

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 แต่เนื่องจากต้นทุนในการบำรุงรักษาเรดาร์และการตรวจวัดฝนโดยเรดาร์มีค่าค่อนข้างสูง หากมีการดำเนินการตรวจวัดฝนถี่มากขึ้นจะต้องมีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น จึงทำให้หน่วยงานที่รับผิดชอบเลือกดำเนินการที่จะตรวจวัดตามช่วงเวลาต่าง ๆ กันตามความเหมาะสมของแต่ละหน่วยงาน

ในบทนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการเพิ่มความถี่ของข้อมูลเรดาร์โดยเน้นศึกษาถึงการประยุกต์ใช้วิธี MVA เพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูลเรดาร์ของสถานีเรดาร์ภาชีเจริญ โดยมีรายละเอียดของการศึกษาดังต่อไปนี้

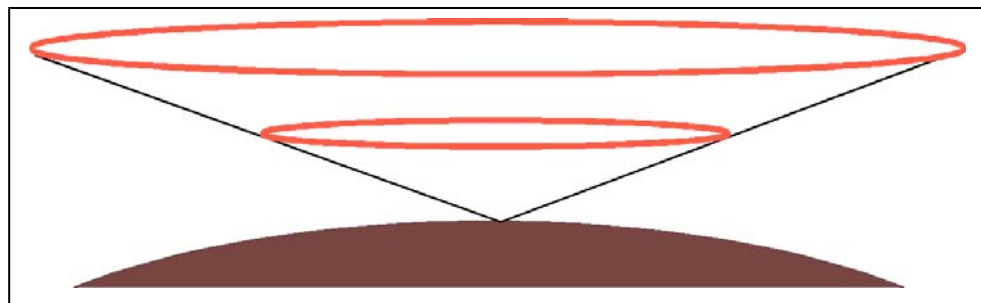
4.2 ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการตรวจวัดด้วยเรดาร์

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 และระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางและความสูงเหนือพื้นดินสามารถวัดแทนได้ด้วยวงกลม ภาพที่ 4.1 แสดงการตรวจวัดแบบ PPI

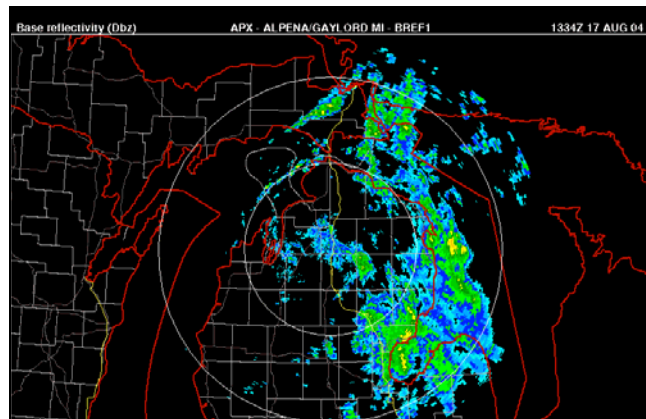


ภาพที่ 4.1 ลักษณะการตรวจวัดแบบ PPI

(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

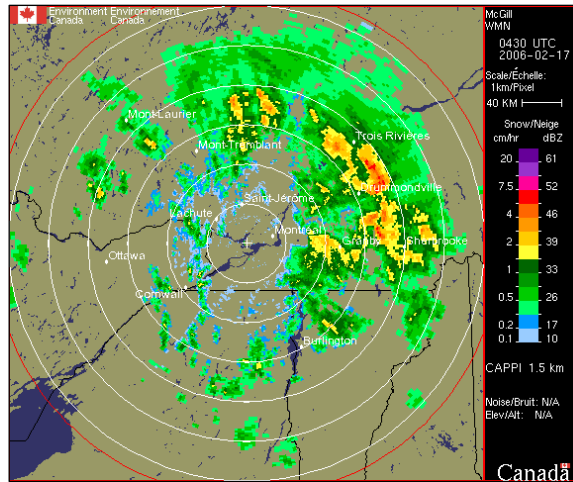
บรรยากาศที่ทำการตรวจวัดมีขนาดเพิ่มขึ้นตามระยะห่างจากเรดาร์ (Chumchean et al., 2004) ในกรณีเป็นสถานีเรดาร์ภาคพื้นดิน ทิศเหนือจะแทนส่วนบนของภาพเรดาร์แบบ PPI สัญญาณที่รับได้แทนค่าสะท้อนกลับที่มุ่ม ๆ หนึ่งของเสาอากาศ ดังนั้นจึงมีภาพ PPI หลาย ๆ ภาพ ณ เวลาเดียวกันได้ แต่เกิดจากการเปลี่ยนมุมของเสาอากาศหลาย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



