



สรุปถอดบทเรียน ประจำปี 2566

โครงการ " สัมมนาการจัดทำ AFTER ACTION REVIEW
ถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง "



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
1. การวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	1
1.1 กำหนดพื้นที่เป้าหมายตามภารกิจ	3
1.2 พยากรณ์อากาศ	5
1.3 วิเคราะห์ผลการตรวจอากาศชั้นบน	7
1.4 ตรวจสอบความพร้อมด้านปัจจัยสนับสนุน	9
1.5 ประชุมแผนการทำงาน	10
1.6 แจกแจงแผนปฏิบัติการ	10
1.7 ติดตาม/ประเมินความเหมาะสมในการปฏิบัติการ (Stand by)	11
2. การปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวง	12
2.1 การเตรียมสารฝนหลวง	12
2.2 การปฏิบัติการฝนหลวงตามตำราฝนหลวงพระราชทาน	14
2.3 การปฏิบัติการฝนหลวงยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ	28
2.4 การปฏิบัติการฝนหลวงบรรเทาหมอกควันและไฟป่า	30
2.5 ภารกิจการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอุ่นโดยใช้พลุสารดูดความชื้น	31
2.6 เงื่อนไขที่สำคัญของการปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวง	26
3. การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง	34
3.1 ประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง	34
3.2 การประเมินผลประจำวัน	44
3.3 สรุปผลและรายงานผล	46
ภาคผนวก ก หลักเกณฑ์การพิจารณาสภาพอากาศและการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่	47
ภาคผนวก ข นิยามคำศัพท์	50
ภาคผนวก ค การเกิดเมฆและฝน	54
ภาคผนวก ง สารฝนหลวงและพลุที่ใช้ในการปฏิบัติการฝนหลวง	61
ภาคผนวก จ โครงการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่	63
ภาคผนวก ฉ ลักษณะอากาศที่สำคัญในแต่ละฤดูกาลของกรมอุตุนิยมวิทยา	73
ภาคผนวก ช สรุปข้อมูลพลุสารดูดความชื้น (Hygroscopic Flare)	87

คำนำ

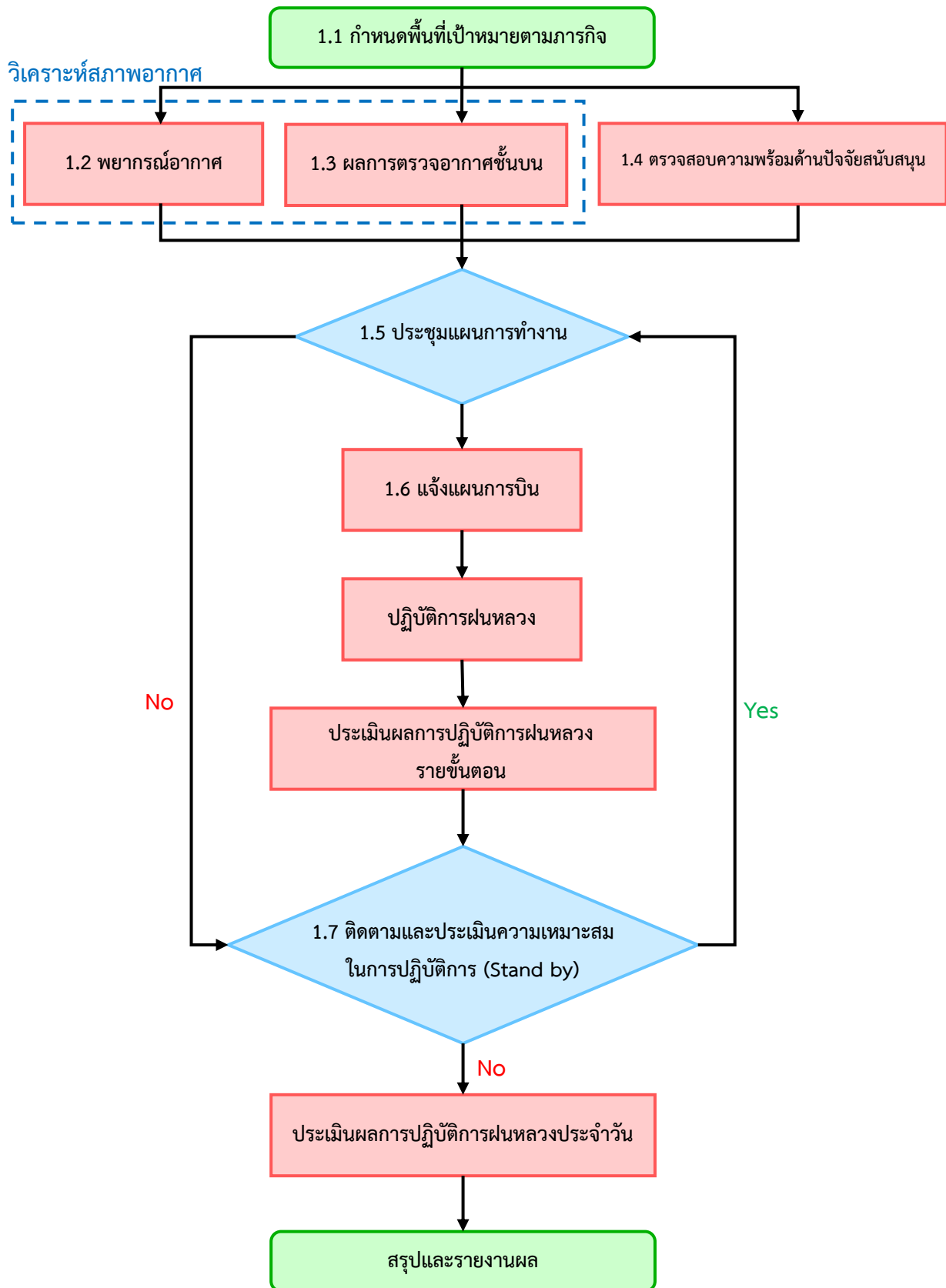
รายงานสรุปการถอดบทเรียน จากการปฏิบัติการฝนหลวง 2565 จัดทำเพื่อสรุปผลโครงการ “สัมมนาการจัดทำ AFTER ACTION REVIEW ถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง” กำหนดจัดขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ให้บุคลากรของกองปฏิบัติการฝนหลวง กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีฝนหลวง และกองตรวจและพัฒนาการตรวจสภาพอากาศฝนหลวง โดยการศึกษาและทบทวนแนวทางการปฏิบัติการฝนหลวง ในสถานการณ์ต่าง ๆ หรือในประเด็นปัญหาและอุปสรรคในการปฏิบัติการฝนหลวงในสถานการณ์ต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป โดยรายงานสรุปการถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง 2565 มีเนื้อหาประกอบด้วย การวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน การปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวง การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง เพื่อนำมาปรับปรุงและกำหนดเป็นมาตรฐานการปฏิบัติการฝนหลวง และเป็นการเผยแพร่องค์ความรู้เกี่ยวกับการปฏิบัติการฝนหลวง

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานสรุปการถอดบทเรียน ประจำปี 2566 นี้ จะนำไปสู่การปฏิบัติการฝนหลวงที่มีขีดความสามารถที่สูงขึ้น พร้อมรับการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ทั้งในปัจจุบันและอนาคต และผู้อ่านทุกท่านสามารถใช้ประโยชน์จากองค์ความรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กุมภาพันธ์ 2566

1. การวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

กระบวนการวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน แสดงดังภาพที่ 1.1 โดยมีการกำหนดพื้นที่เป้าหมายตามภารกิจ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการพยากรณ์อากาศ วิเคราะห์ผลการตรวจอากาศชั้นบน ตรวจสอบความพร้อมด้านปัจจัยสนับสนุน เพื่อนำมาหารือในการประชุมแผนการทำงาน ซึ่งหากมีโอกาสนในการปฏิบัติการฝนหลวง จะมีการแจ้งแผนปฏิบัติการแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อเตรียมความพร้อม แล้วปฏิบัติการฝนหลวงและประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงรายขั้นตอน โดยในระหว่างวันจะมีการติดตาม/ประเมินความเหมาะสมในการปฏิบัติการ (Stand by) หากสภาพอากาศเหมาะสมให้มีการดำเนินการเพื่อแจ้งแผนปฏิบัติการอีกครั้ง แต่ถ้าไม่สามารถปฏิบัติการต่อได้ จะดำเนินการประเมินผลประจำวัน สรุปผลและรายงานผลต่อไป



ภาพที่ 1.1 กระบวนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

1.1 กำหนดพื้นที่เป้าหมายตามภารกิจ

การวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายตามภารกิจ จะพิจารณาจากเกณฑ์ข้อมูลพื้นฐาน และข้อมูลบ่งชี้ความต้องการแผนแยกตามภารกิจของการปฏิบัติการ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ภารกิจตามแผนปฏิบัติการ ดังนี้

- 1) การบรรเทาปัญหาหมอกควันและไฟป่า
- 2) การยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ
- 3) การป้องกันและแก้ไขภัยแล้ง
- 4) การเติมน้ำต้นทุนให้เขื่อนกักเก็บน้ำ

1.1.1 การบรรเทาปัญหาหมอกควันและไฟป่า

- 1) การสร้างความชุ่มชื้นและดับไฟป่า

พื้นที่เป้าหมาย: พื้นที่อุทยานแห่งชาติ/พื้นที่ป่าไม้ (ป่าพรุ ฯลฯ)/เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า/พื้นที่ขอบเขตระดับจังหวัด อำเภอ

ในช่วงฤดูแล้งและช่วงที่เกิดฝนทิ้งช่วง ประเทศไทยมักประสบปัญหาไฟไหม้ป่าในหลายพื้นที่ เช่น พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่อุทยานแห่งชาติ พื้นที่ป่าพรุ และพื้นที่อื่น ๆ ที่ประสบภัย ซึ่งสร้างความเสียหายต่อระบบนิเวศและส่งผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบ กรมฝนหลวงและการบินเกษตรมีการดำเนินการทั้งระยะป้องกันการเกิดเหตุโดยปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อสร้างความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่ และระยะเผชิญเหตุโดยปฏิบัติการฝนหลวงและสนับสนุนเฮลิคอปเตอร์สำหรับการทิ้งน้ำเพื่อดับไฟ

- 2) การปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อบรรเทาปัญหาหมอกพิษด้านฝุ่นละออง

พื้นที่เป้าหมาย: พื้นที่ขอบเขตระดับ จังหวัด อำเภอ

การปฏิบัติการฝนหลวงในระยะเผชิญเหตุ ตามแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ การแก้ไขปัญหาหมอกพิษด้านฝุ่นละออง² เมื่อค่าปริมาณฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เฉลี่ยใน 24 ชั่วโมง มีค่าเกินมาตรฐาน 50 มคก./ลบ.ม. หรือ ขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) เฉลี่ยใน 24 ชั่วโมง มีค่าเกินมาตรฐานเท่ากับ 120 มคก./ลบ.ม.

1.1.2 การยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ

พื้นที่เป้าหมาย: พื้นที่ขอบเขตระดับ จังหวัด อำเภอ

ในช่วงการเปลี่ยนฤดูกาลมีความแปรปรวนของสภาพอากาศ โดยปกติจะอยู่ในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคมของทุกปี ทำให้เกิดพายุลูกเห็บในหลายพื้นที่ของประเทศไทย ซึ่งสร้างความเสียหายให้กับพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชน กรมฝนหลวงและการบินเกษตรจึงมีการปฏิบัติการฝนหลวงดัดแปรสภาพอากาศเพื่อยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ โดยการทำงานในแต่ละวันจะพิจารณาจาก ข้อมูลสถิติการเกิดพายุลูกเห็บในแต่ละภูมิภาค ข้อมูลการแจ้งเตือนภัยของกรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลเรดาร์ ข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนของกรมฝนหลวงและการบินเกษตรรายละเอียด ตามตารางที่ 1.3

แหล่งอ้างอิง 1: <https://fire.gistda.or.th/download-v1.html>

แหล่งอ้างอิง 2: <http://air4thai.pcd.go.th/webV3/#/Home>

1.1.3 การป้องกันและแก้ไขภัยแล้ง

พื้นที่เป้าหมาย: พื้นที่ขอบเขตระดับ จังหวัด อำเภอบาง

การปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำแล้ง สร้างความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่ป่าไม้ และเพิ่มปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เกษตรกรรม มีการวิเคราะห์เชิงพื้นที่โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แม่นยำเชิงพื้นที่เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง (Fonluang Geo - Map) ผ่านเว็บไซต์³ เพื่อเพิ่มปริมาณและการกระจายตัวของน้ำฝนให้เหมาะสมกับพื้นที่และเกิดประโยชน์สูงสุด โดยเฉพาะช่วงที่ฤดูฝนมาล่าช้ากว่าปกติ หรือฝนทิ้งช่วงจึงมีความท้าทายเป็นอย่างมากในการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่เพื่อบรรเทาความเดือดร้อนของประชาชน ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายหลักประจำวันสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวง โดยทำการวิเคราะห์ความต้องการน้ำของพืช จากระยะการเจริญเติบโต ปริมาณน้ำฝนสะสม 7 และ 14 วัน พิจารณาร่วมกับนโยบายรัฐบาล/กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พื้นที่ชลประทาน (นอกเขตและในเขตชลประทาน) พื้นที่ประกาศภัยแล้ง พื้นที่ได้รับผลกระทบ พื้นที่ไม่ต้องการฝน การขอรับบริการฝนหลวง รวมทั้งข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขภัยแล้ง

1.1.4 การเติมน้ำต้นทุนให้เขื่อนกักเก็บน้ำ

พื้นที่เป้าหมาย: พื้นที่ลุ่มน้ำ เขื่อน อ่างเก็บน้ำ แหล่งน้ำธรรมชาติ

การปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักให้กับเขื่อนและอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ทั่วประเทศไทย เพื่อสำรองไว้เป็นน้ำต้นทุนในการบริหารจัดการน้ำในช่วงฤดูแล้งถัดไปและเพื่อสาธารณประโยชน์ โดยพิจารณาเพื่อจัดลำดับความเร่งด่วนของการช่วยเหลือให้กับเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำต่าง ๆ หรือได้รับการประสานงานจากหัวหน้าส่วนราชการ เช่น ผู้ว่าราชการจังหวัด ผู้อำนวยการโครงการชลประทานจังหวัด โครงการชลประทาน ทั้งนี้หน่วยปฏิบัติการฝนหลวงที่ดูแลรับผิดชอบจะดำเนินการประสานงานกับเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำในพื้นที่ต่อไป

แหล่งอ้างอิง 3: <https://geomaps.royalrain.go.th/portal/apps/View/index.html?appid=633f6305398e4e4ba90cfeeb53aed3e6>

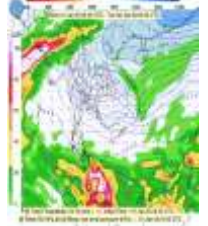
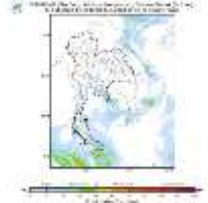
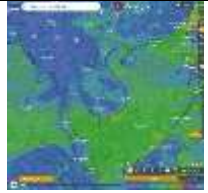
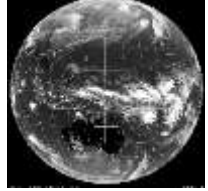
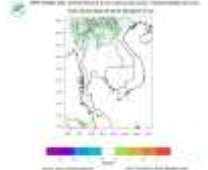
1.2 สภาพอากาศและการพยากรณ์อากาศ

การพยากรณ์อากาศ เป็นกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลหรือตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญ โดยใช้ชนิดข้อมูลที่หลากหลายในการพยากรณ์อากาศ เช่น สภาพอากาศระดับภูมิภาค สภาพอากาศรายวัน รายสัปดาห์ ภาพเรดาร์ ภาพดาวเทียม และแบบจำลอง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1.1 ข้อมูลการพยากรณ์อากาศ โดยปัจจุบันแบบจำลองได้มีการพัฒนาและสามารถนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับการปฏิบัติการฝนหลวงได้ เช่น โอกาสการเกิดฝน ลมแนวนอน (ทิศทางและความเร็ว) ลมแนวตั้ง (ความเร็ว) ความกดอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ โอกาสการเกิดเมฆ และฝุ่นละอองในอากาศ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลสภาพอากาศและการพยากรณ์อากาศ

ชนิดข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ข้อมูล	ความถี่	แหล่งข้อมูล
1. สภาพอากาศระดับภูมิภาค (Synoptic Scale)	Top Chart	แผนที่อากาศผิวพื้น แผนที่ลมชั้นบนระดับ 850 hPa แผนที่ลมชั้นบนระดับ 925 hPa (รายละเอียดตามภาคผนวก จ)	4 ครั้ง/วัน เวลา 01:00 น. เวลา 07:00 น. เวลา 13:00 น. เวลา 19:00 น.	TMD
2. สภาพอากาศเรดาร์ ดาวเทียม	สภาพท้องฟ้า ภาพดาวเทียม ภาพเรดาร์ ตรวจอากาศ	ปริมาณและลักษณะของเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย หรือบริเวณสนามบินหรือค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์รายละเอียดตามภาคผนวก ก)	เรดาร์: 6/15 นาที ดาวเทียม: 10/30 นาที 1 ชั่วโมง	TMD: เรดาร์ ดาวเทียม DRRAA: เรดาร์
3. แบบจำลอง	Precipitation Water	ปริมาณน้ำในบรรยากาศ	ทุก ๆ 30 นาที	รายละเอียดดังตาราง 1.2
	Horizontal Wind	ลมแนวนอน (ทิศทาง ความเร็ว)		
	Vertical Wind	ลมแนวตั้ง (ความเร็ว)		
	Pressure	ความกดอากาศ		
	Temperature	อุณหภูมิ		
	RH (%)	ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ		
	Cloudiness	โอกาสการเกิดเมฆ		
	Particulate Matter	ฝุ่นละอองในอากาศ		

ตารางที่ 1.2 ข้อมูลแบบจำลองการพยากรณ์อากาศ

Model			Precipitation Water	Horizontal Wind	Vertical Wind	Pressure	Temperature	RH (%)	Cloudiness
TCM		http://122.154.75.4/BRRRAintranet/datacenter/upperairApp/UpperAirMain2017.php	✓		✓	✓	✓	✓	
Microwave Radiometer ผล.		http://122.154.75.4/BRRRAintranet/datacenter/upperairApp/UpperAirMIC_Main2019.php	✓			✓	✓	✓	
พยากรณ์ฝน รวม 24 ชั่วโมง		http://www2.tmd.go.th/wrf_tmd/	✓			✓			
สสน.		https://www.thaiwater.net/weather/rainfall	✓		✓				
Windy		https://www.windy.com/	✓	✓		✓	✓	✓	✓
JMA		http://www.jma.go.jp/en/gms/							✓
แผนที่ลมแนวตั้ง		https://www.thaiwater.net/weather			✓				

1.3 วิเคราะห์ผลการตรวจอากาศชั้นบน

การวิเคราะห์ข้อมูลผลการตรวจอากาศชั้นบน เป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีเรดาร์ฝนหลวงที่ตั้งอยู่ทุกภูมิภาค โดยใช้วิทยุหยั่งอากาศ (Radiosonde) และตรวจอากาศคลื่นสั้น (Microwave Radiometer Profiler) แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 1.3 โดยทำการตรวจอากาศด้วยวิทยุหยั่งอากาศในเวลาเช้า 07:00 น. และจะได้ผลการตรวจอากาศในช่วงเวลาถัดมา ซึ่งในกรณีที่สภาพอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว สามารถทำการตรวจวัดในเวลาบ่ายอีกครั้ง ทั้งนี้ขึ้นกับการวิเคราะห์/การตัดสินใจของนักวิทยาศาสตร์หรือนักวิทยาศาสตร์ โดยทำการแจ้งกองตรวจและพัฒนาการตรวจสภาพอากาศฝนหลวงล่วงหน้าอย่างน้อย 1:30 ชั่วโมง

ตารางที่ 1.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากการตรวจอากาศชั้นบน

ชนิดข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ข้อมูล	ค่าที่เหมาะสม		แหล่งข้อมูล
			ฤดูฝน	ฤดูอื่น	
1. ความชื้นสัมพัทธ์	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย	ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ระดับ 0 - 5,000 ฟุต	≥ 60%	≥ 60%	DRRAA (เครื่องมือวิทยุหยั่งอากาศและตรวจอากาศคลื่นสั้น)
		ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต	≥ 60%	≥ 60%	
		ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ระดับ 10,000 - 15,000 ฟุต	≥ 45%	≥ 45%	
2. ความเร็วลม	ความเร็วลม	ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับผิวพื้น - 5,000 ฟุต	≤ 20 knots*	≤ 20 knots*	DRRAA (เครื่องมือวิทยุหยั่งอากาศ)
		ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต	≤ 20 knots*	≤ 20 knots*	
		ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 10,000 - 15,000 ฟุต	≤ 15 knots	≤ 15 knots	
3. ค่าดัชนีสภาพอากาศ	SI (Showalter Index)	ดัชนีที่ใช้ออกความไม่เสถียรภาพของมวลอากาศที่ระดับ 850 มิลลิบาร์	≤ 0	≤ 0	DRRAA (เครื่องมือวิทยุหยั่งอากาศและตรวจอากาศคลื่นสั้น)
	LI (Lifted Index)	ดัชนีที่ใช้ออกความไม่เสถียรภาพของมวลอากาศในระดับต่ำ	≤ 0	≤ - 1	
	KI (K Index)	ดัชนีที่บอกถึงศักยภาพในการก่อตัวในแนวตั้ง	≥ 30	≥ 30	
	CAPE (Convective Available Potential Energy)	พลังงานศักย์ที่มีอยู่ในการยกตัวของกระแสอากาศในแนวตั้ง			
	Inversion	ชั้นอุณหภูมิผกผัน			
	ข้อมูลอื่น ๆ จากกราฟ Skew - T	ข้อมูลผลตรวจอากาศชั้นบน			

ตารางที่ 1.3 ข้อมูลดัชนีพยากรณ์อากาศจากการตรวจอากาศชั้นบน (ต่อ)

ชนิดข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ข้อมูล	ค่าที่เหมาะสม		แหล่งข้อมูล
			ฤดูฝน	ฤดูอื่น	
4. ค่าดัชนีสภาพอากาศ (เงื่อนไขในการปฏิบัติงานยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ)	SI (Showalter Index)	ดัชนีที่ใช้บอกความไม่เสถียรภาพของมวลอากาศที่ระดับ 850 มิลลิบาร์	< - 1.0		DRRAA (เครื่องมือวิทยุหยั่งอากาศและตรวจอากาศคลื่นสั้น)
	LI (Lifted Index)	ดัชนีที่ใช้บอกความไม่เสถียรภาพของมวลอากาศในระดับต่ำ	< - 1.0		
	KI (K Index)	ดัชนีที่บอกถึงศักยภาพในการก่อตัวในแนวตั้ง	> 30		
	CAPE (Convective Available Potential Energy)	พลังงานศักย์ที่มีอยู่ในการยกตัวของกระแสอากาศในแนวตั้ง	> 2,000 j/kg		
	CIN (Convective inhibition)	พลังงานที่จำเป็นในการยกตัวของอนุภาคเพื่อไปถึง Level of Free Convection	< - 400		
	PW (Precipitation Water)	ปริมาณน้ำในบรรยากาศ	>3.8 ซม.		
	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย	ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ระดับ 0 - 10,000 ฟุต	> 70%		
	ความเร็วลม	ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 0 - 15,000 ฟุต	≤ 10 knots		

หมายเหตุ: * สำหรับภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดราชบุรีถึงจังหวัด ชุมพร เนื่องจาก เป็นพื้นที่แคบ ข้อมูลค่าความเร็ว
ลมเฉลี่ยที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต มีค่า ≤ 15 knots
** ข้อมูลจากผลตรวจอากาศชั้นบน โปรแกรม Sonde II

1.4 ตรวจสอบความพร้อมด้านปัจจัยสนับสนุน

การเตรียมความพร้อมด้านปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน จะพิจารณาจากปัจจัยที่สำคัญใน 7 ด้าน ได้แก่ สนามบิน อากาศยาน บริภัณฑ์ภาคพื้น บุคลากร เครื่องบดสารฝนหลวง เครื่องยนต์ต้นกำลัง สารฝนหลวง คลังเก็บสาร/เต็นท์ รถบรรทุกสารฝนหลวง รถโฟล์คลิฟท์ ระบบสารสนเทศ ซึ่งหากขาดความพร้อม อาจส่งผลกระทบต่อปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน หลักเกณฑ์การควบคุมปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน และระบบสารสนเทศ แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 เกณฑ์การตัดสินใจด้านปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวง

ปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	เกณฑ์การพิจารณา	การควบคุม
สนามบิน	สนามบินพร้อมสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	หอบังคับการบิน/รถควบคุมการจราจรทางอากาศเคลื่อนที่/เจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศ/NOTAM ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่นั้น ๆ
อากาศยานและบริภัณฑ์ภาคพื้น (รถน้ำ รถน้ำมัน รถ GPU)	- อากาศยานและบริภัณฑ์ภาคพื้นพร้อมปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน - อากาศยานและบริภัณฑ์ภาคพื้นมีจำนวนเพียงพอต่อการบินปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	การตรวจสอบความพร้อมด้านการบิน
บุคลากร	บุคลากรมีจำนวนเพียงพอต่อการบินปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน (นักวิทยาศาสตร์ นายช่างเครื่องกล ผู้ช่วยนักวิทยาศาสตร์ ช่างอิเล็กทรอนิกส์ นักบิน ช่างเครื่องบิน เจ้าหน้าที่บัดโปยสารฝนหลวง พนักงานขับรถยนต์)	การตรวจสอบความพร้อมด้านบุคลากร
เครื่องบดสารฝนหลวง เครื่องยนต์ต้นกำลัง	- เครื่องบดสารฝนหลวงและเครื่องยนต์ต้นกำลังอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน - เครื่องบดสารฝนหลวงและเครื่องยนต์ต้นกำลังมีจำนวนเพียงพอต่อการปฏิบัติการฝนหลวง	การตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์เตรียมสารฝนหลวง
สารฝนหลวง คลังเก็บสาร เต็นท์	- สารฝนหลวงแต่ละสูตรมีคุณภาพและปริมาณเพียงพอต่อการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน - คลังเก็บสาร เต็นท์ พร้อมต่อการเก็บสารฝนหลวง	- การตรวจสอบความพร้อมของสารฝนหลวง ระบบคลังสารฝนหลวง - การตรวจสอบคุณภาพสารฝนหลวงประจำเดือน
รถบรรทุกสารฝนหลวง รถโฟล์คลิฟท์	- รถบรรทุกสารฝนหลวง รถโฟล์คลิฟท์ มีจำนวนเพียงพอต่อการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน - รถบรรทุกสารฝนหลวงอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน	การตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์เตรียมสารฝนหลวง
ระบบสารสนเทศ (คอมพิวเตอร์ อินเทอร์เน็ต ระบบประชุมทางไกล)	อุปกรณ์และระบบสารสนเทศใช้งานได้	การตรวจสอบการใช้งานระบบสารสนเทศ และหากพบปัญหาแจ้งศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ

1.5 ประชุมแผนการทำงาน

การประชุมแผนการทำงาน เป็นการประชุมหารือการทำงาน และวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายความต้องการน้ำ ซึ่งพิจารณาข้อมูลพื้นที่เป้าหมายตามภารกิจ วิเคราะห์สภาพอากาศ ตรวจสอบความพร้อมด้านปัจจัยสนับสนุน โดยมีผู้ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการฝนหลวงให้ข้อมูลสำหรับการตัดสินใจในการปฏิบัติการฝนหลวง ดังนี้

- 1) ผู้บริหารและผู้เชี่ยวชาญ ให้คำปรึกษาและแนะนำด้านเทคนิคและประสบการณ์ในการปฏิบัติการฝนหลวง รวมทั้งให้นโยบายในการปฏิบัติการฝนหลวงภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ
- 2) นักวิทยาศาสตร์ รายงานข้อมูลผลการปฏิบัติการฝนหลวงวันก่อนหน้า เช่น ปริมาณและพื้นที่ฝนตก รวมทั้งแจ้งแผนพื้นที่เป้าหมาย (ภารกิจและพื้นที่) ความพร้อมด้านปัจจัยสนับสนุน ผลการวิเคราะห์การพยากรณ์ การเกิดฝนล่วงหน้าและการตรวจอากาศชั้นบน ข้อมูลสภาพอากาศปัจจุบันจากอาสาสมัครฝนหลวงในพื้นที่เป้าหมาย ข้อมูลคุณภาพอากาศ (ภารกิจการบรรเทาปัญหาหมอกควันและไฟป่า)
- 3) เจ้าหน้าที่ด้านการบิน รายงานให้ข้อมูลความพร้อมของเครื่องบิน และข้อจำกัดในการบินปฏิบัติการในพื้นที่เป้าหมาย
- 4) เจ้าหน้าที่ตรวจอากาศ สนับสนุนข้อมูลตรวจอากาศต่าง ๆ เช่น เรดาร์ เครื่องตรวจอากาศชั้นบน เครื่องตรวจอากาศแบบคลื่นสั้น

1.6 แจกแจงแผนปฏิบัติการ

การแจกแจงแผนปฏิบัติการฝนหลวงประกอบด้วย เวลา (ขึ้นบิน) เครื่องบิน (ชนิดและหมายเลขเครื่องบิน) สารฝนหลวง (ชนิดและปริมาณ) พิกัดการบิน (ทิศทาง/ระยะทางบิน) พื้นที่ (จังหวัด/อำเภอ) และความสูง (ระดับการบิน) แสดงดังตารางที่ 1.5 โดยมีการดำเนินการ ดังนี้

- 1) แจกแจงแผนด้านการบิน พิกัดเป้าหมายหลัก พิกัดเป้าหมายสำรอง
- 2) แจกแจงแผนการใช้สารฝนหลวง เพื่อเจ้าหน้าที่ได้เตรียมสารและลำเลียงขึ้นเครื่องบิน
- 3) แจกแจงเจ้าหน้าที่ทุกคนเตรียมความพร้อม
- 4) แจกแจงผู้บริหาร ผ่านช่องทางที่ได้ทำการตกลงกันไว้

หมายเหตุ: นักวิทยาศาสตร์ต้องแจกแจงแผนปฏิบัติการล่วงหน้าแก่นักบินอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ทั้งนี้สามารถเลื่อนเวลาหรือยกเลิกแผนปฏิบัติการได้

ตารางที่ 1.5 แผนปฏิบัติการฝนหลวง

หน่วยปฏิบัติการฝนหลวง อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์						
ประจำวันที่ 22 เดือน เมษายน พุทธศักราช 2565						
เป้าหมาย	เวลา	เครื่องบิน (ชนิด หมายเลขเครื่องบิน)	สารฝนหลวง (สูตร/น้ำหนัก)	พิกัดการบิน	ความสูง	บริเวณพื้นที่
หลัก	13:15 น.	CASA 1532	8/1,000 กก.	330/20 NM	8,000 ฟุต	อ.แก่งกระจาน จ.เพชรบุรี
รอง				340/33 NM	8,000 ฟุต	อ.หนองหญ้าปล้อง จ.เพชรบุรี

หมายเหตุ: พิกัดเป้าหมายสำรอง คือ พิกัดเป้าหมายกรณีที่ไม่สามารถเข้าพื้นที่พิกัดเป้าหมายหลักได้

1.7 ติดตาม/ประเมินความเหมาะสมในการปฏิบัติการ (Stand by)

นักวิทยาศาสตร์จะต้องติดตามสภาพอากาศปัจจุบัน ตามหัวข้อ 1.2 และหัวข้อ 1.3 ร่วมกับข้อมูลจากอาสาสมัครฝนหลวงในพื้นที่ เพื่อใช้ประเมินความเหมาะสมในการปฏิบัติการฝนหลวงรายชั้นตอน โดยมีการติดตาม/ประเมินความเหมาะสมในการปฏิบัติการอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อประเมินความเหมาะสมในช่วงเวลานั้น ๆ และให้มีการแจ้งแผนปฏิบัติการภายในเวลา 16:00 น. (ขึ้นบินภายในเวลาไม่เกิน 17:00 น.)

