อหาการเคลื่อนที่ระหว่างกลางได้โดยการเฉลี่ยตำแหน่งและความเข้มของค่าสะท้อนกลับของเรดาร์จากภาพทั้งสองภาพ และข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์สามารถที่จะแปลงเป็นค่าความเข้มฝนได้จากสมการที่ (2.14)

4.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของสนามความเร็วที่คำนวณโดยวิธี MVA

การตรวจสอบความถูกต้องของสนามความเร็วสามารถทำได้โดย เปรียบเทียบข้อมูลความเร็วจากภาพค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้กับข้อมูลความเร็วจากภาพค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริง ดังตัวอย่างในภาพที่ 4.6 โดยภาพที่ 4.6(I) และ 4.6(II) คือ ภาพข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ก่อนและหลังการเคลื่อนที่ด้วยสนามความเร็วในภาพ 4.6 (III) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบสนามความเร็วจริงกับสนามความเร็วที่คำนวณได้จาก MVA (ภาพที่ 4.6 (IV)) Magnitude bias และ Direction bias ของสนามความเร็วเป็น 0.99 และ 0.99 ตามลำดับ และค่า Magnitude correlation coefficient และ Direction correlation coefficient เป็น 0.99 และ 0.94 ตามลำดับ (ซึ่งค่า Correlation หาได้จากจุดที่มีข้อมูลภาพ) จะเห็นได้ว่าสนามความเร็วมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากยกเว้นในบริเวณที่เป็นพื้นที่หลัง ทั้งภาพที่ 1 และ ภาพที่ 2 เป็น ศูนย์ ทั้งนี้เพราะ MVA ไม่สามารถหาการเคลื่อนที่บริเวณที่ไม่มีข้อมูลได้



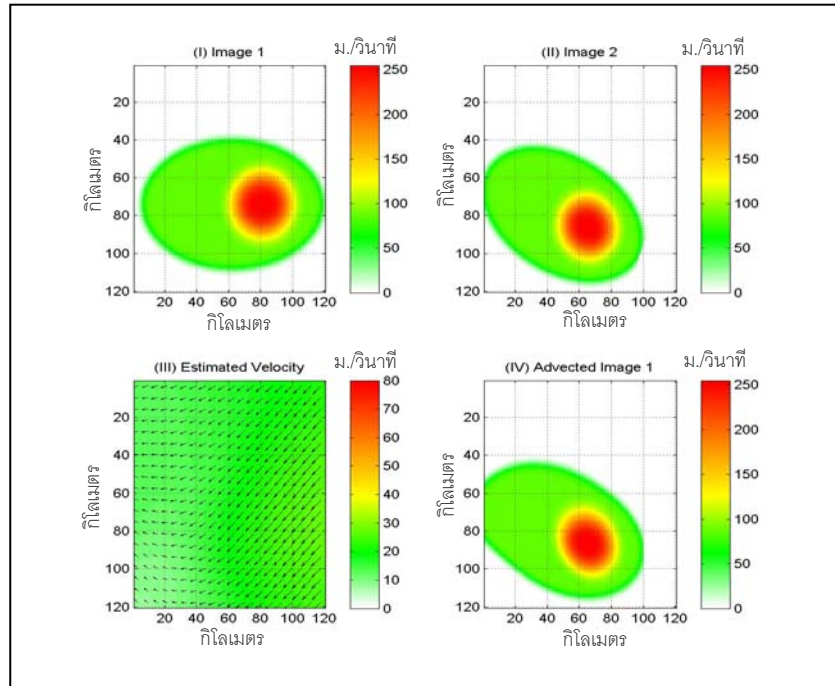
ภาพที่ 4.6 ผลการทดสอบความถูกต้องของการคำนวณหาสนามความเร็วด้วยวิธี MVA;

ภาพ (I) และ ภาพ (II) คือ ภาพข้อมูลก่อนและหลังการเคลื่อนที่ด้วยสนามความเร็ว

จริง (III) ; (III) คือ สนามความเร็วจริง และ (IV) คือ สนามความเร็วที่

คำนวณได้จากวิธี MVA

ภาพที่ 4.7 แสดงการหาสนามความเร็วของกลุ่มฝน สมมติให้กลุ่มฝนเป็นฝนแบบบาง บางครอบคลุมพื้นที่ที่กว้างและฝนหนักครอบคลุมพื้นที่เล็ก ๆ ภายในบริเวณฝนเบาบาง ดังแสดงใน ภาพที่ 4.7 (I) บริเวณสีเขียวแทนฝนแบบบางเบาและสีแดงภายในแทนฝนหนัก โดยสมมติว่า ฝนทั้งสองเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วไม่เท่ากัน เมื่อทำการเปรียบเทียบภาพที่ 4.7 (II) กับ ค่าประมาณของภาพที่ 4.7 (IV) ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของภาพที่ 4.7 (I) ไปด้วยสนามความเร็วที่ แสดงในภาพที่ 4.7 (III) ซึ่งเป็นสนามความเร็วที่ได้จากวิธี MVA เมื่อทำการเปรียบเทียบเฉพาะจุดที่มีฝน จะได้ค่า Bias เป็น 0.99 และค่า Correlation coefficient เป็น 0.98



ภาพที่ 4.7 การเคลื่อนที่ของมวลฝนสังเคราะห์ด้วยสนามความเร็วจากวิธี MVA (I), (II) คือ ข้อมูลมวลฝน ณ เวลาที่ 1 และ 2 ตามลำดับ, (III) สนามความเร็วที่คำนวณได้จาก MVA, (IV) คือ ภาพที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลฝนไปด้วยสนามความเร็วที่หาได้จาก MVA

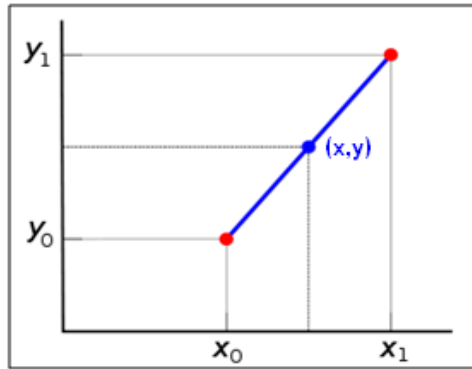
จากการตรวจสอบทั้งสอง จะเห็นว่าวิธี MVA สามารถใช้หาสนามความเร็วจากภาพ 2 ภาพ ได้อย่างถูกต้อง และสามารถหาได้ทั้งขนาดและทิศทาง

4.3.2 วิธีการสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลเรดาร์

4.3.2.1 วิธีประมาณค่าแบบเชิงเส้น (Simple Linear Interpolation : SLI)

วิธี SLI เป็นวิธีเพิ่มความถี่ข้อมูลอย่างง่าย ซึ่งทำได้โดยการประมาณค่าระหว่างค่า 2 ค่าที่รู้ค่าแน่นอน เช่น ภาพที่ 4.8 แสดงตำแหน่งของจุด 2 จุด คือ (x_0, y_0) และ (x_1, y_1) และจุด (x, y) ใดๆ ที่อยู่บนเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุด 2 จุด นี้สามารถหาได้จาก การประมาณค่าแบบเชิงเส้น หรือ SLI ซึ่งค่า x จะมีค่าอยู่ระหว่าง x_0 กับ x_1 และ ค่า y ก็มีค่าอยู่ระหว่าง y_0 กับ y_1 โดยที่ค่า y หาได้จากสมการ

$$\frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad (4.1)$$



ภาพที่ 4.8 จุด (x,y) หาได้จากการประมาณค่า จากจุด (x_0, y_0) และ (x_1, y_1)

การหาค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์จากภาพเรดาร์ โดยวิธี SLI สามารถทำได้ดังนี้

กำหนดให้ $A(t_1)$ เป็นภาพข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์ ณ. เวลา t_1 , $B(t_2)$ เป็นภาพข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์ ณ. เวลา t_2 และ $C(t)$ เป็นภาพข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์ ณ. เวลา t โดยที่เวลา $t_1 < t < t_2$ ดังนั้นโดยวิธี SLI จะสังเคราะห์ได้ภาพข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์ ณ. เวลา t ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$C(t) = w_2 \times A(t_1) + w_1 \times B(t_2) \quad (4.2)$$

โดยที่

$$w_1 = \frac{t - t_1}{t_2 - t_1} \text{ และ } w_2 = \frac{t_2 - t}{t_2 - t_1}$$

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าฝนมีการเคลื่อนที่ดังนั้นวิธีดังกล่าวข้างต้นที่ใช้ในการหาภาพระหว่างกลางของภาพ 2 ภาพ เมื่อคำนวณแบบหาค่าความเข้มเฉลี่ย SLI ที่ใช้ในอดีตจึงไม่ถูกต้อง ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงประยุกต์ใช้ MVA ในหาสนามความเร็ว เพื่อหาค่าข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ระหว่างกลางของภาพ 2 ภาพได้ให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

เมื่อประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อหาค่าความเร็วเคลื่อนไปข้างหน้า q_{12} (Forward velocity) ความเร็วย้อนหลัง q_{21} (Backward velocity) จากการสลับค่า $X(r)$ กับ $Y(r)$ ใน สมการที่ 2.1 โดยที่ $C(t)$ เป็นข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สนใจ ณ เวลา t โดยที่ $t_1 < t < t_2$ กำหนดค่าน้ำหนัก $w_1 = (t - t_1) / (t_2 - t_1)$ และ $w_2 = (t_2 - t) / (t_2 - t_1)$ ดังนั้นภาพข้อมูลฝนจากเวลา t_1 ไปข้างหน้า คือ $C(t \setminus t_1)$ และจากเวลา t_2 ย้อนกลับ $C(t \setminus t_2)$ ไปที่เวลาที่ t สามารถหาได้ดังนี้

$$C(t \setminus t_1) = f(C(t_1); w_1 q_{12}) \quad (4.3)$$

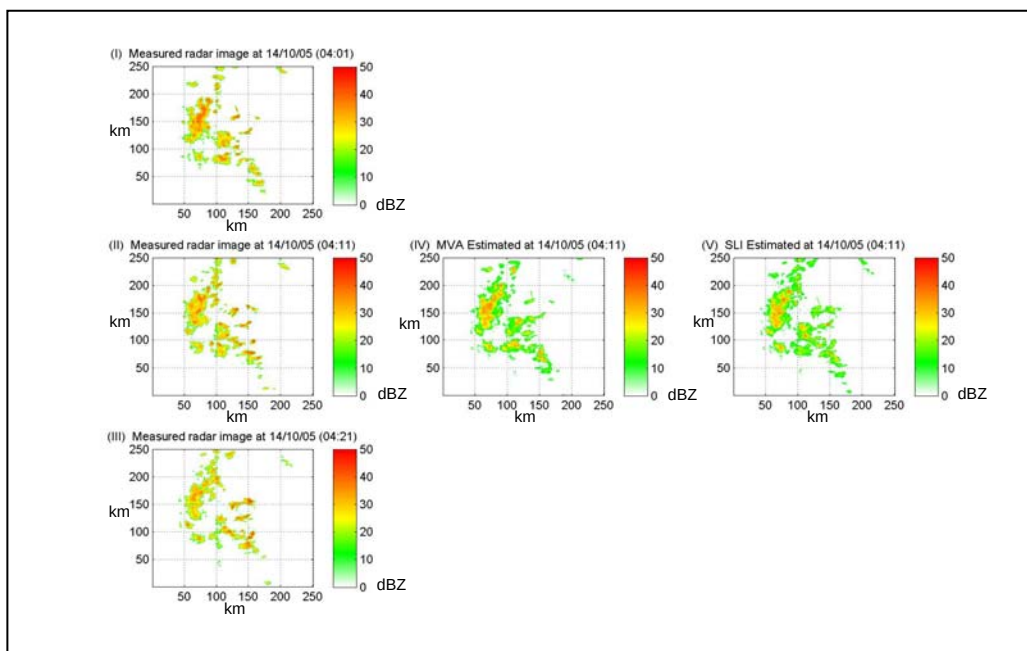
$$C(t \setminus t_2) = f(C(t_2); w_2 q_{21}) \quad (4.4)$$

โดยที่ $f(C, q)$ คือ ฟังก์ชันของการเคลื่อนที่ของภาพ C ไปด้วยสนามความเร็ว q ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ $C(t)$ ณ เวลา t คำนวณได้จากค่าเฉลี่ย

$$C(t_{MVA}) = w_2 C(t \setminus t_1) + w_1 C(t \setminus t_2) \quad (4.5)$$

ข้อสังเกตสมการใน (4.3)-(4.5) สนามความเร็ว q_{12} และ q_{21} ต้องปรับแก้ด้วยค่า w_1 และ w_2 เพราะระยะการเคลื่อนที่ต้องลดลงตามเวลา แต่ในสมการที่ (4.7) ใช้ค่า w_2 กับพจน์แรก และ w_1 กับพจน์หลัง เนื่องจากสมมติฐานความเชื่อมั่นในข้อมูลแปรผกผันกับระยะเวลาที่รูปเคลื่อนที่ไป (วิรัช ฉัตรตรงค์ และ อรอนงค์ วรรณราช, 2550)

ภาพที่ 4.9 แสดงการประยุกต์ใช้วิธี MVA และ วิธี SLI ในการสังเคราะห์ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ ณ วันที่ 14 ตุลาคม 2548 เวลา 04:11 น. จากข้อมูลเรดาร์ ณ เวลา 04:01 น. (ภาพที่ 4.9 (I)) และเวลา 04:21 น. (ภาพที่ 4.9 (III)) และทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลฝนที่วัดได้จริงจากสถานีวัดน้ำฝน (ภาพที่ 4.9 (II)) กับข้อมูลสังเคราะห์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้วิธี MVA (ภาพที่ 4.9 (IV)) ได้ค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย 9.98 dBZ เมื่อเทียบกับวิธี SLI ซึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย 13.99 dBZ จะเห็นได้ว่าการสังเคราะห์ข้อมูลเรดาร์โดยวิธี MVA ให้ค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธี SLI



ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการสังเคราะห์ข้อมูลเรดาร์
โดยใช้วิธี MVA และวิธี SLI

4.4 การประยุกต์วิธี MVA ในการสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ ณ. ช่วงเวลาต่าง ๆ

การประยุกต์วิธี MVA เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์เป็นการสร้างข้อมูลเรดาร์เพิ่มในระหว่างช่วงเรดาร์ตรวจวัดจริง ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบโดยใช้ข้อมูลเรดาร์จากสถานีเรดาร์ภาคีเจริญ โดยข้อมูลที่ให้อยู่ในช่วงเดือนมิถุนายน 2548 ถึงเดือนตุลาคม 2549 โดยข้อมูลที่ให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ได้จากการตรวจวัดที่มุม 0.5° ซึ่งมีหน่วยเป็น dBZ มีความละเอียด 0.5 กิโลเมตร และมีการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที การทดสอบทำได้โดยนำภาพข้อมูลเรดาร์ 2 ภาพที่มีการตรวจวัดที่ ตรวจวัดการตรวจวัดที่ช่วงเวลาแตกต่างกัน 20 นาทีและ 40 นาที มาใช้ในการวิเคราะห์ เช่น ภาพสังเคราะห์ความถี่ 10 นาที ได้มาจากการใช้ภาพข้อมูลเรดาร์ ณ. นาทีที่ 0 กับ ภาพข้อมูลเรดาร์ ณ. นาที ที่ 20 แล้วสังเคราะห์ภาพใหม่ด้วยการประยุกต์วิธี MVA จะได้ภาพที่สังเคราะห์ใหม่ ณ ช่วงเวลาที่ 10 นาที หลังจากนั้นภาพเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้นี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับภาพข้อมูลเรดาร์ ณ เวลา 10 นาที ที่ตรวจวัดได้จริง โดยทำการเปรียบเทียบค่า dBZ ของค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้กับภาพข้อมูลค่าสะท้อนที่ตรวจวัดได้ แบบ Pixel ต่อ Pixel พร้อมทั้งคำนวณค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้ และที่ตรวจวัดได้จริงดังกล่าวแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ซึ่งค่า (RMSE) สามารถคำนวณจากสมการที่ 4.8

$$RMSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{j=1}^{J=NI=N} \sum_{i=1}^I (A_i - B_i)^2_j} \quad (4.8)$$

โดยที่ N คือ จำนวนค่าพิกเซลทั้งหมดที่ใช้ในการเปรียบเทียบ
 A_i คือ ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (dBZ) ของพิกเซล i ของภาพเรดาร์ที่ได้จากการตรวจวัดจริงของภาพที่ j
 B_i คือ ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (dBZ) ของภาพเรดาร์ที่ได้จากการสังเคราะห์จากวิธี MVA ของภาพสังเคราะห์ j

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์หาค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าสะท้อนกลับที่สังเคราะห์
ได้ MVA และค่าสะท้อนที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์

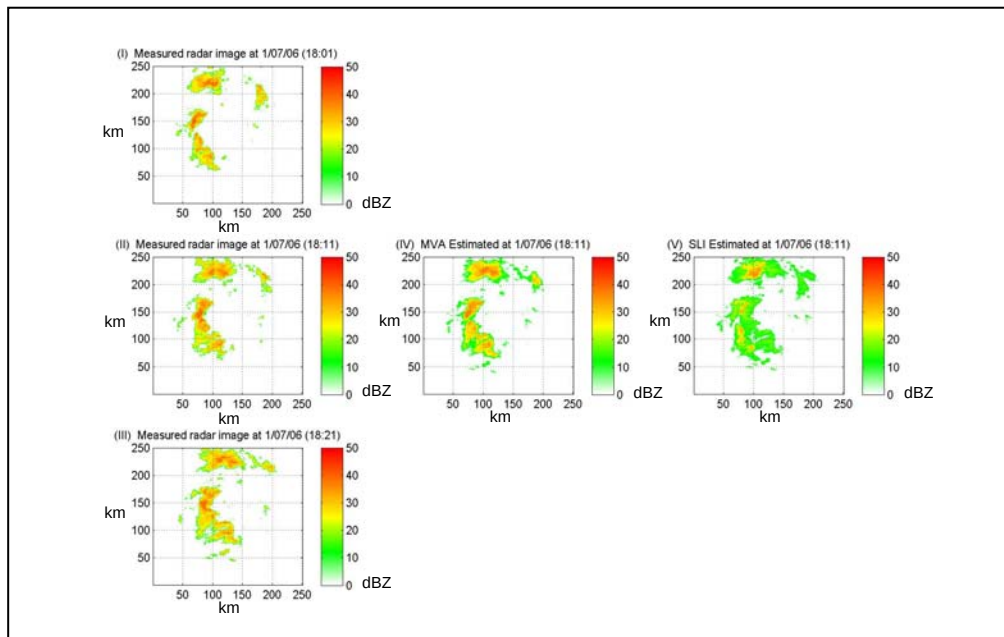
ช่วงเวลาระหว่างภาพ 2 ภาพ ที่ตรวจวัด (นาทีก)	ความถี่ในการสังเคราะห์ ข้อมูลเรดาร์ (นาทีก)	RMSE (dBZ)		MSE (dBZ)	
		MVA	SLI	MVA	SLI
20 นาที	10 นาที	12.27	13.25	9.44	11.04
40 นาที	10 นาที	14.75	14.98	11.28	11.71
	20 นาที	15.2	15.85	11.87	13.39

RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้กับค่าที่ตรวจวัดได้จริง (ใช้เหตุการณ์ฝนทั้งสิ้น 28 เหตุการณ์)

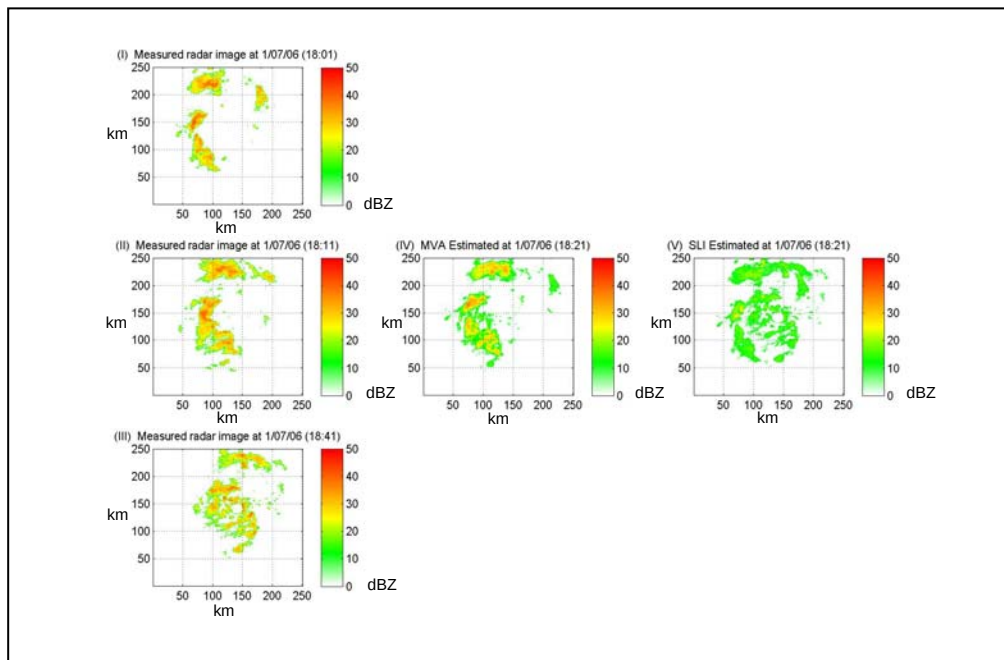
MSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้กับค่าที่ตรวจวัดได้จริง (ใช้เหตุการณ์ฝนทั้งสิ้น 28 เหตุการณ์)

จากตารางจะเห็นว่าค่าสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA พิจารณาเมื่อข้อมูลภาพ 2 ภาพ ห่างกัน 20 นาที และ ห่างกัน 40 นาทีและสังเคราะห์ข้อมูลค่าสะท้อนกลับให้ได้ค่าสะท้อนกลับ ณ นาที ที่ 10 จะเห็นว่าค่า RMSE ระหว่างค่าสะท้อนกลับที่ตรวจวัดจริงกับค่าสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA มีค่าต่ำกว่าการใช้วิธี SLI ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA มีความถูกต้องมากกว่าวิธี SLI ทั้งในเรื่องตำแหน่ง (position) และขนาด (magitude) ทั้งนี้เพราะวิธี MVA จะหาค่าเฉลี่ยทั้งตำแหน่งและขนาด ในขณะที่วิธี SLI จะไม่ได้หาค่าตำแหน่งจะหาเฉพาะค่าเฉลี่ยของค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์เท่านั้น

ภาพที่ 4.10 – 4.11 แสดงตัวอย่างภาพสังเคราะห์ที่ได้จากทั้งสองวิธีกรณีช่วงเวลาภาพ 2 ภาพห่างกัน 20 และ 40 นาที ของภาพเหตุการณ์ฝน ณ. วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 ตั้งแต่เวลา 18:01-19:01 น.

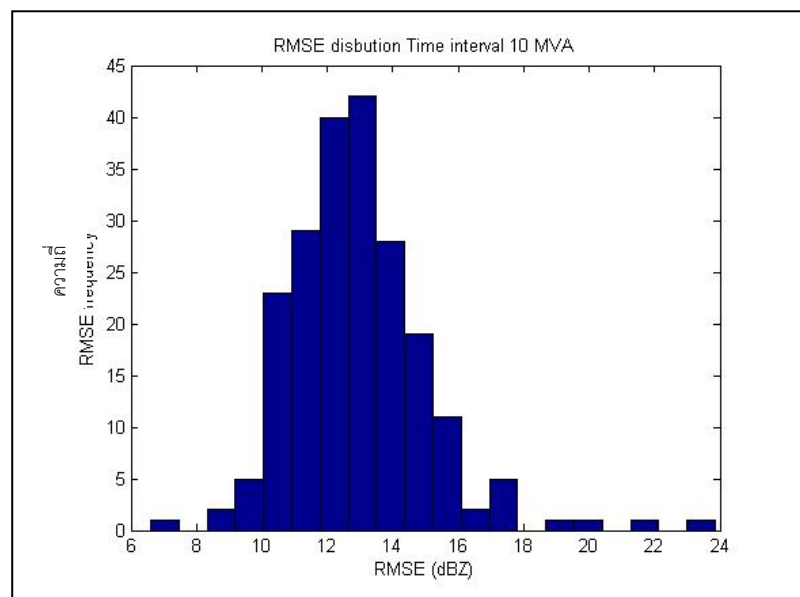


ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์จากวิธี MVA (RMSE =8.56 dBZ) และวิธี SLI (RMSE= 11.69 dBZ) ของเหตุการณ์ฝน ณ วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 เวลา 18:11 น. โดยภาพ 2 ภาพห่างกัน 20 นาที

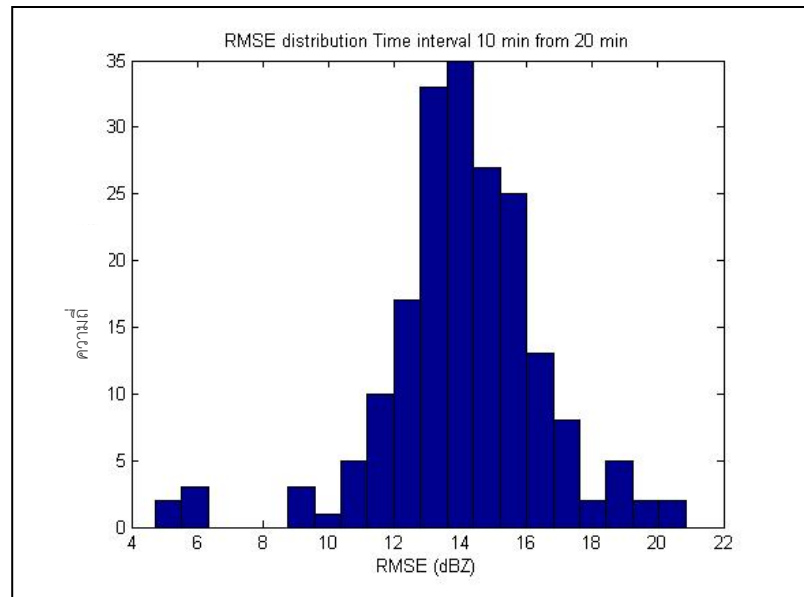


ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์จากวิธี MVA (RMSE = 11.81 dBZ) และวิธี SLI (14.74 dBZ) ของเหตุการณ์ฝน ณ วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 เวลา 18:21 น. โดยภาพ 2 ภาพห่างกัน 40 นาที

นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้ยังได้คำนวณหากราฟการแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างข้อมูลค่าการสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้โดยวิธี MVA และวิธี SLI เมื่อเทียบกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริง ภาพที่ 4.12 แสดงกราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้และที่ตรวจวัดได้จริง ณ ความถี่ 10 นาที่ ซึ่งข้อมูลภาพเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้มาจากการใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่มีการตรวจวัดห่างกัน 20 นาที่ จะเห็นได้ว่าค่า RMSE แจกแจงปกติ โดยค่า RMSE ของภาพที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธี MVA มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงไม่เกิน 14 dBZ

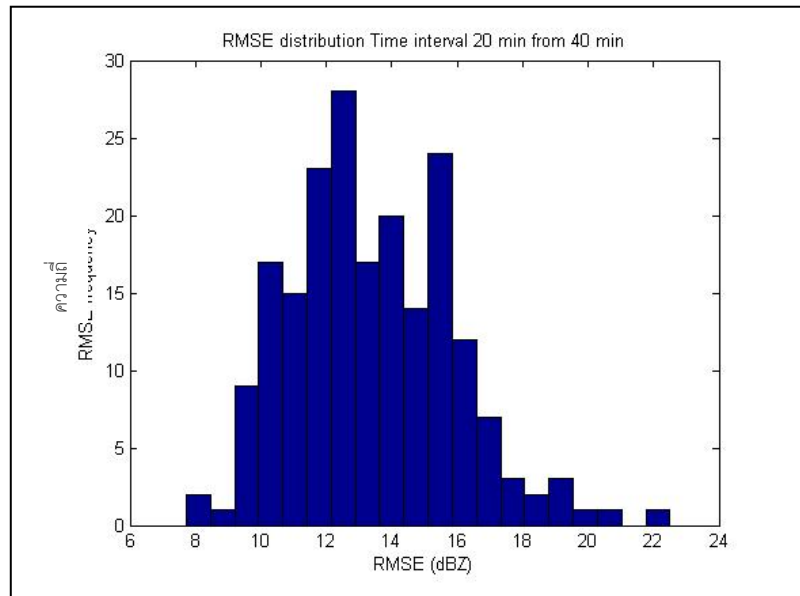


ภาพที่ 4.12 กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 20 นาที่) ทุก ๆ 10 นาที่



ภาพที่ 4.13 กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์
 ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA โดยมี
 ความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ
 ซึ่งห่างกัน 40 นาที)ทุก ๆ 10 นาที

นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้ยังได้คำนวณหากราฟการแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างข้อมูลค่าการสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้โดยวิธี MVA และวิธี SLI เมื่อเทียบกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริง ภาพที่ 4.13 แสดงกราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้และที่ตรวจวัดได้จริง ณ ความถี่ 10 นาที ซึ่งข้อมูลภาพเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้มาจากการใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่มีการตรวจวัดห่างกัน 40 นาที จะเห็นได้ว่าค่า RMSE แจกแจงปกติ โดยค่า RMSE ของภาพที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธี MVA มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงไม่เกิน 14 dBZ



ภาพที่ 4.14 กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์
ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA โดย
มีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ
ซึ่งห่างกัน 40 นาที) ทุก ๆ 20 นาที

ภาพที่ 4.14 แสดงกราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง ณ เวลา 20 นาที กับความเข้มฝนที่สังเคราะห์ได้ ณ เวลา 20 นาที ซึ่งเป็นข้อมูลภาพเรดาร์ที่สังเคราะห์มาจากช่วงเวลาห่างกัน 40 นาที จะเห็นได้ว่าค่าคลาดเคลื่อนเป็นแบบแจกแจงแบบเบ้ขวา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า RMSE มีการกระจายมากกว่าในภาพที่ 4.11 และ 4.12 จากภาพแสดงให้เห็นว่าการนำข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์ที่มีช่วงเวลาที่ห่างกัน 40 นาที มาสังเคราะห์ข้อมูลค่าเรดาร์ใหม่นั้นทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นมากกว่า 2 กรณีแรก ซึ่งอาจเกิดเนื่องมาจากการใช้ข้อมูลการตรวจวัดที่ห่างกันมากเกินไป (40 นาที) ซึ่งทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณหาสนามความเร็ว

4.5 การประยุกต์ใช้ MVA กับกลุ่มเมฆฝนชนิดต่างๆ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3 เกี่ยวกับเมฆและชนิดของเมฆ ซึ่งเมฆฝน คือกลุ่มหรือมวลของเมื่อน้ำขนาดเล็ก ซึ่งเมฆฝนแต่ละชนิดจะประกอบด้วยการกระจายตัวของเมื่อน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งการกระจายตัวของเมื่อน้ำที่แตกต่างกันจะทำให้การหาสนามความเร็วของเมฆฝน

แต่ละชนิดแตกต่างกันด้วย ส่งผลให้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่เหมาะสมสำหรับเมฆฝนชนิดต่าง ๆ แตกต่างกันไป เช่น เมฆฝนแบบคิวมูลัสจะมีขนาดของเม็ดน้ำขนาดใหญ่กระจุกตัวอยู่เป็นกลุ่มๆ ดังนั้นปริมาณฝนที่ตกจะตกหนัก แต่ระยะเวลาตกไม่นาน เมฆคิวโมโลนิมบัส จะมีขนาดของเม็ดน้ำขนาดเล็กมีลักษณะกระจายเต็มพื้นที่ ฝนจะตกไม่หนักแต่กระจายเต็มพื้นที่ ระยะเวลาค่อนข้างนานกว่าฝนที่เกิดจากเมฆฝนคิวโมโลนิมบัส ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์การสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ด้วยวิธี MVA โดยใช้เหตุการณ์ที่เกิดจากกลุ่มเมฆฝนทั้งสองชนิด โดยรายละเอียดวิธีการคัดแยกข้อมูลได้อธิบายไว้ในบทที่ 6

เหตุการณ์ฝนที่ใช้วิเคราะห์ในหัวข้อนี้ได้แก่ เหตุการณ์ฝนที่เกิดระหว่างวันที่ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2548 ถึง 18 ตุลาคม พ.ศ. 2549 ซึ่งข้อมูลแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะเหตุการณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แยกตามชนิดของเมฆฝน

เหตุการณ์	เริ่มต้น		สิ้นสุด		ช่วงเวลา	จำนวนสถานี	ค่าฝนเฉลี่ย	ฝนมากที่สุด	ชนิดของเมฆ
	วันเดือนปี	เวลา	วันเดือนปี	เวลา	นาที่	วัดน้ำฝน	มม./ชม.	มม./ชม.	
1	23 มิ.ย. 48	18:20	23 มิ.ย. 48	21:30	120	28	11.14	132.00	คิวโมโลนิมบัส
2	29 มิ.ย. 48	17:20	29 มิ.ย. 48	20:30	130	26	11.35	84.00	คิวโมโลนิมบัส
3	3 ก.ค. 48	16:10	3 ก.ค. 48	17:10	60	10	8.19	52.80	คิวโมโลนิมบัส
4	13 ก.ค. 48	08:20	13 ก.ค. 48	11:50	200	34	29.44	98.00	คิวโมโลนิมบัส
5	28 ก.ค. 48	16:20	28 ก.ค. 48	17:30	70	23	6.56	63.80	คิวโมโลนิมบัส
6	12 ต.ค. 48	16:51	12 ต.ค. 48	18:21	90	9	18.39	77.00	คิวมูลัส
7	14 ต.ค. 48	02:41	14 ต.ค. 48	07:21	280	33	17.58	105.60	คิวโมโลนิมบัส
8	14 ต.ค. 48	14:01	14 ต.ค. 48	16:31	150	11	11.03	105.60	คิวโมโลนิมบัส
9	15 ต.ค. 48	19:41	15 ต.ค. 48	21:41	120	17	5.71	46.20	คิวมูลัส
10	19 ต.ค. 48	15:31	19 ต.ค. 48	15:31	230	37	24.7	94.60	คิวโมโลนิมบัส
11	26 ต.ค. 48	17:01	26 ต.ค. 48	19:51	170	20	8.65	85.40	คิวมูลัส
12	4 พ.ย. 48	17:01	4 พ.ย. 48	18:21	80	12	12.14	103.40	คิวโมโลนิมบัส
13	8 พ.ย. 48	11:31	8 พ.ย. 48	14:21	170	20	19.32	114.20	คิวโมโลนิมบัส
14	11 พ.ย. 48	13:21	11 พ.ย. 48	15:21	120	14	24.35	99.00	คิวโมโลนิมบัส
15	12 พ.ย. 48	12:31	12 พ.ย. 48	14:21	110	10	9.78	90.20	คิวโมโลนิมบัส
16	18 พ.ย. 48	16:11	18 พ.ย. 48	17:51	100	23	9.28	73.20	คิวโมโลนิมบัส
17	20 ก.พ. 49	11:31	20 ก.พ. 49	12:41	70	21	18.54	52.80	คิวโมโลนิมบัส
18	1 ก.ค. 49	14:51	1 ก.ค. 49	21:21	390	43	6.37	15.40	คิวมูลัส
19	2 ก.ค. 49	17:01	2 ก.ค. 49	20:01	180	39	5.70	23.10	คิวโมโลนิมบัส
20	29 ส.ค. 49	20:01	30 ส.ค. 49	00:31	270	32	7.44	17.05	คิวโมโลนิมบัส
21	6 ก.ย. 49	21:51	7 ก.ย. 49	01:11	200	29	8.01	32.27	คิวโมโลนิมบัส
22	26 ก.ย. 49	11:31	26 ก.ย. 49	13:41	130	13	2.92	16.50	คิวมูลัส
23	26 ก.ย. 49	15:31	26 ก.ย. 49	19:51	260	32	12.39	28.05	คิวมูลัส
24	27 ก.ย. 49	19:11	27 ก.ย. 49	21:21	130	20	5.61	24.20	คิวโมโลนิมบัส
25	5 ต.ค. 49	11:11	5 ต.ค. 49	14:31	200	15	3.31	28.05	คิวมูลัส
26	10 ต.ค. 49	00:41	10 ต.ค. 49	03:31	170	21	4.05	14.70	คิวมูลัส
27	18 ต.ค. 49	00:01	18 ต.ค. 49	02:31	150	27	4.52	20.35	คิวโมโลนิมบัส
28	18 ต.ค. 49	12:21	18 ต.ค. 49	16:01	220	12	5.44	22.00	คิวมูลัส

ค่าฝนเฉลี่ยคำนวณจากการพิจารณาปริมาณฝนที่ > 0.5 มม./ชม.