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

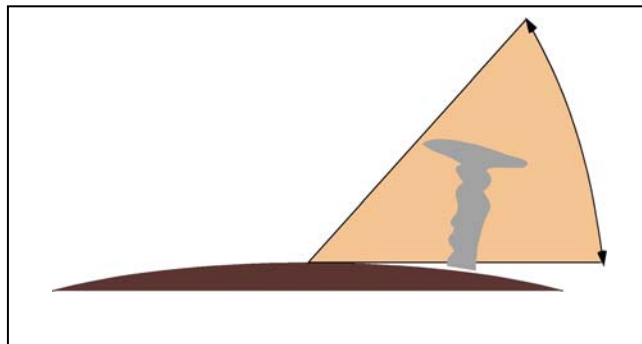
ข้อมูลค่าสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ได้มาจากการตรวจวัดที่ระยะต่าง ๆ กัน ซึ่งแต่ละระยะห่างจากเรดาร์จะมีความสูงจากพื้นดินไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากความโค้งของโลก

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

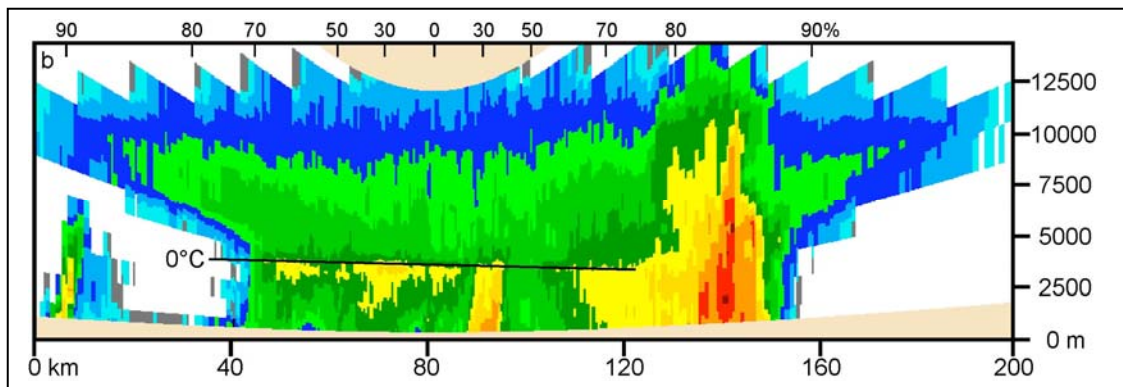


ภาพที่ 4.3 ค่าการสะท้อนกลับของข้อมูลเรดาร์แสดงแบบ CAPPI ที่ระยะความสูง 1.5 กิโลเมตร ของเรดาร์ (ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Constant_Altitude_Plan_Position_Indicator, 25 มกราคม 2552)

4.2.3 Range-Height Indicator (RHI) เป็นการแสดงผลค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ในแนวตั้งที่ระนาบตรวจวัดหนึ่งๆ RHI แทนข้อมูลเป็นแบบ 2 มิติ ซึ่งจะสามารถมองเห็นรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลทางด้านแนวตั้งของฝนหรือกลุ่มฝน โดยทั่วไปแล้วการตรวจวัดเพื่อแสดงผลแบบนี้จะเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้ และจะดูลักษณะของฝนที่สนใจเท่านั้น ระหว่างที่ตรวจวัดเพื่อแสดงผลแบบ RHI เสาอากาศจะมีมุมคงที่ 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

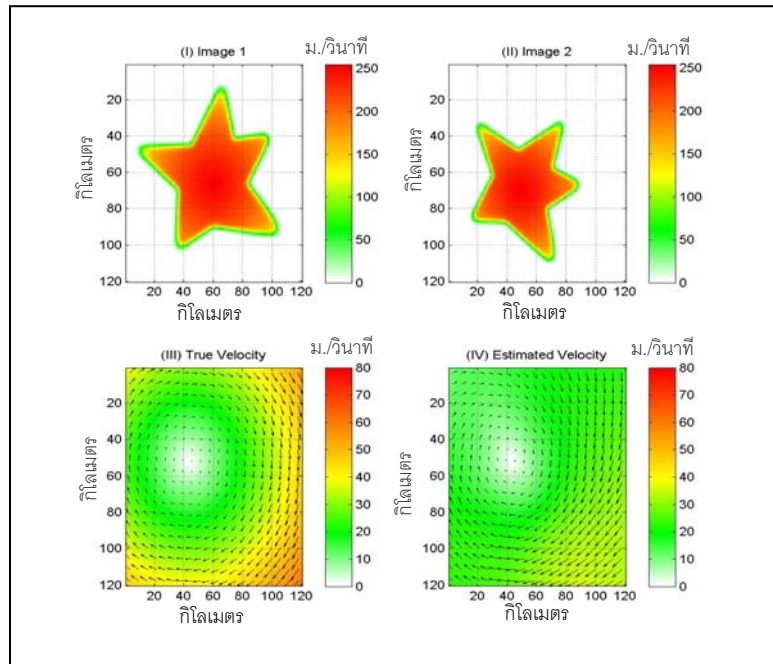
การตรวจวัดฝนของเรดาร์ตรวจอากาศ สามารถตรวจวัดการเคลื่อนที่ได้ 2 ชนิด คือ การเคลื่อนที่เฉลี่ยของหยดน้ำ (Droplet) ในอากาศ ซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดย Doppler เรดาร์ และการเคลื่อนที่ของพื้นที่กลุ่มฝนที่ปรากฏอยู่ลำดับของภาพในข้อมูลเรดาร์ (Peura and Hohti, 2005) ซึ่งการเคลื่อนที่ชนิดหลังนี้มีความสำคัญต่อการพยากรณ์แบบทันเวลา (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)