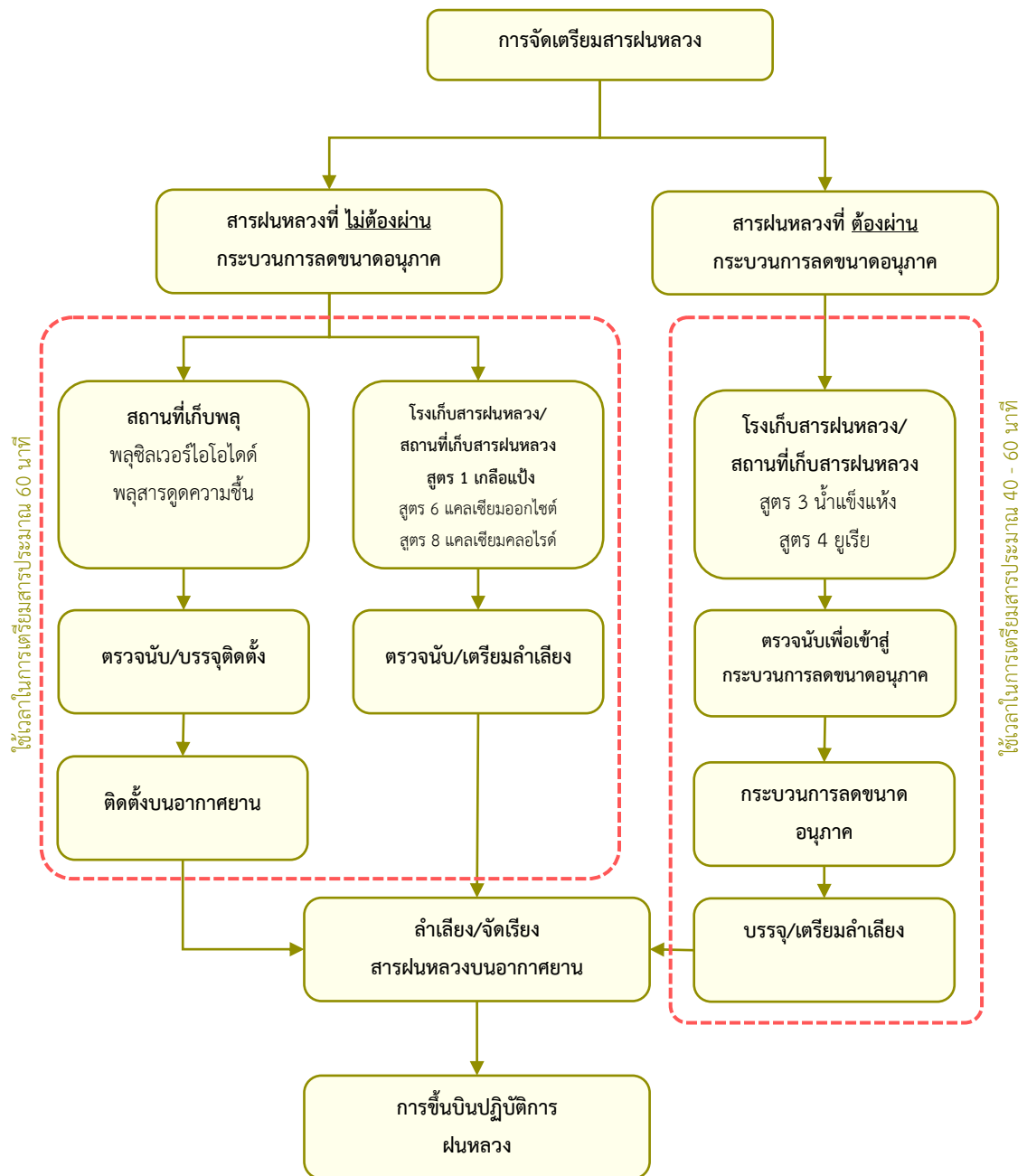
2. การปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวง

การปฏิบัติการฝนหลวงประกอบด้วย การเตรียมสารฝนหลวงสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวง การปฏิบัติการฝนหลวงตามตำราฝนหลวงพระราชทาน การปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ การปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อบรรเทาหมอกควันและไฟป่า และการปฏิบัติการฝนหลวงด้วยเทคนิคอื่น ๆ ได้แก่ การปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอุ่นโดยใช้พลุสารดูดความชื้น

2.1 การเตรียมสารฝนหลวง

การเตรียมสารฝนหลวงสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวง เริ่มต้นหลังจากที่หัวหน้าหน่วยปฏิบัติการฝนหลวงแจ้งแผนการปฏิบัติการฝนหลวงแก่นายช่างเครื่องกล ผู้ช่วยนักวิทยาศาสตร์ หรือเจ้าหน้าที่บด ผสม โปรรายสารฝนหลวง เพื่อจัดเตรียมสารฝนหลวงตามชนิด จำนวน และเวลาตามแผนปฏิบัติการฝนหลวง (รายละเอียดตามคู่มือปฏิบัติงาน (Work Manual)) กระบวนการใช้สารฝนหลวงสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวง

นายช่างเครื่องกล ผู้ช่วยนักวิทยาศาสตร์ ผู้ทำหน้าที่ควบคุม ดูแลการจัดเตรียมลำเลียงสารฝนหลวง การเบิกจ่ายสารฝนหลวง และการเตรียมสารฝนหลวงสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวง ทั้งนี้ สารฝนหลวงแต่ละชนิดมีขั้นตอนและกระบวนการในการเตรียมแตกต่างกันจึงจำเป็นต้องเผื่อระยะเวลาในการกำหนดแผนปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อให้การเตรียมสารฝนหลวงนั้นเสร็จก่อนกำหนดเวลาที่ขึ้นปฏิบัติการฝนหลวง โดยสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 2.1

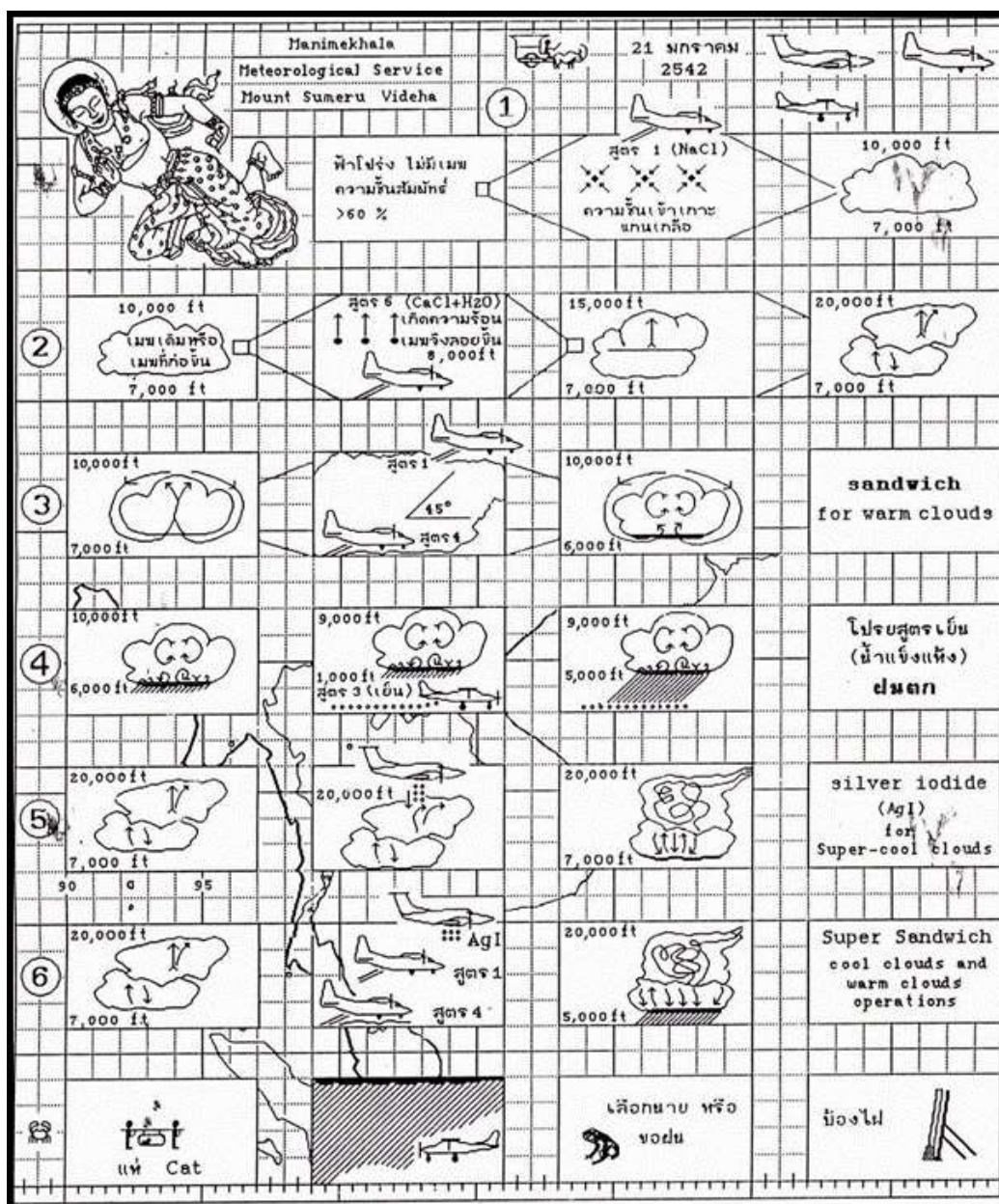


ภาพที่ 2.1 แผนผังแสดงการจำแนกการเตรียมสารปนหลวสูตรต่าง ๆ

หมายเหตุ: นักวิทยาศาสตร์ต้องไปกำกับ ตรวจสอบ ชนิดและปริมาณสารปนหลวก่อนขึ้นเครื่องทุกครั้ง

2.2 การปฏิบัติการฝนหลวงตามตำราฝนหลวง

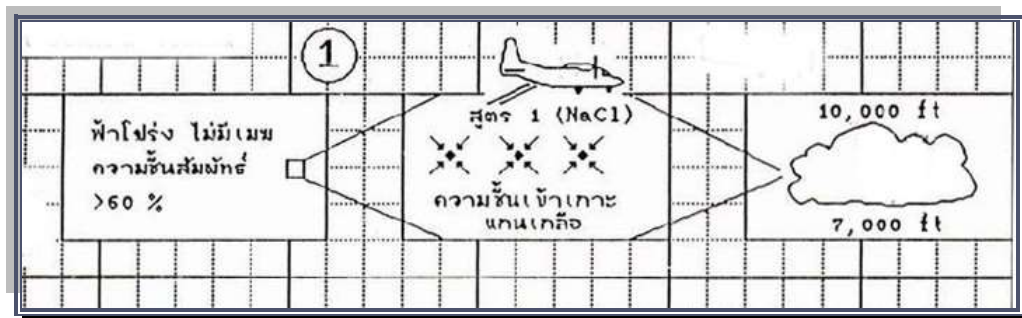
พระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร ทรงสรุปขั้นตอนกรรมวิธีการปฏิบัติการฝนหลวงโดยทรงประดิษฐ์ภาพ “ตำราฝนหลวง” ด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงขั้นตอน และกรรมวิธีการตัดแปรสภาพอากาศ ให้เกิดฝนจากเมฆอุ่นและเมฆเย็น และพระราชทาน “ตำราฝนหลวง” แก่ นักวิทยาศาสตร์ฝนหลวง เมื่อวันที่ 21 มีนาคม 2542 เพื่อให้เป็นแบบอย่างใช้ในการปฏิบัติการฝนหลวงให้เป็นไปในทางเดียวกัน “ตำราฝนหลวง” ประมวลความรู้ทางวิชาการเทคนิคและกระบวนการขั้นตอนกรรมวิธีในการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างครบถ้วนทั้งเทคโนโลยีฝนหลวงไว้ในหนึ่งหน้ากระดาษได้อย่างสมบูรณ์ง่ายต่อความเข้าใจ และการถือปฏิบัติ



ภาพที่ 2.2 ตำราฝนหลวงพระราชทาน

2.2.1 ขั้นตอนที่ 1

ในขั้นตอนที่ 1 ปฏิบัติการเพื่อเร่งให้เกิดเมฆในขณะที่ท้องฟ้าโปร่งหรือมีเมฆเดิมก่อดำอยู่บ้าง และมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 60% โดยโปรยสารฝนหลวง สูตร 1 (เกลือแ่ง: NaCl) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นแกนกลั่นตัว (Cloud Condensation Nuclei ; CCN) ในการดูดซับความชื้นที่มีอยู่ในอากาศเกิดการควบแน่นกลายเป็นเม็ดน้ำและรวมตัวกันเป็นเมฆ และเมฆเหล่านี้จะพัฒนาขึ้นเป็นเมฆก้อนใหญ่



ภาพที่ 2.3 แผนภาพตามตำราฝนหลวงพระราชทาน ในขั้นตอนที่ 1

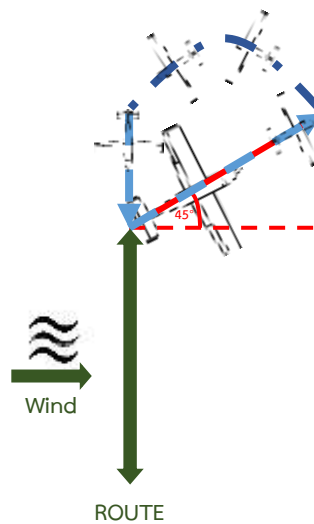
สารฝนหลวง: สูตร 1 (เกลือแ่ง: NaCl)

ลักษณะอากาศ:

- ท้องฟ้าโปร่ง หรือมีเมฆคิวมูลัส, สเตรโตคิวมูลัส ก่อดำเล็กน้อย
- ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ที่ระดับความสูง 5,000 - 10,000 ฟุต มีค่ามากกว่า 60% (จากข้อมูลผลตรวจอากาศชั้นบน และเครื่องตรวจอากาศคลีนสัน)
- ความเร็วลมเฉลี่ย ที่ระดับความสูง 5,000 - 10,000 ฟุต มีค่าไม่เกิน 20 knots หรือไม่เกิน 37 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

รูปแบบการโปรย: บินโปรยขวางทิศทางลม ระยะทาง ตามตารางที่ 2.5 และรายละเอียดดังภาพที่ 2.4 แนวพิกัดปฏิบัติการบิน (Track) เมื่อบินโปรยจนสุดแนวพิกัดปฏิบัติการบินที่กำหนดไว้ ให้ทำ Procedure Turn แล้วบินกลับเข้ามาในแนวพิกัดปฏิบัติการบินเดิมที่กำหนดไว้ แต่ในทิศทางตรงกันข้ามแล้วจึงเริ่มโปรย

- ปฏิบัติการได้ทั้ง ท้องฟ้าโปร่ง หรือมีเมฆคิวมูลัส สเตรโตคิวมูลัสเล็กน้อย
- กรณีท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆ โปรยเป็นแนวยาว
- กรณีท้องฟ้ามีเมฆคิวมูลัส เมฆสเตรโตคิวมูลัสก่อดำเล็กน้อย ความหนาของเมฆ (จากฐานเมฆถึงยอดเมฆ) ไม่เกิน 3,000 ฟุต โปรยเป็นแนวยาวตามสภาพเมฆที่ก่อดำขวางทิศทางลมหรือโปรยทับแนวยอดเมฆ โดยรักษาทิศทางเป็นเส้นตรงหรือใกล้เคียงตามแนวพิกัดปฏิบัติการบิน



ภาพที่ 2.4 แนวพิกัดปฏิบัติการบิน (Procedure Turn)



ภาพที่ 2.5 ลักษณะท้องฟ้า/เมฆที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 1 (ซ้าย)
และรูปแบบการบินในขั้นตอนที่ 1 (ขวา)

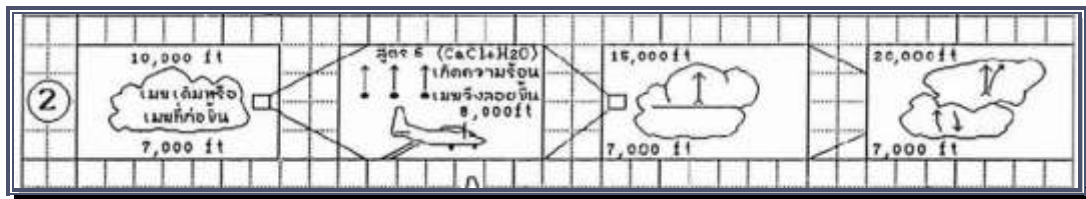
ความสูงการบิน: กรณีพื้นที่ปฏิบัติการเป็นพื้นที่ราบ และท้องฟ้าโปร่งจะโปรยสารเหนือระดับ Convective Condensation Level (CCL) ไม่น้อยกว่า 1,000 ฟุต และในกรณีที่มีเมฆก่อตัวแล้วโปรยที่ระดับที่ขยับเมฆ โดยที่ระดับความสูงการโปรยสารต้องไม่ต่ำกว่า 5,000 ฟุต จากพื้นดิน เพื่อป้องกันไม่ให้สารฝนหลวงร่วงหล่นถึงพื้น

Highlight/Tricks:

- 1) อัตราการโปรยสารฝนหลวง ดูตารางที่ 2.5
- 2) ขั้นตอนที่ 1 แต่ละหน่วยปฏิบัติการฯ เลือกปฏิบัติการฝนหลวง ตามลักษณะการก่อตัวของเมฆในแต่ละพื้นที่
- 3) กรณี ท้องฟ้าโปร่ง บินเป็นเส้นตรงเหนือระดับ CCL เพื่อให้อนุภาคของสารคลุกเคล้ากับความชื้นในอากาศที่ระดับ CCL ซึ่งเป็นระดับเมฆก่อตัวและกลั่นตัว

2.2.2 ขั้นตอนที่ 2

ในขั้นตอนที่ 2 ปฏิบัติการเพื่อเร่งการพัฒนาตัวของเมฆที่ก่อขึ้น หรือเมฆเดิมที่มีอยู่ตามธรรมชาติ โดยโปรยสารฝนหลวง สูตร 6 (แคลเซียมคลอไรด์: CaCl_2) หรือ สูตร 8 (แคลเซียมออกไซด์: CaO) เข้าไปในกลุ่มเมฆที่ระดับสูงกว่าฐานเมฆไม่น้อยกว่า 1,000 ฟุต เมื่อสารฝนหลวงละลายน้ำหรือดูดซับความชื้นหรือเมื่อน้ำภายในเมฆทำให้เกิดความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาของไอน้ำกับสารฝนหลวงโดยตรง และมีความร้อนอันเนื่องมาจากการคายความร้อนแฝงจากการกลั่นตัวรอบ CCN อีกทั้งพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติ จะช่วยเร่งหรือเสริมแรงยกตัวของมวลอากาศภายในเมฆยกตัวขึ้น เร่งการกลั่นตัวของไอน้ำและการรวมตัวกันของเม็ดน้ำภายในเมฆ ทำให้เมฆเจริญเติบโตต่อไปได้ดี ก่อยอดสูงขึ้นและมีความหนาแน่นมากขึ้น จนเมฆมีขนาดใหญ่และก่อยอดขึ้นถึงระดับ 15,000 ฟุต ได้เร็วกว่าที่จะปล่อยให้เจริญขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งการยกตัวขึ้นและจมตัวลงของมวลอากาศการกลั่นและการรวมตัวของเม็ดน้ำยังคงเป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องกันไป บางครั้งในก้อนเมฆอาจจะมีแรงยกตัวมากพอที่จะทำให้ยอดเมฆเจริญเติบโต ขึ้นไปถึงระดับ 20,000 ฟุต ซึ่งเรียกว่า “เมฆเย็น” (เมฆที่มีอุณหภูมิภายในยอดเมฆต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง 0 องศาเซลเซียส) และเมฆนั้นกำลังเคลื่อนตัวตามทิศทางลมเข้าหาพื้นที่เป้าหมายหวังผลที่กำหนดไว้



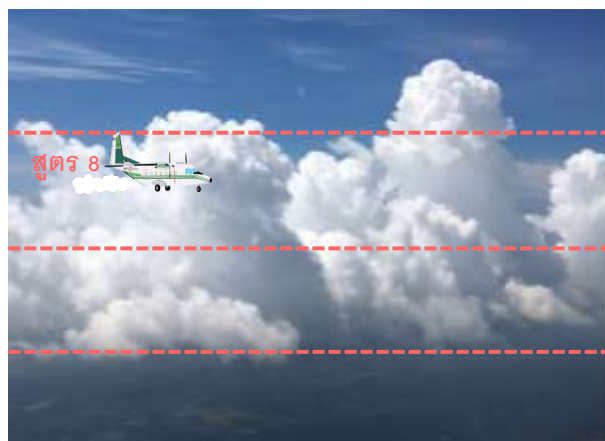
ภาพที่ 2.6 แผนภาพตามตำราฝนหลวงพระราชทาน ในขั้นตอนที่ 2

สารฝนหลวง: สูตร 6 (แคลเซียมคลอไรด์: CaCl_2) หรือ สูตร 8 (แคลเซียมออกไซด์: CaO)

ลักษณะอากาศ: เมฆคิวมูลัส ที่มีความหนาจากฐานเมฆถึงยอดเมฆ มากกว่า 3,000 ฟุต ขนาดเมฆเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5 กิโลเมตร

รูปแบบการโปรย: โปรยสารฝนหลวงให้ชิดขอบเมฆ/เข้าเมฆในด้านที่กลุ่มเมฆกำลังเจริญเติบโตตามสภาพเมฆในกรณี ต้นลมติดเขตแนวชายแดนซึ่งมีภูเขาเป็นตัวช่วยในการยกตัวของเมฆ ให้โปรยตามสภาพเมฆด้านใต้ลมชิดขอบเมฆ

ความสูงการบิน: บินสูงกว่าฐานเมฆไม่น้อยกว่า 1,000 ฟุต โดยระยะห่างความสูงระหว่างเครื่องบิน 500 - 1,000 ฟุต ทั้งนี้สามารถปรับระดับความสูงใหม่เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ



ภาพที่ 2.7 ลักษณะเมฆที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 2 (ซ้าย)
และรูปแบบการบินในขั้นตอนที่ 2 (ขวา)

ตารางที่ 2.1 ความสูงเฉลี่ยของระดับ CCL จากผลตรวจอากาศชั้นบน โปรแกรม Sonde II

ฤดูฝน		ฤดูแล้ง		สถานีตรวจอากาศ ชั้นบน	หมายเหตุ
ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)	ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)		
6,904	6,959	10,962	10,421	อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
4,120	4,034	8,114	7,500	อ.ร้องกวาง จ.แพร่	ข้อมูล ปี 2560 - 2565
5,844	5,843	7,658	6,979	อ.ตากลี จ.นครสวรรค์	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
4,816	4,828	7,510	6,739	อ.พิมาย จ.นครราชสีมา	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
4,452	4,400	8,064	7,465	อ.บ้านฝ้อ จ.อุดรธานี	ข้อมูล ปี 2561 - 2565
3,883	3,871	7,675	7,065	อ.ราชสีห์ จ.ศรีสะเกษ	ข้อมูล ปี 2562 - 2565
3,932	3,813	5,466	4,612	อ.สัทธิบ จ.ชลบุรี	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
4,336	3,974	4,201	3,995	อ.ปะทิว จ.ชุมพร	ข้อมูล ปี 2559 - 2565
3,766	3,598	4,460	4,233	อ.พนม จ.สุราษฎร์ธานี	ข้อมูล ปี 2559 - 2565

หมายเหตุ: ฤดูแล้ง หมายถึง เดือนพฤศจิกายน - เมษายน ฤดูฝน หมายถึง เดือนพฤษภาคม - ตุลาคม

ตารางที่ 2.2 ความสูงเฉลี่ยของระดับ CCL จากผลตรวจอากาศชั้นบน โปรแกรม TCM

ฤดูฝน		ฤดูแล้ง		สถานีตรวจอากาศ ชั้นบน	หมายเหตุ
ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)	ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)		
7,125	6,758	11,343	9,836	อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
4,565	4,331	8,393	7,500	อ.ร้องกวาง จ.แพร่	ข้อมูล ปี 2559 - 2565
5,878	5,738	8,086	6,834	อ.ตาคี จ.นครสวรรค์	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
5,393	5,323	8,206	7,156	อ.พิมาย จ.นครราชสีมา	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
4,940	4,789	8,277	7,460	อ.บ้านฝ้อ จ.อุดรธานี	ข้อมูล ปี 2559 - 2565
4,794	4,667	8,409	7,361	อ.ราชสีห์ จ.ศรีสะเกษ	ข้อมูล ปี 2558 - 2565
4,372	3,983	5,927	4,626	อ.สัทธิบ จ.ชลบุรี	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
4,181	3,998	4,117	3,565	อ.ปะทิว จ.ชุมพร	ข้อมูล ปี 2558 - 2565
3,903	3,702	3,497	3,456	อ.พนม จ.สุราษฎร์ธานี	ข้อมูล ปี 2558 - 2565

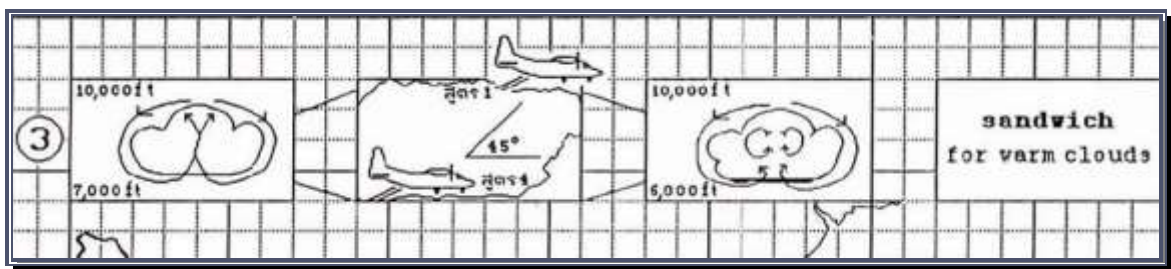
หมายเหตุ: ฤดูแล้ง หมายถึง เดือนพฤศจิกายน - เมษายน ฤดูฝน หมายถึง เดือนพฤษภาคม - ตุลาคม

Highlight/Tricks:

- 1) ความสูงเฉลี่ยของระดับ CCL ในแต่ละภูมิภาค ดูตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2
- 2) อัตราการโปรยสารฝนหลวง ดูตารางที่ 2.5
- 3) สารฝนหลวง สูตร 6 สามารถดูดซับความชื้นได้ดีเหมาะกับการใช้ปฏิบัติการในฤดูแล้งซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ (60 - 70%) ส่วนสารฝนหลวง สูตร 8 สามารถให้ความร้อนสูง เหมาะกับฤดูฝนเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง (มากกว่า 70% ขึ้นไป) ควรปรับอัตราการโปรยให้เหมาะสมกับขนาดของกลุ่มเมฆเป้าหมาย
- 4) เครื่องบิน AU - 23A มีข้อจำกัดในการโปรยสารฝนหลวง สูตร 6 เนื่องจาก สารฝนหลวง สูตร 6 จะไปเกาะที่ล้อหลังของเครื่องบิน ทำให้มีผลต่อความปลอดภัยทางการบิน
- 5) เครื่องบิน CASA มีข้อจำกัดในการโปรยสารฝนหลวง สูตร 6 เนื่องจาก เมื่อสารฝนหลวง สูตร 6 ทำปฏิกิริยากับไอน้ำจะทำให้เกิดการอุดตันของท่อโปรยสารฝนหลวงได้
- 6) ในฤดูแล้ง ซึ่งอากาศมีอุณหภูมิสูง อาจโปรยสารให้ช้าลงเพื่อไม่ให้เกิดการ Overseed

