สรุปถอดบทเรียน

จากการปฏิบัติการฝนหลวง ๒๕๖๓

โครงการ “สัมมนาการจัดทำ AFTER ACTION REVIEW
ถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง”

กลุ่มวิชาการปฏิบัติการฝนหลวง
กองปฏิบัติการฝนหลวง

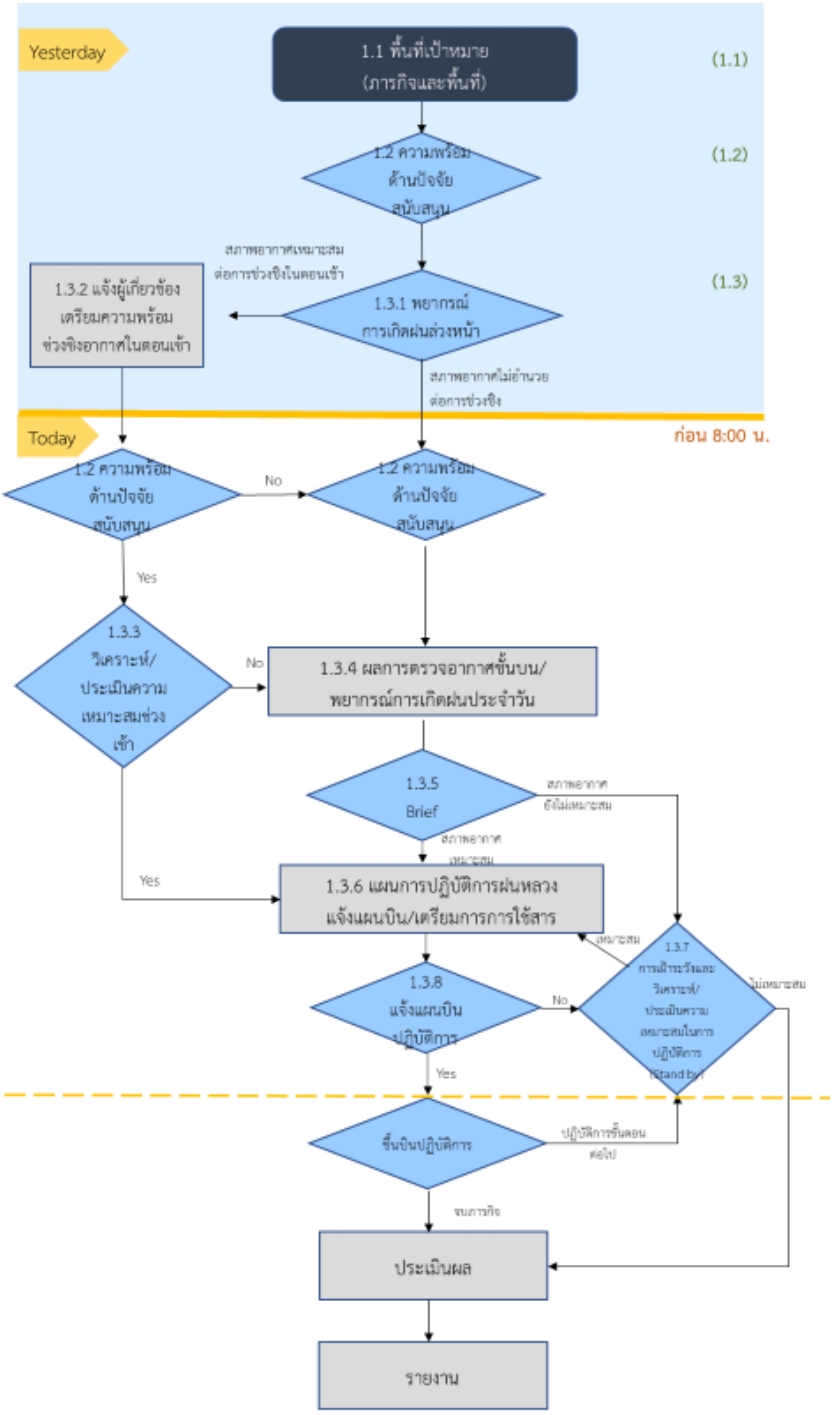
สารบัญ

หน้า

๑. การวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน ๑
๑.๑ พื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวง ๒
๑.๑.๑ การบรรเทาปัญหาหมอกควันและไฟป่า ๒
๑.๑.๒ การยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ ๒
๑.๑.๓ การป้องกันและแก้ไขภัยแล้ง ๓
๑.๑.๔ การเติมน้ำต้นทุนให้เขื่อนกักเก็บน้ำ ๕
๑.๒ ความพร้อมด้านปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน ๕
๑.๓ การวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและการตัดสินใจปฏิบัติการฝนหลวง ๗
๑.๓.๑ การพยากรณ์อากาศล่วงหน้า ๘
๑.๓.๒ แจ้งผู้เกี่ยวข้องเตรียมความพร้อมช่วงชิงสภาพอากาศในตอนเช้า ๙
๑.๓.๓ วิเคราะห์/ประเมินความเหมาะสมช่วงเช้า ๙
๑.๓.๔ ผลการตรวจอากาศชั้นบน/พยากรณ์การเกิดฝน,ลูกเห็บประจำวัน ๙
๑.๓.๕ การประชุมเพื่อตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวง (Brief) ๑๒
๑.๓.๖ แผนการปฏิบัติการฝนหลวง แจ้งแผนบิน/เตรียมการใช้สาร ๑๓
๑.๓.๗ การเฝ้าระวังและวิเคราะห์/ประเมินความเหมาะสมในการปฏิบัติการ (Stand by) ๑๓
๑.๓.๘ การแจ้งแผนบินปฏิบัติการ ๑๓
๒. การปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการทำฝน ๑๔
๒.๑ การเตรียมสารฝนหลวง ๑๔
๒.๒ การปฏิบัติการฝนหลวงตามตำราฝนหลวง ๑๖
๒.๒.๑ ขั้นตอนที่ ๑ ๑๗
๒.๒.๒ ขั้นตอนที่ ๒ ๑๙
๒.๒.๓ ขั้นตอนที่ ๓ ๒๐
๒.๒.๔ ขั้นตอนที่ ๔ ๒๒
๒.๒.๕ ขั้นตอนที่ ๕ ๒๓
๒.๒.๖ ขั้นตอนที่ ๖ ๒๕
๒.๓ การปฏิบัติการยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ ๒๕
๒.๔ การปฏิบัติการบรรเทาหมอกควันและไฟป่า ๒๖
๒.๕ ภารกิจการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอุ่นโดยใช้พลุสารดูดความชื้น ๒๗
๒.๖ เงื่อนไขที่สำคัญของการปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการทำฝน ๒๗
๓. การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง ๒๙
๓.๑ หลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน ๒๙
๓.๒ หลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละภารกิจ ๓๕

1. การวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

การวางแผนและการตัดสินใจปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานต่างๆ เพื่อพิจารณากำหนดวิธีการที่เหมาะสมในการปฏิบัติการฝนหลวง รวมทั้งเพื่อสร้างหลักเกณฑ์ของการตัดสินใจขึ้นบินปฏิบัติการฝนหลวงตามภารกิจประจำวัน แสดงดังภาพที่ 1.1 กระบวนการวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน



ภาพที่ 1.1 กระบวนการวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

1.1 พื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวง

การวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายการช่วยเหลือประจำวัน จะพิจารณาจากเกณฑ์ข้อมูลพื้นฐาน และข้อมูลบ่งชี้ความต้องการฝนต่างๆ แยกตามภารกิจของการปฏิบัติ โดยสามารถแบ่งการปฏิบัติการออกเป็น 4 ภารกิจตามแผน ดังนี้

1) การบรรเทาปัญหาหมอกควันและไฟป่า

2) การยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ

3) การป้องกันและแก้ไขภัยแล้ง

4) การเติมน้ำต้นทุนให้เขื่อนกักเก็บน้ำ

1.1.1 การบรรเทาปัญหาหมอกควันและไฟป่า

1.1.1.1 การสร้างความชุ่มชื้นและดับไฟป่า

ประเทศไทยมักประสบปัญหาไฟป่าในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งและช่วงที่มีฝนทิ้งช่วง ซึ่งสร้างความเสียหายต่อระบบนิเวศและส่งผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบ กรมฝนหลวงและการบินเกษตรมีการวางแผนในการบรรเทาปัญหาหมอกควันและไฟป่า ดังนี้

1) การสร้างความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เสี่ยงการเกิดไฟป่า
2) การดับไฟป่า โดยการปฏิบัติการฝนหลวง และสนับสนุนเฮลิคอปเตอร์สำหรับการทิ้งน้ำดับไฟ หากมีการร้องขอ

1.1.1.2 การปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อบรรเทาและลดความหนาแน่นของหมอกควัน

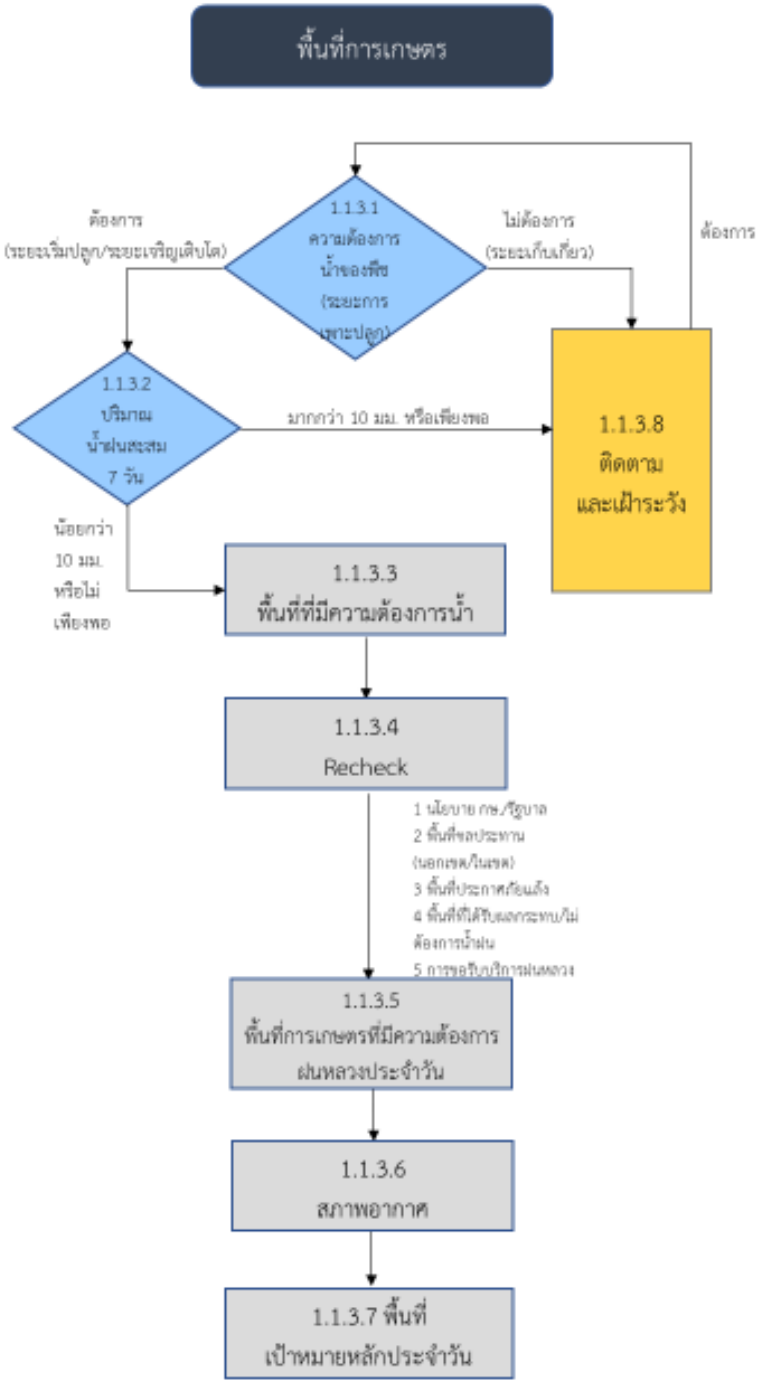
เป็นการปฏิบัติการฝนหลวงในระยะเผชิญเหตุ ตาม**แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติการแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง** http://air4thai.pcd.go.th/webV2/download.php เมื่อค่าปริมาณฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เฉลี่ยใน 24 ชั่วโมง มีค่าเกินมาตรฐาน เท่ากับ 50 ($\mu g/m^3$) หรือ ขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) เฉลี่ยใน 24 ชั่วโมง มีค่าเกินมาตรฐาน เท่ากับ 120 ($\mu g/m^3$)

