




| | | | |
|---|--|------------------------------------|------------|
|  กองอุดมศึกษาการbin กรมอุดมศึกษา | Knowledge Management | KM-กบ-07-01-64 | R:00 |
| | การจัดการความรู้ | วันที่มีผลบังคับใช้ : 29 ก.ย. 2564 | |
| | เรื่อง : เปรดาร์ตรวจอากาศแบบ DUAL POLARIZATION เพื่อการbin | | หน้าที : 1 |

บันทึกการแก้ไข

| R | หน้าที | รายละเอียด | ผู้แก้ไข |
|---|--------|--|----------|
| 00 | - | จัดทำเอกสารองค์ความรู้ของกองอุดมศึกษาการbin ประจำปี 2564 | พจนรณ |
| ผู้จัดทำ: ฤษพันธุ์ ศิริทรัพย์, พจนรณ บุญประชุม | | วันที่: 28 กันยายน 2564 | |
| ผู้ตรวจสอบ:  | | วันที่: 28 กันยายน 2564 | |
| ผู้อนุมัติ:  | | วันที่: 28 กันยายน 2564 | |

องค์ความรู้

เรื่อง

เรดาร์ตรวจอากาศแบบ DUAL POLARIZATION เพื่อการบิน



กันยายน 2564

กองอุตุนิยมวิทยาการบิน

คำนำ

เรดาร์ตรวจอากาศเป็นเครื่องมือรับรู้ระยะไกลที่สำคัญในงานอุตุนิยมวิทยา เจ้าพนักงานอุตุนิยมวิทยา และนักอุตุนิยมวิทยาจะใช้เรดาร์ตรวจอากาศในการเฝ้าระวัง ติดตาม และพยากรณ์พายุฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorms) ซึ่งเป็นลักษณะอากาศร้ายที่มักจะก่อให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานด้านการบิน

สถานีตรวจอากาศสุวรรณภูมิ เป็นสถานีตรวจอากาศการบินที่ติดตั้งเรดาร์ตรวจอากาศแบบ S-Band Dual Polarization ของ EEC รุ่น DEFENDER S850 ซึ่งให้ผลผลิตที่สามารถนำมาวิเคราะห์ความรุนแรงและการเคลื่อนตัวของพายุฝนฟ้าคะนองได้หลากหลายรูปแบบมากกว่าผลผลิตที่ได้เรดาร์ตรวจอากาศแบบ Single Polarization เช่น Differential Reflectivity (ZDR) สำหรับตรวจสอบหาบริเวณหรือพื้นที่ที่มีลูกเห็บ Specific Differential Phase (KDP) สำหรับใช้เปรียบเทียบหาความเข้มของฝน Correlation Coefficient (RHO HV) สำหรับตรวจสอบเป้าที่อยู่รอบ ๆ ระยะการตรวจว่าเป็นเป้าทางอุตุนิยมวิทยาหรือไม่ และ Hydrometeor Classification (HMC) สำหรับใช้ระบุเป้าที่ตรวจพบว่าเป็น Hydrometeor ชนิดใด เป็นต้น

ดังนั้นเพื่อเป็นการใช้งานเรดาร์ตรวจอากาศให้เกิดประโยชน์สูงสุด กองอุตุนิยมวิทยาการบินจึงได้จัดตั้งคณะทำงานชุมชนนักปฏิบัติ เรื่อง “เรดาร์ตรวจอากาศแบบ Dual Polarization เพื่อการบิน” ขึ้น เพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้และแลกเปลี่ยนเรียนรู้เทคนิคการวิเคราะห์ผลผลิตของเรดาร์ตรวจอากาศแบบ Dual Polarization ของบุคลากรกองอุตุนิยมวิทยาการบิน

เอกสารฉบับนี้เป็นผลจากกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของบุคลากรกองอุตุนิยมวิทยาการบินในช่วงปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ซึ่งประกอบด้วย 4 บท คือ บทนำ หลักการทำงานของเรดาร์ตรวจอากาศ การเฝ้าระวังกลุ่มฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ และการวิเคราะห์ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศแบบ Dual Polarization เพื่อการบิน คณะทำงานฯ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารฉบับนี้จะเป็นสามารถใช้เป็นแนวทางเริ่มต้นในการวิเคราะห์ผลผลิตของเรดาร์ตรวจอากาศแบบ Dual Polarization ให้แก่ผู้สนใจทุกท่านใช้ต่อยอดความรู้ในอนาคตได้ และหากเอกสารฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใดคณะทำงานฯ ต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะทำงานชุมชนนักปฏิบัติ เรดาร์ตรวจอากาศแบบ Dual Polarization เพื่อการบิน

กองอุตุนิยมวิทยาการบิน

กันยายน 2564

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| คำนำ | ก |
| สารบัญ | ข |
| สารบัญรูปภาพ | ค |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| 1. บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ขอบเขต | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 2. หลักการทำงานของเรดาร์ตรวจอากาศ | 4 |
| 2.1 ประวัติความเป็นมาของเรดาร์ตรวจอากาศ | 4 |
| 2.2 หลักการทำงานและประเภทของเรดาร์ตรวจอากาศ | 7 |
| 2.3 ส่วนประกอบหลักแต่ละชนิดของเรดาร์ | 10 |
| 3. การแผ่ระวังกลุ่มฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ (รุ่น WSD 680) | 16 |
| 3.1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ | 16 |
| 3.2 แผนการดำเนินการใช้เรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ | 17 |
| 4. การวิเคราะห์ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศแบบ Dual Polarization เพื่อการบิน | 20 |
| 4.1 เทคนิคการวิเคราะห์ความเร็วแนวรัศมี | 20 |
| 4.2 เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มฝน | 27 |
| เอกสารอ้างอิง | 58 |
| ภาคผนวก | 60 |

สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 1 แผนภาพแสดงการทำงานภาพโดยรวมของระบบเรดาร์ | 7 |
| รูปที่ 2 ภาพแสดงรูปแบบการส่งสัญญาณเรดาร์และเมื่อกระทบเป้าของเรดาร์แบบ Single polarization | 8 |
| รูปที่ 3 ภาพแสดงรูปแบบการส่งสัญญาณเรดาร์ และเมื่อกระทบเป้า ของเรดาร์แบบ Dual polarization | 9 |
| รูปที่ 4 แสดงเครื่องประมวลผลสัญญาณ (signal processor) ที่ใช้จริงของเรดาร์สนามบินสุวรรณภูมิ | 10 |
| รูปที่ 5 แสดงเครื่องรับสัญญาณ (receiver) ที่ใช้จริงของเรดาร์สนามบินสุวรรณภูมิ | 11 |
| รูปที่ 6 แผนภาพการทำงานโดยทั่วไปของเครื่องส่งสัญญาณที่มีหลอด klystron เป็นตัวสร้างสัญญาณ | 11 |
| รูปที่ 7 แสดงระบบเครื่องส่งสัญญาณ (transmitter) ที่ใช้จริงของเรดาร์สนามบินสุวรรณภูมิ | 12 |
| รูปที่ 8 แสดงจานเสาอากาศ (antenna) ที่ถูกใช้จริงของเรดาร์สนามบินสุวรรณภูมิ | 13 |
| รูปที่ 9 ภาพหอสั่งเกตการณ์เรดาร์สุวรรณภูมิ | 14 |
| รูปที่ 10 แสดงลักษณะชิ้นส่วนที่นำมาประกอบกันของเรโดมในแต่ละชนิด | 15 |
| รูปที่ 11 ความเร็วแนวรัศมี (Radial Velocity) | 20 |
| รูปที่ 12 ความเร็วแนวรัศมีที่ถูกตรวจวัดได้ | 21 |
| รูปที่ 13 เครื่องหมายและเฉดสีของความเร็วแนวรัศมีที่ถูกตรวจวัดได้ | 21 |
| รูปที่ 14 ภาพความเร็วแนวรัศมีที่ตรวจวัดได้จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ | 22 |
| รูปที่ 15 ขั้นตอนที่ 1 กำหนดบริเวณความเร็วศูนย์ | 22 |
| รูปที่ 16 ขั้นตอนที่ 2 ลากเส้นแนวความเร็วศูนย์ | 23 |
| รูปที่ 17 ขั้นตอนที่ 3 ลากเส้นตั้งฉากกับเส้นความเร็วศูนย์ | 23 |
| รูปที่ 18 ขั้นตอนที่ 4 กำหนดความเร็วแนวรัศมีที่ตำแหน่งความเร็วสูงสุด | 24 |
| รูปที่ 19 ลมฝ่ายตะวันตก (270 องศา) ความเร็ว 45 นอต ตลอดความสูง | 24 |
| รูปที่ 20 ที่ระดับพื้นเป็นลมฝ่ายใต้ (180 องศา) จากนั้นทิศทางลมค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามความสูงจนเป็นลมฝ่ายตะวันตก (270 องศา) ซึ่งมีความเร็ว 45 นอต ตลอดความสูง | 25 |
| รูปที่ 21 ลมฝ่ายตะวันตก (270 องศา) ตลอดความสูง แต่มีค่าสูงสุด 45 นอต ที่ความสูง 6 กิโลเมตร | 25 |
| รูปที่ 22 ความเร็วแนวรัศมีมีค่าเกินเกณฑ์ที่กำหนด | 26 |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| | |
|---|----|
| รูปที่ 23 การหมุนวน | 26 |
| รูปที่ 24 ลมกระจายตัว | 27 |
| รูปที่ 25 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่า Z | 28 |
| รูปที่ 26 ผลิตรกัณฑ์ VIL ที่ได้จากการตรวจวัดแบบวอลุ่มสแกน | 28 |
| รูปที่ 27 คำอธิบายระดับความรุนแรงของผลิตรกัณฑ์ VIL | 29 |
| รูปที่ 28 ค่า ZDR และการแปลผล | 29 |
| รูปที่ 29 ความสัมพันธ์ของค่า ZDR กับ ชนิดของหยาดน้ำฟ้า | 30 |
| รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ของค่า CC กับชนิดของเป้าที่ตรวจพบ | 31 |
| รูปที่ 31 Specific Differential Phase (KDP) | 31 |
| รูปที่ 32 การแปลความหมายค่า KDP | 32 |
| รูปที่ 33 ตัวอย่างผลิตรกัณฑ์ Hydrometeor Classification (HMC) | 33 |
| รูปที่ 34 การเก็บข้อมูลเพื่อนำมาแสดงในภาพ ETOP | 34 |
| รูปที่ 35 ความสูงของยอดเมฆ กับความสูง ETOP | 35 |
| รูปที่ 36 ตัวอย่างภาพ ETOP | 35 |
| รูปที่ 37 การเกิดลักษณะขั้นบันได (Stair-step Pattern) ในภาพ ETops | 36 |
| รูปที่ 38 ตัวอย่างผลิตรกัณฑ์ VVP | 36 |
| รูปที่ 39 ตัวอย่างผลิตรกัณฑ์ VVP2 | 37 |
| รูปที่ 40 ภาพแสดงภาพตัดขวางของพายุฝนฟ้าคะนอง supercell | 37 |
| รูปที่ 41 ขั้นตอนการสร้างผลิตรกัณฑ์ (1) | 38 |
| รูปที่ 42 ขั้นตอนการสร้างผลิตรกัณฑ์ (2) | 38 |
| รูปที่ 43 ขั้นตอนการสร้างผลิตรกัณฑ์ (3) | 39 |
| รูปที่ 44 ขั้นตอนการสร้างผลิตรกัณฑ์ (4) | 39 |
| รูปที่ 45 การสร้างผลิตรกัณฑ์ VIL | 40 |
| รูปที่ 46 การสร้างผลิตรกัณฑ์ HMC | 41 |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| | |
|--|----|
| รูปที่ 47 การสร้างผลิตภัณฑ์ ETops | 41 |
| รูปที่ 48 การสร้างผลิตภัณฑ์ VVP/VVP2 | 42 |
| รูปที่ 49 เครื่องมือที่ใช้ในการทำ Cross Section | 43 |
| รูปที่ 50 เปรียบเทียบภาพ VIL กับ PPI ณ เวลา 0525 UTC | 44 |
| รูปที่ 51 เปรียบเทียบภาพ VIL กับ PPI ณ เวลา 0655 UTC | 44 |
| รูปที่ 52 เปรียบเทียบภาพ HMC กับ PPI ณ เวลา 0525 UTC | 45 |
| รูปที่ 53 ภาพตัดขวางของ HMC แสดงบริเวณกลุ่มฝนหนัก | 45 |
| รูป 54 เปรียบเทียบภาพ PPI กับ ETops ในเวลา 0425 – 0445 UTC | 46 |
| รูป 55 เปรียบเทียบภาพ PPI กับ ETops ในเวลา 0455 – 0515 UTC | 46 |
| รูป 56 เปรียบเทียบภาพ PPI กับ ETops ในเวลา 0525 – 0545 UTC | 47 |
| รูปที่ 57 ภาพ VVP วันที่ 4 เมษายน 2564 เวลา 0425 UTC | 49 |
| รูปที่ 58 ภาพ VVP2 วันที่ 4 เมษายน 2564 เวลา 0525 – 0625Z | 50 |
| รูปที่ 59 ภาพแสดงค่า Radar Reflectivity วันที่ 4 เมษายน 2564 | 50 |
| รูปที่ 60 (1) – (3) ภาพตัดขวางของ PPI เวลา 0425 – 0445 UTC | 51 |
| รูปที่ 61 (4) – (6) ภาพตัดขวางของ PPI เวลา 0455 – 0515 UTC | 52 |
| รูปที่ 62 (1) – (2) ภาพตัดขวางของ PPI เวลา 0425 – 0435 UTC | 53 |
| รูปที่ 63 (3) – (4) ภาพตัดขวางของ PPI เวลา 0445 – 0455 UTC | 53 |
| รูปที่ 64 (5) – (7) ภาพตัดขวางของ PPI เวลา 0505 – 0525 UTC | 54 |
| รูปที่ 65 (8) – (10) ภาพตัดขวางของ PPI เวลา 0535 – 0555 UTC | 55 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 1 Frequency bands in the electromagnetic spectrum (IEEE standard 521-1984) | 4 |
| ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับความเร็วที่ตรวจวัดได้ | 20 |
| ตารางที่ 3 ชนิดของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากการแปลผลโดย Hydrometeor Classification (HMC) | 33 |
| ตารางที่ 4 การตั้งค่าในการแสดงผลภาพ VIL | 40 |
| ตารางที่ 5 การตั้งค่าในการแสดงผลภาพ ETop | 42 |
| ตารางที่ 6 การตั้งค่าในการแสดงผลภาพ VVP/ VVP2 | 43 |
| ตารางที่ 7 เปรียบเทียบข้อดี - ข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด | 56 |

บทที่ 1 บทนำ

การเฝ้าระวังและแจ้งเตือนสภาพอากาศร้ายเป็นภาระหน้าที่หลักประการหนึ่งของนักอุตุนิยมวิทยา และเจ้าพนักงานอุตุนิยมวิทยาที่ปฏิบัติงานด้านอุตุนิยมวิทยาการบิน เพื่อลดผลกระทบของสภาพอากาศร้ายที่อาจเกิดกับปฏิบัติการการบินทั้งในส่วนของการปฏิบัติภาคพื้นดินและปฏิบัติการทางอากาศ โดยมีความปลอดภัยของผู้โดยสารและผู้ปฏิบัติงานเป็นเป้าหมายสำคัญ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

สภาพอากาศ (Weather) เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งของการจัดการจราจรทางอากาศ เนื่องจากสภาพอากาศร้ายอาจส่งผลกระทบต่อปฏิบัติการการบิน ทำให้เที่ยวบินล่าช้าหรือก่อให้เกิดอันตรายต่ออากาศยานได้ โดยเฉพาะสภาพอากาศร้ายที่เกิดจากพายุฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorms) เช่น ฝนหนัก (Heavy Rain) พายุลูกเห็บ (Hail Storm) ลมกระโชก (Gust Wind) ลมเฉือน (Wind Shear) และฟ้าผ่า (Lightning) เป็นต้น ด้วยเหตุนี้การพยากรณ์และการแจ้งเตือนผลกระทบที่อาจเกิดจากสภาพอากาศร้ายต่อปฏิบัติการการบินจึงเป็นส่วนงานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการจัดการจราจรทางอากาศ

ฉะนั้นเพื่อให้การเฝ้าระวังและการแจ้งเตือนสภาพอากาศร้ายที่เกิดจากพายุฝนฟ้าคะนองมีความถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็วทันเหตุการณ์ นักอุตุนิยมวิทยาและเจ้าพนักงานอุตุนิยมวิทยาจึงได้นำข้อมูลจากเครื่องมือรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing Instrument) เช่น ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Satellite) เรดาร์ตรวจอากาศ (Weather Radar) ระบบตรวจวัดพิกัดฟ้าผ่า (Lightning Detection System) เป็นต้น มาใช้ประกอบการวิเคราะห์และพยากรณ์การเคลื่อนตัวและการพัฒนาความรุนแรงของกลุ่มฝนและกลุ่มฝนฟ้าคะนอง โดยเฉพาะผลผลิตที่ได้จากเรดาร์ตรวจอากาศที่มีความหลากหลายและให้ข้อมูลที่มีประโยชน์อย่างมากในการเฝ้าระวังและแจ้งเตือนสภาพอากาศร้ายที่เกิดจากพายุฝนฟ้าคะนอง และด้วยเทคโนโลยีของเรดาร์ตรวจอากาศแบบ Dual Polarization ในปัจจุบันที่ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าเรดาร์ตรวจอากาศแบบ Single Polarization โดยเพิ่มผลผลิตที่หลากหลายมากขึ้น เช่น Differential Reflectivity (ZDR) สำหรับตรวจสอบหาบริเวณหรือพื้นที่ที่มีกลุ่มลูกเห็บ (Hail) ในกลุ่มฝนและช่วยประกอบในการพิจารณาหาขนาด (Size) และรูปร่าง (Shape) ของลูกเห็บ Specific Differential Phase (KDP) สำหรับใช้เปรียบเทียบหาความเข้มของฝน (Rain Rate) เพื่อวิเคราะห์ว่ากลุ่มฝนบริเวณใดมีความเข้มมากกว่ากัน Correlation Coefficient (RHO HV) สำหรับตรวจสอบเป้าที่อยู่รอบ ๆ ระยะการตรวจว่าเป็นเป้าหมายอุตุนิยมวิทยาหรือไม่ และ Hydrometeor Classification (HMC) สำหรับใช้ระบุเป้าที่ตรวจพบว่าเป็น Hydrometeor ชนิดใด เป็นต้น จึงทำให้การเฝ้าระวังและแจ้งเตือนสภาพอากาศร้ายมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานและเพื่อให้ผู้รับบริการซึ่งได้แก่ ผู้โดยสาร ลูกเรือ และผู้ปฏิบัติงานภาคพื้นดินภายในสนามบิน ได้รับความปลอดภัยสูงสุดของอุตุนิยมวิทยาการบิน กรมอุตุนิยมวิทยาจึงได้ดำเนินโครงการเปลี่ยนเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิจากเดิมที่เป็นเรดาร์ตรวจอากาศแบบ

Single Polarization เป็นแบบ Dual Polarization โดยได้ดำเนินการแล้วเสร็จและเริ่มให้บริการได้ตั้งแต่ช่วงปลายปี 2563 เป็นต้นมา ซึ่งทำให้บุคลากรของกองอุตุนิยมวิทยาที่ยังไม่มีความรู้และประสบการณ์การใช้งานผลผลิตของเรดาร์ตรวจอากาศแบบ Dual Polarization ต้องได้รับการพัฒนาองค์ความรู้ในเรื่องดังกล่าว ประกอบกับกองอุตุนิยมวิทยาการบินจะต้องดำเนินกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ตามแผนยุทธศาสตร์ของกรมอุตุนิยมวิทยา คณะกรรมการจัดการความรู้ของกองอุตุนิยมวิทยาการบินจึงมีมติเลือก “เรดาร์ตรวจอากาศแบบ Dual Polarization เพื่อการบิน” เป็นหัวข้อในการจัดกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของกองอุตุนิยมวิทยาการบินในปี

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาหลักการทำงานของเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ
- 1.2.2 วางแนวทางการปฏิบัติงานเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ
- 1.2.3 ศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มฝนฟ้าคะนองที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ
- 1.2.4 สนับสนุนกิจกรรมการจัดการความรู้ของกองอุตุนิยมวิทยาการบิน

1.3 ขอบเขต

- 1.3.1 ศึกษาการทำงานของเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ (SBIA) (เรดาร์ตรวจอากาศแบบ S-Band Dual Polarization ของ EEC รุ่น DEFENDER S850)
- 1.3.2 ศึกษาข้อมูลกลุ่มฝนฟ้าคะนองที่เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 4 เมษายน 2564 เวลา 11.25 – 14.05 น.
- 1.3.3 ศึกษาผลผลิตที่ได้จากการตรวจวัดด้วยมุมยก 7 มุม (0.5° 1.5° 2.5° 3.5° 4.5° 6° 10°) ดังนี้
 - ETop Height
 - Cross Section
 - Hydrometeor Classification (HMC)
 - Plan Position Indicator (PPI)
 - Radial Velocity
 - Velocity Volume Processing (VVP)
 - Vertical Integrated Liquid (VIL)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สมาชิกชุมชนนักปฏิบัติมีความรู้และเข้าใจหลักการทำงานของเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ (เรดาร์ตรวจอากาศแบบ S-Band Dual Polarization ของ EEC รุ่น DEFENDER S850)

- 1.4.2 สมาชิกชุมชนนักปฏิบัติได้มีส่วนร่วมในการวางแผนทางการปฏิบัติงานเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ
- 1.4.3 สมาชิกชุมชนนักปฏิบัติได้เรียนรู้เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มฝนฟ้าคะนองที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ
- 1.4.4 กิจกรรมการจัดการความรู้สามารถดำเนินการได้ตามแผนปฏิบัติราชการของกองอุตุนิยมวิทยาการบินและบรรลุตามประเด็นยุทธศาสตร์ของกรมอุตุนิยมวิทยา

กองอุตุนิยมวิทยาการบิน

บทที่ 2 หลักการทำงานของเรดาร์ตรวจอากาศ

2.1 ประวัติความเป็นมาของเรดาร์ตรวจอากาศ

เรดาร์ตรวจอากาศนั้นได้ถูกพัฒนาขึ้นมาจากเทคโนโลยีเรดาร์ที่ใช้ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งในขั้นต้นระดับความปลอดภัยที่มากับระบบเรดาร์ทุกชนิด จำกัดการใช้งานบริการสภาพอากาศเฉพาะทางทหาร ในช่วงทศวรรษที่ 1960 โซลิตสเตตออิเล็กทรอนิกส์ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตเรดาร์ตรวจอากาศ สำหรับใช้ในเครื่องบินพาณิชย์และเครื่องบินส่วนตัว ซึ่งความสามารถของเรดาร์ตรวจอากาศบนเครื่องบินได้เติบโตขึ้นเรื่อย ๆ ในปี ค.ศ. 1969 ทางตอนกลางของฝั่งตะวันตกประเทศสหรัฐอเมริกาไปจนถึงชายฝั่งทางตะวันออกเฉียงใต้ มีสถานีโทรทัศน์เพียงไม่กี่แห่งที่ได้มีการติดตั้งเรดาร์เพื่อใช้ออกอากาศเพื่อการรายงานสภาพอากาศ อีกทั้งมีแนวโน้มที่จะมีการติดตั้งเพิ่มขึ้นตลอดช่วงทศวรรษที่ 1970 เนื่องจากเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นดินมีความสามารถมากขึ้นและมีราคาที่สามารถจับต้องได้

ช่วงปลายทศวรรษที่ 1980 และ 1990 ความสำเร็จในการพัฒนาเทคนิคต่างๆสำหรับการใช้งานระบบเรดาร์ตรวจอากาศดอปเปลอร์ กระทรวงพาณิชย์ กระทรวงกลาโหมสหรัฐและกระทรวงคมนาคม ได้ร่วมกันสำรวจโดยใช้ระบบเรดาร์ตรวจอากาศดอปเปลอร์ภาคพื้นที่มีความซับซ้อนสูง 2 ระบบ ได้แก่ เรดาร์ตรวจอากาศแบบ Next-Generation Weather Radar (NEXRAD) (ปัจจุบันเรียกว่า WSR-88D) และระบบเรดาร์ตรวจอากาศดอปเปลอร์ (Terminal Doppler Weather Radar, TDWR) ของกระทรวงคมนาคม การบริการข้อมูลที่ได้จากเรดาร์ตัวเดียวหรือจากหลายตัวร่วมกันจะทำการเพิ่มมูลค่าผ่านระบบ Imagery Dissemination System (NIDS) ต่อมาต้นทุนของเรดาร์ตรวจอากาศภาคพื้นลดลง ทำให้เรดาร์ตรวจอากาศดอปเปลอร์สามารถซื้อมาใช้ประโยชน์ในการบริการข้อมูลสภาพอากาศเชิงพาณิชย์และการออกอากาศเพื่อรายงานข่าวสภาพอากาศได้กว้างขวางมากขึ้น ในปี 1984 สถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้ทำการกำหนดตัวอักษรขึ้นเพื่อเป็นมาตรฐานแสดงถึงความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากไม่ต้องการเปิดเผยข้อมูลในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง ดังตารางที่ 1

TABLE 1. Frequency bands in the electromagnetic spectrum (IEEE Standard 521-1984).

| Band designation | Nominal frequency range | Nominal wavelength range (cm) |
|------------------|-------------------------|-------------------------------|
| S | 2000–4000 MHz | 7.5–15 |
| C | 4000–8000 MHz | 3.7–7.5 |
| X | 8000–12 000 MHz | 2.5–3.7 |
| K _u | 12–18 GHz | 1.7–2.5 |
| K | 18–27 GHz | 1.1–1.7 |
| K _a | 27–40 GHz | 0.7–1.1 |