2.2.3 ขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 คือ ขั้นตอนที่เร่งหรือบังคับให้เกิดฝน เมื่อเมฆอุ่นเจริญเติบโต ยอดเมฆคมชัด เมฆมีความหนา มากกว่า 3,000 ฟุต ฐานเมฆเรียบสีเทา และเคลื่อนตัวเข้าสู่พื้นที่เป้าหมายจะทำการบังคับให้มีฝนตกด้วยเทคนิคการ โจมตีเมฆอุ่นด้วยเทคนิค Sandwich โดยใช้เครื่องบินเมฆอุ่นตั้งแต่ 2 ลำ เครื่องหนึ่งโปรยสารฝนหลวง สูตร 1 (เกลือแ่ง: NaCl) ท้ายยอดเมฆหรือไหล่เมฆที่ระดับ 9,000 - 10,000 ฟุต ทางด้านเหนือลมของก้อนเมฆ อีกเครื่องหนึ่งโปรยสารฝนหลวง สูตร 4 (ยูเรีย: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) ที่ระดับฐานเมฆ แนวโปรยทั้งสองทำมุมเยื้องกันประมาณ 45 องศา เพื่อให้ฐานเมฆ เริ่มลดระดับลง จากการที่เมื่อน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีปริมาณและความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ร่วงหล่นสู่บริเวณฐานเมฆ หนาแน่นจนใกล้ตกเป็นฝน หรือเริ่มตกเป็นฝน



ภาพที่ 2.8 แผนภาพตามตำราฝนหลวงพระราชทาน ในขั้นตอนที่ 3

สารฝนหลวง: สูตร 1 (เกลือแ่ง: NaCl) และ สูตร 4 (ยูเรีย: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

ลักษณะอากาศ: เมฆอุ่นที่กำลังเจริญเติบโต ก่อตัวหนาแน่น ยอดเมฆคมชัด ฐานเรียบสีเทา เมฆมีความหนา มากกว่า 3,000 ฟุต และเมฆมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 - 10 กิโลเมตร (จากสายตา และ Weather Radar หากพบเมฆในพื้นที่เป้าหมายไม่เป็นไปตามเงื่อนไขให้พิจารณาเมฆกลุ่มใหม่ที่เข้าเงื่อนไขและอยู่ในพื้นที่เป้าหมาย หากไม่มีกลุ่มเมฆเข้าเงื่อนไขสามารถยกเลิกภารกิจและนำสารฝนหลวงกลับภาคพื้นได้)

รูปแบบการโปรย: ใช้เทคนิค Sandwich โดยใช้เครื่องบินตั้งแต่ 2 ลำ ทำการบินด้วยความสูง 2 ระดับ บินทำมุม 45 องศา เริ่มปฏิบัติการโปรยสารฝนหลวงในด้านที่เมฆมีการเจริญเติบโต หรือด้านที่เมฆรับแสงอาทิตย์ โดยบิน ปฏิบัติการตามรูปร่างของเมฆคิวมูลัส

ความสูงการบิน:

- การบินระดับบน ใช้สารฝนหลวง สูตร 1 โปรยภายในเมฆที่ระดับท้ายยอดเมฆ/ใกล้เคียงระดับยอดเมฆมากที่สุด แต่ระดับการบินสูงไม่เกิน 10,000 ฟุต โดยเริ่มโปรยสารฝนหลวง สูตร 1 ก่อนการโปรยสาร ฝนหลวง สูตร 4 ระดับล่างเวลาห่างกันเล็กน้อย

- การบินระดับล่าง ใช้สารฝนหลวง สูตร 4 โปรยภายในเมฆหรือซิดขอบเมฆที่ระดับสูงกว่าฐานเมฆ 500 - 1,000 ฟุต กรณีที่ไม่สามารถลงมาซิดขอบเมฆได้ ให้บินในระดับปลอดภัยที่ต่ำสุด ถ้ามองเห็นฐานเมฆและยอดเขา

สามารถบินเข้าปฏิบัติการได้ แต่ถ้าเห็นฐานเมฆแต่ไม่เห็นยอดเขาหรือไม่เห็นฐานเมฆให้ยกเลิกภารกิจ แต่อย่างไรก็ตามระดับการบินไม่ควรต่ำกว่า 5,000 ฟุต



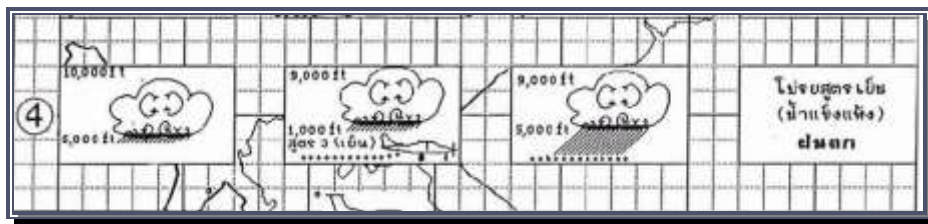
ภาพที่ 2.9 ลักษณะเมฆที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 3 (ซ้าย)
และรูปแบบการบินในขั้นตอนที่ 3 (ขวา)

Highlight/Tricks:

1. อัตราการโปรยสารฝนหลวง ดูตารางที่ 2.5
2. ให้เครื่องบินที่บรรจุสูตร 1 บินเข้าปฏิบัติการก่อน
3. กรณีใช้เครื่องบินลำเดียว ให้ปฏิบัติการโปรยสูตร 1 ที่ระดับบนก่อน แล้วลดระดับเพื่อโปรยสูตร 4
4. กรณีสภาพอากาศไม่เหมาะสม ไม่สามารถบินหมู่ได้ สามารถบินแยกกันโดยยังคงปฏิบัติการฝนหลวงกับกลุ่มเมฆกลุ่มเดียวกันได้ เพื่อความปลอดภัย

2.2.3 ขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 4 คือ การเสริมการโจมตีเมฆอ่อน เพื่อเพิ่มปริมาณฝนให้มากขึ้น โดยการโปรยเกล็ดน้ำแข็งแห้งที่บริเวณต่ำกว่าฐานเมฆประมาณ 1,000 ฟุต เพื่อปรับลดอุณหภูมิของอากาศใต้ฐานเมฆ ซึ่งจะช่วยลดการระเหย ของน้ำออกจากเม็ดฝนลง ซึ่งกลุ่มฝนจะตกจากฐานเมฆถึงพื้นดินได้เร็วขึ้น และเม็ดฝนมีขนาดใหญ่ ฝนจึงตกหนักขึ้น และทำให้ได้ปริมาณน้ำฝนสูงกว่าการปล่อยให้ตกเองตามธรรมชาติ และชักนำให้กลุ่มฝนเคลื่อนตัวเข้าสู่พื้นที่เป้าหมายหวังผลได้แน่นอนขึ้น



ภาพที่ 2.10 แสดงแผนภาพตามตำราฝนหลวงพระราชทาน ในขั้นตอนที่ 4

สารฝนหลวง: สูตร 3 (น้ำแข็งแห้ง: $\text{CO}_2(\text{s})$)

ลักษณะอากาศ:

- กลุ่มเมฆเป้าหมาย เป็นกลุ่มเมฆคิวมูลัสที่มีฐานสีเทาเข้มเห็นได้อย่างชัดเจน เมฆยังคงมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนและมีการพัฒนาตัวที่เพียงพอต่อการตกเป็นฝนหรืออาจเริ่มมีฝนตกเล็กน้อยในบางส่วนและเมฆไม่อยู่ในสถานะที่มีสภาพอากาศแปรปรวน และเป็นอันตรายต่อการบิน

รูปแบบการโปรย: บินวนใต้ฐานเมฆ

ความสูงการบิน: โปรยสารฝนหลวง ต่ำกว่าระดับฐานเมฆในระยะ 500 - 1,000 ฟุต



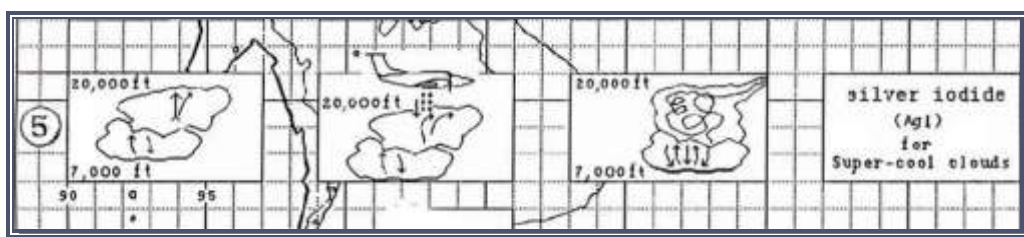
ภาพที่ 2.11 ลักษณะเมฆที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 4 (ซ้าย)
และรูปแบบการบินในขั้นตอนที่ 4 (ขวา)

Highlight/Tricks:

- 1) เนื่องจากการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 4 เป็นการปฏิบัติการใต้ฐานเมฆ ในกรณีที่มีภูเขา นักบินจะเป็นผู้พิจารณาระดับความสูงที่ปลอดภัยสำหรับการปฏิบัติการ
- 2) เครื่องบิน AU - 23A มีข้อจำกัดในการโปรยสารฝนหลวง สูตร 3 เนื่องจากเครื่องบินมีขนาดเล็ก การระบายอากาศน้อย ทำให้มีผลต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานบนอากาศยาน

2.2.5 ขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 5 คือ การโจมตีเมฆเย็นด้วยพลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ (AgI) ที่ระดับความสูง 20,000 ฟุต ขึ้นไป เพื่อให้ไอน้ำระเหยจากเมฆน้ำเย็นยิ่งยวด (Super Cooled Vapour) มาเกาะรอบพลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ ทำให้มีผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นจำนวนมากยิ่งขึ้นบริเวณยอดเมฆ และมีกระแสอากาศปั่นป่วน เนื่องจากการคายความร้อนแฝง ผลึกน้ำแข็งจะเจริญเติบโตได้ดี และตกลงมาละลายกลายเป็นฝนตกลงสู่พื้นดิน หรือรวมตัวกับเมฆน้ำในเมฆอุ่นเป็นเมฆน้ำขนาดใหญ่ขึ้น และเป็นฝนตก



ภาพที่ 2.12 แผนภาพตามตำราฝนหลวงพระราชทาน ในขั้นตอนที่ 5

สารฝนหลวง: พลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ (AgI)

ลักษณะอากาศ:

- เป็นเมฆคิวมูลัส ในระยะ เจริญเติบโตเต็มที่ (Mature stage) ที่ก่อยอดพัฒนาตัวเป็นเมฆเย็น ก่อตัวหนาแน่น มีลักษณะเมฆคมชัดแบบ Medium/Hard โดยฐานเมฆต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 5 กิโลเมตร

รูปแบบการยิงพลุซิลเวอร์ไอโอไดด์:

- กรณียอดเมฆมีความสูงน้อยกว่า 22,000 ฟุต: การยิงพลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ จะยิงเหนือยอดเมฆเย็น โดยบินเหนือยอดเมฆให้ไกลที่สุด หรือบินเข้าเมฆโดยระดับบินต่ำกว่ายอดเมฆไม่เกิน 500 - 1,000 ฟุต และยิงพลุให้เข้าเมฆขณะที่บินผ่านให้พลุพุ่งเข้าสู่ยอดเมฆเป้าหมายได้สำเร็จ

- กรณียอดเมฆมีความสูงมากกว่า 22,000 ฟุต: การยิงพลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ จะยิงจากด้านข้างเมฆเย็น ในกรณีไม่สามารถทำการยิงพลุเหนือยอดเมฆได้

ความสูงการบิน: บินที่ระดับความสูงที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง - 8 องศาเซลเซียส ถึง - 12 องศาเซลเซียส โดยปกติจะอยู่ที่ระดับความสูง 18,000 - 22,000 ฟุต

อัตราการใช้สาร: ใช้พลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ จำนวน 2 - 3 นัด ต่อ 1 ยอดเมฆ

Highlight/Tricks:

- 1) การปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 5 จะไม่ปฏิบัติการกับเมฆในระยะสลายตัว (Dissipating Stage)
- 2) ระดับความสูงของที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ของแต่ละภูมิภาค (ค่าเฉลี่ย 3 ปี พ.ศ. 2559 - 2561) ตามตารางที่ 2.2
- 3) ระดับความสูงของที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส ของแต่ละภูมิภาค (ค่าเฉลี่ย 3 ปี พ.ศ. 2559 - 2561) ตามตารางที่ 2.3



ภาพที่ 2.13 ลักษณะเมฆที่เหมาะสมแบบ Hard ของการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 5 (บน)
รูปแบบการยิงฟลูซิลเวอร์ไอโอไดด์เหนือยอดเมฆ (ซ้ายล่าง) การยิงฟลูซิลเวอร์ไอโอไดด์จากด้านข้างเมฆ (ขวาล่าง)

ตารางที่ 2.3 แสดงระดับความสูงของที่อุณหภูมิต่ำ 0 องศาเซลเซียส จากผลตรวจอากาศชั้นบน โปรแกรม Sonde II

ฤดูฝน		ฤดูแล้ง		สถานีตรวจอากาศ ชั้นบน	หมายเหตุ
ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)	ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)		
16,592	16,779	15,880	15,971	อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
16,795	16,826	15,818	15,854	อ.ร้องกวาง จ.แพร่	ข้อมูล ปี 2559 - 2565
16,491	16,503	16,172	16,221	อ.ตากลี จ.นครสวรรค์	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
16,646	16,633	16,410	16,467	อ.พิมาย จ.นครราชสีมา	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
16,770	16,804	16,032	16,082	อ.บ้านผือ จ.อุดรธานี	ข้อมูล ปี 2559 - 2565
16,700	16,708	16,376	16,351	อ.ราชสีห์ จ.ศรีสะเกษ	ข้อมูล ปี 2558 - 2565
16,401	16,378	16,415	16,411	อ.สหัสขันธ์ จ.ชลบุรี	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
16,247	16,277	16,432	16,443	อ.ปะทิว จ.ชุมพร	ข้อมูล ปี 2558 - 2565
16,032	16,158	16,352	16,491	อ.พนม จ.สุราษฎร์ธานี	ข้อมูล ปี 2558 - 2565

หมายเหตุ: ฤดูแล้ง หมายถึง เดือนพฤศจิกายน - เมษายน ฤดูฝน หมายถึง เดือนพฤษภาคม - ตุลาคม

ตารางที่ 2.4 แสดงระดับความสูงของที่อุณหภูมิต่ำ 0 องศาเซลเซียส จากผลตรวจอากาศชั้นบน โปรแกรม TCM

ฤดูฝน		ฤดูแล้ง		สถานีตรวจอากาศ ชั้นบน	หมายเหตุ
ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)	ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)		
16,686	16,819	15,983	16,175	อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
16,819	16,815	16,044	16,110	อ.ร้องกวาง จ.แพร่	ข้อมูล ปี 2559 - 2565
16,526	16,612	16,302	16,403	อ.ตากลี จ.นครสวรรค์	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
16,689	16,735	16,404	16,571	อ.พิมาย จ.นครราชสีมา	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
16,842	16,815	16,313	16,283	อ.บ้านผือ จ.อุดรธานี	ข้อมูล ปี 2559 - 2565
16,796	16,762	16,647	16,596	อ.ราชสีห์ จ.ศรีสะเกษ	ข้อมูล ปี 2558 - 2565
16,398	16,487	16,379	16,507	อ.สหัสขันธ์ จ.ชลบุรี	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
16,340	16,362	16,472	16,469	อ.ปะทิว จ.ชุมพร	ข้อมูล ปี 2558 - 2565
16,209	16,274	16,278	16,415	อ.พนม จ.สุราษฎร์ธานี	ข้อมูล ปี 2558 - 2565

หมายเหตุ: ฤดูแล้ง หมายถึง เดือนพฤศจิกายน - เมษายน ฤดูฝน หมายถึง เดือนพฤษภาคม - ตุลาคม

ตารางที่ 2.5 แสดงระดับความสูงของที่อุณหภูมิต่ำ - 10 องศาเซลเซียส จากผลตรวจอากาศชั้นบน โปรแกรม Sonde II

ฤดูฝน		ฤดูแล้ง		สถานีตรวจอากาศ ชั้นบน	หมายเหตุ
ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)	ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)		
22,545	22,837	21,613	21,799	อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
22,770	22,841	21,672	21,773	อ.ร้องกวาง จ.แพร่	ข้อมูล ปี 2559 - 2565
22,501	22,545	21,920	22,014	อ.ตากลี จ.นครสวรรค์	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
22,645	22,661	22,102	22,205	อ.พิมาย จ.นครราชสีมา	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
22,746	22,817	21,837	21,932	อ.บ้านฝ้อ จ.อุดรธานี	ข้อมูล ปี 2559 - 2565
22,609	22,653	22,133	22,157	อ.ราชสีห์ จ.ศรีสะเกษ	ข้อมูล ปี 2558 - 2565
22,405	22,414	22,166	22,179	อ.สัทธิ์บ จ.ชลบุรี	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
22,217	22,297	22,229	22,263	อ.ปะทิว จ.ชุมพร	ข้อมูล ปี 2558 - 2565

หมายเหตุ: ฤดูแล้ง หมายถึง เดือนพฤศจิกายน - เมษายน ฤดูฝน หมายถึง เดือนพฤษภาคม - ตุลาคม

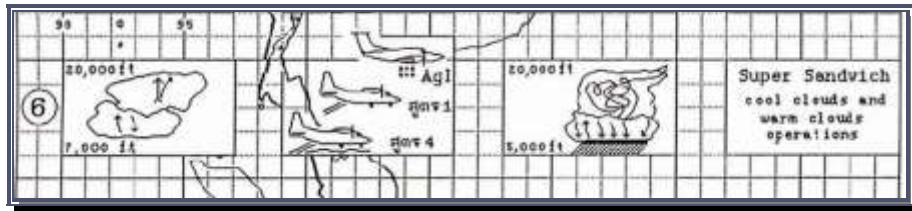
ตารางที่ 2.6 แสดงระดับความสูงของที่อุณหภูมิต่ำ - 10 องศาเซลเซียส จากผลตรวจอากาศชั้นบน โปรแกรม TCM

ฤดูฝน		ฤดูแล้ง		สถานีตรวจอากาศ ชั้นบน	หมายเหตุ
ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)	ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)		
22,443	22,880	21,443	21,960	อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
22,790	22,875	21,736	21,849	อ.ร้องกวาง จ.แพร่	ข้อมูล ปี 2559 - 2565
22,439	22,626	21,874	22,078	อ.ตากลี จ.นครสวรรค์	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
22,540	22,760	21,989	22,134	อ.พิมาย จ.นครราชสีมา	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
22,789	22,847	21,962	21,982	อ.บ้านฝ้อ จ.อุดรธานี	ข้อมูล ปี 2559 - 2565
22,649	22,674	22,242	22,244	อ.ราชสีห์ จ.ศรีสะเกษ	ข้อมูล ปี 2558 - 2565
22,256	22,418	21,914	22,087	อ.สัทธิ์บ จ.ชลบุรี	ข้อมูล ปี 2556 - 2565
22,263	22,299	22,220	22,149	อ.ปะทิว จ.ชุมพร	ข้อมูล ปี 2558 - 2565
21,945	22,098	21,873	22,129	อ.พนม จ.สุราษฎร์ธานี	ข้อมูล ปี 2558 - 2565

หมายเหตุ: ฤดูแล้ง หมายถึง เดือนพฤศจิกายน - เมษายน ฤดูฝน หมายถึง เดือนพฤษภาคม - ตุลาคม

2.2.6 ขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 6 คือ การโจมตีแบบซูเปอร์แซนวิช (Super Sandwich) ขณะที่ทำการโจมตี เมฆอุ่นตามขั้นตอนที่ 3 และทำการโจมตีเมฆเย็นตามขั้นตอนที่ 5 ควบคู่ไปในขณะเดียวกัน จะทำให้ฝนตกหนักและต่อเนื่องยาวนาน มีปริมาณน้ำฝนสูงขึ้น เนื่องจากการประสานประสิทธิภาพของการโจมตีเมฆอุ่นในขั้นตอนที่ 3 และโจมตีเมฆเย็นในขั้นตอนที่ 5 ปฏิบัติการพร้อมกันหรือเวลาใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 2.14 แสดงแผนภาพตามตำราฝนหลวงพระราชทาน ในขั้นตอนที่ 6

สารฝนหลวง: สูตร 1 (เกลือแปปง: NaCl) สูตร 4 (ยูเรีย: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) และฟลูซิลเวอร์ไอโอไดด์ (AgI)

ลักษณะอากาศ:

เมฆคิวมูลัสที่ก่อยอดและเมฆพัฒนาตัวที่มียอดสูงตั้งแต่ 20,000 ฟุตขึ้นไป

รูปแบบการโปรย: ใช้เทคนิคซูเปอร์แซนวิช โดยใช้เครื่องบิน ตั้งแต่ 3 ลำขึ้นไป

ความสูงการบิน:

- เครื่องบินลำบน ใช้สารยิงฟลูซิลเวอร์ไอโอไดด์ (AgI) ที่ยอดเมฆ/ในเมฆ
- เครื่องบินลำกลาง ใช้สารฝนหลวง สูตร 1 โปรยภายในเมฆที่ระดับยอดเมฆอุ่น/ใกล้เคียงระดับยอดเมฆมากที่สุด แต่ระดับการบินสูงไม่เกิน 10,000 ฟุต
- เครื่องบินลำล่าง ใช้สารฝนหลวง สูตร 4 โปรยภายในเมฆที่ระดับสูงกว่าฐานเมฆประมาณ 500 - 1,000 ฟุต แต่ระดับการบินไม่ต่ำกว่า 5,000 ฟุต
- การบินทั้ง 3 ระดับ ควรมีระดับความสูงการบินต่างกันไม่น้อยกว่า 1,000 ฟุต

Highlight/Tricks

- 1) อัตราการโปรยสารฝนหลวง ดูตารางที่ 2.5
- 2) อัตราการใช้ฟลูซิลเวอร์ไอโอไดด์ดูขั้นตอนที่ 5
- 3) เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำฝนโดยเสริมการโจมตีด้วยน้ำแข็งแห้ง (ขั้นตอนที่ 4)

2.3 การปฏิบัติการฝนหลวงยับยั้งเกิดพายุลูกเห็บ

การปฏิบัติการยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ เป็นการประยุกต์ใช้การโจมตีเมฆเย็น ในขั้นตอนที่ 5 เพื่อยับยั้งและบรรเทาความรุนแรงของการเกิดพายุลูกเห็บในช่วงฤดูร้อนหรือช่วงที่กำลังเปลี่ยนฤดูกาล โดยปกติจะอยู่ในช่วงระหว่าง เดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนพฤษภาคม ของทุกปี ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่เกษตรกรรมและเขตชุมชน โดยพิจารณาแนวโน้มการเกิดลูกเห็บจากการติดตามผลการตรวจวัดจากเรดาร์ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.7 ข้อมูลเรดาร์ที่ใช้ประกอบการตัดสินใจการปฏิบัติการยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ

ชนิดข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ค่าที่เหมาะสม	ความถี่	แหล่งข้อมูล
ข้อมูลเรดาร์	ความเข้มการสะท้อน	> 55 dBz.	6 นาที	DRRAA (เรดาร์)
	ความสูงของยอดเมฆ	> 6 กิโลเมตร	6 นาที	
	Probability of hail	> 0.2	6 นาที	
	Vertical Integrated Liquid Water Content (VIL)	25 กก/ตร.ม.	6 นาที	
	มีกลุ่มเมฆอย่างน้อย 1 กลุ่มที่มีโอกาสเกิดลูกเห็บ		6 นาที	
	ภาพเรดาร์ติดกันมีกลุ่มเมฆเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยดูค่ายอดเมฆที่สูงขึ้น		6 นาที	

สารฝนหลวง: ฟลูซิลเวอร์ไอโอไดด์ (AgI)

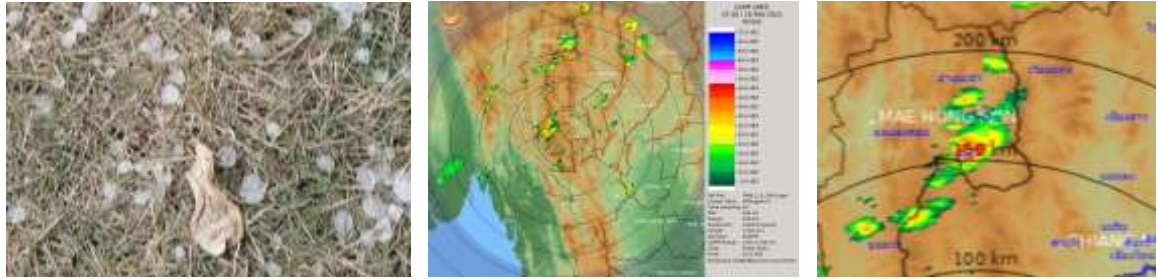
ลักษณะอากาศ:

- เมฆคิวมูลัสที่ก่อยอดและเมฆพัฒนาตัวที่มียอดสูงตั้งแต่ 20,000 ฟุต ขึ้นไป มีลักษณะเป็นแบบ Hard

รูปแบบการยิงซิลเวอร์ไอโอไดด์: การยิงฟลูซิลเวอร์ไอโอไดด์จะยิงเหนือยอดเมฆหรือด้านข้างเมฆ โดยให้ซิลเวอร์ไอโอไดด์พุ่งสู่ยอดเมฆเป้าหมายได้สำเร็จมากที่สุด ภายใต้ดุลยพินิจความปลอดภัยของนักบิน

ความสูงการบิน: บินที่ระดับความสูงที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง - 8 องศาเซลเซียส ถึง - 12 องศาเซลเซียส โดยปกติจะอยู่ที่ระดับความสูง 18,000 - 22,000 ฟุต

อัตราการใช้สาร: ใช้ฟลูซิลเวอร์ไอโอไดด์ 6 - 8 นัต ต่อ 1 ยอดเมฆ ในกรณีที่ยอดเมฆดังกล่าวยกตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ให้สามารถเพิ่มปริมาณการใช้ฟลูซิลเวอร์ไอโอไดด์ต่อยอดเมฆเป้าหมาย จนกระทั่งยอดเมฆทรงตัว หรือยุบตัว โดยสามารถบินวนกลับมายิงฟลูซิลเวอร์ไอโอไดด์ซ้ำที่ยอดเมฆเดิมได้ นอกจากนี้ สามารถปฏิบัติการเพิ่มเติมกับกลุ่มเมฆที่กำลังมีแนวโน้มเป็นพายุลูกเห็บเพื่อป้องกันการเกิดพายุลูกเห็บได้



ภาพที่ 2.15 แสดงรายงานการเกิดลูกเห็บและการติดตามกลุ่มเมฆด้วยเรดาร์
ในพื้นที่อำเภอบาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน เวลา 14.30 น.