1.1.2 การยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ

การดัดแปรสภาพอากาศยับยั้งการเกิดลูกเห็บ มีการติดตามข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาและเรดาร์รายละเอียดตามตารางที่ 1.4 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับวางแผนการปฏิบัติการยับยั้งพายุลูกเห็บประจำวัน และอยู่ในพื้นที่ที่กรมอุตุนิยมวิทยามีประกาศแจ้งเตือนภัย รวมทั้งพิจารณาร่วมกับสถิติการเกิดลูกเห็บในพื้นที่ และข้อมูลค่าดัชนีตรวจอากาศชั้นบน/ทั้งนี้ เพื่อป้องกันและบรรเทาความเสียหายต่อพื้นที่เขตชุมชนและเกษตรกรรม

1.1.3 การป้องกันและแก้ไขภัยแล้ง

การปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาภัยแล้ง โดยเพิ่มปริมาณและการกระจายตัวของน้ำฝน รวมทั้งสร้างความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่เกษตรกรรมในระยะการเพาะปลูก โดยเฉพาะช่วงฤดูฝนมาล่าช้ากว่าปกติ หรือฝนทิ้งช่วง ซึ่งนักวิชาการได้ทำการวิเคราะห์เพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายหลักประจำวันสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวง แสดงรายละเอียด ดังภาพที่ 1.2 การกำหนดพื้นที่เป้าหมายเพื่อการปฏิบัติการภารกิจภัยแล้งและฝนทิ้งช่วง



ภาพที่ 1.2 การกำหนดพื้นที่เป้าหมายเพื่อการปฏิบัติการฝนหลวงภารกิจการป้องกันและแก้ไขภัยแล้ง

1.1.3.1 ความต้องการน้ำของพืช พิจารณาทั้งชนิดของพืช และช่วงระยะเวลาการปลูก ซึ่งหากเป็นช่วงระยะเริ่มปลูกและระยะเจริญเติบโต จะมีความต้องการน้ำ แต่หากเป็นช่วงระยะเก็บเกี่ยว จะเป็นช่วงที่พืชไม่มีความต้องการน้ำ

1.1.3.2 ปริมาณน้ำฝนสะสม 7 วัน เมื่อทราบพื้นที่การเกษตรซึ่งพืชมีความต้องการน้ำแล้ว จำเป็นต้องทราบว่าในช่วง 7 วันที่ผ่านมา มีฝนสะสมในพื้นที่ปริมาณเพียงพอหรือไม่ เพื่อทราบพื้นที่ที่ยังคงมีความต้องการน้ำ

1.1.3.3 พื้นที่ที่มีความต้องการน้ำ พื้นที่การเกษตรที่ถูกวิเคราะห์ทั้งความต้องการน้ำของพืชและปริมาณน้ำฝนสะสม 7 วันแล้ว

1.1.3.4 Recheck เมื่อทราบพื้นที่ที่มีความต้องการน้ำแล้ว นักวิชาการจะทำการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลอื่นๆ เพื่อทราบสถานการณ์และแนวทางการจัดการที่เหมาะกับพื้นที่ อาทิ

(1) นโยบายของรัฐบาล/เกษตรและสหกรณ์จังหวัด ซึ่งอาจการส่งเสริมให้ปลูกพืชตามชนิดและช่วงเวลาที่เหมาะสม แต่ในบางพื้นที่เป็นปีที่มีฝนน้อย อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ

(2) พื้นที่ชลประทาน (นอกเขต/ในเขต) มีการช่วยเหลือพื้นที่นอกเขตชลประทานเป็นหลัก ยกเว้นได้รับการประสานงานจากกรมชลประทาน ให้มีการช่วยเหลือในบางพื้นที่

(3) พื้นที่ประกาศภัยแล้ง ของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย อาทิ พื้นที่ประกาศภัยแล้งด้านการเกษตร และพื้นที่ประกาศภัยแล้งเพื่อการอุปโภคบริโภค

(4) พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ/ไม่ต้องการน้ำฝน กรณีมีพื้นที่ที่มีความต้องการฝน แต่พื้นที่ใกล้เคียงกำลังประสบภัยพิบัติ อาทิเช่น เหตุการณ์กู้ภัยเด็กนักเรียนติดถ้ำหลวง-ขุนน้ำนางนอน จ.เชียงราย หรือพื้นที่รอบข้างอยู่ในระยะเก็บเกี่ยว/ไม่ต้องการน้ำ

(5) การขอรับบริการฝนหลวง หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาสาสมัครฝนหลวง และเกษตรกร สามารถประสานงานเพื่อขอรับบริการฝนหลวง โดยข้อมูลดังกล่าวจะนำมาร่วมพิจารณากับพื้นที่ที่มีความต้องการน้ำเพื่อสอบถามและทราบสถานการณ์การเพาะปลูกพืชในพื้นที่และเหตุการณ์ความเดือดร้อนของเกษตรกร

1.1.3.5 พื้นที่การเกษตรที่มีความต้องการฝนหลวงประจำวัน เมื่อนักวิชาการได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆแล้ว จะได้ข้อมูลพื้นที่การเกษตรที่มีความต้องการฝนหลวงประจำวัน ทั้งนี้การปฏิบัติการฝนหลวงจำเป็นต้องมีสภาพอากาศที่เอื้ออำนวยต่อการปฏิบัติการต่อไป

1.1.3.6 สภาพอากาศ นักวิชาการทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ทั้งจากการพยากรณ์อากาศล่วงหน้าและผลการตรวจอากาศชั้นบน เพื่อทราบโอกาสในการปฏิบัติการฝนหลวง แสดงรายละเอียด ดังข้อที่ 1.3.1 และ 1.3.2

1.1.3.7 พื้นที่เป้าหมายหลักประจำวัน เป็นพื้นที่การเกษตรที่มีความต้องการฝนหลวงประจำวันและสภาพอากาศมีแนวโน้มเอื้ออำนวยต่อการปฏิบัติการ อันเป็นพื้นที่เป้าหมายที่จะดำเนินการปฏิบัติการในวันนั้นๆ

1.1.3.8 การติดตามและเฝ้าระวัง เป็นพื้นที่การเกษตรที่อยู่ในช่วงไม่มีความต้องการน้ำ โดยอาจเป็นพื้นที่การเกษตรที่ยังมีความต้องการน้ำเนื่องจากอยู่ในระยะเริ่มปลูกและระยะเจริญเติบโต แต่ในช่วงระยะเวลา 7 วันที่ผ่านมา มีฝนตกมากกว่า 10 มม. หรือมีฝนตกเพียงพอแล้ว หรืออาจเป็นพื้นที่การเกษตรที่อยู่ในช่วงระยะเก็บเกี่ยวซึ่งพืชไม่มีความต้องการน้ำ โดยพื้นที่ดังกล่าวจะถูกติดตามและเฝ้าระวัง ทั้งนี้หากพื้นที่การเกษตรกลับมามีความต้องการน้ำอีกครั้ง เนื่องจากฝนตกลดลงหรือมีการเพาะปลูกใหม่หลังสิ้นสุดการเก็บเกี่ยว ก็จะถูกนำไปพิจารณาให้ความช่วยเหลือต่อไป

1.1.4 การเติมน้ำต้นทุนให้เขื่อนกักเก็บน้ำ

การปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักให้กับเขื่อนและอ่างเก็บน้ำต่างๆ ทั่วประเทศไทย เพื่อสำรองไว้เป็นน้ำต้นทุนในการบริหารจัดการน้ำในช่วงฤดูแล้งถัดไปและเพื่อสาธารณประโยชน์ต่างๆ โดยมีมติจากการประชุมคณะทำงานอำนวยการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ และคณะอนุกรรมการติดตามและวิเคราะห์แนวโน้มสถานการณ์น้ำ ซึ่งมีผู้แทนจากหน่วยงานต่างๆ อาทิ สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ กรมฝนหลวงและการบินเกษตร กรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การประปานครหลวง การประปาส่วนภูมิภาค กรมอุตุนิยมวิทยา สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร(องค์การมหาชน) และอื่นๆ ร่วมกันพิจารณาเพื่อจัดลำดับความเร่งด่วนของการช่วยเหลือให้กับเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำต่างๆ หรือได้รับการประสานงานจากหัวหน้าส่วนราชการ อาทิ ผู้ว่าราชการจังหวัด ผู้อำนวยการโครงการชลประทานจังหวัด โครงการชลประทาน เป็นต้น ทั้งนี้หน่วยปฏิบัติการฝนหลวงที่ดูแลรับผิดชอบจะดำเนินการประสานงานกับเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำในพื้นที่ต่อไป

1.2 ความพร้อมด้านปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

การเตรียมความพร้อมด้านปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน จะพิจารณาจากปัจจัยที่สำคัญใน 7 ด้าน ได้แก่ สนามบิน, อากาศยานและบริภัณฑ์ภาคพื้น, บุคลากร, เครื่องบดสารฝนหลวงและเครื่องยนต์ต้นกำลัง, สารฝนหลวงและคลังเก็บสาร/เต็นท์, รถบรรทุกสารฝนหลวงและโฟล์คลิฟท์ ซึ่งหากขาดความพร้อมอาจส่งผลกระทบต่อการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน หลักเกณฑ์การควบคุมปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน และระบบสารสนเทศ แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 1.1 เกณฑ์การตัดสินใจด้านปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

ตารางที่ 1.1 เกณฑ์การตัดสินใจด้านปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

ปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน*	เกณฑ์การพิจารณา	การควบคุม
สนามบิน	- สนามบินพร้อมสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	หอบังคับการบิน / รถควบคุมการจราจรทางอากาศเคลื่อนที่ / เจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศ / Notam ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่นั้นๆ
อากาศยานและบริภัณฑ์ภาคพื้น (รถน้ำ รถน้ำมัน รถ GPU)	- อากาศยานและบริภัณฑ์ภาคพื้นพร้อมปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน - อากาศยานและบริภัณฑ์ภาคพื้นมีจำนวนเพียงพอต่อการบินปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	การตรวจสอบความพร้อมด้านการบิน
บุคลากร (นักวิชาการ, นักบิน, ช่างเครื่องบิน, เจ้าหน้าที่บดโปรยสารฝนหลวง, พนักงานขับรถยนต์ ฯลฯ)	- บุคลากรมีจำนวนเพียงพอต่อการบินปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	การตรวจสอบความพร้อมด้านบุคลากร
เครื่องบดสารฝนหลวงและเครื่องยนต์ต้นกำลัง	- เครื่องบดสารฝนหลวงและเครื่องยนต์ต้นกำลังอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน - เครื่องบดสารฝนหลวงและเครื่องยนต์ต้นกำลังมีจำนวนเพียงพอต่อการปฏิบัติการฝนหลวง	การตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์เตรียมสารฝนหลวง
สารฝนหลวงและคลังเก็บสาร/เต็นท์	- สารฝนหลวงแต่ละสูตรมีคุณภาพและปริมาณเพียงพอต่อการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน - คลังเก็บสาร/เต็นท์ พร้อมต่อการเก็บสารฝนหลวง	- การตรวจสอบความพร้อมของสารฝนหลวงระบบคลังสารฝนหลวง - การตรวจสอบคุณภาพ สารฝนหลวงประจำเดือน
รถบรรทุกสารฝนหลวงและโฟล์คลิฟท์	- รถบรรทุกสารฝนหลวงและโฟล์คลิฟท์มีจำนวนเพียงพอต่อการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน - รถบรรทุกสารฝนหลวงอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน	การตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์เตรียมสารฝนหลวง
ระบบสารสนเทศ อาทิ คอมพิวเตอร์ อินเตอร์เนต ระบบประชุมทางไกล	- อุปกรณ์และระบบสารสนเทศใช้งานได้	การตรวจสอบการใช้งานระบบสารสนเทศ และหากพบปัญหาแจ้งศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ

1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและการตัดสินใจปฏิบัติการฝนหลวง

การวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและการตัดสินใจเพื่อการปฏิบัติการฝนหลวง จะพิจารณา 8 ขั้นตอน ดังนี้

1.3.1 การพยากรณ์อากาศล่วงหน้า (ก่อน 1 วัน)

1.3.2 แจ้งผู้เกี่ยวข้องเตรียมความพร้อมช่วงชิงสภาพอากาศในตอนเช้า (ก่อน 1 วัน)

1.3.3 วิเคราะห์/ประเมินความเหมาะสมช่วงเช้า

1.3.4 ผลการตรวจอากาศชั้นบน

1.3.5 การประชุมเพื่อตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวง (Brief)

1.3.6 แผนการปฏิบัติการฝนหลวง แจ้งแผนบิน/เตรียมการใช้สาร

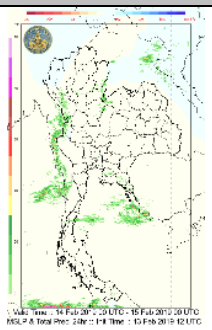
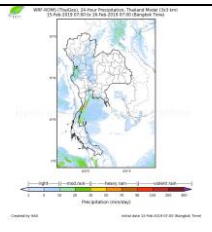
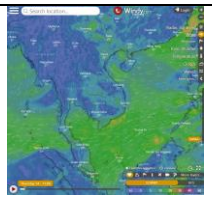
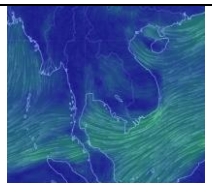
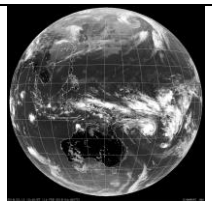
1.3.7 การเฝ้าระวังและวิเคราะห์/ประเมินความเหมาะสมในการปฏิบัติการ (Stand by)

1.3.8 การขออนุมัติแผนบินปฏิบัติการ

1.3.1 การพยากรณ์อากาศล่วงหน้า

การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศ เป็นกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลหรือตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ทิศทางและความเร็วลม ค่าดัชนีสภาพอากาศ ลักษณะภูมิอากาศระดับกว้าง และการพยากรณ์อากาศประจำวัน 3 วัน และ 7 วันล่วงหน้า ของกรมอุตุนิยมวิทยา และหน่วยงานต่างๆ สำหรับใช้ในการกำหนดหลักเกณฑ์ความเหมาะสมของสภาพอากาศ และโอกาสในการเกิดฝนในพื้นที่เป้าหมาย ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ดำเนินการก่อนปฏิบัติการล่วงหน้า 1 วัน เป็นประจำทุกวัน สำหรับใช้ในการวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน โดยทำการวิเคราะห์พยากรณ์การเกิดฝนล่วงหน้า แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 1.2 ข้อมูลการพยากรณ์สภาพอากาศสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวง

ตารางที่ 1.2 ข้อมูลการพยากรณ์สภาพอากาศสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวง

ลำดับ	Model			Precipitation Water	Horizontal Wind	Vertical Wind	Pressure	Temperature	RH (%)	Cloudiness	Particulate Matter
1	MSLP – TMD (2, 6 และ 18 กม^2)		http://www.nwp.tmd.go.th/	✓			✓				
2	สสน (3, 9 และ 27 กม^2)		http://www.thaiwater.net/v3/wrfroms/rain_forecast	✓		✓					
3	Windy		https://www.windy.com/	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
4	Earth Null School		https://earth.nullschool.net/		✓				✓		✓
5	JMA		http://www.jma.go.jp/en/gms/							✓	

หมายเหตุ : นักวิชาการแต่ละศูนย์ควรจะต้องมีการบันทึกเปรียบเทียบความแม่นยำความถูกต้องของแต่ละโมเดลที่ใช้งานกับลักษณะของสภาพอากาศที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละภูมิภาค

1.3.2 แจ้งผู้เกี่ยวข้องเตรียมความพร้อมช่วงชิงสภาพอากาศในตอนเช้า

จากการวิเคราะห์การพยากรณ์การเกิดฝนล่วงหน้า 1 วัน หากพบว่ามีแนวโน้มที่เหมาะสมในการปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่เป้าหมายแล้ว นักวิชาการจะทำการแจ้งผู้ที่เกี่ยวข้องล่วงหน้า อาทิ นักบิน ช่างเครื่องบิน นายช่างเครื่องกล เจ้าหน้าที่บดโปรย เพื่อเตรียมความพร้อมช่วงชิงสภาพอากาศในตอนเช้าของวันรุ่งขึ้น

1.3.3 วิเคราะห์/ประเมินความเหมาะสมช่วงเช้า

กรณีที่มีการแจ้งผู้เกี่ยวข้องเตรียมความพร้อมช่วงชิงสภาพอากาศ ในตอนเช้านักวิชาการจะทำการวิเคราะห์และประเมินความเหมาะสมอีกครั้ง เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการปฏิบัติการ ซึ่งหากอากาศมีความเหมาะสมก็จะแจ้งแผนการปฏิบัติการฝนหลวงแจ้งแผนบิน/เตรียมการใช้สาร และขออนุมัติแผนบินปฏิบัติการต่อไป

1.3.4 ผลการตรวจอากาศชั้นบน/พยากรณ์การเกิดฝน,ลูกเห็บประจำวัน

การวิเคราะห์ข้อมูลผลการตรวจอากาศชั้นบน (Sonde2 และ TCM) ประจำวันจากสถานีเรดาร์ฝนหลวง และสภาพภูมิอากาศ แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 1.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับวางแผนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน ร่วมกับการพยากรณ์อากาศล่วงหน้า ตามข้อ 1.3.1 และตารางที่ 1.4 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับวางแผนการปฏิบัติการยับยั้งพายุลูกเห็บประจำวัน

ตารางที่ 1.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับวางแผนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

ชนิดข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ข้อมูล	ค่าที่เหมาะสม		ความถี่	แหล่งข้อมูล
			ฤดูฝน	ฤดูอื่น		
1. ความชื้นสัมพัทธ์	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย	ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ระดับ 0 – 5,000 ฟุต	≥ 60%	≥ 60%	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
		ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ระดับ 5,000 – 10,000 ฟุต	≥ 60%	≥ 60%		
		ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ระดับ 10,000 – 15,000ฟุต	≥ 45%	≥ 45%		
2. ความเร็วลม	ความเร็วลม	ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 5,000 – 10,000 ฟุต	≤ 20 knots*	≤ 20 knots*	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
		ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 10,000 – 15,000 ฟุต	≤ 15 knots	≤ 15 knots		
3. ค่าดัชนีสภาพอากาศ	SI (Showalter Index)	ดัชนีที่ใช้บอกความไม่เสถียรภาพของมวลอากาศที่ระดับ 850 มิลลิบาร์	≤ 0	≤ 0	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	LI (Lifted Index)	ดัชนีที่ใช้บอกความไม่เสถียรภาพของมวลอากาศในระดับต่ำ	≤ 0	≤ -1	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	KI* (K Index)	ดัชนีที่บอกถึงศักยภาพในการก่อตัวในแนวตั้ง	≥ 30	≥ 30	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	CAPE (Convective Available Potential Enery)	พลังงานศักย์ที่มีอยู่ในการยกตัวของกระแสอากาศในแนวตั้ง			รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	Inversion	ชั้นอุณหภูมิผกผัน			รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	ข้อมูลอื่นๆ จากกราฟ Skew-T	ข้อมูลผลตรวจอากาศชั้นบน			รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
4. สภาพอากาศ/ เรดาร์/ ดาวเทียม	สภาพท้องฟ้า	ปริมาณและลักษณะของเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย หรือบริเวณสนามบินหรือค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (รายละเอียดตามภาคผนวก ก)			เรดาร์ : 6 นาที / 15 นาที ดาวเทียม : 10 นาที / 30 นาที / 1 ชั่วโมง	TMD (เรดาร์/ ดาวเทียม)/ DRRAA (เรดาร์)