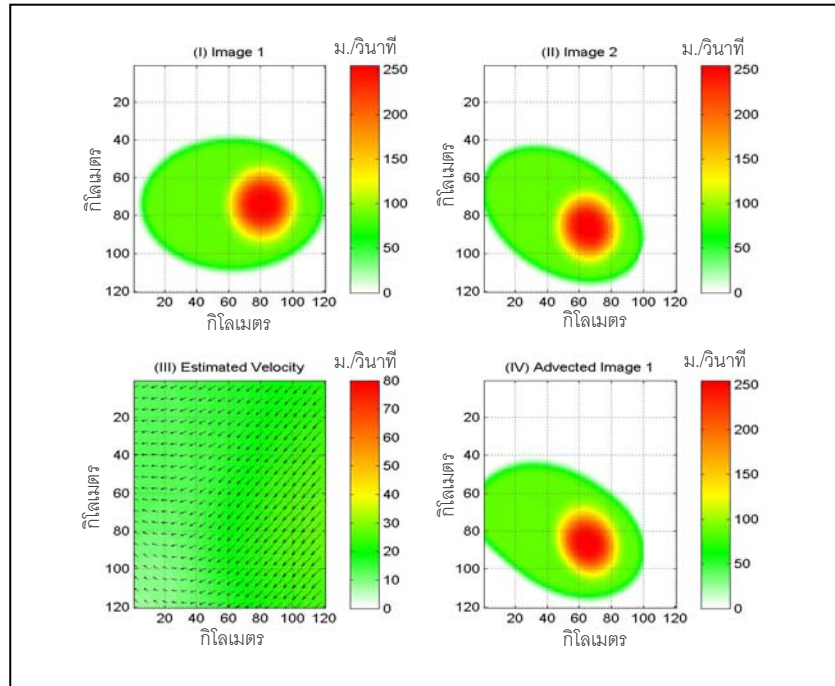
4.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของสนามความเร็วที่คำนวณโดยวิธี MVA

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 สมมติให้กลุ่มฝนเป็นฝนแบบเบา 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

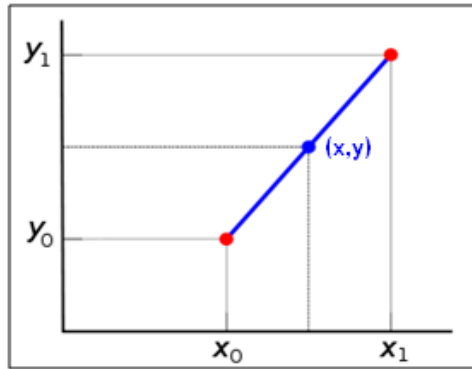
จากการตรวจสอบทั้งสอง จะเห็นว่าวิธี MVA สามารถใช้หาสนามความเร็วจากภาพ 2 ภาพ ได้อย่างถูกต้อง และสามารถหาได้ทั้งขนาดและทิศทาง

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

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

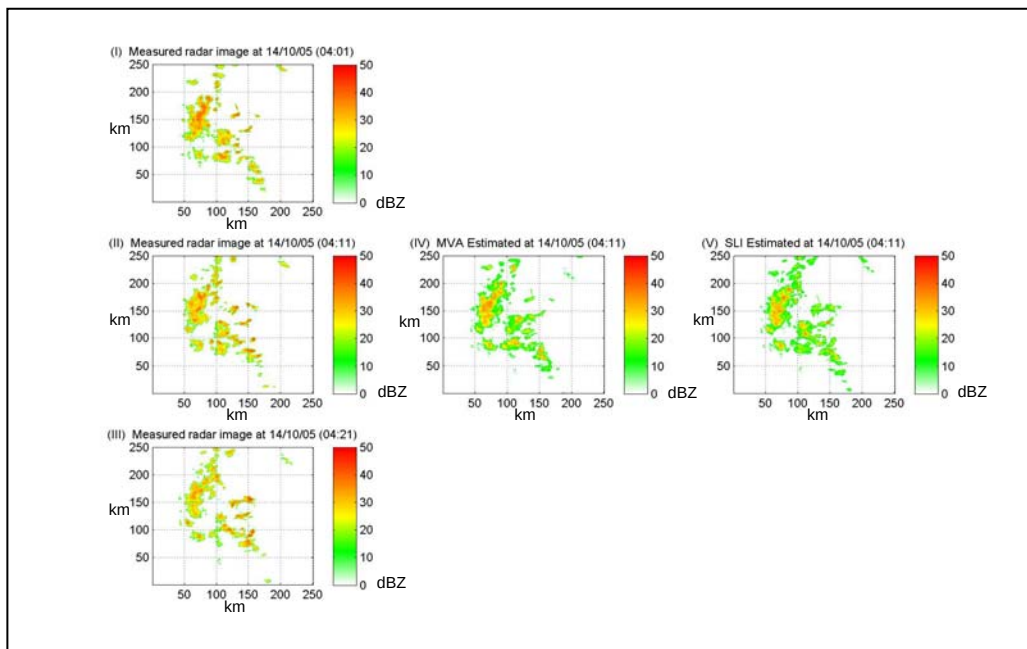
$$C(t \setminus t_2) = f(C(t_2); w_2 q_{21}) \quad (4.4)$$