2.4 การปฏิบัติการฝนหลวงบรรเทาหมอกควันและไฟป่า

การปฏิบัติการบรรเทาหมอกควันและไฟป่าเป็นการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อลดความหนาแน่นของหมอกควันในบรรยากาศ ลดปัญหาฝุ่นละอองในอากาศ ลดความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อทรัพยากรธรรมชาติ สุขภาพของประชาชน ทศนวิสัย การจราจร และเศรษฐกิจ

การเกิดไฟป่า เกิดขึ้นได้หลายภูมิภาค เกิดได้จากหลายสาเหตุ โดยแบ่งลักษณะการเกิด ได้แก่

- ไฟใต้ดิน เป็นไฟที่ไหม้อินทรีย์ที่สะสมอยู่ใต้ดิน ลูกกลมใต้ดินยากที่จะสังเกตเห็นได้ ประเทศไทยพบในป่าพรุแถบภาคใต้ของประเทศไทย
- ไฟผิวดิน เป็นไฟที่เผาไหม้เชื้อเพลิงบนผิวดินและลูกกลมไปตามผืนป่า เชื้อเพลิงเช่น หญ้า ใบไม้ ความรุนแรงจะขึ้นกับความหนาแน่นของเชื้อเพลิง
- ไฟเรือนยอด เป็นไฟที่ลูกกลมไปตามเรือนยอดของต้นไม้ โดยเฉพาะในป่าสน ซึ่งไม้ชนิดนี้มียางช่วยให้เกิดการลูกกลมได้ดี

หมอกควันเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น ไฟป่า การเผาเศษวัชพืช การเศษวัสดุทางการเกษตร เผาขยะ การก่อสร้าง โรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะ โดยความรุนแรงของผลกระทบจากปัญหาหมอกควันจะขึ้นกับความหนาแน่นของปริมาณฝุ่นละออง โดยดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป เพื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้สาธารณชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ หากดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าสูงเกินกว่า 100 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศมีค่าเกินมาตรฐานและคุณภาพอากาศในวันนั้นจะเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน



ภาพที่ 2.16 ภาพการเกิดไฟป่าที่บริเวณในพื้นที่อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ ณ วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2566

2.5 การกักการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอุ่นโดยใช้พลุสารดูดความชื้น

การกักการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอุ่นโดยใช้พลุสารดูดความชื้น เป็นการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอุ่นในขั้นตอนที่ 1 และ 2 โดยการจุดพลุสารดูดความชื้นเพื่อก่อเมฆหรือเพิ่มปริมาณเมฆจากเมฆเดิมที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และเร่งการพัฒนาตัวของเมฆ หรือสามารถเข้าร่วมกับการโปรยโซเดียมคลอไรด์ (เกลือแ่ง สูตร 1) หรือแคลเซียมคลอไรด์ (สูตร 8) แบบผง เพื่อเร่งให้เมฆมีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถก่อยอดสูงขึ้น ได้เร็วกว่าที่จะปล่อยให้เติบโตขึ้นเองตามธรรมชาติ

สารฝนหลวง: พลุสารดูดความชื้นโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) พลุสารดูดความชื้นแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

รูปแบบการจุดพลุดูดความชื้น:

- ปฏิบัติการได้ฐานเมฆให้ขีดฐานเมฆมากที่สุดในบริเวณที่มีกระแสอากาศไหลขึ้น เพื่อให้กระแสลมพัดพาสารเข้าไปในกลุ่มเมฆ

- ใช้เครื่องบิน AU - 23A ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับพลุสารดูดความชื้นบริเวณส่วนปีกของเครื่องบินทั้งสองข้าง ซึ่งสามารถบรรจุได้ข้างละ 6 นัด รวมทั้งหมด 12 นัด อัตราการจุด 6 นาที ต่อ นัด และใช้ปริมาณพลุสารดูดความชื้น จำนวน 2 - 6 นัด ต่อ กลุ่มเมฆ



ภาพที่ 2.17 แสดงติดตั้งอุปกรณ์สำหรับพลุสารดูดความชื้นและการใช้พลุสารดูดความชื้นเครื่องบิน AU - 23A (ซ้าย) และรูปแบบการบินในการใช้พลุสารดูดความชื้น (ขวา)

2.6 เงื่อนไขที่สำคัญของการปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวง

การพิจารณาวางแผนการปฏิบัติการฝนหลวง ต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย นอกจากการพิจารณาสถานการณ์ความต้องการน้ำ การเพาะปลูก และสภาพอากาศที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงแล้ว ยังมีการพิจารณาเงื่อนไขต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการฝนหลวงดังต่อไปนี้

2.6.1 การบินภายใต้เงื่อนไขสภาพภูมิประเทศ

- 1) การบินปฏิบัติการในบริเวณพื้นที่แนวชายแดนต้องบินห่างจากเส้นแบ่งเขตชายแดนไม่น้อยกว่า 5 NM หรือประมาณ 10 กิโลเมตร
- 2) การบินปฏิบัติการในบริเวณพื้นที่ราบหรือบริเวณยอดเขา ต้องมีระยะการบินห่างจากภูมิประเทศอย่างน้อย 2,000 ฟุต หรืออยู่ในระดับความสูงที่นักบินเห็นว่ามีความปลอดภัย ถ้าในกรณีมีความจำเป็นต้องบินในระดับต่ำ
- 3) ไม่สามารถบินปฏิบัติการในบริเวณพื้นที่เฉพาะ หรือมีข้อจำกัดทางการบินบางช่วงเวลาได้ เช่น พื้นที่ฝึกบิน พื้นที่ฝึกใช้อาวุธ ฯลฯ

2.6.2 อัตราการโปรยสารฝนหลวง

อัตราการโปรยสารฝนหลวงแยกตามจำนวนและแบบของอากาศยาน ซึ่งควบคุมระดับความเข้มข้นของสารฝนหลวงที่ 45 กิโลกรัม/NM ของสารฝนหลวง สูตร 1 สูตร 4 สูตร 6 และสูตร 8 ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.8 แสดงอัตราการโปรยสารปนหลวงของเครื่องบินแต่ละชนิดที่ใช้ในการปฏิบัติการปนหลวง

เครื่องบิน	จำนวน (ลำ)	รูปแบบ การบิน	การโหลดสาร ปนหลวง (กิโลกรัม)	อัตราเร็ว ในการบิน (NM/hr)	อัตราการโปรย (กิโลกรัม/NM/ลำ)	ระยะ ทางบิน (NM)	หมายเหตุ
Caravan	3	บินหมู่ 3	2,100	110	15 - 20	35 - 45	โปรย 20 - 25 นาที
	2	บินหมู่ 2	1,400	110	22.5 - 30	25 - 30	โปรย 10 - 15 นาที
	1	บินเดี่ยว	700	110	45 - 60	12 - 15	โปรย 10 - 15 นาที
Casa	2	บินหมู่ 2	2,000	110	17 - 23	45 - 60	โปรย 25 - 30 นาที
	1	บินเดี่ยว	1,000	110	34 - 46	25 - 30	โปรย 10 - 15 นาที
AU - 23A	2	บินหมู่ 2	600	100	16 - 26	15 - 24	โปรย 10 - 15 นาที
CN	1	บินเดี่ยว	2,000	130	36 - 45	40 - 60	โปรย 20 - 28 นาที
BT 67	1	บินเดี่ยว	2,000	110	34 - 45	45 - 60	โปรย 25 - 30 นาที

หมายเหตุ:

- 1) รูปแบบการบินของ Caravan เกะหมู่ระยะห่าง 2 ช่วงปีก ระยะสูง 100 - 150 ฟุต
รูปแบบการบินของ Casa เกะหมู่ระยะห่าง 2 ช่วงปีก ระยะสูง 500 ฟุต
- 2) อัตราการโปรยสารปนหลวง พิจารณาจากความเข้มข้นในการโปรยสารปนหลวงที่อัตรา 45 กิโลกรัม/NM โดยคำนวณจากการโปรยสารปนหลวง จำนวน 2.1 ตัน ใช้ Caravan 3 ลำ ต่อระยะทางเส้นตรง 35 - 45 NM ใช้เวลาโปรย 20 - 25 นาที
- 3) การใช้งานเครื่องบิน Caravan จำนวน 1 หรือ 2 ลำ ต่อชุดบิน หรือการใช้เครื่องบิน Casa เพียง 1 ลำ ต่อชุดบิน สำหรับการปฏิบัติงานในแต่ละครั้งอาจไม่เพียงพอเพราะการปฏิบัติงานจะต้องใช้อัตราการโปรยต่อระยะทางที่สูงมาก ดังนั้นในการปฏิบัติงานจริงนักวิทยาศาสตร์อาจไม่สามารถรักษาระดับความเข้มข้นของสารปนหลวงที่ 45 กิโลกรัม/NM ได้

3. การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง

การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง มีหลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน และการประเมินผลประจำวัน โดยสำหรับการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอนเป็นการประเมินภายหลังจากการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละขั้นตอนเสร็จสิ้นแล้ว โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงการพัฒนาตัวของกลุ่มเมฆ และสำหรับการประเมินผลประจำวัน เป็นการประเมินผลสำเร็จการปฏิบัติการฝนหลวงรายการกิจตามแผนปฏิบัติราชการ

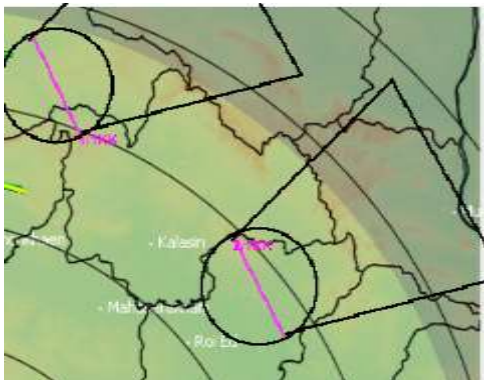
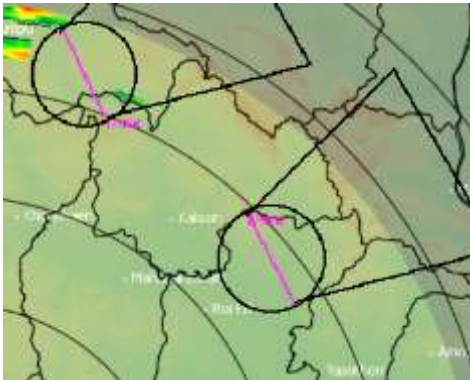
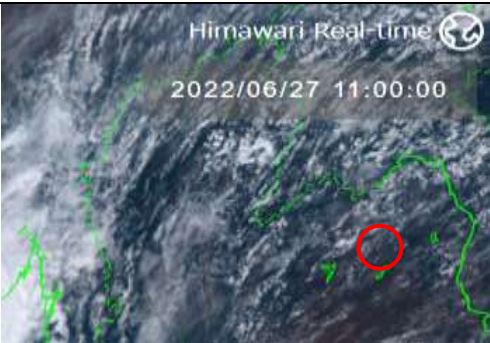
3.1 ประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงรายขั้นตอน

เป็นการกำหนดหลักเกณฑ์ในการปฏิบัติการฝนหลวงรายขั้นตอน โดยประเมินความสำเร็จของการดำเนินงานจากสภาพหรือลักษณะของเมฆในพื้นที่เป้าหมายว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงก่อน และหลังการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างไร โดยกำหนดชนิดข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผล รวมทั้งกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการประเมินผลความสำเร็จรายขั้นตอน หลักเกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงรายขั้นตอน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ถึง ตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 หลักเกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 1

การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ภาพดาวเทียม	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาคพื้น	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
ขั้นตอนที่ 1	มีค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Radar Reflectivity) ระหว่าง 0 - 20 dBz (ภาพ CAPPI หรือ PPI (0.5 - 1.0))	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวง (VIS)	กรณี ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวง: ท้องฟ้าโปร่ง หลังการปฏิบัติการฝนหลวง: พบเมฆก่อตัวในพื้นที่ปฏิบัติการ ฝนหลวง (ภาพถ่ายจากอากาศยาน/ภาคพื้น)	กรณี ท้องฟ้าโปร่ง ภายใน 5 ชั่วโมง (ภายหลังจากภารกิจโปรยสารฝนหลวง) กรณี มีเมฆก่อตัวอยู่เดิม ภายใน 3 ชั่วโมง (ภายหลังจากภารกิจโปรยสารฝนหลวง)
			กรณี ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวง: มีเมฆก่อตัวอยู่เดิม หลังการปฏิบัติการฝนหลวง: พบว่าเมฆมีปริมาณหรือขนาดเพิ่มมากขึ้น (ภาพถ่ายจากอากาศยาน/ภาคพื้น) * ถ้าสามารถวัดความยาวของแนวเมฆได้ ให้บันทึกข้อมูลลงระบบรายงานการปฏิบัติการฝนหลวงไว้ด้วย	กรณี ปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 1 เสร็จแล้ว ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ภายในเวลา 3 ชั่วโมง ให้พิจารณาวางแผนปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่เป้าหมายสำรอง หลังจากปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่เป้าหมายสำรองแล้ว และมีเมฆพัฒนาตัวในพื้นที่เป้าหมายหลัก สามารถพิจารณาวางแผนปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่เป้าหมายหลักต่อได้

ตารางที่ 3.1 หลักเกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 1 (ต่อ)

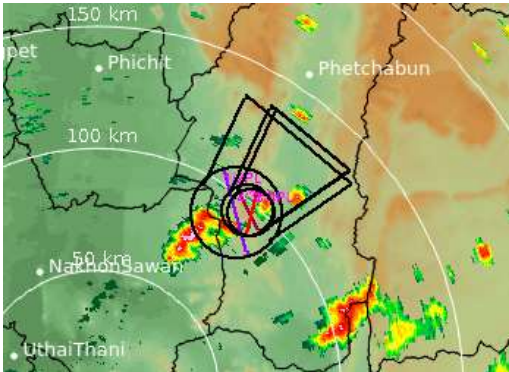
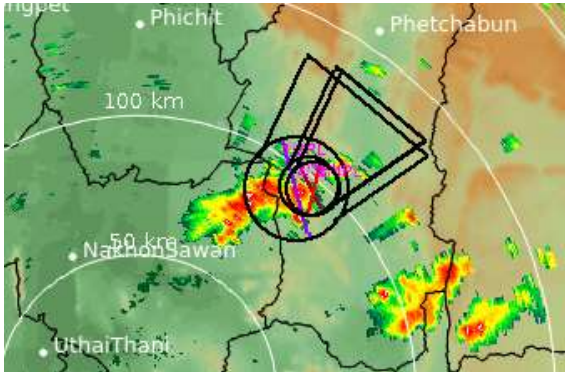
การประเมินผล	ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 1	หลังการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 1
การสังเกตด้วยสายตา	ท้องฟ้ามีเมฆเล็กน้อย  ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดขอนแก่น วันที่ 27 มิถุนายน 2565 เวลา 11:00 น.	เมฆมีปริมาณหรือขนาดเพิ่มมากขึ้น  ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดขอนแก่น วันที่ 27 มิถุนายน 2565 เวลา 11:16 น.
ข้อมูลเรดาร์	ไม่พบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ในบริเวณพื้นที่เป้าหมายปฏิบัติการฝนหลวง  ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดขอนแก่น เวลา 11:00 น.	เริ่มพบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ในบริเวณพื้นที่เป้าหมายปฏิบัติการฝนหลวง  ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดขอนแก่น เวลา 13:00 น.
ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	 ภาพถ่ายดาวเทียม VIS แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดขอนแก่นเวลา 11:00 น.	 ภาพถ่ายดาวเทียม VIS แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดขอนแก่น เวลา 13:00 น.

ที่มา: ภาพถ่ายและภาพเรดาร์ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และภาพถ่ายดาวเทียมของกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 3.2 หลักเกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 2

การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ภาพดาวเทียม	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาคพื้น	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
ขั้นตอนที่ 2	มีค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ ไม่น้อยกว่า 28 dBz (≥ 6 นาที) และกลุ่มเมฆมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ≥ 5 กิโลเมตร (ภาพ CAPPI หรือ PPI (0.5 - 1.0))	IR โดยมีอุณหภูมิยอดเมฆน้อยกว่า 5 องศาเซลเซียส VIS พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวง	เมฆก่อยอดสูงเพิ่มมากขึ้น หรือมีความหนา $> 3,500$ ฟุต หรือ พบกลุ่มเมฆมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ≥ 5 กิโลเมตร โดยการวัดจากการคำนวณจากระยะทางการบินผ่านเมฆ หรือ การจับพิกัดก่อน - หลังเข้าเมฆ หรือ Weather Radar บนเครื่องบิน เมฆบริเวณใกล้เคียงที่เกิดจากธรรมชาติที่มีคุณสมบัติตรงตามเงื่อนไขที่จะเกิดเป็นเมฆฝนหรือเมฆเป้าหมายสามารถนับรวมเป็นความสำเร็จของขั้นตอนที่ 2 * เมฆในพื้นที่เป้าหมายมีเส้นผ่าศูนย์กลาง < 5 กิโลเมตร แต่อยู่เป็นกลุ่มและมีแนวโน้มที่จะพัฒนาตัวสามารถปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 2 ได้	ภายใน 60 นาที (ภายหลังจากภารกิจ การไป ร ย ส ร ฝนหลวงเสร็จสิ้น)

ตารางที่ 3.2 หลักเกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 2 (ต่อ)

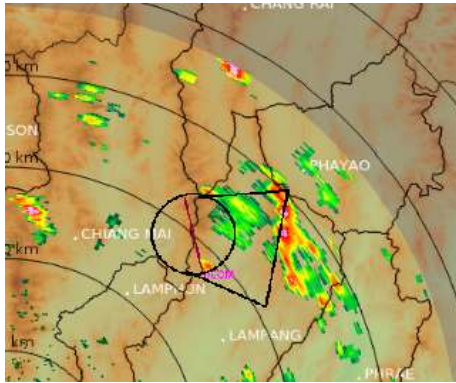
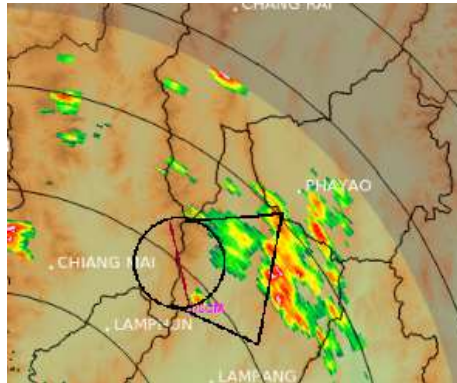
การประเมินผล	ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 2	หลังการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 2
การสังเกตด้วยสายตา	มีเมฆคิวมูโลสก่อตัวอยู่ก่อนแล้ว  ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดพิษณุโลก วันที่ 14 มิถุนายน 2565 เวลา 14:34 น.	เมฆพัฒนาตัวก่อยอดสูงเพิ่มมากขึ้น  ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดพิษณุโลก วันที่ 14 มิถุนายน 2565 เวลา 14:43 น.
ข้อมูลเรดาร์	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย  ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดพิษณุโลก เวลา 14:30 น.	กลุ่มเมฆพัฒนาตัว โดยที่ ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์มีค่าความเข้มเพิ่มมากขึ้น  ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดพิษณุโลก เวลา 14:54 น.
ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	 ภาพดาวเทียม VIS แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดพิษณุโลก เวลา 14:00 น.	 ภาพดาวเทียม VIS แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดพิษณุโลก เวลา 15:00 น.

ที่มา: ภาพถ่ายและภาพเรดาร์ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และภาพถ่ายดาวเทียมของกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 3.3 หลักเกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 3

การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ถังวัดน้ำฝน	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาคพื้น	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
ขั้นตอนที่ 3	มีค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ มากกว่า 20 dBz (≥ 6 นาที) และพบกลุ่มฝนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ไม่น้อยกว่า 5 กิโลเมตร (ภาพ CAPPI หรือ PPI (0.5 - 1.0)) หรือปริมาณฝนสะสมที่ประเมิน จากเรดาร์ (Evaluate) มีค่า ≥ 0.9 มม.	มีปริมาณน้ำฝน T หรือ ฝ (ปริมาณฝนไม่ถึง 0.1 มม.) ในพื้นที่เป้าหมาย ที่มา: อุตฯ สสน. อาสาสมัครฝนหลวงอื่น ๆ	มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมายสังเกตพบโดยนักวิทยาศาสตร์ อาสาสมัครฝนหลวงประชาชนทั่วไป รายงาน: แอปพลิเคชันไลน์ โทรศัพท์	ภายใน 3 ชั่วโมง (ภายหลังจากภารกิจการโปรยสารฝนหลวงเสร็จสิ้น) * ในการวางแผนปฏิบัติการฝนหลวงต้องมีพื้นที่เป้าหมายสำรองเสมอ
การประเมินผล	ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 3		หลังการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 3	
การสังเกตด้วยสายตา	เมฆคิวมูลัสที่ยังไม่มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย  ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 16 พฤษภาคม 2565 เวลา 14:50 น.		เริ่มมีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย  ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 16 พฤษภาคม 2565 เวลา 15:11 น.	

ตารางที่ 3.3 หลักเกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 3 (ต่อ)

การประเมินผล	ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 3	หลังการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 3
ข้อมูลเรดาร์	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย  ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดเชียงใหม่ เวลา 14:48 น.	มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย โดยที่ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ มีค่าความเข้มมากกว่า 38 dBz  ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดเชียงใหม่ เวลา 15:00 น.
ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	 ภาพถ่ายดาวเทียม VIS แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดเชียงใหม่ เวลา 14:40 น.	 ภาพถ่ายดาวเทียม VIS แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดเชียงใหม่ เวลา 14:50 น.

ที่มา: ภาพถ่ายและภาพเรดาร์ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และภาพถ่ายดาวเทียมของกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 3.4 หลักเกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 4 - 6

การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ถังวัดน้ำฝน	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาคพื้น	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
ขั้นตอนที่ 4	ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ มากกว่า 38 dBz (≥ 6 นาที) และพบกลุ่มฝนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5 กิโลเมตร (ภาพ CAPPI หรือ PPI (0.5 - 1.0)) หรือปริมาณฝนสะสมที่ประเมินจากเรดาร์ (Evaluate) มีค่า ≥ 0.9 มม.	มีปริมาณน้ำฝน T หรือ F (ปริมาณฝนไม่ถึง 0.1 มม.) ในพื้นที่เป้าหมาย ที่มา: อุตฯ สสน. อาสาสมัครฝนหลวงอื่น ๆ	มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมายสังเกตพบโดยนักวิทยาศาสตร์อาสาสมัครฝนหลวงประชาชนทั่วไป รายงาน: แอปพลิเคชันไลน์ โทรศัพท์	ภายใน 3 ชั่วโมง (ภายหลังจากภารกิจการโปรยสารฝนหลวงเสร็จสิ้น) * ในการวางแผนปฏิบัติการฝนหลวงต้องมีพื้นที่เป้าหมายสำรองเสมอ
ขั้นตอนที่ 5	มีค่าความเข้มของกลุ่มฝนมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มก่อนปฏิบัติการ และมีค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ ≥ 44 dBz (≥ 6 นาที) และพบกลุ่มฝนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5 กิโลเมตร (ภาพ CAPPI หรือ PPI (0.5 - 1.0)) หรือปริมาณฝนสะสมที่ประเมินจากเรดาร์ (Evaluate) มีค่า ≥ 2.3 มม.	มีปริมาณน้ำฝน T หรือ F (ปริมาณฝนไม่ถึง 0.1 มม.) ในพื้นที่เป้าหมาย ที่มา: อุตฯ สสน. อาสาสมัครฝนหลวงอื่น ๆ	มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมายสังเกตพบโดยนักวิทยาศาสตร์อาสาสมัครฝนหลวงประชาชนทั่วไป รายงาน: แอปพลิเคชันไลน์ โทรศัพท์	ภายใน 2 ชม. (ภายหลังจากภารกิจการยิงฟลูซิลเวอร์ไอโอไดด์เสร็จสิ้น)

ตารางที่ 3.4 หลักเกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 4 - 6 (ต่อ)

การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ถังวัดน้ำฝน	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาคพื้น	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
ขั้นตอนที่ 6	มีค่าความเข้มของกลุ่มฝนมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มก่อนปฏิบัติการ และมีค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ ≥ 44 dBz (≥ 6 นาที) และพบกลุ่มฝนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5 กิโลเมตร (ภาพ CAPPI หรือ PPI (0.5 - 1.0)) หรือปริมาณฝนสะสมที่ประเมินจากเรดาร์ (Evaluate) มีค่า ≥ 2.3 มม.	ปริมาณน้ำฝน T หรือ F (ปริมาณฝนไม่ถึง 0.1 มม.) ในพื้นที่เป้าหมาย ที่มา: อุตุฯ สสน. อาสาสมัครฝนหลวงอื่น ๆ	มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมายสังเกตพบโดยนักวิทยาศาสตร์หรือ อาสาสมัครฝนหลวง ประชาชนทั่วไป รายงาน: แอปพลิเคชันไลน์/โทรศัพท์	ภายใน 2 ชั่วโมง (ภายหลังจากภารกิจโปรยสารฝนหลวงเสร็จสิ้น)
การประเมินผล	ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 4 - 6		หลังการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 4 - 6	
การสังเกตด้วยสายตา	เมฆคิวมูลัสเริ่มมีฝนตกเล็กน้อยในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย  ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 28 มิถุนายน 2565 เวลา 13:51 น.		มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมายเป็นวงกว้างมากขึ้น  ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 28 มิถุนายน 2565 เวลา 14:06 น.	

ตารางที่ 3.4 หลักเกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 4 - 6 (ต่อ)

การประเมินผล	ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 4 - 6	หลังการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 4 - 6
ข้อมูลเรดาร์	พบกลุ่มเมฆฝนในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย  ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดเชียงใหม่ เวลา 13:51 น.	มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมายเป็นวงกว้างมากขึ้น (ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ ≥ 44 dBz)  ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดเชียงใหม่ เวลา 14:06 น.
ข้อมูลภาพถ่ายเทียม	 ภาพถ่ายดาวเทียม VIS แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดเชียงใหม่ เวลา 13:50 น.	 ภาพถ่ายดาวเทียม VIS แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดเชียงใหม่ เวลา 14:10 น.

3.2 การประเมินผลประจำวัน

การประเมินผลประจำวัน เป็นการประเมินผลสำเร็จของการปฏิบัติการฝนหลวงรายการกิจตามแผนปฏิบัติการราชการ ประกอบด้วย การบรรเทาปัญหาหมอกควันและไฟป่า การยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ การป้องกันและแก้ไขภัยแล้ง และการเติมน้ำต้นทุนให้เขื่อนกักเก็บน้ำ หลักเกณฑ์ในการการประเมินผลประจำวัน แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 หลักเกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน (รายการกิจ)

ภารกิจ	ความสำเร็จของภารกิจ	เกณฑ์การประเมิน	แหล่งข้อมูล	วิธีการประเมิน
การบรรเทา ปัญหา หมอกควัน และไฟป่า	- มี ฝน ต ก ใน พื้นที่ เป้าหมาย * กรณี ไม่มีฝนตกในพื้นที่ เป้าหมายให้ระบุนรายละเอียดการปฏิบัติการ ฝนหลวง ** การใช้เฮลิคอปเตอร์ ปฏิบัติภารกิจดับไฟป่า (ตักน้ำดับไฟป่าโดยการ ยกถังกาน้ำสนับสนุนการ ดับไฟป่า)	ปริมาณน้ำฝน T หรือ ฝ (ปริมาณฝน ไม่ถึง 0.1 มม.) ในพื้นที่เป้าหมาย ** สามารถสนับสนุน ภารกิจได้ตามการร้องขอ	- ฝนสะสมรายวัน เรดาร์ (ปริมาณ ฝนสะสมที่ประ เมิจาก เรดาร์ (Evaluate)) - ปริมาณน้ำฝน จาก อุตุฯ สสน. สมาคมชาวไร่ฮ้อย อ า ส า ส ม ั ค ร ฝนหลวง ขป. กฟผ. โรงงาน น้ำตาล	- ใช้โปรแกรมประเมิน การปฏิบัติการฝนหลวง อัตโนมัตินี้ซึ่งใช้ค่าการ สะท้อนของเรดาร์ (Radar reflectivity)
การยับยั้ง การเกิดพายุ ลูกเห็บ	- สามารถบรรเทาความ รุนแรงของพายุลูกเห็บ ในพื้นที่เป้าหมาย	ไม่มีรายงานการเกิด ลูกเห็บจากกลุ่มเมฆ เป้าหมายที่ปฏิบัติการ ภายในระยะเวลา 3 ชม. นับ จาก เวลา เริ่ม ปฏิบัติการ	- ภาพถ่ายกลุ่ม เมฆก่อนและหลัง การปฏิบัติการที่ ถ่ายในมุมเดียวกัน - ข้อมูลเรดาร์ - ข่าว รายงานของ ปภ. อุตุฯ อาสา สัมครฝนหลวง เครือข่ายประชาชน ทั่วไป	- พบค่าการสะท้อน ข อง เร ด าร์ (Radar reflectivity) ในบริเวณ พื้นที่เป้าหมายลดลง - ไม่มีรายงานการเกิด ลูกเห็บจากกลุ่มเมฆ เป้าหมายที่ปฏิบัติการ

ตารางที่ 3.5 หลักเกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน (รายการกิจ) (ต่อ)

ภารกิจ	ความสำเร็จของภารกิจ	เกณฑ์การประเมิน	แหล่งข้อมูล	วิธีการประเมิน
การป้องกันและแก้ไขภัยแล้ง	- มีฝนตกในพื้นที่เป้าหมาย - สามารถสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงตอบสนองผู้ขอรับบริการได้	- มีฝนตกในพื้นที่เป้าหมายหรือพื้นที่เป้าหมายมีปริมาณฝนสะสม 7 และ 14 วันมากกว่า 10 มม. - ผู้ขอรับบริการฝนหลวงได้รับการช่วยเหลือภายในเวลาที่กำหนด - <u>ข้อเสนอแนะ</u> - มีพื้นที่ฝนตกสะสม 7 และ 14 วัน มากกว่า 50 % ของพื้นที่เป้าหมายที่กำหนด (พื้นที่ขอรับบริการฝนหลวง - พื้นที่ฝนสะสม 7 และ 14 วัน น้อยกว่า 10 มม. พื้นที่ประกาศของ ปก.)	- ระบบรายงานการปฏิบัติการฝนหลวง - ปริมาณน้ำฝนจาก อุตฯ สสน. อาสาสมัครฝนหลวง สป. กฟผ. สมาคมชาวไร่ อ้อย โรงงานน้ำตาล - ระบบขอรับบริการฝนหลวง	- พบค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar reflectivity) ในพื้นที่กรวยที่ได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง - ปริมาณฝน 24 ชม. (รายสถานี และ Contour เมื่อไม่มีฝนรายสถานี) - การประสานงานกับผู้ขอรับบริการฝนหลวง หรืออาสาสมัครฝนหลวงในพื้นที่เป้าหมายหลังจากปฏิบัติการ
การเติมน้ำต้นทุนให้เขื่อนกักเก็บน้ำ	- มีฝนตกในบริเวณพื้นที่ลุ่มรับน้ำของเขื่อน $Q = CIA$ $C =$ ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละเขื่อน $IA =$ ฝน Evaluated (ลบ.ม.)	- มีปริมาณน้ำฝน T หรือ ฝ (ปริมาณฝนไม่ถึง 0.1 มม.) ในบริเวณพื้นที่ลุ่มรับน้ำของเขื่อน	- ฝนสะสมรายวันเรดาร์ (ปริมาณฝนสะสมที่ประเมินจากเรดาร์ (Evaluate)) - ปริมาณน้ำฝนจาก อุตฯ สสน. อาสาสมัครฝนหลวง สป. กฟผ. สมาคมชาวไร่ อ้อย โรงงานน้ำตาล	- ใช้โปรแกรมประเมินผลปฏิบัติการฝนหลวงอัตโนมัติซึ่งใช้ค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar reflectivity) ในบริเวณพื้นที่ลุ่มรับน้ำของเขื่อน

ทั้งนี้ ภายหลังจากประเมินผลประจำวัน ให้นักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ด้านการบิน และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องประชุมทบทวนการปฏิบัติการฝนหลวง (After Action Review: AAR) เพื่อร่วมแลกเปลี่ยนปัญหาอุปสรรค และหาแนวทางปรับปรุงการปฏิบัติงานให้ดีขึ้น