ในช่วงแรกของการกำเนิดเรดาร์อุตุนิยมวิทยานั้นค่อนข้างจำแนกยาก เพราะเรดาร์ที่อยู่รอบ ๆ ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 ทำให้การรายงานการตรวจสอบต่าง ๆ ล่าช้าจนกระทั่งปี ค.ศ. 1945 ที่สงครามเกิดความรุนแรงขึ้นเทคโนโลยีการหาตำแหน่งโดยคลื่นวิทยุแตกต่างกันไป ความพยายามของ เซอร์ โร เบิร์ต เอ. วัตสัน-วัต นักฟิสิกส์และนักอุตุนิยมวิทยาชาวสก็อต เป็นสมาชิกสมาคมอุตุนิยมวิทยาในปี ค.ศ. 1915 ตีพิมพ์บทความเรื่อง sferics ในปี ค.ศ. 1922 และบรรยายเรื่อง Symons Memorial Lecture ในปี ค.ศ. 1929 เรื่อง "Weather and Wireless" ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1915 ถึงปี ค.ศ. 1952 เซอร์โร เบิร์ต เอ.วัตสัน-วัต ได้พัฒนาอุปกรณ์ระบุตำแหน่งวิทยุแบบคร่าว ๆ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ค้นหาทิศทางที่สามารถระบุตำแหน่งพายุฝนฟ้าคะนองโดยพิจารณาจากสัญญาณไฟฟ้าที่พวกมันปล่อยออกมา ปี ค.ศ. 1935 เขาดำรงตำแหน่งหัวหน้าแผนกวิทยุของห้องปฏิบัติการกายภาพแห่งชาติ เขากลับไปที่ปัญหาของคลื่นวิทยุในการระบุตำแหน่งเป้าหมายทางทหารโดยการวัดระยะห่างระหว่างเครื่องส่งสัญญาณและเป้าหมายเหล่านั้น ในปี ค.ศ. 1935 เขาได้เริ่มศึกษาการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการระบุตำแหน่งอากาศยานเป็นงานที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบระบบเรดาร์แรกของสหราชอาณาจักรและระบบปฏิบัติการเรดาร์แรกของโลก คือ เรดาร์ของ Chain Home ระบบดังกล่าวได้รับการยกย่องว่าเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ทำให้กองทัพอากาศของอังกฤษที่มีจำนวนมากว่าสามารถขับไล่เหล่าทัพสงครามทางอากาศของแวร์มัคท์ให้ล่าถอยไปได้ช่วงต้นของสงคราม เริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ. 1940 เรดาร์ความยาวคลื่น 10 เซนติเมตร ได้ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการวิจัยไฟฟ้าทั่วไป ณ เมืองเวมบลีย์ ประเทศอังกฤษ ซึ่ง ดร. J. W. Ryde ทำงานอยู่ เป็นไปได้ว่าคลื่นสะท้อนของสภาพอากาศจะปรากฏบนเรดาร์ ในช่วงปลายปี ค.ศ. 1940 การอธิบายเกี่ยวกับการสะท้อนของสภาพอากาศครั้งแรกซึ่งอาจรบกวนการตรวจจับเครื่องบิน ทำให้ Ryde ถูกขอให้ตรวจสอบเกี่ยวกับการลดทอนและการสะท้อนกลับของคลื่นซึ่งแสดงคุณสมบัติของเมฆและฝน (Probert-Jones 1990) เขาได้ทำการรายงานการทำงานในช่วงสงครามในปี ค.ศ. 1946 การศึกษาในลักษณะเดียวกันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1942 ถึง ค.ศ. 1944 ที่ปฏิบัติการรังสีของสถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์ (MIT) หรือ Rad Lab โดย Bent (1946) ได้แสดงให้เห็นว่าสภาพอากาศสามารถตรวจจับได้เมื่อกำหนดชนิดของเรดาร์ในระยะ 150 ไมล์ ที่ความยาวคลื่น 3 และ 10 เซนติเมตร ช่วงครึ่งแรกของปี 1943 พันตรี J. Fletcher ซึ่งทำงานที่ Rad Lab ประมาณหนึ่งปีต่อมา ได้มีการจัดทำโปรแกรมสำหรับการใช้เรดาร์ตรวจอากาศภายในหน่วยบริการสภาพอากาศของกองทัพ ความพยายามในช่วงแรกของการใช้เรดาร์ภาคพื้นเพื่อการตรวจอากาศ มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ เรดาร์ที่ติดตั้งบนภาคพื้นเพื่อภารกิจทางการทหารและความมั่นคง อีกประเภทเป็นการใช้เรดาร์ที่ดัดแปลงมาจากภารกิจเดิมเพื่อใช้ในการตรวจอากาศ มีทั้งแบบติดตั้งที่สถานีภาคพื้นและติดตั้งบนเครื่องบิน

ครั้งแรกของการปฏิบัติการของเรดาร์ในแต่ละสถานี เริ่มตั้งแต่เดือนกันยายน ปี ค.ศ. 1943 เรดาร์เพื่อภารกิจการควบคุมการจราจรทางอากาศและป้องกันท่าเรือได้ติดตั้งแล้วในฝั่งมหาสมุทรแอตแลนติกและแปซิฟิกของคอคอดปานามา ได้ถูกนำมาใช้ในการเฝ้าระวังสภาพอากาศ ภายในปี ค.ศ. 1943 นักวิทยาศาสตร์ของ MIT ที่ Rad Lab ซึ่งการวิจัยและพัฒนาเรดาร์ส่วนใหญ่ในสหรัฐอเมริกาได้ดำเนินการในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 และเพื่อประเมินประโยชน์ของเรดาร์เหล่านี้ในการตรวจวัดและไปจนถึงการพยากรณ์ปรากฏการณ์

ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น (ปัจจุบันเรียกว่า เรดาร์อุตุนิยมวิทยา) ส่วนใหญ่การปฏิบัติการสถานีและเป็นครั้งแรกของ เครื่องข่ายเรดาร์ตรวจอากาศ ผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับการฝึกฝนทั้งด้านอุตุนิยมวิทยาและเรดาร์จะทำหน้าที่เป็น เจ้าหน้าที่ตรวจสภาพอากาศด้วยเรดาร์และมีหน้าที่ พัฒนาเทคนิคต่างๆและศึกษาวิจัย ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 เจ้าหน้าที่ได้รับการฝึกอบรมอย่างเข้มข้นเป็นระยะเวลา 15 เดือน ในด้านอุตุนิยมวิทยาและวิชาอื่น ๆ ช่วง 9 เดือนจะทำการฝึกอบรมอุตุนิยมวิทยาและอีก 6 เดือน เพื่อเตรียมการสำหรับผู้ที่ไม่ได้เรียนคณิตศาสตร์ และฟิสิกส์ระดับวิทยาลัย ผู้สำเร็จการศึกษา 100 คนจากโครงการดังกล่าวถูกส่งไปยังมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด เป็นเวลา 4 เดือน เพื่อทำการฝึกอบรมอย่างเข้มข้นในด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและทฤษฎีเรดาร์ขั้นพื้นฐาน จากนั้น จึงไปที่ MIT เป็นเวลา 3 เดือนเพื่อฝึกอบรมเกี่ยวกับระบบเรดาร์เฉพาะ (Atlas 1990b; Fletcher 1990) ผู้นำ การวิจัยเรดาร์อุตุนิยมวิทยาในยุคแรก ๆ หลายคนมีการศึกษาและการฝึกอบรมแบบเดียวกัน

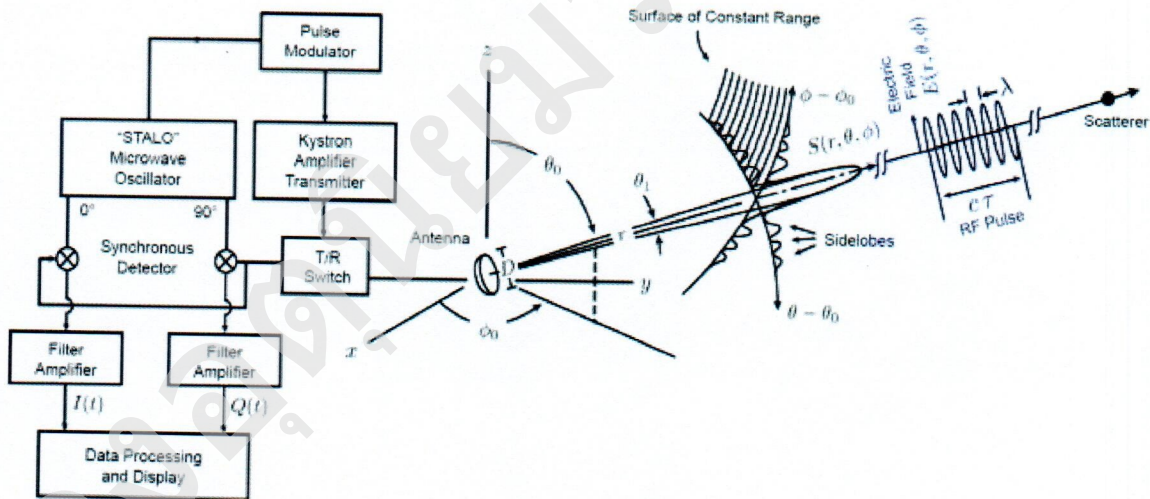
เครือข่ายเรดาร์สำหรับเฝ้าระวังสภาพอากาศถูกจัดตั้งขึ้นครั้งแรกที่ปานามาเมื่อเดือนเมษายน ปี ค.ศ. 1944 เมื่อการตรวจอากาศและการรายงานเริ่มขึ้นที่ศูนย์ปฏิบัติการ Harbor Defense Cristobal 2 แห่งซึ่งหันหน้าไปทางมหาสมุทรแอตแลนติก ในเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 1944 เครือข่ายได้รับการปรับปรุงโดยใช้ เรดาร์เตือนเครื่องบินกำลังสูงสองเครื่องบนเกาะทาโบกา ใกล้เมืองบัลบัว ทางฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิก และป้อม เซอร์แมนโน มหาสมุทรแอตแลนติก เครือข่ายเรดาร์จะทำการตรวจสภาพอากาศและทำการเข้ารหัสด้วยรหัส การรายงานเรดาร์ พิเศษ และส่งผ่านเครื่องโทรพิมพ์ รายงานเหล่านี้เรียก ว่า RAREP การวิจัยของเครือข่าย เรดาร์ปานามาได้รับการจัดการโดย ร้อยโทไมรอน จี. H. "Herb" Ligda เขาได้รับมอบหมายในเดือนกุมภาพันธ์ ปีค.ศ. 1944 ให้เป็นเจ้าหน้าที่ตรวจอากาศเรดาร์ประจำภูมิภาคที่ 6 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความ รุนแรงในการสะท้อนกับทัศนวิสัยที่ผิวพื้น ความแตกต่างระหว่างการสะท้อนบนพื้นดินกับพื้นน้ำ ผลกระทบ ของการเคลื่อนที่ของพายุเนื่องจากรอยต่อระหว่างชายฝั่งกับทะเล ผลกระทบจากการเคลื่อนที่และความ รุนแรงของพายุเนื่องจากลักษณะภูมิประเทศ วงจรชีวิตของพายุ ทิศทางของพายุกับลมชั้นบน การตรวจจับฟ้า แลบด้วยเรดาร์ การศึกษาภูมิอากาศโดยใช้เรดาร์ในเบื้องต้นถือว่าค่อนข้างสมบูรณ์ เนื่องจากแสดงให้เห็น บริเวณที่พายุเริ่มก่อตัวและรูปแบบการเคลื่อนตัวของพายุในประเทศปานามา การศึกษาค้นคว้าเหล่านี้ทำให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลเรดาร์เพื่อนักพยากรณ์อากาศและผู้รับบริการ เครือข่ายเรดาร์ที่สองอยู่ที่ ประเทศอินเดีย เกิดขึ้นจากการรวมกันของหลายหน่วยปฏิบัติการให้เป็นหน่วยงานเดียว โครงการนี้ใช้เรดาร์ใน การเฝ้าระวังสภาพอากาศเป็นหลัก ในฤดูร้อนของปีค.ศ 1944 การสำรวจสภาพอากาศโดยเครื่องบิน B-25 ได้ ถูกปรับเปลี่ยนให้นำมาบรรทุกชุดวิทยุ AN/APQ-13,2 (ซึ่งก็คือเรดาร์ชนิด X-band) APQ-13 ได้ถูกพัฒนา ร่วมกันโดย Bell Telephone Laboratories และ MIT Rad Lab มันถูกผลิตโดย Western Electric ซึ่งเป็น บริษัทผู้ผลิต Bell System หลังจากนั้น APQ-13 มักถูกใช้เพื่อตรวจจับพายุในฤดูใบไม้ร่วงปี ค.ศ. 1944 ผงบิน ลาดตระเวนทางอากาศชุดที่ 2 ได้ถูกส่งไปยังสถานที่ใกล้กับเมืองกัลกัตตา ประเทศอินเดีย เรดาร์บนเครื่องบิน ทำการตรวจจับพายุได้ดีแต่ค่อนข้างยุ่งยากในการทำงานเมื่อต้องทำการบินสำรวจสภาพอากาศและให้ลูกเรือ จะต้องคอยเฝ้าสังเกตการณ์การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของ squall-line เพื่อทำการแจ้งเตือน APQ-13s บางตัว ถูกปรับเปลี่ยนให้มาใช้งานภาคพื้นและติดตั้งบนหอดูดาวของสถานีตรวจอากาศ สถานีที่ประสบความสำเร็จอยู่ที่

เมืองกุสคารา ประเทศอินเดีย สถานีเรดาร์ตรวจอากาศได้ทำการเก็บข้อมูล บันทึกและส่งผ่านเพื่อให้ นักพยากรณ์สามารถสังเคราะห์ข้อมูลพายุได้จากเรดาร์หลาย ๆ ตัวและสรุปสภาพอากาศแก่ลูกเรือ ช่วงเริ่มต้นของการใช้ประโยชน์จากเรดาร์ไม่ว่าจะเป็นแบบเฉพาะตัวหรือแบบเครือข่าย เพื่อตรวจสอบสภาพอากาศ นำไปสู่การจำแนกลักษณะต่าง ๆ ของโครงสร้างพื้นฐานของพายุและการจัดการข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ความสำเร็จในช่วงสงครามเหล่านี้ถือเป็นจุดเริ่มต้นของการใช้เรดาร์ในยุคหลังสงครามที่การพัฒนา ด้านอุตุนิยมวิทยาควบคู่ไปกับการสร้างองค์ความรู้ใหม่ ๆ ทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับเรดาร์อุตุนิยมวิทยา

2.2 หลักการทำงานและประเภทของเรดาร์ตรวจอากาศ

2.2.1 หลักการทำงานของเรดาร์

โดยทั่วไปเรดาร์จะประกอบด้วยเครื่องส่งสัญญาณ (Transmitter) มีหน้าที่สร้างสัญญาณวิทยุ ไมโครเวฟ จานเสาอากาศ (Antenna) มีหน้าที่ส่งสัญญาณวิทยุไมโครเวฟออกสู่อากาศ และรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมา เครื่องรับสัญญาณ (Receiver) มีหน้าที่ตรวจจับ คัดแยก และประมวลผลสัญญาณวิทยุ ไมโครเวฟที่สะท้อนกลับเข้ามา และใช้หน่วยประมวลผลสัญญาณ (Signal processor) เพื่อนำเสนอข้อมูลสัญญาณในรูปแบบที่สามารถใช้งานได้



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงการทำงานภาพโดยรวมของระบบเรดาร์

การทำงานของเรดาร์เริ่มจากการสร้างสัญญาณวิทยุ (Radio frequency, RF) จาก Magnetron หรืออุปกรณ์อื่น สัญญาณวิทยุที่ถูกสร้างจะถูกใช้เป็นคลื่นพาหะ และส่งต่อไปที่เครื่องขยายสัญญาณ (Amplifier) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการมอดูเลต (Modulated) สัญญาณแบบพัลส์เข้าไปในคลื่นวิทยุพาหะ คลื่นที่รวมกันแล้วจะเรียกกันว่า "สัญญาณเรดาร์" และถูกส่งไปในอากาศโดยเสาอากาศ (Antenna) ซึ่งในระหว่างการส่งระยะเวลานี้จะถูกเรียกว่า "เฟสการส่ง (Transmit phase)" ซึ่งเครื่องรับสัญญาณ (Receiver) จะถูกบล็อก

โดยตัวสวิตช์ T/R (T/R limiter) ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันการรั่วไหลของสัญญาณเรดาร์จากเครื่องส่ง (Transmitter) ไปยังเครื่องรับสัญญาณ (Receiver) โดยตรง ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ภายใน เนื่องจากความเข้มของสัญญาณสูงเกินไป

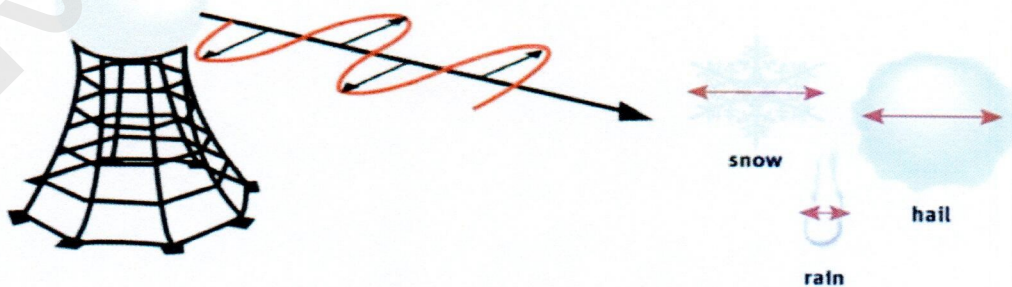
หลังจากที่การส่งสัญญาณเรดาร์สิ้นสุดลง ตัวสวิตช์ T/R (T/R limiter) จะทำหน้าที่สลับวงจร โดยเชื่อมเสาอากาศมายังเครื่องรับ (Receiver) เพื่อรับสัญญาณที่ถูกสะท้อนกลับมาจากกลุ่มฝนหรือเป้าที่เราสนใจ แม้ว่าสัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนกลับเข้ามาจะมีความเข้มต่ำ แต่เนื่องจากความตอบสนองที่ไวของเครื่องรับ (Receiver) ทำให้สามารถตรวจพบฝนฟ้าคะนองได้แม้ว่ากลุ่มฝนนั้นอยู่ไกล หลังจากได้รับสัญญาณสะท้อนแล้ว หน่วยประมวลผล (Signal processor) จะดำเนินการแปลงสัญญาณเรดาร์เหล่านี้ให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นเพื่อนำไปแสดงผล หรือเป็นไฟล์ตั้งต้น (Raw file) การนำไปประมวลผลแบบพิเศษต่อไป

สัญญาณเรดาร์จะถูกส่งและรับในรูปแบบของลำรังสีทรงกรวยไปในบรรยากาศ เนื่องจากคุณสมบัติของจานเสาอากาศ และหลังจบการสังเกตการณ์หนึ่งรอบการส่งรับ หลังจากนั้นเสาอากาศจะเคลื่อนที่สแกนไปในแนวระนาบและแนวระดับในตำแหน่งถัดไป ตามแผนการสังเกตการณ์ของนักอุตุนิยมวิทยา (Dual polarization radar จะไปส่งรับในแนว Horizontal polarization และ Vertical polarization ก่อนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไป)

2.2.2 ประเภทของเรดาร์ตรวจอากาศ

2.2.2.1 เรดาร์แบบ Single polarization และ Dual polarization

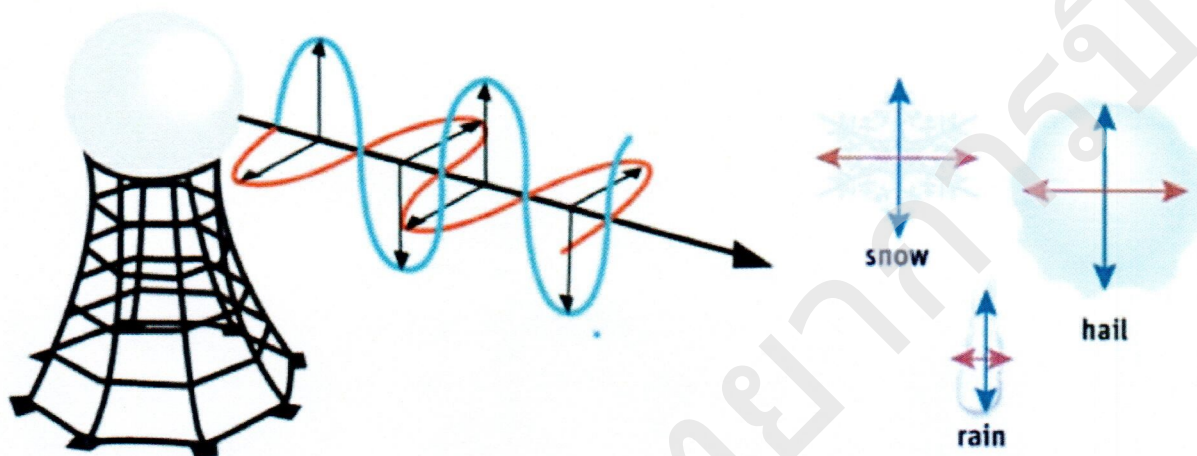
เรดาร์ Single polarization เป็นเรดาร์ถูกพัฒนาในยุคแรก ๆ เนื่องจากขีดจำกัดของทางด้านวิศวกรรม เทคโนโลยี และความรู้ ซึ่งเรดาร์เหล่านี้สามารถส่งรับสัญญาณเรดาร์ได้เพียง 1 polarization เนื่องจากตำแหน่งของพรีดฮอร์นถูกติดตั้งแบบตายตัว เรดาร์ประเภทนี้ส่วนใหญ่รวมถึงทางอุตุนิยมวิทยาด้วย นิยมใช้ polarization ส่งรับในแบบ Horizontal polarization ตัวอย่างการส่งรับสัญญาณเรดาร์ชนิดนี้สามารถดูได้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพแสดงรูปแบบการส่งสัญญาณเรดาร์ และเมื่อกระทบเป้า ของเรดาร์แบบ Single polarization

2.2.2.2 เรดาร์แบบ Dual polarization

เรดาร์แบบ Dual polarization เรดาร์ชนิดนี้ถูกพัฒนาเพื่อลบข้อจำกัดบางอย่างของเรดาร์แบบ Single polarization เช่น การจำแนกวัตถุ เป็นต้น เรดาร์ชนิดนี้จะส่งรับสัญญาณเรดาร์ 2 รอบ ซึ่งแต่ละรอบจะเปลี่ยน polarization คือ Horizontal polarization และ Vertical polarization ตัวอย่างการส่งรับสัญญาณเรดาร์ชนิดนี้ สามารถดูได้ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ภาพแสดงรูปแบบการส่งสัญญาณเรดาร์ และเมื่อกระทบเป้า ของเรดาร์แบบ Dual polarization

2.2.2.3 ข้อแตกต่าง ข้อดี-ข้อเสียของ Single polarization และ Dual polarization

ข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัด คือ เสถียรภาพของเรดาร์แบบ Single polarization จะตายตัวไม่สามารถเปลี่ยน polarization ได้ แต่ Dual polarization สามารถเปลี่ยน polarization ในการส่งรับสัญญาณเรดาร์ ข้อดี คือ เรดาร์แบบ dual polarization จะมีข้อมูลมากกว่า ทำให้สามารถสร้างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ช่วยในการวิเคราะห์ห้วงกลุ่มฝนมากขึ้น เช่น การแยกชนิดของหยาดน้ำฟ้าหรือชนิดของฝน เป็นต้น ข้อเสียคือต้องใช้เวลากการสังเกตการณ์มากกว่า single polarization ถึง 2 เท่า ดังนั้นควรเลือกระดาร์ที่เหมาะสมในการทำงาน ซึ่งแบบ Single polarization ถึงผลิตภัณฑ์จะน้อย แต่ถ้าเวลาสำคัญมากกว่า Single polarization ถือเป็นตัวเลือกที่ดีกว่าสำหรับการสังเกตการณ์ ส่วน Dual polarization เหมาะสมงานวิเคราะห์อย่างละเอียดและมีเวลามากพอ

2.2.2.4 เรดาร์แบบดอปเปลอร์ (Doppler radar)

เมื่อกล่าวถึงเรดาร์โดยทั่วไปแล้ว จะใช้สำหรับตรวจหาตำแหน่ง ความเข้มหรือวัดปริมาณฝนเท่านั้น ยังมีเรดาร์อีกชนิดหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตรวจวัดความเร็ว คือ เรดาร์แบบดอปเปลอร์ เรดาร์นี้สามารถตรวจหาตำแหน่งเหมือนกับเรดาร์แบบทั่วไป และยังสามารถตรวจการเคลื่อนที่ภายในเป้าและกระแสลมแวดล้อมเป้าได้อีกด้วย

เรดาร์แบบดอปเปลอร์ สามารถวัดความเร็วในแนวรัศมีของเป้าได้ เนื่องจากเทคโนโลยีที่ดีขึ้นของเครื่องรับ ทำให้สามารถตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของความเร็วที่สะท้อนกลับมาเนื่องจากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ ซึ่งความเร็วที่เปลี่ยนไปจะถูกนำมาคำนวณความเร็วของเป้าในแนวรัศมี

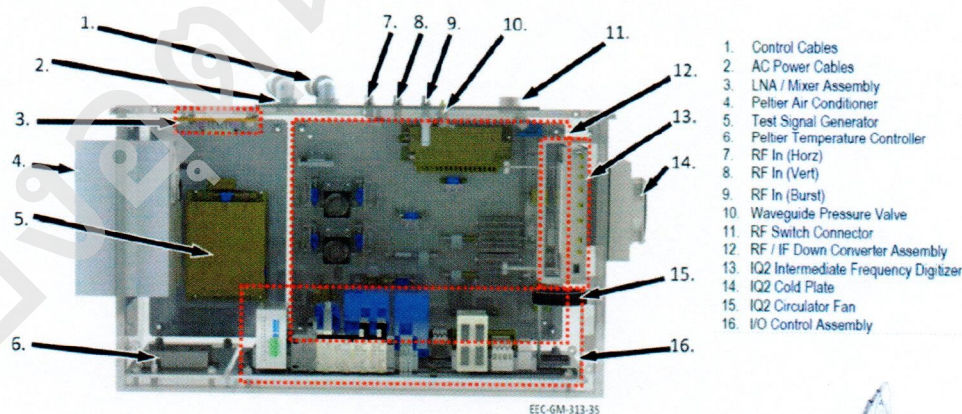
หมายเหตุ ปัจจุบันสนามบินสุวรรณภูมิใช้งานเรดาร์ชนิด S-Band Dual polarization Doppler radar ในการตรวจอากาศการบิน

2.3 ส่วนประกอบหลักแต่ละชนิดของเรดาร์

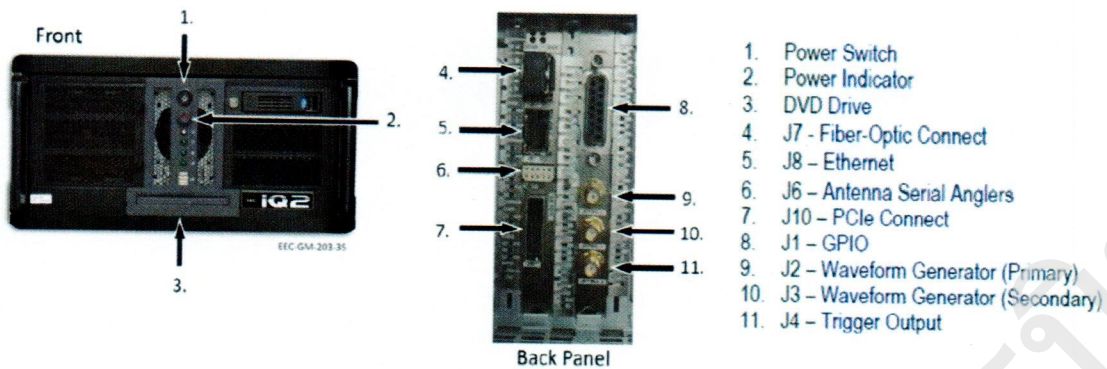
2.3.1 เครื่องรับสัญญาณ (Receiver)

เรดาร์จะส่งสัญญาณเรดาร์ความเข้มสูงในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 2-3 ไมโครวินาที จากนั้นรอสัญญาณเรดาร์สะท้อนจากเป้าหมายกลับยังเรดาร์ โดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 2-3 มิลลิวินาที ซึ่งสัญญาณเรดาร์เดินทางด้วยความเร็วแสง ดังนั้นการรอเพียง 2-3 มิลลิวินาที ก็ครอบคลุมหลายร้อยกิโลเมตร และสัญญาณที่สะท้อนกลับมา จะกลับเข้ามาพร้อมกับข้อมูลที่มากมาย ในเครื่องรับเรดาร์สมัยใหม่ส่วนใหญ่จะมีเครื่องผสมสัญญาณ (Mixer) ประเภทโซลิดสเตตซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ (solid-state super-heterodyne) ซึ่งสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจะถูกผสมกับสัญญาณอ้างอิงที่สร้างจากเครื่องผสมสัญญาณ (mixer) เพื่อปรับขนาดลงความถี่ให้เหมาะสมในการประมวลผล ความถี่ใหม่นี้ถูกเรียกว่าความถี่กลาง (intermediate frequency, IF) กระบวนการนี้เรียกว่า “down converter” หลังจากแปลงความถี่ ข้อมูลที่อยู่ในความถี่จะถูกกรองออก และส่งไปประมวลผลและแสดงผลเพิ่มเติม

สัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนกลับมาจะมีพลังงานหรือความเข้มตั้งแต่ -110 dBm ถึงประมาณ 0 dBm ในปัจจุบันเครื่องรับสัญญาณมีช่วงไดนามิกสูง (ประมาณ 100 dB คือ ยกตัวอย่าง -100 ถึง 0 dBm หรืออาจจะเป็น -110 ถึง -10 dBm) ทำให้สามารถตรวจพบสัญญาณได้กว้าง แม้ว่าสัญญาณนั้นจะอ่อนก็ตาม