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

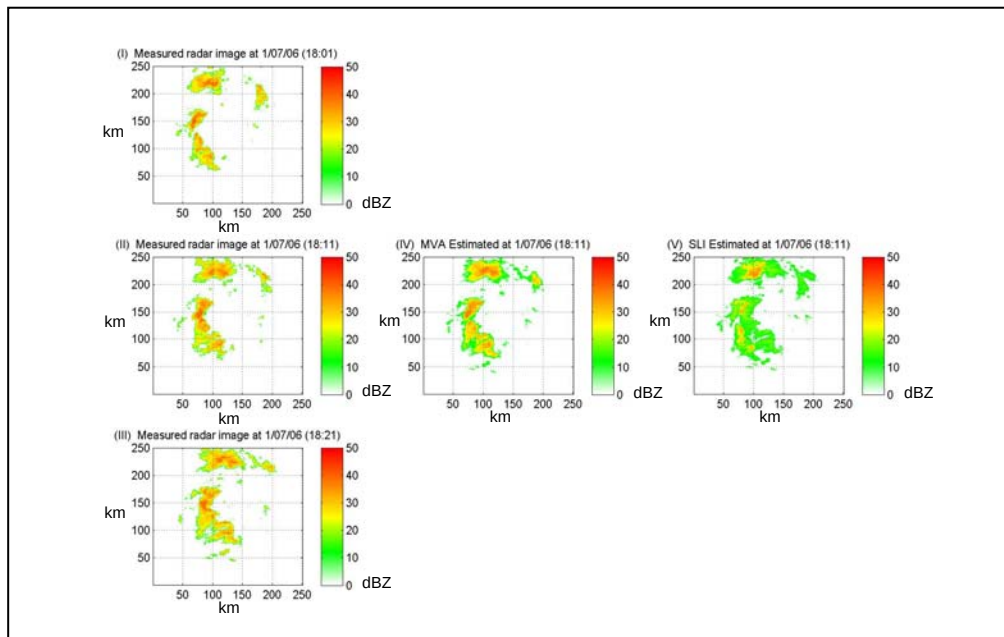
ช่วงเวลาระหว่างภาพ 2 ภาพ ที่ตรวจวัด (นาทีก)	ความถี่ในการสังเคราะห์ ข้อมูลเรดาร์ (นาทีก)	RMSE (dBZ)		MSE (dBZ)	
		MVA	SLI	MVA	SLI
20 นาที	10 นาที	12.27	13.25	9.44	11.04
40 นาที	10 นาที	14.75	14.98	11.28	11.71
	20 นาที	15.2	15.85	11.87	13.39

RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้กับค่าที่ตรวจวัดได้จริง (ใช้เหตุการณ์ฝนทั้งสิ้น 28 เหตุการณ์)

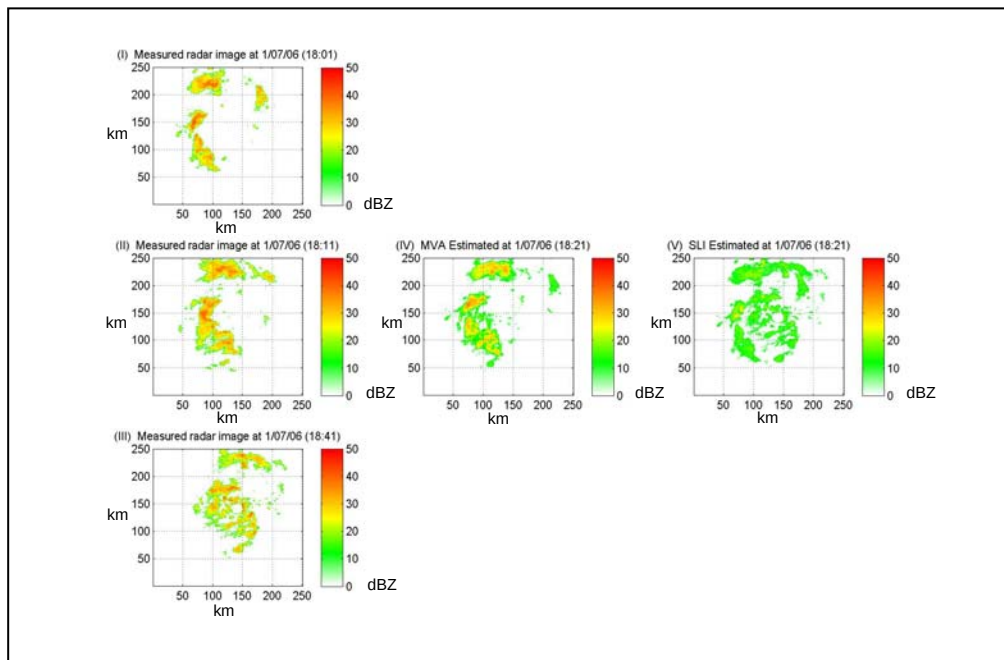
MSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้กับค่าที่ตรวจวัดได้จริง (ใช้เหตุการณ์ฝนทั้งสิ้น 28 เหตุการณ์)