4.5.1 ผลของการวิเคราะห์

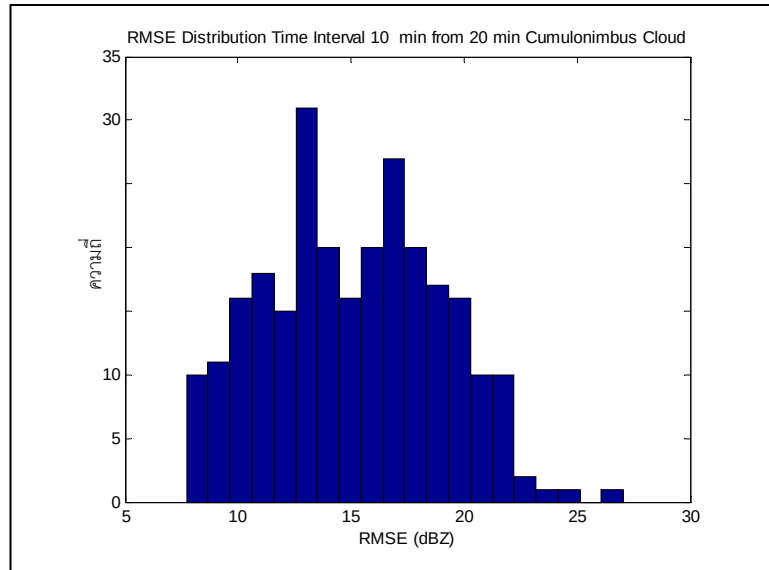
เมื่อทำการแยกชนิดของเมฆฝนและนำมาสังเคราะห์เพื่อหาการเคลื่อนที่ แล้วหาค่าสะท้อนกลับจากการวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนของค่าสะท้อนกลับของเรดาร์เมื่อเทียบกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริง แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างค่าสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA และ วิธี SLI เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง

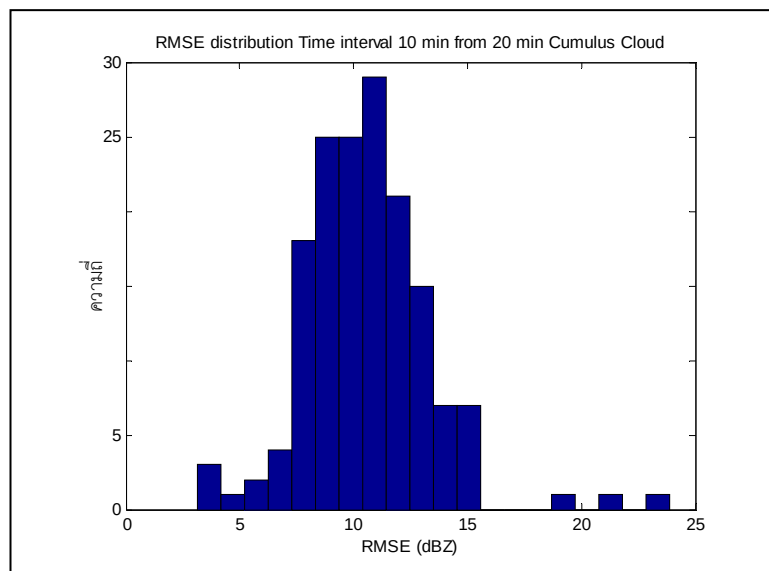
ช่วงเวลาระหว่างภาพ 2 ภาพที่ตรวจวัด (นาทีก)	ช่วงเวลาที่สร้าง ภาพด้วย MVA (นาทีก)	RMSE (dBZ)		RMSE (dBZ)	
		วิธี MVA		วิธี SLI	
		คิวมูลัส	คิวมูโลนิมบัส	คิวมูลัส	คิวมูโลนิมบัส
20 นาที	10 นาที	12.06	13.86	14.07	16.72
40 นาที	10 นาที	14.81	13.61	15.99	16.3
	20 นาที	14.24	15.43	15.74	15.92

จากตารางที่ 4.3 เมื่อทำการวิเคราะห์โดยแยกกลุ่มเมฆฝน พบว่าค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์โดยใช้วิธี MVA มีค่าต่ำกว่าค่า RMSE ที่ได้จากวิธี SLI ทั้ง 2 กลุ่มเมฆฝน

ภาพที่ 4.14 – ภาพที่ 4.15 แสดงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์จากวิธี MVA โดยใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ 2 ภาพ ซึ่งมีการตรวจวัดห่างกัน 20 นาที ของกลุ่มเมฆฝนคิวมูลัสและคิวมูโลนิมบัสตามลำดับ จะเห็นว่าค่า RMSE เฉลี่ยมีค่าประมาณ 15 dBZ สำหรับฝนที่สังเคราะห์ของกลุ่มเมฆฝนคิวมูโลนิมบัส และ ประมาณ 13 dBZ สำหรับฝนที่สังเคราะห์ของกลุ่มเมฆคิวมูลัส

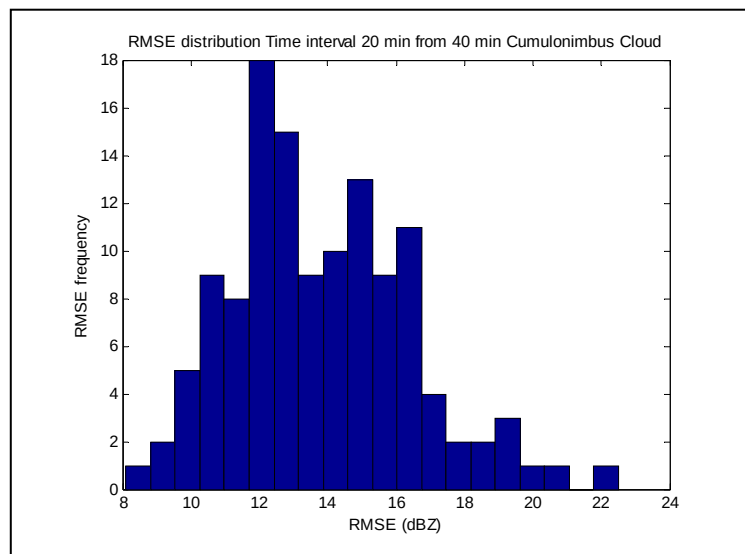


ภาพที่ 4.15 กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์
ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA จาก
กลุ่มเมฆคิวโมโลนิมบัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่
ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพซึ่งห่างกัน 20 นาที) ทุก ๆ 10 นาที

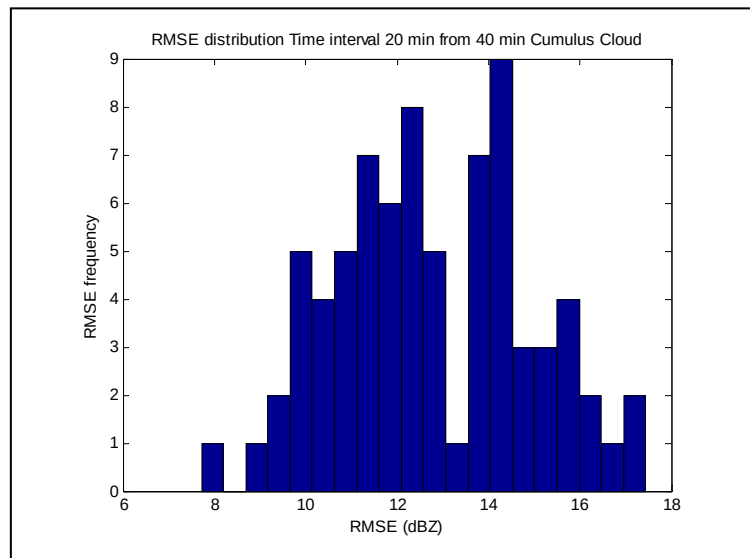


ภาพที่ 4.16 กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์
ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA จากกลุ่ม
เมฆคิวมูลัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้
จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 20 นาที) ทุก ๆ 10 นาที

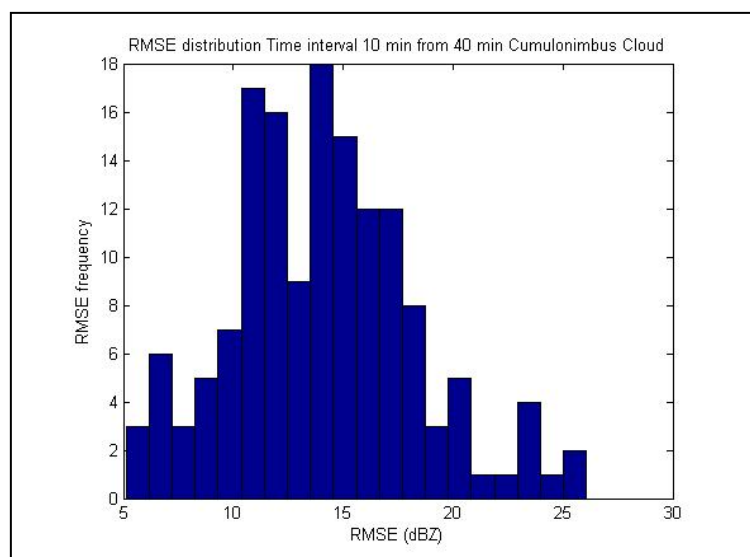
ภาพที่ 4.17 – ภาพที่ 4.18 แสดงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์จากวิธี MVA โดยใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ 2 ภาพ ซึ่งมีการตรวจวัดห่างกัน 40 นาที ของกลุ่มเมฆฝนคิวมุลัสและคิวมูโลนิมบัสตามลำดับ จะเห็นว่าค่า RMSE เฉลี่ยมีค่าประมาณ 15 dBZ สำหรับฝนที่สังเคราะห์ของกลุ่มเมฆฝนคิวมูโลนิมบัส และ ประมาณ 13 dBZ สำหรับฝนที่สังเคราะห์ของกลุ่มเมฆคิวมุลัส



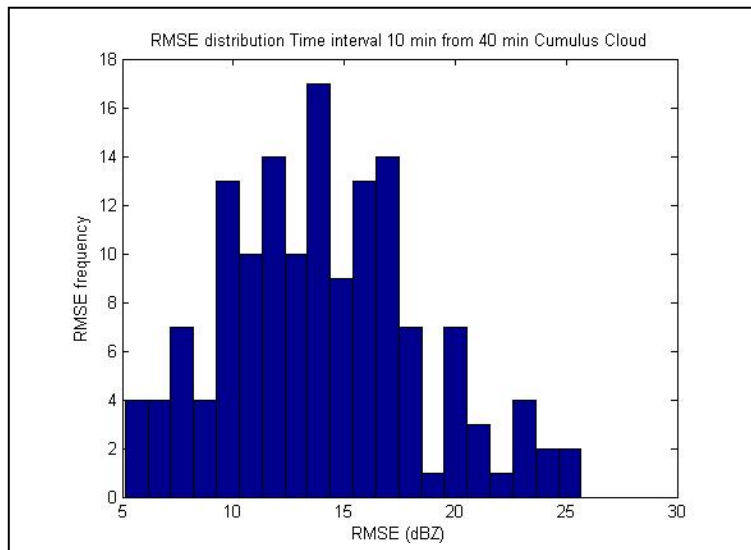
ภาพที่ 4.17 กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์นี้ได้จากวิธี MVA ของกลุ่มเมฆฝนคิวมูโลนิมบัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 40 นาที) ทุก ๆ 20 นาที



ภาพที่ 4.18 กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA ของกลุ่มเมฆฝนคิวมูลัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 40 นาที) ทุก ๆ 20 นาที



ภาพที่ 4.19 กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA ของกลุ่มเมฆคิวมูโลนิมบัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 40 นาที) ทุก ๆ 10 นาที



ภาพที่ 14.20 แจกแจงความถี่ของ RMSE ระหว่างค่าสะท้อนที่ตรวจวัดได้จริงกับ
ค่าสะท้อนที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA ณ นาทีที่ 10 จากข้อมูลภาพ
2 ภาพห่างกัน 40 นาที สำหรับกลุ่มเมฆคิวมูโลส

ภาพที่ 4.19 – ภาพที่ 4.20 แสดงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์จากวิธี MVA โดยใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ 2 ภาพ ซึ่งมีการตรวจวัดห่างกัน 40 นาที ของกลุ่มเมฆฝนคิวมูโลสและคิวมูโลนิมบัสตามลำดับ จะเห็นว่าค่า RMSE เฉลี่ยมีค่าประมาณ 15 dBZ สำหรับฝนที่สังเคราะห์ของกลุ่มเมฆฝนคิวมูโลนิมบัส และ ประมาณ 13 dBZ สำหรับฝนที่สังเคราะห์ของกลุ่มเมฆคิวมูโลส

จากผลการศึกษาข้างต้นโดยสรุปพบว่าการประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการสังเคราะห์ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากกลุ่มเมฆฝนชนิดคิวมูโลสจะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากกลุ่มเมฆฝนชนิดคิวมูโลนิมบัส

4.6 สรุปผลการศึกษาการประยุกต์ใช้ MVA เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์

จากการศึกษาพบว่าข้อมูลภาพเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากภาพถ่าย สองภาพ ณ เวลาต่อเนื่องกันโดยใช้วิธี MVA นั้นพบว่า

1. วิธี MVA สามารถหาการเคลื่อนที่หรือสนามความเร็วจากภาพที่มีช่วงเวลาห่างกันได้ หรือเหตุการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (Ravela and Chatdarong, 2006) และจากการวิเคราะห์สนามความเร็วที่หาได้พบว่ามีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าวิธี SLI

2. วิธี MVA สามารถเพิ่มความถี่ข้อมูลเรดาร์ได้ โดยข้อมูลค่าสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนโดยวิธี SLI โดยเฉลี่ยประมาณ 3 dBZ

3. จากการศึกษาโดยใช้เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ พบว่าการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่เกิดจากกลุ่มฝนชนิดคิวมูลัสมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากกลุ่มฝนชนิดคิวมูโลนิมบัส เนื่องมาจากเหตุการณ์ฝนชนิดคิวมูลัสที่เกิดในช่วงเวลาการศึกษาส่วนใหญ่มีทิศทางการเคลื่อนที่ และมีลักษณะการก่อตัวหรือสลายตัวที่ค่อนข้างชัดเจน ดังนั้นการประยุกต์ใช้วิธี MVA สำหรับเพิ่มความถี่ข้อมูลของเหตุการณ์ฝนดังกล่าวจึงมีความถูกต้องมากกว่าเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากกลุ่มเมฆฝนชนิดคิวมูโลนิมบัส

บทที่ 5

ประยุกต์ใช้วิธี MVA ในขบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง

5.1 การประมาณปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลเรดาร์

ดังที่ได้กล่าวมาจากบทที่ 1 ว่าข้อมูลปริมาณน้ำฝนมีความสำคัญต่อระบบอุตุ-อุทกวิทยา ซึ่งการประมาณปริมาณน้ำฝนโดยเรดาร์นั้นจะให้ข้อมูลที่มีความละเอียดทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา การประมาณปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่นั้นขึ้นอยู่กับกรนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำ ชนิดของฝนและชนิดของแบบจำลอง (Cole and Moor, 2008) ถ้าช่วงเวลาของข้อมูลไม่ห่างกันมากหรือข้อมูลมีความถี่เพียงพอจะทำให้สามารถประมาณปริมาณน้ำฝนในเชิงพื้นที่ได้อย่างถูกต้องทำให้สามารถทำนายหรือประมาณปริมาณน้ำท่วม ได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากขึ้น การตรวจวัดฝนโดยเรดาร์ตรวจอากาศ สามารถตรวจวัดในเชิงพื้นที่และเวลาที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งสามารถครอบคลุมบริเวณพื้นที่ได้อย่างกว้างขวาง เพราะรัศมีในการตรวจวัดของเรดาร์มากกว่า 100 กิโลเมตร จึงทำให้สามารถใช้ข้อมูลที่ตรวจวัดได้มาเป็นข้อมูลในการทำนายปริมาณน้ำฝนของกลุ่มฝนที่กำลังเคลื่อนที่เข้ามาในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานครล่วงหน้าได้น้อย 1-3 ชั่วโมง (Nowcasting) อย่างไรก็ตามยังมีความคลาดเคลื่อนของค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้โดยเรดาร์ตรวจอากาศ เช่น ค่าสะท้อนกลับที่เกิดจากวัตถุที่อยู่บนพื้นดินหรือค่าสะท้อนกลับจากการกระทบวัตถุอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เม็ดน้ำ เป็นต้น ทำให้เกิดคลาดเคลื่อนในค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ซึ่งก่อให้เกิดความแปรปรวนไม่แน่นอนรวมอยู่ด้วย (Fabry et al., 1994; Jordan et al., 2000; Krajewski and Smith, 2002; Chumchean, 2006) วิธีการปรับปรุงความถูกต้องของการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ ได้ถูกนำเสนอมากกว่า 60 ปีแล้ว รวมทั้งวิธีที่จะคัดกรองเอาค่าความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ออกไป เช่น ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการตรวจวัดของเรดาร์ (Anagnatsou and Morales, 2001; Chumchean et al., 2004) ; Ozturk and Yilmazer, 2007) ค่าความคลาดเคลื่อนจากการใช้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่ไม่เหมาะสม (Joss and Waldvogel, 1990; Liu, 1995; Collier, 1996; Nothhcott, 2002; Suk, 2008; Chumchean et al., 2008) และค่าความคลาดเคลื่อนในการปรับแก้ปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลเรดาร์ให้เทียบเท่ากับข้อมูลฝนภาคพื้นดิน (Koistinen and Puhakka, 1981; Seed and Austin, 1990; Barnton, 1991; Bradley et al., 1997; Anagnostou et al., 1998; Krajewski and Smith, 2002; Chumchean, 2006)

โดยปกติแล้วในการดำเนินการตรวจวัดของเรดาร์ตรวจอากาศจะดำเนินการตรวจวัดโดยกวาดข้อมูลเป็นมุม 360 องศา โดยการหมุนเสาอากาศในทิศที่กำหนด ขณะที่ทำการหมุนเสาอากาศจึงเปรียบเสมือนการกวาดข้อมูลในอากาศเป็นไปตามลำดับ อัตราการหมุนของเรดาร์รอบๆ แกนและมุมในการตรวจวัดในแต่ละรอบจะคงที่ เวลาที่แตกต่างกันในแต่ละรอบ คือ ความละเอียด (Temporal resolution) หรือความถี่ในการตรวจวัดของเรดาร์ (Anagnostou, 1998; Smith Krajewski, 1991; Chumchean, 2004) วิธีในการหาปริมาณน้ำฝนสะสมของเรดาร์ที่ใช้กันทั่วไปในประเทศไทย ปกติหาได้โดยนำค่าความเข้มฝนเรดาร์คูณด้วยช่วงเวลาในการตรวจวัดข้อมูลแล้วก็จะได้ค่าปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาที่ต้องการทำให้มีความคลาดเคลื่อนในค่าปริมาณน้ำฝนที่คำนวณ โดยเฉพาะในกรณีที่กลุ่มฝนเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว

เหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานครส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการพาความร้อน (รัชนิวรรณ ตาพุมาศสวัสดิ์, 2549) ทั้งนี้เนื่องจากกรุงเทพมหานครตั้งอยู่ส่วนกลางของประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พายุไซโคลและดีเปรสชัน ดังที่กล่าวมาแล้วจากบทที่ 1 ว่าฝนที่เกิดจากการพาความร้อนเกิดขึ้นจากเมฆที่ก่อตัวขึ้นจากกระแสอากาศร้อนลอยขึ้นสู่เบื้องบนมวลอากาศอุ่นลอยตัวสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิของอากาศเย็นลง ไอน้ำจะกลั่นตัวกลายเป็นเมฆ และเกิดเป็นพายุฝนฟ้าคะนอง มักเกิดเนื่องจากโลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้พื้นดินร้อนขึ้นมาก อากาศบริเวณพื้นดินจะลอยสูงขึ้นเกิดเป็นเมฆ การเปลี่ยนแปลงของฝนที่เกิดจากการพาความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา

การตกของฝนในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานครเป็นสาเหตุของปัญหาน้ำท่วมซึ่งเป็นปัญหาที่รุนแรงของกรุงเทพมหานครเพราะทำให้การจราจรติดขัดซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจและทำให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นกรุงเทพมหานครจึงได้จัดทำโครงการป้องกันและพยากรณ์น้ำท่วมโดยใช้ข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำท่า ข้อมูลจากเรดาร์ ข้อมูลจากดาวเทียม และ NWP สำหรับการพยากรณ์ (Chumchean et al., 2005) โดยมอบหมายโครงการนี้ให้อยู่ในการดำเนินงานของสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ซึ่งข้อมูลเรดาร์ที่ใช้ในโครงการนี้ได้จากการตรวจวัดของเรดาร์ตรวจอากาศภาคีเจริญ ซึ่งมีความถี่ข้อมูลทุก ๆ 10 นาที เมื่อทำการเปลี่ยนค่าสะท้อนกลับที่ตรวจวัดได้ให้เป็นปริมาณน้ำฝน โดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสม ก็จะสามารถนำข้อมูลฝนที่คำนวณได้สร้างแบบจำลองเพื่อทำการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนล่วงหน้า 1-3 ชั่วโมงที่ตกบริเวณกรุงเทพมหานครและพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ เนื่องจากฝนที่ทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลันในบริเวณกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่ก็เกิดจากฝนที่เกิดจากการพาความร้อน การเคลื่อนที่ของอากาศทำให้กลุ่มฝนที่เกิดครอบคลุมบริเวณพื้นที่

กรุงเทพมหานครมีการเคลื่อนที่ ในการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากเรดาร์ที่ใช้สำหรับ กรุงเทพมหานครในปัจจุบันนั้นได้ประมาณปริมาณน้ำฝนโดยไม่ได้พิจารณาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน และเหตุการณ์ฝนที่เกิดในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานครส่วนใหญ่มีการพัฒนาก่อตัวหรือสลายอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งบางครั้งสั้นกว่าในช่วงเวลาของการตรวจวัดข้อมูลของเรดาร์ ทำให้ค่าปริมาณน้ำฝนที่ประมาณได้มีความคลาดเคลื่อน

ในบทนี้นำเสนอการกระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงโดยพิจารณาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนในระหว่างการตรวจวัดด้วย ทำได้โดยประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการหาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนจากข้อมูลภาพเรดาร์ 2 ภาพ แล้วสังเคราะห์หาข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ระหว่างภาพ 2 ภาพเพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลภาพเรดาร์ การศึกษาวิจัยนี้ใช้ข้อมูลเรดาร์จากสถานีเรดาร์ภาษีเจริญและสถานีวัดน้ำฝนครอบคลุมบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานครโดยทำการศึกษาเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ที่วัดโดยสถานีเรดาร์ภาษีเจริญ วิธี MVA ถูกนำมาใช้เพื่อสังเคราะห์หาค่าสะท้อนกลับ ณ ช่วงเวลา 2 ช่วงเวลาที่เรดาร์ดำเนินการตรวจวัด เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการหาปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงโดยในการศึกษาได้ทำการเพิ่มความถี่ของข้อมูลเรดาร์ภาษีเจริญ ซึ่งเป็นภาพเรดาร์แบบ PPI 10 นาที โดยเพิ่มความถี่ของข้อมูลภาพเรดาร์ระหว่าง 1 นาที ถึง 9 นาที ด้วยการสังเคราะห์ภาพเรดาร์ใหม่ โดยใช้วิธี MVA ในการหาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน ในการศึกษาได้ทำการสังเคราะห์ภาพเรดาร์ใหม่โดยแบ่งการสังเคราะห์เป็น 9 กลุ่มระหว่างช่วงเวลา 10 นาที คือ สังเคราะห์ภาพเรดาร์ 8 ภาพ, 4 ภาพ, 3 ภาพ, 2 ภาพ, สำหรับการเพิ่มความถี่ข้อมูลระหว่าง 1 ถึง 4 นาทีและ 1 ภาพ สำหรับกรณีเพิ่มความถี่ 5 ถึง 9 นาที ตามลำดับ และใช้ข้อมูลที่สังเคราะห์ใหม่ในการหาพารามิเตอร์ของสมการความสัมพันธ์ Z-R เพื่อใช้ในการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงต่อไป

5.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

5.2.1 การสอบเทียบเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย

(Calibration of climatological Z-R relationship)

ปริมาณน้ำฝนของเรดาร์หาได้จากแปลงค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ Z ($\text{mm}^6 \cdot \text{mm}^{-3}$) เป็นปริมาณน้ำฝน R ($\text{mm} \cdot \text{ชม.}$) โดยใช้สมการความสัมพันธ์ของ $Z=aR^b$ ที่เหมาะสม ค่าพารามิเตอร์ a และ b จะขึ้นอยู่กับค่าการกระจายของขนาดของเม็ดฝน ที่ตรวจวัดได้โดยสมมติให้ความเร็วสุดท้ายของเม็ดฝนเป็นฟังก์ชันของเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝน โดยที่เม็ดฝนเหล่านี้ตก

ลงผ่านอากาศและยังอยู่ในอากาศ (Chumchean, 2008) การหาพารามิเตอร์สำหรับ $Z-R$ เหลี่ยจะทำได้โดยการสอบเทียบ (Calibration) การวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์และค่าปริมาณความชื้นฝน ($Z=aR^b$) ทำได้โดยใช้วิธีสมการถดถอย (Regression) โดยค่าพารามิเตอร์ a และ b ที่เหมาะสมที่สุด คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root mean square error : RMSE) ระหว่างปริมาณฝนเรดาร์และปริมาณความชื้นฝนจากสถานีวัดน้ำฝนซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งที่สอดคล้องกันมีค่าน้อยที่สุด

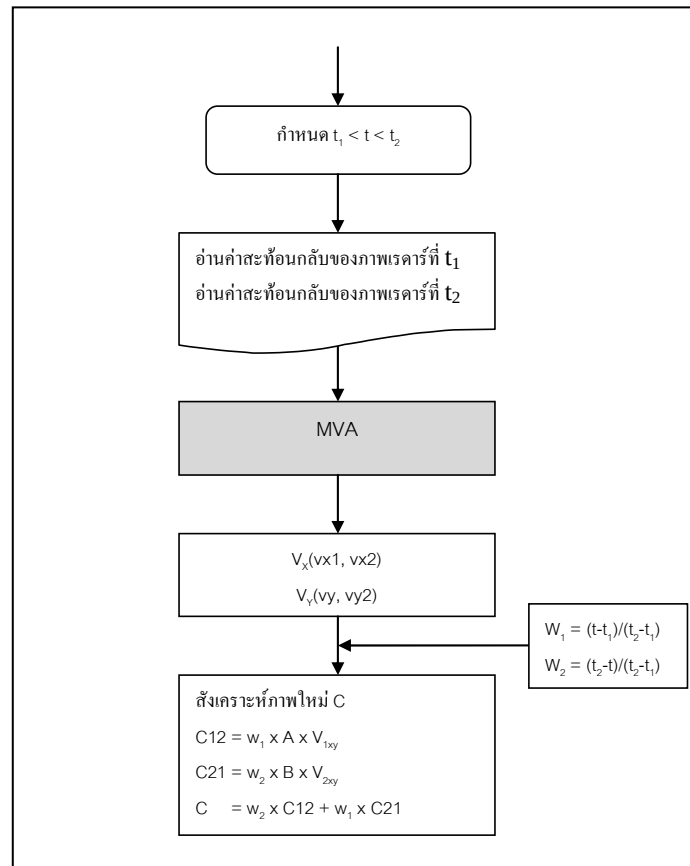
จากผลการศึกษาของ Doelling et al. (1998), Steiner และ Smith (2000), Hagen และ Yuter (2003) ได้ศึกษาค่าพารามิเตอร์ของสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ โดยใช้ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์หลาย ๆ ปี ที่ได้จากการตรวจวัดของ Disdrometer พบว่าค่าพารามิเตอร์ b ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ คือ $b = 1.5$ ในทำนองเดียวกันจากผลการศึกษาของ Seed et al. (2002) พบว่าการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ b ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนมากนัก ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงได้พิจารณาใช้ค่า b คงที่เท่ากับ 1.5 และวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a ที่เหมาะสมสำหรับช่วงเวลาต่างๆ ที่ทำให้ค่า RMSE ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนมีค่าน้อยที่สุด และจากการศึกษาของ Seed et al. (2002) แสดงให้เห็นว่าค่า RMSE ระหว่างปริมาณน้ำฝนเรดาร์เทียบกับปริมาณน้ำฝนที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝนที่ตำแหน่งเดียวกันมีความเปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ b หลาย ๆ ค่า ($b = 1.6, 1.5$ และ 1.4) ดังนั้นในการศึกษาเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ จึงเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ b คงที่ โดยให้ b มีค่าคงที่เท่ากับ 1.5 และพารามิเตอร์ a ได้มาจากการ Minimization ค่า RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนจากเรดาร์

5.2.2 การหาค่าความถี่ของข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์ที่เหมาะสม

(Investigation of the optimum temporal resolution of generated reflectivity data)

ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อสังเคราะห์ค่าการสะท้อนกลับเรดาร์ไม่ใช่ค่าปริมาณน้ำฝน เนื่องจากความสัมพันธ์ $Z-R$ อยู่ในรูปเลขยกกำลังระหว่างค่าสะท้อนกลับของเรดาร์และปริมาณน้ำฝน ซึ่งสมการดังกล่าวจะมีอิทธิพลต่อการประมาณปริมาณฝนในเชิงพื้นที่ การสังเคราะห์ข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์ที่อยู่ระหว่างข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์ที่ตรวจวัดได้ 2 ช่วงเวลามีขั้นตอนในการสังเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. กำหนดช่วงเวลา t โดยที่ $t_1 < t < t_2$ ซึ่ง t_1 และ t_2 แทน เวลาของข้อมูลภาพเรดาร์ภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
2. สำหรับแต่ละช่วงเวลา จะหาแฟคเตอร์ของภาพที่เคลื่อนไปข้างหน้าหาได้จาก $w_1 = (t - t_1)/(t_2 - t_1)$ และแฟคเตอร์จากภาพที่เคลื่อนถอยหลังกลับมามาหาได้จาก $w_2 = (t_2 - t)/(t_2 - t_1)$
3. อ่านค่าสะท้อนกลับของข้อมูลเรดาร์จากแฟ้มข้อมูล กำหนดให้ A แทนภาพเรดาร์ภาพที่ 1, B แทนภาพเรดาร์ภาพที่ 2, C แทนภาพเรดาร์ที่สังเคราะห์ใหม่ V แทน ความเร็วในแนวแกน x-y
4. สังเคราะห์ภาพเรดาร์ใหม่ เป็น 2 มิติ ซึ่งสร้างใหม่โดยพิจารณาการเคลื่อนที่ในแนวแกน x-y ด้วย ตามขั้นตอนดังนี้
 - ภาพที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าคือภาพที่ 1 คุณด้วยแฟคเตอร์ของภาพที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้า และค่าความเร็ว ซึ่งแสดงได้เป็น $C_{12} = w_1 \times A \times V_1$
 - ภาพที่เคลื่อนถอยหลังคือ ภาพที่ 2 คุณด้วยแฟคเตอร์ของภาพถอยหลัง และค่าความเร็ว ซึ่งแสดงได้เป็น $C_{21} = w_2 \times B \times V_2$
5. ภาพที่สังเคราะห์ใหม่มีค่าเท่ากับ ผลรวมค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ของภาพที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าคุณด้วย แฟคเตอร์ภาพถอยหลัง (w_2) และภาพที่เคลื่อนที่ถอยหลัง คุณด้วยแฟคเตอร์ภาพที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (w_1) ซึ่งเขียนได้เป็น $C = w_2 \times C_{12} + w_1 \times C_{21}$
6. ทำขั้นตอนที่ 1-5 ใหม่โดยทำการเปลี่ยนค่า t ไปเรื่อยๆ $t = 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8$ และ 9 นาที่ ซึ่งผังการทำงานของวิธี MVA แสดงในภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 แสดงขั้นตอนการหาสนามความเร็วของ MVA เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ภาพเรดาร์ใหม่

ภาพที่ 5.1 แสดงขั้นตอนการใช้วิธี MVA เพื่อสังเคราะห์ภาพข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์ใหม่ โดยสังเคราะห์จากข้อมูลภาพค่าสะท้อนกลับ 2 ภาพ ที่ได้จากการตรวจวัดต่อเนื่องกัน

เพื่อเป็นการวิเคราะห์หาความถี่ที่เหมาะสมของการสังเคราะห์ภาพค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ใหม่ โดยวิธี MVA ซึ่งวิธีนี้จะสังเคราะห์ภาพค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ใหม่โดยใช้ภาพค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้ ณ ช่วงเวลาที่แตกและต่อเนื่องกัน เนื่องจากภาพข้อมูลค่าสะท้อนกลับที่ใช้ในการศึกษาเป็นภาพข้อมูลที่ตรวจวัดทุกๆ 10 นาที ดังนั้น จึงใช้วิธี MVA เพื่อสังเคราะห์ภาพค่าสะท้อนกลับใหม่ ณ เวลา 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 และ 9 นาที ข้อมูลการสังเคราะห์ภาพใหม่แบ่งออกเป็น 9 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ตามจำนวนภาพที่ต้องสังเคราะห์ใหม่ระหว่างภาพค่าสะท้อนกลับที่ตรวจวัดได้ ในแต่ละกลุ่ม คือ 8, 4, 3, 2 และ 1 ภาพ สำหรับช่วงเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 - 9 นาที ตามลำดับ (เวลาในการสังเคราะห์ภาพค่าสะท้อนแต่ละภาพ ประมาณ

42 วินาทีต่อภาพ ประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง เป็น core2DUO 1.8 Ghz) หลังจากนั้นจึงคำนวณหาความสัมพันธ์ $Z-R$ ในแต่ละกลุ่มข้อมูลที่มีความถี่ของข้อมูลต่าง ๆ กัน และทำการประมาณหาค่าปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากแต่ละกลุ่มของข้อมูลความถี่ที่ใช้ในการสังเคราะห์ข้อมูลเรดาร์ที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่า RMSE ระหว่างปริมาณน้ำฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่มีค่าน้อยที่สุด

ตารางที่ 5.1 แสดงการแบ่งกลุ่มในการสังเคราะห์ภาพใหม่

กรณี	จำนวนภาพที่สร้าง โดย MVA	ความถี่ในการสังเคราะห์ (นาทีก)
1	1	5, 6, 7, 8, 9
2	2	4
3	3	3
4	4	2
5	8	1

5.3 ผลการศึกษา

5.3.1 ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการสร้างข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์

จากข้อมูลเหตุการณ์ฝน 28 เหตุการณ์ ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 และทำการสังเคราะห์ภาพดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ในช่วงสอบเทียบโดยใช้เหตุการณ์ฝนทั้ง 28 เหตุการณ์ข้างต้นเพื่อวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ในแต่ละกรณีดังผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 ค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์รายชั่วโมงและสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินแสดงไว้ในตารางที่ 5.2 ซึ่งจากตารางแสดงให้เห็นว่า ประมาณปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลา 5 นาที ทำให้ค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนมีค่าน้อยที่สุด นอกจากนี้จากข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้จะพบว่า เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ภาพค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ของช่วงเวลา 5 นาที มีค่าน้อยกว่าเวลาต่าง ๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ภาพค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ ยกเว้นที่ ณ ช่วงเวลาที่ 7-9 นาที ดังนั้นเหตุผลดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าช่วงความถี่ที่เหมาะสมในการใช้วิธี MVA ช่วยในการสังเคราะห์ภาพเรดาร์ของข้อมูลเรดาร์ภาคีเจริญที่มีการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที คือ 5 นาที ชุดข้อมูลที่สังเคราะห์ดังกล่าวนี้ได้ถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการประเมินปริมาณฝนเรดาร์รายชั่วโมงต่อไป

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละความถี่ที่ใช้ในสังเคราะห์ข้อมูลค่า
สะท้อนกลับของเรดาร์ (โดยใช้สมการ $Z=aR^{1.5}$)

ความถี่ในการสังเคราะห์ภาพ (นาทิจ)	พารามิเตอร์ 'a'	RMSE (มม./ชม.)
ข้อมูลการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที	45	3.61
MVA (1 นาที)	98	3.20
MVA (2 นาที)	160	3.17
MVA (3 นาที)	84	3.22
MVA (4 นาที)	157	3.12
MVA (5 นาที)	130	2.99
MVA (6 นาที)	155	3.02
MVA (7 นาที)	172	3.08
MVA (8 นาที)	142	3.14
MVA (9 นาที)	140	3.17
SLI (5 นาที)	86	3.32