ชนิดข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ข้อมูล	ค่าที่เหมาะสม		ความถี่	แหล่งข้อมูล
			ฤดูฝน	ฤดูอื่น		
5. สภาพอากาศระดับภูมิภาค (Synoptic Scale)	Top Chart	แผนที่อากาศผิวพื้น, แผนที่ลมชั้นบนระดับ 850 hPa, แผนที่ลมชั้นบนระดับ 925 hPa (รายละเอียดตามภาคผนวก จ)			4 ครั้ง/วัน : 1:00 น., 7:00 น., 13:00 น., และ 19:00 น.	TMD
6. แบบจำลอง	Precipitation Water	โอกาสการเกิดฝน			ทุกๆ 30 นาที	รายละเอียดดังตาราง 1.2
	Horizontal Wind	ลมแนวนอน (ทิศทางและความเร็ว)				
	Vertical Wind	ลมแนวตั้ง (ความเร็ว)				
	Pressure	ความกดอากาศ				
	Temperature	อุณหภูมิ				
	RH (%)	ความชื้นสัมพันธ์ในอากาศ				
	Cloudiness	โอกาสการเกิดเมฆ				
	Particulate Matter	ฝุ่นละอองในอากาศ				

หมายเหตุ : * สำหรับภาคใต้ ข้อมูลค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 5,000 – 10,000 ฟุต ≤ 15 knots

ค่าดัชนี CAPE, Inversion เพิ่งเริ่มจะมีการนำผลตรวจจาก Skew-T (DC3DB) มาใช้ โดยนักวิชาการจะเป็นผู้พิจารณาในการจัดทำเกณฑ์ที่เหมาะสมในปีนี้

การวิเคราะห์ผลการตรวจอากาศชั้นบน รายละเอียดดัง www.ubonmet.tmd.go.th/files/KM-base/KM-2562-1.pdf

ตารางที่ 1.4 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับวางแผนการปฏิบัติการยับยั้งพายุลูกเห็บประจำวัน

ชนิดข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ข้อมูล	ค่าที่เหมาะสม	ความถี่	แหล่งข้อมูล
ค่าดัชนีสภาพอากาศ	SI (Showalter Index)	ดัชนีที่ใช้บอกความไม่เสถียรภาพของมวลอากาศที่ระดับ 850 มิลลิบาร์	< -1.0	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	LI (Lifted Index)	ดัชนีที่ใช้บอกความไม่เสถียรภาพของมวลอากาศในระดับต่ำ	< -1.0	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	KI* (K Index)	ดัชนีที่บอกถึงศักยภาพในการก่อตัวในแนวตั้ง	> 30	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	CAPE (Convective Available Potential Enery)	พลังงานศักย์ที่มีอยู่ในการยกตัวของกระแสอากาศในแนวตั้ง	> 2,000 j/kg	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	CIN (Convective inhibition)	พลังงานที่จำเป็นในการยกตัวของอนุภาคเพื่อไปถึง Level Free Convection	< -400	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	PW (Precipitation, Water)		>3.8 ซม.	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย	ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ระดับ 0 – 10,000 ฟุต	> 70%	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	ความเร็วลม	ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 0 – 15,000 ฟุต	≤ 10 knots	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
ข้อมูลเรดาร์	ความเข้มการสะท้อน		>55 dBz.	6 นาที	DRRAA (เรดาร์)
	ความสูงของยอดเมฆ		>6 กม.	6 นาที	DRRAA (เรดาร์)
	Probability of hail		> 0.2	6 นาที	DRRAA (เรดาร์)
	VIL		25 กก/ตร.ม.	6 นาที	DRRAA (เรดาร์)
	มีกลุ่มเมฆอย่างน้อย 1 กลุ่มที่มีโอกาสเกิดลูกเห็บ			6 นาที	DRRAA (เรดาร์)
	ภาพเรดาร์ติดกันมีกลุ่มเมฆเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยดูค่ายอดเมฆที่สูงขึ้น			6 นาที	DRRAA (เรดาร์)

1.3.5 การประชุมเพื่อตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวง (Brief)

การประชุมเพื่อตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวง (Brief) เป็นกระบวนการหารือการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวันของแต่ละหน่วย ในช่วงเช้าประมาณ 8:30 หรือตามเวลาที่กำหนด พิจารณาจากพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวงระหว่างหน่วยร่วมกัน ความพร้อมด้านปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน ข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และเกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน ให้สอดคล้องกับการกำหนดแผนการปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่เป้าหมายประจำวันโดยมีผู้ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการฝนหลวงให้ข้อมูลสำหรับการตัดสินใจ รวมทั้งปัญหาอุปสรรคในการดำเนินงาน ดังนี้

1) ผู้บริหารและผู้เชี่ยวชาญ ให้คำปรึกษาและแนะนำด้านเทคนิคและประสบการณ์ในการปฏิบัติการฝนหลวง รวมทั้งให้นโยบายในการปฏิบัติการฝนหลวงภายใต้สถานการณ์ต่างๆ

2) นักวิชาการ รายงานให้ข้อมูลผลการปฏิบัติการฝนหลวงเมื่อวาน อาทิ ปริมาณและพื้นที่ฝนตก รวมทั้งแจ้งแผนพื้นที่เป้าหมาย (ภารกิจและพื้นที่) ความพร้อมด้านปัจจัยสนับสนุน ผลการวิเคราะห์การพยากรณ์การเกิดฝนล่วงหน้าและการตรวจอากาศชั้นบน ข้อมูลสภาพอากาศปัจจุบันจากอาสาสมัครฝนหลวงในพื้นที่เป้าหมาย ข้อมูลคุณภาพอากาศ (ภารกิจการบรรเทาปัญหาหมอกควันและไฟป่า) เป็นต้น

3) เจ้าหน้าที่ด้านการบิน รายงานให้ข้อมูลความพร้อมของเครื่องบิน และข้อจำกัดในการบินปฏิบัติการในพื้นที่เป้าหมาย

4) เจ้าหน้าที่ตรวจอากาศ สนับสนุนข้อมูลตรวจอากาศต่างๆ อาทิ เรดาร์ เครื่องตรวจอากาศชั้นบน เครื่องตรวจอากาศแบบคลื่นสั้น เป็นต้น

1.3.6 แผนการปฏิบัติการฝนหลวง แจ้งแผนบิน/เตรียมการใช้สาร

ผู้ปฏิบัติงานที่หน่วยปฏิบัติการฝนหลวง อาทิ หัวหน้าหน่วยปฏิบัติการฝนหลวง นักวิชาการ และนักบิน พิจารณาพื้นที่การเกษตรที่มีความต้องการฝนหลวงประจำวันร่วมกับสภาพอากาศ เพื่อกำหนดร่างแผนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน ซึ่งประกอบด้วย เป้าหมายหลักประจำวัน ความสูงการบิน เวลาเริ่มปฏิบัติการ (เวลา start เครื่อง) สารฝนหลวง (ชนิด/ปริมาณ)

หลังจากนั้นจะมีการหารือกับผู้อำนวยการศูนย์ปฏิบัติการฝนหลวง เพื่อเห็นชอบแผนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวันดังกล่าวแล้ว หัวหน้าหน่วยปฏิบัติการฝนหลวงจะแจ้งแผนการปฏิบัติการฝนหลวงทางไลน์หรือโทรศัพท์แก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง อาทิ

- นักวิชาการ เพื่อติดตามสภาพอากาศในพื้นที่เป้าหมายหลักประจำวัน และแจ้งแผนการบินปฏิบัติการล่วงหน้าอย่างน้อย 1 ชั่วโมง
- นักบินและช่างเครื่องบิน เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการบินปฏิบัติการ
- นายช่างเครื่องกล หรือเจ้าหน้าที่บด ผสม โปรยสารฝนหลวง เพื่อจัดเตรียมสารฝนหลวง (รายละเอียดตามคู่มือปฏิบัติงาน (Work Manual) กระบวนงานการใช้สารฝนหลวงสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวง)

1.3.7 การเฝ้าระวังและวิเคราะห์/ประเมินความเหมาะสมในการปฏิบัติการ (Stand by)

นักวิชาการจะต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลตามเกณฑ์ของสภาพอากาศ ร่วมกับสภาพอากาศปัจจุบันซึ่งเป็นข้อมูลจากอาสาสมัครฝนหลวงในพื้นที่ เพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน โดยมีการเฝ้าระวังและวิเคราะห์/ประเมินความเหมาะสมในการปฏิบัติการอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อพิจารณาความเหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงเวลานั้นๆ และจะยกเลิกภารกิจประจำวันเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศแล้วยังไม่เหมาะสม (การเฝ้าระวังและติดตามสภาพอากาศถึง 16:00 น. และการแจ้งแผนปฏิบัติการฝนหลวงภายในเวลา 17:00 น.)

1.3.8 การแจ้งแผนบินปฏิบัติการ

เมื่อหน่วยปฏิบัติการฝนหลวงได้มีการวิเคราะห์และตัดสินใจในการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละขั้นตอนแล้ว กำหนดให้มีการแจ้งแผนบินปฏิบัติการฝนหลวงผ่านทางไลน์หรือโทรศัพท์กับผู้บังคับบัญชา เพื่อรับทราบแผนบินปฏิบัติการฝนหลวง

2. การปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการทำฝน

การปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการทำฝน ประกอบด้วย การเตรียมสารฝนหลวงก่อนขึ้นบินปฏิบัติการฝนหลวง, การปฏิบัติการฝนหลวงตามตำราฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน การปฏิบัติการยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ, การปฏิบัติการบรรเทาหมอกควันและไฟป่า และการปฏิบัติการฝนหลวงด้วยเทคนิคอื่นๆ ได้แก่ การเสริมการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอุ่นโดยใช้พลุสารดูดความชื้น

2.1 การเตรียมสารฝนหลวง

การเตรียมสารฝนหลวง ก่อนขึ้นปฏิบัติการฝนหลวงเริ่มต้นหลังจากที่หัวหน้าหน่วยปฏิบัติการฝนหลวงแจ้งแผนการปฏิบัติการฝนหลวงทางไลน์หรือโทรศัพท์แก่นายช่างเครื่องกล หรือเจ้าหน้าที่บด ผสม โปรยสารฝนหลวง เพื่อจัดเตรียมสารฝนหลวงตามชนิด จำนวน และเวลาตามแผนปฏิบัติการฝนหลวง (รายละเอียดตามคู่มือปฏิบัติงาน (Work Manual) กระบวนงานการใช้สารฝนหลวงสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวง รายละเอียดดัง http://61.19.219.7//royalrain/uploads/Academic/Workmanual_chemicals_2017.pdf)