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 แสดงตัวอย่างภาพสังเคราะห์ที่ได้จากทั้งสองวิธีกรณีช่วงเวลาที่ภาพ 2 ภาพห่างกัน 20 และ 40 นาที ของภาพเหตุการณ์ฝน ณ. วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 ตั้งแต่เวลา 18:01-19:01 น.

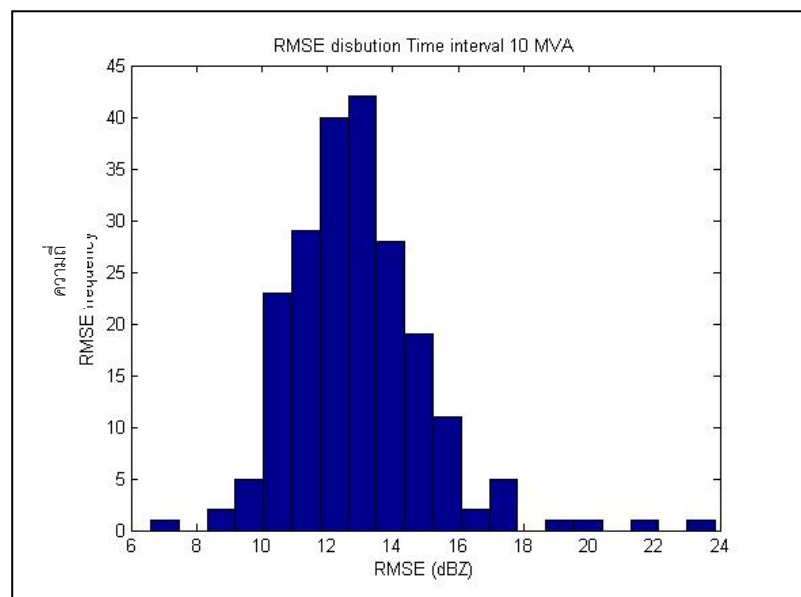


ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์จากวิธี MVA (RMSE =8.56 dBZ) และวิธี SLI (RMSE= 11.69 dBZ) ของเหตุการณ์ฝน ณ วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 เวลา 18:11 น. โดยภาพ 2 ภาพห่างกัน 20 นาที

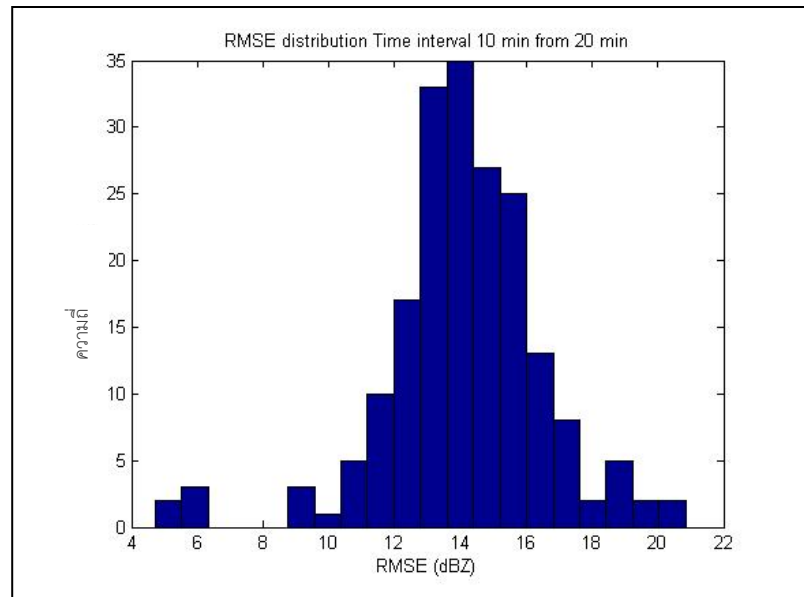


ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์จากวิธี MVA (RMSE = 11.81 dBZ) และวิธี SLI (14.74 dBZ) ของเหตุการณ์ฝน ณ วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 เวลา 18:21 น. โดยภาพ 2 ภาพห่างกัน 40 นาที