*RMSE ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์ที่คำนวณจากชุดข้อมูลต่าง ๆ
และปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝน (รายชั่วโมง)

5.3.2 การประยุกต์ใช้ข้อมูลที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA ในการประมาณปริมาณ น้ำฝนรายชั่วโมง (Effectiveness of applying MVA technique into hourly radar rainfall estimates)

5.3.2.1 ผลการสอบเทียบ (Calibration result)

ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้โดยเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้น
ราย 10 นาที และ ค่าสะท้อนกลับที่สังเคราะห์โดยวิธี MVA ด้วยความถี่ทุก ๆ 5 นาที ที่นำมาใช้ในการ
การสอบเทียบเพื่อหาค่าสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ โดยใช้ข้อมูลของเหตุการณ์ฝนทั้งหมด 28
เหตุการณ์ ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่าง เดือนมิถุนายน 2548 ถึง เดือนตุลาคม 2549 การสอบ

เทียบจะทำได้โดยใช้ปริมาณฝนรายชั่วโมงผลการศึกษพบว่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ได้จากชุดข้อมูลที่ไม่ได้คิดการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน (Conventional Calibrated Z-R, CC Z-R) โดยใช้ข้อมูลเรดาร์ที่ตรวจวัดได้ทุก ๆ 10 นาที คือ $Z=45R^{1.5}$; สมการ Z-R ที่ได้จากชุดข้อมูลสังเคราะห์โดยใช้วิธีเฉลี่ยอย่างง่ายที่ความถี่ทุก ๆ 5 นาที (5-Min SLI Z-R) คือ $Z=86R^{1.5}$ และสมการ Z-R ที่ได้จากการใช้ชุดข้อมูลที่สังเคราะห์โดยวิธี MVA ที่ความถี่ทุก ๆ 5 นาที (5-Min MVA Z-R) คือ $Z=130R^{1.5}$ ค่า RMSE ระหว่างปริมาณน้ำฝนเรดาร์กับปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของแต่ละชุดข้อมูลสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.2 ซึ่งผลการศึกษาแสดงไว้ในตารางที่ 5.3

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^{N_i} (R_{i,t} - G_{i,t})^2} \quad (5.2)$$

โดยที่ $R_{i,t}$ คือ ปริมาณน้ำฝนสะสมของเรดาร์ ณ ตำแหน่ง สถานีวัดน้ำฝนที่ i ณ ชั่วโมงที่ t

$G_{i,t}$ คือ ฝนสะสมรายชั่วโมง

N_i คือ จำนวนสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินที่มีการตรวจวัดน้ำฝน และมีค่าตรวจวัดมากกว่าศูนย์

N_t คือ เวลา เป็นชั่วโมง

N คือ จำนวน คู่ของ Z-R ที่ใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ 5.3 สมการ Z-R เฉลี่ยของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบจำนวน 28 เหตุการณ์ (เดือน มิ.ย. 2548 ถึง เดือน ต.ค. 2549)

ชุดข้อมูลค่าสะท้อนกลับ ของเรดาร์	สมการความสัมพันธ์ Z-R	RMSE [*] (มม./ชม.)
ค่าสะท้อนกลับที่ได้จากการตรวจ วัดจริง ณ เวลา 10 นาที	$Z=200R^{1.6}$	3.66
	$Z=45R^{1.5}$ (CC Z-R)	3.61
ค่าสะท้อนกลับจากการสังเคราะห์ ด้วยวิธี SLI ที่ความถี่ทุก ๆ 5 นาที	$Z=200R^{1.6}$	3.45
	$Z=86R^{1.5}$ (5-Min SLI Z-R)	3.32
ค่าสะท้อนกลับจากการสังเคราะห์ ด้วยวิธี MVA ที่ความถี่ทุก ๆ 5 นาที	$Z=200R^{1.6}$	3.29
	$Z=130R^{1.5}$ (5-Min MVA Z-R)	2.99

RMSE^{*} ระหว่างฝนเรดาร์สะสมรายชั่วโมงกับฝนสะสมรายชั่วโมงจากสถานีวัดน้ำฝน

ค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของเหตุการณ์ฝนซึ่งคำนวณได้โดยใช้ค่าสมการความสัมพันธ์ $CC\ Z-R, Z=45R^{1.5}$, 5-Min SLI $Z-R, Z=86R^{1.5}$ และ 5-Min MVA $Z-R, Z=130R^{1.5}$ คือ 3.61 มม./ชม., 3.32 มม./ชม. และ 2.99 มม./ชม. ตามลำดับ จากเหตุการณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบพบว่า การใช้วิธี MVA ในการสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในระบบการหาปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงสามารถลดค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่ไม่ได้นำการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ามาในระบบการประมาณปริมาณน้ำฝน และวิธี SLI ดังนั้นการประยุกต์ใช้วิธี MVA สามารถปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนให้มีความถูกต้องมากขึ้น ในหัวข้อต่อไปจะเป็นการกระบวนกรทดสอบความเชื่อมั่นด้วยการทวนสอบผล การประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการประมาณปริมาณน้ำฝนโดยข้อมูลเรดาร์ โดยทำการตรวจสอบกับเหตุการณ์ที่ไม่ได้ใช้ในการสอบเทียบ

5.3.2.2 ผลการทวนสอบ (Validation result)

การทวนสอบเป็นวิธีการที่จะทดสอบความเชื่อมั่นของผลการสอบเทียบอย่างง่ายซึ่งทำได้โดยใช้เหตุการณ์ฝนที่ไม่ได้นำมาใช้ในการสอบเทียบเพื่อหาค่าสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ซึ่งเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบมีทั้งหมด 13 เหตุการณ์ ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างเดือนมีนาคม ถึง เดือนกันยายน 2550 ในการทดสอบความเชื่อมั่นทำการทดสอบ 3 กรณี

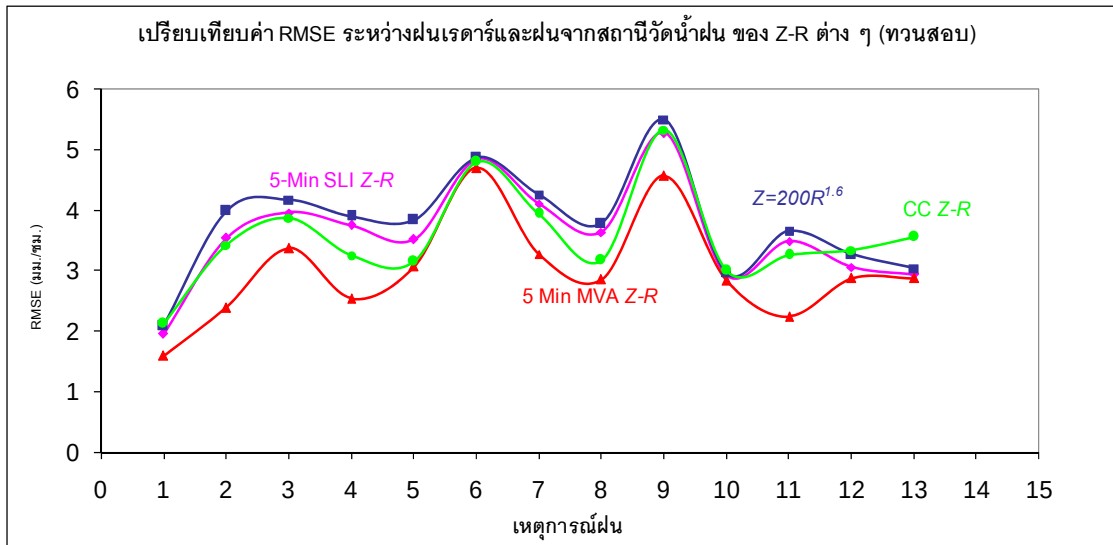
1. เปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน โดยใช้สมการความสัมพันธ์ $Z=200R^{1.6}$ (Marshall and Palmer, 1948) กับ $CC\ Z-R$ ซึ่งเป็นสมการ
2. ความสัมพันธ์ที่ได้จากการสอบเทียบและไม่ได้้นำการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ามาในระบบการประมาณปริมาณน้ำฝน
3. เปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน โดยใช้สมการความสัมพันธ์ $Z=200R^{1.6}$ กับ 5-Min SLI $Z-R, (Z=86R^{1.5})$ ซึ่งเป็นสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการสอบเทียบและหาค่าสะท้อนกลับของเรดาร์โดยวิธี SLI

เปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน โดยใช้สมการความสัมพันธ์ $Z=200R^{1.6}$ กับ 5-Min MVA $Z-R, (Z=130R^{1.5})$ ซึ่งเป็นสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการสอบเทียบโดยนำการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ามาในระบบการประมาณปริมาณผล จากวิเคราะห์ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างประมาณปริมาณฝนเรดาร์ และฝนจากสถานีวัด
น้ำฝนของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ (เดือน มี.ค. ถึง เดือน ก.ย. 2550)

เหตุการณ์ฝน	RMSE (มม./ชม.)					
	ค่าสะท้อนกลับที่ได้จากการตรวจวัดจริง ณ เวลา 10 นาที		ค่าสะท้อนกลับจากการสังเคราะห์ด้วยวิธี SLI ที่ความถี่ทุก ๆ 5 นาที		ค่าสะท้อนกลับจากการสังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ที่ความถี่ทุก ๆ 5 นาที	
	$Z=200R^{1.6}$	$Z=45R^{1.5}$	$Z=200R^{1.6}$	$Z=86R^{1.5}$	$Z=200R^{1.6}$	$Z=130R^{1.5}$
19 มี.ค. 2550	2.36	2.19	2.29	2.13	2.09	0.59
20 มี.ค. 2550	4.54	3.54	4.03	3.42	3.99	2.39
9 พ.ค. 2550	4.36	3.96	3.97	3.87	4.17	3.37
10 พ.ค. 2550	3.89	3.75	3.43	3.25	3.19	1.96
14 พ.ค. 2550	4.32	3.52	4.25	3.15	2.84	2.97
16 พ.ค. 2550	5.12	4.84	5.08	4.8	4.78	4.8
20 ก.ค. 2550	4.24	4.11	4.36	3.94	5.26	1.1
23 ก.ค. 2550	3.88	3.64	3.76	3.17	3.78	1.85
25 ก.ค. 2550	5.28	5.01	5.52	5.33	6.3	5.07
10 ก.ย. 2550	3.43	3.03	3.18	3.01	2.97	2.84
11 ก.ย. 2550	3.89	3.49	3.79	3.26	3.66	2.24
17 ก.ย. 2550	4.23	3.26	4.19	3.34	4.17	2.88
20 ก.ย. 2550	3.94	3.24	3.73	3.56	2.04	1.88
ค่า RMSE เฉลี่ย	4.11	3.66	3.96	3.56	3.79	2.61

จากตารางที่ 5.4 พบว่า เมื่อรวมการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ากับกระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์โดยใช้วิธี MVA เพื่อหาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนและเพิ่มความถี่ของข้อมูลเรดาร์ในการประมาณปริมาณความเข้มฝนรายชั่วโมงแล้วพบว่าค่า RMSE ของ สมการความสัมพันธ์ MVA $Z-R$ $Z=130R^{1.5}$ มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่า RMSE ของสมการความสัมพันธ์ CC $Z-R$ ($Z=45R^{1.5}$), 5-Min SLI $Z-R$ ($Z=86R^{1.5}$) และ $Z=200R^{1.6}$ ของเหตุการณ์ฝนทุกเหตุการณ์ที่นำมาใช้ในการทดสอบความเชื่อมั่น จึงเห็นได้ว่าการนำการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ามาในกระบวนการประมาณการปริมาณความเข้มฝนทำให้มีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น ในภาพที่ 5.2 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของกรณีศึกษาต่าง ๆ ซึ่งจะเห็นว่า ค่า RMSE ฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่ได้จากการประยุกต์ใช้วิธี MVA จะมีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ



ภาพที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจาก
สถานีวัดน้ำฝน (กรณีทวนสอบ)

5.4 สรุปผลการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง

ในการศึกษาเพื่อหาผลของการรวมการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ากับการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง ซึ่งการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนจะถูกนำเข้ามาในกระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนโดยใช้วิธี MVA เพื่อสังเคราะห์ภาพค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ระหว่างภาพเรดาร์ 2 ภาพ ณ เวลาต่อเนื่องกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างค่าการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากเรดาร์ และปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินโดยวิธีแบบเดิมคือไม่คิดการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน สามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

1. ค่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ภาคีเจริญ โดยวิธี MVA คือ 5 นาที

2. ค่าความสัมพันธ์ Z-R ของเรดาร์ภาคีเจริญเมื่อใช้ค่าสะท้อนกลับที่สังเคราะห์โดยวิธี MVA ด้วยความถี่ทุก ๆ 5 นาที คือ $Z=130R^{1.5}$

3. การรวมการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ากับการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงโดยใช้วิธี MVA เพื่อคำนวณหาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน และสังเคราะห์ข้อมูลค่าสะท้อนกลับคลื่นเรดาร์ใหม่ระหว่างภาพ 2 ภาพที่เวลาต่อเนื่องกันสามารถลด RMSE ระหว่างปริมาณน้ำฝนเรดาร์และปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนได้ โดยสามารถลดค่าคลาดเคลื่อนลง 0.33 มม./ชม., 0.62 มม./

ชม. สำหรับช่วงการสอบเทียบ และ 0.95 มม./ชม., 1.06 มม./ชม. ในช่วงการทวนสอบ เมื่อเทียบกับ
ค่า CC Z-R และ 5-Min SLI Z-R ตามลำดับ ซึ่งทำให้สามารถปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝน
จากเรดาร์ได้

บทที่ 6

ผลกระทบของชนิดเมฆฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง

6.1 ผลกระทบของชนิดของเมฆในประมาณปริมาณน้ำฝน

จากบทที่ 1 ที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าฝนที่เกิดในประเทศไทยเกิดขึ้นได้จาก 3 ลักษณะ คือ ฝนเกิดจากการพาความร้อน ฝนภูเขา และฝนแนวปะทะอากาศ ซึ่งฝนแต่ละชนิดจะมีความหนาแน่นและการกระจายตัวของเม็ดน้ำในอากาศแตกต่างกัน เม็ดน้ำเมื่อรวมตัวกันมากขึ้นจะทำให้เกิดเป็นกลุ่มของเม็ดน้ำ ซึ่งเราเรียกอีกอย่างว่า เมฆ (Cloud) เม็ดน้ำของเมฆแต่ละชนิดก็มีขนาดแตกต่างกันออกไป ซึ่งจากการศึกษาของ Tokay และ Short (1995) และ อนุสรณ์ (2551) ได้ทำการจำแนกชนิดของเมฆโดยพิจารณาจากการกระจายตัวของเม็ดน้ำภายในเมฆ โดยที่เม็ดน้ำในเมฆ ขนาดใหญ่ กลาง เล็ก จะมีลักษณะการกระจายตัวปะปนกัน ลักษณะการตกของฝนก็ขึ้นอยู่กับชนิดของเมฆ เช่น การตกของฝนแบบ Convective จะตกรุนแรงในช่วงเวลาสั้น ๆ ในช่วงแรก หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดความรุนแรงแล้วแปรเปลี่ยนไปเป็นฝนแบบ Stratiform ที่ตกแบบสม่ำเสมอ เป็นต้น

จากการศึกษาของ อนุสรณ์ (2551) ได้เสนอเกณฑ์ในการคัดแยกชนิดของเหตุการณ์ฝน โดยพิจารณาจากลักษณะความแตกต่างในแนวราบและความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆชนิดคิวมูลัส, คิวมูโลนิมบัส และนิมโบสเตรทัส ซึ่งเกณฑ์การจำแนกฝนได้เสนอแนะโดยใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ PPI ที่ตรวจวัดได้จากสถานีเรดาร์ฝนหลวงพิมาย

ตารางที่ 6.1 เกณฑ์วิธีการจำแนกกลุ่มเมฆฝนตามรูปแบบกลุ่มเมฆฝน

ลำดับ ที่	ชนิดกลุ่มเมฆฝน เกณฑ์การจำแนก	คิวมูลัส	คิวมูโลนิมบัส	นิมโบสเตรทัส
1.	พื้นที่ฝนปกคลุม : (ตร.กม.)	< 5,200	≥ 5,200	≥ 3,000
2.	การเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน : (ม./วินาที)	≥ 3	≥ 3	< 3
3.	วงจรชีวิตของกลุ่มฝน : (นาทีก)	< 100	≥ 100	≥ 120
4.	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย ของความเข้มฝน	> 0.23	> 0.20	≤ 0.20
5.	ค่าการสะท้อนกลับเฉลี่ย ของเรดาร์ : (dBZ)	> 23	≥ 21	< 21

(ที่มา : อนุสรณ์ 2551)

ในบทนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการคัดแยกชนิดกลุ่มเมฆฝนดังกล่าวเพื่อคัดแยกชนิดของเหตุการณ์ฝนที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ภาคีเจริญ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของชนิดกลุ่มเมฆฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์

6.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

เนื่องจากฝนที่เกิดในประเทศไทยส่วนใหญ่เกิดจากเมฆชนิดคิวมูลัสและคิวมูโลนิมบัส (บัญชา, 2546) ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงพิจารณาแบ่งเหตุการณ์ฝนออกเป็น 2 ชนิด ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2550 ถึง 20 กันยายน พ.ศ. 2550 จำนวน 13 เหตุการณ์ รายละเอียดของเหตุการณ์ทั้งหมดแสดงในตารางที่ 6.2 โดยแบ่ง

เหตุการณ์ออกตามชนิดของเมฆฝนตามเกณฑ์การพิจารณาในแนวนอน โดยใช้สายตาจำแนกภาพตามเกณฑ์การจำแนกชนิดของเหตุการณ์ฝนที่เสนอแนะโดย อนุสรณ์ (2551) ได้เสนอไว้

ตารางที่ 6.2 เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการวิเคราะห์เริ่มตั้งแต่ 19 มีนาคม – 20 กันยายน 2550

เหตุการณ์	ชนิดของเมฆ	เริ่มต้น		สิ้นสุด		ช่วงเวลา นาทีก	จำนวนสถานี วัดน้ำฝน	ค่าฝนเฉลี่ย มม./ชม.
		วันเดือนปี	เวลา	วันเดือนปี	เวลา			
19 มี.ค. 50	คิวมูลัส	19 มี.ค. 50	06:01	19 มี.ค. 50	07:41	100	17	1.2
20 มี.ค. 50	คิวมูลัส	20 มี.ค. 50	03:11	20 มี.ค. 50	05:41	150	26	15.73
9 พ.ค. 50	คิวมูโลนิมบัส	9 พ.ค. 50	11:01	9 พ.ค. 50	13:21	140	25	34.26
10 พ.ค. 50	คิวมูโลนิมบัส	10 พ.ค. 50	09:31	10 พ.ค. 50	13:21	230	27	7.88
14 พ.ค. 50	คิวมูลัส	14 พ.ค. 50	16:41	14 พ.ค. 50	19:21	160	37	14.84
16 ก.ค. 50	คิวมูโลนิมบัส	16 ก.ค. 50	15:01	16 ก.ค. 50	21:51	350	46	24.2
20 ก.ค. 50	คิวมูโลนิมบัส	20 ก.ค. 50	17:01	20 ก.ค. 50	21:11	250	28	5.28
23 ก.ค. 50	คิวมูลัส	23 ก.ค. 50	11:21	23 ก.ค. 50	13:51	150	29	8.39
25 ก.ค. 50	คิวมูลัส	25 ก.ค. 50	11:51	25 ก.ค. 50	16:01	260	37	28.64
10 ก.ย. 50	คิวมูโลนิมบัส	10 ก.ย. 50	19:31	10 ก.ย. 50	21:21	110	41	18.86
11 ก.ย. 50	คิวมูโลนิมบัส	11 ก.ย. 50	18:11	11 ก.ย. 50	19:41	90	44	15.8
17 ก.ย. 50	คิวมูโลนิมบัส	17 ก.ย. 50	00:01	17 ก.ย. 50	03:01	180	37	17.97
20 ก.ย. 50	คิวมูโลนิมบัส	20 ก.ย. 50	20:21	20 ก.ย. 50	21:41	80	38	11.44

6.3 ผลกระทบของชนิดของเมฆฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์

ในการเปลี่ยนค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ไปเป็นปริมาณน้ำฝนนั้น ทำได้โดยใช้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ $Z=aR^b$ ซึ่ง a และ b คือ พารามิเตอร์ที่มีค่าขึ้นอยู่กับการกระจายของขนาดเม็ดน้ำที่ทำการตรวจวัด เนื่องจากความแตกต่างของการกระจายขนาดเม็ดน้ำขึ้นอยู่กับชนิดของฝนที่เกิดขึ้นว่าเป็นฝนชนิดใด (Battan, 1973; Tokay and Sot, 1996; Atlas et al., 1999; Chumchean, 2003) ซึ่งจะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในผลการประมาณน้ำฝนเรดาร์ได้ถ้าใช้

สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่ไม่เหมาะสมในการแปลงค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ให้เป็นปริมาณความชื้นฝน ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวสามารถลดลงได้ถ้าใช้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่มีความเหมาะสมสำหรับชนิดของเหตุการณ์ฝน (Joss and Waldvogel, 1987; Rogers, 1971; Battan, 1973; Klazura, 1981; Austin, 1987; Rosenfeld et al., 1992; Rosenfeld et al., 1993; Chumchean et al, 2003) ดังนั้นเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประมาณปริมาณความชื้นฝนเรดาร์จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่เหมาะสมสำหรับเมฆฝนชนิดต่างๆ (Chumchean et al., 2008)

6.4 การวิเคราะห์ชนิดของเมฆฝนกับช่วงเวลาภาพข้อมูลเรดาร์ห่างกัน 2 ภาพ

ในการวิเคราะห์แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ วิเคราะห์ส่วนที่เป็นเมฆฝนแบบคิวมูลัส และ ส่วนที่เป็นเมฆฝนแบบคิวมูโลนิมบัส

6.4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

6.4.1.1 เมฆฝนชนิดคิวมูลัส

เหตุการณ์ฝนในตารางที่ 6.2 เป็นเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆชนิดเมฆคิวมูลัสจำนวน 5 เหตุการณ์ ในการวิเคราะห์ได้แบ่งเป็นเหตุการณ์ฝนเป็นสองส่วน คือ ส่วนเหตุการณ์ที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ 3 เหตุการณ์ คือ เหตุการณ์ฝนวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2550, วันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2550 และ วันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 และส่วนเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการทวนสอบเพื่อทดสอบความเชื่อมั่นของสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่วิเคราะห์ได้ 2 เหตุการณ์ คือ เหตุการณ์ฝนวันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2550 และวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2550

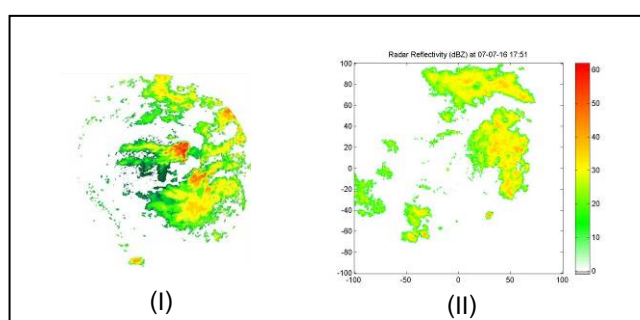
6.4.1.2 เมฆฝนชนิดคิวมูโลนิมบัส

เหตุการณ์ฝนในตารางที่ 6.2 เป็นเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆชนิดคิวมูโลนิมบัสจำนวน 8 เหตุการณ์ ในการวิเคราะห์ได้แบ่งเหตุการณ์ฝนออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ 4 เหตุการณ์ คือ เหตุการณ์ฝนวันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2550, วันที่ 10 กันยายน พ.ศ. 2550, วันที่ 17 กันยายน พ.ศ. 2550 และ วันที่ 20 กันยายน พ.ศ. 2550 ส่วนที่สอง จำนวน 4 เหตุการณ์ คือ เหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการทวนสอบเพื่อทดสอบความเชื่อมั่นของสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่ได้จากการวิเคราะห์ ได้แก่ เหตุการณ์วันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2550, วันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 วันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 และวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2550

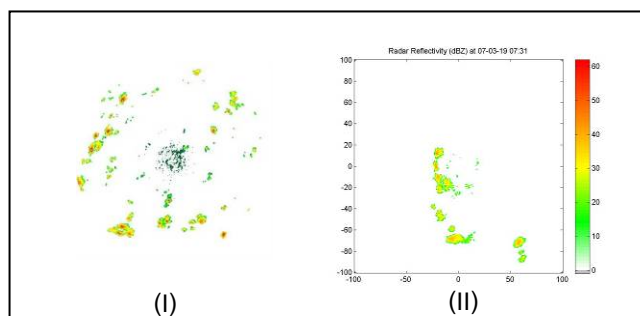
6.4.2 วิธีดำเนินการ

6.4.2.1 แปลงข้อมูล Volume scan 3 มิติ (พิกัดโพลาไร) ของสถานีเรดาร์ภาชี เจริญที่ทำการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที ให้เป็น 2 มิติในพิกัดฉาก x, y

6.4.2.2 แยกชนิดของเมฆด้วยการพิจารณาลักษณะแนวราบโดยใช้เกณฑ์การ จำแนกชนิดเมฆฝนที่เสนอโดย อนุสรณ์ (2551) ดังภาพที่ 6.1 แสดงตัวอย่างเหตุการณ์ฝนที่เกิดจาก เมฆชนิดเมฆคิวมูโลนิมบัส



ภาพที่ 6.1 ตัวอย่างเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูโลนิมบัส; (I) คือ ลักษณะเหตุการณ์ฝน ที่เกิดจากเมฆคิวมูโลนิมบัส; (II) คือ ภาพเหตุการณ์ฝนวันที่ 16 กรกฎาคม 2550



ภาพที่ 6.2 ตัวอย่างเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูลัส; (I) ลักษณะเหตุการณ์ฝน ที่เกิดจากเมฆคิวมูลัส (II) คือ ภาพเหตุการณ์ฝนวันที่ 19 มีนาคม 2550

6.4.2.3 สังเคราะห์ภาพเรดาร์ใหม่ด้วยวิธี MVA โดยสังเคราะห์ข้อมูลค่าสะท้อน กลับเรดาร์ด้วยความถี่ 1, 2, 3, 5 และ 7 นาที

6.4.2.4 วิเคราะห์หาคู่ Z-R ณ ตำแหน่งพิกเซลที่สอดคล้องกันแต่ละช่วงเวลา

6.4.2.5 วิเคราะห์หาค่าสะท้อนกลับเรดาร์รายชั่วโมงของเหตุการณ์ฝนจากคู่ $Z-R$ ที่สอดคล้องกันที่หาได้จากข้อ 5 โดยการแปลงค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ให้เป็นปริมาณของฝนเรดาร์ด้วยสมการความสัมพันธ์ $Z=200R^{1.6}$ (Marshall and Palmer, 1948) จากนั้นหาค่าปริมาณน้ำฝนเรดาร์สะสมรายชั่วโมง แล้วแปลงค่าปริมาณน้ำฝนเรดาร์สะสมรายชั่วโมงให้เป็นค่าสะท้อนกลับรายชั่วโมงของเรดาร์

6.4.2.6 นำคู่ $Z-R$ ทั้งหมดของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ a โดยที่กำหนดให้พารามิเตอร์ $b=1.5$ แล้วหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม a ด้วยการ Minimize ค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน

6.4.2.7 นำสมการความสัมพันธ์ที่หาได้ไปทดสอบความเชื่อมั่นกับเหตุการณ์ที่ไม่ได้ใช้ในการสอบเทียบ

6.4.3 ผลการวิเคราะห์หาค่าสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่เหมาะสม

6.4.3.1 เมฆฝนชนิดคิวมูลัส

ค่าพารามิเตอร์ ' a ' หาได้จากการรวมเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูลัส ดังแสดงในตารางที่ 6.3 ค่าพารามิเตอร์ ' a ' ที่ได้จากข้อมูลในแต่ละชุดข้อมูลดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.3 ได้ถูกนำมาใช้ในการแปลงค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ของแต่ละชุดกลุ่มข้อมูลที่สอดคล้องกันให้เป็นความเข้มฝน หลังจากนั้นจึงคำนวณค่า RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและปริมาณฝนเรดาร์ที่คำนวณได้จากแต่ละชุดข้อมูล ดังแสดงผลในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบเหตุการณ์เมฆคิวมูลัส ($Z=aR^{1.5}$) และค่า RMSE ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์และปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝน

ชุดข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์	พารามิเตอร์ ' a '	RMSE $Z=aR^{1.5}$ มม./ชม.	RMSE $Z=200R^{1.6}$ มม./ชม.
ข้อมูลตรวจวัดทุก 10 นาที	40.5	6.18	7.65
ข้อมูลความถี่ทุก 7 นาที จากการสังเคราะห์โดยวิธี MVA	41.2	2.4	2.75
ข้อมูลความถี่ทุก 5 นาที จากการสังเคราะห์โดยวิธี MVA	37.8	2.01	2.29
ข้อมูลความถี่ทุก 3 นาที จากการสังเคราะห์โดยวิธี MVA	43.37	2.5	2.84
ข้อมูลความถี่ทุก 2 นาที จากการสังเคราะห์โดยวิธี MVA	34.23	2.72	3.08
ข้อมูลความถี่ทุก 1 นาที จากการสังเคราะห์โดยวิธี MVA	33.4	3.2	3.79

จากผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 6.3 จะพบว่า ค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์กับฝนจากสถานีวัดน้ำฝน ของช่วงเวลา 5 นาที มีค่าต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกรณี อย่างไรก็ตามประเด็นที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่งของผลการศึกษาค้างนี้ คือ ประยุกต์ใช้สมการ $Z=200R^{1.6}$ กับข้อมูลที่สังเคราะห์โดยวิธี MVA จะให้ค่า RMSE ต่ำกว่าการใช้สมการ $Z-R$ ที่เหมาะสม (Climatological calibrated $Z-R$) กับข้อมูลที่ตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที ซึ่งผลที่ได้ดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการเพิ่มความถูกต้องของการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์รายชั่วโมง ดังนั้นสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับเมฆฝนคิวมุลัส คือ $Z=37.8R^{1.5}$ เมื่อนำสมการความสัมพันธ์ของเมฆฝนคิวมุลัสมาทำการทดสอบความเชื่อมั่นกับเหตุการณ์ฝนที่ไม่ได้ใช้ในการสอบเทียบ พบว่าการใช้สมการความสัมพันธ์ $Z=37.8R^{1.5}$ กับชุดข้อมูลที่มีการวิเคราะห์โดยวิธี MVA ด้วยความถี่ทุก ๆ 5 นาที จะให้ค่า RMSE ต่ำกว่ากรณีอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 เปรียบเทียบ RMSE ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆฝนคิวมุลัสสำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ

เหตุการณ์	RMSE (มม./ชม.)		
	$Z=40.5R^{1.5}$ (Calibrated climatological $Z-R$)	$Z=200R^{1.6}$ (Marshall and Palmer)	$Z=37.8R^{1.5}$ (Calibrated cumulus $Z-R$)
20 มี.ค. 50	2.64	3.24	2.61
23 ก.ค. 50	2.16	2.35	1.89
RMSE เฉลี่ย	2.4	2.8	2.25

หมายเหตุ RMSE ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์และปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่สอดคล้องกับข้อมูลเรดาร์ (รายชั่วโมง)

6.4.3.2. เมฆฝนชนิดคิวมุลอนิมบัส

ค่าพารามิเตอร์ 'a' หาได้จากการรวมเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมุลอนิมบัส ดังแสดงในตารางที่ 6.5 ค่าพารามิเตอร์ 'a' ที่ได้จากข้อมูลในแต่ละชุดข้อมูลดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.5 ได้ถูกนำมาใช้ในการแปลงค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ของแต่ละชุดกลุ่มข้อมูลที่สอดคล้องกันให้เป็นความเข้มฝนหลังจากนั้นจึงคำนวณค่า RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและปริมาณฝนเรดาร์ที่คำนวณจากแต่ละชุดข้อมูล ดังแสดงผลในตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบเหตุการณ์เมฆคิวมูโลนิมบัส ($Z=aR^{1.5}$)

ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์	พารามิเตอร์ 'a'	RMSE $Z=aR^{1.5}$ มม./ชม.	RMSE $Z=200R^{1.6}$ มม./ชม.
ข้อมูลตรวจวัดทุก 10 นาที	42.2	3.97	7.92
ข้อมูลความถี่ทุก 7 นาที จากการสังเคราะห์โดยวิธี MVA	47.53	3.82	5.02
ข้อมูลความถี่ทุก 5 นาที จากการสังเคราะห์โดยวิธี MVA	55.14	3.55	3.73
ข้อมูลความถี่ทุก 3 นาที จากการสังเคราะห์โดยวิธี MVA	59.12	3.95	5.23
ข้อมูลความถี่ทุก 2 นาที จากการสังเคราะห์โดยวิธี MVA	58.18	3.92	4.21
ข้อมูลความถี่ทุก 1 นาที จากการสังเคราะห์โดยวิธี MVA	58.12	3.87	5.09

จากผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 6.4 จะพบว่า ค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์กับฝนจากสถานีวัดน้ำฝน ของช่วงเวลา 5 นาที มีค่าต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกรณี อย่างไรก็ตามประเด็นที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่งของผลการศึกษาค้างนี้ คือ ประยุกต์ใช้สมการ $Z=200R^{1.6}$ กับข้อมูลที่สังเคราะห์โดยวิธี MVA จะให้ค่า RMSE ต่ำกว่าการใช้สมการ $Z-R$ ที่เหมาะสม (Climatological calibrated $Z-R$) กับข้อมูลที่ตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที ซึ่งผลที่ได้ดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการเพิ่มความถูกต้องของการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์รายชั่วโมง ดังนั้นสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับเมฆฝนคิวมูโลนิมบัส คือ $Z=55.14R^{1.5}$ เมื่อนำสมการความสัมพันธ์ของเมฆฝนคิวมูโลนิมบัสมาทำการทดสอบความเชื่อมั่นกับเหตุการณ์ฝนที่ไม่ได้ใช้ในการสอบเทียบ พบว่าการใช้สมการความสัมพันธ์ $Z=55.14R^{1.5}$ กับชุดข้อมูลที่มีการวิเคราะห์โดยวิธี MVA ด้วยความถี่ทุก ๆ 5 นาที จะให้ค่า RMSE ต่ำกว่ากรณีอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 เปรียบเทียบ RMSE ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆฝนคิวมูโลนิมบัส
สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ

เหตุการณ์	RMSE (มม./ชม.)		
	$Z=42.2R^{1.5}$	$Z=200R^{1.6}$	$Z=55.14R^{1.5}$
10 พ.ค. 2550	2.12	2.16	2.04
16 ก.ค.2550	5.27	5.37	5.24
20 กค..2550	2.76	2.84	2.42
11 ก.ย.2550	2.5	2.7	2.44
RMSE เฉลี่ย	3.16	3.27	3.04

หมายเหตุ RMSE ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์และปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในตำแหน่ง
ที่สอดคล้องกับข้อมูลเรดาร์ (รายชั่วโมง)

6.5 สรุปผลการศึกษาผลกระทบของชนิดเมฆฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝน

ผลการศึกษาผลกระทบของชนิดเมฆฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝนสามารถสรุปได้
ดังนี้

1. การคัดแยกกลุ่มเมฆฝนโดยใช้ลักษณะการกระจายตัวของฝนที่ได้จากข้อมูลภาพ
เรดาร์ PPI พบว่าฝนที่เกิดในบริเวณกรุงเทพมหานครในช่วงปี 2550 เกิดจากเมฆฝน 2 ชนิด คือ
คิวมูโลนิมบัส และคิวมูลัส โดยเป็นฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูโลนิมบัส 61.53% และ เมฆคิวมูลัส
38.47%

2. ในกลุ่มเมฆคิวมูลัส สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ของกลุ่มฝนคิวมูลัสที่มีการเพิ่ม
ความถี่ข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีโดยวิธี MVA คือ $Z=37.8R^{1.5}$ ค่า RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัด
น้ำฝนและฝนเรดาร์ที่ได้จากการใช้ข้อมูลสังเคราะห์ที่ช่วงเวลา 5 นาทีโดยวิธี MVA และสมการ
 $Z=37.8R^{1.5}$ จะมีค่าต่ำสุด เมื่อเทียบกับการใช้ข้อมูลสังเคราะห์ที่ช่วงเวลา 1, 2, 3 และ 7 หรือการใช้
ข้อมูลการตรวจวัดทุก 10 นาที กรณีสอบเทียบหาสมการ $Z-R$ ที่เหมาะสมกับข้อมูลการตรวจวัดทุก
ๆ 10 นาที จะพบว่า RMSE ลดลงจาก 6.18 มม./ชม. เป็น 2.01 มม./ชม. คิดเป็น 67.47% สำหรับ
เหตุการณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ และ ลดลงจาก 2.4 มม./ชม. เป็น 2.25 มม./ชม. คิดเป็น 6.25%
สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ในการทวนสอบ เมื่อเทียบกับวิธีการประเมินน้ำฝนที่ใช้ในสถานีเรดาร์ภาชี