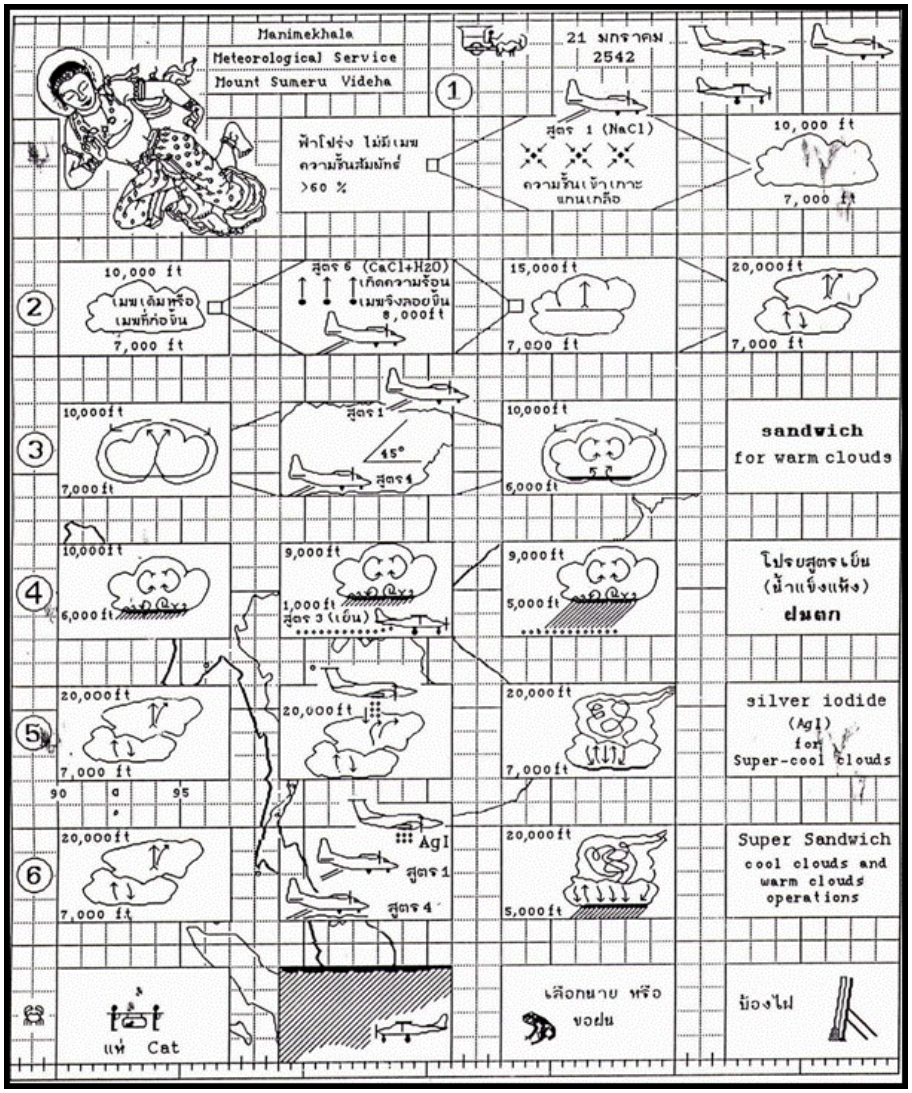
เจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมการโหลดสารประจำหน่วยจะทำหน้าที่ในการกำกับดูแลการเบิกจ่ายสาร และการเตรียมสารฝนหลวงก่อนขึ้นปฏิบัติการฝนหลวง ทั้งนี้สารฝนหลวงแต่ละชนิดมีขั้นตอนและกระบวนการในการเตรียมแตกต่างกันจึงจำเป็นต้องเผื่อระยะเวลาในการกำหนดแผนปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อให้การเตรียมสารฝนหลวงนั้นเสร็จก่อนกำหนดเวลาที่ขึ้นปฏิบัติการฝนหลวง โดยสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 2.1

หมายเหตุ นักวิชาการต้องไปกำกับ/ตรวจสอบคุณภาพสารฝนหลวงก่อนขึ้นเครื่องทุกครั้ง

ภาพที่ 2.1 แผนผังแสดงการจำแนกการเตรียมสารฝนหลวงสูตรต่างๆ

2.2 การปฏิบัติการฝนหลวงตามตำราฝนหลวง

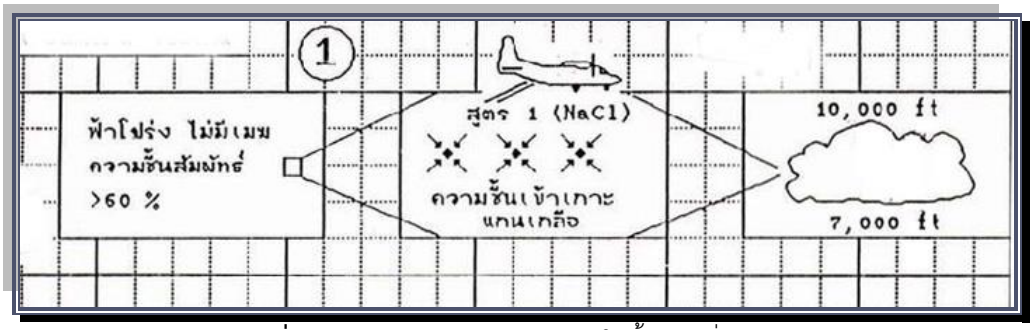
พระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร ทรงสรุปขั้นตอนกรรมวิธีการปฏิบัติการฝนหลวงโดยทรงประดิษฐ์ภาพ “ตำราฝนหลวง” ด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงขั้นตอน และกรรมวิธีการดัดแปรสภาพอากาศ ให้เกิดฝนจากเมฆอุ่นและเมฆเย็น และพระราชทาน “ตำราฝนหลวง” แก่นักวิชาการฝนหลวง เมื่อวันที่ 21 มีนาคม 2542 เพื่อให้เป็นแบบอย่างใช้ในการปฏิบัติการฝนหลวงให้เป็นไปในทางเดียวกัน“ตำราฝนหลวง” ประมวลความรู้ทางวิชาการเทคนิคและกระบวนการขั้นตอนกรรมวิธีในการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างครบถ้วนทั้งเทคโนโลยีฝนหลวงไว้ในหนึ่งหน้ากระดาษได้อย่างสมบูรณ์ง่ายต่อความเข้าใจและการถือปฏิบัติ



ภาพที่ 2.2 ตำราฝนหลวงพระราชทาน

2.2.1 ขั้นตอนที่ 1

ในขั้นตอนที่ 1 ปฏิบัติการเพื่อเร่งให้เกิดเมฆในขณะที่ท้องฟ้าโปร่งหรือมีเมฆเดิมก่อตัวอยู่บ้าง และมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 60 % โดยโปรยสารฝนหลวงสูตร 1 (เกลือแป้ง : NaCl) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นแกนกลั่นตัว (Cloud Condensation Nuclei ; CCN) ในการดูดซับความชื้นที่มีอยู่ในอากาศเกิดการควบแน่นกลายเป็นเม็ดน้ำและรวมตัวกันเป็นเมฆ และเมฆเหล่านี้จะพัฒนาขึ้นเป็นเมฆก้อนใหญ่



ภาพที่ 2.3 แผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 1

สารฝนหลวง : สูตร 1 (เกลือแป้ง : NaCl)

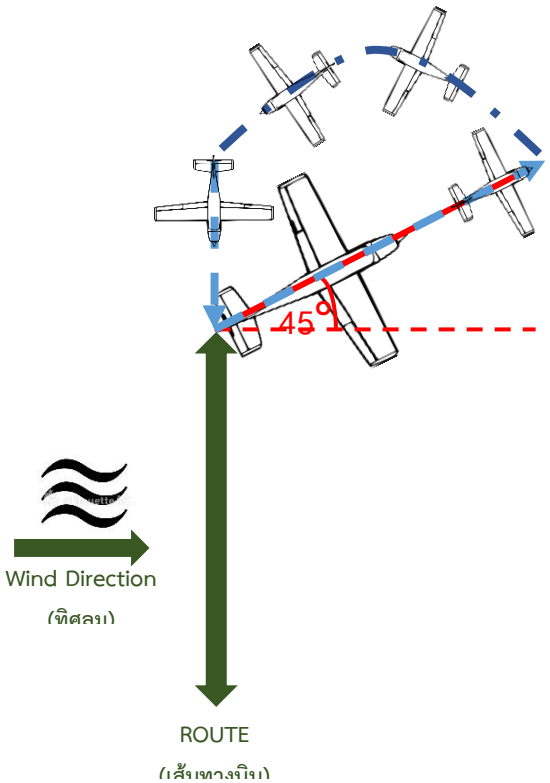
ลักษณะอากาศ :

- ท้องฟ้าโปร่ง หรือมีเมฆคิวมูลัส, สเตรโตคิวมูลัส ก่อตัวเล็กน้อย
- ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ที่ระดับความสูง 5,000 - 10,000 ฟุต* มีค่ามากกว่า 60% (จากข้อมูลผลตรวจอากาศชั้นบนและเครื่องตรวจอากาศคลื่นสั้น)
- ความเร็วลมเฉลี่ย ที่ระดับความสูง 5,000 - 10,000 ฟุต มีค่าไม่เกิน 20 knots หรือไม่เกิน 37 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

รูปแบบการโปรย : บินโปรยขวางทิศทางลม ระยะทาง 25 - 30 NM (45 - 55 กิโลเมตร) รายละเอียด ดังภาพที่ 2.4 แนวพิกัดปฏิบัติการบิน (Track) เมื่อบินโปรยจนสุดแนวพิกัดปฏิบัติการบินที่กำหนดไว้ ให้ทำ Procedure Turn แล้วบินกลับเข้ามาในแนวพิกัดปฏิบัติการบินเดิมที่กำหนดไว้ แต่ในทิศทางตรงกันข้ามแล้วจึงเริ่มโปรย

- ปฏิบัติการได้ทั้ง ท้องฟ้าโปร่ง หรือมีเมฆคิวมูลัส/สเตรโตคิวมูลัสเล็กน้อย
- กรณีท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆ โปรยเป็นแนวยาว
- กรณีท้องฟ้ามีเมฆคิวมูลัส เมฆสเตรโตคิวมูลัสก่อตัวเล็กน้อย ความหนาของเมฆ (จากฐานเมฆถึงยอดเมฆ) ไม่เกิน 3,000 ฟุต โปรยเป็นแนวยาวตามสภาพเมฆที่ก่อตัวขวางทิศทางลมหรือโปรยทับแนวยอดเมฆ โดยรักษาทิศทางเป็นเส้นตรงหรือใกล้เคียงตามแนวพิกัดปฏิบัติการบิน

หมายเหตุ : * หมายถึง ระดับความสูงในการบิน หน่วยเป็น ฟุต จากระดับทะเลปานกลาง (รทก.)