3.3 สรุปผลและรายงานผล

หลังจากการปฏิบัติการฝนหลวงเสร็จสิ้น นักวิทยาศาสตร์จะดำเนินการสรุปผลและรายงานผลปฏิบัติการฝนหลวง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 สรุปผลการปฏิบัติการฝนหลวง

สรุปผลการปฏิบัติการฝนหลวง เป็นการบันทึกข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงบนระบบสารสนเทศ ประกอบด้วย สภาพอากาศประจำวัน เครื่องบิน สารฝนหลวง พื้นที่เป้าหมาย การปฏิบัติการในแต่ละขั้นตอน ผลการติดตามสภาพอากาศ ผลการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการฝนหลวง

3.3.2 รายงานผลการปฏิบัติการฝนหลวง

รายงานผลการปฏิบัติการฝนหลวง เป็นการจัดทำข้อมูลให้แก่ผู้บริหารและหน่วยงานภายนอก เพื่อรับทราบการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน ผ่านช่องทางต่าง ๆ แก่ผู้บริหารและหน่วยงานภายนอกเพื่อรับทราบผลการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน ผ่านช่องทางต่าง ๆ

ภาคผนวก ก

หลักเกณฑ์การพิจารณาสภาพอากาศและ
การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่

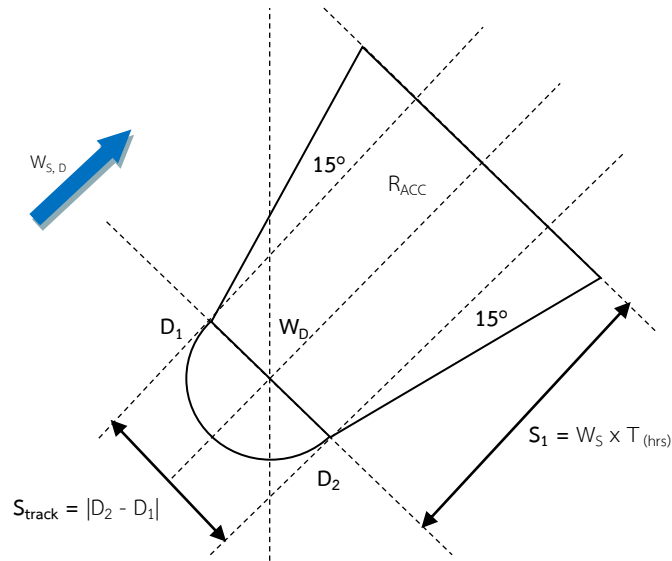
หลักเกณฑ์การพิจารณาสภาพอากาศ

หลักเกณฑ์การพิจารณาสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงในการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละขั้นตอนนั้น ประกอบด้วย ภาพเรดาร์ ภาพถ่ายดาวเทียม (VIS) ภาพถ่ายดาวเทียม (IR) และการสังเกตด้วยสายตาด้านอากาศยาน แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ ก1

ตารางที่ ก1 เกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน

เกณฑ์การพิจารณา	ภาพเรดาร์	ภาพถ่ายดาวเทียม (VIS)	ภาพถ่ายดาวเทียม (IR)	การสังเกตด้วยสายตาด้านอากาศยาน	เวลาสิ้นสุดการติดตามสภาพอากาศ
ขั้นตอนที่ 1	ไม่มีค่าการสะท้อนกลับ/พบค่าการสะท้อนกลับเล็กน้อย	พบ/ไม่พบกลุ่มเมฆบริเวณต้นลมเหนือพื้นที่เป้าหมาย	ไม่พบกลุ่มเมฆ	ท้องฟ้าโปร่ง หรือมีคิวมูลัส สเตรโตคิวมูลัสเล็กน้อย	ติดตามสภาพอากาศและการวางแผนปฏิบัติการภายในเวลา 16:00 น. ขึ้นบินภายในเวลา 17:00 น.
ขั้นตอนที่ 2	พบเมฆเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 - 5 กิโลเมตร หรือ มีค่าการสะท้อนกลับ < 20 dBz	พบกลุ่มเมฆต้นลมเหนือพื้นที่เป้าหมาย	ไม่พบกลุ่มเมฆ	เมฆหนา > 3,000 ฟุต แต่ยอดเมฆสูงไม่เกิน 12,000 ฟุต	
ขั้นตอนที่ 3	พบเมฆเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด > 5 กิโลเมตร หรือ มีค่าการสะท้อนกลับ 20 - 28 dBz	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	พบกลุ่มเมฆ	เมฆหนา > 3,000 ฟุต และยังคงเป็นเมฆอุ่น และยังคงมีส่วนของเมฆอุ่นที่ปฏิบัติการได้	
ขั้นตอนที่ 4	พบเมฆเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด > 5 กิโลเมตร หรือ มีค่าการสะท้อนกลับ 28 - 38 dBz	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	พบกลุ่มเมฆ	เมฆหนา > 5,000 ฟุต และยังคงเป็นเมฆอุ่น และยังคงมีส่วนของเมฆอุ่นที่ปฏิบัติการได้	
ขั้นตอนที่ 5	พบเมฆเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด > 5 กิโลเมตรหรือ มีค่าการสะท้อนกลับ ≥ 38 dBz หรือยอดเมฆสูงตามตารางระดับความสูงของ Freezing Level	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	เมฆระยะเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Stage)	
ขั้นตอนที่ 6	พบเมฆเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด > 5 กิโลเมตรหรือ มีค่าการสะท้อนกลับ ≥ 44 dBz หรือยอดเมฆสูงตามตารางระดับความสูงของ Freezing Level	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	เมฆระยะเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Stage)	

การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่โดยพื้นที่ที่กรวยรับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง ดังแสดงรูปที่ ก1 และตารางที่ ก2 ตัว



รูปที่ ก1 แสดงการกำหนดขนาด และรูปแบบกรวยประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่

ตารางที่ ก2 ตัวแปรที่ใช้ในการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่โดยพื้นที่ที่กรวยรับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง

ลำดับ	ตัวแปร	รายละเอียด	หน่วย	หมายเหตุ
1	$W_{S,D}$	ความเร็วลมเฉลี่ย ที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต ($W_S \leq 50$ กิโลเมตร หรือ 27 knots)	knots	ข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหึ่งอากาศ หรือ การเคลื่อนตัวของกลุ่มเมฆจากเรดาร์ หรือทิศทางและความเร็วลมจากอากาศยาน
2	W_D	ทิศทางลมเฉลี่ย ที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต	องศา	
3	D_1	พิกัด (Lat_1, Lon_1) เริ่มต้นการโปรยสารฝนหลวง	องศา	-
4	D_2	พิกัด (Lat_2, Lon_2) สิ้นสุดการโปรยสารฝนหลวง	องศา	-
5	S_{track}	ระยะทางการโปรยสารฝนหลวง	กิโลเมตร	$ D_2 - D_1 \leq 50$ กิโลเมตร
6	S_1	ความยาวกรวยพื้นที่รับประโยชน์	กิโลเมตร	$S_1 = W_S \times T_{(hrs)}$ กำหนดให้ T= เวลาที่ใช้ในการประเมินผล (ชั่วโมง)
7	R_{ACC}	ปริมาณน้ำฝนสะสม	มิลลิเมตร	ผลรวมของฝนที่ประเมินได้จากเรดาร์ ตั้งแต่เวลา 02:00 - 14:00 UTC (09:00 - 21:00 น.)

ภาคผนวก ข

นิยามคำศัพท์

คำศัพท์	คำนิยาม
สารฝนหลวง	สารฝนหลวงที่นำมาใช้ในการปฏิบัติการฝนหลวงและการดัดแปรสภาพอากาศ
พลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ (Silver Iodide Flares)	สารฝนหลวงประเภทหนึ่งเป็นพลุที่บรรจุสารซิลเวอร์ไอโอไดด์ (Silver Iodide: AgI) สำหรับเป็นสารที่ใช้ทำฝนหลวงเมฆเย็น โดยติดตั้งบนเครื่องบินแบบปรับความดัน และปล่อยพลุจากเครื่องบินเข้าไปบริเวณยอดของเมฆเพื่อให้สารซิลเวอร์ไอโอไดด์แตกตัวเป็นแกน (ICN) ในก้อนเมฆ
พลุดูดความชื้นสูตรโซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride Hygroscopic Flares)	สารฝนหลวงประเภทหนึ่งเป็นพลุที่บรรจุสารโซเดียมคลอไรด์ สำหรับเป็นสารเพื่อทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัวดูดซับความชื้น
พลุดูดความชื้นสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride Hygroscopic Flares)	สารฝนหลวงประเภทหนึ่งเป็นพลุที่บรรจุสารแคลเซียมคลอไรด์ สำหรับเป็นสารเพื่อทำหน้าที่เร่งการเจริญเติบโตของก้อนเมฆ
เมฆอุ่น	เมฆคิวมูลัสที่มีอุณหภูมิในเมฆ สูงกว่า 0 องศาเซลเซียส
เมฆเย็น	เมฆคิวมูลัสที่มีอุณหภูมิในเมฆ ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส
เมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus)	เมฆคิวมูลัสขนาดใหญ่ที่มียอดเมฆสูงกว่า 10 กิโลเมตร บางครั้งมียอดเมฆแผ่ออกเป็นรูปร่างคล้ายทั่ง (Anvil) ส่วนใหญ่จะมีฟ้าแลบฟ้าร้องหรือที่เรียกว่า พายุฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorm) หากเกิดในฤดูร้อนจะมีความรุนแรงมากจะเรียกว่า พายุฤดูร้อนและบางครั้งมีลูกเห็บตกร่วมอยู่ด้วยก็จะเรียกว่า พายุลูกเห็บ (Hail Storm)
เมฆคิวมูลัส (Cumulus)	เมฆก้อนส่วนมากหนาและมองเห็นขอบนอกชัดเจนก่อตัวในแนวตั้ง ยอดเมฆมีลักษณะเหมือนโดมหรือหอคอยส่วนที่นูนขึ้นไปมีรูปร่างคล้ายกะหล่ำดอก
เมฆสเตรโตคิวมูลัส (Stratocumulus)	เมฆก้อนหรือเมฆคิวมูลัส ลอยติดกันเป็นแพ ไม่มีรูปทรงที่ชัดเจน มีช่องว่างระหว่างก้อนเพียงเล็กน้อย
ลูกเห็บ (Hail)	หยาดน้ำฟ้าชนิดหนึ่งเกิดในเมฆคิวมูโลนิมบัสที่มีความปั่นป่วนของกระแสอากาศภายในเมฆที่เกิดขึ้นจากกระแสอากาศไหลขึ้น (Updraft) และไหลลง (downdraft) พัดให้ผลึกน้ำแข็งปะทะกับน้ำเย็นยิ่งยวดกลายเป็นก้อนน้ำแข็งห่อหุ้มกันเป็นชั้น ๆ จนกลายเป็นก้อนน้ำแข็งขนาดใหญ่เมื่อตกลงมาแล้วละลายเป็นเม็ดฝนไม่ทันก็จะเรียกว่าลูกเห็บตกถึงพื้นดิน

คำศัพท์
ผลตรวจอากาศชั้นบน

คำนิยาม

กระแสนอากาศไหลขึ้น

ปริมาณน้ำในก้อนเมฆ

เรดาร์ฝนหลวง

dBz: ค่าเดซิเบลเมื่อเทียบกับ Z

หมอกควัน

ไฟป่า

น้ำเค็มรุกล้ำ

ถังวัดปริมาณน้ำฝน

การตรวจสภาพอากาศตั้งแต่ระดับผิวพื้นขึ้นไปสู่ชั้นบรรยากาศเบื้องบนที่ระดับความสูงต่าง ๆ ประมาณ 30 กิโลเมตรจากพื้นดินโดยอาศัยบอลลูนอัดด้วยแก๊สไฮโดรเจนผูกพ่วงด้วยเครื่องส่งวิทยุหึ่งอากาศ (Radiosonde) ความถี่ 1680 MHz และมีเครื่องรับที่ภาคพื้นดินทำการบันทึกข้อมูลและรายงานผลข้อมูลที่ตรวจวัดได้ ได้แก่ ค่าความกดอากาศ (Pressure; P) ค่าอุณหภูมิ (Temperature; T) ทิศทางและความเร็วลม (Wind Speed and Direction) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity; RH)

การเคลื่อนตัวของอากาศไหลขึ้นในก้อนเมฆ กระแสนอากาศไหลขึ้นทำให้ส่วนกลางของก้อนเมฆขยายตัวขึ้นในแนวตั้ง

อัตราส่วนของปริมาณน้ำที่มีในก้อนเมฆ ณ ขณะนั้นมีหน่วยเป็น กรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร

เรดาร์ตรวจอากาศ (Weather RADAR) ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตรที่ใช้ตรวจวัดกลุ่มฝนซึ่งใช้ในการวางแผนการปฏิบัติการติดตามและประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง

หน่วยของค่าตรวจวัดสัญญาณสะท้อนกลับ (Z) ของสัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนจากวัตถุที่อยู่ในระยะไกลระดับอ้างอิง สำหรับ Z มีหน่วยเป็น mm^6m^{-3} สัญญาณสะท้อนกลับของก้อนเมฆจะขึ้นอยู่กับจำนวนขนาดและประเภทของปรากฏการณ์ทางอุตุนิยมวิทยาที่เกิดขึ้นในบรรยากาศรวมถึงฝนหิมะและลูกเห็บ

ปรากฏการณ์ที่ฝุ่น ควัน และอนุภาคแขวนลอยในอากาศ รวมตัวกันในสภาวะที่อากาศที่ไม่สามารถระบายไปสู่ชั้นบรรยากาศได้ เกิดขึ้นได้ง่ายในสภาพอากาศแห้ง ลักษณะภูมิประเทศที่เอื้อให้เกิดหมอกควันปกคลุม ได้แก่ พื้นที่แอ่งกระทะ หรือพื้นที่ปิดระหว่างหุบเขา

ไฟที่เผาไหม้เชื้อเพลิงตามธรรมชาติในป่าหรือทุ่งหญ้า หรือ ไร่ร้าง หรือในสวนป่าแล้วลุกลามไปได้โดยอิสระปราศจากการควบคุม

สถานการณ์ที่น้ำทะเลรุกล้ำเข้ามาในแม่น้ำ หรือแหล่งน้ำจืด จนทำให้มีค่าความเค็มเกินค่ามาตรฐานกำหนด ส่งผลกระทบต่อการเกษตรและการผลิตน้ำประปา

อุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณน้ำฝน เป็นภาชนะรูปทรงกระบอกวางไว้รองรับฝนในที่กลางแจ้ง ปริมาณฝนตกวัดจากความสูงของระดับน้ำในถังวัด มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

คำศัพท์	คำนิยาม
การปฏิบัติการฝนหลวง	กรรมวิธีการดัดแปรสภาพอากาศ เพื่อให้เกิดฝนตกในพื้นที่เป้าหมาย โดยใช้กรรมวิธีและเทคโนโลยีฝนหลวงที่เหมาะสม
พื้นที่เป้าหมาย	พื้นที่ที่วางแผนปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อช่วยเหลือตามการร้องขอของผู้รับบริการฝนหลวงหรือพื้นที่หวังผลจากการปฏิบัติการฝนหลวง
อาสาสมัครฝนหลวง	บุคคลที่ได้รับการคัดเลือกภายใต้หลักเกณฑ์วิธีการและเงื่อนไขที่ กรมฝนหลวงและการบินเกษตร แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) อาสาสมัครฝนหลวงภาคเกษตรกรรม ที่ต้องผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรอาสาสมัครฝนหลวงแบบพื้นฐานทั่วไป 2) อาสาสมัครฝนหลวงภาคสนับสนุน ที่ผ่านการอบรมหลักสูตรอาสาสมัครฝนหลวงภาคสนับสนุน ซึ่งมีบทบาทและหน้าที่ตามระเบียบกรมฝนหลวงและการบินเกษตรว่าด้วยการดำเนินการอาสาสมัครฝนหลวง
ผู้ขอรับบริการฝนหลวง	ผู้แจ้งความประสงค์ให้กรมฝนหลวงและการบินเกษตร ปฏิบัติการทำฝนหลวง ซึ่งแจ้งหรือร้องขอโดยตรงกับกรมฝนหลวงและการบินเกษตร หรือผ่านช่องทางสื่อสารต่าง ๆ ทั้งในฐานะเกษตรกร ประชาชน หน่วยงานของรัฐ องค์กรต่าง ๆ ที่ได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง

ภาคผนวก ค

การเกิดเมฆและฝน

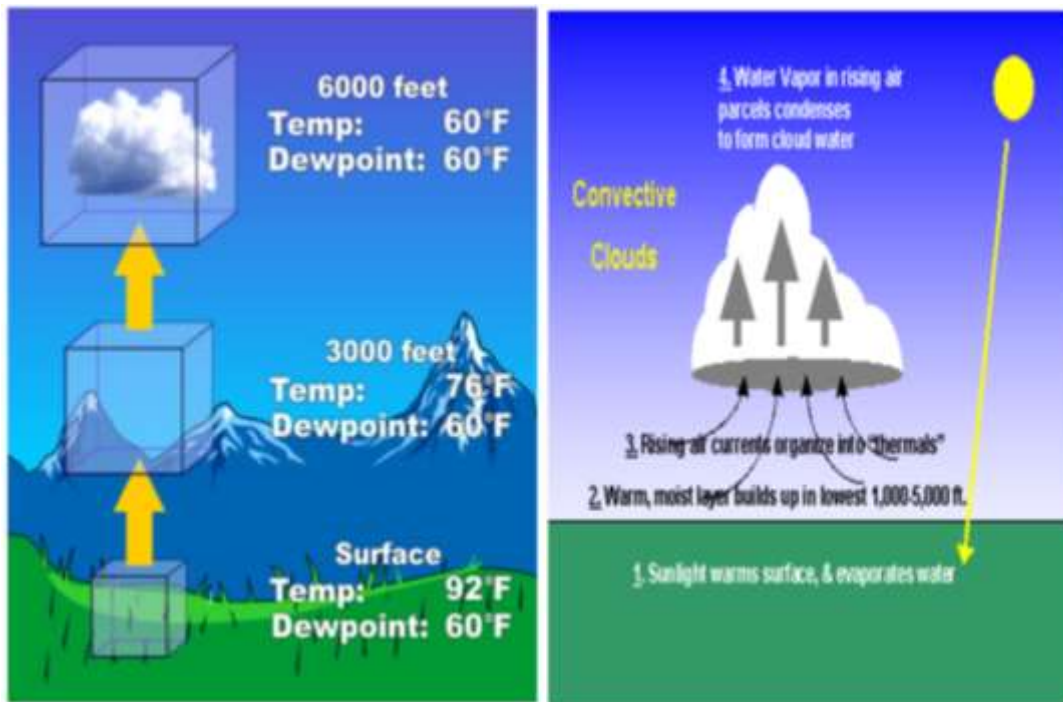
การเกิดเมฆและฝน

การเกิดเมฆ (Cloud formation)

เมฆสำหรับนักอุตุนิยมวิทยา คือ การรวมตัวกันของหยดน้ำเล็ก ๆ (Cloud Droplets) หรืออนุภาคน้ำแข็ง (Ice Particles) ที่มีจำนวนมากพอที่จะสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ขนาดเม็ดน้ำในเมฆมีตั้งแต่ขนาดไม่กี่ไมครอนจนถึงขนาดใหญ่ประมาณ 100 ไมครอน อุณหภูมิของอากาศในธรรมชาติสามารถเย็นลงจนต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point) ได้หลายวิธีในคืนที่ไม่มีเมฆหรือหมอก ความร้อนจำนวนมากจากบรรยากาศชั้นล่างจะแผ่รังสีออกไปยังภายนอก เมื่อชั้นนอกอากาศที่ใกล้กับผิวพื้นมีความชื้นในขณะที่อากาศแห้งจะเกิดการเย็นตัวของพื้นผิวโลกและของอากาศชั้นล่างซึ่งจะเย็นตัวลงจนกระทั่งถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างซึ่งจะทำให้เกิดหมอก หมอกมักจะเกิดในพื้นที่ต่ำ เช่น หุบเขา เพราะอากาศที่เย็นนั้นจะหนักและจมลงในพื้นที่ที่มีความกดอากาศต่ำ หมอกยังสามารถเกิดขึ้นเมื่ออากาศอุ่นขึ้นไหลผ่านผิวน้ำที่เย็นนั้นคืออากาศถูกทำให้เย็นตัวลงโดยการสูญเสียความร้อนให้แก่ น้ำ จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และในกรณีที่อากาศเย็นไหลพัดผ่านผิวน้ำอุ่นก็สามารถเกิดหมอกจากการควบแน่นของปริมาณของไอน้ำที่เพิ่มเข้าไปในอากาศจนเพียงพอที่จะทำให้อากาศเกิดการอิ่มตัว

ถึงแม้ว่ากระบวนการของการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำให้เกิดหมอกนั้นจะมีประสิทธิภาพ แต่สาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดเมฆ คือการเคลื่อนที่ขึ้นของมวลอากาศ ความกดอากาศนั้นจะลดลงตามความสูง เมื่อมวลอากาศยกตัวขึ้นมันจะเคลื่อนที่จากความกดอากาศสูงไปยังต่ำจะทำให้มวลอากาศขยายและอุณหภูมิลดลง ถ้ามวลอากาศแห้งและไม่มีความร้อนภายนอกเพิ่มเข้ามาหรือลดลงในขณะที่อากาศลอยตัวขึ้นมันจะเย็นตัวลงในอัตราส่วน 1.0 องศาเซลเซียส ต่อ 100 เมตร หรือที่เรียกกันว่า Dry Adiabatic Lapse Rate คำว่า Adiabatic แสดงให้เห็นว่ามวลอากาศไม่ได้รับหรือเสียความร้อนจากการแผ่รังสีหรือการนำความร้อน ส่วน Lapse Rate มีความหมายโดยนัยว่า อัตราที่อุณหภูมิลดลงตามระดับความสูง

เมื่อมวลอากาศลอยสูงขึ้นอุณหภูมิตัวมันเองจะลดลง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง เกิดการอิ่มตัวและเริ่มเกิดการควบแน่น ซึ่งเป็นเทคนิคมาตรฐานในการทำนายความสูงของฐานเมฆ เมื่อเมฆเริ่มที่จะก่อตัวผลกระทบจากการเย็นตัวที่เกิดจากการขยายตัวของอากาศที่ ลอยตัวขึ้นได้ถูกชดเชยบางส่วนด้วยความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาระหว่างกระบวนการควบแน่น หรือ ความร้อนแฝงของการระเหยเป็นไอ (Latent Heat of Vaporization) ซึ่งมีค่าประมาณ 600 แคลอรี ต่อ กรัมของน้ำ



รูปที่ ค1 ทฤษฎีมวลอากาศ (Parcel Theory) และการเกิดเมฆ Convective Clouds
(ที่มา: https://teachingdecisionmaking.tamu.edu/WeatherDownloads/JetStream_PDFs/JetStream_-_An_Online_Weather_School_Clouds.pdf และ <https://sites.google.com/site/atmosphere-now/storm-systems/hurricane-katrina/cloud-formation-and-types>)

อุณหภูมิของมวลอากาศที่ยกตัวและเกิดการควบแน่นอยู่ในช่วงอัตราประมาณ 0.6 องศาเซลเซียส ต่อ 100 เมตร ความร้อนแฝงที่ปลดปล่อยออกมานั้น เกิดจากการลดลงของ Lapse Rate ที่ 0.4 องศาเซลเซียส ต่อ 100 เมตร จาก Dry Adiabatic Lapse Rate และ Wet Adiabatic Lapse Rate

ถ้าอัตราการยกตัวขึ้นของมวลอากาศ หรือที่อาจจะเรียกว่าความเร็ว Updraft นั้น ค่อนข้างสูง อากาศจะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วซึ่งการควบแน่นอาจจะเกิดไม่เร็วพอที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ในกรณีนี้อากาศอาจจะเกิดการอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturated) ขึ้น อย่างไรก็ตามการอิ่มตัวยิ่งยวดมีโอกาที่จะเกิดขึ้นน้อยมากไม่เกิน 1% แม้ในระดับที่มากที่สุด

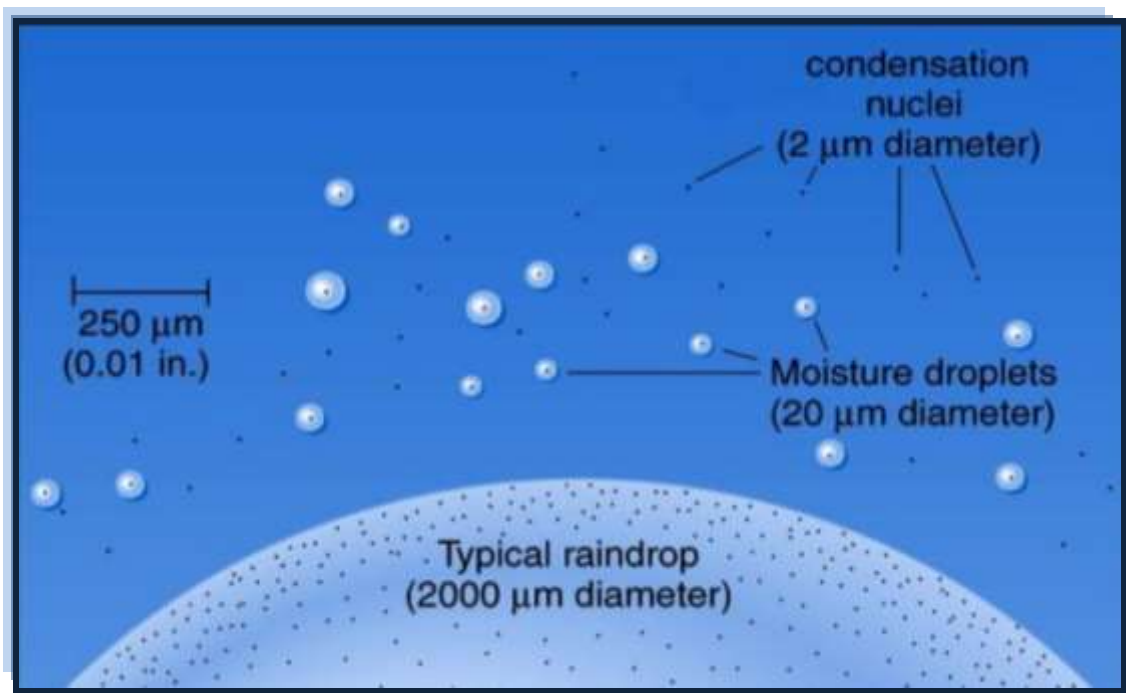
ภายในเมฆนั้นมีอนุภาคเล็ก ๆ ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศเป็นแกนกลั่นตัว (Condensation Nuclei) จำนวนมากซึ่งมีขนาดที่หลากหลาย แกนกลั่นตัวเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ (Hygroscopic) เช่น ฝุ่น คาร์บอน เกสรดอกไม้ หรืออนุภาคเกลือ ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.0002 มิลลิเมตร

Paul Sirvatka (2011) หากปราศจากแกนกลั่นตัวแล้ว ไอน้ำบริสุทธิ์จะสามารถควบแน่นเป็นของเหลวได้ในกรณีที่มีความอิ่มตัวมากกว่า 120% หรือ ความอิ่มตัวยิ่งยวด 20% (20% Supersaturated) เนื่องจากการควบแน่นมาเป็นหยดน้ำรูปทรงกลมนั้นเป็นโครงสร้างที่ไม่เสถียรเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงต้องใช้ความอิ่มตัวในระดับสูงเพื่อที่จะเอาชนะแรงต้านที่ชื่อว่าแรงตึงผิว (Surface Tension) แต่ถ้าไอน้ำถูกปนเปื้อน

ด้วยอนุภาคเล็ก ๆ (Aerosols) หรือแกนกลั่นตัวแล้ว ไอน้ำจะสามารถควบแน่นเป็นหยดน้ำในค่าความอิ่มตัวยิ่งยวดที่น้อยลงมาก อาจลดลงเป็นหลักสิบของเปอร์เซ็นต์ค่าความอิ่มตัว

หยดน้ำหรือละอองน้ำในก้อนเมฆ (Cloud Droplet) ที่เกิดขึ้นครั้งแรกจะมีขนาดเล็กมากเพียง 0.02 มิลลิเมตร (เล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมซึ่ง มีขนาด 0.075 มิลลิเมตร)

ละอองน้ำขนาดเล็กตกลงอย่างช้า ๆ ด้วยแรงต้านของอากาศและระเหยกลับเป็นไอน้ำ (ก๊าซ) เมื่ออยู่ใต้ระดับควบแน่นลงมาไม่ทันตกถึงพื้นโลก อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีกลุ่มอากาศยกตัวอย่างรุนแรง หยดน้ำเหล่านั้นสามารถรวมตัวกันภายในก้อนเมฆ จนมีขนาดใหญ่ประมาณ 0.05 มิลลิเมตร ถ้าหยดน้ำมี ขนาด 2 มิลลิเมตร มันจะมีน้ำหนักมากกว่าแรงพยุงของอากาศและตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกสู่พื้นดินกลายเป็นฝน



รูปที่ ค2 แสดงอนุภาคนขนาดต่าง ๆ ในกระบวนการเกิดเมฆและเม็ดฝน

(ที่มา: <https://www.administracion.com.co/condensation-nuclei-examples-k.html>)