เจริญในปัจจุบัน (ใช้ Climatological Z-R, $Z = 40.5R^{1.5}$ ในการแปลงข้อมูลตรวจวัด ทุก ๆ 10 นาที เป็นความเข้มฝน)

3. ในกลุ่มเมฆคิวมูโลนิมบัส สมการความสัมพันธ์ Z-R ของกลุ่มฝนคิวมูโลนิมบัส ที่มีการเพิ่มความถี่ข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีโดยวิธี MVA คือ $Z=55.14R^{1.5}$ ค่า RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนเรดาร์ที่ได้จากการใช้ข้อมูลสังเคราะห์ที่ช่วงเวลา 5 นาทีโดยวิธี MVA และสมการ $Z=55.14R^{1.5}$ จะมีค่าต่ำสุด เมื่อเทียบกับการใช้ข้อมูลสังเคราะห์ที่ช่วงเวลา 1, 2, 3 และ 7 หรือการใช้ข้อมูลการตรวจวัดทุก 10 นาที กรณีสอบเทียบหาสมการ Z-R ที่เหมาะสมกับข้อมูลการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที จะพบว่า RMSE ลดลงจาก 3.97 มม./ชม. เป็น 3.55 มม./ชม. คิดเป็น 10.58% สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ และ ลดลงจาก 3.10 มม./ชม. เป็น 3.04 มม./ชม. คิดเป็น 1.94% สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ในการทวนสอบ

4. จากเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูลัสจะสามารถลดเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนรายชั่วโมงได้มากกว่ากรณีประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูโลนิมบัส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเหตุการณ์ฝนคิวมูลัสที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีลักษณะการก่อตัว/สลายตัวตลอดจนการเคลื่อนตัวค่อนข้างชัดเจน ทำให้ผลการวิเคราะห์หาสนามความเร็วระหว่างภาพเรดาร์ 2 ภาพ โดยวิธี MVA ได้ผลค่อนข้างถูกต้อง ส่งผลทำให้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่สังเคราะห์ใหม่มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากกว่าเหตุการณ์ฝนที่เกิดเมฆคิวมูโลนิมบัสที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลเรดาร์สามารถเพิ่มความถูกต้องของปริมาณฝนเรดาร์รายชั่วโมงได้มากกว่าการใช้วิธีที่ใช้ในการประมาณปริมาณฝนเรดาร์ภาคีเจริญในปัจจุบันไม่ว่าเหตุการณ์ฝนจะเกิดฝนจะเกิดจากเมฆคิวมูลัสหรือคิวมูโลนิมบัส

บทที่ 7

การปรับแก้ปริมาณน้ำฝนเรดาร์ด้วยข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน

7.1 การปรับแก้ฝนบนฟ้าให้เทียบเท่ากับฝนบนพื้นดิน

เรดาร์ภาคีเจริญเป็นเรดาร์ตรวจอากาศชนิด C-band Minimax เรดาร์ชนิดนี้เป็นเรดาร์ C-band ขนาดเล็ก ซึ่งประสบปัญหา Attenuation ในการวัดฝนรุนแรงกว่าเรดาร์ C-band ทั่วไป (ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น, 2550) ดังนั้นเพื่อให้สามารถประมาณปริมาณน้ำฝนได้อย่างถูกต้อง จึงต้องมีการหาวิธีปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝน การศึกษาในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงการนำการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ามาใช้ในกระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ เนื่องจากเรดาร์ตรวจวัดข้อมูลฝนในอากาศ แต่ข้อมูลฝนที่เป็นที่สนใจโดยทั่วไปและข้อมูลฝนที่ต้องนำมาใช้ในงานด้านอุทกวิทยาและงานด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ คือ ข้อมูลฝนที่ตกลงบนพื้นดิน ดังนั้นในบทนี้จึงได้ศึกษาวิธีการปรับแก้ปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ให้เทียบเท่ากับปริมาณน้ำฝนที่ตกบนพื้นดิน โดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาดังที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.7 พบว่าความแตกต่างระหว่างฝนที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ (บนฟ้า) และฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน (บนดิน) สามารถทำให้ลดลงได้โดยทำการปรับแก้ฝนที่ประมาณได้จากเรดาร์โดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน ณ ตำแหน่งที่สอดคล้องกันกับข้อมูลเรดาร์ ซึ่งทำได้โดยใช้วิธีการปรับแก้ความลำเอียงซึ่งเรียกว่า 'Bias adjustment' โดยหาอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำฝนสะสมที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝน (G) ต่อปริมาณน้ำฝนสะสมที่ได้จากเรดาร์ (R) หรือ เรียกว่าอัตราส่วน G/R โดยในการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 3 กรณี ได้แก่

1. ใช้ข้อมูลฝนเรดาร์เบื้องต้นที่ได้จากการใช้สมการ $Z=200R^{1.6}$ ในการแปลงข้อมูลเรดาร์ที่มีการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที เป็นความเข้มฝน
2. ใช้ข้อมูลฝนเรดาร์เบื้องต้นที่ได้จากการใช้สมการ $CC-ZR (Z=45R^{1.5})$ ในการแปลงข้อมูลเรดาร์ที่มีการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที เป็นความเข้มฝน
3. ใช้ข้อมูลฝนเรดาร์เบื้องต้นที่ได้จากการใช้สมการ 5-Min MVA $Z-R (Z=130R^{1.5})$ ในการแปลงข้อมูลเรดาร์ที่สังเคราะห์โดยวิธี MVA ที่ความถี่ 5 นาที เป็นความเข้มฝน

ในบทนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการปรับแก้ข้อมูลฝนจากเรดาร์อย่างง่ายที่คำนวณได้จากกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีข้างต้นให้เทียบเท่ากับปริมาณฝนที่ตกลงพื้นดินมากที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปวิธีที่นิยมใช้การปรับแก้ข้อมูลฝนจากเรดาร์ให้เทียบเท่ากับฝนบนพื้นดิน ได้แก่ 1) การใช้ค่าแฟคเตอร์การปรับแก้เฉลี่ย (Mean field bias adjustment) (Wilson 1970; Brandes. 1975; collinge, 1991; Seo and Breidenbach, 2002) 2) การใช้ค่าแฟคเตอร์ตามระยะห่างจากสถานีเรดาร์ (Range dependent bias) (Wilson, 1970; Brandes, 1975; Collinge, 1991; Seo and Breidenbach, 2002) 3) การใช้แฟคเตอร์การปรับแก้ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Temporal bias adjustment) (Hudlow ,1973, Seo et al., 1995) ซึ่งในการศึกษานี้ได้ศึกษาวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปรับแก้ข้อมูลฝนจากเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จากสถานีเรดาร์ภาคีเจริญให้เทียบเท่ากับโดยฝนจากเรดาร์ (หลังปรับแก้) จะคำนวณได้จากสมการที่ (3.6) ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.4.7 รายละเอียดของการศึกษามีดังต่อไปนี้

7.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาแฟคเตอร์การปรับแก้ในบทนี้เป็นข้อมูลเหตุการณ์ฝนเหตุการณ์เดียวกับการใช้ในการวิเคราะห์ในบทที่ 5 จากเหตุการณ์ฝนทั้งหมด 41 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างปี พ.ศ. 2548 - พ.ศ. 2550 โดยแบ่งเหตุการณ์ฝนออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 เป็นข้อมูลฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ อยู่ระหว่างปี พ.ศ. 2548 - พ.ศ.2549 จำนวน 28 เหตุการณ์ กลุ่มที่ 2 เป็นข้อมูลฝนที่ใช้ในทวนสอบ ซึ่งอยู่ระหว่าง ปี พ.ศ. 2550 จำนวน 13 เหตุการณ์

7.3 ผลกระทบของการปรับแก้ปริมาณน้ำฝนเรดาร์

ในการศึกษานี้ได้คำนวณหาแฟคเตอร์การปรับแก้ฝนจากเรดาร์ โดยแบ่งเป็นกรณีศึกษาที่ใช้การปรับแก้แบบค่าเฉลี่ยทั้งหมด, การปรับแก้ตามระยะทาง และการปรับแก้ตามระยะเวลา โดยเปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างปริมาณน้ำฝนเรดาร์ที่ปรับแก้ที่ได้จากแต่ละกรณีเทียบกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝนโดยมีรายละเอียดของผลการศึกษาดังต่อไปนี้

7.3.1 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนแบบค่าเฉลี่ยทั้งหมด (Mean filed bias adjustment)

การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนโดยวิธีนี้เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดและใช้กันอย่างกว้างขวาง (Hudlow et al., 1985; Smith et al., 1989 ;Smith and Krajewski, 1990 ; Chumchuan, 2005) ข้อดีของวิธีนี้คือมีจำนวนข้อมูลที่อยู่ในบางกรณีลักษณะของฝนที่ตกภายในรัศมีเรดาร์อาจมีความแตกต่างกัน ดังนั้นในการใช้แฟคเตอร์การปรับแก้เพียงค่าเดียวอาจจะไม่เหมาะสม การปรับแก้โดยวิธีเฉลี่ยนี้ทำได้โดยหาค่าแฟคเตอร์การปรับแก้จาก สมการ (7.1) โดยที่คิดผลรวมปริมาณฝนสะสมจากสถานีวัดน้ำฝนทุกสถานี การปรับแก้โดยวิธีนี้จะสามารถลดค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์และปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝน ผลจากการวิเคราะห์แสดงไว้ในตาราง 7.2 ซึ่งเปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนจากกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี

แฟคเตอร์การปรับแก้ฝนจากเรดาร์ให้เทียบเท่ากับฝนบนดินโดยวิธีการหาแฟคเตอร์ปรับแก้เฉลี่ยของสถานีเรดาร์ภาคีเจริญสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$G/R = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T G_{i,t}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T R_{i,t}} \quad (7.1)$$

โดยที่	G/R	คือ	แฟคเตอร์การปรับแก้ของเหตุการณ์ฝนแบบค่าเฉลี่ย
	$G_{i,t}$	คือ	ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t
	$R_{i,t}$	คือ	ปริมาณน้ำฝนที่คำนวณจากข้อมูลเรดาร์โดยใช้สมการ ความสัมพันธ์ Z-R จากกรณีต่าง ๆ ที่ตำแหน่งพิกเซลเดียวกันกับ สถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t
	N	คือ	จำนวนสถานีวัดน้ำฝนทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ
	T	คือ	ช่วงเวลาที่ฝนตกให้เหตุการณ์ฝน (ชั่วโมง)

ตารางที่ 7.1 RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ด้วย G/R ค่าเฉลี่ยทั้งหมด (สำหรับช่วงเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ : 28 เหตุการณ์)

รายการ	กรณี 1 $Z=200R^{1.6}$ (uncalibrated Z-R)	กรณี 2 $2Z=45R^{1.5}$ (CC Z-R)	กรณี 3 $Z=130R^{1.5}$ (5 Min MVA Z-R)
แฟคเตอร์การปรับแก้ (G/R)	1.835	0.652	1.289
RMSE ก่อนการปรับแก้ (มม./ชม.)	3.66	3.61	2.99
RMSE หลังการปรับแก้ (มม./ชม.)	3.23	3.03	2.92

หมายเหตุ CC Z-R = Conventional calibrated Z-R

5 - Min MVA Z-R = Calibrate Z-R (โดยการใช้ข้อมูลเรดาร์สังเคราะห์โดยวิธี MAV ที่ความถี่ 5 นาที)

จากตาราง 7.1 จะเห็นว่าในทุกกรณีศึกษาค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน หลังจากการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนแล้วต่ำกว่า RMSE ที่ยังไม่ทำการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อน ดังนี้ ในกรณีที่ 1 การใช้สมการความสัมพันธ์ $Z=200R^{1.6}$ ก่อนการปรับแก้และหลังปรับแก้มีค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน เท่ากับ 3.66 มม./ชม. และ 3.23 มม./ชม. ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าคลาดเคลื่อนลดลง 11.75 % กรณีที่ 2 การใช้สมการความสัมพันธ์ $Z=45R^{1.5}$ ที่ได้จากการสอบเทียบโดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดทุก 10 นาที มีค่า RMSE ก่อนการปรับแก้และหลังการปรับแก้เท่ากับ 3.61 มม./ชม. และ 3.03 มม./ชม. ตามลำดับ โดยค่าคลาดเคลื่อนลดลง 16.07 % กรณีที่ 3 การใช้สมการ $Z=130 R^{1.5}$ มีค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนการปรับแก้และหลังการปรับแก้ เท่ากับ 2.99 มม./ชม. และ 2.92 มม./ชม. ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าค่าคลาดเคลื่อนลดลง 2.3 %

ตารางที่ 7.2 RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ โดยการใช้ G/R แบบค่าเฉลี่ยทั้งหมด (สำหรับช่วงเหตุการณ์ฝนที่ใช้การทวนสอบ : 13 เหตุการณ์)

รายการ	กรณี 1 $Z=200R^{1.6}$ (uncalibrated Z-R)	กรณี 2 $Z=45R^{1.5}$ (CC Z-R)	กรณี 3 $Z=130R^{1.5}$ (5 Min MVA Z-R)
แฟคเตอร์การปรับแก้ (G/R)	1.835	0.652	1.289
RMSE ก่อนการปรับแก้ (มม./ชม.)	3.78	2.86	2.61
RMSE หลังการปรับแก้ (มม./ชม.)	3.4	2.76	2.52

ในการทดสอบความเชื่อมั่นโดยนำแฟคเตอร์ในการปรับแก้มาใช้กับเหตุการณ์ฝนที่ไม่ได้ใช้ในการสอบเทียบ ผลการทดสอบความเชื่อมั่นหรือการทวนสอบดังแสดงในตารางที่ 7.2 แสดงให้เห็นว่าค่า RMSE ของปริมาณฝนเรดาร์หลังการปรับแก้มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนปรับแก้ นั้นแสดงให้เห็นว่าการปรับแก้ด้วยแฟคเตอร์ G/R แบบค่าเฉลี่ยทั้งหมดทำให้ค่าคลาดเคลื่อนลดลง ซึ่งทำให้การประมาณปริมาณน้ำฝนดีขึ้น อย่างไรก็ตามผลการศึกษารังนี้พบว่าการประมาณน้ำฝนโดยใช้ข้อมูลเรดาร์ที่สังเคราะห์โดยวิธี MVA จะให้ค่า RMSE น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ ทั้งในเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบและทวนสอบบ่งชี้ให้เห็นถึงประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการประมาณฝนเรดาร์

7.3.2 การปรับแก้ตามระยะทาง (Range dependent bias adjustment)

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเรดาร์สามารถทำการตรวจวัดฝนได้ครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างกว้างขวางอีกทั้งมีความละเอียดทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ซึ่งการตรวจวัดฝนด้วยเรดาร์นี้มีความสลับซับซ้อนจากแฟคเตอร์หลายแฟคเตอร์ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับเรดาร์ ไม่ว่าจะเป็นภูมิอากาศ ภูมิประเทศ หรือ อุปสรรคของการตรวจวัดค่าสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ หรือ องค์ประกอบต่าง ๆ ของเรดาร์ (Battan, 1973; Zawadzki, 1984; Austin, 1987; Joss และ Waldvogel, 1990) ในการตรวจวัดฝนด้วยเรดาร์นั้นได้รับอิทธิพลที่สลับซับซ้อนจากปัจจัยพื้นฐาน 2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดในพื้นที่ราบและภายใต้เงื่อนไขบรรยากาศปกติ คือ 1) เนื่องจากผิวโลกเป็นส่วนโค้งไม่ได้เป็นเส้นตรง ดังนั้นจุดศูนย์กลางของลำคลื่นเรดาร์เหนือพื้นดินจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น 2) เนื่องจากปริมาตรของการสุ่มของลำคลื่นเรดาร์ที่กระจายออกไปเป็นรูปทรงเรขาคณิตนั้นคือ เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นลำแสงก็จะกว้างออกไป (Steiner and Smith, 1999; Chumchean et al., 2004) ซึ่งผลกระทบของทั้งสองข้อดังกล่าวนี้ทำให้การตรวจวัดฝนมีความเปลี่ยนแปลงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาอย่างมาก การปรับค่าคลาดเคลื่อนตามระยะทางเป็นวิธีที่ทำการหาค่าแฟคเตอร์ G/R ตามระยะห่างจากเรดาร์ ดังนั้นการปรับค่าความคลาดเคลื่อนรวมของเรดาร์สามารถกำหนดให้เป็นฟังก์ชันตามระยะทาง เช่นเดียวกับการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจาก Bright band, การเปลี่ยนสถานะของน้ำจากฟ้าและ รูปแบบค่าสะท้อนในแนวตั้ง (VPR) ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยวิธีการปรับแก้ตามระยะทาง (Gjertsenh, U., Salek, M., Michelson, D.B., 2003)

เรดาร์ภาชีเจริญมีรัศมีทำการ 120 กิโลเมตร และมีเครือข่ายสถานีวัดน้ำฝนอยู่ภายใต้รัศมีเรดาร์ ซึ่งสถานีวัดน้ำฝนที่ไกลที่สุด คือ 32.35 กิโลเมตร และสถานีวัดน้ำฝนที่ใกล้ที่สุด คือ 5.64 กิโลเมตร จากสถานีเรดาร์ ในการศึกษาครั้งนี้ได้คำนวณแฟคเตอร์ปรับแก้ตามระยะทางโดยใช้สมการ 7.2 โดยค่าแฟคเตอร์การปรับแก้ตามระยะทางของข้อมูลที่ใช้ในการสอบเทียบได้แสดงไว้ใน

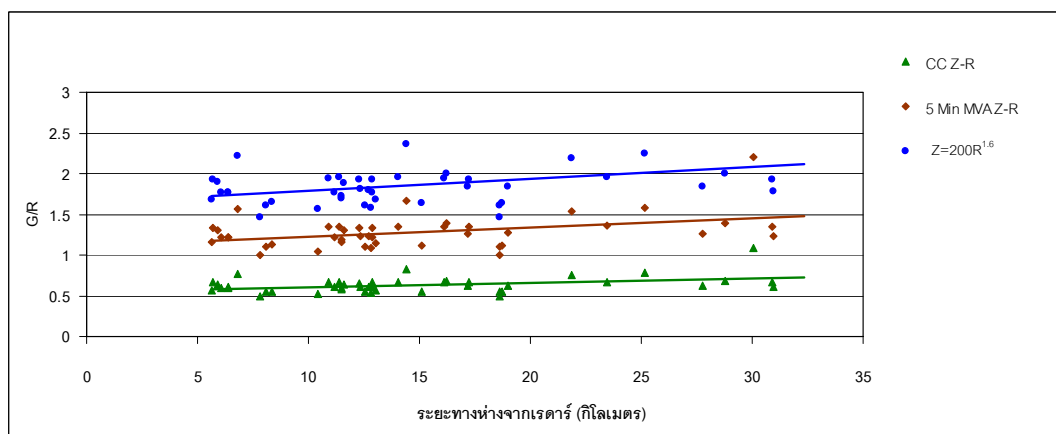
ภาพที่ 7.1 หลังจากนั้นก็จึงนำแฟคเตอร์ปรับแก้ดังกล่าวเพื่อไปปรับแก้ข้อมูลฝนจากเรดาร์ที่ได้จากสมการ Z-R ของทุกกรณี 3 ข้างต้นโดยใช้สมการ

$$(G/R)_i = \frac{\sum_{i=1}^T G_{i,t}}{\sum_{i=1}^T R_{i,t}} \quad (7.2)$$

โดยที่ $G_{i,t}$ คือ ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t

$R_{i,t}$ คือ ปริมาณฝนเรดาร์ที่ได้สมการความสัมพันธ์ Z-R จาก 3 กรณี
ที่ตำแหน่งพิกเซลเดียวกันกับสถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t

T คือ ช่วงเวลาที่ฝนตกให้เหตุการณ์ฝน (ชั่วโมง)



ภาพที่ 7.1 ค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ G/R ตามระยะทางจากสถานีเรดาร์ของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ

ภาพที่ 7.1 เป็นภาพแสดงเส้นแนวโน้มสมการความสัมพันธ์ถดถอยของอัตราส่วนระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนจากเรดาร์ จะเห็นได้ว่า กรณีใช้สมการ Z-R ที่มีการสอบเทียบจากข้อมูลเรดาร์ตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที (CC Z-R) ให้ค่าประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์สูงกว่าฝนที่วัดได้สถานีวัดน้ำฝน (Over estimation) นั่นคือ ค่า G/R มีค่าน้อยกว่า 1 ในขณะที่กรณีใช้สมการ $Z=200R^{1.6}$ ให้ค่าประมาณปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า (Under estimation) คือ G/R มากกว่า 1 และกรณีใช้สมการสอบเทียบจากข้อมูลเรดาร์ที่สังเคราะห์จากวิธี MVA ที่ความถี่ 5 นาที จะมีค่า G/R ใกล้เคียง 1 มากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการประมาณปริมาณฝนเรดาร์จากกรณีหลังจะให้ค่าฝนเรดาร์ที่ใกล้เคียงกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝนมากกว่ากรณีอื่น ๆ ตารางที่ 7.3 แสดงการเปรียบเทียบ ค่า

RMSE ของเหตุการณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบระหว่างฝนเรดาร์ที่คำนวณได้จากทั้ง 3 กรณีและข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน ดังแสดงผลในที่ในตารางที่ 7.3 ในการสอบเทียบและตารางที่ 7.4 ในการทวนสอบ

ตารางที่ 7.3 RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ด้วยวิธีปรับแก้ตามระยะทาง(สำหรับช่วงเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ : 28 เหตุการณ์)

รายการ	กรณี 1 $Z=200R^{1.6}$ (uncalibrated Z-R)	กรณี 2 $Z=45R^{1.5}$ (CC Z-R)	กรณี 3 $Z=130R^{1.5}$ (5 Min MVA Z-R)
RMSE ก่อนการปรับแก้ (มม./ชม.)	3.66	3.61	2.99
RMSE หลังการปรับแก้ (มม./ชม.)	2.56	2.51	2.21

จากตาราง 7.3 จะเห็นว่าในทุกกรณีศึกษา ค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน หลังจากการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนแล้วต่ำกว่า RMSE ที่ยังไม่ทำการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อน ดังนี้ ในกรณีที่ 1 สมการความสัมพันธ์ $Z=200R^{1.6}$ ก่อนการปรับแก้และหลังปรับแก้ค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน เท่ากับ 3.66 มม./ชม. และ เท่ากับ 2.56 มม./ชม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าคลาดเคลื่อนลดลง 36.05 % กรณีที่ 2 การใช้สมการความสัมพันธ์ $Z=45R^{1.5}$ ที่ได้จากการสอบเทียบโดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที ก่อนการปรับแก้และหลังปรับแก้ค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน เท่ากับ 3.61 มม./ชม. และ 2.51 มม./ชม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าคลาดเคลื่อนลดลง 30.05 % กรณีที่ 3 ใช้สมการความสัมพันธ์ $Z=130 R^{1.5}$ ก่อนการปรับแก้และหลังการปรับแก้ ค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน เท่ากับ 2.99 มม./ชม. และ 2.21 มม./ชม แสดงให้เห็นว่าค่าคลาดเคลื่อนลดลง 21.31 %

ตารางที่ 7.4 RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ ด้วยวิธีปรับแก้ตามระยะทาง (สำหรับช่วงเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ : 13 เหตุการณ์)

รายการ	กรณี 1 $Z=200R^{1.6}$ (uncalibrated Z-R)	กรณี 2 $Z=45R^{1.5}$ (CC Z-R)	กรณี 3 $Z=130R^{1.5}$ (5 Min MVA Z-R)
RMSE ก่อนการปรับแก้ (มม./ชม.)	3.79	2.89	2.61
RMSE หลังการปรับแก้ (มม./ชม.)	2.84	2.05	2.04

ในการทดสอบความเชื่อมั่นโดยนำแฟคเตอร์ในการปรับแก้มาใช้กับเหตุการณ์ฝนที่ไม่ได้ใช้ในการสอบเทียบ ผลการทดสอบความเชื่อมั่นหรือการทวนสอบดังแสดงในตารางที่ 7.4 แสดงให้เห็นว่าค่า RMSE ของปริมาณฝนเรดาร์หลังการปรับแก้มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนปรับแก้ นั้นแสดงให้เห็นว่าการปรับแก้ด้วยแฟคเตอร์ปรับแก้ตามระยะทางทำให้ค่าคลาดเคลื่อนลดลง ซึ่งทำให้การประมาณปริมาณน้ำฝนดีขึ้น อย่างไรก็ตามผลการศึกษาค้นคว้าพบว่าการประมาณน้ำฝนโดยใช้ข้อมูลเรดาร์ที่สังเคราะห์โดยวิธี MVA จะให้ค่า RMSE น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ ทั้งในเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบและทวนสอบบ่งชี้ให้เห็นถึงประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการประมาณฝนเรดาร์

7.3.3 การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนตามเวลา (Temporal bias adjustment)

การปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนอีกวิธีการหนึ่ง คือ การปรับแก้คลาดเคลื่อนตามเวลา ซึ่งนิยมใช้กันก็ คือ Random walk process และ Autoregressive: AR (1) process (Krajewski, W., 1997) ทั้งสองแบบจำลองแสดงลักษณะค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง ซึ่งโดยทั่วไปจะไม่ทราบค่าความแปรปรวนของแบบจำลองแต่จะสามารถหาได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง สำหรับในการศึกษานี้เลือกใช้แบบจำลอง AR (1) (Ahnert, 1986 ;Smith and krajewski; Anagnostou et al.; 1991 และ Seo et al., 1999) จำลองค่าแฟคเตอร์การปรับแก้ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

ค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ $\{X_t\}$ ถูกจำลองแบบ Autoregressive ลำดับที่ p [AR(p)] ถ้า

$$(X_t - \mu) = \alpha_1(X_{t-1} - \mu) + \dots + \alpha_p(X_{t-p} - \mu) + E_t \quad (7.3)$$

ค่า μ คือ ค่าเฉลี่ยของ $\bar{X}$ จากสมการ 7.3 เพื่อให้ง่ายแก่การคำนวณหาค่า สมมติให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 แล้วทำการหาค่า ACF และถ้า p เท่ากับ 1 จะได้แบบจำลองเป็น AR (1) ซึ่งเป็นที่

รู้จักกันในรูปแบบกระบวนการ Markov หรือ Markov chain (Markov 1856-1922) โดย AR (1) กำหนดได้เป็น

$$X_t = \alpha X_{t-1} + E_t \quad (7.4)$$

ในที่นี้ X_t คือ ค่า G/R ณ เวลาปัจจุบันตามที่สถานีวัดน้ำฝนได้ทำการบันทึก X_{t-1} คือค่า G/R ณ เวลาที่ผ่านมา α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ Time series G/R ซึ่งเขียนให้อยู่ในรูป G/R ได้ดังนี้

$$G/R = \alpha G/R_{t-1} + E_t \quad (7.5)$$

ตารางที่ 7.5-7.6 แสดงการเปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนจากเรดาร์ก่อนและหลังการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อน ของกรณีศึกษา 3 กรณี

ตารางที่ 7.5 RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ด้วยวิธีปรับแก้แบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา (สำหรับช่วงเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ : 28 เหตุการณ์)

รายการ	กรณี 1 $Z=200R^{1.6}$ (uncalibrated Z-R)	กรณี 2 $Z=45R^{1.5}$ (CC Z-R)	กรณี 3 $Z=130R^{1.5}$ (5 Min MVA Z-R)
RMSE ก่อนการปรับแก้ (มม./ชม.)	3.66	3.61	2.99
RMSE หลังการปรับแก้ (มม./ชม.)	3.08	2.91	2.8

จากตาราง 7.5 จะเห็นว่าในทุกกรณีศึกษา RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน หลังจากการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนแล้วต่ำกว่า RMSE ที่ยังไม่ทำการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อน ดังนี้ ในกรณีที่ 1 ใช้สมการความสัมพันธ์ $Z=200R^{1.6}$ ก่อนการปรับแก้และหลังปรับมีค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน เท่ากับ 3.66 มม./ชม. และ 3.08 มม./ชม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าคลาดเคลื่อนลดลง 15.85 % กรณีที่ 2 การใช้สมการความสัมพันธ์ $Z=45R^{1.5}$ ที่ได้จากการสอบเทียบโดยใช้ข้อมูลเหตุการณ์ฝนตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที มีค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน ก่อนการปรับแก้และหลังการปรับแก้มีค่า RMSE เท่ากับ 3.61 มม./ชม. และ 2.91 มม./ชม แสดงให้เห็นว่าค่าคลาดเคลื่อนลดลง 19.12 % กรณีที่ 3

สมการความสัมพันธ์ $Z=130 R^{1.5}$ ก่อนการปรับแก้และหลังการปรับแก้มีค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝน เท่ากับ 2.99 มม./ชม. และ 2.8 มม./ชม แสดงให้เห็นว่าค่าคลาดเคลื่อนลดลง 5.19 %

ตารางที่ 7.6 RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้ด้วยวิธีปรับแก้แบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา (สำหรับช่วงเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ : 13 เหตุการณ์)

รายการ	กรณี 1 $Z=200R^{1.6}$ (uncalibrated Z-R)	กรณี 2 $Z=45R^{1.5}$ (CC Z-R)	กรณี 3 $Z=130R^{1.5}$ (5 Min MVA Z-R)
RMSE ก่อนการปรับแก้ (มม./ชม.)	3.79	2.86	2.61
RMSE หลังการปรับแก้ (มม./ชม.)	3.28	2.61	2.53

ในการทดสอบความเชื่อมั่นโดยนำแฟคเตอร์ในการปรับแก้มาใช้กับเหตุการณ์ฝนที่ไม่ได้ใช้ในการสอบเทียบ ผลการทดสอบความเชื่อมั่นหรือการทวนสอบดังแสดงในตารางที่ 7.6 แสดงให้เห็นว่าค่า RMSE ของปริมาณฝนเรดาร์หลังปรับแก้เมื่อเทียบกับก่อนปรับแก้มีค่าลดลง นั้นแสดงให้เห็นว่าการปรับแก้ด้วยแฟคเตอร์ G/R ตามเวลาทำให้ค่าคลาดเคลื่อนลดลง ซึ่งทำให้การประมาณปริมาณน้ำฝนดีขึ้น อย่างไรก็ตามผลการศึกษาค้นคว้าพบว่าการประมาณน้ำฝนโดยใช้ข้อมูลเรดาร์ที่สังเคราะห์โดยวิธี MVA จะให้ค่า RMSE น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ ทั้งในเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบและทวนสอบบ่งชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการประมาณฝนเรดาร์

ผลการวิเคราะห์การปรับแก้ปริมาณน้ำฝนเรดาร์ให้เทียบเท่ากับฝนบนดินโดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนจากทุกวิธีได้สรุปไว้ในตารางที่ 7.7 และ 7.8 สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบและเหตุการณ์ที่ใช้ในการทวนสอบ จากตารางทั้งสองพบว่าค่า RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนจากเรดาร์ในกรณีศึกษา 3 กรณี ที่ได้จากการใช้วิธีปรับแก้ปริมาณน้ำฝนเรดาร์ด้วยวิธีต่าง ๆ จะเห็นว่า วิธีการปรับแก้ที่ให้ความคลาดเคลื่อนของการประมาณปริมาณน้ำฝนโดยข้อมูลเรดาร์ภาษีเจริญ คือ วิธีการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนตามระยะทาง ซึ่งอาจเนื่องมาจากเรดาร์ภาษีเจริญเป็นเรดาร์ชนิด C-band Minimax ซึ่งมักประสบปัญหา Attenuation กล่าวคือสัญญาณที่ตรวจวัดได้จากกลุ่มฝนระยะห่างจากเรดาร์จะมีค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ต่ำกว่าเรดาร์ชนิดอื่น

ๆ ดังนั้นวิธีปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนตามระยะทางจึงเหมาะสมสำหรับใช้ในการปรับแก้ปริมาณฝนจากเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ภาคีเจริญให้เทียบเท่าปริมาณฝนบนพื้นดิน

ตารางที่ 7.7 RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้แฟคเตอร์ปรับแก้ G/R ทั้ง 3 วิธี (สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ : 28 เหตุการณ์)

รายการ	กรณี 1 $Z=200R^{1.6}$ (uncalibrated Z-R)	กรณี 2 $Z=45R^{1.5}$ (CC Z-R)	กรณี 3 $Z=130R^{1.5}$ (5 Min MVA Z-R)
RMSE ก่อนการปรับแก้	3.66	3.61	2.99
RMSE หลังปรับแก้ด้วยค่า G/R เฉลี่ยทั้งหมด	3.23	3.03	2.92
RMSE หลังปรับแก้ด้วยค่า G/R ตามระยะทาง	2.56	2.51	2.21
RMSE หลังปรับแก้ด้วยค่า G/R ตามเวลา	3.08	2.91	2.8

ตารางที่ 7.8 RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนก่อนและหลังการปรับแก้แฟคเตอร์ปรับแก้ G/R ทั้ง 3 วิธี (สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ : 13 เหตุการณ์)

รายการ	กรณี 1 $Z=200R^{1.6}$ (uncalibrated Z-R)	กรณี 2 $Z=45R^{1.5}$ (CC Z-R)	กรณี 3 $Z=130R^{1.5}$ (5 Min MVA Z-R)
RMSE ก่อนการปรับแก้	3.79	2.86	2.61
RMSE หลังปรับแก้ด้วยค่า G/R เฉลี่ยทั้งหมด	3.4	2.76	2.52
RMSE หลังปรับแก้ด้วยค่า G/R ตามระยะทาง	2.84	2.05	2.04
RMSE หลังปรับแก้ด้วยค่า G/R ตามเวลา	3.28	2.61	2.53

7.4 สรุปการปรับแก้ปริมาณน้ำฝนเรดาร์ด้วยข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน

จากการปรับแก้ทั้ง 3 วิธีที่ได้ศึกษาพบว่าในการใช้ข้อมูลฝนบนดินมาปรับแก้ฝนบนฟ้าที่วัดได้เรดาร์ สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างฝนบนฟ้าและฝนบนดินของเรดาร์ภาคีเจริญได้ โดยที่

1. การปรับแก้ปริมาณฝนเรดาร์ด้วยค่าแฟคเตอร์การปรับแก้ (G/R) โดยวิธี ค่าเฉลี่ยทั้งหมด, ปรับแก้ตามระยะทาง และ ปรับแก้ด้วยค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา สามารถลดความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ภาคีเจริญของเหตุการณ์ฝนในช่วงสอบเทียบและทวนสอบเมื่อเทียบกับกรณีก่อนปรับแก้

2. วิธีการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ภาคีเจริญ คือ การปรับแก้ตามระยะทาง เพราะให้ค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนต่ำสุดเมื่อเทียบกับวิธีการปรับแก้ด้วยค่าเฉลี่ยทั้งหมด และการปรับแก้ตามเวลา ซึ่งอาจเนื่องมาจากเรดาร์ภาคีเจริญเป็นเรดาร์ชนิด C-band Minimax ซึ่งมักประสบปัญหา Attenuation กล่าวคือสัญญาณที่ตรวจวัดได้จากกลุ่มฝนระยะห่างจากเรดาร์จะมีค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ต่ำกว่าเรดาร์ชนิดอื่น ๆ ดังนั้นวิธีปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนตามระยะทางจึงเหมาะสมสำหรับใช้ในการปรับแก้ปริมาณฝนจากเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ภาคีเจริญให้เทียบเท่าปริมาณฝนบนพื้นดิน

บทที่ 8

การทดสอบประสิทธิผลในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์

8.1 นโยบายการดำเนินการตรวจวัดด้วยเรดาร์

การนำเรดาร์มาใช้ในการตรวจวัดปริมาณฝนนั้นมีประโยชน์หลายประการเนื่องจากเรดาร์สามารถตรวจวัดปริมาณฝนทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา เรดาร์ตรวจอากาศสามารถตรวจวัดข้อมูลฝนได้ 3 มิติ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างขวางและให้ข้อมูลภาพตัดขวางของกลุ่มฝนในแนวตั้ง ซึ่งในการตรวจวัดฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศนั้น ผู้ที่ดำเนินการหรือผู้ควบคุมเรดาร์ตรวจอากาศในการตรวจวัดนั้นจะกำหนดช่วงระยะเวลาในการตรวจวัด ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย (Committee on weather radar, 2002) ได้แก่ นโยบายของผู้บริหาร, การดำเนินการของวิศวกร, ค่าใช้จ่ายในการตรวจวัด หรือค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา เป็นต้น ปัญหาที่สำคัญสำหรับการตรวจวัด คืองบประมาณค่าใช้จ่ายในการตรวจวัด และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ดังนั้นการดำเนินการตรวจวัดโดยเรดาร์ตรวจอากาศจะจัดทำเป็นตารางการทำงานสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงไป แต่ในข้อเท็จจริงคือ ส่วนใหญ่ฝนจะมีการตกไม่สม่ำเสมอทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ในช่วงที่เกิดฝนอาจจะไม่สอดคล้องกับช่วงที่มีการดำเนินการตรวจวัดโดยเรดาร์ เช่น มีการตั้งเวลาให้ทำการตรวจวัด ทุกๆ 1 ชั่วโมง ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ว่าฝนที่เกิดครอบคลุมบริเวณกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่เป็นแบบ Convective ซึ่งมักจะมีการเปลี่ยนแปลงและเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ดังนั้นการได้มาซึ่งข้อมูลค่าการตรวจวัดฝนที่มีความถูกต้องจำเป็นต้องทำการตรวจวัดให้มีความถี่มากที่สุด แต่เหตุผลสำคัญซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการที่ไม่สามารถทำการตรวจวัดข้อมูลได้ตามความต้องการก็คือ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการตรวจวัด และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอุปกรณ์เรดาร์ ซึ่งเป็นข้อจำกัดในด้านงบประมาณนั่นเอง โดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนาจะมีปัญหาในเรื่องข้อจำกัดของงบประมาณ ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดของนโยบายในการดำเนินการตรวจวัดเรดาร์ในกลุ่มประเทศดังกล่าว

เนื่องจากข้อจำกัดในด้านงบประมาณดังกล่าวข้างต้น ในบทนี้จึงได้ศึกษาประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์โดยพิจารณาถึงความถูกต้องของการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์รายชั่วโมงเป็นสำคัญ

8.2 การประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ ในช่วงเวลาการตรวจวัดต่าง ๆ

8.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์ คือ ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ภาคีเจริญที่ทำการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที และข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนปี พ.ศ. 2550 ที่มีการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 15 นาที ซึ่งเลือกเหตุการณ์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ 8 เหตุการณ์ โดยแบ่งเป็นเหตุการณ์ที่ใช้สำหรับการสอบเทียบ 4 เหตุการณ์และสำหรับการทวนสอบ 4 เหตุการณ์ โดยรายละเอียดของข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่นำมาวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 8.1 โดยในการศึกษาได้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 3 กรณีด้วยกัน คือ ใช้ข้อมูลการตรวจวัดที่ห่างกัน 20 นาที, 30 นาทีและ 40 นาที โดยใช้วิธี MVA ในการสังเคราะห์ภาพข้อมูลค่าสะท้อนกลับใหม่เพื่อเพิ่มความถี่ให้กับข้อมูลเรดาร์ทั้ง 3 ชุดข้อมูลดังกล่าว

ตารางที่ 8.1 รายละเอียดเหตุการณ์ฝนทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์

เหตุการณ์	เริ่มต้น		สิ้นสุด		ช่วงเวลา นาที	จำนวนสถานีวัด น้ำฝน	ค่าฝนเฉลี่ย มม./ชม.	หมายเหตุ
	วันเดือนปี	เวลา	วันเดือนปี	เวลา				
1	19 มี.ค. 50	06:01	19 มี.ค. 50	07:41	100	17	1.2	ทวนสอบ
2	9 พ.ค. 50	11:01	9 พ.ค. 50	13:21	140	25	34.26	สอบเทียบ
3	14 พ.ค. 50	16:41	14 พ.ค. 50	19:21	160	37	14.84	ทวนสอบ
4	16 ก.ค. 50	15:01	16 ก.ค. 50	21:51	350	46	24.2	ทวนสอบ
5	25 ก.ค. 50	11:51	25 ก.ค. 50	16:01	260	37	28.64	สอบเทียบ
6	11 ก.ย. 50	18:11	11 ก.ย. 50	19:41	90	44	15.8	ทวนสอบ
7	17 ก.ย. 50	00:01	19 ก.ย. 50	03:01	180	37	17.97	สอบเทียบ
8	20 ก.ย. 50	20:21	20 ก.ย. 50	21:41	80	38	11.44	สอบเทียบ

ค่าฝนเฉลี่ยคำนวณได้จากการพิจารณาปริมาณฝนที่ > 0.5 มม./ชม.