ภาพที่ 2.4 แนวพิกัดปฏิบัติการบิน (Procedure Turn)

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

ความสูงการบิน : กรณีพื้นที่ปฏิบัติการเป็นพื้นที่ราบ และท้องฟ้าโปร่งจะโปรยสารเหนือระดับ Convective Condensation Level (CCL) ไม่น้อยกว่า 1000 ฟุต และในกรณีที่มีเมฆก่อตัวแล้วโปรยที่ระดับทับยอดเมฆ โดยที่ระดับความสูงการโปรยสารต้องไม่ต่ำกว่า 5,000 ฟุต จากพื้นดิน เพื่อป้องกันไม่ให้สาร ฝนหลวงร่วงหล่นถึงพื้น

Highlight/Trick :

1) อัตราการโปรยสารฝนหลวง ดูตารางที่ 2.4
2) ขั้นตอนที่ 1 แต่ละหน่วยปฏิบัติการฯ เลือกปฏิบัติการฝนหลวง ตามลักษณะการก่อตัวของเมฆในแต่ละพื้นที่
3) กรณี ท้องฟ้าโปร่ง บินเป็นเส้นตรง เหนือระดับ CCL เพื่อให้อนุภาคของสารคลุกเคล้ากับความชื้นในอากาศที่ระดับ CCL ซึ่งเป็นระดับเมฆก่อตัวและกลั่นตัว

2.2.2 ขั้นตอนที่ 2

ในขั้นตอนที่ 2 ปฏิบัติการเพื่อเร่งการพัฒนาตัวของเมฆที่ก่อขึ้น หรือเมฆเดิมที่มีอยู่ตามธรรมชาติ โดยโปรยสารฝนหลวงสูตร 6 (แคลเซียมคลอไรด์ : $CaCl_2$) หรือ สูตร 8 (แคลเซียมออกไซด์: CaO) เข้าไปในกลุ่มเมฆที่ระดับสูงกว่าฐานเมฆไม่น้อยกว่า 1,000 ฟุต เมื่อละลายน้ำหรือดูดซับความชื้นหรือเม็ดน้ำภายในเมฆทำให้เกิดความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาของไอน้ำกับสารฝนหลวงโดยตรง 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 แผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 2

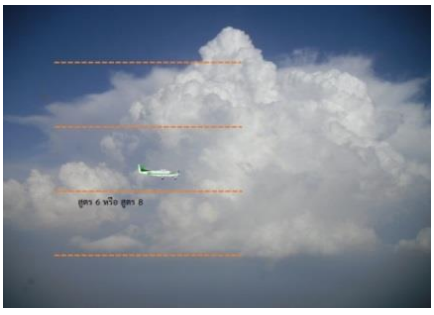
สารฝนหลวง : สูตร 6 (แคลเซียมคลอไรด์ : $CaCl_2$) หรือ สูตร 8 (แคลเซียมออกไซด์: CaO)

ลักษณะอากาศ : เมฆคิวมูลัส ทีมีความหนาจากฐานเมฆถึงยอดเมฆ มากกว่า 3,000 ฟุต ขนาดเมฆเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5-10 กิโลเมตร (2-5 NM)

รูปแบบการโปรย : โปรยสารฝนหลวงให้ชิดขอบเมฆ/เข้าเมฆในด้านที่กลุ่มเมฆกำลังเจริญเติบโตตามสภาพเมฆ

- กรณี ต้นลมติดเขตแนวชายแดนซึ่งมีภูเขาเป็นตัวช่วยในการยกตัวของเมฆ ให้โปรยตามสภาพเมฆด้านใต้ลมชิดขอบเมฆ

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



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

ตารางที่ 2.1 ความสูงเฉลี่ยของระดับ CCL ในแต่ละภูมิภาค (ค่าเฉลี่ย 5 ปี พ.ศ. 2555-2559)

ภาค	ฤดูแล้ง		ฤดูฝน		สถานีตรวจอากาศชั้นบน	หมายเหตุ
	ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)	ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)		
เหนือ*	10,800	9,300	6,600	6,200	อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่	-
	6,700	6,400	4,400	4,200	อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก	-
กลาง*	8,000	7,400	7,000	6,800	อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์	-
ตะวันออกเฉียงเหนือ*	6,700	6,500	5,300	6,500	อ.พิมาย จ.นครราชสีมา	-
ตะวันออก*	4,600	4,200	4,100	3,800	อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี	-
ใต้**	5,700	5,800	5,400	5,400	อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์	ข้อมูลปี 2558

หมายเหตุ:

* “ฤดูแล้ง” หมายถึง เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนพฤษภาคม และ “ฤดูฝน” หมายถึง เดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม

** “ฤดูแล้ง” หมายถึง เดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม และ "ฤดูฝน” หมายถึง กลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม (มรสุมตะวันตกเฉียงใต้) และเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ (มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ)

Highlight/Trick :

1) ความสูงเฉลี่ยของระดับ CCL ในแต่ละภูมิภาค ดูตารางที่ 2.1

2) อัตราการโปรยสารฝนหลวง ดูตารางที่ 2.4

3) สารฝนหลวงสูตร 6 สามารถดูดซับความชื้นได้ดีเหมาะกับการใช้ปฏิบัติการในฤดูแล้งซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ (60 - 70%) ส่วนสารฝนหลวงสูตร 8 สามารถให้ความร้อนสูง เหมาะกับฤดูฝนเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง (มากกว่า 70% ขึ้นไป) ควรปรับอัตราการโปรยให้เหมาะสมกับขนาดของกลุ่มเมฆเป้าหมาย

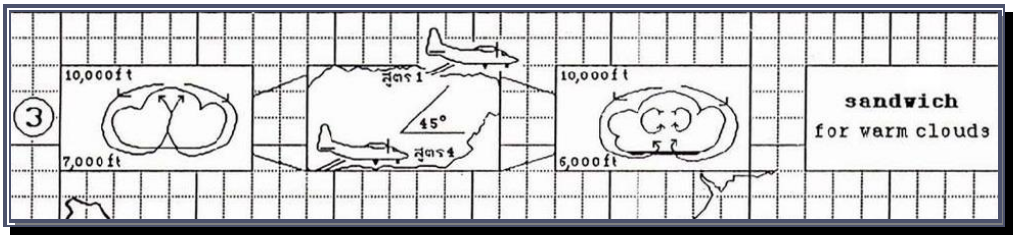
4) เครื่องบิน AU23A มีข้อจำกัดในการโปรยสารฝนหลวงสูตร 6 เนื่องจากสารสูตร 6 จะไปเกาะที่ล้อหลังของ1 เครื่องบิน ทำให้มีผลต่อความปลอดภัยทางด้านการบิน

5) ในฤดูแล้ง ซึ่งอากาศมีอุณหภูมิสูง อาจโปรยสารให้ช้าลงเพื่อไม่ให้เกิดการ Overseed

6) ควรเลี้ยงเมฆในหน้าแล้งให้หนากว่าหน้าฝน

2.2.3 ขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 คือ ขั้นตอนที่เร่งหรือบังคับให้เกิดฝน เมื่อเมฆอุ่นเจริญเติบโต ยอดเมฆคมชัด เมฆมีความหนามากกว่า 3,000 ฟุต ฐานเมฆเรียบสีเทา และเคลื่อนตัวเข้าสู่พื้นที่เป้าหมายจะทำการบังคับให้มีฝนตกด้วยเทคนิคการโจมตีเมฆอุ่นด้วยเทคนิค Sandwich โดยใช้เครื่องบินเมฆอุ่นตั้งแต่ 2 ลำ เครื่องหนึ่งโปรยสารฝนหลวง สูตร 1 (เกลือแป้ง : NaCl) ทับยอดเมฆหรือไหล่เมฆที่ระดับ 9,000 - 10,000 ฟุต ทางด้านเหนือลมของก้อนเมฆ อีกเครื่องหนึ่งโปรยสารฝนหลวง สูตร 4 (ยูเรีย : $CO(NH_2)_2$) ที่ระดับฐานเมฆ แนวโปรยทั้งสองทำมุมเยื้องกันประมาณ 45 องศา เพื่อทำให้ฐานเมฆเริ่มลดระดับลง จากการที่เม็ดน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีปริมาณและความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ร่วงหล่นสู่บริเวณฐานเมฆ หนาแน่นจนใกล้ตกเป็นฝน หรือเริ่มตกเป็นฝน



ภาพที่ 2.8 แผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 3

สารฝนหลวง : สูตร 1 (เกลือแป้ง : NaCl) และ สูตร 4 (ยูเรีย : $CO(NH_2)_2$)

ลักษณะอากาศ : เมฆอุ่นที่กำลังเจริญเติบโต ก่อตัวหนาแน่น ยอดเมฆคมชัด ฐานเรียบสีเทา เมฆมีความหนามากกว่า 3,000 ฟุต และเมฆมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 - 10 กิโลเมตร (จากสายตา และ Weather Radar หากพบเมฆในพื้นที่เป้าหมายไม่เป็นไปตามเงื่อนไขให้รอจนกว่ากลุ่มเมฆจะเข้าเงื่อนไข ถ้าพิจารณาแล้วไม่มีกลุ่มเมฆในเงื่อนไข สามารถยกเลิกภารกิจและนำสารฝนหลวงกลับภาคพื้นได้)

รูปแบบการโปรย : ใช้เทคนิคแซนวิชโดยใช้เครื่องบินตั้งแต่ 2 ลำ ทำการบินด้วยความสูง 2 ระดับ บินทำมุม 45 องศา เริ่มปฏิบัติการโปรยสารฝนหลวงในด้านที่เมฆมีการเจริญเติบโต หรือด้านที่เมฆรับแสงอาทิตย์ โดยบินปฏิบัติการตามรูปร่างของเมฆคิวมูลัส

ความสูงการบิน :

- การบินระดับบน ใช้สารฝนหลวงสูตร 1 โปรยภายในเมฆที่ระดับทับยอดเมฆ/ใกล้เคียงระดับยอดเมฆมากที่สุด แต่ระดับการบินสูงไม่เกิน 10,000 ฟุต โดยเริ่มโปรยสารฝนหลวงสูตร 1 ก่อนการโปรยสารฝนหลวงสูตร 4 ระดับล่างเวลาห่างกันเล็กน้อย
- การบินระดับล่าง ใช้สารฝนหลวงสูตร 4 โปรยภายในเมฆหรือชิดขอบเมฆที่ระดับสูงกว่าฐานเมฆ 500 - 1,000 ฟุต กรณีที่ไม่สามารถลงมาชิดขอบเมฆ ให้บินในระดับปลอดภัยที่ต่ำสุด ถ้ามองเห็นฐานเมฆและยอดเขาสามารถบินเข้าปฏิบัติการได้ แต่ถ้าเห็นฐานเมฆแต่ไม่เห็นยอดเขาหรือไม่เห็นฐานเมฆให้ยกเลิกภารกิจ แต่อย่างไรก็ตามระดับการบินไม่ต่ำกว่า 5,000 ฟุต

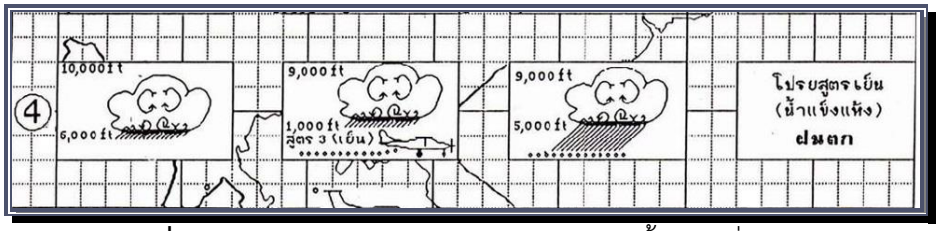
ภาพที่ 2.9 ลักษณะเมฆที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 3 (ซ้าย) และรูปแบบการบินในขั้นตอนที่ 3 (ขวา)

Highlight/Trick :

1) อัตราการโปรยสารฝนหลวง ดูตารางที่ 2.4
2) ให้เครื่องบินที่บรรทุกเกลือแป้งบินเข้าปฏิบัติการก่อน
3) กรณีใช้เครื่องบินลำเดียว ให้ปฏิบัติการโปรยสูตร1 ที่ระดับบนให้เสร็จก่อน แล้วลดระดับเพื่อโปรยสูตร4