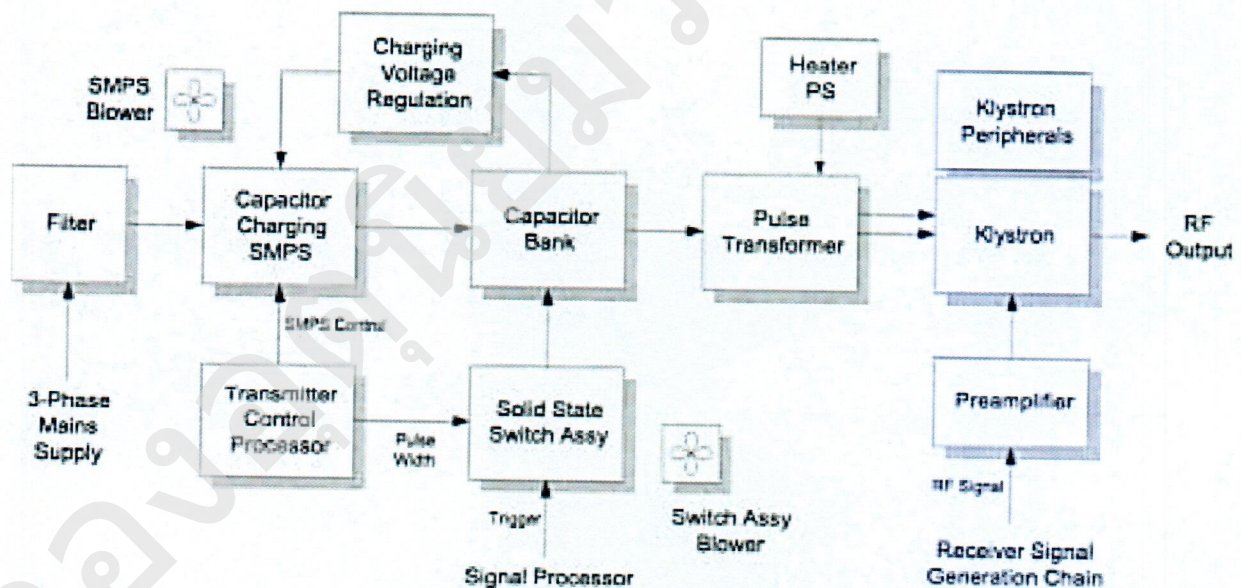
รูปที่ 4 แสดงเครื่องประมวลผลสัญญาณ (signal processor) ที่ใช้จริงของเรดาร์สนามบินสุวรรณภูมิ



รูปที่ 5 แสดงเครื่องรับสัญญาณ (receiver) ที่ใช้จริงของเรดาร์สนามบินสุวรรณภูมิ

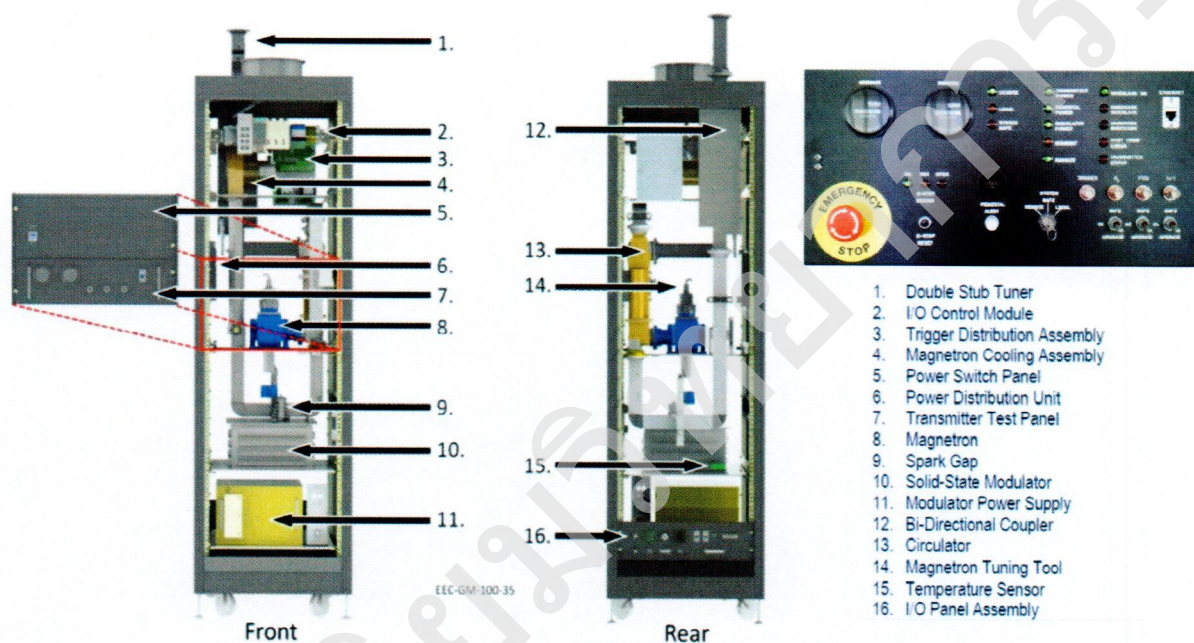
2.3.2 เครื่องส่งสัญญาณ (Transmitter)

เครื่องส่งสัญญาณเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบเรดาร์ มีหน้าที่สร้างสัญญาณวิทยุความเข้มสูง สำหรับส่งไปกระทบเป้าหรือกลุ่มฝน เครื่องส่งสัญญาณของระบบเรดาร์ ประกอบไปด้วยหลอดไมโครเวฟ (หรืออุปกรณ์โซลิตสแตต) แหล่งจ่ายไฟ หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง ตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้า ตัวกรองโปรเซสเซอร์และวงจรควบคุม โบลเวอร์ โมดูเลเตอร์ และวงจร แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภาพการทำงานโดยทั่วไปของเครื่องส่งสัญญาณที่มีหลอด klystron เป็นตัวสร้างสัญญาณ

เครื่องส่งสัญญาณเรดาร์โดยทั่วไปจะมีกำลังส่งอยู่ที่ 0.25 ถึง 10 เมกะวัตต์ เป็นส่วนใหญ่ และระบบของเครื่องส่งสัญญาณเมื่อเทียบกับระบบอื่นในเรดาร์ จะมีราคาสูงที่สุดและมีน้ำหนักมากในระบบเรดาร์ เครื่องส่งสัญญาณจะทำงานเพียงชั่วขณะหนึ่งเท่านั้น (2-3 ไมโครวินาที) ช่วงที่เครื่องทำงานเรียกว่าช่วงส่ง (Transmitted phase) ซึ่งต้องการพลังงานมหาศาลในช่วงเวลาสั้น ๆ ดังนั้นความเสถียรของระบบไฟฟ้าจึงสำคัญมากเช่นกัน และนอกจากนี้เครื่องส่งสัญญาณยังต้องการความเย็นและความชื้นที่ต่ำมาก ดังนั้นห้องที่ใช้ตั้งเครื่องส่งสัญญาณจะต้องถูกควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ตัวอย่างเครื่องส่งสัญญาณสามารถดูได้ในรูปที่ 7



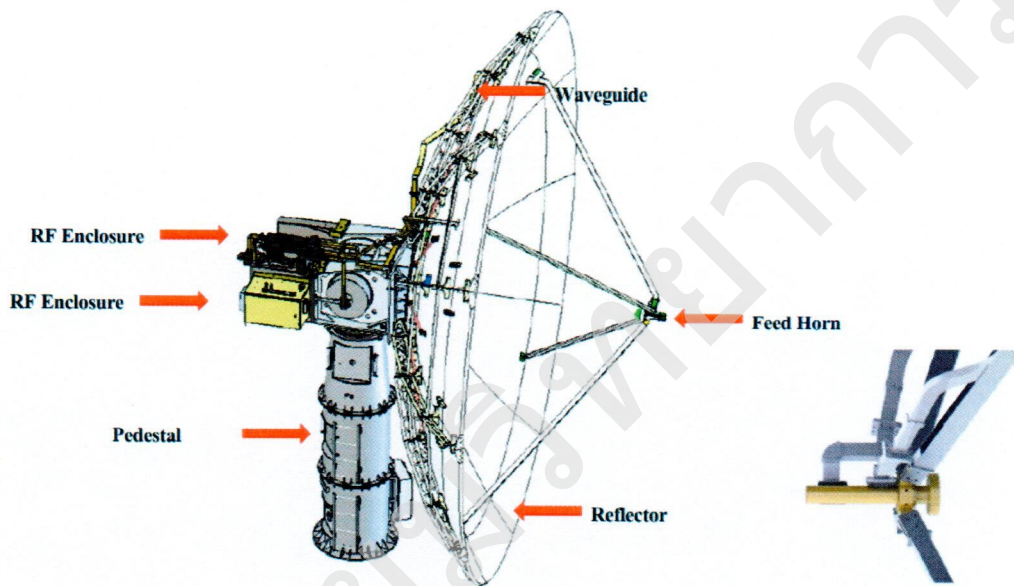
รูปที่ 7 แสดงระบบเครื่องส่งสัญญาณ (transmitter) ที่ใช้จริงของเรดาร์สนามบินสุวรรณภูมิ

2.3.3 งานเสาอากาศเรดาร์

งานเสาอากาศเรดาร์ ถูกเปรียบว่าเป็นเหมือนดวงตาของเรดาร์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบอีกหนึ่งส่วนที่สำคัญ ซึ่งรูปร่างและขนาดของงานเสาอากาศมีผลสำคัญต่อคุณภาพและลักษณะข้อมูลอย่างยิ่ง ยิ่งขนาดงานใหญ่ก็ให้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากขึ้น กำลังขยายสูงขึ้น แต่ก็ต้องแลกมาด้วยเรื่องของระบบขับเคลื่อนงานเสาอากาศที่ต้องใช้พลังงานสูงขึ้น และเคลื่อนที่ได้ช้าลง ดังนั้นขนาดงานเสาอากาศเรดาร์จึงควรเลือกให้เหมาะสมกับการสังเกตการณ์ ตัวแปรหลักในการเลือกจากคือความถี่ที่เรดาร์ใช้ และขนาดความละเอียดเชิงมุม (Angular resolution) ที่ต้องการใช้ในการสังเกตการณ์ ซึ่งจะทำให้เราสามารถคำนวณออกแบบรูปร่างและขนาดของงานเรดาร์ที่เหมาะสมกับการสังเกตการณ์ได้

งานเสาอากาศเรดาร์ที่ดี จะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้:

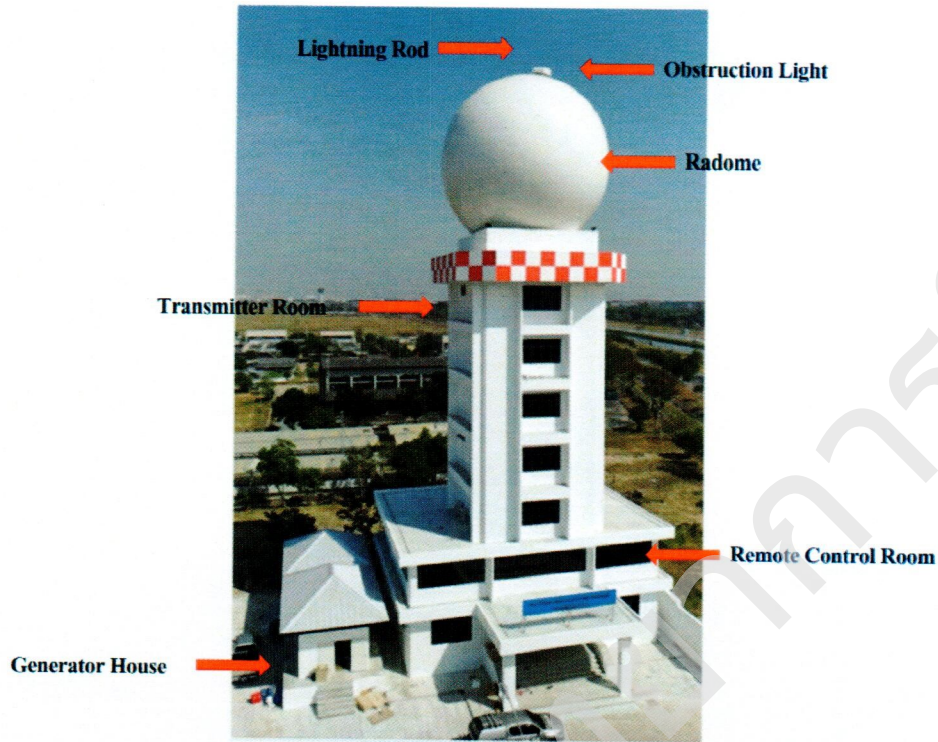
- มีกำลังขยาย (Gain) สูง
- ความละเอียดเชิงมุม (Angular resolution) แคบ
- ระดับ Main-lobe สูง และ Side-lobe ต่ำ
- Broad-banding คือ สัญญาณเรดาร์ที่ถูกส่งและรับไม่มีผิดเพี้ยนเนื่องจากตัวงานเสาอากาศ และครอบคลุมความถี่ของเรดาร์
- มีความแม่นยำในการชี้ตำแหน่งสูง และหมุนเคลื่อนที่ได้เร็ว



รูปที่ 8 แสดงงานเสาอากาศ (antenna) ที่ถูกใช้จริงของเรดาร์สนามบินสุวรรณภูมิ

2.3.4 เรโดม (Radome)

เสาอากาศของเรดาร์ภาคพื้นดินมักอยู่ภายใต้สภาพอากาศที่เลวร้าย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเปลือกหุ้มบางส่วนเพื่อให้เสาอากาศอยู่รอดและทำงานภายใต้สภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวย เปลือกหุ้มเหล่านี้เรียกว่า RADOME สร้างจากวัสดุที่ทนทาน ทนฝนและทนแดด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเป็นไฟเบอร์กลาส จริง ๆ แล้วจุดประสงค์หลัก ส่วนใหญ่ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำแข็ง (โดยเฉพาะฝนเยือกแข็ง) เกาะสะสมโดยตรงบนพื้นผิวโลหะของเสาอากาศ และยังปกป้องเศษวัสดุที่พัดจากลมหมุนหรือลมกระโชกมากระทบเสาอากาศระหว่างใช้งาน เรโดมจะช่วยป้องกันปัญหาหาร้ายแรงหรือความผิดปกติใด ๆ กับระบบเสาอากาศ อย่างไรก็ตามเรโดมจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นนอกเหนือจากน้ำหนักของมันเอง ซึ่งเกิดจากไหลของลม และน้ำหนักน้ำแข็งที่อาจจะเกาะได้ ดังนั้นควรจึงต้องมีการวางแผนออกแบบโครงสร้างโดยรวมให้ดี

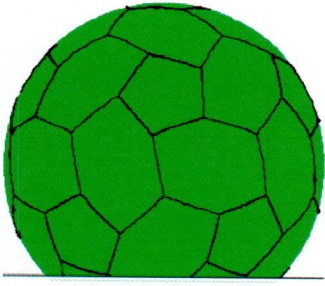


รูปที่ 9 ภาพหอสังเกตการณ์เรดาร์สุวรรณภูมิ

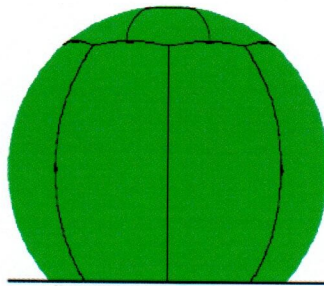
การออกแบบเรโดมควรคำนึง คุณสมบัติของเสาอากาศภายในเป็นสำคัญ เรโดมนั้นจะต้องคุณสมบัติของเสาอากาศจากเดิมให้น้อยที่สุดหรือไม่เปลี่ยนแปลงไปเลย เช่น ตำแหน่งจุดโฟกัสเสาอากาศ กำลังขยาย (Gain) ทิศทางของ Polarization อื่นๆ สัญญาณรบกวน รูปแบบรับส่งของเสาอากาศ (Antenna pattern) คือ Main-lobe Side-lobe ความละเอียดเชิงมุม (Angular resolution) ของเสาอากาศ เป็นต้น

เนื่องจากเรโดมเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ เรโดมจึงต้องถูกแบ่งออกเป็นแผ่น ๆ เพื่อเหตุผลด้านการผลิตและการขนส่ง และเรโดมถูกแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามแผ่นโครงสร้าง

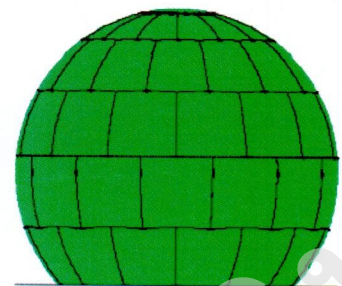
- Igloo: เรโดมถูกแบ่งออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ โดยมีข้อต่อแนวตั้งหรือแนวนอนก็ได้
- Orange Peel: เรโดมถูกแบ่งออกเป็นชิ้นแนวตั้งที่ค่อนข้างใหญ่โดยส่วนใหญ่เป็นข้อต่อแนวตั้ง
- Quasi-Random: เรโดมถูกแบ่งออกเป็นชิ้นส่วนไร้รูปแบบที่แน่นอนชัดเจนจำนวนมาก



Quasi Random



Orange Peel



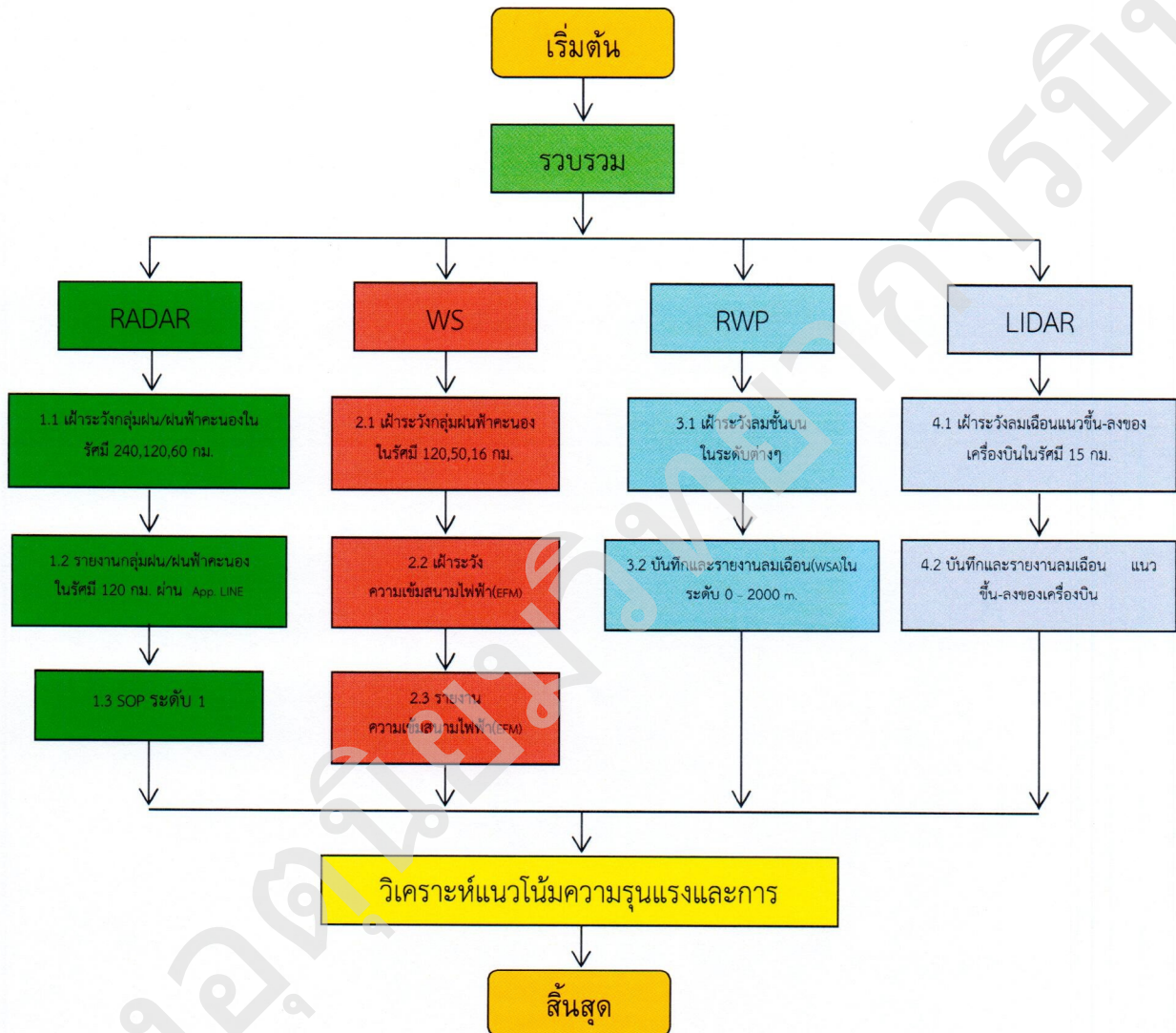
Igloo

รูปที่ 10 แสดงลักษณะชิ้นส่วนที่นำมาประกอบกันของเรโคมในแต่ละชนิด

กองอุตสาหกรรมวิชาการชั้น

บทที่ 3 การเฝ้าระวังกลุ่มฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ

3.1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ



โดยการนำข้อมูลของเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ (RADAR) ระบบแจ้งเตือนฟ้าแลบฟ้าผ่า (WS-Warning System) เครื่องตรวจวัดลมชั้นบน ระดับต่างๆ (RWP-Radar Wind Profiler) และเครื่องตรวจวัดลมเฉือนแนวขึ้น-ลง (LIDAR -Light Detection and Ranging) รวบรวมข้อมูลมาประกอบกันเพื่อทำการวิเคราะห์แนวโน้มความรุนแรงและการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน/ฝนฟ้าคะนอง

1. เฝ้าระวังกลุ่มฝน/ฝนฟ้าคะนองในรัศมี 240 120 และ 60 กม. เฝ้าระวัง/ติดตามกลุ่มฝนหรือกลุ่มฝนฟ้าคะนอง ที่อยู่โดยรอบท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ในรัศมี 240 120 และ 60 กิโลเมตร แล้วทำการบันทึก

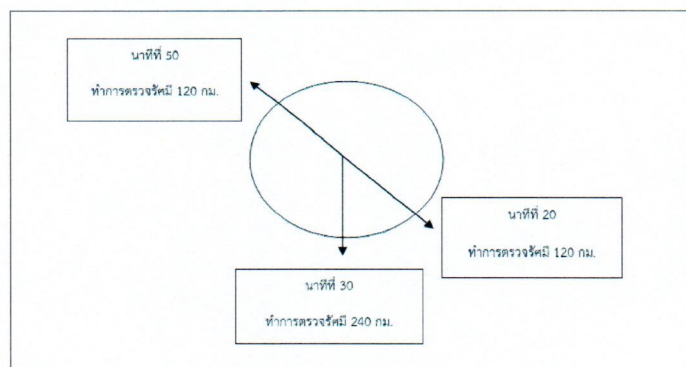
2. รายงานกลุ่มฝน/ฝนฟ้าคะนองในรัศมี 120 กม. ผ่าน App. LINE เมื่อเรดาร์ตรวจอากาศทำการตรวจพบกลุ่มฝน/ฝนฟ้าคะนอง ในรัศมี 120 กม. โดยรอบท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ต้องทำการรายงานให้ผู้รับบริการ และหากมีฝนฟ้าคะนองตกต่อเนื่องและมีนัยสำคัญให้ทำการรายงานทุก ๆ 30 นาที โดยการรายงานฯ นั้น เป็นรายงานที่ระบุถึง ตำแหน่ง ทิศทางการเคลื่อนตัวและความรุนแรงของกลุ่มฝนฟ้าคะนองที่ปรากฏในรัศมี 120 กม. ซึ่งการรายงานฯ นี้ทำการรายงานผ่าน Application Line

3. รายงาน SOP ระดับ 1 การรายงานสภาพอากาศร้ายจากพายุฝนฟ้าคะนอง ณ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิหรือท่าอากาศยานดอนเมือง ระดับ 1 (SOP ระดับ 1) ครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการเฝ้าระวังและติดตามกลุ่มฝนหรือกลุ่มฝนฟ้าคะนอง ที่อยู่โดยรอบท่าอากาศยานสุวรรณภูมิหรือท่าอากาศยานดอนเมือง ในรัศมี 120 กิโลเมตร และจะทำการรายงานสภาพอากาศร้ายจากพายุฝนฟ้าคะนอง ณ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิหรือท่าอากาศยานดอนเมือง ระดับ 1 (SOP ระดับ 1) เมื่อตรวจพบว่ากลุ่มฝนหรือกลุ่มฝนฟ้าคะนอง ที่อยู่โดยรอบท่าอากาศยานสุวรรณภูมิหรือท่าอากาศยานดอนเมือง ในรัศมี 50 กิโลเมตร และ/หรือมีทิศทางการเคลื่อนตัวเข้ามายังท่าอากาศยานสุวรรณภูมิหรือท่าอากาศยานดอนเมือง แต่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญและการยกเลิกรายงานสภาพอากาศร้ายจากพายุฝนฟ้าคะนอง ณ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิหรือท่าอากาศยานดอนเมือง (SOP ระดับ 1) เมื่อตรวจพบว่าไม่มีกลุ่มฝนหรือกลุ่มฝนฟ้าคะนอง ที่อยู่โดยรอบสนามบินสุวรรณภูมิหรือท่าอากาศยานดอนเมืองในรัศมี 50 กิโลเมตร และ/หรือเคลื่อนตัวออกจากท่าอากาศยานสุวรรณภูมิหรือท่าอากาศยานดอนเมือง แต่ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ

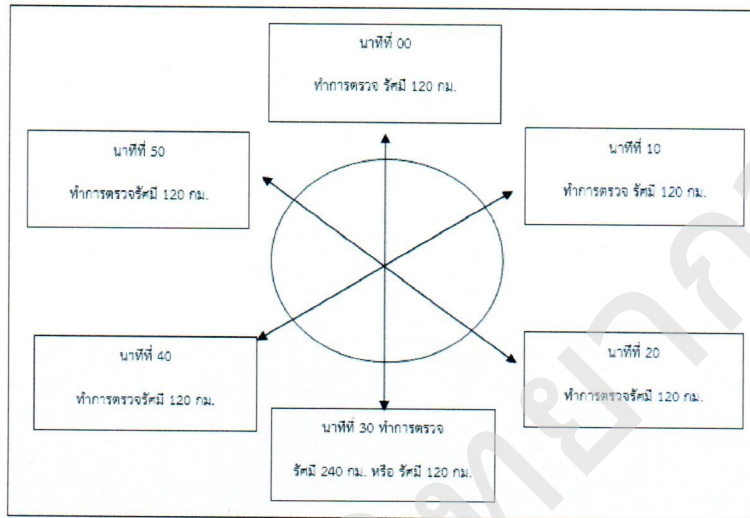
3.2 แผนการดำเนินการใช้เรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ

เรดาร์ตรวจอากาศ จะทำการตรวจหากกลุ่มฝนในรัศมี 120 กม.และ 240 กม. ตามเวลาตรวจ ดังนี้

- เมื่อไม่มีกลุ่มฝน หรือท้องฟ้าแจ่มใส หรือท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน หรือในช่วงฤดูหนาว
 - ทำการตรวจเรดาร์ในรัศมี 120 กม. ตรวจทุก 30 นาที (นาทีที่ 20 และ 50) และมุลยกไม่เกิน 3 มุลยก
 - ทำการตรวจเรดาร์ในรัศมี 240 กม. ตรวจทุก 1 ชม. (นาทีที่ 30) และมุลยกไม่เกิน 4 มุลยก