จากตารางที่ 8.1 เหตุการณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นข้อมูลเรดาร์ที่ได้จากการตรวจวัดของเรดาร์ภาคีเจริญโดยเหตุการณ์ฝนที่เลือกมาใช้ในการสอบเทียบเพื่อหาพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์สมการ Z-R และเหตุการณ์ที่ใช้ในการทวนสอบเพื่อทดสอบความเชื่อมั่นของสมการความสัมพันธ์ Z-R

8.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

ข้อมูลจากเรดาร์ภาพสีเจริญที่ตรวจวัดได้เป็นรูปแบบ Volume scan ที่มีความถี่ในการตรวจวัดทุก 10 นาที ถูกนำมาแปลงเป็นข้อมูลภาพแบบ PPI เพื่อนำวิเคราะห์โดยดำเนินการดังต่อไปนี้

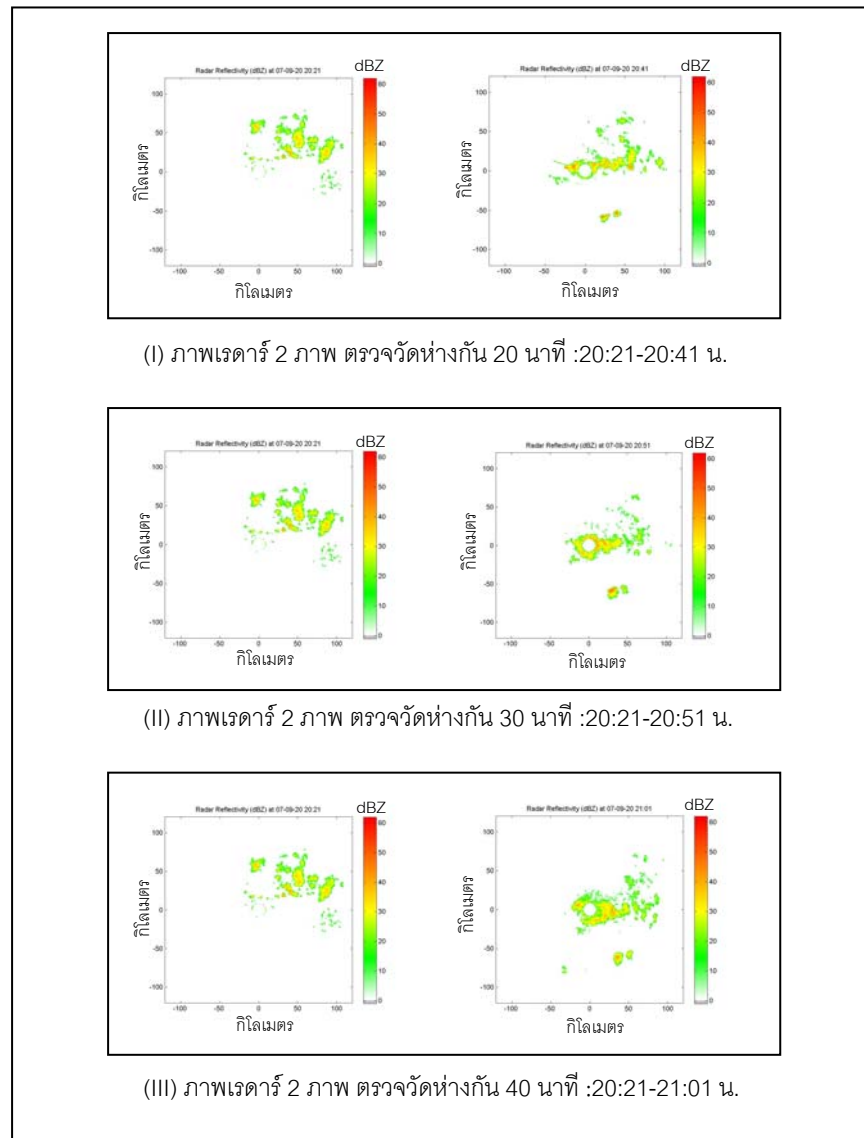
1. นำข้อมูลเรดาร์ทุก ๆ 10 นาที มาแยกออกให้มีช่วงเวลาที่ห่างกัน 20 นาที, 30 นาที และ 40 นาที ตัวอย่างเช่น เหตุการณ์ฝน วันที่ 20 กันยายน 2550 เวลาที่ฝนเริ่มตก คือ 20:21 น. เวลาที่ฝนหยุดตก คือ 21:41 น. ดังนั้นมีภาพเรดาร์ทั้งหมด 9 ภาพ แยกเป็นชุดข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ช่วงเวลาที่ภาพเรดาร์ห่างกัน 20 นาที, 30 นาที และ 40 นาที
2. สังเคราะห์ภาพเรดาร์ใหม่ในช่วงความถี่ต่าง ๆ กันดังแสดงในตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 ช่วงเวลาในการตรวจวัด และ ช่วงเวลาที่ใช้วิธี MVA ในการสังเคราะห์ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ภาพใหม่

ช่วงเวลาในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์ (นาที)	ช่วงเวลาที่ใช้สร้างภาพใหม่ (นาที)
20 นาที	10,5,3,2,1
30 นาที	15,7,4,2,1
40 นาที	20,10,5,3,2,1

3. วิเคราะห์หาคู่ $Z-R$ ณ ตำแหน่งพิกเซลที่สอดคล้องกัน
4. วิเคราะห์หาค่าสะท้อนกลับของเรดาร์รายชั่วโมงของเหตุการณ์ฝนจากคู่ $Z-R$ ที่สอดคล้องกันโดยการแปลงค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ให้เป็นความเข้มของฝนเรดาร์ด้วยสมการความสัมพันธ์ $Z=200R^{1.6}$ จากนั้นหาค่าปริมาณความเข้มฝนเรดาร์สะสมรายชั่วโมง แล้วแปลงค่าปริมาณความเข้มฝนเรดาร์สะสมรายชั่วโมงให้เป็นค่าสะท้อนกลับของเรดาร์
5. นำคู่ $Z-R$ ทั้งหมดของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการวิเคราะห์มาหาพารามิเตอร์ a โดยที่กำหนดให้พารามิเตอร์ $b=1.5$ มีค่าคงที่ ด้วยวิธี Regression (Minimize RMSE)
6. นำสมการความสัมพันธ์ที่หาได้ไปทดสอบความเชื่อมั่นกับเหตุการณ์ฝนที่ไม่ได้ใช้ในการสอบเทียบ

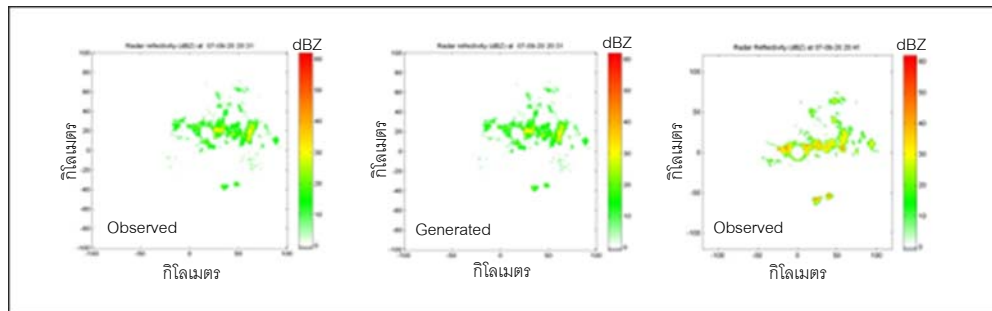
ภาพที่ 8.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลภาพเรดาร์ที่มีการตรวจวัดที่ช่วงเวลาห่างกัน 20 นาที, 30 นาที และ 40 นาที



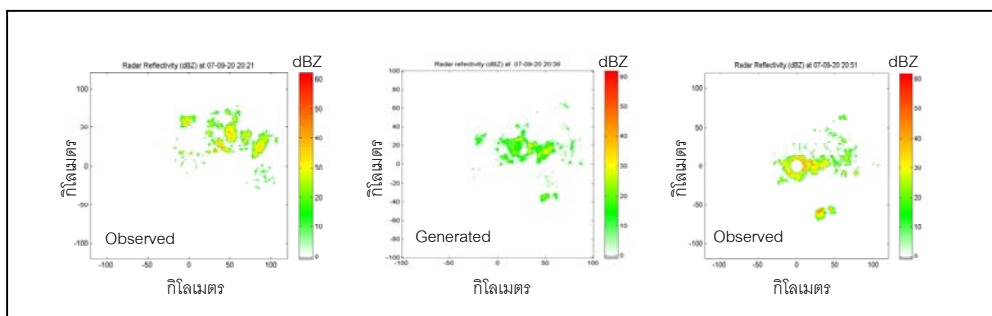
ภาพที่ 8.1 ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ได้จากการตรวจวัด ;(I) ภาพเรดาร์ 2 ภาพ ห่างกัน 20 นาที, (II) ภาพเรดาร์ 2 ภาพ ห่างกัน 30 นาที, (III) ภาพเรดาร์ 2 ภาพ ห่างกัน 40 นาที

8.2.3 การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสม

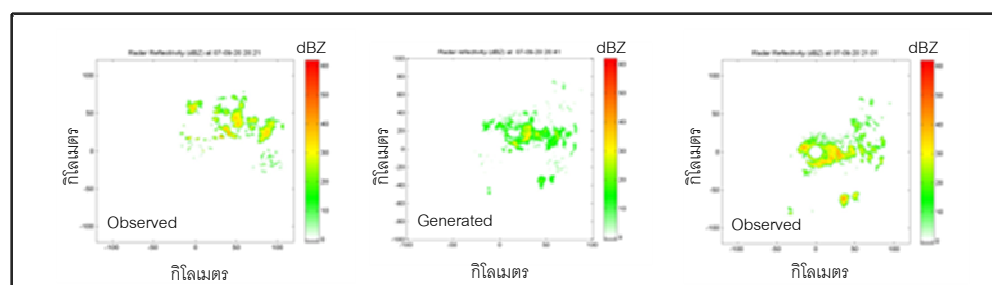
จากการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลใหม่เดิมในช่วงเวลาต่างๆ ที่วิเคราะห์ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 8.2.2 จะได้ข้อมูลเรดาร์เป็นภาพที่สังเคราะห์ใหม่ในช่วงเวลาที่กำหนดให้ตัวอย่างแสดงในภาพที่ 8.2



(I) ภาพเรดาร์ที่สังเคราะห์ใหม่ระหว่าง 2 ภาพ ห่างกัน 20 นาที : 20:31 น.



(II) ภาพเรดาร์ที่สังเคราะห์ใหม่ระหว่าง 2 ภาพ ห่างกัน 30 นาที : 20:36 น.



(III) ภาพเรดาร์สังเคราะห์ใหม่ระหว่าง 2 ภาพ ห่างกัน 40 นาที : 20:41 น.

ภาพที่ 8.2 ภาพที่สังเคราะห์ใหม่จากวิธี MVA ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ; (I) ภาพเรดาร์สังเคราะห์ใหม่จากภาพการตรวจวัด 2 ภาพซึ่งห่างกัน 20 นาที, (II) ภาพเรดาร์สังเคราะห์ใหม่จากภาพการตรวจวัด 2 ภาพซึ่งห่างกัน 30 นาที, (III) ภาพเรดาร์สังเคราะห์ใหม่จากภาพการตรวจวัด 2 ภาพซึ่งห่างกัน 40 นาที

ในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของสมการ Z-R ได้ใช้เหตุการณ์ฝนในปี พ.ศ. 2550 ระหว่างวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2550 ถึง 20 กันยายน พ.ศ. 2550 จำนวน 4 เหตุการณ์ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 8.1 และเหตุการณ์ฝนที่เหลืออีก 4 เหตุการณ์ได้ใช้ในการทวนสอบ เพื่อทดสอบความเชื่อมั่นของสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ได้จากการสอบเทียบ

8.2.3.1 ช่วงเวลาตรวจวัดห่างกัน 40 นาที

สำหรับในกรณีที่ช่วงเวลารวบรวมข้อมูลห่างกัน 40 นาที ในการวิเคราะห์ได้ทำการสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์โดยวิธี MVA เพิ่มความถี่ข้อมูลภาพเรดาร์ระหว่างช่วงเวลา 40 นาที โดยสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ ณ นาทีที่ 20, 10, 5, 3, 2 และ 1 นาที เมื่อนำมาข้อมูลที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ Z-R ในช่วงเวลาดังกล่าว พบว่ากรณีที่ให้ค่า RMSE ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนน้อยที่สุดสำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบคือกรณีที่มีการสังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ที่ความถี่ทุก ๆ 20 นาทีโดยมีสมการ Z-R ที่เหมาะสมคือ $Z=28.75R^{1.5}$ และมีค่า RMSE = 3.86 มม./ชม. ดังแสดงในตารางที่ 8.3 และเมื่อนำสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ได้จากการสอบเทียบไปทดสอบความเชื่อมั่นกับเหตุการณ์ฝนในตารางที่ 8.4 พบว่าไม่สามารถลดความคลาดเคลื่อนได้เมื่อเทียบกับสมการความสัมพันธ์ $Z=200R^{1.6}$ และกรณีที่ประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 8.3 และ 8.4

ตารางที่ 8.3 เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 40 นาที และช่วงความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีสอบเทียบ)

ชุดข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์	จำนวนคู่ Z-R	พารามิเตอร์ 'a'	RMSE $Z=aR^{1.5}$ (มม./ชม.)
ข้อมูลเรดาร์ตรวจวัดทุก ๆ 40 นาที	62	32.22	6.93
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 20 นาที	158	28.75	3.86
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 10 นาที	273	30.1	3.97
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 5 นาที	477	37.47	4.02
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 3 นาที	929	47.22	4.08
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 2 นาที	1233	42.26	4.04
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 1 นาที	1852	40.75	3.95

ตารางที่ 8.4 เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 40 นาที และช่วงความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีทวนสอบ)

เหตุการณ์	RMSE (มม./ ชม.)		
	$Z=32R^{1.5}$ (Conventional calibrated:No MVA)	$Z=200R^{1.6}$ (Marshall & Palmer, 1948)	$Z=28.75R^{1.5}$ (Calibrated 20-min MVA)
9 พ.ค. 50	2.28	2.16	2.36
16 ก.ค. 50	5.23	5.37	5.22
20 ก.ค. 50	4.07	2.76	4.34
11 ก.ย. 50	2.65	2.7	2.73

จากตารางที่ 8.4 จะเห็นว่าการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลเพิ่มจากข้อมูลการตรวจวัดทุก ๆ 40 นาที ให้ค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าวิธีอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ข้อมูลเพิ่มจากข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกันมากจะทำให้ไม่สามารถหาสนามความเร็วได้อย่างถูกต้องส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนเรดาร์มากกว่าการไม่เพิ่มความถี่ข้อมูล

8.2.3.2 ช่วงเวลาตรวจวัดห่างกัน 30 นาที

สำหรับในกรณีที่ช่วงเวลาตรวจวัดห่างกัน 30 นาที ในการวิเคราะห์ได้ทำการสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์โดยวิธี MVA เพิ่มความถี่ข้อมูลภาพเรดาร์ระหว่างช่วงเวลา 30 นาที โดยสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ ณ นาทีที่ 15, 7, 4, 2 และ 1 นาที เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ในช่วงเวลาดังกล่าว พบว่ากรณีที่ให้ค่า RMSE ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนน้อยที่สุดสำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบคือกรณีที่มีการสังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ที่ความถี่ทุก ๆ 15 นาทีโดยมีสมการ $Z-R$ ที่เหมาะสมคือ $Z=44.47R^{1.5}$ และมีค่า RMSE = 3.56 มม./ชม. ดังแสดงในตารางที่ 8.5 และเมื่อนำสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่ได้จากการสอบเทียบไปทดสอบความเชื่อมั่นกับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบพบว่าค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของการประยุกต์ใช้วิธี MVA ที่ความถี่ 15 นาทีมีค่าต่ำกว่ากรณีอื่น ๆ ดังแสดงในรายละเอียดไว้ในตารางที่ 8.6

ตารางที่ 8.5 เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 30 นาที และช่วงความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีสอบเทียบ)

ชุดข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์	จำนวนคู่ Z-R	พารามิเตอร์ 'a'	RMSE $Z=aR^{1.5}$ (มม./ชม.)
ข้อมูลเรดาร์ตรวจวัดทุก ๆ 30 นาที	115	34.54	3.69
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 15 นาที	198	44.47	3.56
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 7 นาที	364	37.5	3.76
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 4 นาที	692	40.27	4.22
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 2 นาที	1228	47.89	5.54
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 1 นาที	1863	49.47	6.63

ตารางที่ 8.6 เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 30 นาที และช่วงความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีทวนสอบ)

เหตุการณ์	RMSE (มม./ ชม.)		
	$Z=34.54R^{1.5}$ (Conventional calibrated:No MVA)	$Z=200R^{1.6}$ (Marshall & Palmer,1948)	$Z=44.47R^{1.5}$ (Calibrated 20-min MVA)
9 พ.ค. 50	2.51	2.91	2.41
16 ก.ค. 50	3.35	3.69	3.19
20 กค..50	3.02	3.13	2.93
11 ก.ย. 50	2.94	3.08	2.91

8.2.3.3 ช่วงเวลาตรวจวัดห่างกัน 20 นาที

สำหรับในกรณีที่มียุ่ช่วงเวลาตรวจวัดห่างกัน 20 นาที ในการวิเคราะห์ได้ทำการสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์โดยวิธี MVA เพิ่มความถี่ข้อมูลภาพเรดาร์ระหว่างช่วงเวลา 20 นาที โดยสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ ณ นาทีที่ 10, 5, 3, 2 และ 1 นาที เมื่อนำข้อมูลที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ Z-R ในช่วงเวลาดังกล่าว พบว่ากรณีที่ให้ค่า RMSE ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนน้อยที่สุดสำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบคือกรณีที่มีการสังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ที่ความถี่ทุก ๆ 10 นาทีโดยมีสมการ Z-R ที่เหมาะสมคือ

$Z=50.88R^{1.5}$ และมีค่า RMSE = 3.14 มม./ชม. ดังแสดงในตารางที่ 8.7 และเมื่อนำสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่ได้จากการสอบเทียบไปทดสอบความเชื่อมั่นกับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบพบว่าค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของการประยุกต์ใช้วิธี MVA ที่ความถี่ 10 นาทีมีค่าต่ำกว่ากรณีอื่น ๆ ดังแสดงในรายละเอียดไว้ในตารางที่ 8.8

ตารางที่ 8.7 เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 20 นาที และช่วงความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีสอบเทียบ)

ชุดข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์	จำนวนคู่ $Z-R$	พารามิเตอร์ 'a'	RMSE $Z=aR^{1.5}$ (มม./ชม.)
ข้อมูลเรดาร์ตรวจวัดทุก ๆ 20 นาที	147	37.48	3.72
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 10 นาที	310	50.88	3.14
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 5 นาที	543	43.01	5.28
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 3 นาที	1033	44.79	5.63
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 2 นาที	1563	47.18	6.18
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 1 นาที	2178	36	7.15

ตารางที่ 8.8 เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 20 นาที และช่วงความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีทวนสอบ)

เหตุการณ์	RMSE (มม./ ชม.)		
	$Z=37.48R^{1.5}$ (Conventional calibrated:No MVA)	$Z=200R^{1.6}$ (Marshall & Palmer,1948)	$Z=50.88R^{1.5}$ (Calibrated 20-min MVA)
9 พ.ค. 50	2.36	2.46	2.28
16 ก.ค. 50	5.23	5.37	4.22
20 กค..50	4.07	4.76	2.8
11 ก.ย. 50	2.75	2.85	2.73

8.2.3.4 ช่วงเวลาที่ภาพ 2 ภาพห่างกัน 10 นาที

สำหรับในกรณีที่ช่วงเวลาที่ตรวจวัดห่างกัน 10 นาที ในการวิเคราะห์ที่ได้ทำการสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์โดยวิธี MVA เพิ่มความถี่ข้อมูลภาพเรดาร์ระหว่างช่วงเวลา 10 นาที โดยสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ ณ นาทีที่ 5, 3, 2 และ 1 นาที เมื่อนำข้อมูลที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ในช่วงเวลาดังกล่าว พบว่ากรณีที่ให้ค่า RMSE ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนน้อยที่สุดสำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบคือกรณีที่มีการสังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ที่ความถี่ทุก ๆ 5 นาทีโดยมีสมการ $Z-R$ ที่เหมาะสมคือ $Z=41.39R^{1.5}$ และมีค่า RMSE = 2.89 มม./ชม. ดังแสดงในตารางที่ 8.9 และเมื่อนำสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่ได้จากการสอบเทียบไปทดสอบความเชื่อมั่นกับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบพบว่าค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนของการประยุกต์ใช้วิธี MVA ที่ความถี่ 5 นาทีมีค่าต่ำกว่ากรณีอื่น ๆ ดังแสดงในรายละเอียดไว้ในตารางที่ 8.10

ตารางที่ 8.9 เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 10 นาที และช่วงความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีสอบเทียบ)

ชุดข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์	จำนวนคู่ $Z-R$	พารามิเตอร์ 'a'	RMSE $Z=aR^{1.5}$ (มม./ชม.)
ข้อมูลเรดาร์ตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที	281	43.18	3.53
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 5 นาที	535	41.39	2.89
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 3 นาที	1005	38.38	3.83
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 2 นาที	290	40.95	4.13
สังเคราะห์ด้วยวิธี MVA ทุก ๆ 1 นาที	867	36.62	3.59

ตารางที่ 8.10 เปรียบเทียบค่า RMSE จากชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดห่างกัน 10 นาที และช่วงความถี่ที่สังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ (กรณีทวนสอบ)

เหตุการณ์	RMSE (มม./ ชม.)		
	$Z=43.18R^{1.5}$ (Conventional calibrated:No MVA)	$Z=200R^{1.6}$ (Marshall & Palmer,1948)	$Z=41.39R^{1.5}$ (Calibrated 20-min MVA)
9 พ.ค. 50	2.61	2.96	2.11
16 ก.ค. 50	3.35	5.37	4.21
20 กค..50	3.21	3.28	2.76
11 ก.ย. 50	2.94	3.07	2.49

การเปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนจากเรดาร์ที่วิเคราะห์จากชุดข้อมูลค่าการสะท้อนกลับที่สังเคราะห์จากข้อมูลเรดาร์ที่มีช่วงเวลาการตรวจวัดต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 8.11 และ 8.12 โดยวิธี MVA จากผลการศึกษาดังกล่าวพบว่าความถี่ในการตรวจวัดสูงสุดที่สามารถนำวิธี MVA มาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ระหว่างช่วงเวลาการตรวจวัด คือ การตรวจวัดทุก ๆ 20 นาทีซึ่งการประยุกต์ใช้วิธี MVA กับข้อมูลการตรวจวัดทุก ๆ 20 นาทีเพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลทุก ๆ 10 นาทีสามารถทำให้ผลการประมาณฝนเรดาร์มีความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกับการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาทีโดยไม่มีการเพิ่มความถี่ข้อมูล อย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้บ่งชี้ให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลที่มีการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที ให้มีความถี่ข้อมูล 5 นาทีสามารถลดความคลาดเคลื่อนในการประมาณฝนเรดาร์รายชั่วโมงได้ประมาณ 18.13% และ 4.30% เมื่อเทียบกับวิธีที่ใช้ในปัจจุบันซึ่งไม่มีการประยุกต์ใช้วิธี MVA ซึ่งผลการศึกษานี้สามารถยืนยันประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้วิธี MVA ในขบวนการประมาณปริมาณฝนเรดาร์

ตารางที่ 8.11 RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนเรดาร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ข้อมูลค่าสะท้อนกลับที่ความถี่ต่าง ๆ (กรณีสอบเทียบ)

ชุดข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์	ความถี่ในการสังเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี MVA	พารามิเตอร์ 'a'	$Z=aR^{1.5}$ RMSE
ข้อมูลตรวจวัดห่างกัน 40 นาที	20 นาที	28.75	3.86
ข้อมูลตรวจวัดห่างกัน 30 นาที	15 นาที	44.47	3.56
ข้อมูลตรวจวัดห่างกัน 20 นาที	10 นาที	50.88	3.14
ข้อมูลตรวจวัดห่างกัน 10 นาที	5 นาที	41.39	2.89
ภาพข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด 10 นาที	-	43.18	3.51

ตารางที่ 8.12 RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนเรดาร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ข้อมูลค่าสะท้อนกลับที่ความถี่ต่าง ๆ (กรณีทวนสอบ)

เหตุการณ์	ชุดข้อมูลตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที	ชุดข้อมูลสังเคราะห์ทุก ๆ 5 นาที จากข้อมูลตรวจวัดทุก 10 นาที	ชุดข้อมูลสังเคราะห์ทุก ๆ 10 นาที จากข้อมูลตรวจวัดทุก 20 นาที	ชุดข้อมูลสังเคราะห์ทุก ๆ 15 นาที จากข้อมูลตรวจวัดทุก 30 นาที	ชุดข้อมูลสังเคราะห์ทุก ๆ 20 นาที จากข้อมูลตรวจวัดทุก 40 นาที
	$Z=43.18R^{1.5}$	$Z=41.39R^{1.5}$ MVA	$Z=50.88R^{1.5}$ MVA	$Z=44.47R^{1.5}$ MVA	$Z=28.75R^{1.5}$ MVA
9 พ.ค. 50	2.61	2.11	2.28	2.41	2.36
16 ก.ค. 50	3.35	4.21	4.22	3.19	5.22
20 กค..50	3.21	2.76	2.80	2.93	4.34
11 ก.ย. 50	2.94	2.49	2.73	2.91	2.73
RMSE เฉลี่ย	3.02	2.89	3.00	2.86	3.66

8.3 สรุปผลการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์

จากข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ สำหรับกรณีที่มีการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลเป็นทุก ๆ 5 นาที สามารถลดความ

คลาดเคลื่อนของปริมาณฝนเรดาร์รายชั่วโมงได้ 18.13% และ 4.30% สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบและทวนสอบตามลำดับเมื่อเทียบกับกรณีการใช้ข้อมูลตรวจวัดจริงทุก ๆ 10 นาที โดยไม่มีการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อประเมินฝนเรดาร์

2. การประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์สำหรับกรณีที่มีการตรวจวัดทุก ๆ 20 นาที เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลเป็นทุก ๆ 10 นาที สามารถลดความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนเรดาร์รายชั่วโมงได้ 15.59% และ 0.66% สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบและทวนสอบตามลำดับเมื่อเทียบกับกรณีการใช้ข้อมูลตรวจวัดจริงทุก ๆ 20 นาที โดยไม่มีการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อประเมินฝนเรดาร์

3. การประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ระหว่างข้อมูลการตรวจวัดจริงสามารถใช้ได้กับกรณีที่มีการตรวจวัดจริงห่างกันไม่เกิน 20 นาที โดยสามารถเพิ่มความถี่ข้อมูลเป็นทุก ๆ 10 นาที ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณฝนเรดาร์รายชั่วโมงมีค่าความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกับการประมาณปริมาณฝนเรดาร์โดยใช้ข้อมูลที่มีการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที โดยไม่มีการประยุกต์ใช้วิธี MVA

4. การประยุกต์ใช้วิธี MVA ที่มีการตรวจวัดเกิน 20 นาที จะทำให้ปริมาณฝนเรดาร์รายชั่วโมงมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าการใช้ข้อมูลการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที โดยไม่มีการประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการประมาณปริมาณฝนเรดาร์

บทที่ 9

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ในบทสุดท้ายนี้เป็นการสรุปผลการศึกษาในภาพรวมของผลการศึกษาในแต่ละบท รวมทั้งสรุปวิเคราะห์ผลการศึกษาเพื่อเป็นข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป ตลอดจนสรุปคุณค่าทางวิชาการของการศึกษานี้

9.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อแก้ไขปัญหาการใช้ข้อมูลเรดาร์ในการประมาณปริมาณฝน โดยพยายามปรับปรุงความถูกต้องของการประมาณปริมาณฝนโดยข้อมูลเรดาร์ ซึ่งในศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลเรดาร์โดยการพิจารณาความเร็วของการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนที่เกิดขึ้นในระหว่างช่วงเวลาการตรวจวัดฝนโดยเรดาร์ ข้อมูลเรดาร์จากสถานีภาชีเจริญถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน 47 สถานี โดยใช้เหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นระหว่าง ระหว่างปี พ.ศ. 2548 - พ.ศ. 2550 จำนวน 41 เหตุการณ์ โดยแบ่งเหตุการณ์ฝนเป็น 2 กลุ่มคือ 1) เหตุการณ์ฝนที่ใช้สำหรับการสอบเทียบ จำนวน 28 เหตุการณ์ อยู่ระหว่าง ปี พ.ศ. 2548 - พ.ศ. 2549 และ 2) เหตุการณ์ฝนที่ใช้สำหรับการทวนสอบเพื่อทดสอบความ เชื่อมั่นผลการวิเคราะห์ จำนวน 13 เหตุการณ์ ซึ่งเป็นเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2550 จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ $Z-R$ โดยการใช้ข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้นจากวิธี MVA ทำให้ความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณฝนเรดาร์ลดลง โดยเฉลี่ยโดยมีค่า RMSE ลดลงจากเดิม 17.17 % และ 9.94 % ในช่วงสอบเทียบ และ 26.68 % และ 26.68 % ในช่วงทวนสอบ เมื่อเทียบกับวิธี Conventional Calibrated (CC $Z-R$) และ Simple Linear Interpolation (SLI $Z-R$) ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังศึกษาวิธีการเพิ่มความถี่ของข้อมูลเรดาร์โดยการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลเรดาร์ของสถานีเรดาร์ภาชีเจริญ และ นำเสนอการกระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงโดยพิจารณาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนในระหว่างการตรวจวัดด้วย ซึ่งทำได้โดยประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการหาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนจากข้อมูลภาพเรดาร์ 2 ภาพ แล้วสังเคราะห์หาข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ระหว่างภาพ 2 ภาพเพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลภาพเรดาร์ วิธี MVA ถูกนำมาใช้เพื่อสังเคราะห์หาค่าสะท้อนกลับ ณ ช่วงเวลา 2 ช่วงเวลาที่เรดาร์

ดำเนินการตรวจวัด เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการหาปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงโดยในการศึกษาได้ทำการเพิ่มความถี่ของข้อมูลเรดาร์ภาคีเจริญ ซึ่งเป็นภาพเรดาร์แบบ PPI 10 นาที โดยเพิ่มความถี่ของข้อมูลภาพเรดาร์ระหว่าง 1 นาที ถึง 9 นาที ด้วยการสังเคราะห์ภาพเรดาร์ใหม่ โดยแบ่งการสังเคราะห์เป็น 9 กลุ่มระหว่างช่วงเวลา 10 นาที คือ สังเคราะห์ภาพเรดาร์ 8 ภาพ, 4 ภาพ, 3 ภาพ, 2 ภาพ, สำหรับการเพิ่มความถี่ข้อมูลระหว่าง 1 ถึง 4 นาทีและ 1 ภาพ สำหรับกรณีเพิ่มความถี่ 5 ถึง 9 นาที ตามลำดับ และใช้ข้อมูลที่สังเคราะห์ใหม่ในการหาพารามิเตอร์ของสมการความสัมพันธ์ Z-R เพื่อใช้ในการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงและ แล้วได้พิจารณาประยุกต์ใช้วิธีการคัดแยกชนิดกลุ่มเมฆฝนดังกล่าวเพื่อคัดแยกชนิดของเหตุการณ์ฝน เพื่อศึกษาผลกระทบของชนิดกลุ่มเมฆฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์ จากนั้นทำการศึกษาวิธีการปรับแก้ข้อมูลฝนจากเรดาร์

นอกจากนี้การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการเพิ่มความถูกต้องของข้อมูลที่ทำให้ได้ผลการประมาณปริมาณน้ำฝนมีความถูกต้องยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ ท้ายที่สุดของการวิจัยนี้ยังศึกษาประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์โดยพิจารณาถึงความถูกต้องของการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์รายชั่วโมง