2.2.4 ขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 4 คือ การเสริมการโจมตีเมฆอุ่น เพื่อเพิ่มปริมาณฝนให้มากขึ้น โดยการโปรยเกล็ดน้ำแข็งแห้งที่บริเวณต่ำกว่าฐานเมฆประมาณ 1,000 ฟุต เพื่อปรับลดอุณหภูมิของอากาศใต้ฐานเมฆ ซึ่งจะช่วยลดการระเหยของน้ำออกจากเม็ดฝนลง ซึ่งกลุ่มฝนจะตกจากฐานเมฆถึงพื้นดินได้เร็วขึ้น และเม็ดฝนมีขนาดใหญ่ ฝนจึงตกหนักขึ้น และทำให้ได้ปริมาณน้ำฝนสูงกว่าการปล่อยให้ตกเองตามธรรมชาติ และชักนำให้กลุ่มฝนเคลื่อนตัวเข้าสู่พื้นที่เป้าหมายหวังผลได้แน่นอนขึ้น



ภาพที่ 2.10 แสดงแผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 4

สารฝนหลวง : สูตร 3 (น้ำแข็งแห้ง: CO_2 (s))

ลักษณะอากาศ :

- กลุ่มเมฆเป้าหมาย เป็นกลุ่มเมฆคิวมูลัสที่มีฐานสีเทาเข้มเห็นได้อย่างชัดเจน เมฆยังคงมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน และมีการพัฒนาตัวที่เพียงพอต่อการตกเป็นฝนหรืออาจเริ่มมีฝนตกเล็กน้อยในบางส่วนและเมฆไม่อยู่ในสถานะที่มีสภาพอากาศแปรปรวน และเป็นอันตรายต่อการบิน

รูปแบบการโปรย : บินวนใต้ฐานเมฆ

ความสูงการบิน : โปรยสารฝนหลวง ต่ำกว่าระดับฐานเมฆในระยะ 500 - 1,000 ฟุต

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

Highlight/Trick :

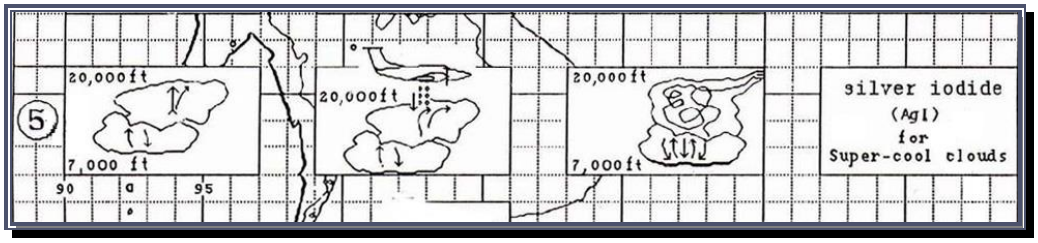
1) อัตราการโปรย : 15 - 20 กิโลกรัม/NM (คำนวณจากอัตราการโปรยจากเครื่องบิน Caravan จำนวน 700 กิโลกรัม ระยะเวลา 20 - 25 นาที)

2) เนื่องจากการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 4 เป็นการปฏิบัติการใต้ฐานเมฆ ในกรณีที่มีภูเขา นักบินจะเป็นผู้พิจารณาระดับความสูงที่ปลอดภัยสำหรับการปฏิบัติการ

3) เครื่องบิน AU23A มีข้อจำกัดในการโปรยสารฝนหลวงสูตร 3 เนื่องจากเครื่องบินมีขนาดเล็กการระบายอากาศน้อย ทำให้มีผลต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานบนอากาศยาน

2.2.5 ขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 5 คือ การโจมตีเมฆเย็นด้วยซิลเวอร์ไอโอไดด์ (AgI) ที่ระดับความสูง 20,000 ฟุตขึ้นไป เพื่อให้ไอน้ำระเหยจากเม็ดน้ำเย็นยิ่งยวด (Super Cooled Vapour) มาเกาะรอบ AgI ทำให้มีผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นจำนวนมากยิ่งขึ้นบริเวณยอดเมฆ และมีกระแสอากาศปั่นป่วน เนื่องจากการคายความร้อนแฝง ผลึกน้ำแข็งจะเจริญเติบโตได้ดี และตกลงมาละลายกลายเป็นฝนตกลงสู่พื้นดิน หรือรวมตัวกับเม็ดน้ำในเมฆอุ่นเป็นเม็ดน้ำขนาดใหญ่ขึ้นและเป็นฝนตก



ภาพที่ 2.12 แผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 5

สารฝนหลวง : ซิลเวอร์ไอโอไดด์ (AgI)

ลักษณะอากาศ :

- เป็นเมฆคิวมูลัส ในระยะ Mature/Stage/ที่ก่อยอดพัฒนาตัวเป็นเมฆเย็น มีลักษณะเมฆเป็นแบบ Medium/Hard โดยฐานเมฆต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 5 กิโลเมตร

รูปแบบการยิงพลุ AgI : กรณียอดเมฆมีความสูงน้อยกว่า 22,000 ฟุต : การยิงพลุ AgI จะยิงเหนือยอดเมฆเย็นโดยบินเหนือยอดเมฆให้ใกล้ยอดที่สุด หรือบินเข้าเมฆโดยระดับบินต่ำกว่ายอดเมฆไม่เกิน 500 - 1,000 ฟุต และยิงพลุให้เข้าเมฆขณะที่บินผ่านให้พลุพุ่งเข้าสู่ยอดเมฆเป้าหมายได้สำเร็จ

รูปแบบการยิงพลุ AgI : กรณียอดเมฆมีความสูงมากกว่า 22,000 ฟุต : การยิงพลุ AgI จะยิงจากด้านข้างเมฆเย็นในกรณีไม่สามารถทำการยิงพลุเหนือยอดเมฆได้

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

อัตราการใช้สาร : ใช้พลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ จำนวน 2 - 3 นัด ต่อ 1 ยอดเมฆ

ภาพที่ 2.13 ลักษณะเมฆที่เหมาะสมแบบ Hard ของการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 5 (บน) และรูปแบบการยิงพลุ AgI ในขั้นตอนที่ 5 : การยิงพลุ AgI เหนือยอดเมฆเย็น (ซ้ายล่าง) และการยิงพลุ AgI จากด้านข้างเมฆเย็น (ขวาล่าง)

Highlight/Trick :

1) การปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 5 จะไม่ปฏิบัติการกับเมฆในระยะ Dissipating Stage

2) ระดับความสูงของ Freezing Level (0 ^{o}C) ของแต่ละภูมิภาค (ค่าเฉลี่ย 3 ปี พ.ศ. 2559-2561) ตามตารางที่ 2.2

3) ระดับความสูงของ Freezing Level (-10 ^{o}C) ของแต่ละภูมิภาค (ค่าเฉลี่ย 3 ปี พ.ศ. 2559-2561) ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 แสดงระดับความสูงของ Freezing Level (0 ^{o}C) ของแต่ละภูมิภาค (ค่าเฉลี่ย 3 ปี พ.ศ. 2559-2561)

ภาค	ฤดูแล้ง		ฤดูฝน		สถานีตรวจอากาศ
	ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)	ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)	
เหนือ	16,800	16,800	16,300	16,400	อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่
	16,400	16,500	16,800	16,800	อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก
กลาง	16,400	16,400	16,500	16,450	อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์
ตะวันออกเฉียงเหนือ	16,800	16,800	16,700	16,700	อ.พิมาย จ.นครราชสีมา
ตะวันออก	16,700	16,700	16,400	16,400	อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี
ใต้*	16,900	16,900	16,600	16,400	อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์

หมายเหตุ : * ภาคใต้ เป็นข้อมูลปี 2558 จากสถานีตรวจอากาศ อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์

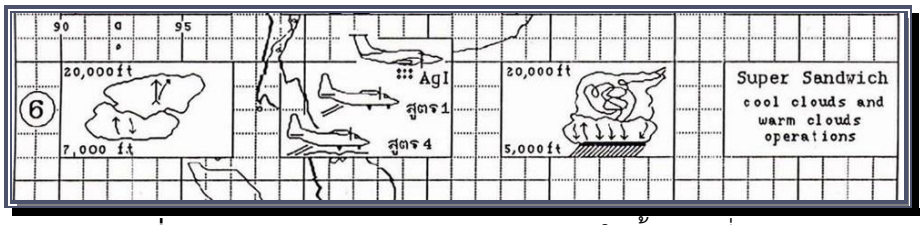
ตารางที่ 2.3 แสดงระดับความสูงของ Freezing Level (-10 ^{o}C) ของแต่ละภูมิภาค (ค่าเฉลี่ย 3 ปี พ.ศ. 2559-2561)

ภาค	ฤดูแล้ง		ฤดูฝน		สถานีตรวจอากาศ
	ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)	ค่าเฉลี่ย (ฟุต)	มัธยฐาน (ฟุต)	
เหนือ	21,631	21,929	22,273	22,860	อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่
	22,117	22,139	22,794	22,827	อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก
กลาง	22,031	22,075	22,458	22,561	อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์
ตะวันออกเฉียงเหนือ	22,244	22,303	22,749	22,741	อ.พิมาย จ.นครราชสีมา
ตะวันออก	22,178	22,217	22,377	22,393	อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี
ใต้*	22,980	23,010	22,568	22,586	อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์

หมายเหตุ : * ภาคใต้ เป็นข้อมูลปี 2558 จากสถานีตรวจอากาศ อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์

2.2.6 ขั้นตอนที่ 6

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



ภาพที่ 2.14 แสดงแผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 6

สารฝนหลวง : สูตร 1 (เกลือแป้ง : NaCl) สูตร 4 (ยูเรีย : $CO(NH_2)_2$) และพลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ (AgI)

ลักษณะอากาศ :

เมฆคิวมูลัสที่ก่อยอดและเมฆพัฒนาตัวที่มียอดสูงตั้งแต่ 20,000 ฟุตขึ้นไป

รูปแบบการโปรย : ใช้เทคนิคซุปเปอร์แซนวิช โดยใช้เครื่องบิน ตั้งแต่ 3 ลำขึ้นไป

ความสูงการบิน :

- เครื่องบินลำบน ใช้สารยิงพลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ที่ยอดเมฆ/ในเมฆ
- เครื่องบินลำกลาง ใช้สารฝนหลวงสูตร 1 โปรยภายในเมฆที่ระดับยอดเมฆอุ่น/ใกล้เคียงระดับยอดเมฆมากที่สุด แต่ระดับการบินสูงไม่เกิน 10,000 ฟุต
- เครื่องบินลำล่าง ใช้สารฝนหลวงสูตร 4 โปรยภายในเมฆที่ระดับสูงกว่าฐานเมฆประมาณ 500 - 1,000 ฟุต แต่ระดับการบินไม่ต่ำกว่า 5,000 ฟุต
- การบินทั้ง 3 ระดับ ควรมีระดับความสูงการบินต่างกันไม่น้อยกว่า 1,000 ฟุต