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

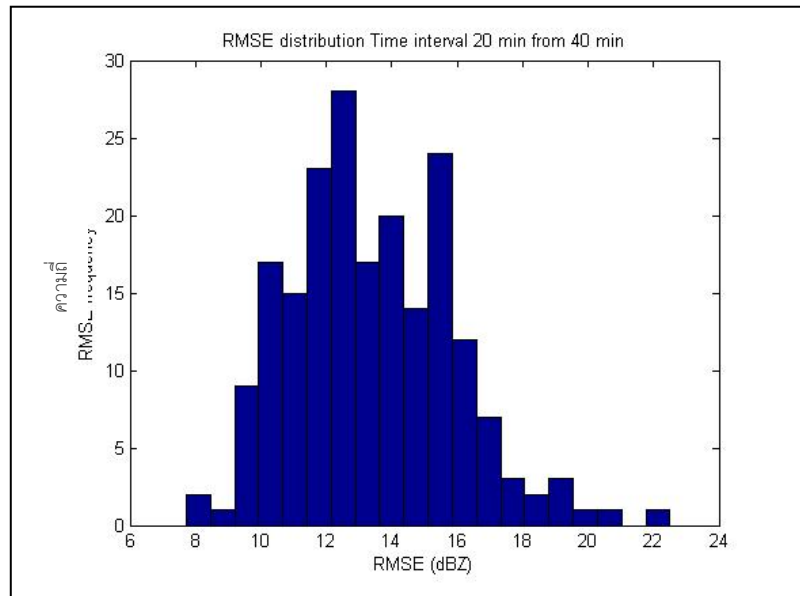


ภาพที่ 4.12 กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 20 นาที่) ทุก ๆ 10 นาที่



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 คือกลุ่มหรือมวลของเม็ดน้ำขนาดเล็ก ซึ่งเมฆฝนแต่ละชนิดจะประกอบด้วยการกระจายตัวของเม็ดน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งการกระจายตัวของเม็ดน้ำที่แตกต่างกันจะทำให้การหาสนามความเร็วของเมฆฝน

แต่ละชนิดแตกต่างกันด้วย ส่งผลให้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่เหมาะสมสำหรับเมฆฝนชนิดต่าง ๆ แตกต่างกันไป เช่น เมฆฝนแบบคิวมูลัสจะมีขนาดของเม็ดน้ำขนาดใหญ่กระจุกตัวอยู่เป็นกลุ่มๆ ดังนั้นปริมาณฝนที่ตกจะตกหนัก แต่ระยะเวลาตกไม่นาน เมฆคิวโมโลนิมบัส จะมีขนาดของเม็ดน้ำขนาดเล็กมีลักษณะกระจายเต็มพื้นที่ ฝนจะตกไม่หนักแต่กระจายเต็มพื้นที่ ระยะเวลาค่อนข้างนานกว่าฝนที่เกิดจากเมฆฝนคิวมูโลนิมบัส 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	คิวมูโลนิมบัส
2	29 มิ.ย. 48	17:20	29 มิ.ย. 48	20:30	130	26	11.35	84.00	คิวมูโลนิมบัส
3	3 ก.ค. 48	16:10	3 ก.ค. 48	17:10	60	10	8.19	52.80	คิวมูโลนิมบัส
4	13 ก.ค. 48	08:20	13 ก.ค. 48	11:50	200	34	29.44	98.00	คิวมูโลนิมบัส
5	28 ก.ค. 48	16:20	28 ก.ค. 48	17:30	70	23	6.56	63.80	คิวมูโลนิมบัส
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	คิวมูโลนิมบัส
8	14 ต.ค. 48	14:01	14 ต.ค. 48	16:31	150	11	11.03	105.60	คิวมูโลนิมบัส
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	คิวมูโลนิมบัส
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	คิวมูโลนิมบัส
13	8 พ.ย. 48	11:31	8 พ.ย. 48	14:21	170	20	19.32	114.20	คิวมูโลนิมบัส
14	11 พ.ย. 48	13:21	11 พ.ย. 48	15:21	120	14	24.35	99.00	คิวมูโลนิมบัส
15	12 พ.ย. 48	12:31	12 พ.ย. 48	14:21	110	10	9.78	90.20	คิวมูโลนิมบัส
16	18 พ.ย. 48	16:11	18 พ.ย. 48	17:51	100	23	9.28	73.20	คิวมูโลนิมบัส
17	20 ก.พ. 49	11:31	20 ก.พ. 49	12:41	70	21	18.54	52.80	คิวมูโลนิมบัส
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	คิวมูโลนิมบัส
20	29 ส.ค. 49	20:01	30 ส.ค. 49	00:31	270	32	7.44	17.05	คิวมูโลนิมบัส
21	6 ก.ย. 49	21:51	7 ก.ย. 49	01:11	200	29	8.01	32.27	คิวมูโลนิมบัส
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	คิวมูโลนิมบัส
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	คิวมูโลนิมบัส
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