สำหรับรายละเอียดในแต่ละประเด็นสามารถสรุปได้ดังนี้

9.1.1 ผลจากการศึกษาการประยุกต์ใช้ MVA เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์

จากการศึกษาพบว่าข้อมูลภาพเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากภาพถ่าย สองภาพ ณ เวลาต่อเนื่องกันโดยใช้วิธี MVA นั้นสามารถหาการเคลื่อนที่หรือสนามความเร็วจากภาพที่มีช่วงเวลาห่างกันได้หรือเหตุการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (Ravela and Chatdarong, 2006) และจากการวิเคราะห์สนามความเร็วที่ได้พบว่ามีความละเอียดใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าวิธี SLI เมื่อพิจารณาถึงค่าข้อมูลการสะท้อนกลับของเรดาร์ในการเพิ่มความถี่ของข้อมูลค่าสะท้อนกลับพบว่า ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนโดยวิธี SLI โดยเฉลี่ยประมาณ 3 dBZ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาลักษณะของเมฆฝนในแต่ละเหตุการณ์ทำให้พบว่าการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่เกิดจากกลุ่มฝนชนิดคิวมูลัสมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากกลุ่มฝนชนิดคิวมูโลนิมบัส เนื่องมาจากเหตุการณ์ฝนชนิดคิวมูลัสที่เกิดในช่วงเวลาการศึกษาส่วนใหญ่มีทิศทางเคลื่อนที่ และมีลักษณะการก่อตัวหรือสลายตัวที่ค่อนข้างชัดเจน ดังนั้นการประยุกต์ใช้วิธี MVA สำหรับเพิ่มความถี่ข้อมูลของเหตุการณ์ฝนดังกล่าวจึงมีความถูกต้องมากกว่าเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากกลุ่มเมฆฝนชนิดคิวมูโลนิมบัส

9.1.2 ผลจากการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง

ในการศึกษาเพื่อหาผลของการรวมการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ากับการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง ซึ่งการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนจะถูกนำเข้ามาในกระบวนการประมาณปริมาณน้ำฝนโดยใช้วิธี MVA เพื่อสังเคราะห์ภาพค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ระหว่างภาพเรดาร์ 2 ภาพ ณ เวลาต่อเนื่องกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างค่าการประมาณปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากเรดาร์ และปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินโดยวิธีแบบเดิมคือไม่คิดการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน สามารถสรุปผลการศึกษาได้ว่าค่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ภาคเรขาคณิตโดยวิธี MVA คือ 5 นาที และเมื่อนำข้อมูลค่าสะท้อนดังกล่าวที่ได้จากการสังเคราะห์มาทำการหาความสัมพันธ์ $Z-R$ พบว่า ความสัมพันธ์ $Z-R$ ของเรดาร์ภาคเรขาคณิต คือ $Z=130R^{1.5}$ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ในการหาค่าสมการความสัมพันธ์ที่รวมการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ากับการประมาณปริมาณน้ำฝนโดยใช้วิธี MVA เพื่อคำนวณหาการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน และสังเคราะห์ข้อมูลค่าสะท้อนกลับคลื่นเรดาร์ใหม่ระหว่างภาพ 2 ภาพที่เวลาต่อเนื่องกันสามารถลด RMSE ระหว่างปริมาณน้ำฝนเรดาร์และปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนได้ โดยสามารถลดค่าคลาดเคลื่อนลง 0.33 มม./ชม., 0.62 มม./ชม. สำหรับช่วงการสอบเทียบ และ 0.95 มม./ชม., 1.06 มม./ชม. ในช่วงการทวนสอบ เมื่อเทียบกับ ค่า CC $Z-R$ และ 5-Min SLI $Z-R$ ตามลำดับ ซึ่งทำให้สามารถปรับปรุงการประมาณปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ได้

9.1.3 ผลการศึกษาผลกระทบของชนิดเมฆฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝน

ผลการศึกษาผลกระทบของชนิดเมฆฝนต่อการประมาณปริมาณน้ำฝนพบว่าฝนที่เกิดในบริเวณกรุงเทพมหานครในช่วงปี 2550 เกิดจากเมฆฝน 2 ชนิด คือ คิวมูลิโนิมบัส และคิวมูลัส โดยเป็นฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูลิโนิมบัส 61.53% และ เมฆคิวมูลัส 38.47% ซึ่งในกลุ่มเมฆคิวมูลัส สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ของกลุ่มฝนคิวมูลัสที่มีการเพิ่มความถี่ข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีโดยใช้วิธี MVA คือ $Z=37.8R^{1.5}$ ค่า RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนเรดาร์ที่ได้จากการใช้ข้อมูลสังเคราะห์ที่ช่วงเวลา 5 นาทีโดยวิธี MVA และสมการ $Z=37.8R^{1.5}$ จะมีค่าต่ำสุด เมื่อเทียบกับการใช้ข้อมูลสังเคราะห์ที่ช่วงเวลา 1, 2, 3 และ 7 หรือการใช้ข้อมูลการตรวจวัดทุก 10 นาที กรณีสอบเทียบหาสมการ $Z-R$ ที่เหมาะสมกับข้อมูลการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที จะพบว่า RMSE ลดลงจาก 6.18 มม./ชม. เป็น 2.01 มม./ชม. คิดเป็น 67.47% สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ และลดลงจาก 2.4 มม./ชม. เป็น 2.25 มม./ชม. คิดเป็น 6.25% สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ในการทวนสอบ เมื่อเทียบกับวิธีการประมาณปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในสถานีเรดาร์ภาคเรขาคณิตในปัจจุบัน (ใช้ Climatological $Z-R$, $Z = 40.5R^{1.5}$ ในการแปลงข้อมูลตรวจวัด ทุก ๆ 10 นาที เป็นความเข้มฝน) และในกลุ่มเมฆคิวมูลิโนิมบัส สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ของกลุ่มฝนคิวมูลิโนิมบัส ที่มีการเพิ่ม

ความถี่ข้อมูลทุก ๆ 5 นาที่โดยใช้วิธี MVA คือ $Z=55.14R^{1.5}$ ค่า RMSE ระหว่างฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและฝนเรดาร์ที่ได้จากการใช้ข้อมูลสังเคราะห์ที่ช่วงเวลา 5 นาที่โดยวิธี MVA และสมการ $Z=55.14R^{1.5}$ จะมีค่าต่ำสุด เมื่อเทียบกับการใช้ข้อมูลสังเคราะห์ที่ช่วงเวลา 1, 2, 3 และ 7 หรือการใช้ข้อมูลการตรวจวัดทุก 10 นาที่ กรณีสอบเทียบหาสมการ Z-R ที่เหมาะสมกับข้อมูลการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที่ จะพบว่า RMSE ลดลงจาก 3.97 มม./ชม. เป็น 3.55 มม./ชม. คิดเป็น 10.58% สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ และ ลดลงจาก 3.10 มม./ชม. เป็น 3.04 มม./ชม. คิดเป็น 1.94% สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ในการทวนสอบ ทำให้พบว่า การประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูลัสจะสามารถลดเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนรายชั่วโมงได้มากกว่ากรณีประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของเหตุการณ์ฝนที่เกิดจากเมฆคิวมูโลนิมบัส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเหตุการณ์ฝนคิวมูลัสที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีลักษณะการก่อตัว/สลายตัวตลอดจนการเคลื่อนตัวค่อนข้างชัดเจน ทำให้ผลการวิเคราะห์หาสมการความเร็วระหว่างภาพเรดาร์ 2 ภาพ โดยใช้วิธี MVA ได้ผลค่อนข้างถูกต้อง ส่งผลทำให้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่สังเคราะห์ใหม่มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากกว่าเหตุการณ์ฝนที่เกิดเมฆคิวมูโลนิมบัสที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลเรดาร์สามารถเพิ่มความถูกต้องของปริมาณฝนเรดาร์รายชั่วโมงได้มากกว่าการใช้วิธีที่ใช้ในการประมาณปริมาณฝนเรดาร์ภาคีเจริญในปัจจุบันไม่ว่าเหตุการณ์ฝนจะเกิดฝนจะเกิดจากเมฆคิวมูลัสหรือคิวมูโลนิมบัส

9.1.4 ผลการปรับแก้ปริมาณน้ำฝนเรดาร์ด้วยข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน

จากการปรับแก้ทั้ง 3 วิธีที่ได้ศึกษาพบว่าในการใช้ข้อมูลฝนบนดินมาปรับแก้ฝนบนฟ้าที่วัดได้เรดาร์ สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างฝนบนฟ้าและฝนบนดินของเรดาร์ภาคีเจริญได้ ผลจากการศึกษาพบว่า การปรับแก้ปริมาณฝนเรดาร์ด้วยค่าแฟคเตอร์การปรับแก้ (G/R) โดยวิธีค่าเฉลี่ยทั้งหมด, ปรับแก้ตามระยะทาง และ ปรับแก้ด้วยค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา สามารถลดความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ภาคีเจริญของเหตุการณ์ฝนในช่วงสอบเทียบและทวนสอบเมื่อเทียบกับกรณีก่อนปรับแก้ และวิธีการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ภาคีเจริญ คือ การปรับแก้ตามระยะทาง เพราะให้ค่า RMSE ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนต่ำสุดเมื่อเทียบกับวิธีการปรับแก้ด้วยค่าเฉลี่ยทั้งหมด และการปรับแก้ตามเวลา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเรดาร์ภาคีเจริญเป็นเรดาร์ชนิด C-band Minimax ซึ่งมักประสบปัญหา Attenuation กล่าวคือสัญญาณที่ตรวจวัดได้จากกลุ่มฝนระยะห่างจากเรดาร์จะมีค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ต่ำกว่าเรดาร์ชนิดอื่น ๆ ดังนั้นวิธีปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนตามระยะทางจึง

เหมาะสมสำหรับการปรับแก้ปริมาณฝนจากเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ภาคีเจริญให้เทียบเท่าปริมาณฝนบนพื้นดิน

9.1.5 ผลการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์

จากการศึกษาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อลดความถี่ในการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์ พบว่าการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์สำหรับกรณีที่มีการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลเป็นทุก ๆ 5 นาที สามารถลดความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนเรดาร์รายชั่วโมงได้ 18.13% และ 4.30% สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบและทวนสอบตามลำดับเมื่อเทียบกับกรณีการใช้ข้อมูลตรวจวัดจริงทุก ๆ 10 นาทีโดยไม่มีการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อประมาณปริมาณฝนเรดาร์ และ เมื่อประยุกต์ใช้กับข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่มีการตรวจวัดทุก ๆ 20 นาที เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลเป็นทุก ๆ 10 นาที สามารถลดความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนเรดาร์รายชั่วโมงได้ 15.59% และ 0.66% สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบและทวนสอบตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ข้อมูลตรวจวัดจริงทุก ๆ 20 นาทีโดยไม่มีการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อประมาณปริมาณฝนเรดาร์ เมื่อนำปริมาณฝนเรดาร์ที่ได้จากช่วงเวลาดังกล่าว มาเปรียบเทียบกับปริมาณฝนเรดาร์โดยใช้ข้อมูลที่มีการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาทีโดยไม่มีการประยุกต์ใช้วิธี MVA พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกัน แต่เมื่อทดสอบกับข้อมูลเรดาร์ที่มีการตรวจวัดเกิน 20 นาที จะทำให้ปริมาณฝนเรดาร์รายชั่วโมงมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าการใช้ข้อมูลการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาทีโดยไม่มีการประยุกต์ใช้วิธี MVA ในการประมาณปริมาณฝนเรดาร์ ดังนั้นจึงพบว่าสามารถประยุกต์ใช้วิธี MVA กับข้อมูลเรดาร์ที่มีการตรวจวัดจากสถานีเรดาร์ที่มีการตรวจวัดทุก ๆ 20 นาทีแล้วสามารถประมาณปริมาณฝนเรดาร์ให้ใกล้เคียงกับฝนจากสถานีวัดน้ำฝนได้เช่นกัน ซึ่งทำให้ประหยัดงบประมาณในการดำเนินการตรวจวัดของเรดาร์

9.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป

1. การหาการเคลื่อนที่ของภาพเรดาร์ 2 ภาพ การเคลื่อนที่ทำให้สามารถรู้ค่าของสนามความเร็วที่หาได้จากภาพ 2 ภาพ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อหาตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ที่เวลาต่าง ๆ กันเพื่อนำไปใช้ในการพยากรณ์ในระยะสั้นได้ โดยการหาสนามความเร็วการเคลื่อนที่จากข้อมูลในอดีตแล้วทำนายการเคลื่อนที่ของภาพในอนาคต นอกจากนี้เนื่องจากเหตุการณ์ฝนมักมีการแปรเปลี่ยนอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นการ เกิดใหม่ การเติบโต หรือการสลายไป ของฝนมีผลต่อ

ความถูกต้องต่อการคาดคะเนหรือประมาณปริมาณน้ำฝนทั้งสิ้น โดยเฉพาะฝนในประเทศไทยที่เป็นฝนแบบ convective (รัชนิวรรณ, 2549) ดังนั้นการหาการเคลื่อนที่ด้วยจากวิธี MVA จึงควรศึกษาใช้ควบคู่ไปกับการคิดการเพิ่ม (growth) หรือสลายไป (decay) ของกลุ่มฝน เพื่อทำให้เกิดความแม่นยำยิ่งขึ้น

2. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการเปรียบเทียบความเร็วลมที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์กับความเร็วที่คำนวณได้จากวิธี MVA ก็จะทำให้สามารถตรวจสอบการประยุกต์ใช้ MVA กับ การหาความเร็วได้

3. ควรศึกษาลักษณะการก่อตัว หรือสลายตัวของกลุ่มเมฆฝนชนิดต่าง ๆ เพื่อจะทำให้ได้ข้อมูลมาใช้ในการหาสมการความสัมพันธ์ที่หนาแน่นขึ้น จะทำให้ได้ค่าปริมาณน้ำฝนใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

4. ควรมีการศึกษากายการพยากรณ์ฝนโดยใช้ฝนเรดาร์ที่ได้เพื่อให้อาจสามารถพยากรณ์ฝนล่วงหน้าได้ 1-2 ชั่วโมง ซึ่งผลการพยากรณ์ดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการป้องกันน้ำท่วมกรุงเทพมหานคร

5. ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของการนำฝนเรดาร์มาใช้กับแบบจำลองทางอุทกวิทยา เพื่อเป็นแนวทางในการประมาณน้ำหลากท่วมผิวดินต่อไป

9.3 คุณค่าทางวิชาการของวิทยานิพนธ์

คุณค่าทางวิชาการของวิทยานิพนธ์นี้ คือ พบว่าสามารถประยุกต์ใช้วิธี MVA กับข้อมูลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ได้ ทำให้สามารถรวมการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนเข้ากับกระบวนการประมาณปริมาณฝนเรดาร์ ทั้งยังสามารถเพิ่มความถี่ของข้อมูลเรดาร์ในระหว่างค่าการตรวจวัด ทำให้มีข้อมูลเรดาร์เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของ $Z-R$ ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประมาณปริมาณน้ำฝนเรดาร์ของเรดาร์ภาคีเจริญได้ เป็นการเพิ่มความถูกต้องในการประมาณปริมาณฝนเรดาร์ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อระบบอุทกวิทยา นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการนำวิธี MVA มาช่วยในการเพิ่มข้อมูลภาพเรดาร์ทำได้ โดยไม่ต้องเข้าใจถึงการติดตามการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวล ทำให้สามารถสังเคราะห์ข้อมูลภาพเรดาร์ในระหว่างช่วงเวลาที่มีการตรวจวัดจริงได้ ในกรณีที่ไม่สามารถตรวจวัดฝนแบบถี่ ๆ ได้ เนื่องจากการตรวจวัดฝนถี่ ๆ ทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณ จึงสามารถนำวิธี MVA มาใช้สังเคราะห์ข้อมูลให้มีความถี่ของข้อมูลมากขึ้น ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของเรดาร์ได้ จากการศึกษาพบว่าการนำวิธี MVA มาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มความถี่เรดาร์ สามารถทำให้ลดความถี่ในการดำเนินการตรวจวัดของ

เรดาร์ได้ คือสามารถตรวจวัดได้ไม่เกินทุก ๆ 20 นาที จึงเหมาะสมในกรณีที่มีงบประมาณน้อย หรือในประเทศที่กำลังพัฒนา หรือมีงบประมาณจำกัด และยังสามารถประเมินประสิทธิภาพของการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนโดยใช้ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน ทำให้สามารถปรับปรุงการประมาณ ปริมาณน้ำฝนเรดาร์ได้ ซึ่งสามารถนำวิธี MVA ไปประยุกต์ใช้กับเรดาร์อื่น ๆ ต่อไปได้

เนื่องจากฝนในกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่เกิดจากเมฆคิวมูลัสซึ่งเป็นเมฆมีขนาดเม็ดน้ำ ค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับขนาดเม็ดน้ำของเมฆคิวมูโลนิมบัส และยังเคลื่อนที่เร็ว จากการวิเคราะห์ ทำให้ทราบว่าวิธี MVA มีประสิทธิผลในการเพิ่มความถี่ข้อมูลเรดาร์ในเมฆคิวมูลัส ซึ่งทำให้สามารถ ประเมินการปริมาณฝนเรดาร์ได้ถูกต้องเพิ่มมากขึ้น

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- บัญชา ธนบุญสมบัติ (2546). ลม ฟ้า อากาศ, กรุงเทพฯ , สำนักพิมพ์สารคดี.
- ประเสริฐ วิทยาวิรัฐ (2545). ภูมิศาสตร์กายภาพประเทศไทย , กรุงเทพฯ , พัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว.).
- รัชนีวรรณ ตาพุ่มาศสวัสดิ์ (2549). ประกาศทางวิชาการ เรื่องการประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยข้อมูลเรดาร์ , กรุงเทพฯ, สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร.
- วิรัช ฉัตรตรงค์ และ อรอนงค์ วรรณราช (2550). การหาสนามความเร็วด้วยวิธี MVA และการประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความถี่ข้อมูลฝนจากสถานีเรดาร์, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12, จ. พิษณุโลก, วันที่ 2-4 พฤษภาคม 2550.
- วิรัช ฉัตรตรงค์ และ บุญชนะ ทวีรัตน์ (2551). แนวทางการปรับปรุงข้อมูลน้ำฝนจากสถานีเรดาร์โดยใช้แบบจำลองฝนเชิงพื้นที่แบบลำดับขั้น, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13, พัทยา, วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2551.
- ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น (2549). ผลกระทบของการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนต่อปริมาณฝนจากเรดาร์, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 11, จ.ภูเก็ต, วันที่ 19 - 21 เมษายน 2549.
- ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น (2550). การหาความสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์กับความเข้มฝนของเรดาร์ภาคีเจริญ, การประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 2, จ.กรุงเทพฯ, วันที่ 30-31 สิงหาคม 2550.
- ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น (2551). วิศวกรรมอุทกวิทยา, กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 316 หน้า.
- ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น และ คณะ (2552). การวิเคราะห์ประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงกรณีศึกษา : การประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย , สำนักงานฝนหลวงและการบินเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- อนุสรณ์ หอมเมือง (2551). เภณฑ์การจำแนกชนิดของกลุ่มเมฆฝนโดยใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศ, วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

บรรณานุกรม (ต่อ)

ภาษาต่างประเทศ

- Ahrens, D. (1994). *Meteorology today an introduction to weather, climate and the environment* Fifth Edition - West Publishing Co.
- Atlas, D. (1990). *Radar in Meteorology : Battan Memorial and 40th Anniversary Radar Meteorology Conference*, published by American Meteorological Society., Boston, 860 page, ISBN 0-933876-6, AMS Code RADMET.
- Atlas, D., Ulbrich, C.W., Jr., F.D.M., Amitai, E. and Williams, C.R. (1999). Systematic variation of drop size and radar-rainfall relation, *J. Geophys. Res.*, **104**, pp 155-169.
- Austin, G.L. and Bellon A. (1982). Very-short-range forecasting of precipitation by objective extrapolation of radar and satellite data. *Nowcasting*, K. Browning, Ed., Academic Press., pp 177-190.
- Austine, P.M and Houze Jr. (1987). Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall, *Mon. Wea. Rev.*, **115**, pp 1053-1070.
- Battan, L.J. (1973). *Radar observation of the atmosphere*, Univ. of Chicago Press, Chicago, pp 324.
- Bjerkaas, C.L. and Forsyth, D.E. (1979). Real-time automotive tracking of severe thunder storms using Doppler weather radar. Preprints, 11th Conf. on Severe Local Storms, Kansas City, MO, *Amer. Meteor. Soc.*, pp 573-576.
- Bloschl, G. and Sivapalan, M. (1995). Scale issues in hydrological modeling, *Hydrological Processes.*, **9(3-4)**, pp 251-290.
- Boak, T.I.S., Jagodnik, A.J., Marshall, R.B., Riceman, D. and Young, M.J. (1977). Tracking and significance estimator. R&D equipment Information Rep., Contract AFGL-TR-77-0259, Raytheon, Wayland, MA, pp 118. [Available from Raytheon Company, 141 Spring St., Lexington, MA 02173.]

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Borga, M., Tonelli, F., Moor, R.J and Andrieu (2002). Long-term assessment of bias adjustment in radar rainfall estimation. *Water Resour. Res.*, **38**(11), pp (8-1)-(8-10).
- Bowler, N.E.H., C.E., Pierce, and Seed, A. (2004). Development of a precipitation nowcasting algorithm based upon optical flow techniques. *J. Hydro.*, **288**, pp 74-91.
- Brandes, E.A. (1975). Optimising rainfall estimates with the aid of radar, *J. Appl. Meteorol.*, **14**, pp 1339-1345.
- Ciach, G.J., Krajewski, W.F., Anagnostou, E.N., McCollum, J.R., Baeck, M.L., Smith, J.A. and Kruger, A. (1997) Radar rainfall estimation for ground validation studies of the Tropical rainfall measuring mission, *J. Appl. Meteorol.*, **36**, 735-747.
- Cole, J. and Moore, J. (2008) Hydrological modeling using raingauge- and radar-based estimations of areal rainfall. *J. Hydrol.*, **358**(3-4), 159-181.
- Collier, C.G., Larke, P.R. and May, B.R. (1983). A weather radar correction procedure for real-time estimation of surface rainfall. *Q.J.R.M.S.*, **109**, pp 589-608.
- Collinge, V.K. (1991). Weather radar calibration in real time: Prospects for improvement , In: Hydrology Applications of Weather Radar, Eds. Cluckie, I.D. and Collier, C.G., Ellis Horwood, Chinchester. U.K., pp 25- 42.
- Crane, R.K. (1979). Automatic cell detection and tracking. *IEEE Trans. Geosci. Electron.*, **GE-17**, pp 250-262.
- Chatdarong, V. and Vonnarart, O. (2007) Velocity field estimation by the Multi-resolution viscous alignment (MVA) algorithm and its application on precipitation temporal downscale, 12th National Convention on Civil Engineering, 2-4 May 2007 Phisanulok, Thailand.
- Chumchean, S., Seed , A. and Sharma A. (2003). Radar rainfall error variance and its impact on radar rainfall calibration, *J. Phys. Chem. Earth.*, **28**, pp 27-39.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Chumchean, S., Seed, A. and Sharma A. (2003). Effect of storm types in radar rainfall estimates, *J. Phys. Chem. Earth.*, **28**, pp 27-39.
- Chumchean S., Seed, A. and Sharma, A. (2004). Correcting of real-time radar rainfall bias using A Kalman filtering approach, Six International Symposium On Hydrological Application of Weather Radar, Melbourne Australia, 2-4 February 2004.
- Chumchean S., Seed, A. and Sharma, A. (2004). Application of scaling in radar reflectivity for correcting range-dependent bias in climatological radar rainfall estimates., *Amer meteorol Soc.*, **21**, pp 1545-1556.
- Chumchean, S. and Einfalt, T. (2548). Real-time radar rainfall estimation for Bangkok Metropolitan area, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 10 จังหวัดชลบุรี วันที่ 2-4 พฤษภาคม 2548.
- Chumchean, S. ,Einfalt, T., Vibulsirikul, P., Mark,O. (2005). To prevent floods in Bangkok: An operational radar and RTC application- Rainfall forecasting., 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, 21-26 August 2005.
- Chumchean S., Sharma A., Seed A. (2008). An operational approach for classifying storms in real-time radar rainfall., *J. Hydrol.*, **363(1-4)**, pp 1-17.
- Committee on weather radar technology beyond NEXRAD, (2002). Weather radar technology beyond NEXRAD., Board on Atmospheric Science and Climate Division on Earth and Life Studies National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C.
- David C. (2000). Radar-rainfall estimates in Florida during 1999 hurricane season., *Water Resource* 2000, **104**, pp 136-146.
- Doelling, I.G., Joss, J. and Riedel., J. (1998). Systematic variations of Z-R relationships measured in northern Germany during seven years., *Atmos. Res.*, **47-48**, pp 635-649.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Dicken, J. (2003). On the Retrieval of Drop Size Distribution by Vertically Pointing Radar. American Meteorological Society 32nd Radar Meteorology Conference Albuquerque, NM, October, 2005.
- Dixon, M. and Weiner, G. (1993). TITAN: Thunderstorm identification, tracking, analysis and nowcasting – A radar based methodology., *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **10**, pp 785-797.
- Dong, L. and Boyer, A.L. (1996). A portal image alignment and patient setup verification procedure using moments and correlation techniques., *Phys. Med. Biol.*, **41**, pp 697-723.
- Doviak, R.J. and Zrnic, D.S. (1992). Doppler radar and weather observations, Academic Press Inc., Orlando, Florida, U.S.A., pp 545.
- Euler, L. (1744). A method for finding curved lines enjoying properties of maximum or minimum, or solution of isoperimetric problems in the broadest accepted sense. Pittsburgh PA, USA.
- Fulton, R.A., Breidenbach, J.P., Seo, D.-J., Miller, D.A. and O'Brannon, T. (1998). The WSD-88D rainfall algorithm, *Weather Forecasting.*, **13**, pp 377-395.
- Kay, S.M. (1988). Modern Spectral Estimation: Theory and Application., Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Koege, S. (2008). Radar displays and phenomena, Advanced course in radar meteorology. Helsingin Yliopisto, Helsingfors University, University of Helsinki, Finland.
- Krajewski, W.F. (1997). Rainfall estimation using weather radar and ground stations, In Weather Radar Technology for Water Resources Management, Eds. Braga and Massambani, UNESCO Press.
- Delobbe, E., Bastin, G., Dierickx, P. and Goudenhoofd, E. (2008). Evaluation of radar-gauge merging methods for quantitative precipitation estimates., *J. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, **5**, pp 2975-3003.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Gray, W. and Larsen, H. (2004). Radar rainfall estimation in the New Zealand context. Sixth International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar Melbourne, Australia, 2-4 February 2004.
- Han, L., Fu, S., Yang, G., Wang, H., Zheng, Y. and Lin, Y. (2008). A stochastic method for convective storm identification, tracking and nowcasting., *Pro. Natur. Sci.*, **18**, pp 1557-1563.
- Haberlandt, U. (2007). Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event., *J .Hydro.*, **5**, pp 2975-3003.
- Handwerker, J. (2002). Cell tracking with TRACE3D a new algorithm., *Atmos. Res.*, **61**, pp 15-34.
- Hannesen, R. (2002). An enhanced surface rainfall algorithm for radar data. MUSIC deliverable 4.4, 28th Aug 2002.
- Hilst, G .R. and Russo, J.A., Jr. (1960). An objective extrapolation technique for Semi-conservative fields with an application to radar patterns, Tech. Memo. No. 3, Contract AF30-635-14459, The Travelers Weather Research Center, Inc.
- Johnson J.T., Mackeen ,P.L., Arthur Witt, Mitchell ,E. D., Stumpf, G.J., Eilts, M.D. and Thomas., K.W. (1998). The Storm cell identification and tracking algorithm:An enhanced WSR-88D algorithm., **13**, pp 263-276.
- Johnson, H., Rickenbach, M., Rutledge, A., Ciesielski, E. and Schubert, H. (1999). Trimodal characteristics of tropical convective., *Amer. Meteor. Society.*, **12**, pp 2397-2418.
- Jordan, P.W., Seed, A.W. and Austin, G.L. (2000). Sampling errors in radar estimates rainfall., *J. Geophys. Res.*, **105**, pp 2247-2257.
- Joss, J. and Waldvogel, A. (1990). Precipitation measurement and hydrology. *Battan Memorial and 40th Anniversary Radar in Meteorology*, Ed. Atlas, D., Amer. Meteor. Soc., Bostan, U.S.A., pp 577-606.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Joss, J. and Lee, R. (1995). The application of radar-gauge comparisons to operational precipitation profile correction., *J Appl. Meteorol.*, **34**, pp 2612-2630.
- Junck, L., et al. (1990). Correlation methods for the centering, rotation, and alignment of functional brain images., *J. Nucl. Med.*, **31(7)**, pp 1220-1226.
- Lai E.S.T. (1999). TREC application in tropical cyclone observation. Proceedings, ESCAP/WMO Typhoon Committee Annual Review, Seoul, The Typhoon Committee, pp 135-139.
- Lee, D.I., Jang, M., You, C.H. , Kim ,K.E. and Suh, A.S. (2001). Kuduck DWSR-88C radar rainfall estimation and Z-R relationship by POSS during 2001 in Korea., Department of Environmental and Atmospheric Sciences, Pukyong National University.
- Li, L., Schmid, W. and J. Joss. (1995). Nowcasting of motion and growth of precipitation with radar over a complex orography., *J. Appl. Meteorol.*, **34**, pp 1286-1300.
- Martner, B.E and Dubovski, V. (2005). Z-R Relations from Raindrop Disdrometer : Sensitivity To Regression Methods And DSD Data Refinements. 32nd Radar Meteorology Conference, Albuquerque, NM, October, 2005.
- Marshall, J. S. and Palmer, W. M. (1948). The distribution of raindrops with size., *J. Meteorol.*, **5**, pp 165-166.
- Morin, J., Rosenfeld, D. and Amitai, E. (1995). Radar rain field evaluation and possible use of its High temporal and spatial resolution for hydrological purposes., *J. Hydro.*, **172**, pp 275-292.
- Marple, S. L. (1987). Digital Spectral Analysis with Applications. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Piccolo, F. and Chirico, G.B. (2005). Sampling errors in rainfall measurements by weather radar., *Adv.in Geo*, **2**, pp 151-155.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Piman, T., Babel, M. S., Das Gupta, A. and Weesakul, S. (2007). Development of a window correlation matching method for improved radar rainfall estimation, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **11**, pp 1361-1372.
- Puttaraksa, P. and Sriwongsitanon, N. (2008). Climatological Z-R relationship for radar rainfall estimation in the upper Ping river basin., *ScienceAsia*, **34**, pp 215-222.
- Press, W.H., Teulkolsky, S.A., Vetterling, W.T. and Flannery, B.P. (1992). Numerical recipes in C: the art of scientific computing. Cambridge University Press, pp 703-705.
- Probert-Jones, J.R. (1989). A history of radar meteorology in the United Kingdom, Battan Memorial and 40th Anniversary Conf. on Radar meteorology Volume, Boston, Massachusetts.
- Ravela, S. (2004) Shaping receptive fields for affine invariance. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition . **2(8)**, pp 725-730.
- Ravela S., Torralba, A. and Freeman, W.T. (2005). An ensemble prior of image structure for cross-model inference. Proc 10th International Conference of computer Vision, **1**, pp 871-876.
- Ravela S., Emanuel, S.K. and McLaughlin, D. (2006). Data assimilation by field alignment. *Physica(D)*., **230**, pp 127-145.
- Ravela, S. and Chatdarong, V. (2006). Rainfall advection using velocimetry by Multi-resolution Viscous Alignment. Technical Report arXiv, physics/0604158, April 2006.
- Rayleigh, L. (1871). On the scattering of light by small particles., *Phil. Mag.*, **41**, pp 447-452.
- Rinehart, R.E. and Gravey, E.T. (1978). Three-dimension storm motion detect by conventional weather radar., *Nature*, **273** , pp 287-289.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Rosenfeld, D. (1987). Objective method for analysis and tracking of convective cells as seen by radar., *J. Atmos. Oceanic. Technol.* **4**, pp 422-434.
- Rosenfeld, D., Wolff, D.B., and Atlas, D. (1993). General probability-matched relations between radar reflectivity and rain rate., *J. Appl. Meteorol.*, **32**, pp 50-72.
- Rosenfeld, D., Wolff, D.B., and Amita, E. (1994). The window probability matching method for rainfall measurements with radar., *J. Appl. Meteorol.*, **33**, pp 682-693.
- Sauvageot, H. (1992). Radar meteorology, Boston, MA, Artech House.
- Sauvageot, H. (1994). Rainfall measurement by radar., *Atmos Res.*, **35**, pp 27-54.
- Seed, A.W., Nicol j., Austin, G.L., Stow, C.D. and Bradley, S.G. (1997). A Physical basis for parameter selection for Z-R relationships. <http://www.unesco.org.uy/phi/libros/radar/art05.html>, 10/3/2006.
- Seed, A.W., Sirivardena, L., Sun, X., Jordan, P. and Elliott, J. (2002). On the Calibration of Australian Weather Radars, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Technical Report 02/7, Melbourne, Australia, pp 40.
- Seo, D.-J. and Breidenbach, J.P. (2002). Real time correction of spatially nonuniform bias in radar rainfall data using raingauge measurements., *J. Hydrol. meteorol.*, **3**, pp 93-111.
- Sokol, Z. (2003). Utilization of regression models for rainfall estimates using radar-derived rainfall data and rain gauge data. , *J. Hydrol.* **278**, pp 144-152.
- Steiner, M., Houze, R. A. and Yuter, S. E. (1995). Climatological characterisation of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data., *J. Appl. Meteorol.*, **34**, pp 1978-2007.
- Steiner, M. and Smith, J.A. (1997a). Anomalous signal propagation-An assessment of its potential to occure and ways to mitigate the problem in operational radar data, in 13th *Int. Conf. on Radar Meteorology*, Montreal, QC, Canada, Amer. Meteor. Soc., pp 117-120.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Steiner, M. and Smith, J.A. (1997b). Anomalous propagation of radar signals- Challenges with clutter, in 28th *Int. Conf. on Radar Meteorology*, Montreal, QC, Canada, Amer. Meteor. Soc., pp 501-503.
- Steiner M., Smith, J.A., Kessinger, C. and Ferrier., B.S. (1999b) : Evaluation of algorithm parameters for radar data quality control. Preprints, 29th *Int. Conf. on Radar Meteorology*, Montreal, QC, Canada., Amer. Meteor. Soc., pp 582–585.
- Steiner, M. and Smith, J.A., (2000). Reflectivity, rain rate, and kinetic energy flux relationships based on raindrop spectra., *J. Appl. Meteorol.*, **35**(11), pp 1923-1940.
- Takeuchi, K. (1985). An automatic storm tracking method used to analyze traveling characteristics of heavy rain areas, *Natural Disaster Science*, **7**(1), pp13-24.
- Teschl, R., Randeu, W.L. and Teschl F. (2007). Improving weather radar estimates of rainfall using feed-forward neural networks., *Neural Networks* , **20**, pp 519-527.
- Tikhonov, A.N., and Arsenin, V.Y. (1977). Solutions of Ill-Posed Problems. Wiley, New York.
- Todini, E. (2001). A Bayesian technique for conditioning radar precipitation estimates to rain-gauge measurement , *Hydrol. Earth System Sci.*, **5**(2), pp 187-199.
- Tokay, A. and Short, D.A. (1995). Evidence from tropical raindrop spectra of the origin of rain from stratiform versus convective clouds, *J. Appl. Meteorol.*, **35**, pp 355-371.
- Tuttle, J.D. and G.B., Foote. (1990). Determination of the boundary layer airflow from a single Doppler radar., *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **7**, pp 218-232.
- Yau, M K. and Roger R.R. (1976). Short Course in Cloud Physics 1976 (First Edition ed.), Butterworth-Heinemann.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- William, L.C., Claude, E.d., Ravikumar, R. and Steven, J. (1995). Assessment of rainfall estimates using a standard Z-R relationship and the probability matching method applied to composite radar data in central Florida., *J. Appl. Meteorol.*, **35**, pp 1203-1219.
- Wilson, J.W. (1970). Integration of radar and raingauge data for improved rainfall measurement., *J. Appl. Meteorol.*, **9**, pp 489-497.
- Woodley, W.L. (1970). Precipitation results from a pyrotechnic cumulus seeding experiment., *J. Appl. Meteorol.*, **9**, pp 242-257.
- Wesson, S.M. and Pegram, G.S., (2006). Improved radar rainfall estimation at ground level., *Nat. Hazards Earth Syte.Sci.*, **6**, pp 323-326.
- Zawadzki, I. (1984). Factors affecting the precision of radar measurements of rain, *Proc., 22nd Radar Meteorology Conf., Amer. Meteorol. Soc.*, Zurich, Switzerland, pp 251-256.