1.1 การเคลื่อนตัวของเมฆฝน

เมฆฝน หรือพายุฟ้าคะนองนั้นสามารถพิจารณาถึงทิศทางการเคลื่อนตัวของพายุได้จากยอดเมฆที่มีลักษณะเป็นรูปทรงแปดเหลี่ยมพุ่งออกไปทางด้านหน้าพายุ จากการศึกษาของสุรพันธ์ (2539) พบว่า พายุฟ้าคะนองที่เกิดจากเมฆที่สูงไม่เกินระดับ Freezing Level จะไม่ปรากฏยอดเมฆเป็นรูปทรงแปดเหลี่ยมเกิดจากการยกตัวของกระแสอากาศ (Updraft) และการจมตัวลงที่ปรากฏไม่นานนัก ฝนที่เกิดมีปริมาณเล็กน้อยมักเป็นเมฆที่เกิดมากบริเวณชายฝั่งหรือทะเลปิด

สำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ในแถบเขตร้อนพายุฟ้าคะนองที่เกิดมักก่อตัวสูงตั้งแต่ 30,000 - 50,000 ฟุต ยอดเมฆจะสูงเกินกว่าระดับ Freezing Level ทำให้พายุที่เกิดมีความรุนแรงอย่างมาก ความสูงของยอดเมฆ

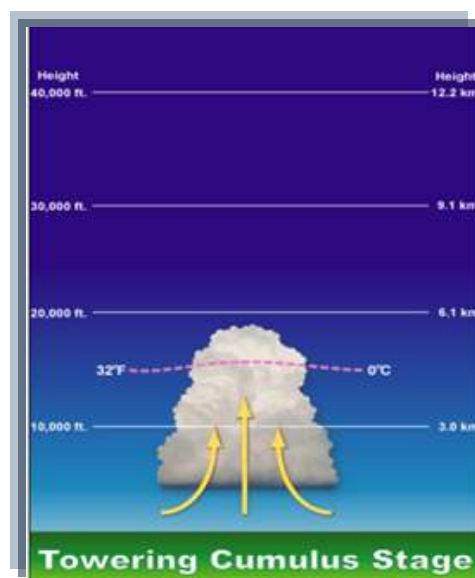
โดยรวมอยู่ที่ระดับ 35,000 - 50,000 ฟุต แต่ส่วนใหญ่จะมีความสูงที่ 40,000 - 45,000 ฟุต ยอดเมฆที่พบสูงสุดอยู่ที่ระดับ 60,000 ฟุต

สำหรับวงจรชีวิตของเมฆฝน Convective จะแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ระยะเวลาของวงจรชีวิตโดยทั่วไปประมาณ 30 - 60 นาที เซลล์ของเมฆฝนมักปรากฏเป็นกลุ่ม ๆ บริเวณด้านหน้าพายุ แต่ละเซลล์จะมีวงจรชีวิตต่างกัน บางเซลล์อาจก่อตัวและสลายไปอย่างรวดเร็วโดยไม่ก่อให้เกิดฝนตก ลักษณะการเกิดเซลล์ใหม่ของเมฆ Convective จะเกิดจากกระแสลมที่พัดลง (Downdrafts) ออกจากเมฆก้อนแรก เกิดเป็นเซลล์ที่สองบริเวณด้านข้างของเซลล์แรก ในทำนองเดียวกันหากกระแสลมที่พัดออกจากเซลล์ที่สองยังคงมีกำลังเพียงพอจะทำให้เกิดเซลล์ใหม่บริเวณเซลล์ที่สองเรื่อยไป

1.2 วงจรชีวิตของเมฆฝน

วงจรชีวิตของเมฆฝน ตั้งแต่เกิดจนสลายตัวสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

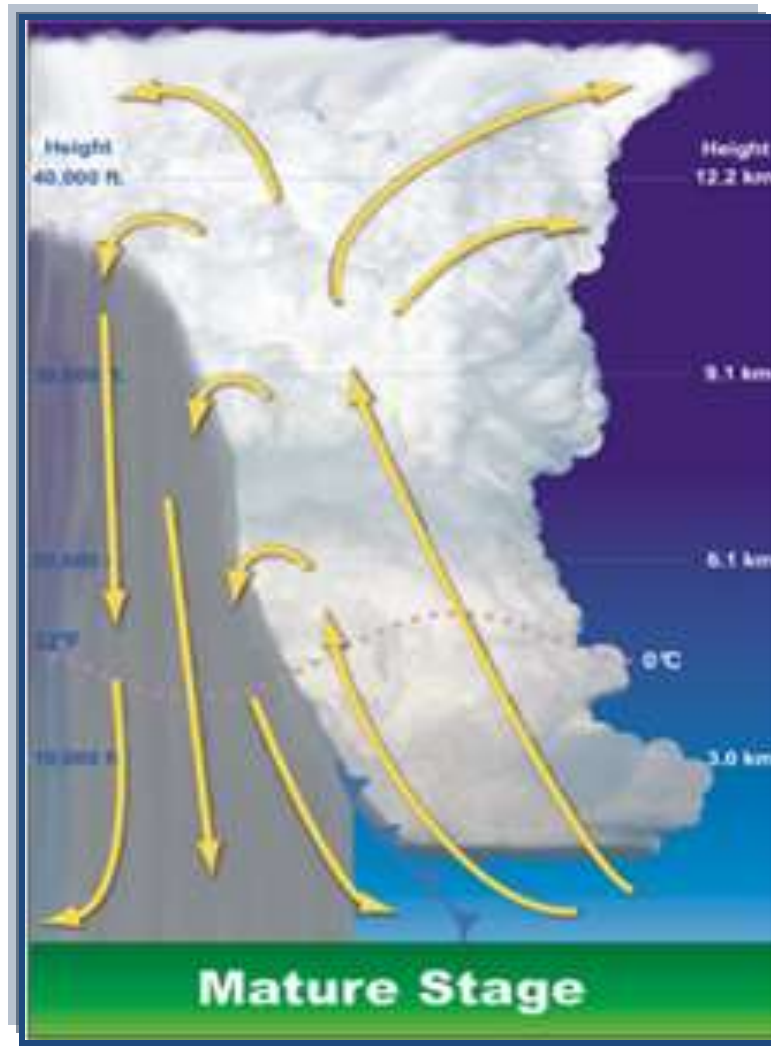
1) **ระยะก่อตัว (Towering Cumulus Stage)** ในระยะนี้ มวลอากาศอุ่นชื้นจะลอยตัวสูงขึ้นและจะเย็นตัวลงกลายเป็นเมฆคิวมูลัส (Cumulus) ที่เป็นก้อนปุกปุยสีขาว ก้อนเมฆนี้เป็นผลมาจากการควบแน่นและการเคลื่อนที่ซึ่งทำให้เกิดการปลดปล่อยความร้อนแฝงจำนวนมากออกมา ความร้อนที่ปลดปล่อยออกมานั้นทำให้อากาศในก้อนเมฆอุ่นกว่าอากาศรอบ ๆ เมฆจะก่อตัวไปเรื่อย ๆ トラบเท่าที่อากาศชื้นไหลเข้าสู่เมฆจากด้านล่างกระแสอากาศไหลขึ้น (Updrafts) จะไหลขึ้นในเมฆ เมื่อกระแสอากาศไหลขึ้นสูงสุดในก้อนเมฆโดยที่ปกติจะสูงประมาณ 12 - 14 กิโลเมตร จะเปลี่ยนทิศทาง 180 องศา ไปเป็นกระแสอากาศไหลลง (Downdrafts) ระยะนี้จะใช้เวลาประมาณ 10 - 15 นาที จากนั้นพายุจะเข้าสู่ระยะต่อไป



รูปที่ ค3 เมฆฝนในระยะก่อตัว

(ที่มา: <https://weathertogether.net/weather - 101/convective - clouds>)

2) **ระยะเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Stage)** เป็นระยะของการเปลี่ยนทิศทางของกระแสอากาศจากอิทธิพลของหยาดน้ำฟ้าที่ตกลงสู่พื้นดิน กระแสอากาศบางส่วนจะเริ่ม เคลื่อนที่ลง (Downdrafts) รุนแรงขึ้นสวนทางกับทิศทางของกระแสอากาศเดิมที่เคลื่อนที่ขึ้นจึงเกิดการชนและรวมตัวกัน (Collision and Coalescence) ของเม็ดน้ำในพายุ ขณะนี้เมฆฝนจะอยู่ในชั้นตอนที่มีความหนาแน่นที่สุดและเป็นเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) ยอดเมฆจะเป็นรูปทั่งและความแรงของลมชั้นบนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะกระจายผลึกน้ำแข็ง (Ice Crystal) ในยอดเมฆไปตามความยาวและที่ฐานเมฆจะขยายจนมีเส้นผ่านศูนย์กลางหลายกิโลเมตร



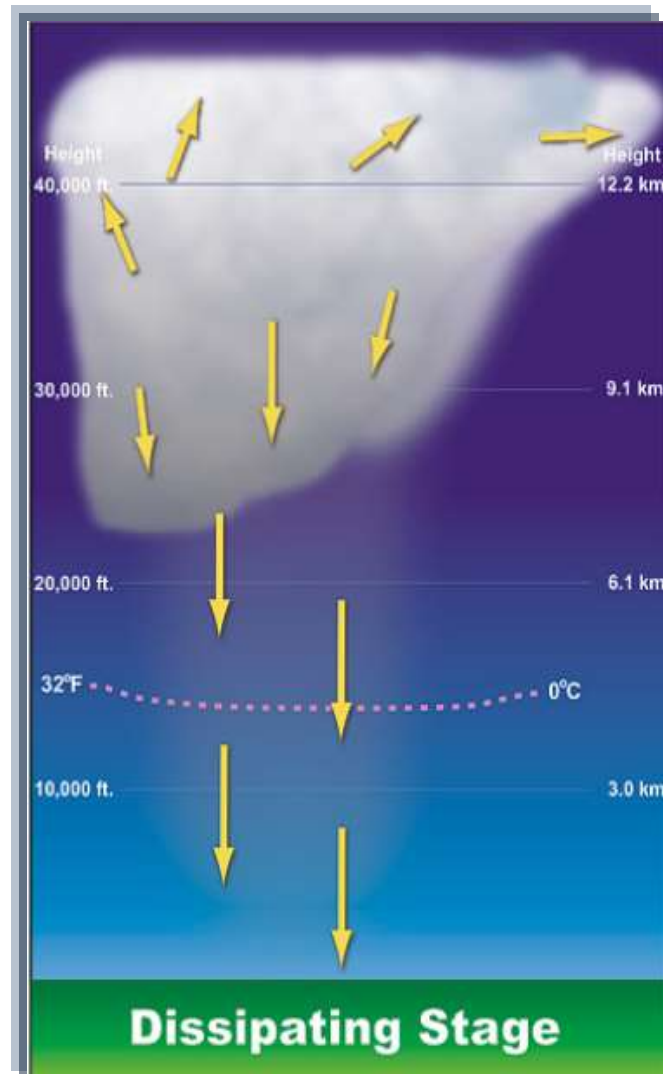
รูปที่ ค4 เมฆฝนในระยะเติบโตเต็มที่

(ที่มา: <https://weathertogether.net/weather - 101/convective - clouds>)

เมฆฝนในระยะนี้จะมีสภาพอากาศรุนแรงที่สุดเช่น มีลมแรง ฝนตกหนัก ฟาแลบ ฟาร้อง ฟาผ่า หรือบางครั้ง มีลูกเห็บตก ในชั้นนี้ปกติจะใช้เวลาประมาณ 15 - 30 นาที นับตั้งแต่เริ่มมีฝนตกลงถึงพื้น

3) **ระยะสลายตัว (Dissipation Stage)** ใช้เวลาประมาณ 30 นาที ในชั้นสลายตัวนี้เมื่อพลังงานถูกปลดปล่อยออกมาแล้ว สภาพอากาศภายในกับภายนอกเมฆก็จะค่อย ๆ ปรับสมดุลเข้าหากัน ภายในก้อน

เมฆจะมีแต่กระแสอากาศพัดลงอย่างเดียว ฝนที่ตกจะค่อยลดน้อยลงและหยุดในที่สุดอุณหภูมิในก้อนเมฆจะเปลี่ยนไปจนเท่ากับบริเวณข้างเคียง ทิศและความเร็วลมจะเปลี่ยนไปจนเท่ากับบริเวณใกล้เคียง เมฆก้อนนี้ก็จะสลายตัวไปในที่สุดจุดสังเกตของขั้นตอนนี้ คือที่ยอดเมฆจะเป็นรูปทัง เนื่องจากอากาศที่ปั่นป่วนนั้นหมดแรงที่ยกตัวเองให้สูงกว่านี้อีกยอดเมฆจึงกระจายออกด้านหน้าของการเคลื่อนที่วงจรรชีวิต โดยทั่วไปจะไม่เกิน 1 - 2 ชั่วโมง ช่วงที่มีอันตรายและน่ากลัวที่สุดคือ ระยะเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Stage)



รูปที่ ค5 เมฆฝนในระยะสลายตัว

(ที่มา: <https://weathertogether.net/weather - 101/convective - clouds>)

ภาคผนวก ง

สารฝนหลวงและพลุที่ใช้ในการปฏิบัติการฝนหลวง

ตารางที่ ๑1 สารฝนหลวงและพลุที่ใช้ในการปฏิบัติการฝนหลวง

สาร ฝนหลวง	ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ	สูตรเคมี	อุณหภูมิของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไป *
สูตร 1	เกลือแป้ง	Sodium Chloride	NaCl	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
สูตร 3	น้ำแข็งแห้ง	Dry Ice	CO ₂ (s)	ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส
สูตร 4	ยูเรีย	Urea	CO(NH ₂) ₂	ลดต่ำลง 20 องศาเซลเซียส
สูตร 6	แคลเซียมคลอไรด์	Calcium Chloride	CaCl ₂	สูงกว่า 50 องศาเซลเซียส
สูตร 8	แคลเซียมออกไซด์	Calcium Oxide	CaO	สูงกว่า 70 องศาเซลเซียส
พลุ	ซิลเวอร์ไอโอไดด์	Silver Iodide	AgI	-
	โซเดียมคลอไรด์	Sodium Chloride	NaCl	-
	แคลเซียมคลอไรด์	Calcium Chloride	CaCl ₂	-

*อัตราส่วนระหว่างสารฝนหลวงและน้ำที่ 1:1 ที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก จ

โครงการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่

โครงการศึกษาและการพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่

กรณีศึกษา: พื้นที่เขตอำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงบริเวณอำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นพื้นที่แล้งซ้ำซากที่มีแนวโน้มการขอรับบริการฝนหลวงเพิ่มขึ้นทุกปี และที่ผ่านมาในช่วง ปี พ.ศ. 2561 - 2563 มีความสำเร็จในการปฏิบัติการฝนหลวงช่วยเหลือพื้นที่เพียงร้อยละ 40.00 ซึ่งเกิดจากการขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมและการเกิดเมฆฝนที่เปลี่ยนแปลงไปของพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพสิ่งแวดล้อมและสภาพอากาศ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้จุดแข็งของระบบเรดาร์ตรวจอากาศของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ซึ่งสามารถใช้ในการศึกษาพฤติกรรมและการเกิดเมฆฝน รวมทั้งการใช้ผลตรวจอากาศชั้นบนเพื่อพัฒนาเงื่อนไขด้านสภาพอากาศที่เหมาะสมสำหรับพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่

การศึกษาพฤติกรรมและการเกิดเมฆฝนในครั้งนี้ ใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศของสถานีเรดาร์ ฝนหลวงพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ในช่วงปี พ.ศ. 2560 - 2562 ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความถี่การเกิดซ้ำของค่าการสะท้อน (The Probability of Radar Reflectivity - based Precipitation, PRP) ที่มีค่าตั้งแต่ 20 dBZ ขึ้นไป และวิเคราะห์เงื่อนไขด้านสภาพอากาศจากข้อมูลผลตรวจชั้นบนของสถานีเรดาร์ ฝนหลวงพิมายในช่วงเดือนพฤษภาคม - เดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2560 - 2563 ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าพิสัยควอไทล์ (Inter Quartile Range, IQR) พบว่า บริเวณพื้นที่ศึกษาที่มีความถี่ของการเกิดเมฆฝนสูงสุดในช่วงเดือนพฤษภาคม ตั้งแต่ช่วงเวลา 13:00 - 16:00 น. โดยเฉพาะแนวเขาด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่และมีการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของเมฆฝนได้ดีขึ้นในช่วงเวลา 16:00 - 19:00 น. จากนั้นแนวโน้มความถี่การเกิดเมฆฝนจะลดลงในช่วงเดือนมิถุนายน - เดือนกรกฎาคม ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่พื้นที่การเกษตร (นาข้าว) มีความต้องการน้ำและมีการร้องขอรับบริการฝนหลวงเพิ่มขึ้น โดยความถี่ของการเกิดเมฆฝนจะกลับมามีค่าสูงขึ้นอีกครั้งในเดือนสิงหาคมและกันยายน ซึ่งพบความถี่สูงสุดในช่วงเวลา 16:00 - 19:00 น. โดยมีดัชนีอากาศชั้นบนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติการฝนหลวงบริเวณพื้นที่ศึกษาจำนวน 5 ตัวแปร ได้แก่ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต (RH) ความเร็วลมที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต (WS) ค่าดัชนีสภาพอากาศที่บอกความไม่เสถียรภาพของมวลอากาศในระดับล่าง (LI) และระดับบน (SI) รวมทั้งดัชนีที่บอกถึงศักยภาพในการก่อตัวในแนวตั้ง (KI) โดยมีรายละเอียดของเกณฑ์เงื่อนไข ดังนี้ $RH \geq 76.0\%$ $WS \leq 15.6$ นอต $LI \leq -0.6$ $SI \leq 0.8$ และ $KI \geq 35.2$ ทั้งนี้เมื่อนำเกณฑ์เงื่อนไขด้านสภาพอากาศข้างต้นไปใช้ในการตัดสินใจทดสอบปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงเดือนพฤษภาคม - เดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 พบว่า การปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อช่วยเหลือพื้นที่ศึกษามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 84.62

โครงการศึกษาและการพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่

กรณีศึกษา: พื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ อำเภอกเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด

การศึกษานี้ได้คัดเลือกพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ ในเขตอำเภอกเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด เป็นพื้นที่ศึกษาในการพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่ เนื่องจากมีผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญคือ ข้าวหอมมะลิ ซึ่งเป็นแหล่งที่มีชื่อเสียงอีกแหล่งหนึ่งของประเทศ โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลิตั้งเป็นร้อยละ 85 ของพื้นที่ทั้งหมดของอำเภอ แต่มักประสบปัญหาขาดแคลนน้ำในการเพาะปลูกเป็นประจำ เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายเก็บความชื้นได้น้อย มีพื้นที่ชลประทานเฉพาะทางตอนกลางของอำเภอ พื้นที่เพาะปลูกข้าวส่วนใหญ่อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก แหล่งน้ำตามธรรมชาติในพื้นที่ ขาดการพัฒนาปรับปรุงที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ จึงทำให้มีการขอรับบริการฝนหลวงเป็นประจำ แต่ความสำเร็จในการปฏิบัติการฝนหลวงช่วยเหลือพื้นที่ ช่วงปี พ.ศ. 2560 - 2562 ประสบความสำเร็จเพียงร้อยละ 36 ของการปฏิบัติการช่วยเหลือทั้งหมด ทำให้การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและปรับปรุงเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลทั่วไป ลักษณะภูมิประเทศ สภาพอากาศรายเดือน ปฏิทินการเพาะปลูก ปริมาณฝนรวมรายเดือน การขอรับบริการฝนหลวง ความถี่ของการเกิดกลุ่มฝนในพื้นที่ศึกษาจากวิธี Radar Climatology Analysis ที่มีค่าการสะท้อนมากกว่า 20 dBz และข้อมูลผลตรวจอากาศชั้นบนจากสถานีเรดาร์ฝนหลวงพิมาย ในช่วงเริ่มต้นของการเพาะปลูก - ช่วงเริ่มต้นของการออกผลผลิต ในเดือนเมษายน - ตุลาคม ของปี พ.ศ. 2560 - 2562 เพื่อหาความสัมพันธ์ของปฏิทินอากาศกับความต้องการน้ำของเกษตรกร และกำหนดเงื่อนไขในการปฏิบัติการฝนหลวง ที่เหมาะสมในพื้นที่ศึกษา โดยใช้วิเคราะห์ผลตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิธีการ Box and Whisker Plot เพื่อศึกษาค่าพิสัยควอไทล์ (Inter Quartile Range) ของ 5 ตัวแปรหลักที่ใช้ในการตัดสินใจปฏิบัติการ ซึ่งผลการศึกษาทำให้ได้ค่าเงื่อนไขใหม่ที่เหมาะสม สำหรับเพิ่มโอกาสการปฏิบัติการฝนหลวงให้กับพื้นที่ศึกษาสำเร็จมากขึ้น คือค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ระดับการก่อตัวของเมฆ $\geq 72.1\%$ ความเร็วลม ที่ระดับการก่อตัวของเมฆอยู่ระหว่าง 6.0 ถึง 16.0 นอต ค่า LI อยู่ระหว่าง - 2.4 ถึง - 0.6 ค่า SI อยู่ระหว่าง 1.0 ถึง 0.7 และค่า KI อยู่ระหว่าง 34.8 ถึง 38.1

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อนำเงื่อนไขแบบใหม่ที่ได้จากการศึกษามาเปรียบเทียบกับเงื่อนไขเดิมที่ได้จากการถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง พบว่ามี 2 ใน 5 ตัวแปรหลัก ที่มีค่าแตกต่างออกไปจากเดิมคือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับการก่อตัวของเมฆ ที่มีค่าขอบล่างสูงกว่าเงื่อนไขค่าผลตรวจอากาศชั้นบนเดิม จาก $RH \geq 60.0\%$ เป็น $RH \geq 72.1\%$ และค่า SI ที่มีค่าขอบบนจากเดิม $SI \leq 0$ เป็น $SI \leq 0.7$ ซึ่งผลของค่า SI ที่ขยายออกไปกว้างขึ้น ทำให้มีโอกาสวางแผนปฏิบัติการฝนหลวงช่วยเหลือพื้นที่ศึกษาเพิ่มมากขึ้น เมื่อใช้เงื่อนไขแบบใหม่ ทดสอบการบินปฏิบัติการในพื้นที่ศึกษาในปี พ.ศ. 2563 - 2564 ทั้งหมด 17 วัน พบว่ามีฝนตก 11 วัน ความสำเร็จของการปฏิบัติการเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 65 ของวันที่ปฏิบัติการทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจาก ลักษณะภูมิอากาศโลกที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา อาจจะมีผลทำให้เงื่อนไขของการปฏิบัติการ

เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศโลก และการบินทดสอบตามเงื่อนไขแบบใหม่นี้ยังมีตัวอย่างการบินทดสอบที่ค่อนข้างน้อย อีกทั้งยังใช้เพียงผลตรวจอากาศชั้นบนจากสถานีเรดาร์ฝนหลวงพินาย อาจจะต้องนำผลตรวจอากาศชั้นบนจากสถานีเรดาร์ฝนหลวงราชสีสอย มาศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้ได้เงื่อนไขที่ทำให้เทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่ศึกษามีประสิทธิภาพมากขึ้น

โครงการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่

กรณีศึกษา: พื้นที่อำเภอตาพระยา อำเภอโคกสูง อำเภอวัฒนานคร อำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว

จังหวัดสระแก้วเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคตะวันออกที่ประสบปัญหาภัยแล้งบ่อยครั้งโดยเฉพาะพื้นที่อำเภอวัฒนานคร ซึ่งมีลักษณะเป็นสันปันน้ำและพื้นที่ลาดไปทางอำเภออรัญประเทศ และอำเภอโคกสูง มีลักษณะเป็นพื้นที่ราบติดต่อกับอำเภอตาพระยาซึ่งมีแนวเทือกเขาที่ต่อเนื่องมาจากเทือกเขาสนกำแพงกันอยู่ ทำให้เป็นพื้นที่อับฝน จึงมีปริมาณฝนสะสมน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ ในจังหวัดสระแก้ว ส่งผลกระทบต่อพื้นที่การทำเกษตร ปศุสัตว์ เนื่องจากปริมาณน้ำเก็บกักในแหล่งเก็บน้ำสำหรับเป็นน้ำต้นทุนไม่เพียงพอในช่วงฤดูเพาะปลูก โครงการวิจัยฯ นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของภูมิประเทศ ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเมฆฝน พร้อมทั้งพัฒนารูปแบบการปฏิบัติการฝนหลวงที่เหมาะสมกับพื้นที่แล้งซ้ำซากบริเวณพื้นที่ อำเภอตาพระยา โคกสูง วัฒนานคร อรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว

โดยการศึกษาลักษณะภูมิประเทศและอิทธิพลการเกิดฝนบริเวณพื้นที่ศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ตรวจอากาศของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสตัทีบ จังหวัดชลบุรี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 - 2562 ด้วยวิธี Radar Climatology Analysis ที่ค่าสะท้อนมากกว่า 20 dBz ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้ภาพที่แสดงข้อมูลความถี่ของการเกิดซ้ำของกลุ่มฝน ข้อมูลลักษณะอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ทำให้ได้พฤติกรรมการเกิดเมฆฝนและช่วงเวลาของการเกิดเมฆฝนในพื้นที่วิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนบนสถานีเรดาร์สตัทีบ จังหวัดชลบุรี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 - 2562 มาหาความสัมพันธ์ของข้อมูลผลตรวจอากาศชั้นด้วยวิธีการ Box and Whisker Plot เพื่อกำหนดเงื่อนไขการปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่วิจัย ผลการศึกษาพบว่าเกณฑ์ผลการตรวจอากาศที่เหมาะสมคือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (RH) ที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต ไม่ต่ำกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 71 ค่าเฉลี่ยดัชนีเสถียรภาพอากาศ (SI) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.5 ค่าเฉลี่ยการยกตัวของอากาศ (LI) น้อยกว่าหรือเท่ากับ - 1.5 ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต ไม่เกิน 14.5 นอต ดัชนีที่บอกถึงศักยภาพในการก่อตัวในแนวตั้ง (KI) มากกว่าหรือเท่ากับ 32.8 โดยในปี 2564 มีการขึ้นบินปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่วิจัยที่เข้าเกณฑ์เงื่อนไขการปฏิบัติการฝนหลวงที่กำหนดจำนวน 19 วัน พบว่ามีฝนตกบริเวณพื้นที่วิจัยคิดเป็นร้อยละ 90

โครงการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่ กรณีศึกษา: พื้นที่อำเภอสนามชัยเขต อำเภอนาทะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา

อำเภอสนามชัยเขตและอำเภอนาทะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทย ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด 1,923,574 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 57.52 ของพื้นที่จังหวัด ประชากรร้อยละ 70 ของจังหวัด ประกอบอาชีพเกษตรกรรมที่อาศัยน้ำฝนโดยสามารถผลิตผลผลิตทางการเกษตรมูลค่า 33,000 ล้านบาท ต่อ ปี อย่างไรก็ตามพื้นที่การเกษตรดังกล่าวประสบปัญหาแล้งซ้ำซากปริมาณฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการทางการเกษตร จึงมีจำนวนการขอรับบริการฝนหลวงเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี แต่จากข้อมูลสถิติการปฏิบัติการฝนหลวงระหว่าง พ.ศ. 2560 - 2563 พบว่า มีร้อยละความสำเร็จในการปฏิบัติการฝนหลวงคิดเป็นร้อยละ 68.25 ซึ่งจำเป็นต้องหาทางพัฒนากระบวนการปฏิบัติการฝนหลวงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะภูมิประเทศและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมและการเกิดเมฆฝนและพัฒนากระบวนการปฏิบัติการฝนหลวงให้เหมาะสมกับอำเภอสนามชัยเขต อำเภอนาทะเกียบ โดยใช้ 1) ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศและข้อมูลบอลลูนตรวจอากาศชั้นบนของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัตหีบ จังหวัดชลบุรี 2) ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ระหว่างปี พ.ศ. 2560 - 2562 ร่วมกับข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นที่ภาคตะวันออก จากการวิเคราะห์ข้อมูลเรดาร์ด้วยวิธี Radar Climatology Analysis ซึ่งพิจารณาค่าการสะท้อนกลับตั้งแต่ 20 dBz ขึ้นไปร่วมกับข้อมูลภูมิสารสนเทศพบว่า กลุ่มเมฆคิวมูลัสมักจะก่อตัวตามแนวเขาด้านทิศตะวันออกถึงด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอนาทะเกียบจนถึงแนวเขาเจ้าจังหวัดชลบุรี กลุ่มเมฆดังกล่าวจะเคลื่อนที่และพัฒนาตัวเป็นเมฆฝนเข้าสู่พื้นที่ศึกษาด้วยอิทธิพลของลมที่พัดจากอ่าวไทยเข้าสู่ตอนกลางของภาคตะวันออก เมื่อพิจารณาช่วงเวลาที่มีโอกาสเกิดฝนในพื้นที่ศึกษาพบว่า 1) ช่วงฤดูฝนมีโอกาสดังกล่าวสูงสุดในช่วงเวลา 13:00 - 19:00 น. เนื่องจากปัจจัยความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิผิวพื้นที่เหมาะสมในช่วงเวลาดังกล่าวส่งผลให้เมฆคิวมูลัสเกิดการพัฒนาตัวในทางตั้ง (Convective) และตกเป็นฝนในพื้นที่ศึกษา 2) ช่วงฤดูแล้งพบว่ามีโอกาสดังกล่าวในช่วงเวลา 16:00 - 19:00 น. เนื่องจากในช่วงเวลานี้มวลอากาศมีความชื้นต่ำประกอบกับอุณหภูมิผิวพื้นที่สูงส่งผลให้กลุ่มเมฆเกิดและพัฒนาตัวได้ช้าและยังพบว่าในช่วงเปลี่ยนฤดูจากฤดูร้อนเข้าสู่ฤดูฝนจะเกิดเหตุการณ์ฝนตกหนักในช่วงเวลานี้ขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของบริเวณความกดอากาศสูงที่แผ่เข้ามาชนกับมวลอากาศร้อนและเกิดการยกตัวอย่างรุนแรงในพื้นที่ศึกษา ข้อมูลที่ได้ดังกล่าวมาข้างต้นถูกนำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลบอลลูนตรวจอากาศชั้นบนสำหรับการพัฒนารูปแบบการปฏิบัติการฝนหลวงให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาซึ่งพบว่าเงื่อนไขด้านสภาพอากาศในการปฏิบัติการฝนหลวงที่เหมาะสมคือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ $\geq 60\%$ ความเร็วลม ≤ 20 นอต ค่าการยกตัวของมวลอากาศระดับล่าง ≤ -1 และการยกตัวของมวลอากาศระดับบน ≤ 0 และเมื่อปฏิบัติการฝนหลวงตามเงื่อนไขดังกล่าวในปี พ.ศ. 2564 ทั้งหมดจำนวน 33 วัน พบว่ามีฝนตกหลังการบินทดสอบจำนวน 32 วัน คิดเป็นร้อยละความสำเร็จ 96.96 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 28.44

โครงการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่

กรณีศึกษา: พื้นที่ป่าพรุโต๊ะแดง จังหวัดนราธิวาส

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาการปฏิบัติการฝนหลวงบริเวณพื้นที่ป่าพรุโต๊ะแดง จังหวัดนราธิวาส ซึ่งเป็นป่าพรุผืนใหญ่แห่งเดียวของประเทศไทยที่ยังคงมีความสมบูรณ์ และสถิติไฟไหม้ป่าพรุโต๊ะแดง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 - ปัจจุบัน เกิดในช่วงเดือนมีนาคม - พฤษภาคม และมีการขอรับการสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อสร้างความชุ่มชื้นให้กับระบบนิเวศน์ และป้องกันการเกิดไฟป่าในพื้นที่ป่าพรุ และการปฏิบัติการฝนหลวงช่วยเหลือในช่วงปีพ.ศ. 2559 - 2561 มีวันที่ขึ้นบินปฏิบัติการ และมีฝนตกในพื้นที่ป่าพรุโต๊ะแดงร้อยละ 95 และพื้นที่ได้รับผลประโยชน์เพียงร้อยละ 38 เท่านั้น ซึ่งเกิดจากการขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมและการเกิดเมฆฝนที่เปลี่ยนแปลงไปของพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพสิ่งแวดล้อมและสภาพอากาศ งานวิจัยนี้จึงศึกษาพฤติกรรมและการเกิดเมฆฝน และพัฒนาเงื่อนไขด้านสภาพที่เหมาะสมสำหรับพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่

การศึกษาพฤติกรรมและการเกิดเมฆฝนในวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศของสถานีเรดาร์อุตุนิยมหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดสงขลา ในช่วงปี พ.ศ. 2559 - 2562 มาวิเคราะห์ความถี่การเกิดซ้ำของค่าสะท้อน (The probability of radar reflectivity - based precipitation, PRP) ที่มีค่าตั้งแต่ 20 dBz ขึ้นไป พบว่าบริเวณพื้นที่ศึกษาที่มีความถี่ของการเกิดเมฆฝนน้อยที่สุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - มีนาคม ตั้งแต่เวลา 07:00 - 19:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเดือนที่ระดับน้ำในพื้นที่ป่าพรุโต๊ะแดงต่ำกว่าผิวดินและเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ป่าพรุ จึงทำให้เริ่มมีการขอรับบริการฝนหลวง จากนั้นแนวโน้มความถี่การเกิดเมฆฝนเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนเมษายน - พฤศจิกายน และความถี่การเกิดเมฆฝนจะลดลงอีกช่วงในเดือนธันวาคม - มกราคม โดยความถี่สูงสุดยังคงอยู่ในช่วงเวลา 16:00 - 19:00 น. สำหรับพื้นที่ที่มีความถี่เมฆฝนมาก คือ บริเวณแนวเขาฝั่งตะวันตกของพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ บางเดือนพื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากความกดอากาศต่ำ จึงทำให้มีความถี่ของการเกิดเมฆฝนมากขึ้น และการศึกษาเงื่อนไขด้านสภาพอากาศที่เหมาะสมกับพื้นที่วิจัย โดยใช้ข้อมูลผลตรวจชั้นบนของสถานีเรดาร์ฝนหลวงพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในช่วงเดือนมีนาคม - มิถุนายน ปี พ.ศ. 2559 - 2561 มาวิเคราะห์ค่าพิสัยควอเตอร์ (Inter Quartile Range, IQR) และได้กำหนดเงื่อนไขด้านสภาพอากาศที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติการฝนหลวงที่เหมาะสมกับพื้นที่ป่าพรุโต๊ะแดง จำนวน 5 ตัวแปร ได้แก่ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต (RH) ความเร็วลมที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต (WS) ค่าดัชนีสภาพอากาศที่บอกความไม่เสถียรภาพของมวลอากาศในระดับล่าง (LI) และระดับบน (SI) รวมทั้งดัชนีที่บอกถึงศักยภาพในการก่อตัวในแนวตั้ง (KI) โดยรายละเอียดเป็นดังนี้ คือ ค่า $LI \leq 0$ $SI \leq 2.5$ $KI \geq 28.9$ $RH \geq 57.57\%$ และ $WS \leq 18$ นอต เมื่อนำข้อมูลการขึ้นบินปฏิบัติการบริเวณป่าพรุโต๊ะแดงในช่วงเดือนมีนาคม - มิถุนายน ปี พ.ศ. 2562 - 2564 มาทดสอบตามเกณฑ์เงื่อนไขที่กำหนด พบว่าการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อช่วยเหลือพื้นที่ศึกษาที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 100 และพื้นที่ป่าพรุโต๊ะแดงที่ได้รับผลประโยชน์เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 25

โครงการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่

กรณีศึกษา: พื้นที่ลุ่มรับน้ำเขื่อนบางลาง จังหวัดยะลา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่ บริเวณพื้นที่ลุ่มรับน้ำเขื่อนบางลาง จังหวัดยะลา เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการร้องขอรับบริการฝนหลวง เพื่อเติมน้ำให้กับเขื่อนและพื้นที่การเกษตร บริเวณพื้นที่ลุ่มรับน้ำเขื่อนบางลาง จังหวัดยะลา ประกอบกับใช้ผลิตภัณฑ์กระแสไฟฟ้าบริเวณพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวมีอุปสรรคเป็นอย่างมากต่อการตกของฝนเพราะเป็นพื้นที่ที่มีภูเขาสูงสลับซับซ้อนล้อมรอบ ทำให้เกิดงานวิจัยนี้และมีวัตถุประสงค์ 1. เพื่อศึกษาสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเมฆฝนบริเวณพื้นที่ศึกษา 2. เพื่อศึกษาลักษณะพฤติกรรมการเกิดเมฆฝนบริเวณพื้นที่ลุ่มรับน้ำเขื่อนบางลาง 3. เพื่อพัฒนารูปแบบการปฏิบัติการฝนหลวงที่เหมาะสม บริเวณพื้นที่ลุ่มรับน้ำเขื่อนบางลาง จังหวัดยะลา

การศึกษาสภาวะแวดล้อมลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเมฆฝนและศึกษาลักษณะพฤติกรรมการเกิดฝนในพื้นที่ศึกษา ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศจากสถานีเรดาร์ฝนหลวงพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 - 2562 ที่มีค่าการสะท้อนมากกว่า 20 dBz ด้วยวิธี Radar climatology analysis ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้ภาพแสดงข้อมูลความถี่ของการเกิดซ้ำของกลุ่มฝน และนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลฝนสะสมรายเดือนของกรมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลทิศทางและความเร็วลมที่เมฆก่อตัวที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต ของผลตรวจอากาศชั้นบนสถานีเรดาร์ฝนหลวงพนม จังหวัด สุราษฎร์ธานี ผลการศึกษาทำให้ได้ปฏิทินอากาศและพฤติกรรมเมฆฝนในพื้นที่ศึกษาช่วงปี พ.ศ. 2559 - 2562

การศึกษากำหนดเกณฑ์เงื่อนไขสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อพัฒนารูปแบบการปฏิบัติการ ฝนหลวงที่เหมาะสมกับพื้นที่ลุ่มรับน้ำเขื่อนบางลาง โดยศึกษาข้อมูลผลตรวจอากาศชั้นบนจากสถานีเรดาร์ฝนหลวงพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในวันที่มีฝนตกบริเวณพื้นที่ศึกษา ปี พ.ศ. 2559 - 2562 จำนวน 277 วัน นำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการ Box and Whisker Plot เพื่อศึกษาค่าพิสัยควอไทล์ (Inter Quartile Range) ซึ่งผลการศึกษาทำให้ได้ค่าเงื่อนไขใหม่ที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มโอกาสประสบผลสำเร็จในการปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่ โดย ค่า $LI \leq -0.3$ ค่า $SI \leq 1.9$ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ระดับความสูง 5,000 - 10,000 ฟุต มีค่า $\geq 63.3\%$ และค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต มีค่า ≤ 15.9 นอต จากเกณฑ์ค่าดัชนีและความเร็วลมสามารถช่วยให้โอกาสการขึ้นบินปฏิบัติการฝนหลวงได้รูปแบบการปฏิบัติการที่แม่นยำขึ้น

ตารางที่ จ1 รายละเอียดโครงการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่ 6 โครงการ

ปีงบประมาณ	โครงการ/หัวหน้าโครงการวิจัย	รายละเอียด
2563 - 2564	โครงการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่ กรณีศึกษา: พื้นที่เขตอำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา หัวหน้าโครงการ: พุทธิพันธ์ สุขุมลจันทร	 พื้นที่เขตอำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา
2563 - 2564	โครงการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่ กรณีศึกษา: พื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด หัวหน้าโครงการ: วิทยา อภิมาโล	 พื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด
2563 - 2564	โครงการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่ กรณีศึกษา: พื้นที่อำเภอตาพระยา อำเภอโคกสูง อำเภอวัฒนานคร อำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว หัวหน้าโครงการ: สรจักร ปลั่งดี	 พื้นที่อำเภอตาพระยา อำเภอโคกสูง อำเภอวัฒนานคร อำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว
2563 - 2564	โครงการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่ กรณีศึกษา: พื้นที่อำเภอสนมชัยเขต อำเภอทาดะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา หัวหน้าโครงการ: ปทาธิป มีแสงเงิน,	 พื้นที่อำเภอสนมชัยเขต อำเภอทาดะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา
2563 - 2564	โครงการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่ กรณีศึกษา: พื้นที่ป่าพรุโต๊ะแดง จังหวัดนราธิวาส หัวหน้าโครงการ: วรัชยา หนูทิม	 พื้นที่ป่าพรุโต๊ะแดง จังหวัดนราธิวาส
2563 - 2564	โครงการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่ กรณีศึกษา: พื้นที่ลุ่มรับน้ำเขื่อนบางลาง จังหวัดยะลา หัวหน้าโครงการ: สิ้นชัย พึ่งตำบล	 พื้นที่ลุ่มรับน้ำเขื่อนบางลาง จังหวัดยะลา

ตารางที่ จ2 สรุปเงื่อนไขสภาพอากาศของการปฏิบัติการในแต่ละพื้นที่

พื้นที่ศึกษา	ผลตรวจอากาศชั้นบน				
	LI	SI	KI	Wind Speed (5K - 10K)	RH. (5K - 10K)
พื้นที่อำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา	$\leq - 0.6$	≤ 0.8	≥ 35.2	≤ 15.6	$\geq 76.0\%$
พื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ในเขตพื้นที่อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด	- 2.4 ถึง - 0.6	- 1.0 ถึง 0.7	34.8 ถึง 38.1	6 - 16.0	$\geq 72.1\%$
พื้นที่อำเภอสนามชัยเขต อำเภอท่าตะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา	$\leq - 1$	≤ 1	≥ 30	≤ 20	$\geq 68.4\%$
พื้นที่อำเภอตาพระยา โคกสูง วัฒนานคร อรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว	$\leq - 1.50$	≤ 1.50	≥ 32.80	≤ 14.45	$\geq 71.33\%$
พื้นที่ป่าพุไต่แดง จังหวัดนราธิวาส	≤ 0.0	≤ 2.5	≥ 28.9	≤ 18	$\geq 57.5\%$
พื้นที่ลุ่มรับน้ำเขื่อนบางลาง จังหวัดยะลา	$\leq - 0.3$	≤ 1.9	-	≤ 15.9	$\geq 63.3\%$

ภาคผนวก ฉ
ลักษณะอากาศที่สำคัญในแต่ละฤดูกาล
ของกรมอุตุนิยมวิทยา

สรุปการจัดการความรู้ (KM) ประจำปี พ.ศ.2560
ศูนย์อู่ตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

เรื่อง
ลักษณะอากาศที่สำคัญในแต่ละฤดูกาล
ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โดย คณะกรรมการจัดการความรู้ส่วนพยากรณ์อากาศ

คำนำ

ตามคำรับรองการปฏิบัติราชการ ปีงบประมาณ 2560 ของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง (ศล.) ตัวชี้วัดที่ 4.1 ระดับความสำเร็จของการดำเนินการจัดการความรู้ของหน่วยงาน โดยคณะกรรมการจัดการความรู้ คส. ได้คัดเลือกแผนการจัดการความรู้ เรื่อง ลักษณะอากาศสำคัญในแต่ละฤดูกาลของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของส่วนพยากรณ์อากาศ เพื่อดำเนินการตามตัวชี้วัดดังกล่าว ซึ่งเป็นองค์ความรู้ที่จำเป็นต่อการผลักดันประเด็นยุทธศาสตร์ของกรมอุตุนิยมวิทยา ตามประเด็นยุทธศาสตร์ 4 "เพิ่มประสิทธิผลของงานอุตุนิยมวิทยา " นอกจากนั้นแล้วยังมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการทบทวนความรู้ให้กับนักอุตุนิยมวิทยา และเพิ่มพูนความรู้ทางด้านวิชาการอุตุนิยมวิทยาให้กับบุคลากรของ คส. ในสายงานอื่น พร้อมทั้งใช้เป็นคู่มือมาตรฐานการให้บริการของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างต่อไป

14 กรกฎาคม 2560

สรุปการจัดการความรู้ KM ศล. ปี พ.ศ. 2560
เรื่อง "ลักษณะอากาศที่สำคัญในแต่ละฤดูกาลของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ"

จากการจัดการความรู้ (KM) ของ ศล. สามารถสรุปลักษณะอากาศที่สำคัญในแต่ละฤดูกาลของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนี้

1. ฤดูร้อน ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะเริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคมปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาพอากาศของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่

1.1) หย่อมความกดอากาศต่ำเนื่องจากความร้อน (Heat low)

คือ พื้นที่ที่ได้รับความเข้มของแสงจากดวงอาทิตย์สูง ทำให้พื้นดินร้อนจัด อากาศใกล้ผิวพื้นร้อนกว่าบริเวณข้างเคียงถูกยกตัวขึ้นเกิดเป็นหย่อมความกดอากาศต่ำที่ผิวพื้น และสูงขึ้นไปในชั้นบรรยากาศเบื้องบนไม่มาก มักไม่มีการเคลื่อนที่ บริเวณหย่อมเกิดการพัดเวียนของลมระดับล่างอ่อน ๆ หย่อมความกดอากาศต่ำเนื่องจากความร้อนไม่มีการเกิดเมฆและฝน เนื่องจากขาดความชื้นในระดับกลางของชั้นบรรยากาศ หรือประมาณที่ระดับ 700 - 500 hPa

การพิจารณาหย่อมความกดอากาศต่ำเนื่องจากความร้อน

- จากแผนที่อากาศผิวพื้น จะมีหย่อมความกดอากาศต่ำบนแผ่นดิน และไม่มีบริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีนแผ่ลงมาปกคลุมเลย

- แผนที่ลมชั้นบน จะมี Cyclonic Vortex ที่ระดับ 925 hPa และที่ระดับ 850 hPa ส่วนระดับสูงขึ้นไปเป็น Anticyclonic Vortex



1.2) ความกดอากาศสูงในฤดูร้อน

1.2.1) ความกดอากาศสูงหรือมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนถ้าแผ่ลงมาปกคลุมถึงประเทศไทยตอนบน จะทำให้เกิดการปะทะกันของมวลอากาศเย็น กับมวลอากาศร้อนที่ปกคลุมประเทศไทยอยู่ก่อนหน้า ทำให้เกิดการยกตัวของกระแสอากาศอย่างฉับพลัน ก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง ลมกระโชกแรง และอาจมีลูกเห็บตกเกิดขึ้น หรือที่เรียกว่า **พายุฤดูร้อน** และในกรณีที่ความกดอากาศสูงแผ่ลงมาแรง ๆ จะทำให้อุณหภูมิลดลงได้ถึง 10 องศาเซลเซียส



1.2.2) ความกดอากาศสูงจากมหาสมุทรแปซิฟิก (Pacific High) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของบริเวณความกดอากาศสูงกึ่งเขตร้อน (Subtropical High) โดย ความกดอากาศสูงจากมหาสมุทรแปซิฟิก (Pacific High) นี้ จะมีกำลังแรงที่สุดในฤดูร้อน และจะปรากฏเห็นเด่นชัดอยู่บริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือด้านตะวันออก บางครั้งความกดอากาศสูงนี้จะแผ่มาถึงด้านตะวันออกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้เกิดการพัดสอบเข้าหากันของลมฝ่ายตะวันออกและลมฝ่ายใต้ ก่อให้เกิดฝนฟ้าคะนองเพิ่มขึ้นได้ แต่ผลกระทบต่อสภาวะอากาศจะไม่รุนแรงเท่าผลกระทบจากการแผ่ลงมาปะทะของความกดอากาศสูงจากประเทศจีน

2. ฤดูฝน ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะเริ่มต้นตั้งแต่มิถุนายนถึงกลางเดือนตุลาคมปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาพอากาศของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่

2.1) ร่องความกดอากาศต่ำ (Low Pressure Trough)

คือ บริเวณแนวของหย่อมความกดอากาศต่ำที่อยู่ระหว่างความกดอากาศสูงของทั้งสองซีกโลก แนวร่องความกดอากาศต่ำนี้จะวางตัวในแนวค่อนข้างจะเป็นตะวันตก - ตะวันออก ในการลากแผนที่อากาศผิวพื้นจะลากเชื่อมระหว่างหย่อมความกดอากาศต่ำ



ความแรงของร่องความกดอากาศต่ำ จะขึ้นอยู่กับ

- 1) ความแคบ หรือการถูกบีบโดยบริเวณความกดอากาศสูงจากทั้งสองซีกโลก ยิ่งแคบยิ่งแรง)
- 2) ระยะห่างระหว่างหย่อมความกดอากาศต่ำ (ยิ่งถี่ยิ่งแรง)
- 3) จำนวนหย่อมความกดอากาศต่ำที่ประกอบขึ้นเป็นร่องความกดอากาศต่ำ (ยิ่งมากยิ่งแรง)

ลักษณะอากาศที่เกิดขึ้น

ลักษณะอากาศในแนวร่องความกดอากาศต่ำจะแปรปรวน อากาศมีการยกตัว ทำให้บริเวณแนวร่องจะมีเมฆก่อตัวได้ดี ทำให้มีเมฆมากและมีฝนตกได้มากกว่าพื้นที่ที่อยู่นอกแนวร่อง โดยลักษณะฝนที่ตกจะตกได้หลายเวลา ฝนจะตกต่อเนื่อง บริเวณที่เป็นหย่อมความกดอากาศต่ำจะมีฝนตกหนักเกิดขึ้น หย่อมความกดอากาศนี้จะเคลื่อนตัวตามแนวร่องจากตะวันออกไปตะวันตก

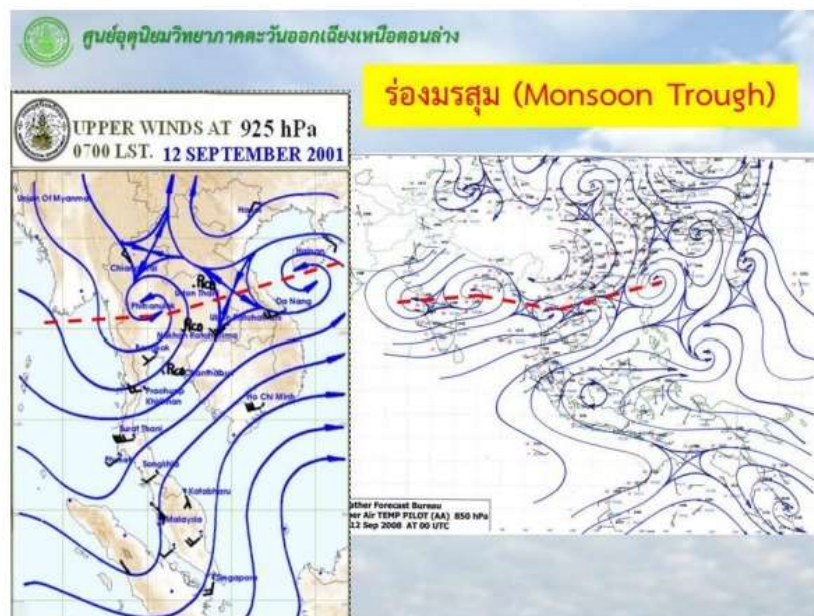
การเคลื่อนตัวของแนวร่องความกดอากาศต่ำ

แนวร่องความกดอากาศต่ำจะเลื่อนขึ้นและเลื่อนลงตามแนวดันของบริเวณความกดอากาศสูงจากทั้งสองซีกโลก ซึ่งโดยปกติจะเลื่อนขึ้นเหนือในช่วงต้นฤดูฝนจากอิทธิพลของบริเวณความกดอากาศสูงจากซีกโลกใต้ที่มีกำลังแรงขึ้น และจะเลื่อนจากเหนือลงใต้ในช่วงปลายฤดูฝนหลังจากที่เคลื่อนตัวไปพาดผ่านอยู่บริเวณประเทศจีนตอนใต้

ร่องความกดอากาศต่ำอาจมีได้สองร่องเมื่อมีความกดอากาศสูงจากมหาสมุทรแปซิฟิกเข้ามาแทรกที่เราเรียกว่า Secondary Trough โดยตัวร่องหลักจะพาดอยู่บริเวณประเทศจีนตอนใต้ และร่องที่สองจะพาดอยู่บริเวณประเทศไทย แต่มักจะมีกำลังไม่ค่อยแรง โดยวางตัวจากชายฝั่งประเทศอินเดีย ผ่านอ่าวเบงกอล ประเทศไทยไปยังชายฝั่งประเทศเวียดนาม ในการลากแผนที่อากาศผิวพื้น จะลากเป็นเส้นคู่ที่ลากเชื่อมระหว่างหย่อมความกดอากาศต่ำ ส่วนระยะห่างของเส้นคู่ขนานไม่ได้กำหนดไว้เป็นการเฉพาะอย่างชัดเจน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมตามสเกลของแผนที่นั้น ๆ โดยปกติจะห่างกันประมาณ 2 ละติจูด

2.2) ร่องมรสุม (Monsoon Trough)

เป็นร่อง หรือ Trough ที่เกิดขึ้นในกระแสลมชั้นบนจากการพัดโค้ง (Cyclonic Curvature) หรือพัดเป็นวงก้นหอยเข้าหาศูนย์กลาง (Cyclonic Vortex) ของกระแสลมในลักษณะทวนเข็มนาฬิกาในซีกโลกเหนือ ซึ่งสามารถต่อเชื่อมเป็นแนวยาว ที่เกือบจะเป็นตะวันตก - ตะวันออก เช่นเดียวกับร่องความกดอากาศต่ำ



ลักษณะการพัดของกระแสลมของร่องมรสุม

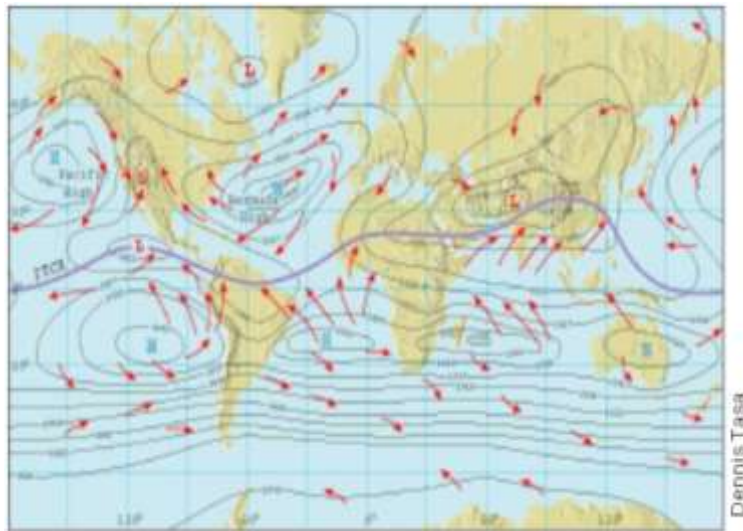
เกิดจากการพัดเวียนรอบ ๆ หย่อมความกดอากาศต่ำกำลังแรงที่ปรากฏในระดับผิวพื้น หรือลักษณะที่เกิดจากการพัดเฉือนกัน (Shear) ของลมสองกระแสที่มีทิศทางต่างกัน หรือมีทิศทางเดียวกันแต่มีความเร็วต่างกัน ในแผนที่ลมชั้นบนจะลากแกนกลางของ Trough ด้วยเส้นประหนาเชื่อมต่อระหว่าง Vortex

ลักษณะอากาศที่เกิดขึ้น

ลักษณะอากาศในแนวร่องมรสุมจะแปรปรวน อากาศมีการยกตัวได้ดี ทำให้บริเวณแนวร่องมรสุมมีเมฆมากและมีฝนตกได้มากกว่าพื้นที่ที่อยู่นอกแนวร่องมรสุม บริเวณที่เป็น Vortex จะมีฝนตกต่อเนื่องและมีฝนตกหนักได้ Vortex นี้เคลื่อนตัวจากตะวันออกไปตะวันตกตามกระแสอากาศหลักในเขตร้อน แนวนี้จะเลื่อนขึ้น - ลง ไปยังละติจูดสูงและต่ำเช่นเดียวกับร่องความกดอากาศต่ำ

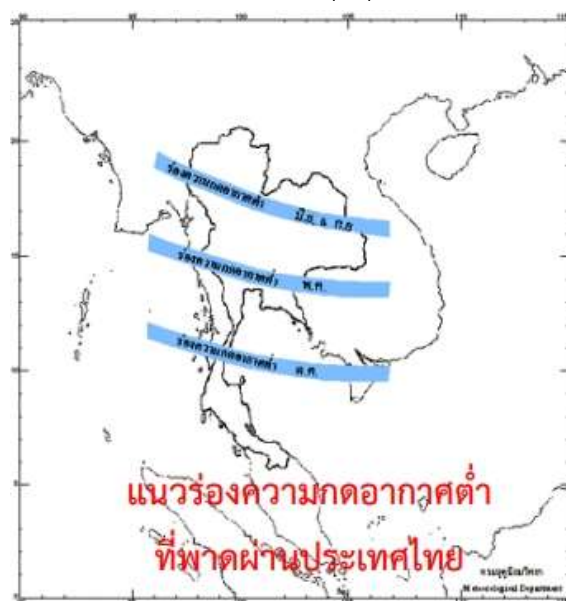
2.3) แนวพัดสอบเข้าหากันของลมค้า (Inter Tropical Convergence Zone: ITCZ)

เกิดจากการพัดเข้าหากันของลมค้าจากทั้งสองซีกโลก โดยต้นกำเนิดของลมค้าทั้งสองจะอยู่บริเวณประมาณละติจูดที่ 30 องศาเหนือใต้ หรือที่เรียกว่าพื้นที่กึ่งเขตร้อน เป็นพื้นที่จมตัวของอากาศตามการหมุนเวียนของ Hadley Cell โดยในซีกโลกเหนือจะเป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในซีกโลกใต้จะเป็นลมตะวันออกเฉียงใต้ แนวพัดสอบนี้จะเลื่อนขึ้นและลงตามฤดูกาล กล่าวคือจะพัดผ่านอยู่บริเวณซีกโลกเหนือในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน เช่นเดียวกับร่องความกดอากาศต่ำ ลักษณะการพัดของกระแสลมในเขตแนวพัดสอบกระแสลมไม่มีการหมุนเวียนเกิดขึ้น