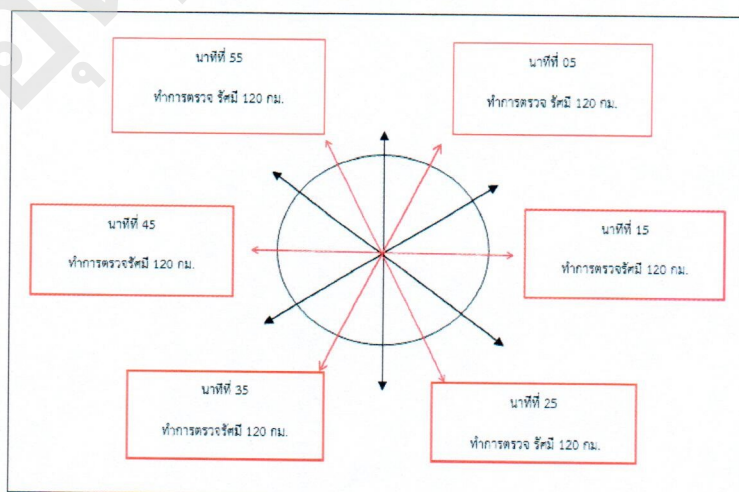


2. เมื่อมีกลุ่มฝนหรือกลุ่มฝนฟ้าคะนองหรือท้องฟ้ามีเมฆเป็นส่วนมากหรือเมฆมาก ในช่วงฤดูร้อนหรือช่วงฤดูฝน
- ทำการตรวจเรดาร์ในรัศมี 120 กม. ตรวจทุก 10 นาที (นาทีที่ 00 10 20 30 40 50) ตามความเหมาะสมและมุลยกไม่เกิน 3 มุลยก
 - ทำการตรวจเรดาร์ในรัศมี 240 กม. ตรวจทุก 1 ชม. (นาทีที่ 30) และมุลยกไม่เกิน 4 มุลยก



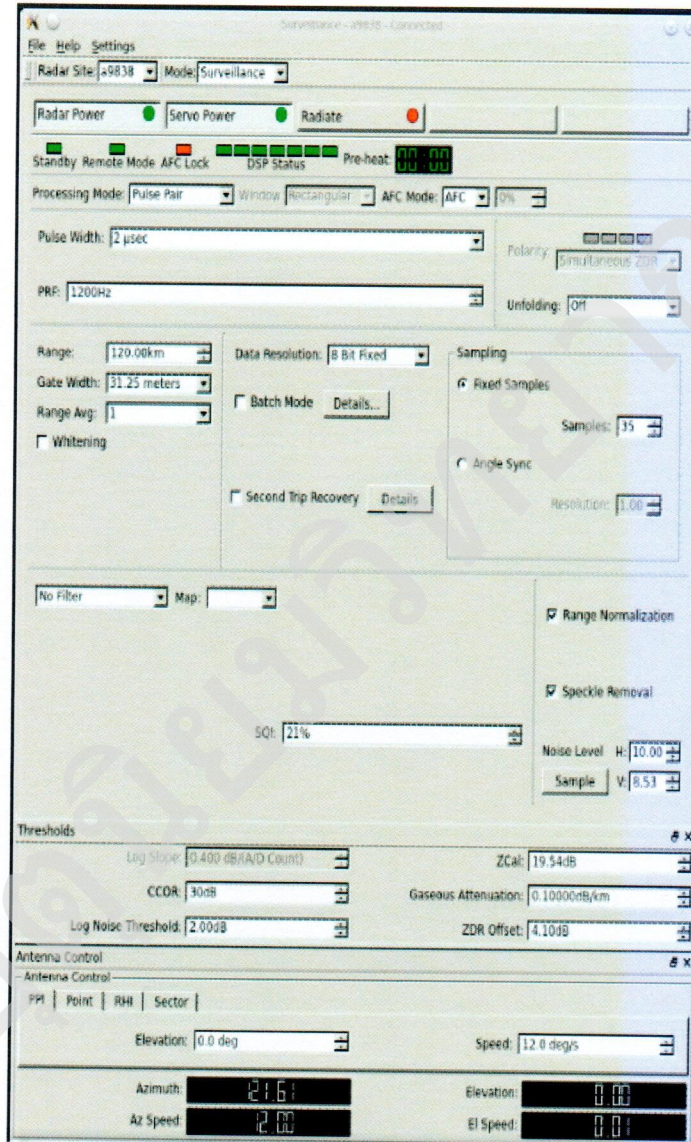
3. ตรวจพิเศษ เช่น เข้าเกณฑ์รายงาน SOP ระดับ 1 หรือการซ่อมบำรุง (ใช้ Surveillance Mode)

- เมื่อเข้าเกณฑ์รายงาน SOP ระดับ 1 โดยทำการตรวจเรดาร์ในรัศมี 120 กม. ตรวจทุก 10 นาที (นาทีที่ 05 15 25 35 45 55) มุลยกไม่เกิน 7 มุลยก หรือใช้เวลาในการตรวจเรดาร์ไม่เกิน 4 นาที (ไม่กระทบต่อการทำงานในข้อ 2) และเมื่อเข้าเกณฑ์ยกเลิกรายงาน SOP ระดับ 1 ให้ทำการตรวจเรดาร์ตามข้อ 2 ต่อไป



การซ่อมบำรุง (ใช้ Surveillance Mode) สามารถเลือกสลับ Operation Mode จาก Scheduler Mode เป็น Surveillance Mode ได้โดยการเปิดหน้าต่าง Surveillance จาก EDGE- Control (ต้องเปลี่ยนกลับไปเป็น Scheduler Mode ทุกครั้งหลังการใช้งาน)

1. EDGE-Control > Surveillance
2. เปลี่ยน Mode จาก Scheduler Mode เป็น Surveillance Mode

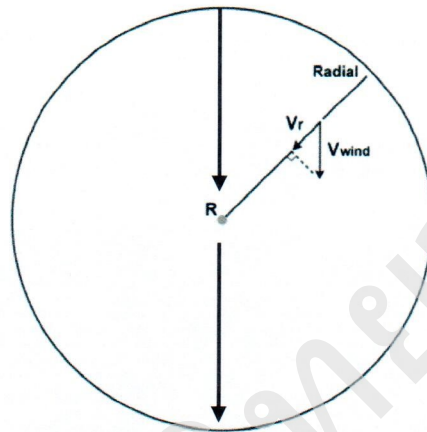


บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศแบบ Dual Polarization เพื่อการบิน

4.1 เทคนิคการวิเคราะห์ความเร็วแนวรัศมี

4.1.1 ความรู้พื้นฐาน

ความเร็วแนวรัศมี (Radial Velocity) คือ ความเร็วของกลุ่มฝนที่กำลังเคลื่อนที่เข้า (Toward or Inbound) หรือเคลื่อนที่ออก (Away or Outbound) ในแนวรัศมีการตรวจวัดของเรดาร์ตรวจอากาศ

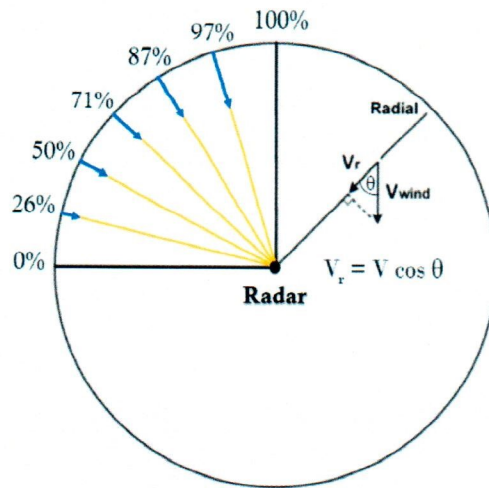


รูปที่ 11 ความเร็วแนวรัศมี (Radial Velocity)

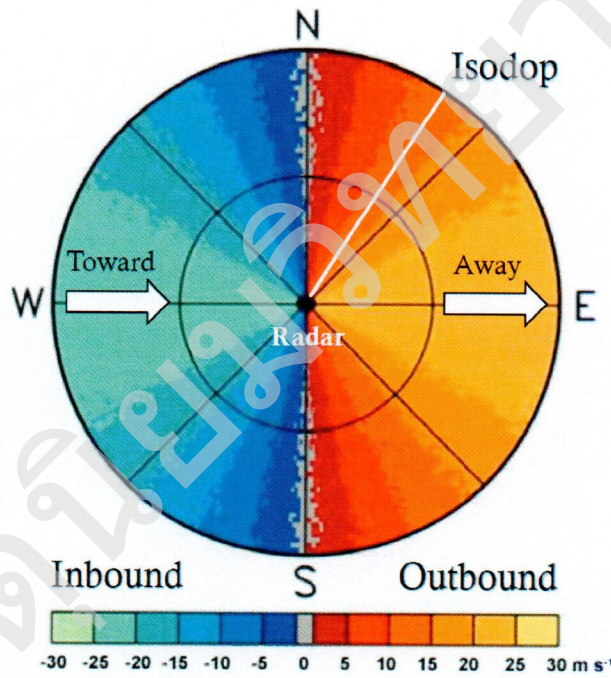
จากรูปที่ 11 จะเห็นว่าลมที่พัดมาไม่ตรงกับแนวเส้นตรงที่ขนานเข้าหาสถานีเรดาร์ (แนว ลูกศร) จะถูกแยกองค์ประกอบ (Components) ในแนวรัศมี (V_r) ซึ่งจะทำให้ความเร็วที่ตรวจวัดได้ลดลง ดัง แสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 12 ที่แสดงค่าของความเร็วแนวรัศมีที่ถูกตรวจวัดได้ที่มุมต่าง ๆ

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับความเร็วที่ตรวจวัดได้

| มุม | ความเร็วที่ตรวจวัดได้ |
|--------------|-----------------------|
| 0° | 100% |
| 15° | 97% |
| 30° | 87% |
| 45° | 71% |
| 60° | 50% |
| 75° | 26% |
| 90° | 0% |

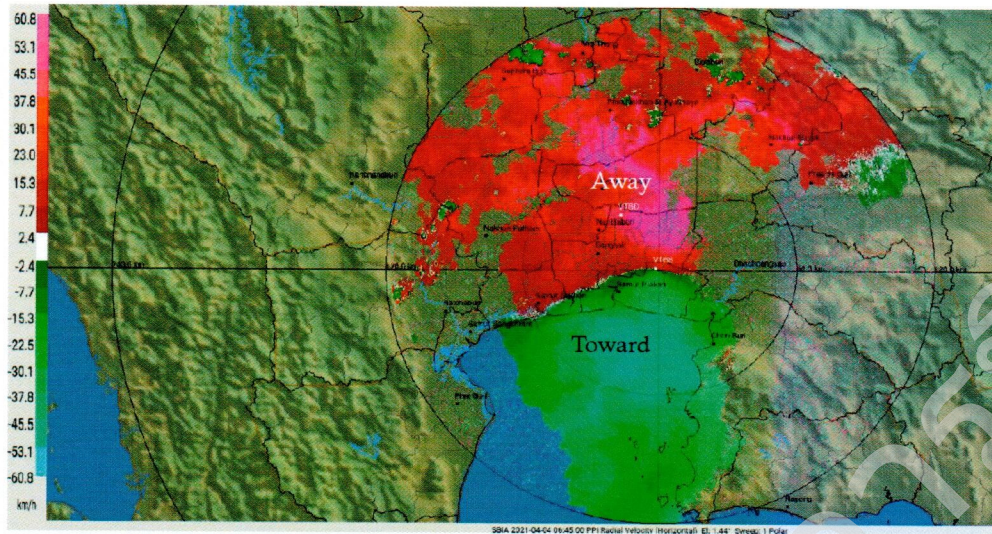


รูปที่ 12 ความเร็วแนวรัศมีที่ถูกตรวจวัดได้



รูปที่ 13 เครื่องหมายและเฉดสีของความเร็วแนวรัศมีที่ถูกตรวจวัดได้

จากรูปที่ 13 แสดงให้เห็นค่าความเร็วแนวรัศมีที่ทำมุมต่าง ๆ กับแนวขนานกับสถานีเรดาร์ ซึ่งค่าที่ได้จากการตรวจวัดจะถูกกำหนดด้วยเครื่องหมายบวกลบ ค่าลบแสดงว่ากลุ่มฝนกำลังเคลื่อนที่เข้าหาสถานีเรดาร์และค่าบวกแสดงว่ากลุ่มฝนกำลังเคลื่อนที่ออกจากสถานีเรดาร์ และเฉดสีต่าง ๆ แสดงช่วงค่าความเร็ว ซึ่งเส้นที่มีค่าความเร็วเท่ากันเรียกว่าเส้นความเร็วเท่า (Isodop) โดยบริเวณที่ความเร็วตั้งฉากกับสถานีเรดาร์จะมีความเร็วเท่ากับศูนย์เรียกบริเวณนี้ว่าบริเวณความเร็วศูนย์ (Zero Isodop) รูปที่ 14 แสดงตัวอย่างของภาพความเร็วแนวรัศมีที่ตรวจวัดได้จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ ซึ่งกำหนดให้ความเร็วแนวรัศมีของกลุ่มฝนที่กำลังเคลื่อนที่เข้าหาสถานีเรดาร์และความเร็วแนวรัศมีของกลุ่มฝนที่กำลังเคลื่อนที่ออกจากสถานีเรดาร์เป็นเฉดสีเขียวและเฉดสีแดงตามลำดับ



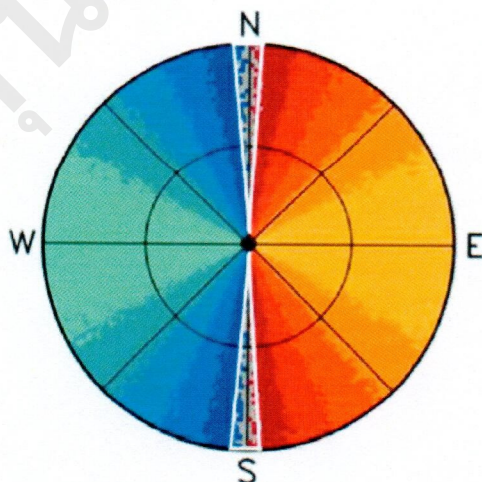
รูปที่ 14 ภาพความเร็วแนวรัศมีที่ตรวจวัดได้จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศสุวรรณภูมิ

4.1.2 เทคนิคการวิเคราะห์ทิศทางและความเร็วแนวรัศมี

เทคนิคการวิเคราะห์ทิศทางและความเร็วแนวรัศมีประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

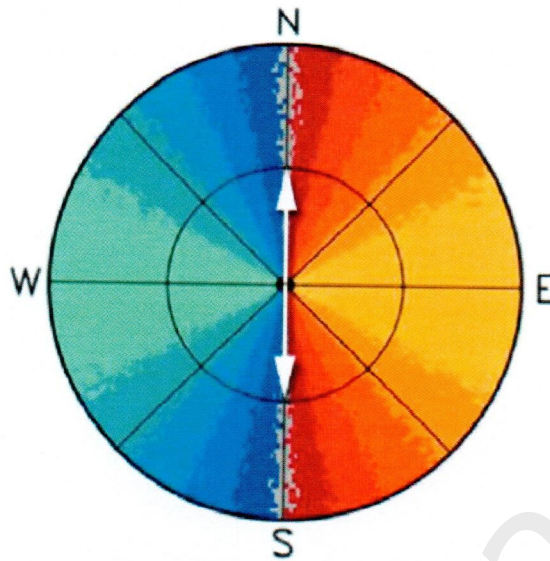
1. กำหนดบริเวณความเร็วศูนย์
2. ลากเส้นแนวความเร็วศูนย์
3. ลากเส้นตั้งฉากกับเส้นความเร็วศูนย์
4. กำหนดความเร็วแนวรัศมีที่ตำแหน่งความเร็วสูงสุด

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดบริเวณความเร็วศูนย์ตามเส้นความเร็วเท่าที่มีค่าเท่ากับศูนย์ ตามรูปที่ 5



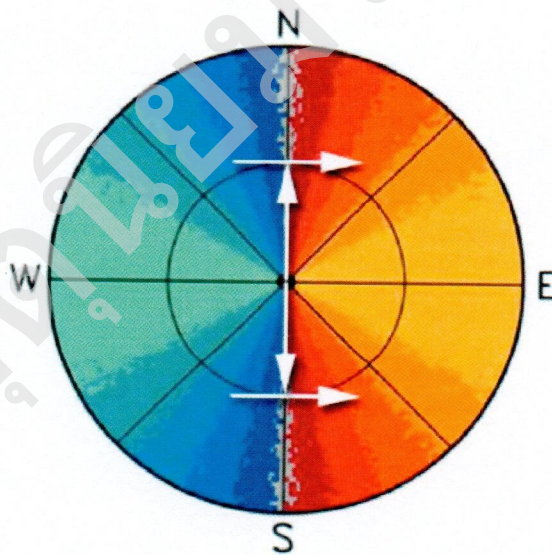
รูปที่ 15 ขั้นตอนที่ 1 กำหนดบริเวณความเร็วศูนย์

ขั้นตอนที่ 2 ลากเส้นแนวความเร็วศูนย์ผ่านสถานีเรดาร์ ตามรูปที่ 16



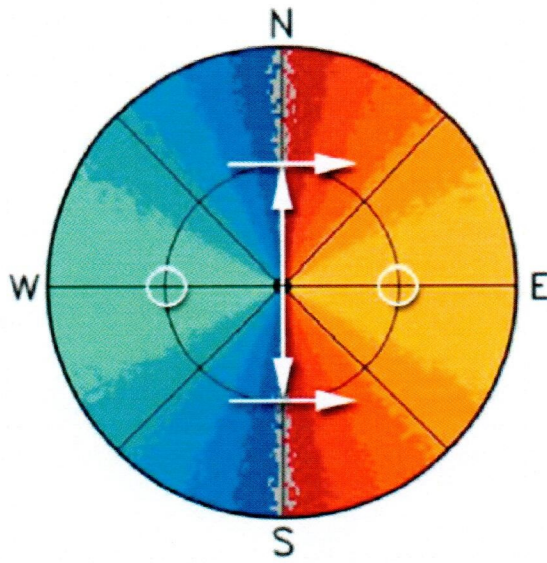
รูปที่ 16 ขั้นตอนที่ 2 ลากเส้นแนวความเร็วศูนย์

ขั้นตอนที่ 3 ลากเส้นตั้งฉากกับเส้นความเร็วศูนย์ เพื่อกำหนดทิศทางของความเร็วแนวรัศมี ตามรูปที่ 17



รูปที่ 17 ขั้นตอนที่ 3 ลากเส้นตั้งฉากกับเส้นความเร็วศูนย์

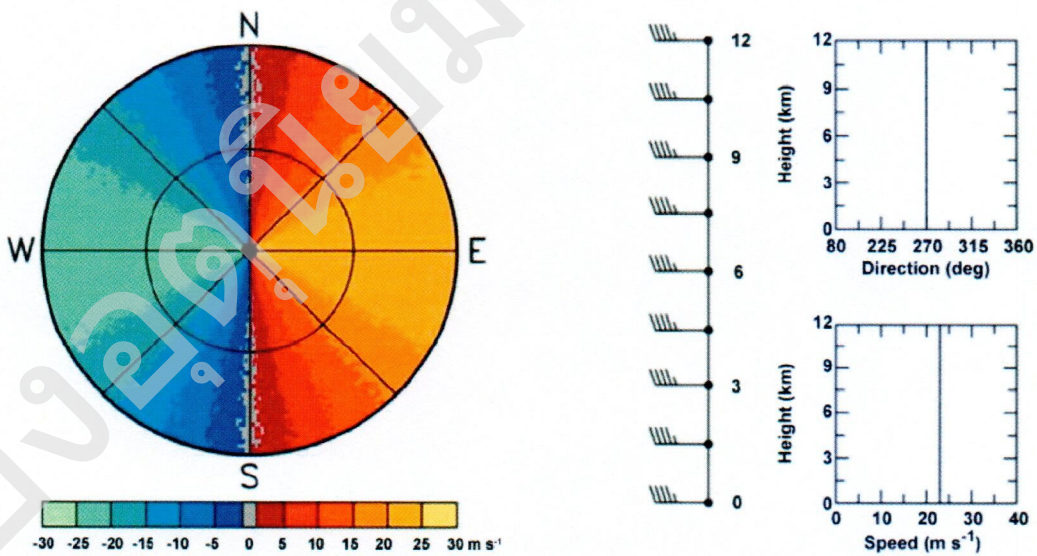
ขั้นตอนที่ 4 กำหนดความเร็วแนวรัศมีที่ตำแหน่งความเร็วสูงสุด จุดที่สนใจแม้ว่าจะไม่ได้อยู่ที่แนวเส้นขนานกับสถานีเรดาร์ แต่เมื่อต้องการทราบความเร็วที่แท้จริงจะต้องสร้างวงกลมที่มีรัศมีจากสถานีเรดาร์ถึงจุดที่สนใจแล้ววิเคราะห์หาค่าความเร็วจากแนวขนานกับสถานีเรดาร์ ซึ่งมีค่าความเร็วสูงสุด ตามรูปที่ 18



รูปที่ 18 ชั้นตอนที่ 4 กำหนดความเร็วแนวรัศมีที่ตำแหน่งความเร็วสูงสุด

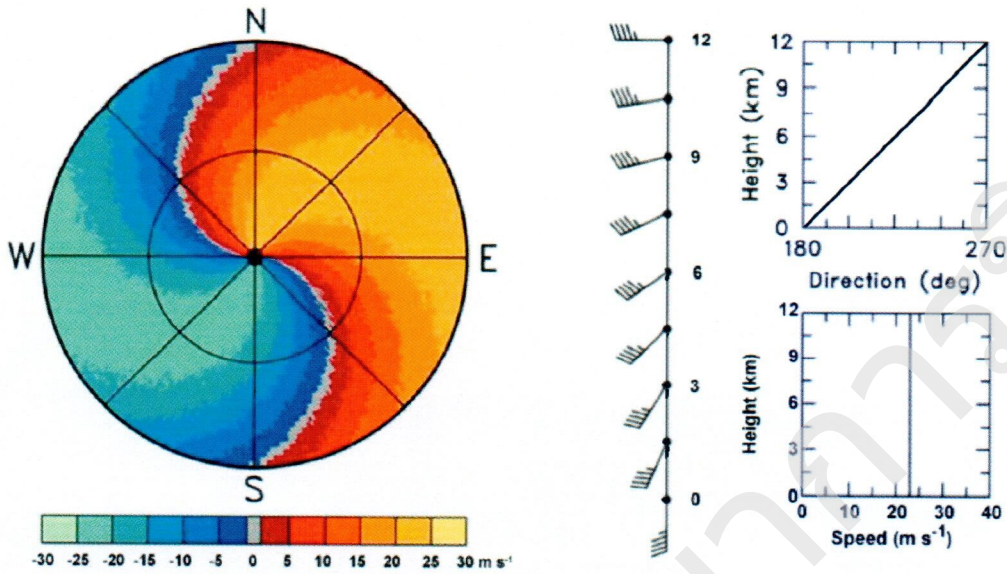
- ตัวอย่างความเร็วแนวรัศมีแบบต่าง ๆ

ตัวอย่างที่ 1 ลมที่มีทิศทางและความเร็วเท่ากันตลอดความสูง



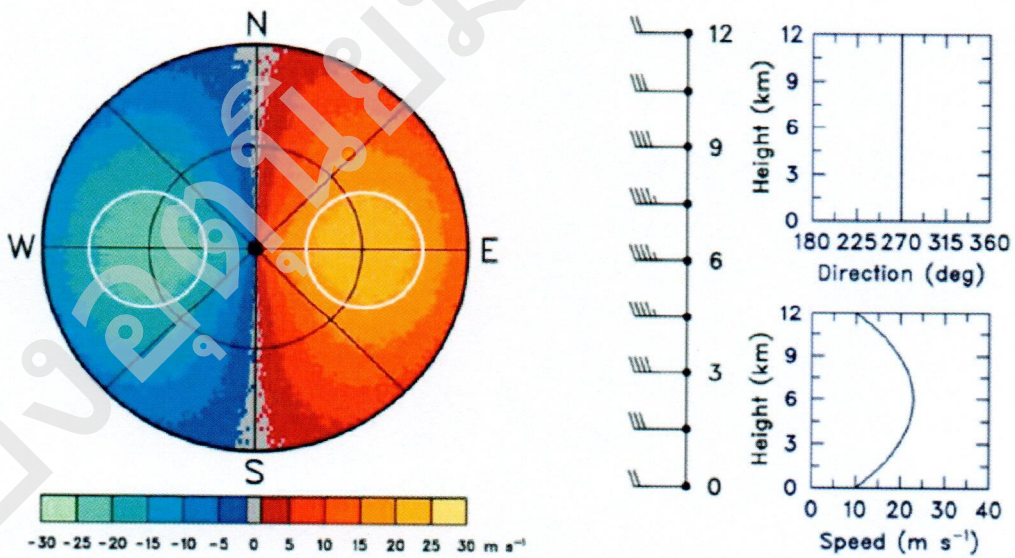
รูปที่ 19 ลมฝ่ายตะวันตก (270 องศา) ความเร็ว 45 นอต ตลอดความสูง

ตัวอย่างที่ 2 ลมที่มีทิศทางและความเร็วเท่ากันตลอดความสูง



รูปที่ 20 ที่ระดับพื้นเป็นลมฝ่ายใต้ (180 องศา) จากนั้นทิศทางลมค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามความสูงจนเป็นลมฝ่ายตะวันตก (270 องศา) ซึ่งมีความเร็ว 45 นอต ตลอดความสูง

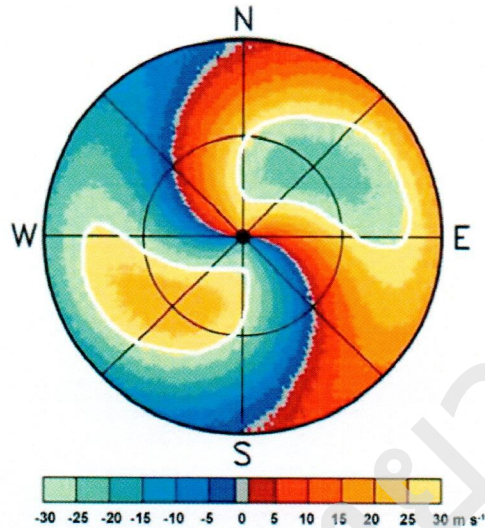
ตัวอย่างที่ 3 ลมที่มีทิศทางเท่ากันแต่ความเร็วไม่เท่ากันตลอดความสูง



รูปที่ 21 ลมฝ่ายตะวันตก (270 องศา) ตลอดความสูง แต่มีค่าสูงสุด 45 นอต ที่ความสูง 6 กิโลเมตร

- กรณีความเร็วแนวรัศมีมีค่าเกินเกณฑ์ที่กำหนด (Aliasing or Folding)

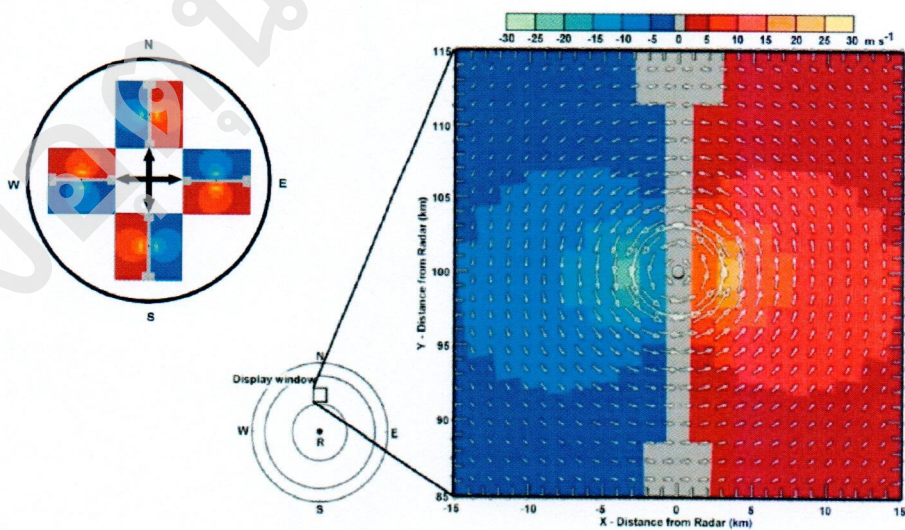
ในกรณีที่ความเร็วแนวรัศมีมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในเฉดสีด้านใดด้านหนึ่ง ความเร็วบริเวณนั้นจะปรากฏเฉดสีด้านตรงข้าม โดยมีความเร็วมากกว่าค่ามากที่สุดของเฉดสีด้านนั้นเท่ากับผลต่างของค่าที่มากที่สุดกับค่าที่ปรากฏของเฉดสีด้านตรงข้าม ตามรูปที่ 22