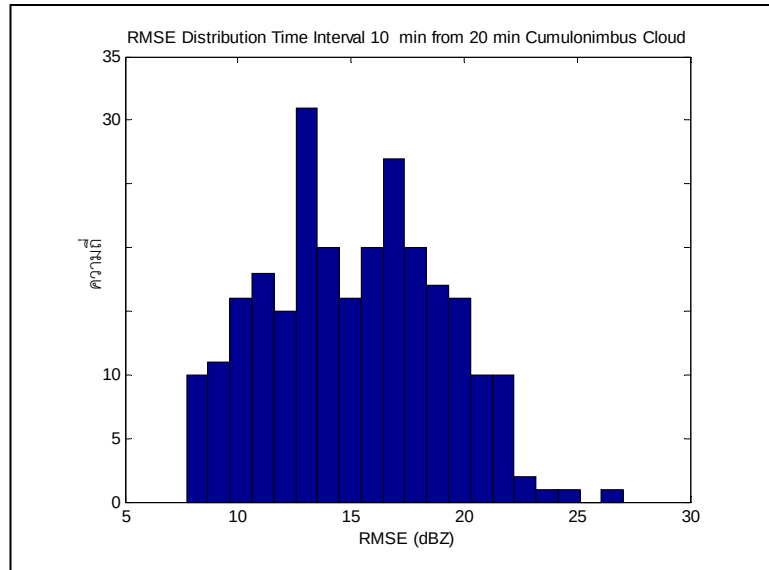
เมื่อทำการแยกชนิดของเมฆฝนและนำมาสังเคราะห์เพื่อหาการเคลื่อนที่ แล้วหาค่าสะท้อนกลับจากการวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนของค่าสะท้อนกลับของเรดาร์เมื่อเทียบกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริง แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่า RMSE ระหว่างค่าสะท้อนกลับที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA และ วิธี SLI เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง

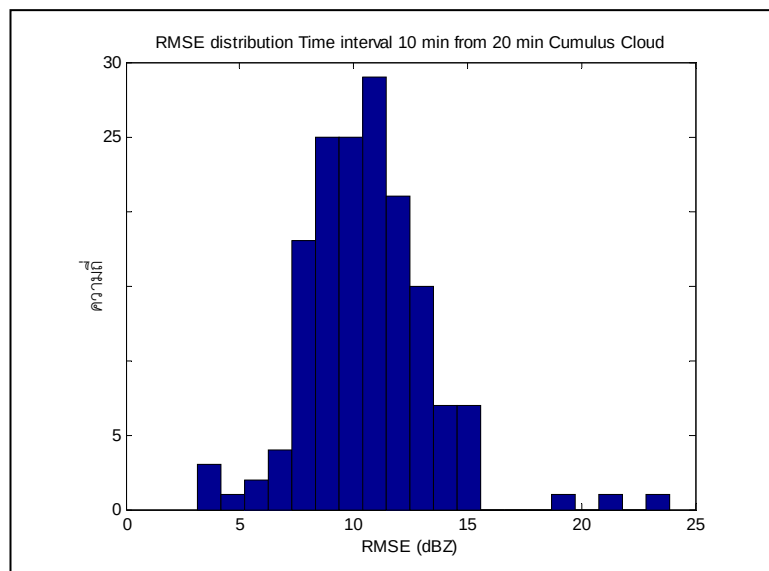
ช่วงเวลาระหว่างภาพ 2 ภาพที่ตรวจวัด (นาทีก)	ช่วงเวลาที่สร้าง ภาพด้วย MVA (นาทีก)	RMSE (dBZ)		RMSE (dBZ)	
		วิธี MVA		วิธี SLI	
		คิวมูลัส	คิวมูโลนิมบัส	คิวมูลัส	คิวมูโลนิมบัส
20 นาที	10 นาที	12.06	13.86	14.07	16.72
40 นาที	10 นาที	14.81	13.61	15.99	16.3
	20 นาที	14.24	15.43	15.74	15.92

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

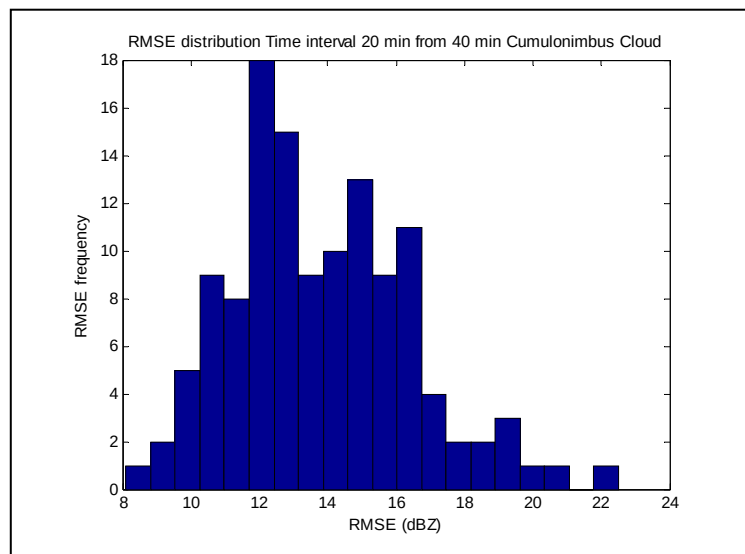


ภาพที่ 4.15 กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์
ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA จาก
กลุ่มเมฆคิวโมโลนิมบัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่
ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพซึ่งห่างกัน 20 นาที) ทุก ๆ 10 นาที