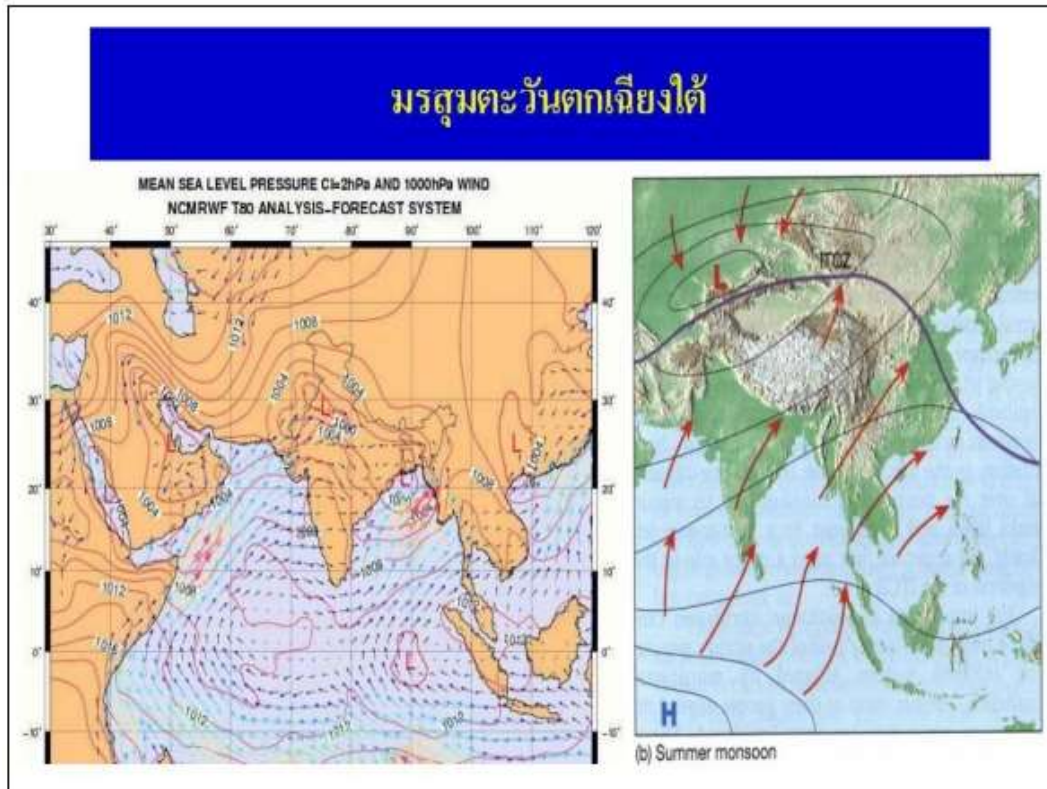
ลักษณะอากาศที่เกิดขึ้น

ลักษณะอากาศในแนวของแนวพัดสอบจะมีการยกตัวของอากาศได้ดี ทำให้มีเมฆมากและมีฝนตกได้มากกว่าบริเวณอื่น ๆ และบ่อยครั้งที่มีการก่อตัวของพายุหมุนเขตร้อนเกิดขึ้นด้วย



2.4) มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (Southwest Monsoon)

เป็นลมที่พัดปกคลุมภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยในช่วงฤดูฝน โดยพัดจากทะเลอันดามัน และมหาสมุทรอินเดีย และเป็นตัวนำความชื้นจากทะเลเข้ามาบนแผ่นดิน



การพิจารณาการเริ่มเข้าสู่ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

พิจารณาจาก ลมที่พัดปกคลุมประเทศไทยได้เปลี่ยนเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ พัดพาความชื้นจากทะเลอันดามันเข้ามาปกคลุมประเทศไทยอย่างชัดเจนและต่อเนื่อง ส่วนลมระดับบนจะเป็นลมตะวันออกพัดปกคลุมและบริเวณประเทศไทยมีฝนตกต่อเนื่องเกือบทั่วไป โดยเฉพาะบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันตก

พิจารณามรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่มีกำลังแรง

- พิจารณาแผนที่อากาศผิวพื้นจะมีหย่อมความกดอากาศกำลังแรงปกคลุมอยู่บริเวณประเทศอินเดีย ต่อเนื่องขึ้นไปถึงทิเบต และมีบริเวณความกดอากาศสูงอยู่บริเวณซีกโลกใต้
- พิจารณาแผนที่ลมชั้นบน
- เป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ ตั้งแต่ระดับผิวพื้นจนถึงระดับความสูง 850 hPa พิจารณาวามีกำลังปานกลาง
- เป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ ตั้งแต่ระดับผิวพื้นจนถึงระดับความสูง 700 hPa พิจารณาวามีกำลังค่อนข้างแรง
- เป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ ตั้งแต่ระดับผิวพื้นจนถึงระดับความสูง 500 hPa พิจารณาวามีกำลังแรง
- ทิศทางลมระดับความสูง 300 hPa ขึ้นไป เป็นทิศตะวันออก

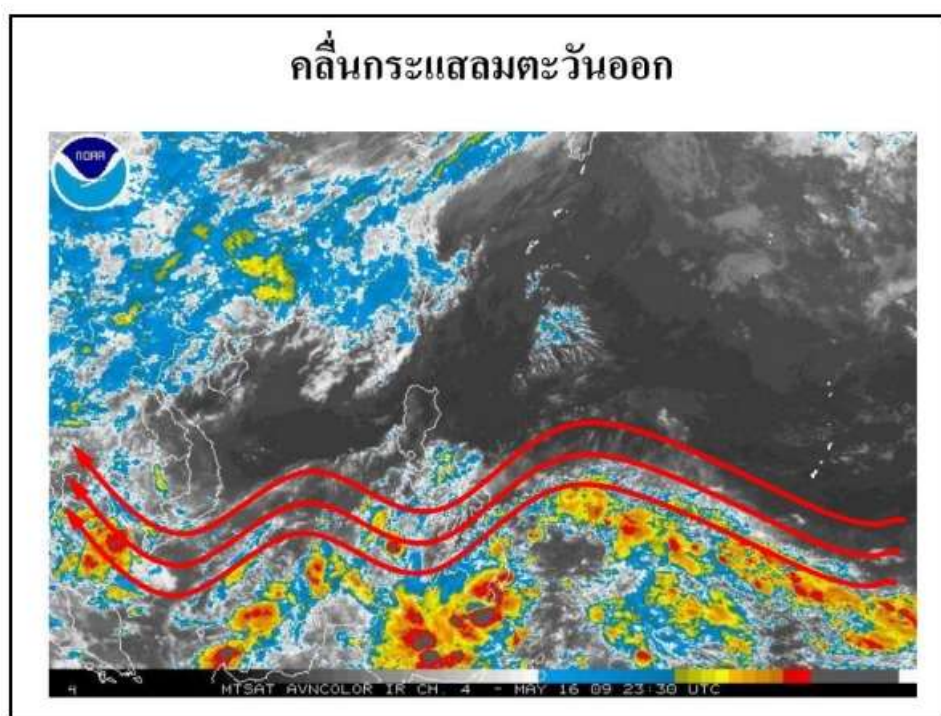
พิจารณาการรบกวนตะวันตกเฉียงใต้ที่มีกำลังไม่แรง

- พิจารณาแผนที่อากาศผิวพื้นจะเห็นว่าหย่อมความกดอากาศกำลังแรงที่ปกคลุมอยู่บริเวณประเทศอินเดียต่อเนื่องขึ้นไปถึงทิเบตมีกำลังอ่อนลงหรือมีบริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศรัสเซียเข้ามาปกคลุมและบริเวณความกดอากาศสูงที่อยู่บริเวณซีกโลกใต้มีกำลังอ่อนลง

- พิจารณาแผนที่ลมชั้นบน มรสุมมีกำลังอ่อน จะเห็นว่าเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ถึงที่ระดับไม่เกิน 850 hpa ส่วนลมระดับสูงขึ้นไปจะเป็นลมตะวันตกหรือตะวันตกเฉียงเหนือ

2.5) คลื่นกระแสลมตะวันออก (Easterly Wave)

คือ คลื่นยาวที่เกิดขึ้นในแนวเขตของกระแสลมค้า หรืออยู่ที่ประมาณ 5 - 15 องศาเหนือและใต้ คลื่นกระแสลมตะวันออกจะเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก ลมตะวันออกที่พัดอ่อนสลับกับแรงทำให้เกิดเป็นคลื่นได้ และบริเวณที่มีการพัดสอเข้าหากันของกระแสลม ทำให้มีอากาศร้ายที่ยกตัวอย่างรุนแรง ซึ่งระดับความสูงที่ 500 - 300 hPa เป็นระดับที่มีการยกตัวมากที่สุด คลื่นกระแสลมตะวันออกที่มีกำลังอ่อน - ปานกลางจะสามารถมีความแรงมากที่สุดถึงระดับ 700 - 500 hPa ต่อจากนั้นความแรงจะลดลง ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความกดอากาศในรอบ 24 ชั่วโมง เมื่อคลื่นกระแสลมตะวันออกเคลื่อนที่ผ่านสถานี จะเห็นว่าด้านหน้าของคลื่น ความกดอากาศจะลดลงมาก โดยการเปลี่ยนแปลงความกดอากาศในรอบ 24 ชั่วโมงจะมีค่าลดลง ส่วนด้านหลังคลื่นความกดอากาศจะเพิ่มขึ้น

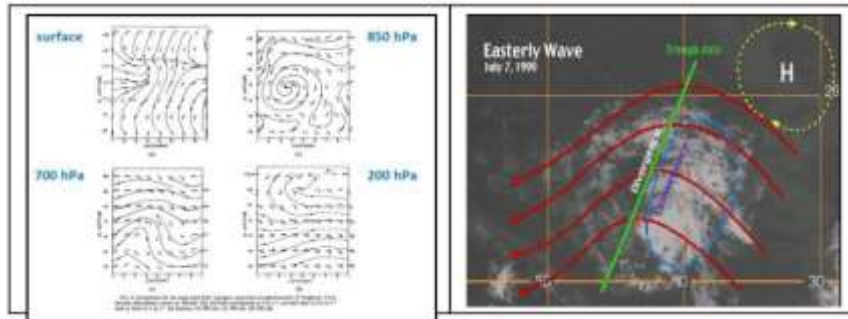


ลักษณะอากาศที่เกิดขึ้น

ด้านหน้าของคลื่นอากาศจมตัว จะมีลักษณะอากาศดี ส่วนหลังคลื่นมีลักษณะของเมฆฝน หรืออยู่ในรูปแบบของหย่อมความกดอากาศต่ำ เป็นต้น

การพิจารณาคลื่นกระแสลมตะวันออก

- แผนที่อากาศผิวพื้น จะมีบริเวณความกดอากาศสูงจากมหาสมุทรแปซิฟิกที่แผ่เข้ามา
- แผนที่ลมชั้นบนที่ระดับ 700 - 500 hPa ลงมาสามารถมองเห็นเป็นคลื่นได้อย่างชัดเจน



2.6) พายุหมุนเขตร้อน

มีแหล่งกำเนิดในทะเลหรือมหาสมุทร และเป็นพายุที่ทวีกำลังแรงขึ้นจากหย่อมความกดอากาศต่ำกำลังแรง ซึ่งหย่อมความกดอากาศต่ำพิจารณาได้ดังนี้

- **Dynamic Low Pressure Cell** เป็นหย่อมความกดอากาศต่ำที่มีลมพัดเวียนเข้าหาศูนย์กลางในชั้นบรรยากาศระดับล่าง หรือเกิดการหมุนเวียนจากลมที่พัดสวนทางกัน หรือลมที่มีทิศทางเดียวกันแต่มีความเร็วต่างกัน ที่เราเรียกว่า Wind Shear สามารถแบ่งได้เป็น

1) Active Low เป็นหย่อมความกดอากาศต่ำที่ไม่ได้เกิดจากความร้อน แต่มีการหมุนเวียนของลมจะมีเมฆและฝนได้ ทำให้เกิดเป็นหย่อมความกดอากาศต่ำจากบน - ล่าง และล่าง - บน หย่อมความกดอากาศต่ำกำลังแรงนี้ยังพบได้ในบริเวณแนวร่องความกดอากาศต่ำกำลังแรง หรือแนวร่องมรสุมกำลังแรง

2) Heat Low เป็น Dynamic Low ตื้น ๆ เป็นหย่อมความกดอากาศต่ำที่เกิดจากการพาความร้อน อากาศยกตัวดีมีเฉพาะการหมุนเวียนของลมแต่ไม่มีความขึ้น ที่ระดับความสูง 850 - 700 hPa อากาศจะจมตัวพบในฤดูร้อน

- **Relative Low Pressure Cell** ส่วนใหญ่เปรียบเทียบกับความกดอากาศกับบริเวณใกล้เคียงพบได้ทั้งบนแผ่นดินและเหนือผิวน้ำ หย่อมความกดอากาศต่ำนี้มีอายุค่อนข้างสั้น ไม่มีความต่อเนื่อง บางเวลาวิเคราะห์เห็น บางเวลาก็หายไป ทำให้ไม่มีการก่อตัวของเมฆและฝน ไม่มีลักษณะอากาศเกิดขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการก่อตัวของพายุหมุนเขตร้อน

- ก่อตัวเหนือผิวน้ำในทะเลหรือมหาสมุทรเท่านั้น โดยมีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลอย่างน้อย 26 องศาเซลเซียสขึ้นไป
- ต้องเป็นหย่อมความกดอากาศต่ำก่อน
- อยู่ในละติจูดไม่น้อยกว่า 5 องศา
- มี Divergence ในระดับบน

- มีลมเฉือนในแนวตั้งน้อย หรือไม่มี เนื่องจากลมเฉือนในแนวตั้งในระดับที่รุนแรงจะเป็นการหยุดยั้งการก่อตัวของแกนกลางที่อุ่นซึ่งเป็นการระงับการเจริญเติบโตของพายุ

- Gyre คือ ลมในทะเลที่หมุนเวียนเข้าหาศูนย์กลาง อาจเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดพายุหมุนเขตร้อนได้
- อยู่ภายใน ITCZ

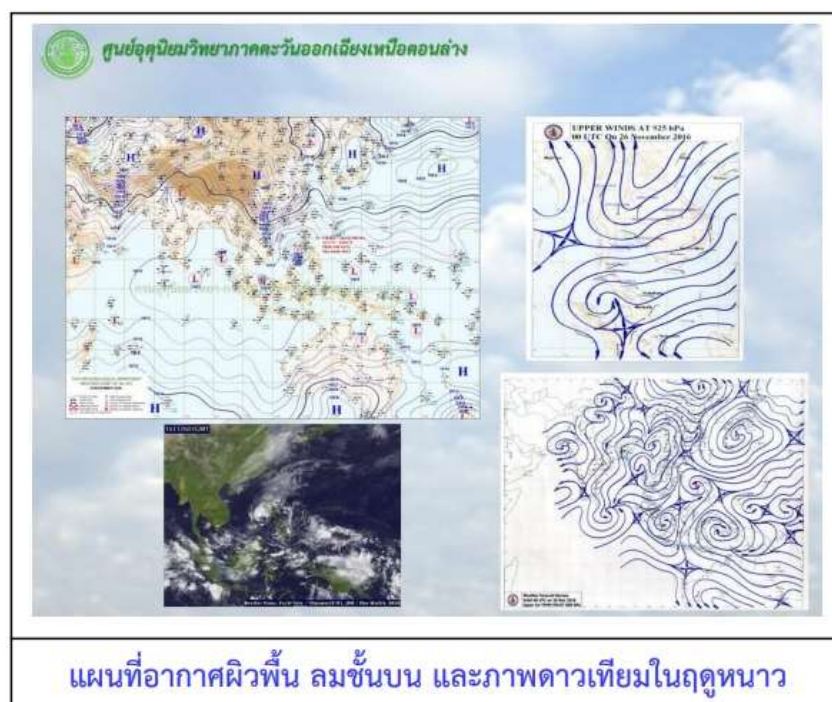
3. ฤดูหนาว ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะเริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาพอากาศของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่

3.1) บริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีน

เป็นมวลอากาศเย็นที่แผ่ลงมาจากประเทศจีนทางภาคพื้นดิน ซึ่งจะนำเอาอากาศแห้งและเย็นเข้ามาปกคลุม ทำให้มีอากาศหนาวเย็น แต่ถ้าแผ่ลงมาจากทะเลจีนใต้เข้ามาปกคลุมจะนำเอาอากาศชื้นจากทะเลเข้ามาปกคลุมด้วยนั้นทำให้เกิดฝนละอองขึ้นได้

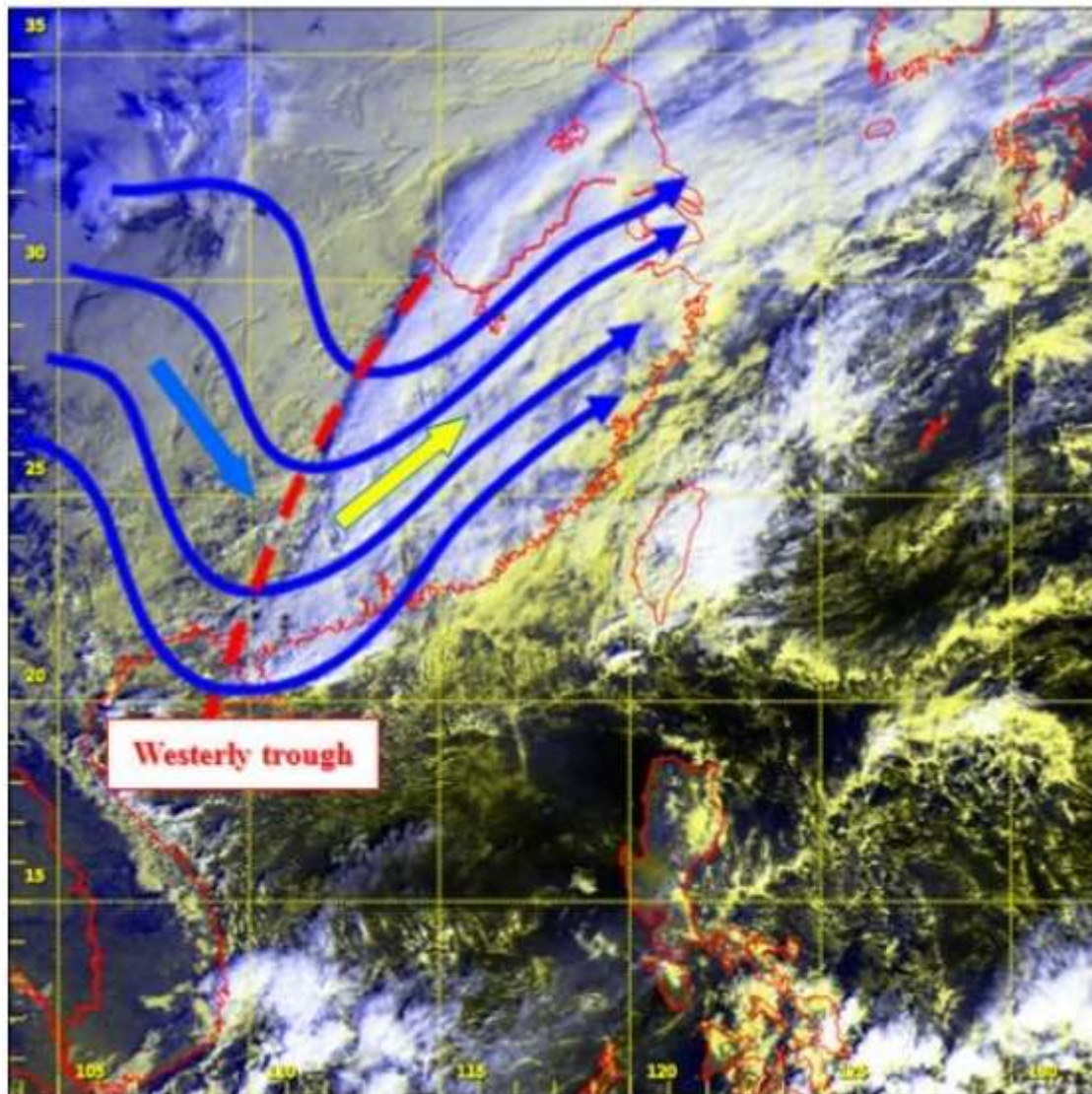
การพิจารณาบริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีน

- จากแผนที่อากาศผิวพื้น เส้นความกดอากาศจะเป็นรูปแบบกลมหรือแผ่กว้าง ถ้าเส้นความกดอากาศเท่ามีความถี่มาก ๆ แสดงว่าจะมีลมแรงเกิดขึ้น
- พิจารณามีระบบตัวขวางกันมวลอากาศเย็น ได้แก่แนวปะทะอากาศ หรือ Trough ที่อยู่บริเวณด้านตะวันออกของประเทศจีน ประเทศญี่ปุ่น หรือบริเวณประเทศเกาหลี หรือไม่
- ลมที่พัดปกคลุมจะเป็นลมเหนือ หรือลมตะวันออกเฉียงเหนือ
- การกำหนดศูนย์กลางความแรงของความกดอากาศสูง ถ้าศูนย์กลางของความกดอากาศสูงเป็น 1030 hPa แสดงว่า ความกดอากาศสูงมีกำลังปานกลาง เป็น 1045 hPa แสดงว่า ความกดอากาศสูงมีกำลังค่อนข้างแรง และศูนย์กลางของความกดอากาศสูงเป็น 1050 hPa แสดงว่า ความกดอากาศสูงมีกำลังแรง

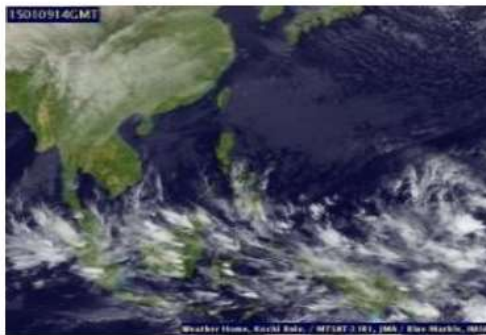
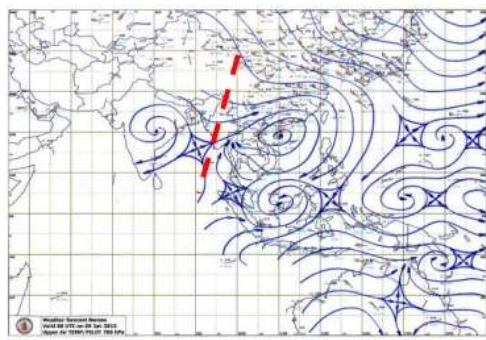
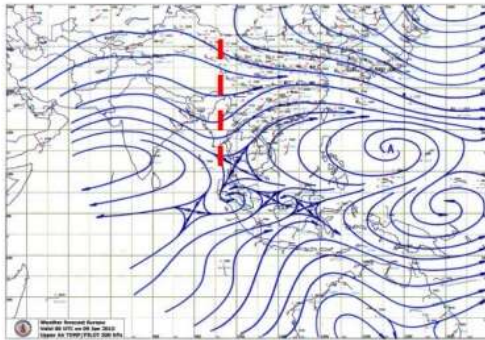
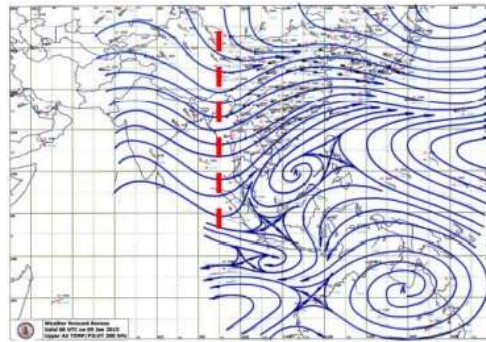
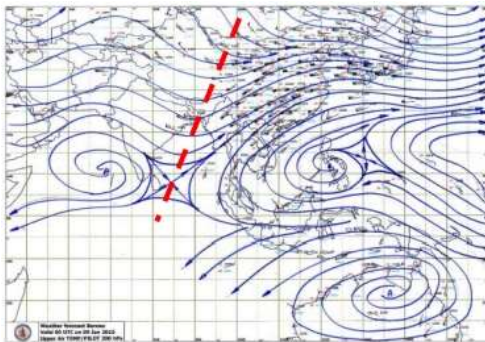
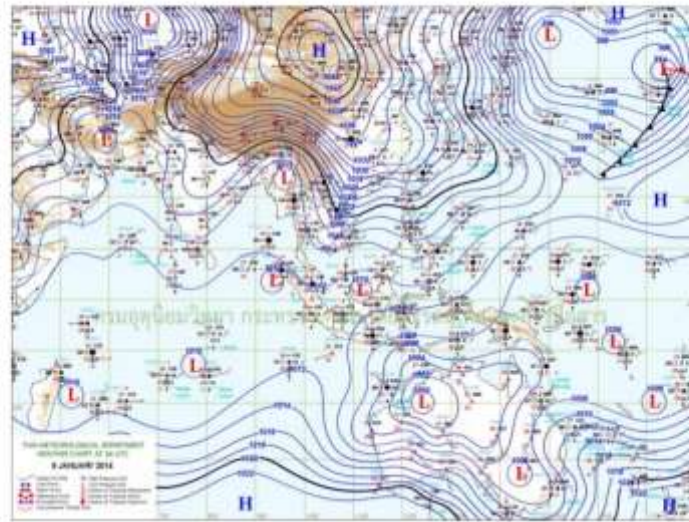


3.2) คลื่นกระแสลมตะวันตก (Westerly Trough)

เป็นร่องความกดอากาศต่ำที่เกิดขึ้นในแนวของกระแสลมตะวันตกบริเวณละติจูดกลาง มีแกนวางตัวในแนวเหนือ - ใต้ โดยปกติจะเคลื่อนตัวจากทิศตะวันตกไปทางตะวันออก ทางด้านหน้าของ Trough จะเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนทางด้านหลังของ Trough เป็นกระแสลมตะวันตกเฉียงเหนือ เมื่อ Trough เคลื่อนที่ผ่านลมจะเปลี่ยนทิศจากตะวันตกเฉียงใต้เป็นตะวันตกเฉียงเหนือทันที ถ้าอากาศมีความชื้นเพียงพอ จะทำให้เกิดเมฆ และมีฝนตกบริเวณหน้า Trough ฝนที่ตกจะเป็นพายุฝนฟ้าคะนองเกิดชั่วคราว แต่มีความรุนแรง ส่วนบริเวณหลัง Trough อากาศจะจมตัว ไม่มีฝน



แผนที่อากาศผิวพื้น ลมชั้นบน และภาพดาวเทียมที่มีคลื่นกระแสลมตะวันตกพัดผ่าน



ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง. (2560) . ลักษณะอากาศที่สำคัญในแต่ละฤดูกาลของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. สรุปรการจัดการความรู้ (KM) ประจำปี พ.ศ.2560, ค้นหาเมื่อ 1 มีนาคม 2562, จาก <http://www.ubonmet.tmd.go.th/files/KM - base/Fc - 1.pdf>

ภาคผนวก ข

สรุปข้อมูลพลุสารดูดความชื้น (Hygroscopic Flare)

ที่มา: ศูนย์วิจัยพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการบินและอวกาศ กองทัพอากาศ

สรุปข้อมูลพลุสารดูดความชื้น (Hygroscopic Flare)

พลุสารดูดความชื้นสูตรโซเดียมคลอไรด์

รูปร่างลักษณะและขนาด

- ทรงกระบอกสีฟ้า เส้นผ่านศูนย์กลาง 680 มม. ยาว 270 มม.
- น้ำหนัก/มัด ประมาณ 1,000 กรัม
- น้ำหนักสารไพโรเทคนิค 680 กรัม
- กระแสจุดตัว 1.25 แอมแปร์
- กระแสสูงสุดที่ไม่จุดตัว 1.25 แอมแปร์
- ความต้านทานตัวจุด 1 - 2 โอห์ม
- ระยะเวลาเผาไหม้ 5 นาที
- อุณหภูมิเผาไหม้ ประมาณ 1,300 องศาเซลเซียส
- สารที่เกิดจากการเผาไหม้ พลุสารสูตรโซเดียมคลอไรด์ 1 มัด ให้ควันโซเดียมคลอไรด์ 171.5 กรัม คิดเป็น 1.76 ล้านล้านล้านล้าน อนุภาค ขนาด 0.7 ไมโครเมตร

การเก็บรักษา

- อุณหภูมิสถานที่เก็บสูงสุดที่พลุไม่จุดตัว ไม่เกิน 75 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิที่สารส่วนประกอบพลุไม่เกิดการสลายตัว ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
- สถานที่เก็บรักษา อาคารที่โปร่งระบายอากาศได้ดี แห้ง ไม่มีความชื้นและอุณหภูมิสูง



พลุสารดูดความชื้นสูตรแคลเซียมคลอไรด์

รูปร่างลักษณะและขนาด

- ทรงกระบอกสี่เหลี่ยม เส้นผ่านศูนย์กลาง 680 มม. ยาว 270 มม.
- น้ำหนัก/นัด ประมาณ 1,000 กรัม
- น้ำหนักสารไพโรเทคนิค 720 กรัม
- กระแสจุดตัว 1.25 แอมแปร์
- กระแสสูงสุดที่ไม่จุดตัว 1.25 แอมแปร์
- ความต้านทานตัวจุด 1 - 2 โอห์ม
- ระยะเวลาเผาไหม้ 5 นาที
- อุณหภูมิเผาไหม้ ประมาณ 1,300 องศาเซลเซียส
- สารที่เกิดจากการเผาไหม้ พลุสารสูตรแคลเซียมคลอไรด์ 1 นัดให้ควันแคลเซียมคลอไรด์ 140 กรัม คิดเป็น 75,000 ล้านล้านล้านอนุภาค ขนาด 0.7 ไมโครเมตร

การเก็บรักษา

- อุณหภูมิสถานที่เก็บสูงสุดที่พลุไม่จุดตัว ไม่เกิน 75 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิที่สารส่วนประกอบพลุไม่เกิดการสลายตัว ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
- สถานที่เก็บรักษา อาคารที่โปร่งระบายอากาศได้ดี แห้ง ไม่มีความชื้นและอุณหภูมิสูง



พลุซิลเวอร์ไอโอดีน

รูปร่างลักษณะและขนาด

- ทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. ยาว 127 มม.
- น้ำหนัก/น้ต ประมาณ 47 กรัม
- น้ำหนักสารไพโรเทคนิค 40 กรัม
- กระแสจุดตัว 3 แอมแปร์/4.25 แอมแปร์
- กระแสสูงสุดที่ไม่จุดตัว 0.18 แอมแปร์/1 แอมแปร์
- ความต้านทานตัวจุด 0.5 - 1 โอห์ม/ 0.8 - 1.2 โอห์ม
- ระยะเวลาเผาไหม้ ไม่น้อยกว่า 40 วินาที เมื่อจุดที่พื้น
- สารที่เกิดจากการเผาไหม้ AgI 24 กรัม อนุภาค ขนาด 0.25 ไมโครเมตร