รูปที่ 22 ความเร็วแนวรัศมีมีค่าเกินเกณฑ์ที่กำหนด

- กรณีเกิดการหมุนวน (Rotation)

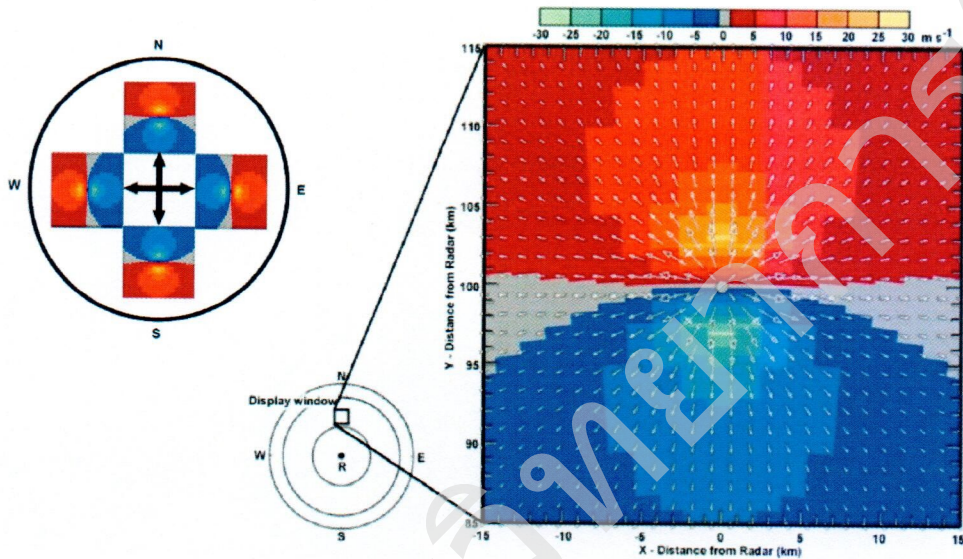
ในกรณีที่เกิดการหมุนวนจะปรากฏเฉดสีตรงข้ามอยู่ติดกัน ซึ่งบางครั้งอาจมีเส้นความเร็วศูนย์ปรากฏอยู่ตรงกลางหรือไม่มีก็ได้ แต่แนวเส้นแบ่งเฉดสีจะขนานกับสถานีเรดาร์ ตามรูปที่ 23



รูปที่ 23 การหมุนวน

- กรณีเกิดลมกระจายตัว (Divergence)

ในกรณีเกิดลมกระจายจะปรากฏแนวสีตรงข้ามอยู่ติดกัน คล้ายกับกรณีการหมุนวนแต่แนวเส้นแบ่งแนวสีจะตั้งฉากกับสถานีเรดาร์ โดยแนวสีที่แสดงทิศทางการเคลื่อนตัวเข้าหาสถานีเรดาร์จะอยู่ด้านใกล้ และแนวสีที่แสดงทิศทางการเคลื่อนตัวออกจากสถานีเรดาร์จะอยู่ด้านไกล ตามรูปที่ 24 แต่ถ้าหากเกิดสลับกัน คือแนวสีที่แสดงทิศทางการเคลื่อนตัวเข้าหาสถานีเรดาร์จะอยู่ด้านไกลและแนวสีที่แสดงทิศทางการเคลื่อนตัวออกจากสถานีเรดาร์จะอยู่ด้านใกล้แสดงว่าเกิดลมรวมตัว (Convergence)



รูปที่ 24 ลมกระจายตัว

4.2 เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มฝน

4.2.1 นิยามและค่าที่ได้จากภาพเรดาร์

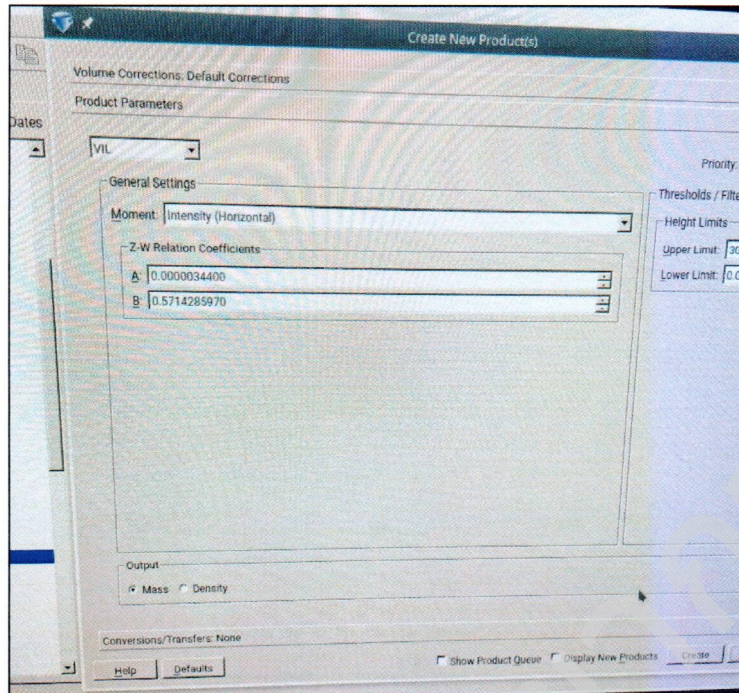
1. VIL (The Vertical Integrated Liquid)

VIL คือผลผลิต (Product) เรดาร์ตรวจอากาศชนิดหนึ่ง ที่จะแสดงภาพเป็นผลรวม โดยประมาณของหยาดน้ำฟ้าต่อพื้นที่บนความสูงเหนือพื้นดินที่ได้กำหนดไว้ของเครื่องตรวจวัดเชิงปริมาตร มีหน่วยเป็น kg/m^2 ซึ่งปริมาณของหยาดน้ำฟ้าที่แสดงออกมาจะคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณสะท้อนกลับ กับค่า Water Liquid Content (Z-W Relationship)

$$M = 3.44 \times 10^{-6} Z^{4/7} \quad kg/m^2$$

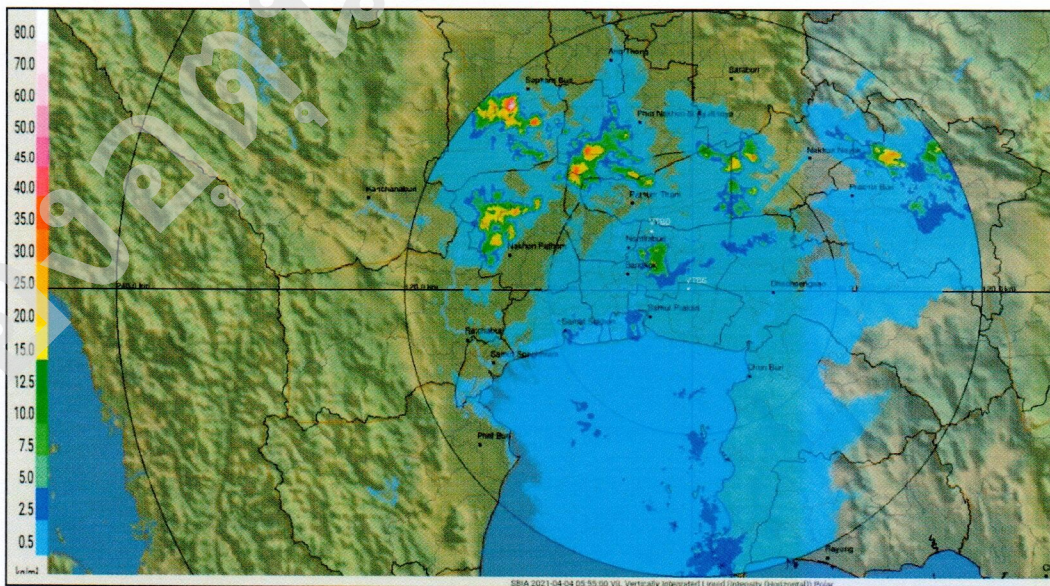
M คือ ปริมาณน้ำ (kg/m^2)

Z คือ ค่าการสะท้อนของเรดาร์ (mm^6/m^3)

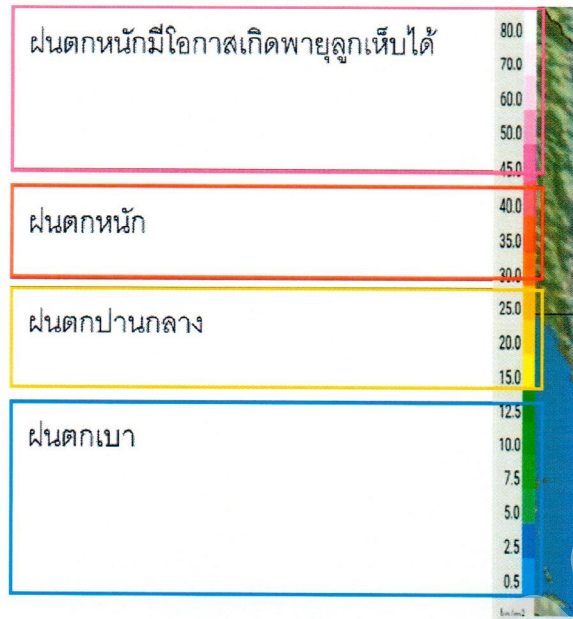


รูปที่ 25 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่า Z
(โดย A คือความเข้มข้นของสัญญาณสะท้อนกลับ และ B คือ Water Liquid Content)

VIL นั้นนิยมใช้อย่างมากสำหรับการเฝ้าระวังคู่กับเรดาร์ตรวจอากาศทั่วไปในการเฝ้าดูการพัฒนาจากเซลล์ฝนแบบ Shower พัฒนาเป็นพายุฝนฟ้าคะนอง โดยค่าสัมพัทธ์ของ VIL จะมีประโยชน์ในการแยกแยะพายุฝนฟ้าคะนองที่จะกลายเป็นสภาพอากาศเลวร้ายได้ หรือการพัฒนาตัวกลายพายุฝนฟ้าคะนองจากกลุ่มเซลล์ฝนเบารธรรมดา ทั้งนี้ยังสามารถใช้ในการตรวจจับความรุนแรงของพายุลูกเห็บ



รูปที่ 26 ผลลัพธ์ VIL ที่ได้จากการตรวจวัดแบบวอลุ่มสแกน



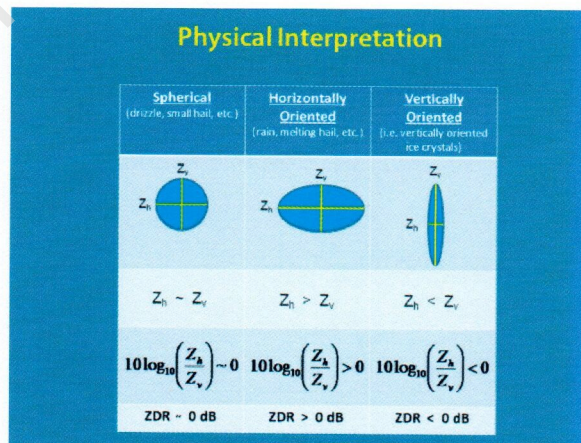
รูปที่ 27 คำอธิบายระดับความรุนแรงของผลิตภัณฑ์ VIL

2. Hydrometeor Classification (HMC)

เป็นอัลกอริทึมหนึ่งในการสร้าง product ของเรดาร์ซึ่งอาศัยการประมวลผล product 3 แบบที่เกิดจากเรดาร์แบบเดิม นั่นคือ 1) Reflectivity (Z) 2) Velocity (V) 3) Spectrum Width (SW) เพิ่มด้วยการตรวจเรดาร์แบบ Dual อีก 3 แบบ นั่นคือ 1) Differential Reflectivity (ZDR) 2) Correlation Coefficient (CC) 3) Specific Differential Phase (KDP) โดยทั้งสามแบบนี้เป็นชนิดข้อมูลแบบ Dual Polarization ซึ่งมีการเก็บข้อมูลโดยการส่งคลื่นแบบ dual 2 แขนเพื่อสร้าง Product ทั้ง 3 แบบนี้

โดยมีรายละเอียด Product ที่ได้รับการตรวจแบบ Dual ดังนี้

1. Differential Reflectivity (ZDR) คือ ความต่างของค่าการสะท้อนกลับของสัญญาณคลื่นที่เรดาร์ส่งออกไป (Reflectivity) ในแนวตั้ง (Vertical: V) และแนวนอน (Horizontal: H) ทำให้สามารถระบุขนาดของอนุภาคหรือ Drop size ที่ได้จากการตรวจได้ ซึ่งหลักการและวิธีการแยกชนิดหรือประเภทของสัญญาณที่ได้กลับมานั้นสามารถแยกได้ดังรูป



รูปที่ 28 ค่า ZDR และการแปลผล

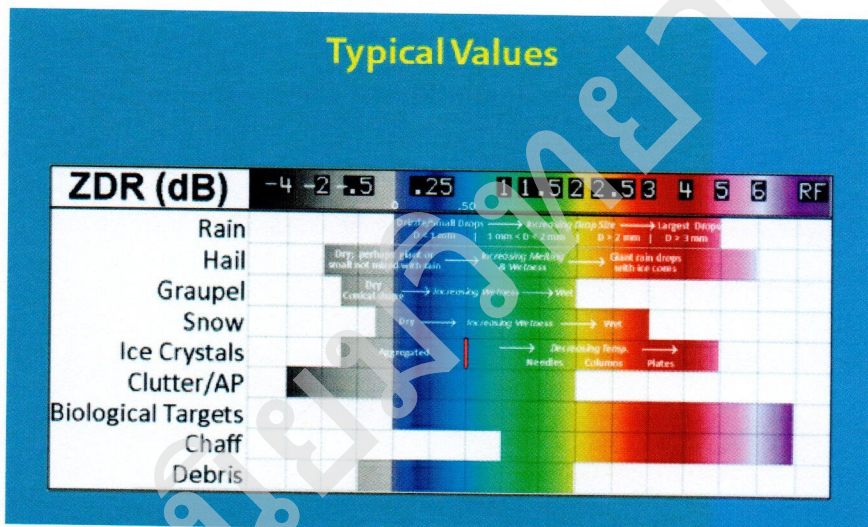
โดยค่า

ZDR = 0 dB หมายความว่าขนาดของอนุภาคจะมีลักษณะเป็นทรงกลม ค่าความเข้มสัญญาณแนวตั้งและแนวตั้ง มีค่าใกล้เคียงกันจะระบุได้ว่าเป็น ฝนละอองหรือลูกเห็บขนาดเล็ก

ZDR > 0 dB หมายความว่าขนาดของอนุภาคจะมีลักษณะเป็นเป็นทรงวงรีทางแนวนอน ค่าความเข้มสัญญาณแนวนอนมากกว่าแนวตั้ง จะระบุได้ว่าเป็น ฝน ลูกเห็บที่กำลังละลาย

ZDR < 0 dB หมายความว่าขนาดของอนุภาคจะมีลักษณะเป็นเป็นทรงวงรีทางแนวตั้ง ค่าความเข้มสัญญาณแนวตั้งมากกว่าแนวนอน จะระบุได้ว่าเป็น ผลึกน้ำแข็งที่มีลักษณะเป็นลิ่มแหลมต่าง ๆ

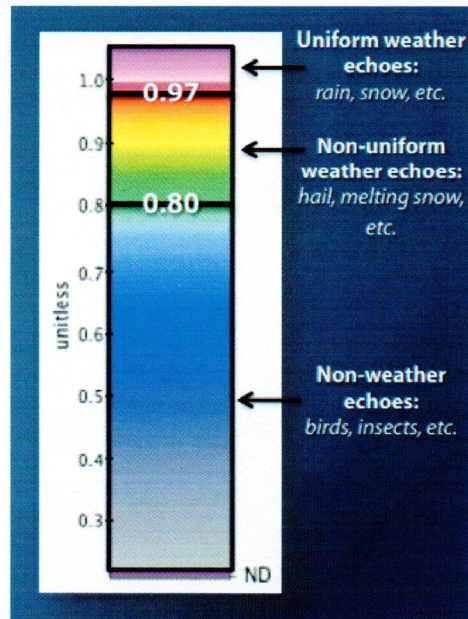
จากที่ข้อมูลได้สามารถนำมาทำเป็นรูปสรุปรายละเอียดทางกายภาพของค่าการสะท้อนกลับของสัญญาณทั้งแนวนอนและแนวตั้งที่แตกต่างกัน ค่านี้จะนำไปสู่อัตราส่วนของการสะท้อนแสงแนวนอนกับแนวตั้งประมาณซึ่งสามารถแสดงออกมาดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 29 ความสัมพันธ์ของค่า ZDR กับ ชนิดของหยาดน้ำฟ้า

สำหรับการใช้ในไทยมักจะดูขนาดของเม็ดฝนหรือลูกเห็บโดยสามารถดูขนาดได้จากค่า ZDR โดย ZDR ของฝนโดยทั่วไปจะมีค่ามากกว่า 1 dB ไปจนถึง 5 dB ซึ่งจะเป็นเม็ดฝนที่มีขนาดใหญ่ สำหรับ ZDR ลูกเห็บจะมีค่าระหว่าง -1 จนถึง 1 dB โดยค่ามากที่สุดนั้นเป็นการบอถึงสภาวะลูกเห็บที่กำลังละลาย

1) Correlation Coefficient (CC) คือ ค่าความสัมพันธ์การสะท้อนกลับของสัญญาณคลื่นเรดาร์ (Reflectivity) ในแนวตั้ง (Vertical : V) และแนวนอน (Horizontal : H) โดยค่าของความสัมพันธ์ที่ได้จะใช้สำหรับการแยกแยะลักษณะชนิดของเป้าที่ได้ว่าเป็นลักษณะอนุภาคทางอุตุนิยมวิทยาหรือไม่ โดยทั่วไปแล้วจะใช้สำหรับการตรวจสอบ ลูกเห็บขนาดใหญ่ ดูว่าเป็นฝนหรือหิมะ ร่องรอยพายุ ระดับชั้นที่ลูกเห็บเริ่มละลาย เป็นต้น



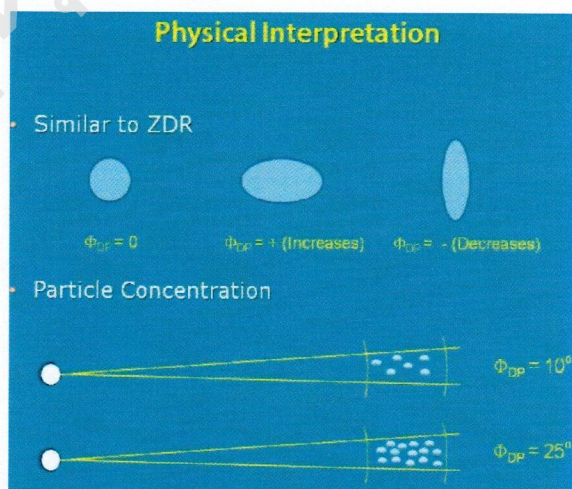
รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ของค่า CC กับชนิดของเป้าที่ตรวจพบ

CC < 0.8 หมายความว่า เป้าที่ตรวจเจอจะไม่ใช่เป้าทางด้านอุตุนิยมวิทยาเป็นจำนวน นก แมลง หรืออื่นๆ

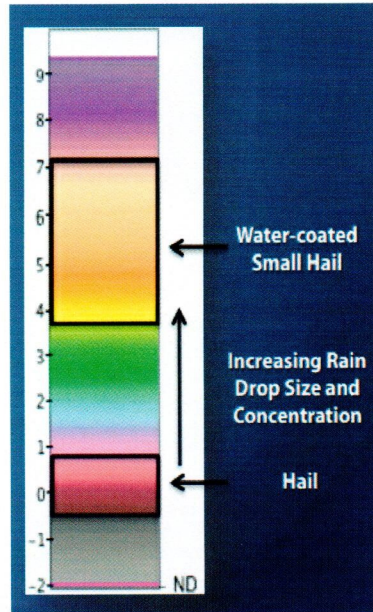
CC มีค่าอยู่ระหว่าง 0.8 – 0.97 หมายความว่า เป้าที่ตรวจเจอจะเป้าทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่มีรูปทรงไม่แน่นอน เช่น ลูกเห็บหรือน้ำแข็งที่เริ่มละลาย

CC > 0.97 หมายความว่า เป้าที่ตรวจเจอจะเป้าทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่มีรูปทรงแน่นอนเนื่องจากการสะท้อนกลับของสัญญาณที่ดี สามารถระบุได้เป็น ฝน หรือหิมะ

2) Specific Differential Phase (KDP) เป็นค่าที่แสดงการเปรียบเทียบความต่างของเฟสในแนวตั้ง (Vertical : V) และแนวนอน (Horizontal : H) ใช้ในการแยกแยะความหนาแน่นของกลุ่มฝนแต่ละกลุ่ม โดยขอบเขตของเรดาร์จะมีการเปลี่ยนแปลงเฟสแตกต่างกันไปตามแนวรัศมี โดยสามารถใช้ระดับความรุนแรงของกลุ่มฝนนั้นๆ ได้ ดูว่ากลุ่มฝนนั้นมีลูกเห็บผสมอยู่ด้วยหรือไม่



รูปที่ 31 Specific Differential Phase (KDP)



รูปที่ 32 การแปลความหมายค่า KDP

KDP ใกล้ 0 หมายความว่า เป็นลูกเห็บ (ยกเว้นค่าเข้าใกล้ 3 สำหรับสภาวะลูกเห็บเริ่มละลาย)

KDP อยู่ระหว่าง -1 ถึง +0.5 หมายความว่า เป็นหิมะ

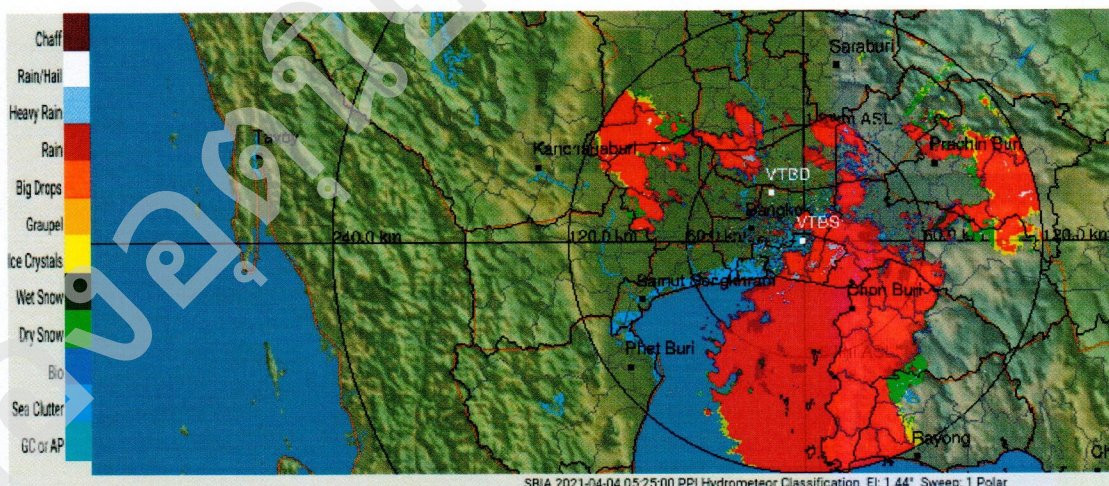
KDP อยู่ระหว่าง 0 ถึง +5 หมายความว่า เป็นฝน (ค่าที่มากขึ้นหมายความว่ามีความเข้มข้นของฝนที่หนาแน่น ลักษณะเป็นฝนหนัก)

KDP ที่ไม่ใช่ทางข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาจะไม่แสดงเป็นค่าออกมา

จาก Product ทั้ง 3 แบบที่ได้กล่าวมานี้เมื่อนำมาประมวลผลรวมกันสามารถสร้าง Product ใหม่ขึ้นมา นั่นคือ Hydrometeor Classification (HMC) โดยจะดูรูปร่างของอนุภาคที่ตรวจจับได้จาก ZDR แยกแยะชนิดของเป้าที่ตรวจเจอจาก CC และดูระดับความรุนแรงของกลุ่มที่ตรวจจับจาก KDR โดยจะแยกแยะออกมาเป็นเฉดสี ตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 3 ชนิดของหยาดน้ำฟ้าที่ได้จากการแปลผลโดย Hydrometeor Classification (HMC)

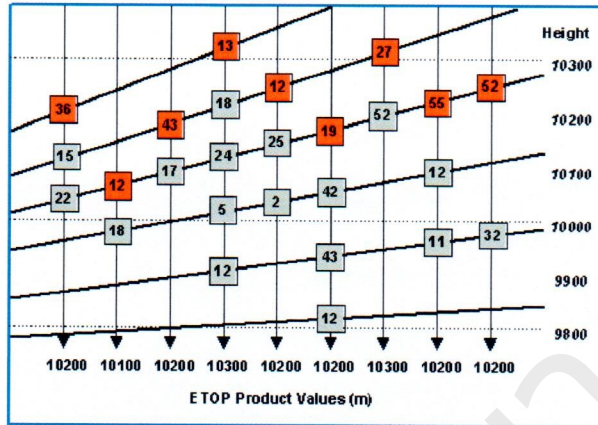
| สี | ชื่อ | คำอธิบาย |
|----|--------------|--|
| ■ | Chaff | เป้าที่ปรากฏบนภาพซึ่งมีลักษณะเป็นแถบรอบ ๆ จุดที่ตั้งของสถานีเรดาร์เกิดจากลำบีมของเรดาร์ที่ไม่ใช่ลำบีมหลักไปกระทบเป้าที่เป็นอาคาร หรือพื้นโลกในบริเวณใกล้ ๆ ที่ตั้งของสถานี |
| ■ | Rain/Hail | ฝนหรือลูกเห็บ |
| ■ | Heavy Rain | ฝนหนัก |
| ■ | Rain | ฝนเบา |
| ■ | Big Drops | หยดน้ำ |
| ■ | Graupel | ลูกปรายหิมะ |
| ■ | Ice Crystals | ผลึกน้ำแข็ง |
| ■ | Wet Snow | หิมะเปียก |
| ■ | Dry Snow | หิมะแห้ง |
| ■ | Bio | สิ่งมีชีวิต นก แมลง เป็นต้น |
| ■ | Sea Clutter | ละอองน้ำขนาดเล็กมากที่เกิดจากการแตกกระจายของยอดคลื่นที่ถูกพัดขึ้นสู่บรรยากาศ |
| ■ | GC or AP | การสะท้อนของสัญญาณที่ผิดปกติ |



รูปที่ 33 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ Hydrometeor Classification (HMC)

3. Echo Tops (ETOPs)

ETOP แสดงค่า **Highest echoes** (ตำแหน่งที่สูงที่สุดของการสะท้อนไม่ใช่ค่าสะท้อนสูงสุด (Maximum echoes)) ที่ตรวจพบในแต่ละ column แสดงในหน่วยความสูง กิโลเมตร สามารถใช้เพื่อระบุหาพื้นที่ Strong updraft ได้