ภาคผนวก ก

Regression Model

ก. 1 แบบจำลองเชิงถดถอย Regression Model

เนื่องจากในการวิเคราะห์ปัญหาในด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำพบว่าปัญหาส่วนใหญ่ที่ต้องแก้ไขนั้นประกอบด้วยตัวแปรหลายตัวและเพื่อเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดังกล่าวเหล่านั้นจึงนิยมนำสมการทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการอธิบายความสัมพันธ์ ซึ่งเรียกสมการทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวว่าแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical model) โดยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่แสดงออกมาในรูปเชิงคณิตศาสตร์ เรียกว่า แบบจำลองเชิงถดถอย (Regression model) ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียวและตัวแปรตามแปรผันตามตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว เรียกว่า การถดถอยเชิงเดียว (Simple regression) และในกรณีที่มีตัวแปรอิสระหลายตัวและตัวแปรตามแปรผันตามตัวแปรอิสระหลายตัว เรียกว่า การถดถอยหลายชั้น (Multiple regression)

การวิเคราะห์การถดถอย เป็นเครื่องมือทางสถิติอย่างหนึ่งที่ศึกษาความแปรผันของตัวแปรตาม เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรอิสระหนึ่งตัวหรือหลายตัว โดยพยายามที่จะหาสมการซึ่งพอเพียงในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านั้น สมการที่ต้องการควรจะเป็นสมการที่ค่อนข้างง่าย แต่ในขณะเดียวกันก็สามารถประมาณความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านั้นได้ใกล้เคียงมากที่สุดด้วย พร้อมทั้งต้องสามารถวัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องในกระบวนการของการประมาณค่าออกมาได้ด้วย ดังนั้นในการศึกษาในครั้งนี้จึงประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงถดถอย (Regression model) เข้ามาช่วยในการหาค่าความสัมพันธ์ของค่ากำลังการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Radar Reflectivity Factor , Z ในหน่วย $\text{มม.}^6 \text{ม.}^{-3}$) ที่ใช้วัดปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ (ฝนบนฟ้า) กับอัตราความเข้มของปริมาณน้ำฝน (Rain Rate , R ในหน่วย มม./ชม.) ที่วัดจากสถานีวัดน้ำฝนบนพื้นดิน (ฝนบนดิน) ซึ่งความสัมพันธ์จะอยู่ในรูป Z - R Relationship : $Z=aR^b$ และจากสมการความสัมพันธ์ Z - R ดังกล่าวสามารถใช้แบบจำลองเชิงถดถอยวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a และ b โดยแบบจำลองดังกล่าวมีรายละเอียดของทฤษฎีสมมติฐานการประมาณค่าพารามิเตอร์และขั้นตอนในการดำเนินการเพื่อสร้างแบบจำลองเชิงถดถอยที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

แบบจำลองเชิงถดถอยสามารถแสดงได้ดังนี้

$$y_i = \beta_0 x_i^{\beta_1} e_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (n-1)$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตาม (Dependent variable) เนื่องจากค่า y ขึ้นอยู่กับค่า x

x คือ ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

e_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

β_0, β_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย (Regression Coefficient)

1.1 สมมติฐานของการวิเคราะห์ความถดถอย

ในการวิเคราะห์ความถดถอยให้มีความถูกต้องนั้นต้องเป็นไปตามสมมติฐานดังต่อไปนี้
กัลยา (2540)

- 1) ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน $v(e_i)$ มีค่าเท่ากันทุกค่าของ i และมีค่าเท่ากับค่าความแปรปรวนของ y

$$v(e_i) = v(y) = \sigma_{yx}^2 = \sigma^2 \quad (n-2)$$

- 2) ค่าความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j เป็นอิสระกัน นั่นคือ $\text{Cov}(e_i, e_j) = E(e_i, e_j) = 0; i \neq j$

- 3) ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และค่าความแปรปรวนเท่ากับ σ^2

1.2 การประมาณค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ของสมการเชิงถดถอย

การประมาณค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ทุกตัว (β) มีวิธีที่นิยมใช้ 3 วิธี ดังนี้ กัลยา (2546)

- 1) ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นในการหาค่าเริ่มต้นของค่า β_0, β_1 โดยไม่พิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน จากนั้นใช้ค่า β_0, β_1 ดังกล่าวที่หาค่าได้ เป็นค่าเริ่มต้นของ β_0, β_1 ในการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้น
- 2) ใช้การแทนค่าข้อมูลจริงในสมการไม่เชิงเส้น

3) ใช้วิธีการแก้สมการโดยมีจำนวนสมการเท่ากับจำนวนพารามิเตอร์ จากนั้นแทนค่า x และ y จำนวน 2 คู่ และทำการแก้สมการหาค่าพารามิเตอร์ แล้วใช้ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวที่หาค่าได้เป็นค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้น

1.3 การสร้างแบบจำลองเชิงถดถอยที่เหมาะสม

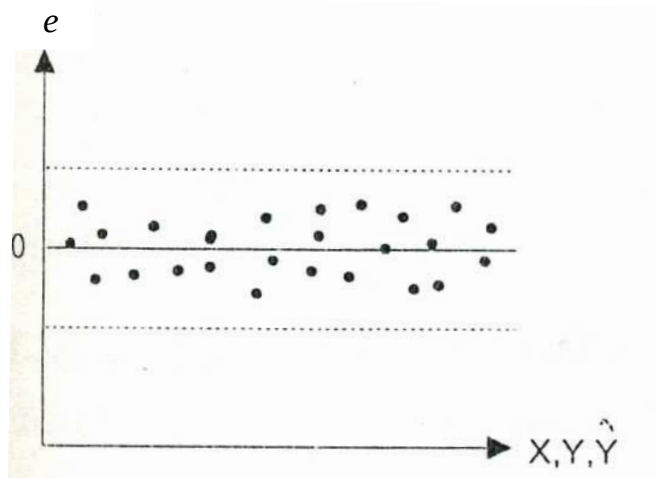
การสร้างแบบจำลองเชิงถดถอยที่เหมาะสมมีขั้นตอนและขั้นตอนการในการดำเนินการดังต่อไปนี้กัลยา (2540)

- 1) พิจารณานำข้อมูลของตัวแปรอิสระ x และตัวแปรตาม y มาเขียนแผนภาพการกระจาย
- 2) พิจารณาจากแผนภาพการกระจายในข้อ 1) ว่า x และ y มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบสมการที่แสดงความสัมพันธ์คือ

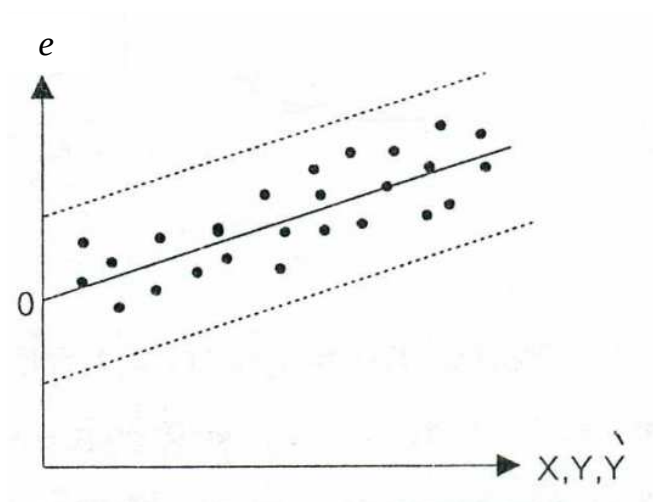
$$y_i = \beta_0 x_i^{\beta_1} e_i \quad (n-3)$$

- 3) ประเมินค่า β_0 และ β_1 เริ่มต้นโดยใช้วิธีที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 3
- 4) นำค่าประมาณ β_0 และ β_1 เริ่มต้นที่หาค่าได้ในข้อ 3) มาใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการวิเคราะห์หาค่า β_0 และ β_1 ในรอบที่ 2 และทำต่อไปจนถึงรอบที่ $n+1$ จนกว่าจะได้ค่าผลต่าง ระหว่างผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยในรอบที่ $(n+1)-n$ เข้าสู่ค่าคงที่ที่น้อยที่สุด ผลลัพธ์จึงจะได้ค่าประมาณ β_0 และ β_1
- 5) คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตัวอย่าง (r)
- 6) ตรวจสอบค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน

ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบว่า $v(e_i) = \sigma^2 =$ ค่าคงที่ทุกค่าของ x หรือไม่ ถ้าคงที่จะเรียกว่า Homoscedasticity และถ้าไม่คงที่เรียกว่า Heteroscedasticity ดังนั้นการตรวจสอบค่าคงที่ของค่าความแปรปรวนจึงพิจารณาจากการพล็อตกราฟระหว่างค่า x กับ e หรือ กราฟระหว่างค่า y กับ e หรือ กราฟระหว่าง ค่า $\hat{y}$ กับ e ดังแสดงในรูปที่ ก. 1-1 ถึง ก. 1-5

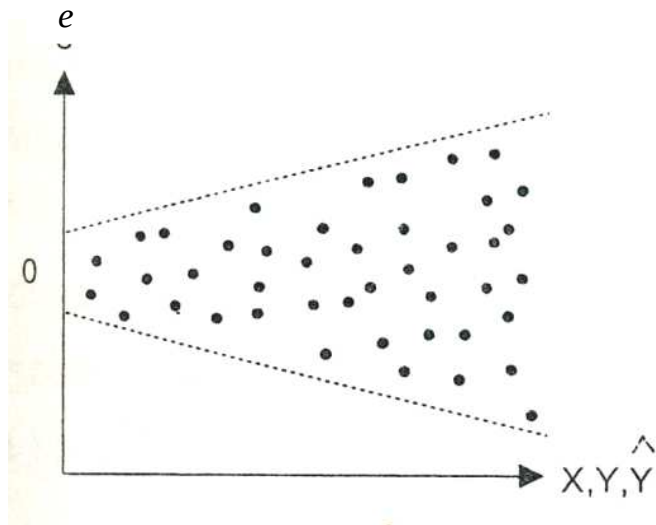


ภาพที่ ก. 1-1 แสดงกราฟระหว่างค่า $x, y, \hat{y}$ กับค่า e

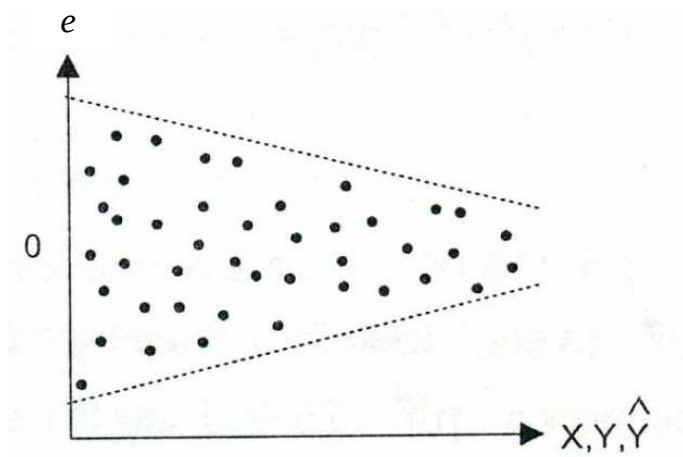


ภาพที่ ก.1-2 แสดงกราฟระหว่างค่า $x, y, \hat{y}$ กับค่า e

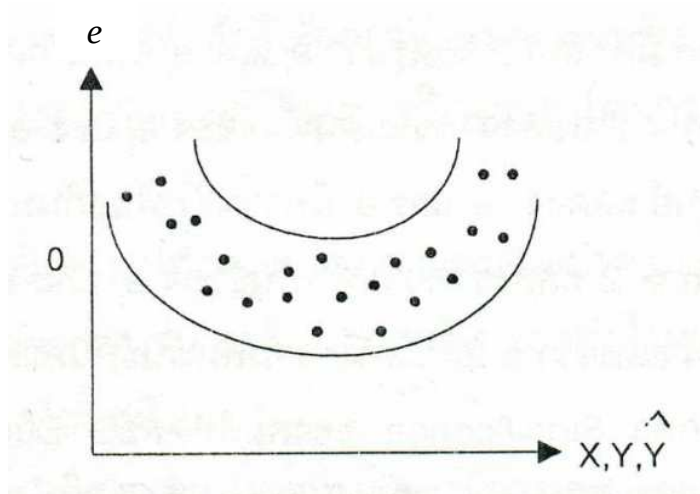
ถ้าพล็อตกราฟระหว่างค่า x กับ e หรือ กราฟระหว่างค่า y กับ e หรือ กราฟระหว่าง ค่า $\hat{y}$ กับ e ได้ดังแสดงในรูปที่ ก. 1-1 และ ก. 1-2 แสดงว่าค่า $v(e_i)$ มีค่าคงที่



ภาพที่ ก. 1-3 แสดงกราฟระหว่างค่า $x, y, \hat{y}$ กับค่า e



ภาพที่ ก. 1-4 แสดงกราฟระหว่างค่า $x, y, \hat{y}$ กับค่า e

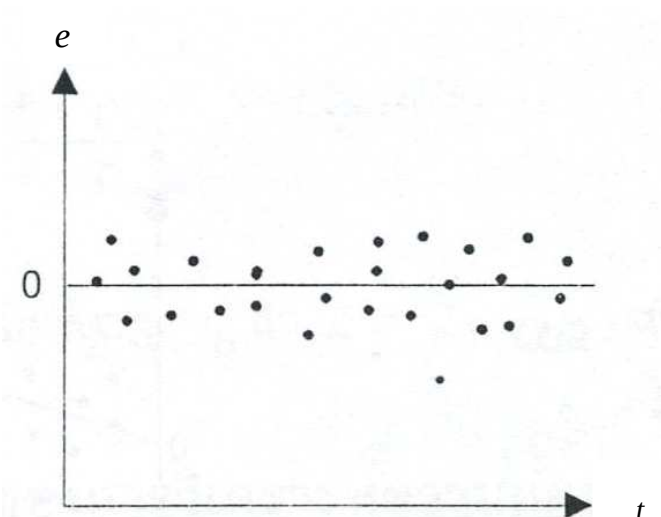


ภาพที่ ก. 1-5 แสดงกราฟระหว่างค่า $x, y, \hat{y}$ กับค่า e

ถ้าพล็อตกราฟระหว่างค่า x กับ e หรือ กราฟระหว่างค่า y กับ e หรือ กราฟระหว่าง ค่า $\hat{y}$ กับ e ได้ดังแสดงในรูปที่ ก. 1-3 ถึง ก. 1-5 แสดงว่าค่า $v(e_i)$ มีค่าไม่คงที่

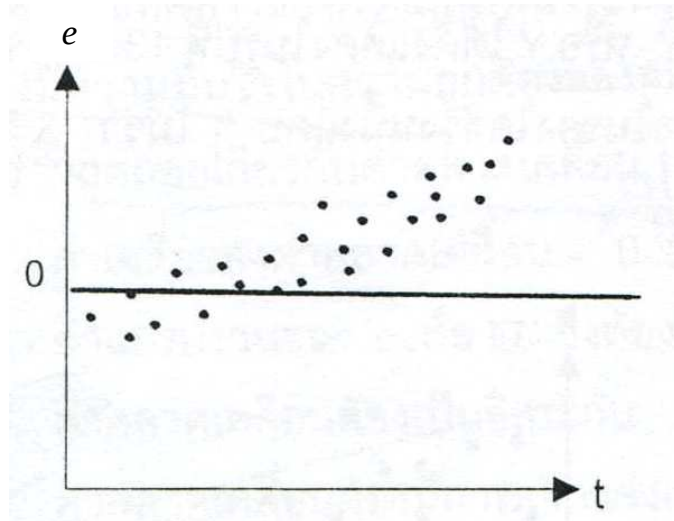
7) ตรวจสอบความเป็นอิสระระหว่างความคลาดเคลื่อน

ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบความเป็นอิสระกันระหว่างความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j สามารถทำได้โดยการพล็อตกราฟ e_i และ e_j กับเวลา t ดังแสดงในภาพที่ ก. 1-6 ถึง ก. 1-8

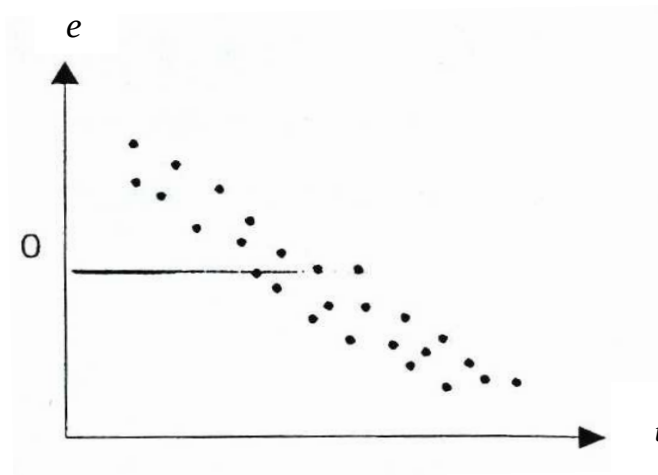


ภาพที่ ก. 1-6 แสดงกราฟระหว่าง e_i และ e_j กับเวลา t

ถ้าพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่า e_i และ e_j กับเวลา t ดังแสดงในรูปที่ ก. 1-6 แสดงว่า e_i และ e_j เป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ ก. 1-7 แสดงกราฟระหว่าง e_i และ e_j กับเวลา t



ภาพที่ ก. 1-8 แสดงกราฟระหว่าง e_i และ e_j กับเวลา t

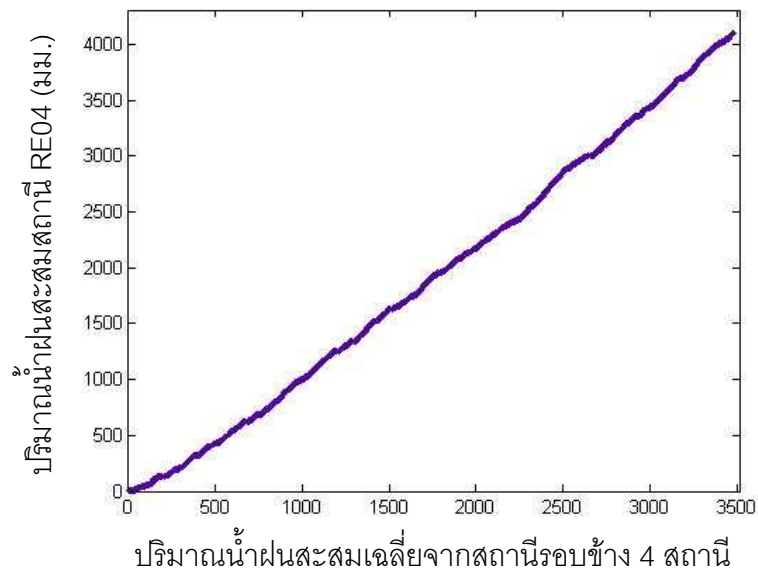
ถ้าพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่า e_i และ e_j กับเวลา t ดังแสดงในภาพที่ ก. 1-7 และ ก. 1-8 แสดงว่า e_i และ e_j ไม่เป็นอิสระต่อกัน

ภาคผนวก ข

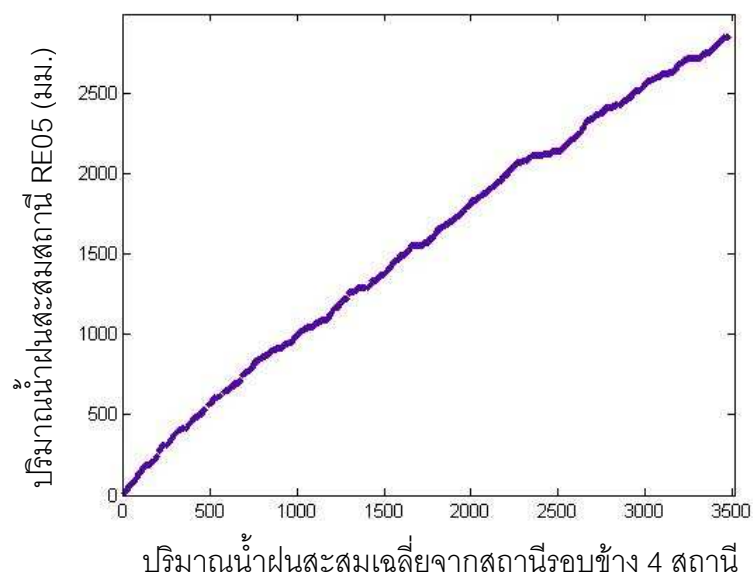
การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝนด้วยวิธีการ Double mass curve

ข. การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝนด้วยวิธีการ Double mass curve

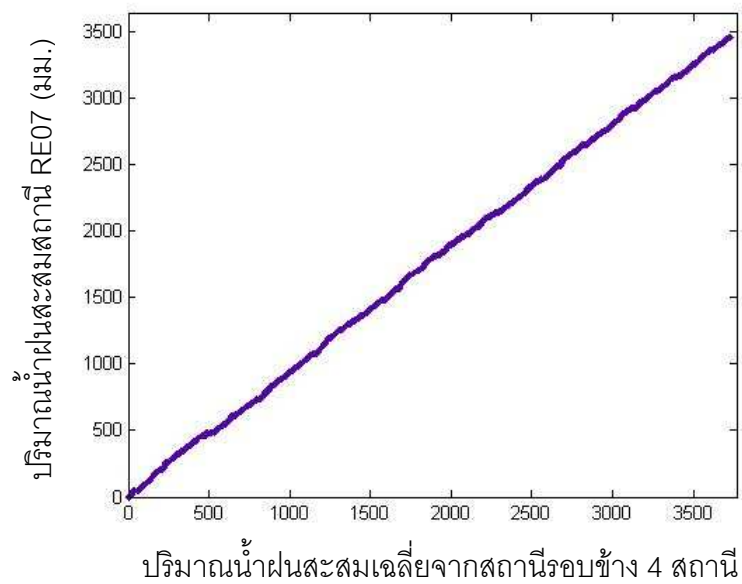
ในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาตรวจสอบข้อมูลน้ำฝนด้วยวิธีการ Double mass curve ในช่วงปี พ.ศ. 2548 ถึง ปี พ.ศ. 2550 โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีของสถานีวัดน้ำฝนที่ต้องการตรวจสอบ กับปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีของสถานีวัดน้ำฝนเฉลี่ย 4 สถานีที่อยู่รอบข้างพบว่าข้อมูลน้ำฝนของสถานีที่ต้องการตรวจสอบสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของ 4 สถานีที่อยู่รอบข้างโดยพิจารณาค่าความลาดชันของกราฟสะสมของสถานีที่ต้องการตรวจสอบเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับค่าเฉลี่ยของสถานีรอบข้าง 4 สถานี แสดงให้เห็นว่าข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้มีความเชื่อถือได้ โดยสามารถพิจารณาตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝนด้วยวิธีการ Double mass curve ได้ดังนี้



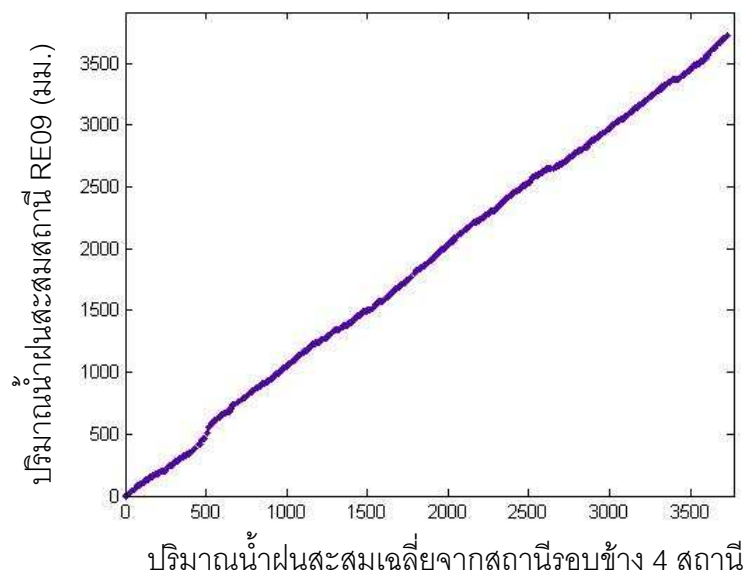
ภาพที่ ข-1 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE04



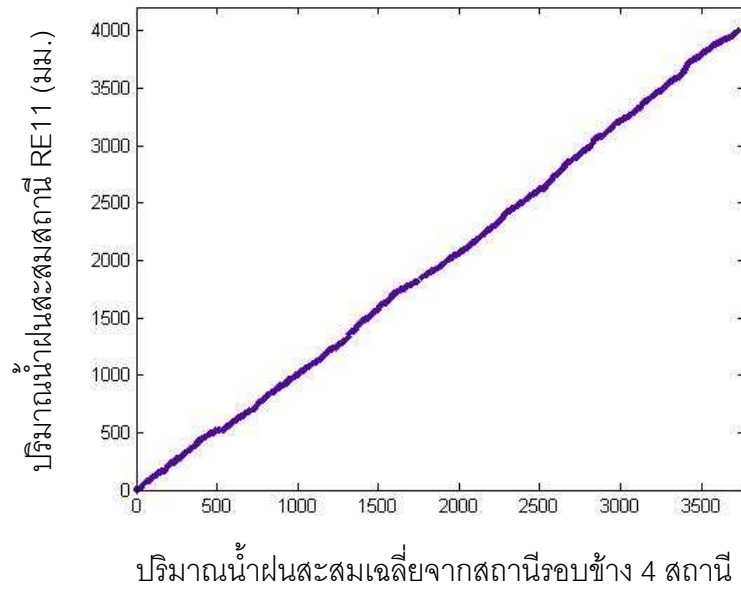
ภาพที่ ข-2 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE05



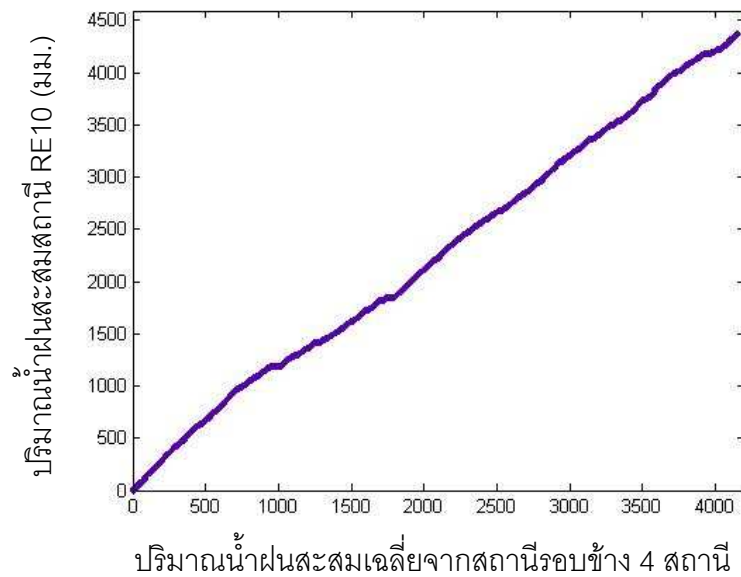
ภาพที่ ข-3 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE07



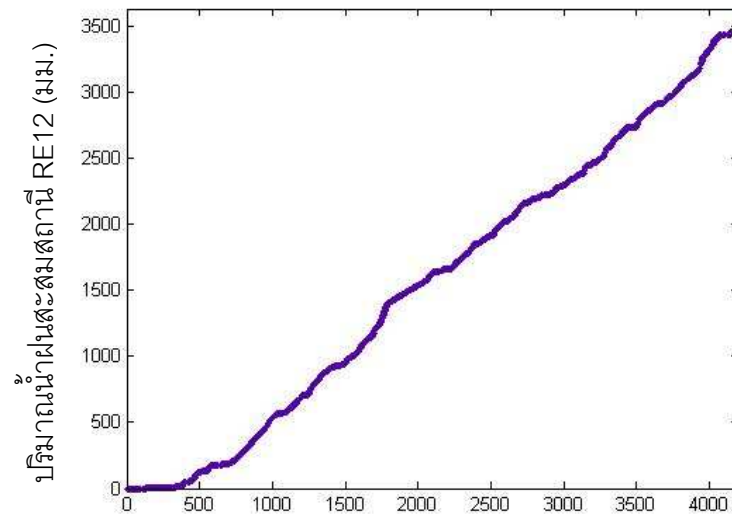
ภาพที่ ข-4 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE09



ภาพที่ ข-5 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE11

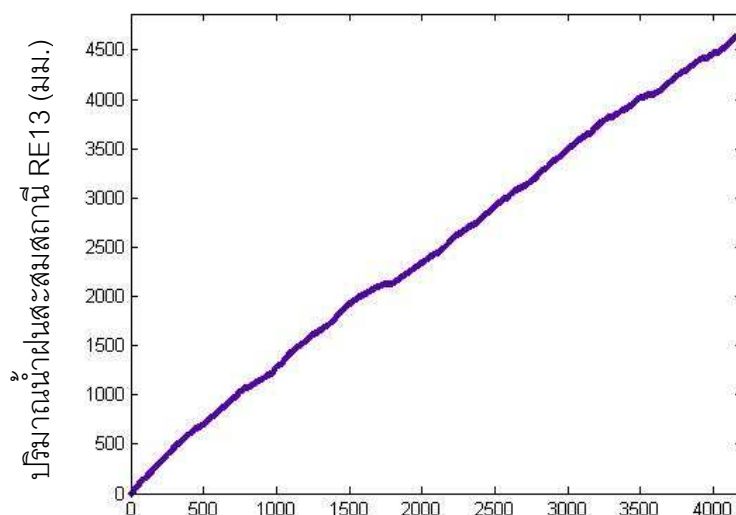


ภาพที่ ข-6 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE10



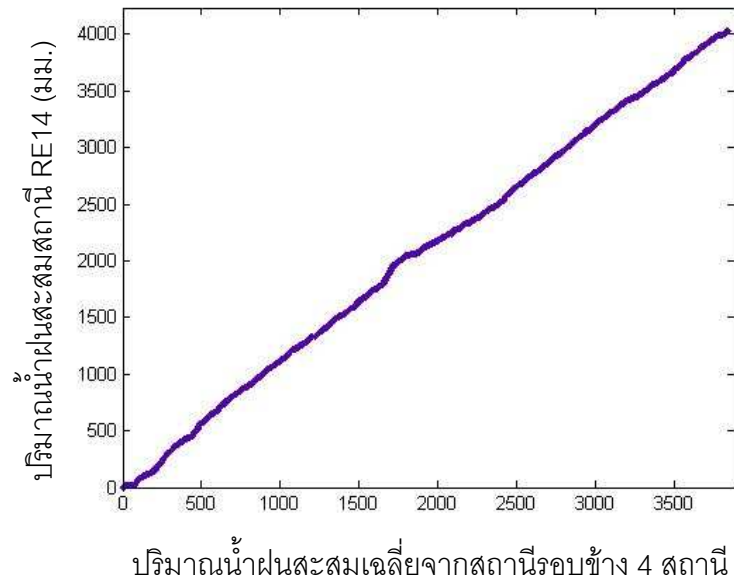
ปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยจากสถานีรอบข้าง 4 สถานี

ภาพที่ ข-7 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE12

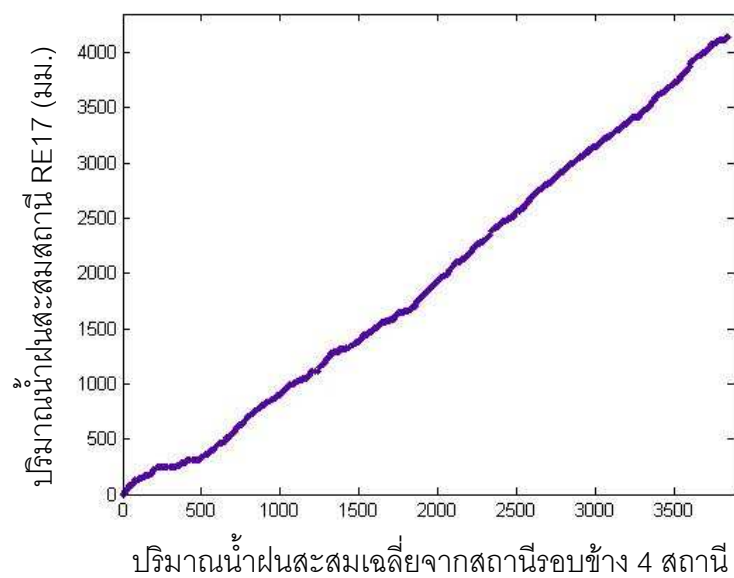


ปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยจากสถานีรอบข้าง 4 สถานี

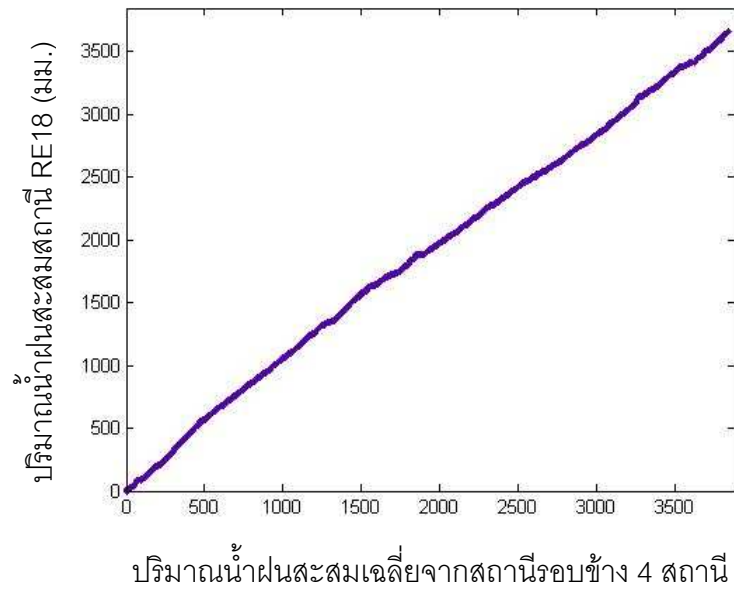
ภาพที่ ข-8 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE13



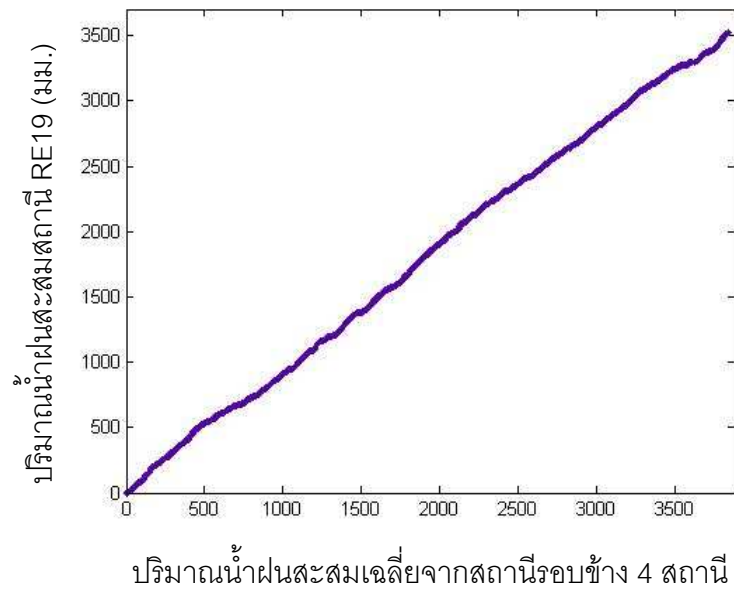
ภาพที่ ข-9 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE14