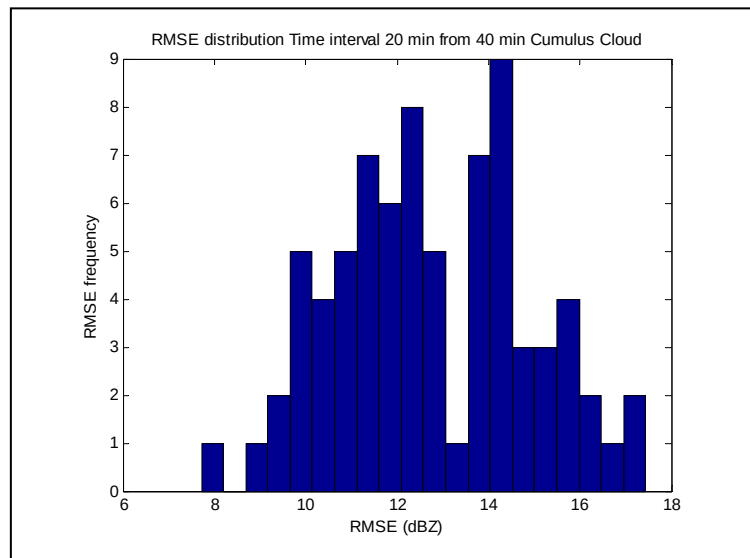


ภาพที่ 4.16 กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์
ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์ได้จากวิธี MVA จากกลุ่ม
เมฆคิวมูลัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้
จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 20 นาที) ทุก ๆ 10 นาที

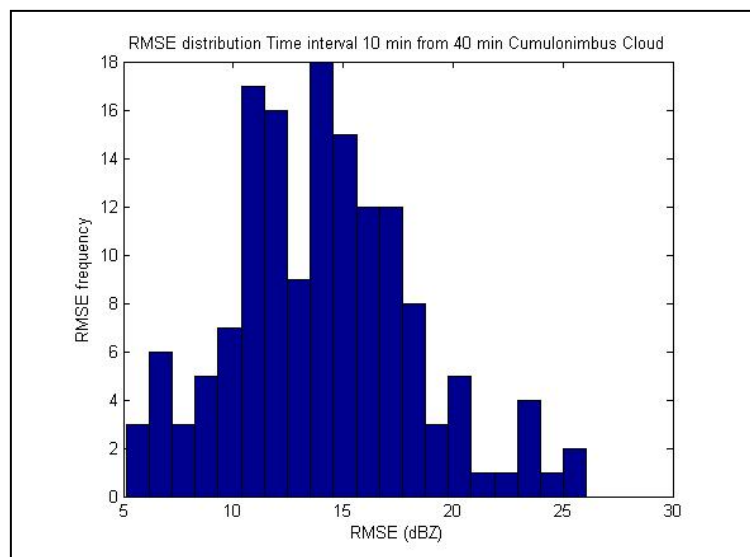
ภาพที่ 4.17 – ภาพที่ 4.18 แสดงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดได้และค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์จากวิธี MVA โดยใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ 2 ภาพ ซึ่งมีการตรวจวัดห่างกัน 40 นาที ของกลุ่มเมฆฝนคิวมุลัสและคิวมูโลนิมบัสตามลำดับ จะเห็นว่าค่า RMSE เฉลี่ยมีค่าประมาณ 15 dBZ สำหรับฝนที่สังเคราะห์ของกลุ่มเมฆฝนคิวมูโลนิมบัส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



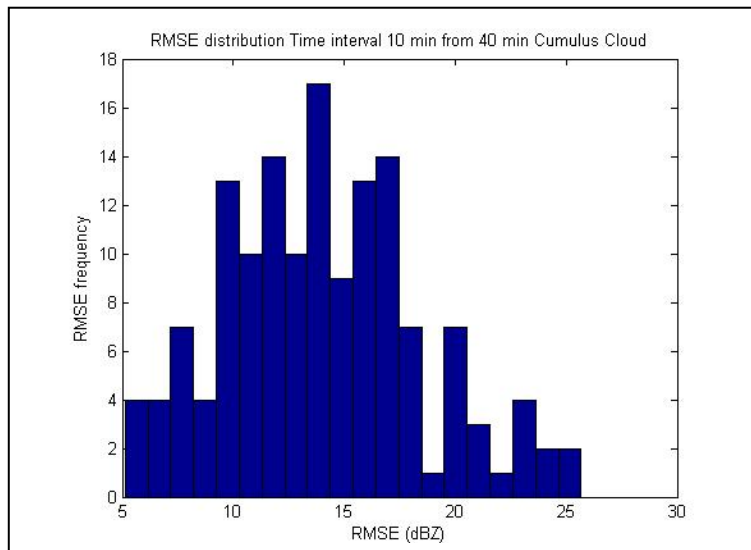
ภาพที่ 4.17 กราฟแจกแจงความถี่ของค่า RMSE ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่ตรวจวัดจริงกับค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่สังเคราะห์นี้ได้จากวิธี MVA ของกลุ่มเมฆฝนคิวมูโลนิมบัส โดยมีความถี่ข้อมูลสังเคราะห์ (ใช้ข้อมูลภาพเรดาร์ที่ตรวจวัดได้จริง 2 ภาพ ซึ่งห่างกัน 40 นาที) ทุก ๆ 20 นาที



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