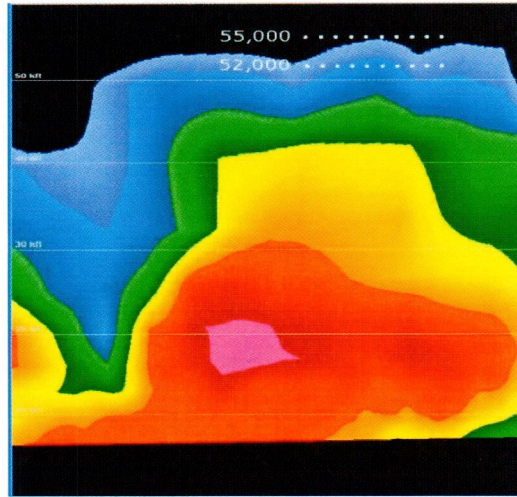


รูปที่ 34 การเก็บข้อมูลเพื่อนำมาแสดงในภาพ ETOP

เมื่อเรดาร์ตรวจอากาศทำการส่งและรับสัญญาณคลื่นวิทยุแล้ว จะได้ข้อมูลดังแสดงในภาพด้านบน โดยข้อมูลในแต่ละคอลัมน์นั้นจะประกอบไปด้วยค่าสะท้อนหลายค่า สำหรับการแสดงผลภาพ ETOP นั้น จะเป็นการเลือกค่าสะท้อนที่มาจากตำแหน่งสูงที่สุด (สีแดง) และนำมาแสดงผลในหน่วยของความสูง (กิโลเมตร) ภาพ ETOP มักถูกนำมาใช้ประโยชน์ เช่น

- 1) ใช้ในการระบุบริเวณที่มีการก่อตัวในแนวตั้งของกลุ่มพายุฝนฟ้าคะนอง
- 2) ข้อมูลความสูงของ Echo Tops เป็นส่วนหนึ่งในการวางแผนทางการบิน
- 3) นำมาช่วยในการระบุบริเวณฝนฟ้าคะนองรุนแรง หรือบริเวณที่มีการเกิด Updraft รุนแรง ภายในเซลล์ฝนฟ้าคะนอง ซึ่งหากมีความรุนแรงมากเท่าใด จะส่งผลให้มีโอกาสเกิดลมกระโชกและลูกเห็บขนาดใหญ่ได้มากขึ้น
- 4) การลดลงของค่า Echo tops สามารถนำมาใช้ในการคาดการณ์เวลาที่จะเกิดลักษณะอากาศรุนแรงได้

ในบางครั้ง Echo tops จะไม่เท่ากับความสูงจริงของกลุ่มพายุฝนฟ้าคะนอง ขึ้นอยู่กับการตั้งค่า Threshold จากภาพตัดขวางด้านล่าง จะเห็นว่าความสูงของกลุ่มฝนฟ้าคะนองมีค่าเป็น 55,000 ฟุต ในขณะที่ความสูง ณ Threshold = 18 dBZ มีค่าเท่ากับ 52,000 ฟุต



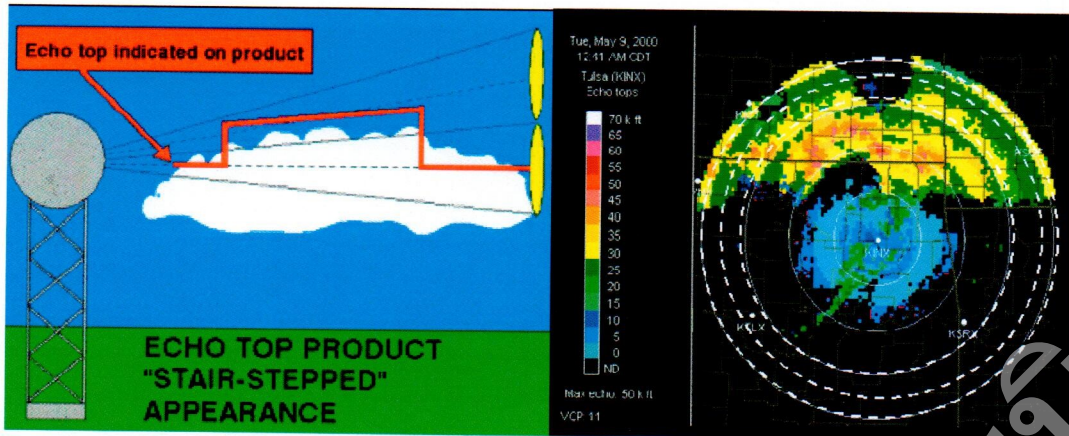
รูปที่ 35 ความสูงของยอดเมฆ กับความสูง ETOP



รูปที่ 36 ตัวอย่างภาพ ETOP

รูปแสดงตัวอย่าง ETOP นี้ ได้มาจากการตรวจแบบ VCP212 วงในสุดเป็นบริเวณที่ ETOP เท่ากับ 0 กิโลเมตร จากนั้น 3 วงถัดมา เป็นบริเวณที่มีลักษณะขั้นบันได มีเปลี่ยนแปลงค่าความสูงอย่างกะทันหัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับโครงสร้างของพายุฝนฟ้าคะนอง ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้วิเคราะห์กลุ่มพายุฝนฟ้าคะนอง

ในบางครั้งภาพ ETOP อาจพบบริเวณที่มีลักษณะขั้นบันได (Stair-step pattern) เนื่องจากการคำนวณของ ETOP จะใช้ค่า ณ กึ่งกลางลำแสง (Beam) จากลำแสงที่ใกล้กับ Echo tops มากที่สุด ดังเช่นรูป 4 ดังนั้น หากลำแสง 2 ลำที่เรดาร์ปล่อยออกไปมีระยะห่างในแนวตั้งต่างกันมาก จะทำให้ภาพ ETOP ที่ได้มีค่าที่กระโดดจนแสดงเป็นลักษณะของขั้นบันได นั้นหมายความว่า การตั้งค่ามุมและจำนวนของมุมในการตรวจนั้น มีผลต่อภาพ ETOP

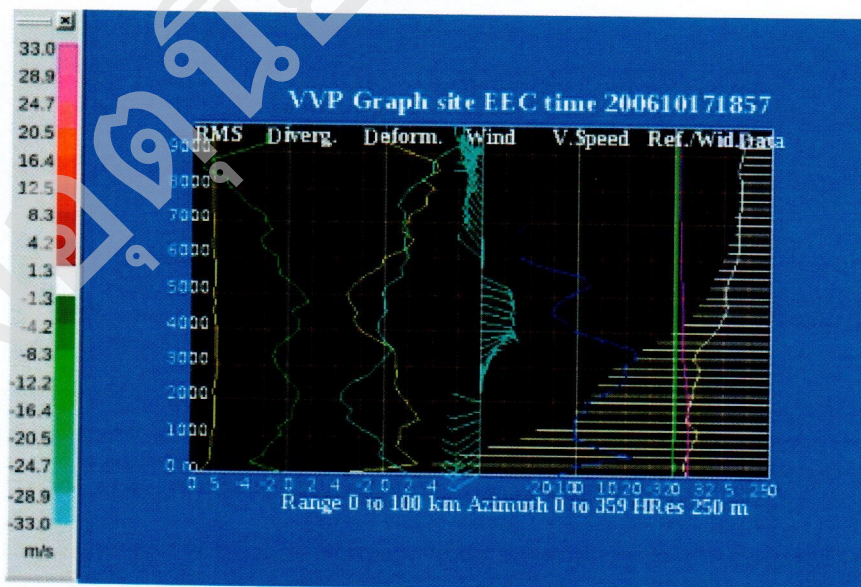


รูปที่ 37 การเกิดลักษณะขั้นบันได (Stair-step Pattern) ในภาพ E Tops

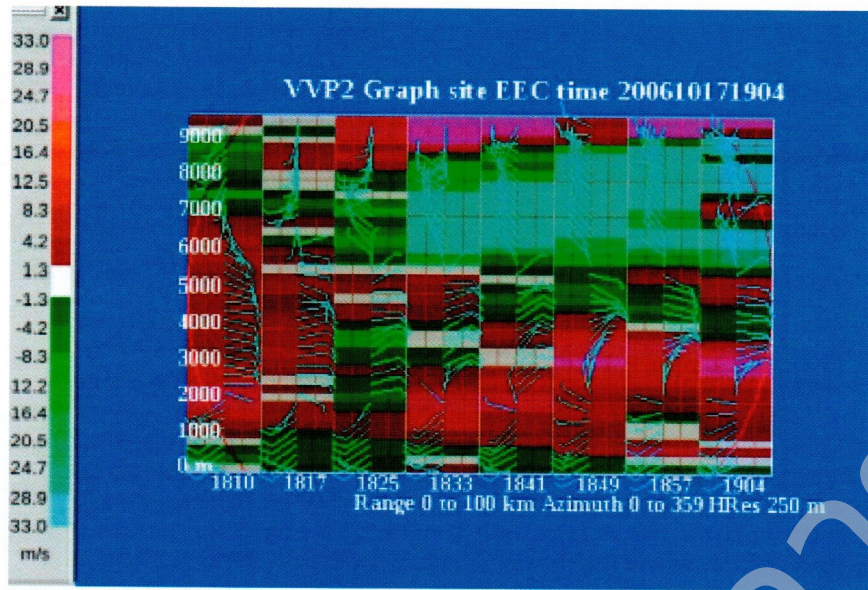
4. WP / WP2 (Volume Velocity Processing)

VVP เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ของซอฟต์แวร์ EDGE ซึ่งใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square fitting method) ในการวิเคราะห์ความเร็วลมในแนวตั้ง และประมาณค่าตัวแปรของลมชนิดต่างๆ VVP จะแสดงค่าลมในระดับความสูงต่างๆ ซึ่งจะแสดงในรูปแบบ fitting errors (RMS column), horizontal divergence (Diverg column), horizontal deformation (Deform column), wind speed and direction (Wind column), vertical speed (V.Speed column), mean reflectivity and mean spectral width (Ref./Wid. column), number of data samples (Data Column)

พารามิเตอร์เหล่านี้มีประโยชน์ในการพยากรณ์ระยะสั้นได้ ตัวอย่างเช่น ค่า low-altitude horizontal divergence ซึ่งเป็นค่าที่น่าสนใจ เพราะมีผลงานวิจัยว่าค่า low-altitude mesoscale convergence สามารถบ่งบอกถึงการพัฒนาตัวของพายุฝนฟ้าคะนองได้



รูปที่ 38 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ VVP

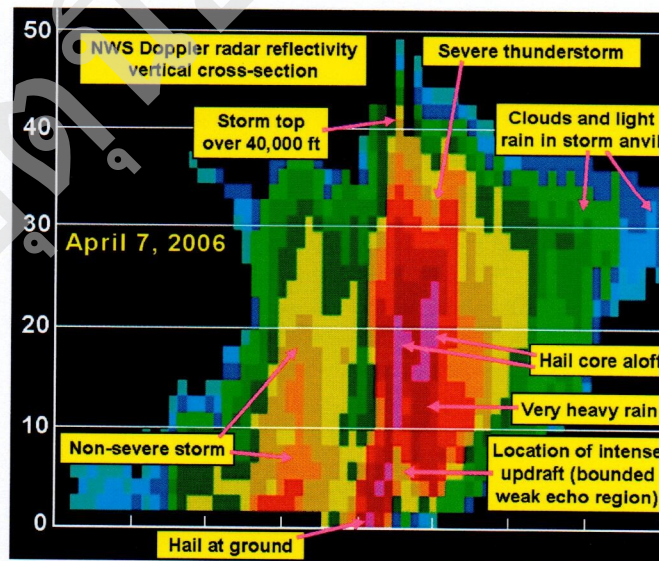


รูปที่ 39 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ VVP2

VVP2 เป็นการแสดงค่าลมในระดับความสูงต่างๆ ตามระยะเวลาที่กำหนด บ่งบอกการเปลี่ยนแปลงลมในแต่ละระดับตามเวลา คล้ายกับ wind profiler

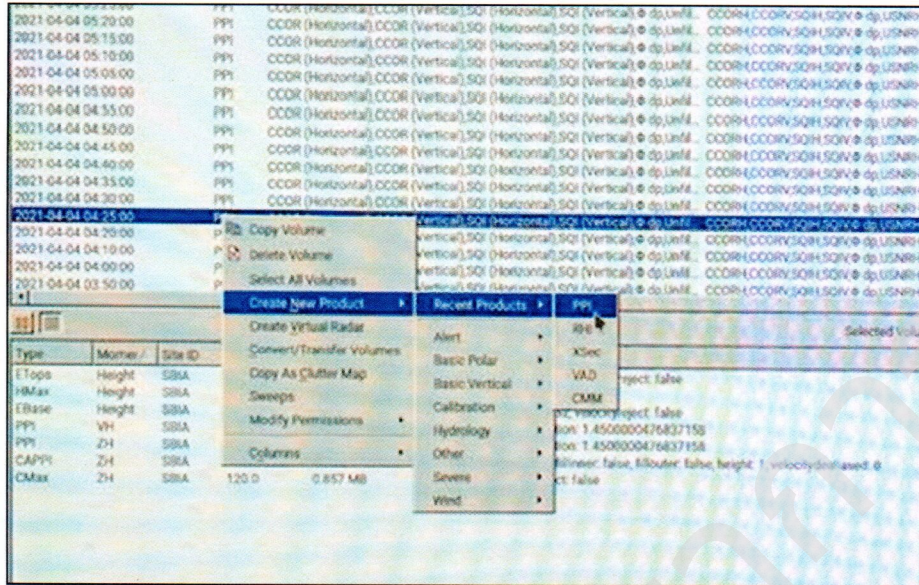
5. ภาพตัดขวาง (Cross section: XSEC)

ภาพตัดขวางแนวตั้ง (Cross section) จากข้อมูลการตรวจแบบ Volume Scan เพื่อวิเคราะห์เซลล์กลุ่มฝนที่ต้องการ ซึ่งมีความสำคัญในการประเมินโครงสร้างแนวตั้งและความรุนแรงของพายุฝนฟ้าคะนอง



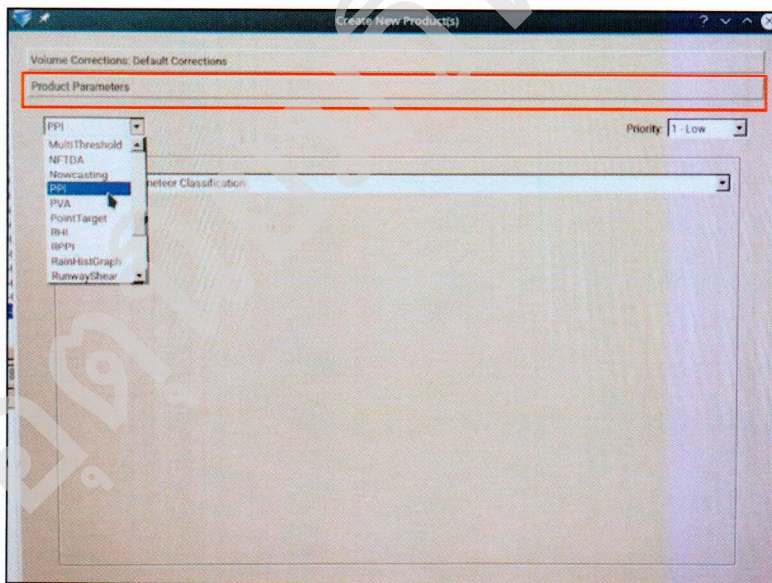
รูปที่ 40 ภาพแสดงภาพตัดขวางของพายุฝนฟ้าคะนอง supercell
(https://www.weather.gov/lmk/nws_radar_7Apr2006_Xsec)

- 4) คลิกขวาที่ข้อมูล ณ เวลาที่ต้องการวิเคราะห์ เพื่อเลือกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ในที่นี้เลือกเป็น PPI



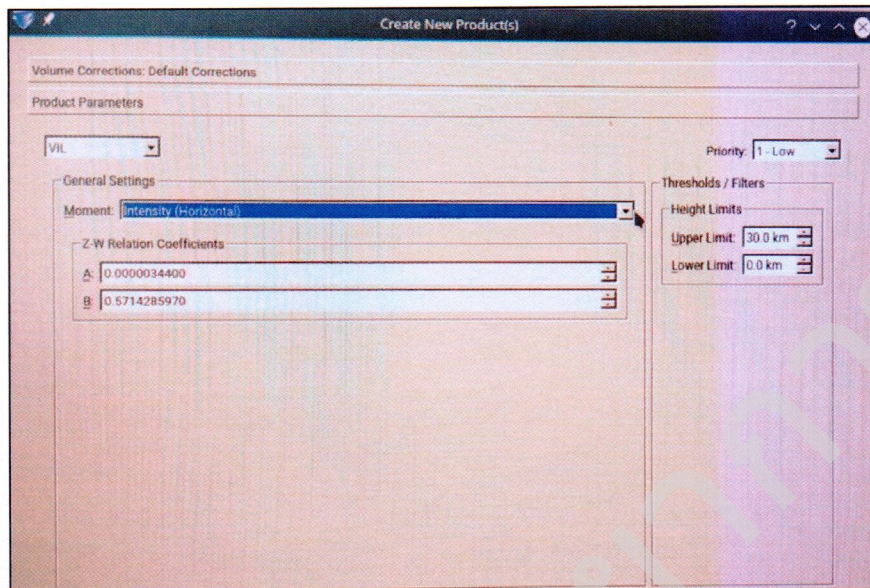
รูปที่ 43 ขั้นตอนการสร้างผลิตภัณฑ์ (3)

- 5) เลือกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสร้างจากแถบ Product Parameters



รูปที่ 44 ขั้นตอนการสร้างผลิตภัณฑ์ (4)

- 6) ตั้งค่าการสร้างผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ
6.1) VIL



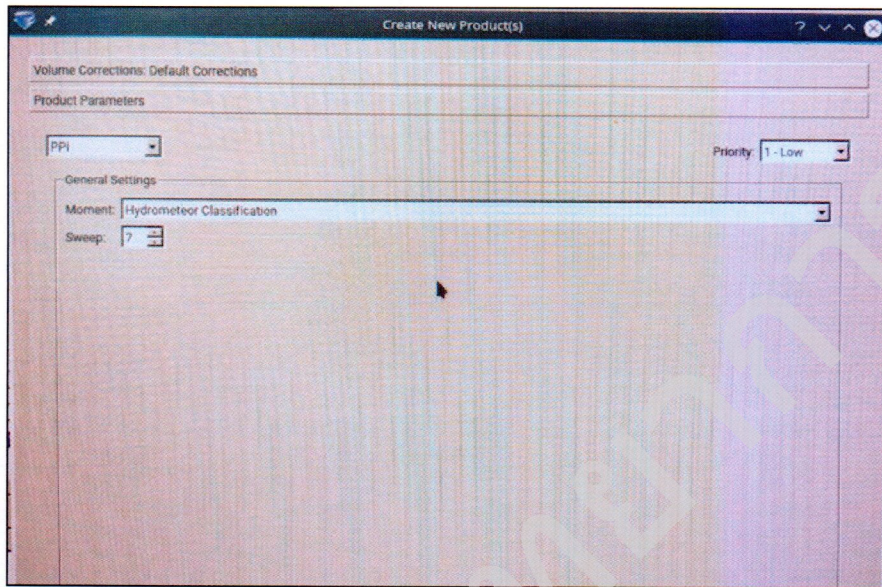
รูปที่ 45 การสร้างผลิตภัณฑ์ VIL

ตารางที่ 4 การตั้งค่าในการแสดงผลภาพ VIL

| พารามิเตอร์ | ความหมาย |
|---------------------------|---|
| Moment | ชนิดของรูปที่ต้องการให้แสดงออกมาบนผลิตภัณฑ์ สามารถเลือกได้ 3 ลักษณะ 1) Intensity (Horizontal) - ส่วนมากใช้ภาพนี้ 2) Intensity (Vertical) 3) Unfiltered Intensity (Horizontal) - เป็นค่าที่ยังไม่ได้ทำการกรอง ทำให้สามารถเห็นเป็นแนวสิ่งปลูกสร้าง เช่น สะพานยกระดับ เป็นต้น |
| Z-W Relation Coefficients | สามารถกำหนดตัวแปร A และ B ได้ตามความเหมาะสม |
| Height Limits | กำหนดช่วงความสูงที่ต้องการได้ โดยระบุความสูงในหน่วยกิโลเมตรลงในช่อง Upper Limit และ Lower Limit |

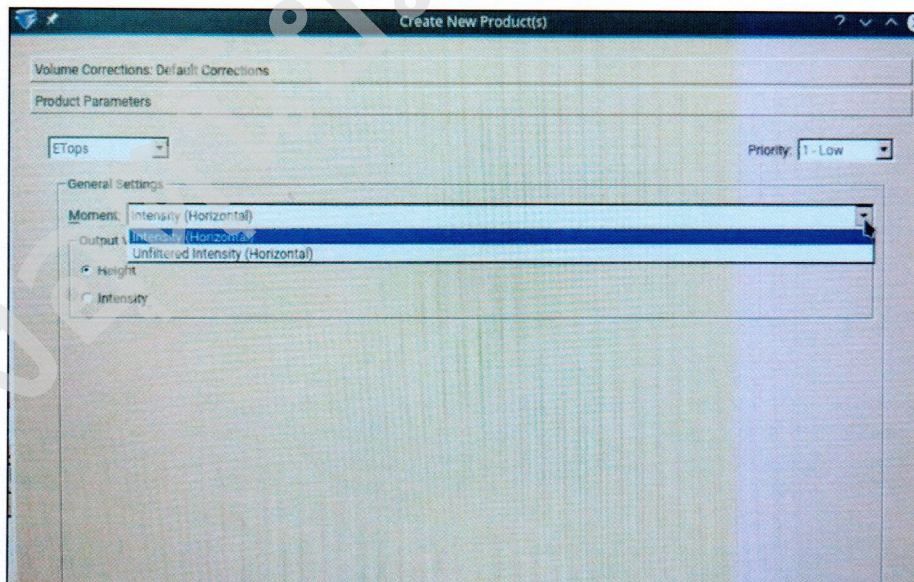
6.2) HMC

สำหรับการสร้างผลิตภัณฑ์ HMC นั้น ทำได้โดยการเลือก Product Parameters เป็น PPI จากนั้นเลือกลักษณะภาพ (Moment) เป็น Hydrometeor Classification และกำหนดจำนวนมุมยก (Sweep) ที่จะนำมาใช้สร้างผลิตภัณฑ์



รูปที่ 46 การสร้างผลิตภัณฑ์ HMC

6.3) ETops



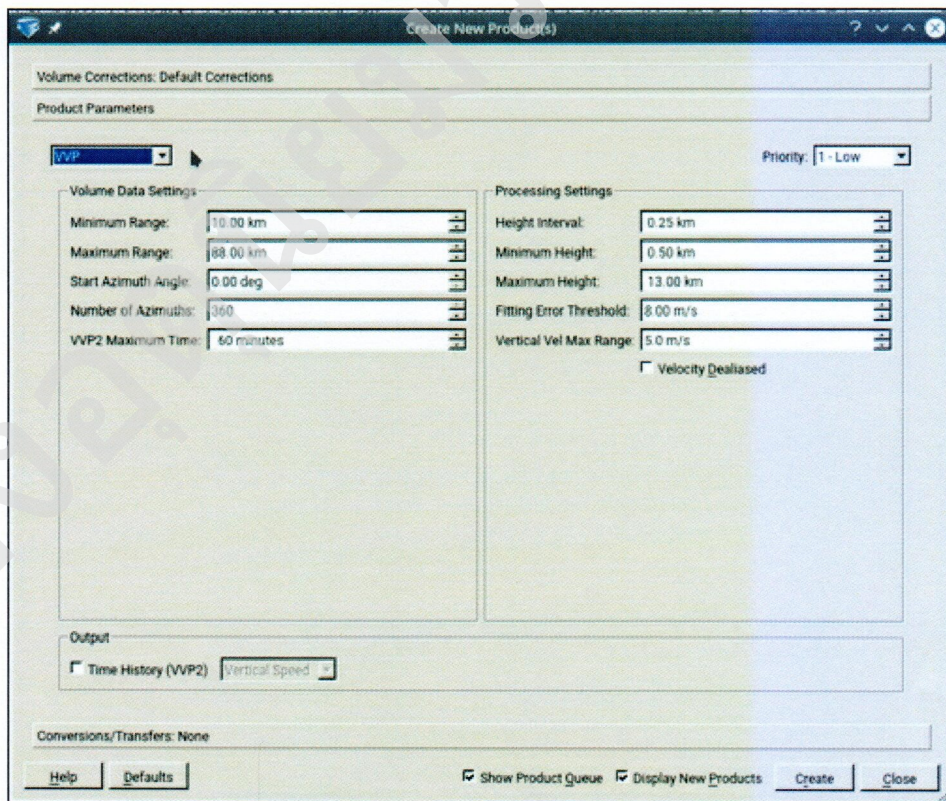
รูปที่ 47 การสร้างผลิตภัณฑ์ ETops

ตารางที่ 5 การตั้งค่าในการแสดงผลภาพ ETop

| พารามิเตอร์ | ความหมาย |
|-------------|--|
| Moment | ชนิดของรูปที่ต้องการให้แสดงออกมาบนผลิตภัณฑ์ สามารถเลือกได้ 2 ลักษณะ 1) Intensity (Horizontal) - ส่วนมากใช้ภาพนี้ 2) Unfiltered Intensity (Horizontal) - เป็นค่าที่ยังไม่ได้ทำการกรอง ทำให้สามารถเห็นเป็นแนวสิ่งปลูกสร้าง เช่น สะพานยกระดับ เป็นต้น |
| Output | เลือกประเภทของข้อมูลที่จะแสดงบนผลิตภัณฑ์ สามารถเลือกได้ 2 ลักษณะ 1) ความสูง (Height) 2) ความเข้มของการสะท้อน (Intensity) |

6.4) WVP/WVP2

เลือก Product parameters เป็น WVP และตั้งค่าตามที่ต้องการ ถ้าต้องการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น WVP2 ให้เลือกคลิกที่ Time History (W2)



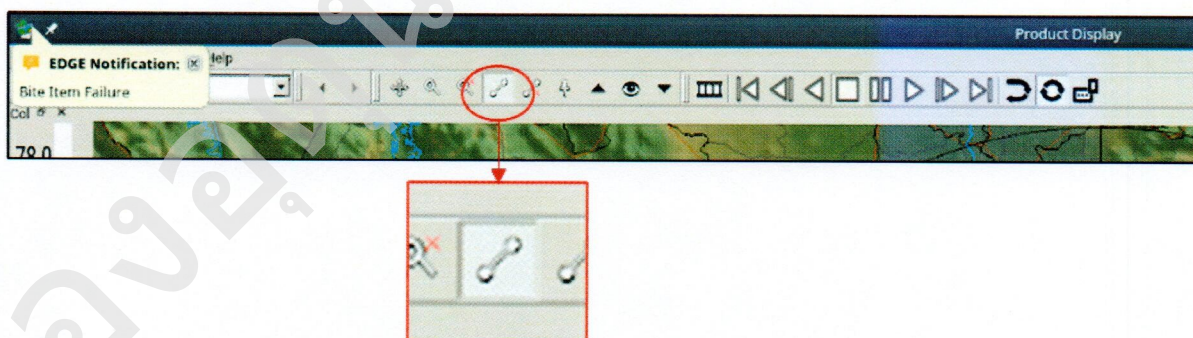
รูปที่ 48 การสร้างผลิตภัณฑ์ WVP/WVP2

ตารางที่ 6 การตั้งค่าในการแสดงผลภาพ WVP/ VWP2

| Volume Data Settings | ความหมาย |
|-------------------------|--|
| Minimum Range | ระยะทางแนวนอนที่น้อยที่สุด |
| Maximum Range | ระยะทางแนวนอนที่มากที่สุด |
| Start Azimuth Angle | มุม Azimuth เริ่มต้น |
| Number of Azimuths | จำนวนมุม Azimuth (องศา) |
| VWP2 Maximum Time | ระยะเวลาของผลิตภัณฑ์ VWP2 |
| Processing Settings | ความหมาย |
| Height Interval | ช่วงระยะความสูงของการแสดงผลข้อมูล VWP |
| Minimum Height | ความสูงที่ต่ำที่สุดของการแสดงผลข้อมูล VWP |
| Maximum Height | ความสูงที่สูงที่สุดของการแสดงผลข้อมูล VWP |
| Fitting Error Threshold | เกณฑ์กำหนดค่ามากที่สุดของ variance error (default=8.0 m/s) |
| Vertical Vel Max Range | ค่าความเร็วลมมากที่สุดในแนวตั้ง (default=5.0 m/s) |
| Velocity aliased | กระบวนการกำจัดค่าความเร็วลม radial component ที่เกินกว่าความเร็วมากที่สุดที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ |

6.5) ภาพตัดขวาง (Cross section: XSEC)

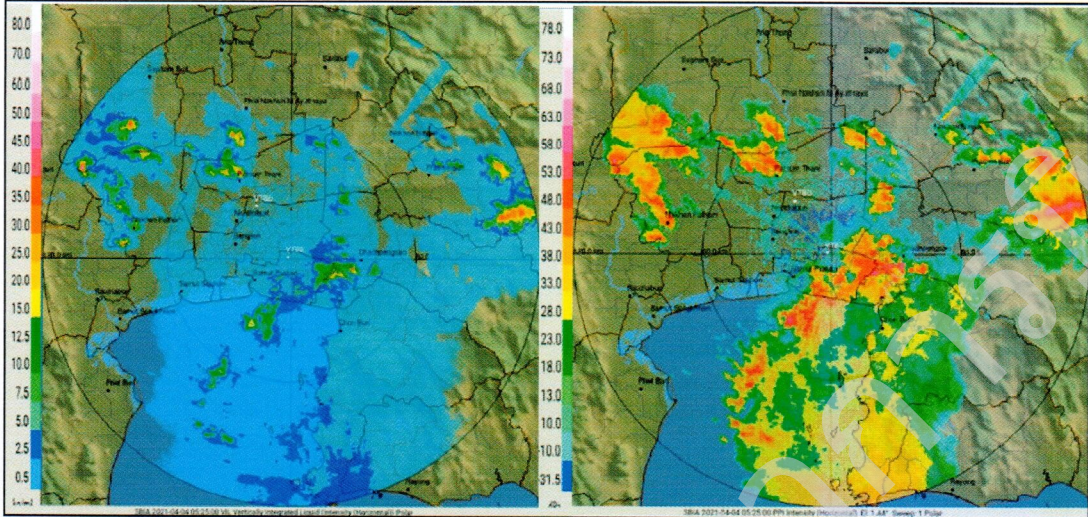
สำหรับภาพตัดขวางนั้นสามารถสร้างได้จากหลายผลิตภัณฑ์ เช่น PPI, ETops, HMC เป็นต้น โดยทำการเปิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ แล้วเลือกไปที่ไอคอน Cross section ตามรูปด้านล่าง



รูปที่ 49 เครื่องมือที่ใช้ในการทำ Cross Section

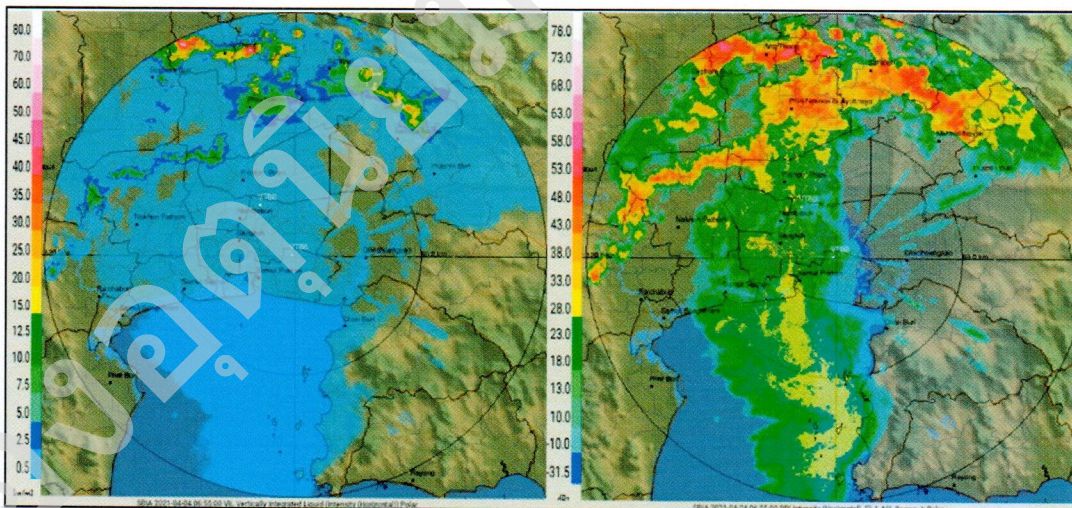
4.2.3 การวิเคราะห์กลุ่มฝนฟ้าคะนองด้วยผลิตภัณฑ์ต่างๆ

1. VIL



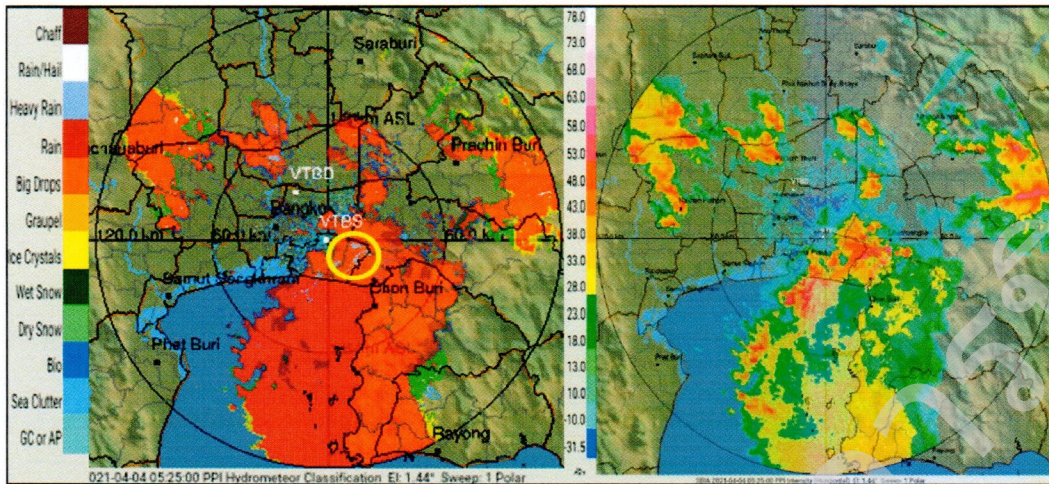
รูปที่ 50 เปรียบเทียบภาพ VIL กับ PPI ณ เวลา 0525 UTC

จากตัวอย่างการวิเคราะห์กลุ่มเซลล์ฝนในเวลา 05.25 UTC วันที่ 4 เมษายน 2564 โดยการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ VIL เทียบกับภาพเรดาร์ PPI พบว่าผลิตภัณฑ์ VIL สามารถจำกัดขอบเขตพื้นที่ของบริเวณที่มีกลุ่มเซลล์ฝนรุนแรงได้ดีกว่า PPI



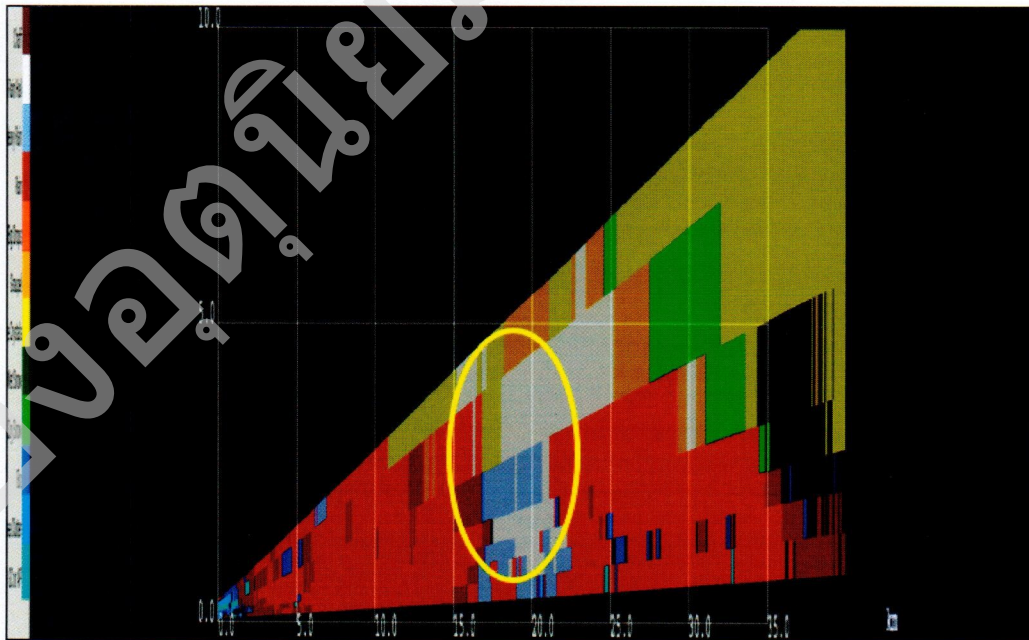
รูปที่ 51 เปรียบเทียบภาพ VIL กับ PPI ณ เวลา 0655 UTC

2. HMC



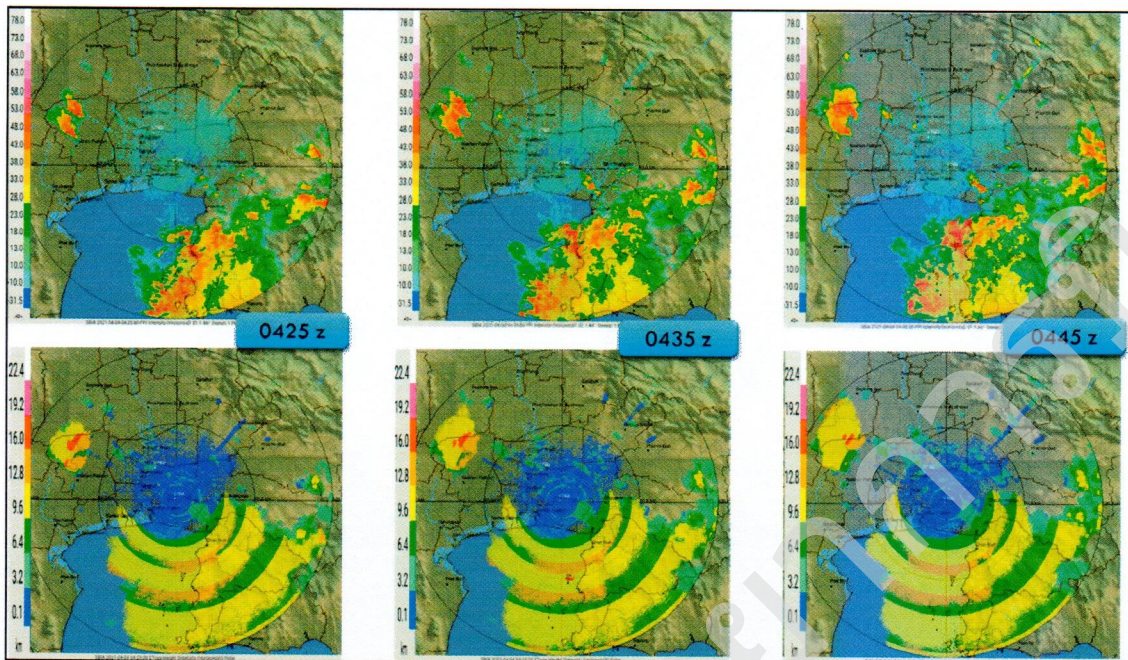
รูปที่ 52 เปรียบเทียบภาพ HMC กับ PPI ณ เวลา 0525 UTC

จากตัวอย่างการวิเคราะห์กลุ่มเซลล์ฝนในเวลา 05.25 UTC วันที่ 4 เมษายน 2564 โดยการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ HMC เทียบกับภาพเรดาร์ PPI พบว่าการวิเคราะห์แนวโน้มความรุนแรงนั้นสามารถทำได้ยากเนื่องจากมีการแบ่งกลุ่มเป้าหมายที่ตรงจวบ แต่สามารถระบุพื้นที่ที่เกิดสภาพอากาศเลวร้ายหรือฝนตกหนักได้ จากรูปวงกลมสีเหลืองและสามารถรู้ระยะทางที่เกิดจากการ cross section ซึ่งอยู่ห่างจากสถานีตรวจประมาณ 18-20 กิโลเมตรดังรูป



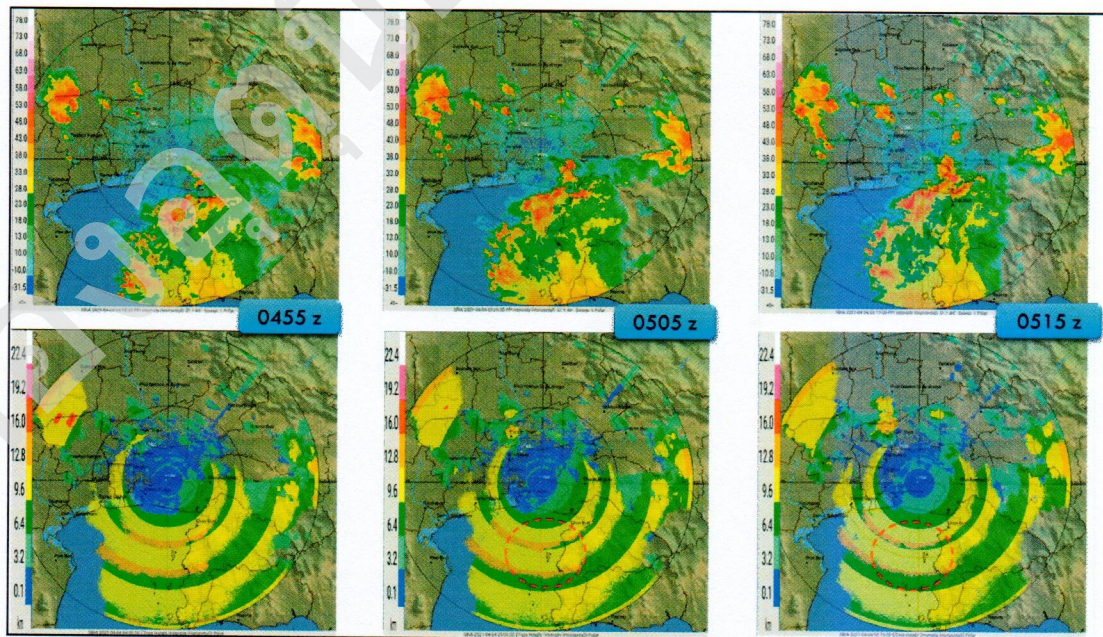
รูปที่ 53 ภาพตัดขวางของ HMC แสดงบริเวณกลุ่มฝนหนัก

3. ETops



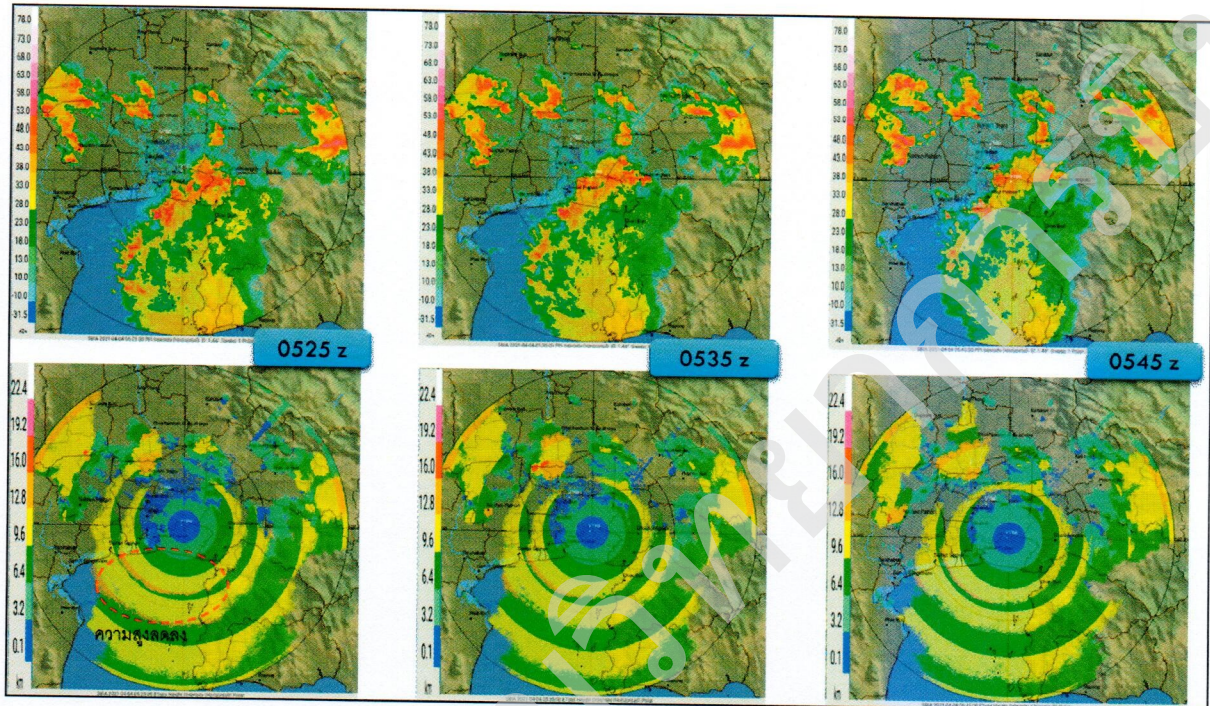
รูป 54 เปรียบเทียบภาพ PPI กับ ETops ในเวลา 0425 – 0445 UTC

- กลุ่มฝนฟ้าคะนองตรวจพบทางด้าน SE ถึง S (จากภาพ PPI) ค่อย ๆ เคลื่อนที่เข้าทางสนามบินสุวรรณภูมิ ในขณะที่ความสูงที่ได้จากภาพ ETOP นั้นอยู่ที่ประมาณ 12.8 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ SSE ถึง SSW



รูป 55 เปรียบเทียบภาพ PPI กับ ETops ในเวลา 0455 – 0515 UTC

- ภาพ PPI เวลา 0455 – 0505 UTC ลักษณะคล้ายเดิมในขณะที่ภาพ ETops ในเวลา 0505 UTC แสดงความสูงที่เริ่มลดลง
- ภาพ PPI เวลา 0515 UTC เริ่มเคลื่อนที่เข้าใกล้สนามบินสุวรรณภูมิ ในขณะที่ภาพ ETops แสดงความสูงที่ลดลงมากขึ้น (วงกลมสีแดง)



รูป 56 เปรียบเทียบภาพ PPI กับ ETops ในเวลา 0525 – 0545 UTC

- ภาพ ETOP เวลา 0525z ความสูงลดลงอย่างชัดเจน คาดการณ์ได้ว่าหลังจากนี้จะมีลมแรงขึ้นที่ สนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งเป็นผลมาจาก downdraft ของกลุ่มฝนฟ้าคะนอง

ข้อมูลตรวจอากาศสนามบินสุวรรณภูมิเวลา 0430 – 0630 UTC เป็นดังต่อไปนี้

METAR VTBS 040430Z 17008KT 9999 SCT020 SCT035 BKN100 32/25 Q1009 NOSIG=
 METAR VTBS 040500Z 18011KT 140V200 9999 VCTS FEW020CB SCT035 BKN100 32/26 Q1009 TEMPO
 FM0515 TL0630 08015G25KT 3000 TSRA=
 METAR VTBS 040530Z 19013KT 9999 -TSRA FEW020CB SCT035 BKN100 31/25 Q1009 TEMPO
 TL0700 12015G25KT 3000 TSRA=
 SPECI VTBS 040532Z 17018G31KT 8000 -TSRA FEW020CB SCT035 BKN100 28/23 Q1009 WS R19R
 TEMPO TL0700 3000 TSRA=
 SPECI VTBS 040537Z 17023KT 5000 2000S TSRA FEW020CB SCT035 BKN100 27/25 Q1009 TEMPO
 TL0630 1500 TSRA=
 SPECI VTBS 040540Z 17024KT 1500 +TSRA FEW020CB SCT035 BKN100 26/24 Q1010 WS R19R
 BECMG TL0615 3000 TSRA=
 SPECI VTBS 040544Z 17022KT 1000 R19R/0650D R19L/P2000N +TSRA SCT020CB SCT035 BKN100
 25/24 Q1010 BECMG TL0615 3000 TSRA=
 METAR VTBS 040600Z 18020KT 1500 R19R/0900U R19L/1200D +TSRA SCT020CB SCT035 BKN100
 24/24 Q1010 BECMG TL0645 3000 TSRA=
 SPECI VTBS 040610Z 19015KT 4000 TSRA FEW020CB SCT035 BKN100 24/24 Q1009 RERA BECMG TL0700 NSW=
 METAR VTBS 040630Z 19013KT 6000 -TSRA FEW020CB SCT035 BKN100 25/25 Q1008 RERA BECMG TL0800 NSW=

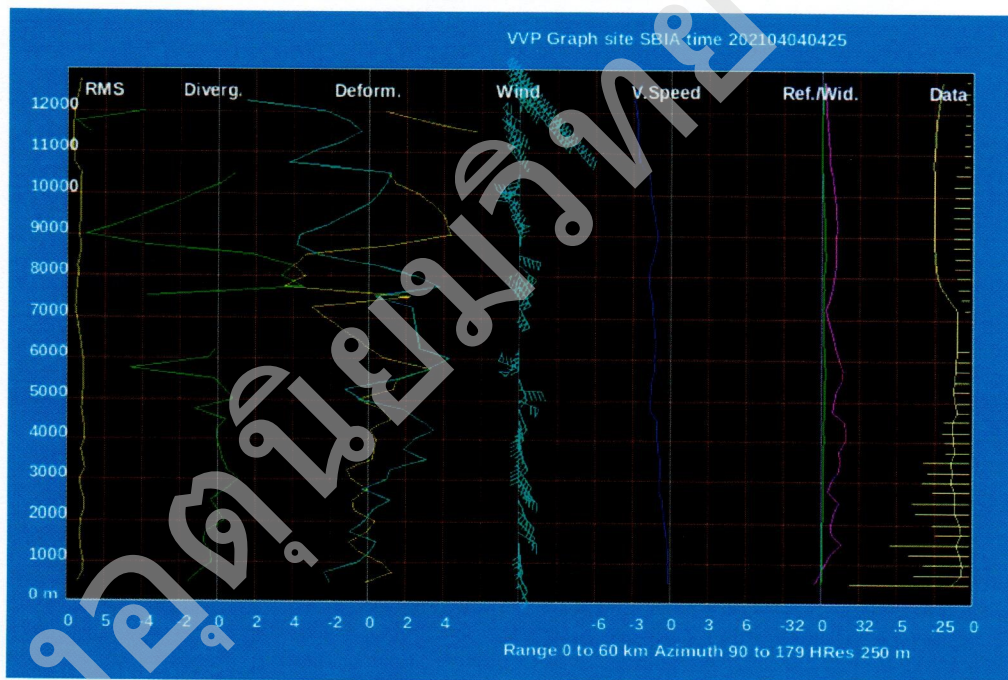
ข้อมูลตรวจอากาศสนามบินดอนเมืองเวลา 0530 – 0730 UTC เป็นดังต่อไปนี้

METAR VTBD 040530Z 18011KT 150V210 9999 FEW020TCU SCT030 33/25 Q1008 NOSIG=
 METAR VTBD 040600Z 17013KT 9999 FEW020CB SCT030 32/25 Q1009 TEMPO FM0615 TL0800
 15020G30KT 3000 TSRA=
 SPECI VTBD 040603Z 17019G34KT 140V200 5000 TSRA FEW020CB SCT030 27/24 Q1009 TEMPO
 TL0700 1500 +TSRA=
 SPECI VTBD 040609Z 16021G34KT 130V190 3000 TSRA FEW020CB SCT030 26/24 Q1009 TEMPO
 TL0700 1500 +TSRA=
 SPECI COR VTBD 040611Z 16020G45KT 130V190 1000 R21/0450 +TSRA FEW020CB SCT030 25/24
 Q1009 TEMPO TL0700 0800 +TSRA=
 METAR VTBD 040630Z 19017G30KT 160V220 1500 R21/0800 +TSRA FEW020CB SCT030 24/24
 Q1009 BECMG TL0640 3000 TSRA=
 SPECI VTBD 040632Z 20016KT 3000 TSRA FEW020CB SCT030 24/24 Q1008 RERA BECMG TL0640
 5000 TSRA=
 SPECI VTBD 040638Z 19014KT 5000 -TSRA FEW020CB SCT030 24/24 Q1008 RERA BECMG TL0700 NSW=
 METAR VTBD 040700Z 19010KT 8000 -TSRA FEW020CB SCT030 25/25 Q1008 BECMG TL0730 NSW=
 METAR VTBD 040730Z 17005KT 140V200 9000 -RA SCT030 BKN040 26/24 Q1008 NOSIG=

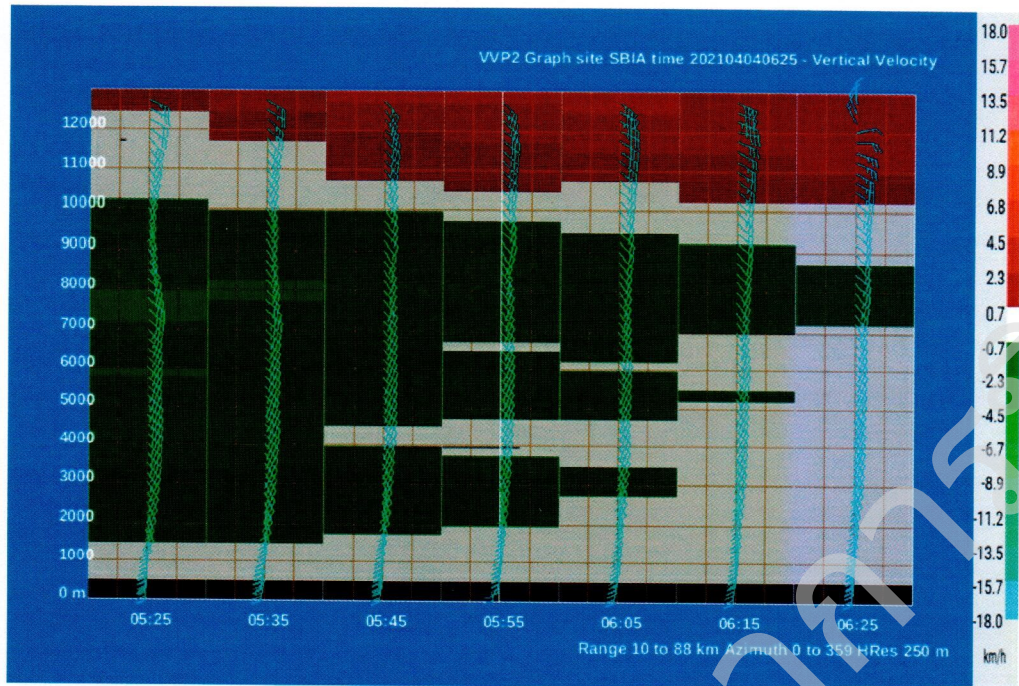
ได้จากภาพ ETops เนื่องจากกลุ่มฝนเคลื่อนตัวมาจากทางด้านทิศใต้ ซึ่งเป็นบริเวณ Cone of silence จึงไม่สามารถวิเคราะห์ภาพได้ อย่างไรก็ตามหากกลุ่มฝนก่อตัวทางทิศเหนือของสนามบินดอนเมืองก็มีโอกาสที่จะใช้ภาพ ETops ในการวิเคราะห์ได้