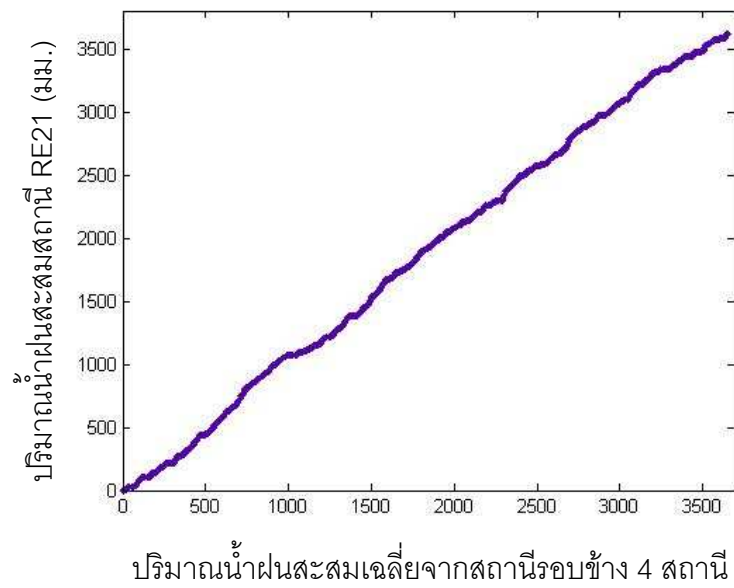
ภาพที่ ข-10 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE17



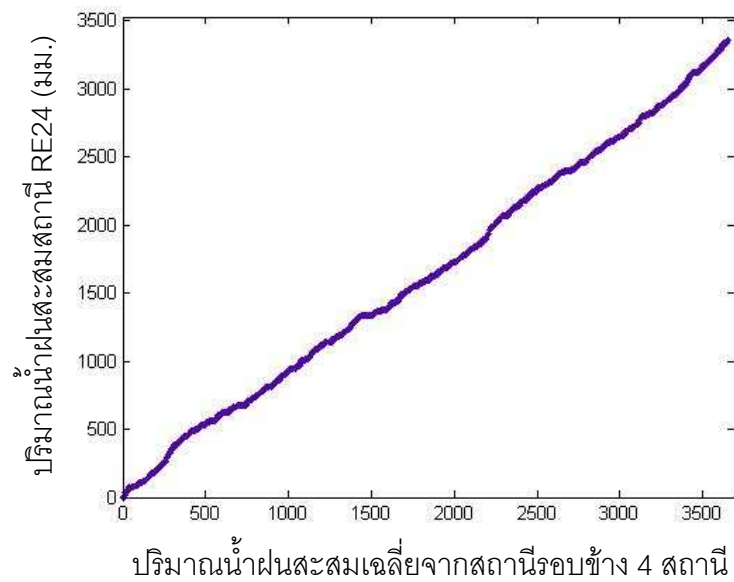
ภาพที่ ข-11 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE18



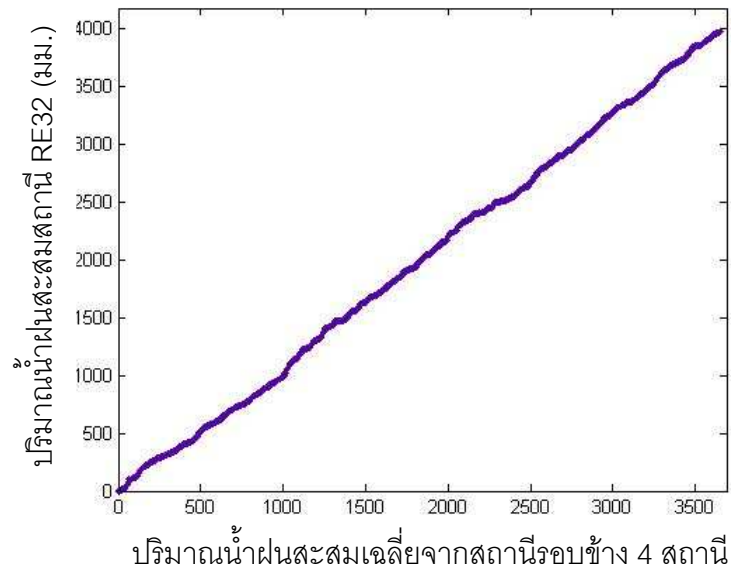
ภาพที่ ข-12 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE19



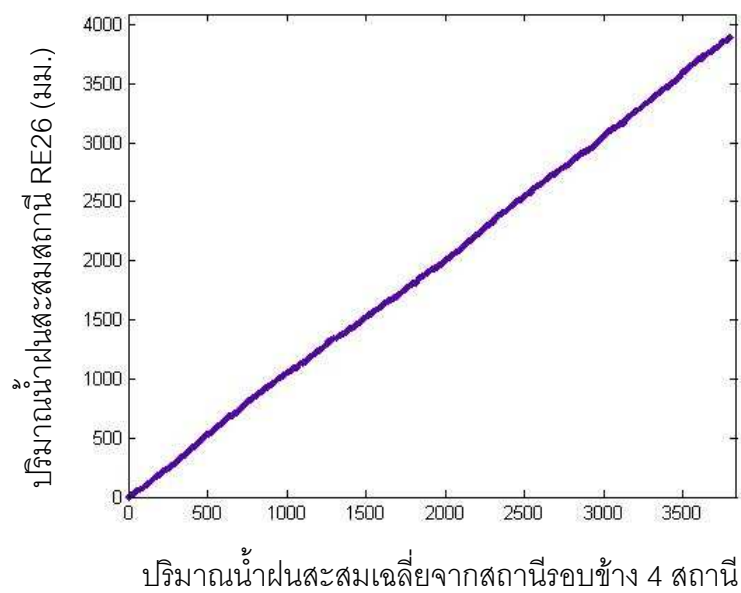
ภาพที่ ข-13 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE21



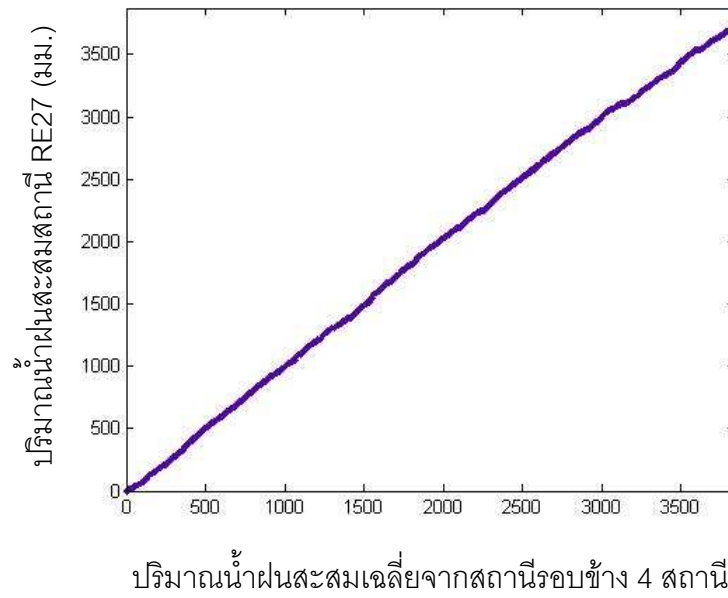
ภาพที่ ข-14 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE24



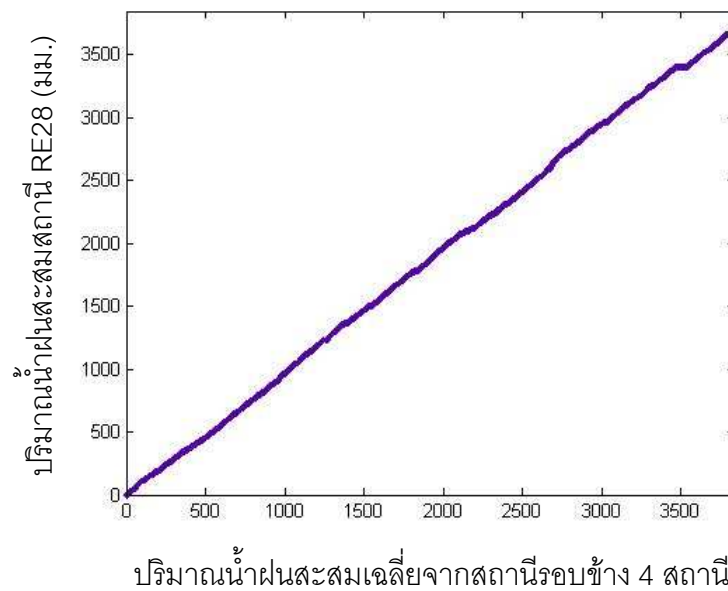
ภาพที่ ข-15 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE32



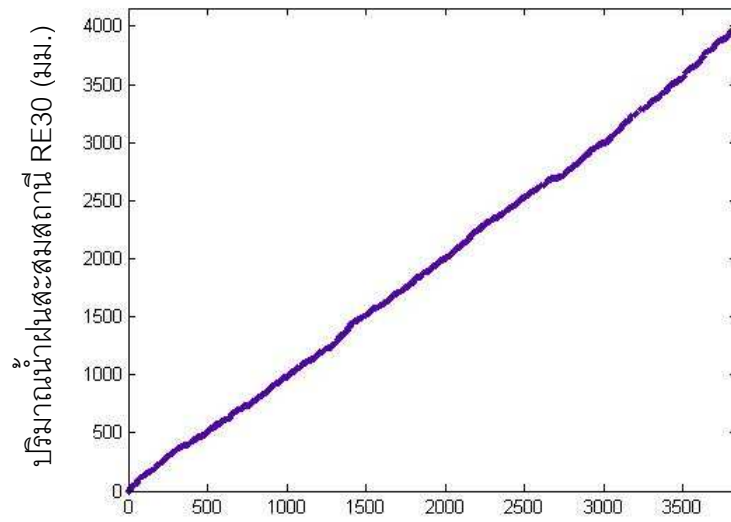
ภาพที่ ข-16 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE26



ภาพที่ ข-17 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE27

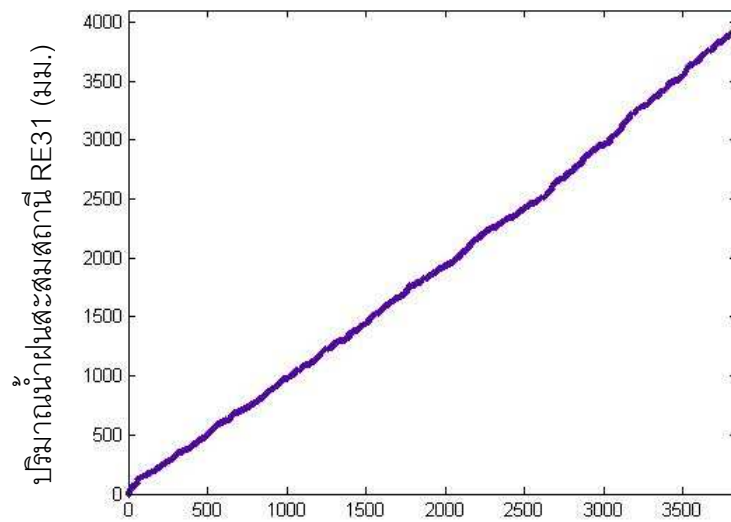


ภาพที่ ข-18 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE28



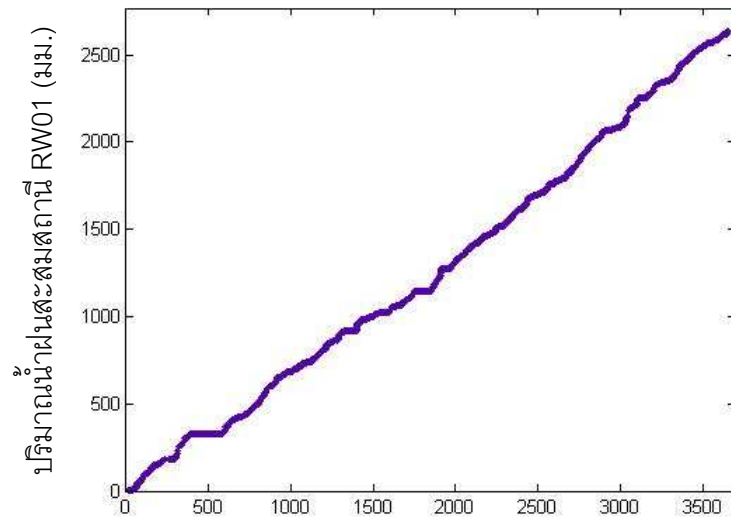
ปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยจากสถานีรอบข้าง 4 สถานี

ภาพที่ ข-19 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE30



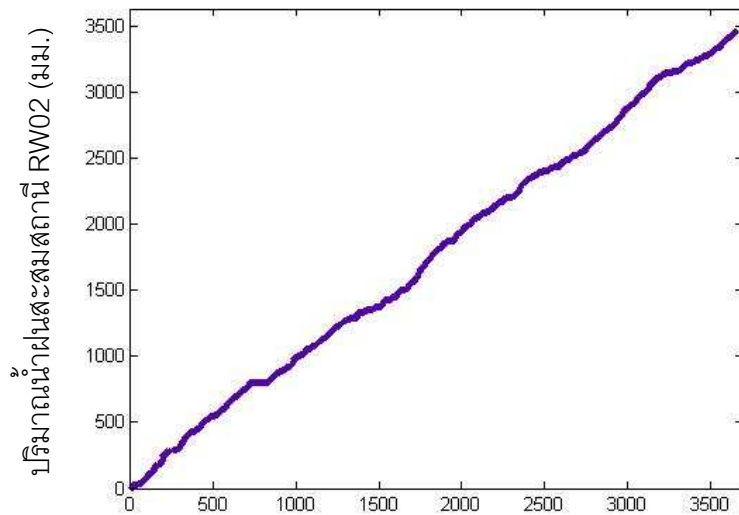
ปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยจากสถานีรอบข้าง 4 สถานี

ภาพที่ ข-20 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RE31



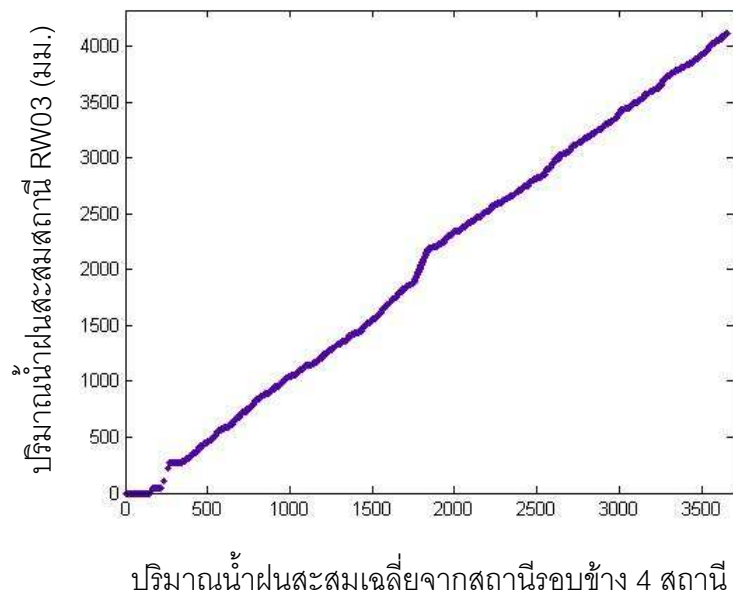
ปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยจากสถานีรอบข้าง 4 สถานี

ภาพที่ ข-21 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RW01

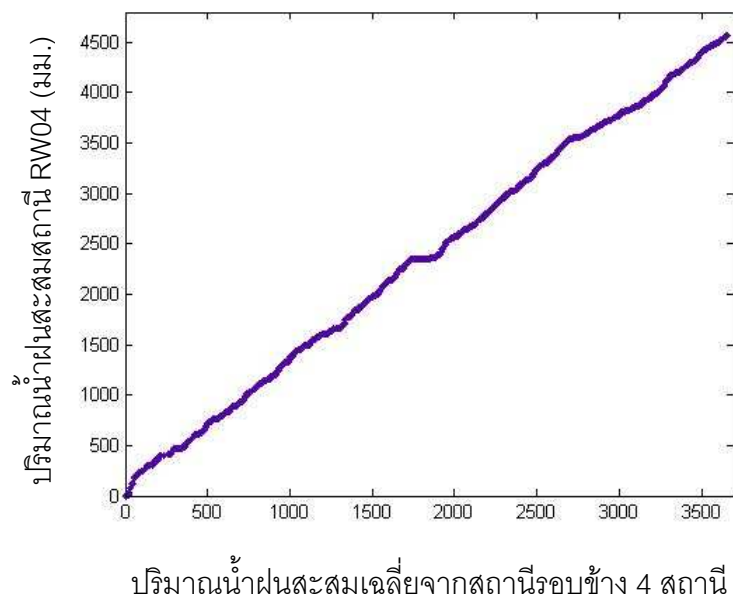


ปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยจากสถานีรอบข้าง 4 สถานี

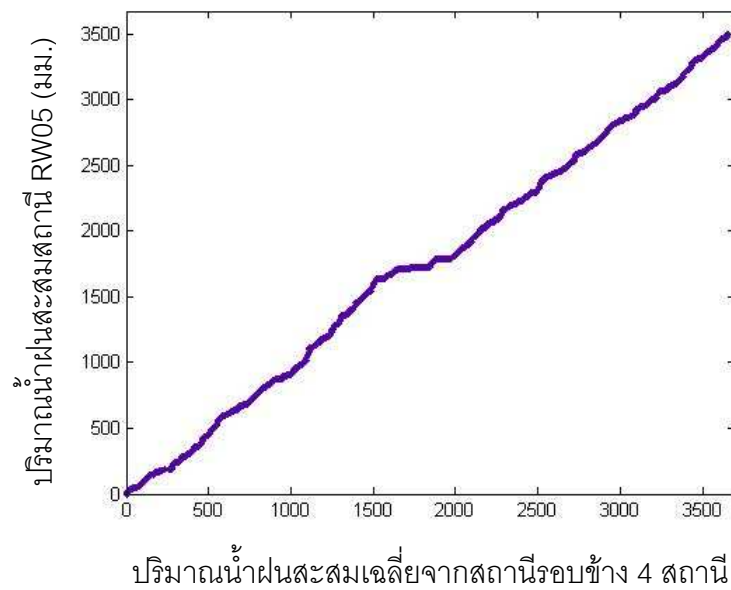
ภาพที่ ข-22 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RW02



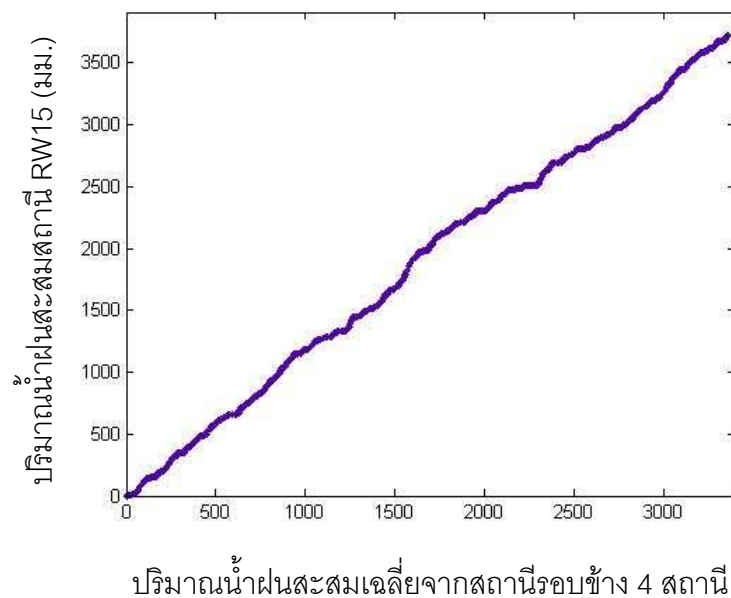
ภาพที่ ข-23 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RW03



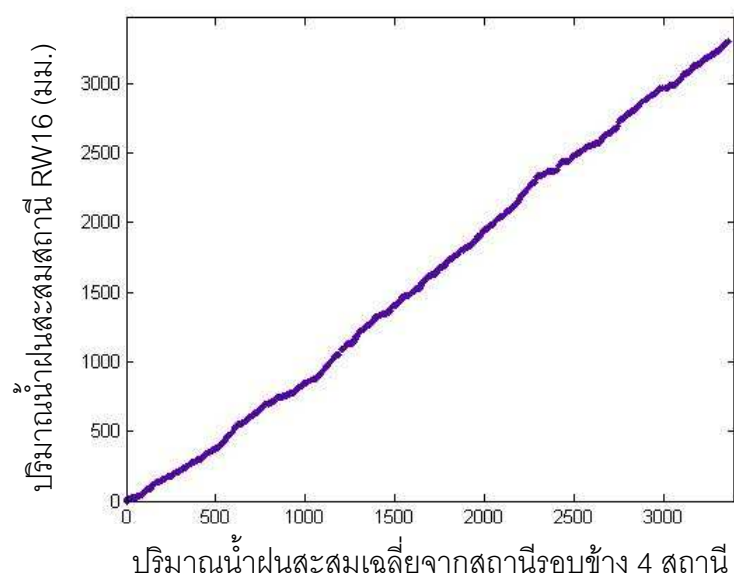
ภาพที่ ข-24 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RW04



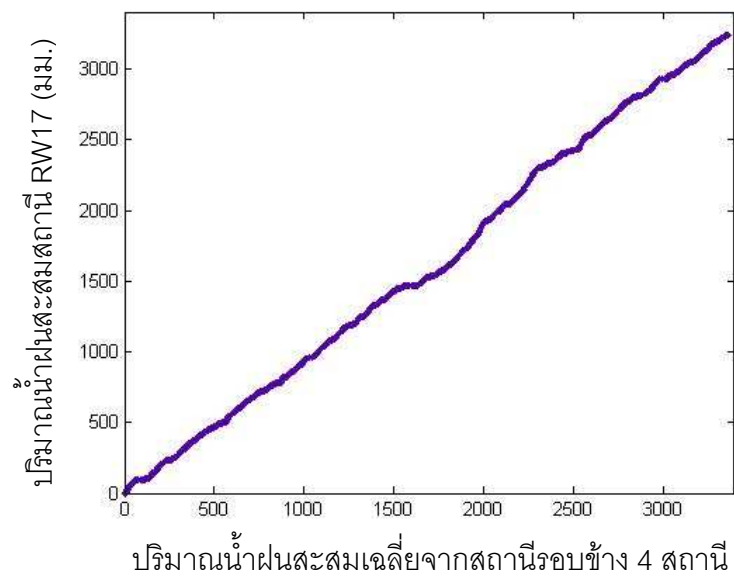
ภาพที่ ข-25 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RW05



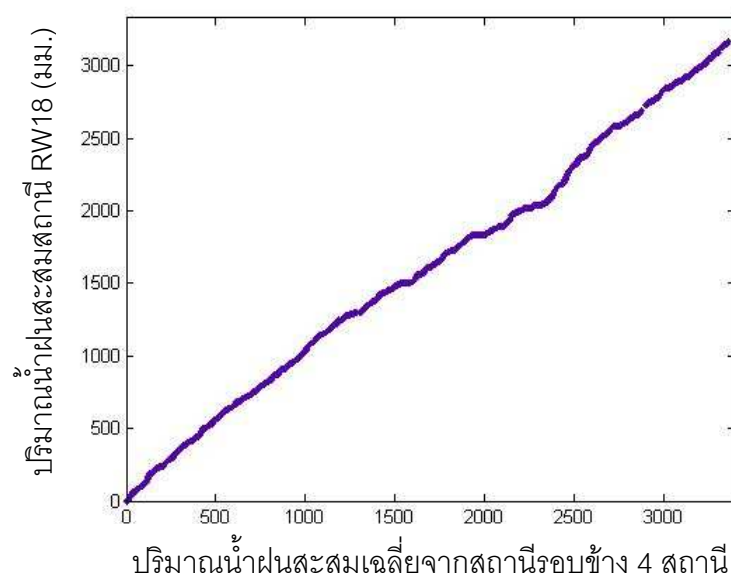
ภาพที่ ข-26 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RW15



ภาพที่ ข-27 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RW16



ภาพที่ ข-28 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RW17



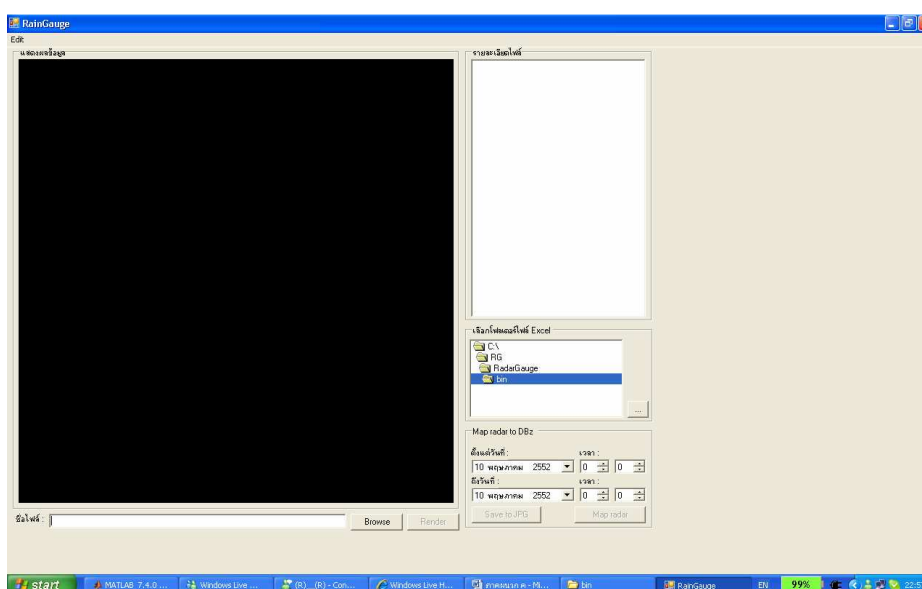
ภาพที่ ข-29 ตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลน้ำฝน
ด้วยวิธีการ Double mass curve ของสถานี RW18

ภาคผนวก ค.

โปรแกรมแปลงข้อมูลค่าสะท้อนกลับลงพิภพจาก RadarGauge

ค.1 การพัฒนาโปรแกรมเพื่ออ่านข้อมูลค่าสะท้อนแล้วแปลงเป็นภาพเรดาร์

RadarGauge เป็นโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นโดย VB.net เพื่อทำการแปลงค่าสะท้อนกลับของเรดาร์เป็นข้อมูลภาพเรดาร์ข้อมูลสีที่แสดงในภาพจะแทนค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ (dBZ) หลักการทำงานของโปรแกรมจะอ่านข้อมูลที่เป็น Volume Scan 3 มิติ แล้วแปลงเป็นข้อมูลภาพเรดาร์แสดงปริมาณค่าสะท้อนเป็นสีต่าง ๆ ลักษณะหน้าจอแสดงในภาพที่ ค.1

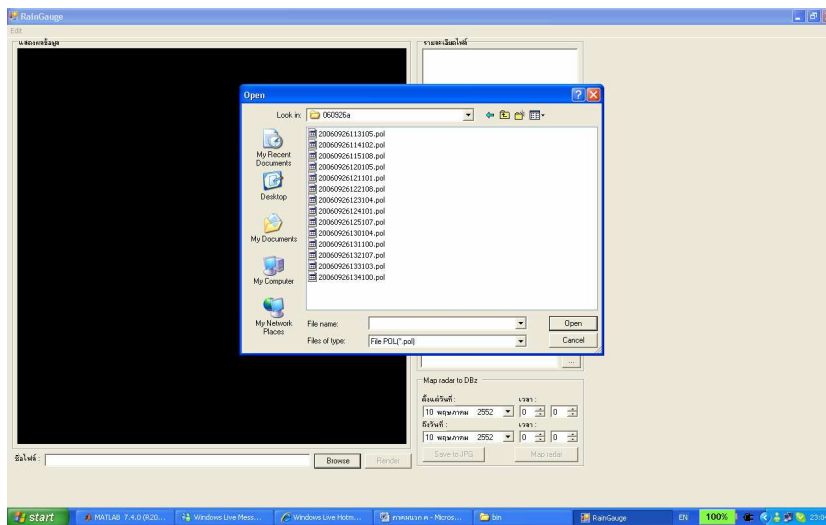


ภาพที่ ค.1 หน้าจอของและเครื่องมือของโปรแกรม RadarGauge

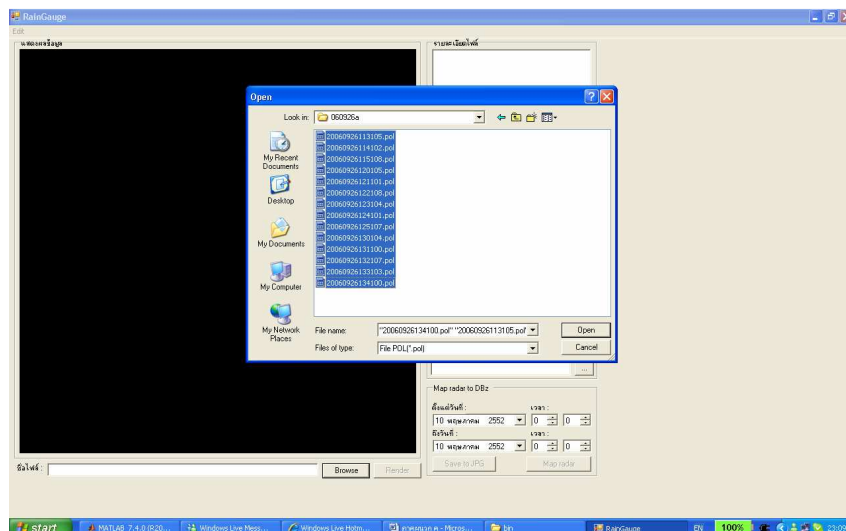
ค.2 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม RadarGauge

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม RadarGauge เพื่อแปลงค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ไปเป็นภาพเรดาร์มีดังนี้

1. เลือก folder ที่เก็บไฟล์ข้อมูลค่าสะท้อน โดยใช้ ปุ่ม Browse แล้วเลือก folder ที่เก็บไฟล์ข้อมูลที่มีส่วนขยายเป็น .pol ดังตัวอย่างในภาพที่ ค.2
2. เปิด folder แล้วทำการเลือกข้อมูล ซึ่งจะเลือกทีละไฟล์หรือเลือกทั้งหมด folder ก็ได้ ดังตัวอย่างในภาพที่ ค.3 แสดงการเลือกทั้ง folder

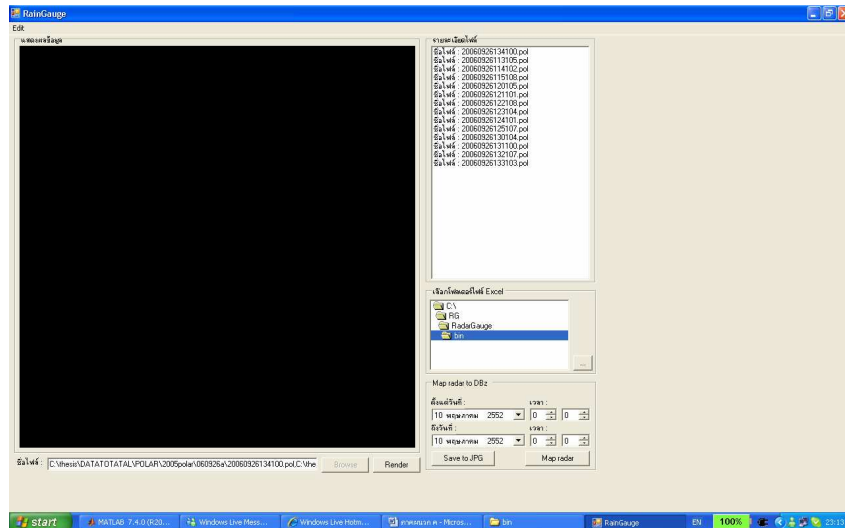


ภาพที่ ค.2 เปิด folder ที่เก็บแฟ้มข้อมูล *.pol



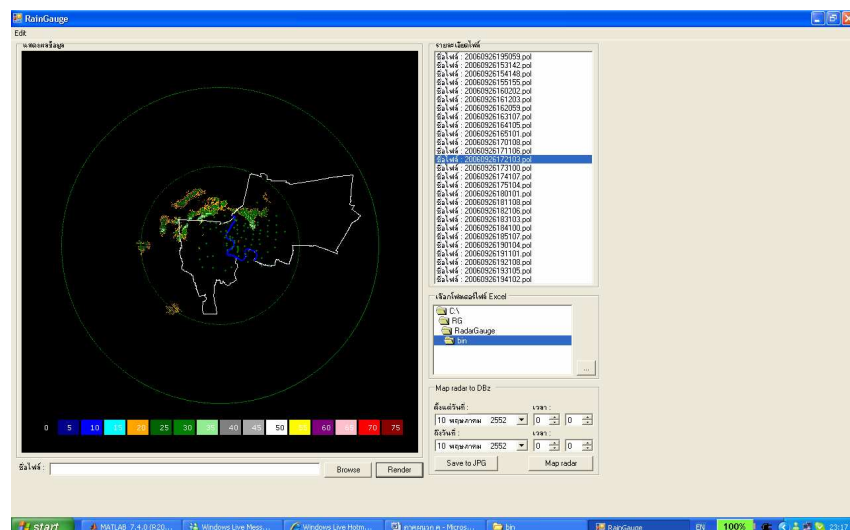
ภาพที่ ค.3 เลือกข้อมูล *.pol ทั้ง folder

3. จากนั้นเลือก open ผลจะปรากฏดังภาพที่ ค.4



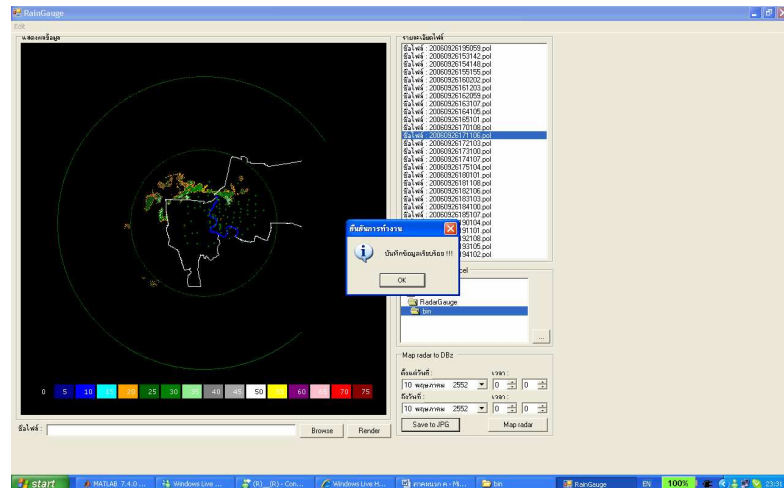
ภาพที่ ค.4 หลังจาก open ไฟล์ทั้ง folder แล้ว

4. เมื่อต้องการจะสร้างภาพขอเลือก file ที่ต้องการสร้างภาพ แล้วเลือก ปุ่ม Render จะได้ภาพดังแสดงในภาพที่ ค.5



ภาพที่ ค.5 ข้อมูลภาพที่ได้จากการ Render ข้อมูลค่าสะท้อนกลับเรดาร์

5. ในกรณีต้องการเลือกทั้ง folder ก็กดปุ่ม Ctrl ค้างไว้ แล้วเลือก ไฟล์ทั้ง folder จากนั้นทำการ Render ภาพจะปรากฏที่หน้าจอ ในกรณีต้องการบันทึกภาพข้อมูล ให้เลือกปุ่ม Save to JPG โปรแกรมก็จะทำการบันทึกข้อมูลภาพที่มีส่วนขยายเป็น JPG ใน folder ที่ผู้ใช้เลือก ดังแสดงในภาพที่ ค.6



ภาพที่ ค.6 บันทึกข้อมูลภาพ JPG ลงใน folder

ประวัติการศึกษา

ชื่อ	นางสุดาใจ โล่ห์วิชชัย
วันเดือนปีเกิด	5 เมษายน 2503
วุฒิการศึกษา	วศ.ม. (ไฟฟ้าและระบบ) มหาวิทยาลัยขอนแก่น วศ.บ. (ไฟฟ้ากำลัง) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ตำแหน่ง	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 8
ทุนการศึกษา	ทุนศึกษาระดับปริญญาเอก จากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ฝึกอบรมวิทยากร “E-commerce” จากสำนักงานสภาพัฒนาการศึษา
ผลงานทางวิชาการ	เอกสารประกอบการสอน “ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์” ตำรา การเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี ตำรา สารสนเทศเพื่อการเรียนรู้ บทความทางวิชาการเรื่อง “Rainfall Forecast for Agricultural Water Allocation Planning in Thailand” Thammasat International Journal and Technology, Vol 10, No.3 July-September 2005, p18-27. ”
ประสบการณ์ทำงาน	อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา รองคณบดีฝ่ายวิชาการคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครราชสีมา ผู้อำนวยการศูนย์คอมพิวเตอร์กลาง มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ปรึกษาของสหกรณ์ออมทรัพย์ครูนครราชสีมา ด้านไอที ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบสื่อการสอนผ่านระบบคอมพิวเตอร์