4. WVP/WVP2

ในการวิเคราะห์สภาพอากาศจากตัวอย่าง VVP graph โดยส่วนใหญ่จะดูที่ค่า divergence column เป็นหลัก จากกราฟจะเห็นได้ว่า เวลา 0425 UTC ในระดับล่างค่า divergence อยู่ที่ค่าลบ แต่เมื่อระดับความสูงมากขึ้น ค่านี้จะอยู่ที่ด้านบวก แสดงให้เห็นว่า เกิด convergence ระดับล่าง ในขณะที่กราฟ WVP2 เวลา 0525 – 0625 UTC ระบบลมเปลี่ยนจาก S เป็น SE ในแต่ละเวลาและยังไล่ระดับสูงขึ้นไปเรื่อยๆ พร้อมทั้งความเร็วที่มากขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเกิด convergence ที่มีความรุนแรงมากขึ้น อาจเป็นปัจจัยที่จะนำไปพิจารณาในการเกิด multicells หรือ supercells ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับภาพ PPI เมื่อเวลา 0525 UTC กลุ่มฝนอยู่ทาง SE ได้เคลื่อนตัวเข้าสนามบิน และได้เคลื่อนที่ผ่านในเวลา 0625 UTC



รูปที่ 57 ภาพ VVP วันที่ 4 เมษายน 2564 เวลา 0425 UTC



รูปที่ 58 ภาพ VWP2 วันที่ 4 เมษายน 2564 เวลา 0525 – 0625Z



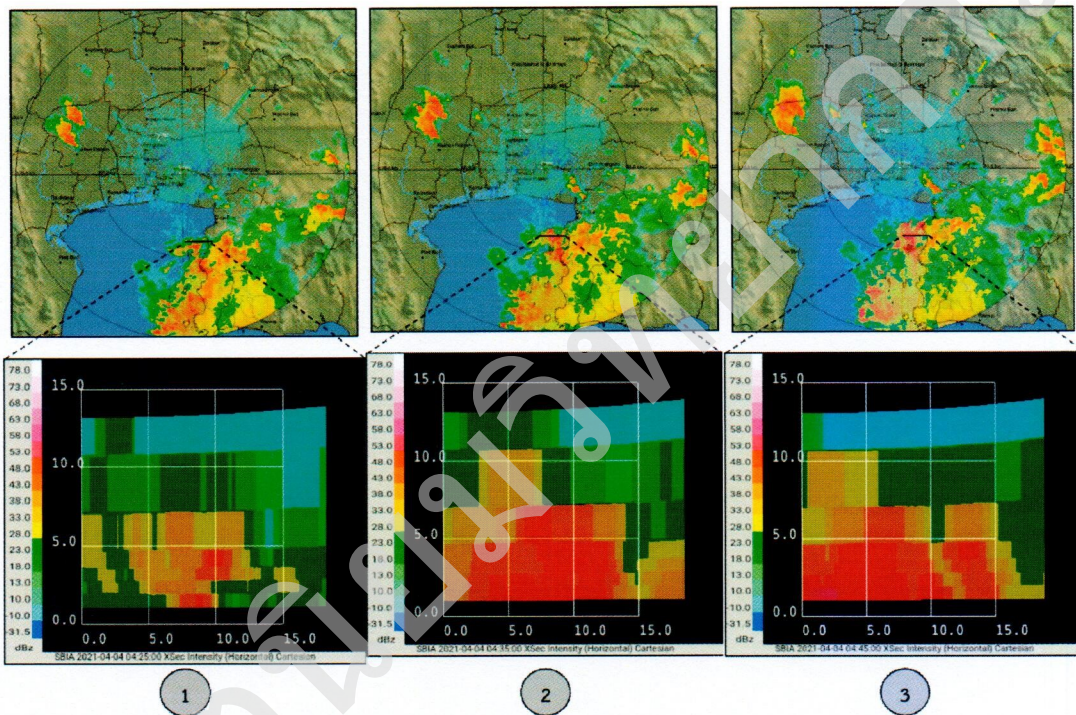
รูปที่ 59 ภาพแสดงค่า Radar Reflectivity วันที่ 4 เมษายน 2564
(ก) เวลา 0425 UTC (ข) เวลา 0525 UTC (ค) เวลา 0625 UTC

5. Cross Section

การวิเคราะห์กลุ่มเซลล์ฝนโดยวิธี XSEC หรือ Cross Section สามารถบอกได้ถึงความรุนแรง ความสูงของกลุ่มฝน ที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งในที่นี้จะทำการวิเคราะห์ 2 วิธี คือ 1) ทำการเลือกตัดบริเวณเดียวกัน 2) เลือกตัดบริเวณกลุ่มฝนที่มีทิศทางเข้ามายังสนามบิน

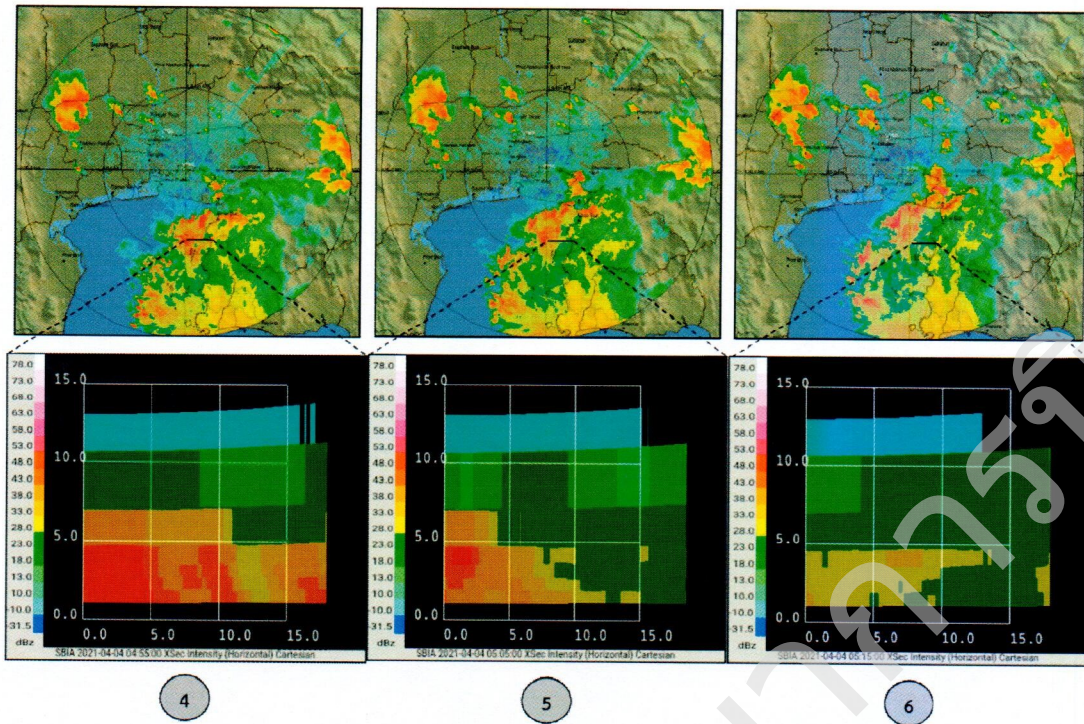
1) ทำการเลือกตัดบริเวณเดียวกัน

จากรูปที่ได้จากการเลือกตัดในบริเวณเดิม ทำให้เราสามารถเห็นถึงวิวัฒนาการของกลุ่มฝนกลุ่มนี้ ซึ่งจะเห็นว่าในภาพแรก กลุ่มฝนนี้มีความรุนแรงอยู่ระดับปานกลาง ความสูงประมาณ 8 กม. แต่มีเซลล์ฝนหนักแทรกอยู่ ทำให้พยากรณ์ได้ว่ากลุ่มฝนนี้อาจมีความรุนแรงมากขึ้น



รูปที่ 60 (1) – (3) ภาพตัดขวางของ PPI เวลา 0425 – 0445 UTC

ต่อมารูปที่ 60 (2-3) กลุ่มฝนมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเป็นฝนหนักถึงหนักมาก ความสูงเพิ่มมากขึ้นเป็นประมาณ 10 กม.

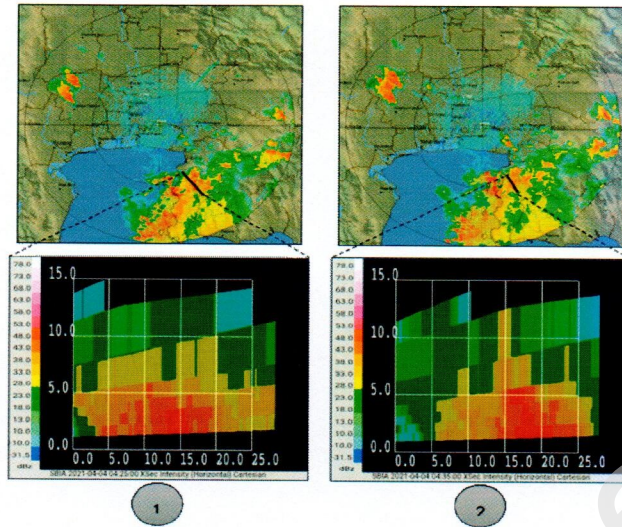


รูปที่ 61 (4) - (6) ภาพตัดขวางของ PPI เวลา 0455 - 0515 UTC

รูปที่ 61 (4) กลุ่มฝนยังมีความรุนแรงเป็นกลุ่มฝนหนัก แต่ความสูงลดลงเหลือประมาณ 8 กม. พยากรณ์ได้ว่าเซลล์ฝนกลุ่มนี้อาจจะอ่อนกำลังลง

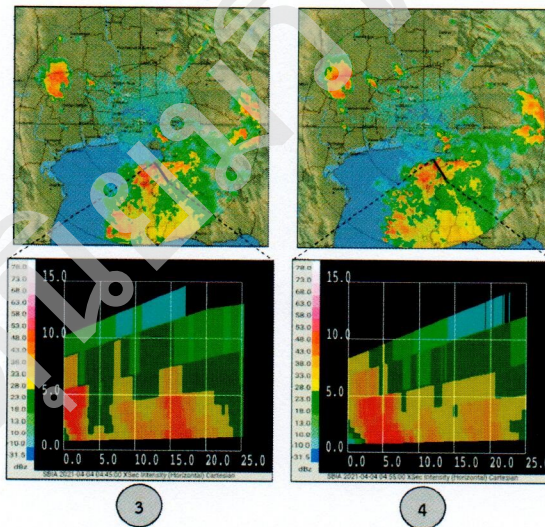
รูปที่ 61 (5-6) กลุ่มฝนนี้อ่อนกำลังลงเรื่อยๆ จนเหลือเป็นฝนเบาถึงปานกลาง ความสูงลดลงเหลือประมาณ 5 กม.

2) เลือกตัดบริเวณกลุ่มฝนที่มีทิศทางเข้ามายังสนามบิน



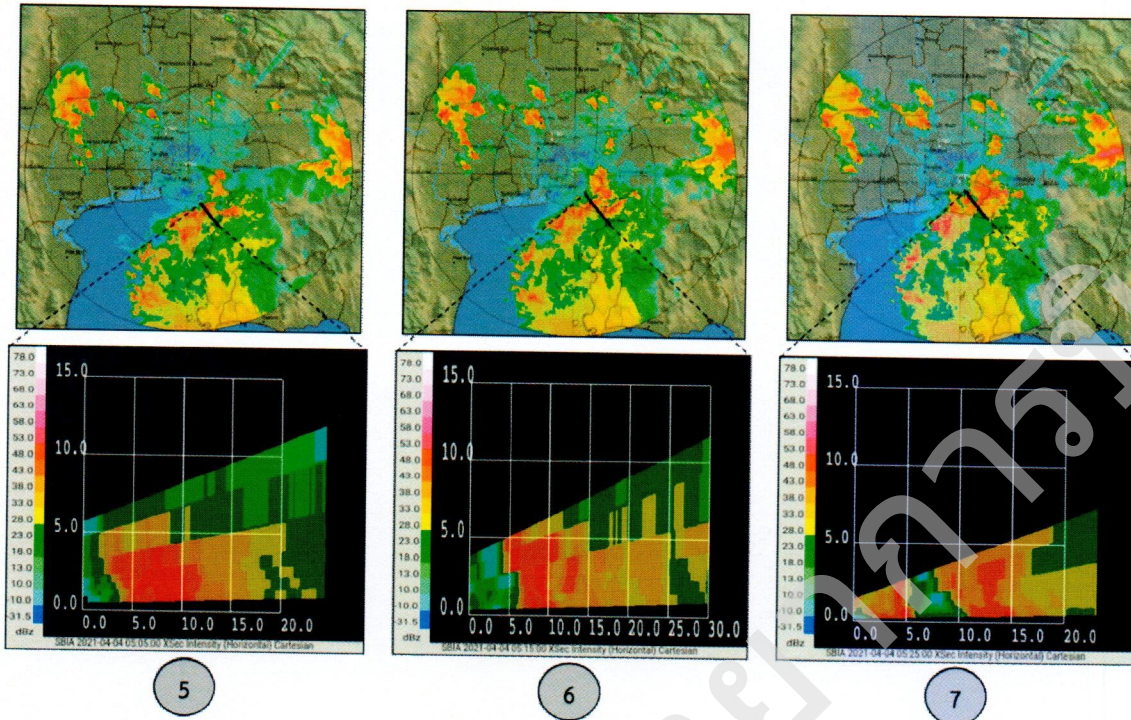
รูปที่ 62 (1) – (2) ภาพตัดขวางของ PPI เวลา 0425 – 0435 UTC

จากรูปจะเห็นได้ว่า รูปที่ 62 (1-2) กลุ่มฝนที่จะเคลื่อนเข้าสนามบิน เป็นกลุ่มฝนหนัก ความสูงของกลุ่มนี้อยู่ที่ประมาณ 13 กม.



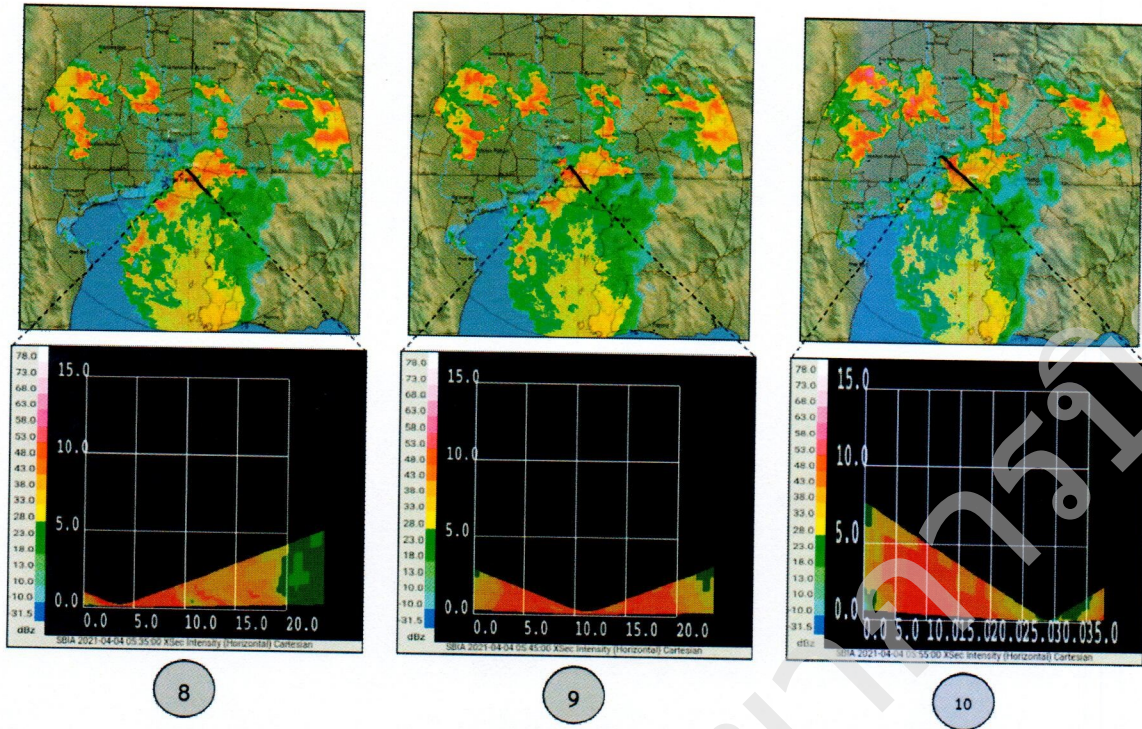
รูปที่ 63 (3) – (4) ภาพตัดขวางของ PPI เวลา 0445 – 0455 UTC

รูปที่ 63 (3-4) ด้านหน้าของกลุ่มฝนมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น เป็นกลุ่มฝนหนักถึงหนักมาก



รูปที่ 64 (5) – (7) ภาพตัดขวางของ PPI เวลา 0505 – 0525 UTC

รูปที่ 64 (5-7) กลุ่มฝนเข้ามาใกล้สนามบินมากขึ้น ความรุนแรงของกลุ่มฝนอยู่ที่ปานกลางถึงหนัก กลุ่มด้านหลังยังมีความรุนแรงอยู่ พยากรณ์ว่ากลุ่มฝนนี้ยังไม่ลดความรุนแรงเมื่อเข้าสนามบิน แต่ไม่สามารถบอกความสูงของกลุ่มฝนได้



รูปที่ 65 (8) – (10) ภาพตัดขวางของ PPI เวลา 0535 – 0555 UTC

รูปที่ 65 (8-9) กลุ่มฝนถึงสนามบิน ความรุนแรงอยู่ที่ปานกลางถึงหนัก กลุ่มด้านหลังยังมีเซลล์ของกลุ่มฝนหนัก พยากรณ์ว่ากลุ่มฝนนี้ยังไม่ลดความรุนแรง และไม่สามารถบอกความสูงของกลุ่มฝนได้

รูปที่ 65 (10) กลุ่มฝนปานกลางถึงหนักเคลื่อนออกจากสนามบิน เซลล์ด้านหลังเหลือเพียงฝนเบาถึงปานกลางคลุมสนามบินอยู่

4.2.4 ข้อดี-ข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบข้อดี – ข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

| ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|
| VIL | |
| <ol style="list-style-type: none"> ใช้ระบุตำแหน่งที่สำคัญ (แกน, บริเวณที่เกิดสภาพอากาศเลวร้าย) ของพายุฝนฟ้าคะนองได้ ช่วยในการตัดสินใจความรุนแรงของเซลล์พายุนั้นได้ มีประโยชน์สำหรับการแยกความแตกต่างของพายุที่ก่อให้เกิดลูกเห็บขนาดใหญ่ กับพายุฝนฟ้าคะนองทั่วไป ค่า VIL เมื่อมีการลดลงอย่างรวดเร็ว อาจบ่งบอกถึงความรุนแรงที่เกิดจากลม | <ol style="list-style-type: none"> ค่า VIL อาจคลาดเคลื่อนได้จากขนาดของ Drop size ค่า VIL ขึ้นอยู่กับมวลของอากาศ ระยะเวลาใช้งานต้องต่ำกว่า 185 กม. เกินจากระยะนี้จะได้ข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือ ค่า VIL ที่ตรวจจับได้จากเซลล์พายุที่เคลื่อนที่เร็วจะมีค่าต่ำกว่าพายุที่ขยายตัวในแนวตั้งเคลื่อนที่ช้า ค่าเรดาร์ที่ตรวจจับภายใน 37 กม. จะถูกประเมินต่ำเกินไปเนื่องจากปรากฏการณ์ Cone of silence |
| HMC | |
| <ol style="list-style-type: none"> ใช้ในการแยกแยะสัญญาณที่สะท้อนกลับมาว่าเป้าที่ตกกระทบนั้น เป็นหยาดน้ำฟ้าหรือไม่เป็น ใช้ระบุบริเวณที่มีความเป็นไปได้ว่าจะเกิดลูกเห็บ ระยะทางของกลุ่มเซลล์ฝนความรุนแรงได้จากการใช้งานร่วมกับ การ Cross section | <p>สัญญาณรบกวนที่มักเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ของ dual polarization หรือ ปัญหาการปรับเทียบค่าของเรดาร์มักส่งผลกระทบต่อ การแยกประเภทหยาดน้ำฟ้า รวมถึงการวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของกลุ่มเซลล์ฝนซึ่งจะดูได้ยากกว่าเรดาร์แบบ PPI เนื่องจากเป็นการจัดประเภทของเป้าที่ตรวจพบ</p> |
| ETops | |
| <ol style="list-style-type: none"> ใช้ในการแยกระหว่าง Echo ที่มาจากพื้นดิน (Anomalous Propagation, AP) และวัตถุที่ไม่เป็นหยาดน้ำฟ้า ออกจาก Echo ที่มาจากหยาดน้ำฟ้า ช่วยให้ทราบโครงสร้างของพายุฝนฟ้าคะนอง ในบางครั้ง Echo จากระดับสูงสามารถตรวจพบได้ก่อน Echo ระดับต่ำ | <ol style="list-style-type: none"> เนื่องจากไม่มีการแก้ค่า/กรองค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูล (No correction) ระหว่างค่าที่ได้จากกลุ่มฝนและค่าที่ได้จากบริเวณข้างเคียง อาจจะทำให้ความสูงที่ได้มานั้นมีความสูงมากเกินความเป็นจริง นอกจากนี้ยังไม่มี การแก้ค่าที่มาจากผลของลำแสงที่กว้างขึ้นเมื่อระยะห่างจากตำแหน่งเรดาร์มากขึ้น เป็นผลทำให้เกิดลักษณะขั้นบันไดในภาพเรดาร์ประเภท ETops ค่าที่ตรวจวัดได้จะเป็นค่า ณ กึ่งกลาง |

| | |
|---|--|
| | <p>ลำแสงของเรดาร์ในแต่ละมุมยก โดยจะไม่มี การประมาณค่าที่เกิดขึ้น (Extrapolation) ระหว่างมุมยก</p> <p>3. มีข้อจำกัดในการตรวจกลุ่มฝนที่มีความสูง มาก และอยู่ใกล้กับเรดาร์ตรวจอากาศ เนื่องจากมุมยกที่สูงที่สุดที่เครื่องเรดาร์ สามารถตรวจได้คือ 19.5 องศา ซึ่งไม่ เพียงพอที่ลำแสงของเรดาร์จะตรวจได้ถึง TOP ของกลุ่มฝนฟ้าคะนอง โดย ณ ตำแหน่งที่ห่างออกไป 20 กิโลเมตร จะ สามารถตรวจได้ความสูงสูงสุดเพียง 7 กิโลเมตรเท่านั้น</p> <p>4. ความสูงของ Echo Top อาจมีความสูง แตกต่างจากยอดเมฆที่แท้จริง</p> |
| VVP | |
| <p>1. สามารถพยากรณ์ระยะสั้นสำหรับการ พัฒนาตัวของกลุ่มฝนในรัศมีการตรวจวัด ของเรดาร์</p> <p>2. เหมาะสมกับการพยากรณ์กลุ่มฝนที่มีขนาด เซลล์ใหญ่</p> | <p>1. ต้องการข้อมูลปริมาณมากเพื่อนำมา วิเคราะห์ แต่การนำข้อมูลปริมาณมากมาใช้ ก็จะมาด้วย error ที่มากขึ้น</p> <p>2. ต้องกำหนดพื้นที่การวิเคราะห์ให้ชัดเจน เพราะจะมีผลต่อความแม่นยำของผลลัพธ์</p> <p>3. ไม่สามารถวิเคราะห์กลุ่มฝนแต่ละเซลล์ได้ และไม่เหมาะกับกลุ่มฝนขนาดเล็ก</p> |
| VVP2 | |
| <p>1. สามารถวิเคราะห์ลมในระดับต่างๆ เปรียบเทียบกันในแต่ละเวลา</p> <p>2. สามารถวิเคราะห์การเกิด wind shear ใน แต่ละระดับความสูงได้</p> | <p>1. ข้อมูลอาจมีความผิดพลาดเนื่องจากสิ่งกีด ขวางชนิดต่างๆ เช่น นก เครื่องบิน เป็นต้น</p> |
| Cross Section | |
| <p>1. สามารถเลือกวิเคราะห์ได้เฉพาะกลุ่มเซลล์ ฝนที่ต้องการ</p> <p>2. เห็นโครงสร้างภายในของกลุ่มเซลล์ฝน สามารถใช้วิเคราะห์ความรุนแรง , ความสูง ของเมฆ, โอกาสเกิดลูกเห็บ</p> <p>3. สามารถใช้งานได้กับหลายโปรดัคส์ เช่น Reflectivity, HMC, VIL, VVP เป็นต้น</p> | <p>1. หากจะทำการวิเคราะห์ได้ดีต้องทำการ ตรวจหลายมุมยก</p> <p>2. เนื่องจากมุมยกของเรดาร์ ทำให้ไม่สามารถ แสดงผลของกลุ่มฝนที่อยู่ใกล้กับเรดาร์ได้ เราเรียกช่องว่างที่เกิดขึ้นนี้ว่า cone of silent หมายความว่า จะไม่สามารถ สังเกตเห็นด้านบนของพายุฝนฟ้าคะนอง ภายในระยะประมาณ 20 กม. จากสถานี เรดาร์ได้</p> |

เอกสารอ้างอิง

1. Roger A. Brown and Vincent T. Wood, *A Guide for Interpreting Doppler Velocity Patterns: North Hemisphere Edition*, NOAA/National Severe Storms Laboratory Norman, Oklahoma, 2nd Edition, June 2007.
2. COMET Program, *Weather Radar Fundamentals*, Print version, 2020.
3. Waldteufel, P., and H. Corbin. (1979). On the analysis of single Doppler radar data. *J. Appl. Meteor.*, 18, 532–542.
4. Koscielny, A. J., R. J. Doviak, and R. M. Rabin. (1982). Statistical considerations in the estimation of divergence from single Doppler radar and application to pre-storm boundary-layer observation. *J. Appl. Meteor.*, 21, 197–210.
5. Enterprise Electronics Corporation (EEC). (2019). Volume Velocity Processing - VVP / VVP2. EDGE 6 User Manual, 591-596.
6. Silver Spring, MD. (2017). WSR-88D meteorological observations Part C WSR-88D products and algorithms. Federal Meteorological Handbook No. 11, 96-142.
7. Lahiff, C. T. (2005). Vertically integrated liquid density and its associated hail size range across the Burlington, Vermont county warning area.
8. Louisville, KY. (2021). What is Dual-Polarization Radar and What Can It Do for Me?. Dual Polarization Overview [Online], Available: https://www.weather.gov/media/lmk/soo/Dual_Pol_Overview.pdf [accessed Aug 10, 2021].
9. Warning Decision Training Branch. (2021). Dual-Polarization Radar Principles And System Operations. Dual-Polarization Radar Principles [Online], Available: <https://training.weather.gov/wdtd/courses/dualpol/documents/DualPolRadarPrinciples.pdf> [accessed Aug 10, 2021].
10. The COMET® Program. (2021). Overview of Weather Radars » Scanning Modes. Weather Radar Fundamentals [Online], Available: http://research.atmos.ucla.edu/weather/C227/Documents/tmp/basic_wxradar/navmenu.php_tab_1_page_2_2_0_type_text.htm [accessed Aug 10, 2021].
11. Louisville, KY. (2021). NWS Doppler Radar (WSR-88D) Example products. NWS Louisville Reflectivity Cross-Section April 7, 2006 [Online], Available: https://www.weather.gov/lmk/nws_radar_7Apr2006_Xsec [accessed Aug 10, 2021].

12. Mark A. Thornton. (2010). Echo Tops on Doppler Radar Imagery. LakeErieWX Marine Weather [Online], Available:
<https://www.lakeeriewx.com/CaseStudies/EchoTops/EchoTops.html> [accessed Jun 14, 2021].
13. The weather company. (2021). Understanding Weather Radar. Weather Underground [Online], Available: <https://www.wunderground.com/prepare/understanding-radar> [accessed Jun 14, 2021].
14. Oklahoma Climatology survey. (2000). Echo Top Circular “Stair-Step” pattern Echotops [Online], Available:
<http://okfirst.mesonet.org/train/materials/radar/echotops.gif> [accessed Jun 14, 2021].

คลังข้อมูลภูมิอากาศ

ภาคผนวก

ภาพกิจกรรมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