Highlight/Trick

1) อัตราการโปรยสารฝนหลวง ดูตารางที่ 2.4

2) อัตราการใช้พลุ AgI ดูขั้นตอนที่ 5

3) เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำฝนโดยเสริมการโจมตีด้วยน้ำแข็งแห้ง (ขั้นตอนที่ 4)

2.3 การปฏิบัติการยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ

เป็นการประยุกต์ใช้การโจมตีเมฆเย็น ในขั้นตอนที่ 5 เพื่อยับยั้งและบรรเทาความรุนแรงของการเกิดพายุลูกเห็บในช่วงฤดูร้อนหรือช่วงที่กำลังเปลี่ยนฤดูกาล โดยปกติจะอยู่ในช่วงระหว่าง เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมของทุกปี ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่เกษตรกรรมและเขตชุมชน

สารฝนหลวง: พลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ (AgI)

ลักษณะอากาศ :

- เมฆคิวมูลัสที่ก่อยอดและเมฆพัฒนาตัวที่มียอดสูงตั้งแต่ 20,000 ฟุตขึ้นไป มีลักษณะเป็นแบบ Hard

รูปแบบการยิงพลุ AgI : การยิงพลุ AgI จะยิงเหนือยอดเมฆหรือด้านข้างเมฆ โดยให้พลุพุ่งสู่ยอดเมฆเป้าหมายได้สำเร็จมากที่สุด ภายใต้ดุลยพินิจความปลอดภัยของนักบิน

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

อัตราการใช้สาร : ใช้พลุ AgI 6 - 8 นัด ต่อ 1 ยอดเมฆ ในกรณีที่ยอดเมฆดังกล่าวยกตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ให้สามารถเพิ่มปริมาณการใช้พลุ AgI ต่อยอดเมฆเป้าหมาย จนกระทั่งยอดเมฆทรงตัว หรือยุบตัว และสามารถบินวนกลับมายิงพลุซ้ำที่ยอดเมฆเดิมได้ และสามารถปฏิบัติการเพิ่มเติมกับกลุ่มเมฆที่มีกำลังมีแนวโน้มเป็นพายุลูกเห็บได้เพื่อป้องกันการเกิดพายุลูกเห็บได้

ภาพที่ 2.15 แสดงภาพรายงานการเกิดพายุลูกเห็บ บริเวณตำบลนิคมสงเคราะห์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี เมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2562 (ซ้าย) และสภาพลักษณะเมฆคิวมูลัสที่เหมาะสมและมีโอกาสการเกิดลูกเห็บ (ขวา)

2.4 การปฏิบัติการบรรเทาหมอกควันและไฟป่า

เป็นการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนต่างๆ เพื่อลดความหนาแน่นของหมอกควันในบรรยากาศ ลดปัญหาฝุ่นละอองในอากาศ และลดความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดจากไฟป่า

ภาพที่ 2.16 ภาพการเกิดไฟป่าที่บริเวณเขาทะลุ อำเภอสวี จังหวัดชุมพร (วันที่ 7 เมษายน 2562)

2.5 ภารกิจการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอุ่นโดยใช้พลุสารดูดความชื้น

เป็นการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอุ่น ในขั้นตอนที่ 2 โดยการจุดพลุสารดูดความชื้นเพื่อเร่งการพัฒนาตัวของเมฆที่ก่อขึ้น หรือเมฆเดิมที่มีอยู่ตามธรรมชาติ หรือสามารถใช้ร่วมกับการโปรย $CaCl_2$ แบบผงได้ เพื่อเร่งให้เมฆมีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถก่อยอดสูงขึ้นถึงระดับ 15,000 ฟุต ได้เร็วกว่าที่จะปล่อยให้เติบโตขึ้นเองตามธรรมชาติ

สารฝนหลวง : พลุสารดูดความชื้น $CaCl_2$

ลักษณะอากาศ :

เมฆคิวมูลัส ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 5 กิโลเมตร ความหนาจากฐานเมฆถึงยอดเมฆอย่างน้อย 3,000 ฟุตขึ้นไป

รูปแบบการจุดพลุดูดความชื้น $CaCl_2$:

- ปฏิบัติการใต้ฐานเมฆให้ชิดฐานเมฆมากที่สุดในบริเวณที่มีกระแสอากาศไหลขึ้น เพื่อให้กระแสลมพัดพาสารเข้าไปในกลุ่มเมฆ

- ใช้เครื่องบิน AU23A ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับพลุสารดูดความชื้นบริเวณส่วนปีกของเครื่องบินทั้งสองข้าง ซึ่งสามารถบรรจุได้ข้างละ 6 นัด รวมทั้งหมด 12 นัด อัตราการจุด 6 นาทีต่อนัด และใช้ปริมาณพลุสารดูดความชื้นจำนวน 2 - 6 นัดต่อกลุ่มเมฆ

ภาพที่ 2.17 แสดงติดตั้งอุปกรณ์สำหรับพลุสารดูดความชื้นและการใช้พลุสารดูดความชื้นเครื่องบิน AU23A (ซ้าย) และรูปแบบการบินในการใช้พลุสารดูดความชื้น (ขวา)

2.6 เงื่อนไขที่สำคัญของการปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการทำฝน

2.6.1 การบินภายใต้เงื่อนไขสภาพภูมิประเทศ

1) การบินปฏิบัติการในบริเวณพื้นที่แนวชายแดนต้องบินห่างจากเส้นแบ่งเขตชายแดนไม่น้อยกว่า 5 NM หรือประมาณ 10 กิโลเมตร

2) การบินปฏิบัติการในบริเวณพื้นที่ราบหรือบริเวณยอดเขา ต้องมีระยะการบินห่างจากภูมิประเทศ อย่างน้อย 2,000 ฟุต หรืออยู่ในระดับความสูงที่นักบินเห็นว่ามีความปลอดภัย ถ้าในกรณีมีความจำเป็นต้องบินในระดับต่ำ

3) ไม่สามารถบินปฏิบัติการในบริเวณพื้นที่เฉพาะ หรือมีข้อจำกัดทางการบินบางช่วงเวลาได้ อาทิ พื้นที่ฝึกบิน พื้นที่ฝึกใช้อาวุธ ฯลฯ

2.6.2 อัตราการโปรยสารฝนหลวง

อัตราการโปรยสารฝนหลวงแยกตามจำนวนและแบบของอากาศยาน ซึ่งควบคุมระดับความเข้มข้นของสารฝนหลวงที่ 45 กิโลกรัม/NM ของสารฝนหลวง สูตร 1, 4, 6 และ 8

ตารางที่ 2.4 แสดงอัตราการโปรยสารฝนหลวงของเครื่องบินแต่ละชนิดที่ใช้ในการปฏิบัติการฝนหลวง

เครื่องบิน	จำนวน (ลำ)	รูปแบบการบิน	การโหลดสารฝนหลวง (กิโลกรัม)	อัตราเร็วในการบิน (NM/hr)	อัตราการโปรย (กิโลกรัม/NM/ลำ)	ระยะทางบิน (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
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
AU23A	2	บินหมู่ 2	800	100	16 - 26	10 - 15	โปรย 10 - 15 นาที
CN	1	บินเดี่ยว	2,000	130	36 - 45	40 - 60	โปรย 20 - 28 นาที
BT	1	บินเดี่ยว	2,000	110	34 - 45	45 - 60	โปรย 25 - 30 นาที

หมายเหตุ :

1) รูปแบบการบินของ Caravan เกาะหมู่ระยะห่าง 2 ช่วงปีก ระยะสูง 100 - 150 ฟุต
รูปแบบการบินของ Casa เกาะหมู่ระยะห่าง 2 ช่วงปีก ระยะสูง 500 ฟุต

2) อัตราการโปรยสารฝนหลวง พิจารณาจากความเข้มข้นในการโปรยสารฝนหลวง (สูตร 1, 4, 6 และ 8 ที่อัตรา 45 กิโลกรัม/NM โดยคำนวณจากการโปรยสารฝนหลวง 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 สำหรับการปฏิบัติงานในแต่ละครั้ง อาจไม่เพียงพอ เพราะการปฏิบัติงานจะต้องใช้อัตราการโปรยต่อระยะทางที่สูงมาก ดังนั้นในการปฏิบัติงานจริงนักวิชาการอาจไม่สามารถรักษาระดับความเข้มข้นของสารฝนหลวงที่ 45 กิโลกรัม/NM ได้

3. การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง

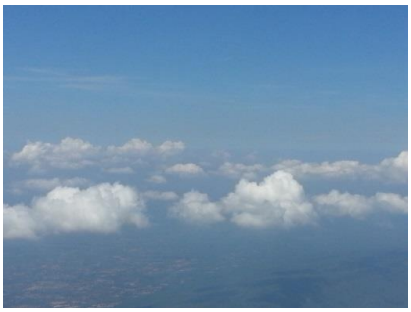
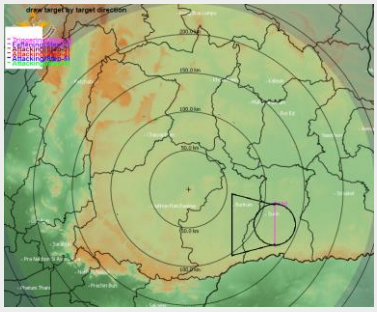
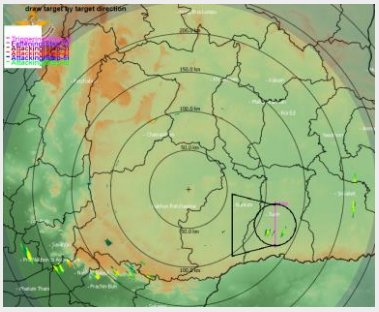
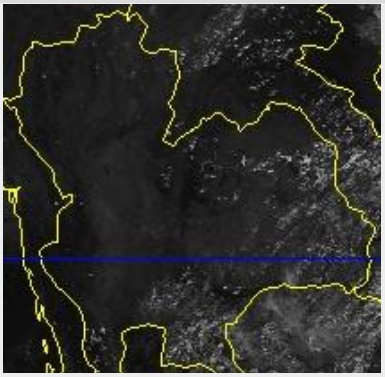
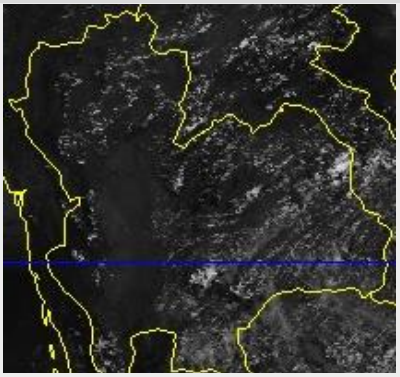
การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง เป็นการประเมินผลความสำเร็จของการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน โดยภายหลังจากการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละขั้นตอนเสร็จสิ้นแล้ว กลุ่มเมฆที่เข้าไปปฏิบัติการมีการเปลี่ยนแปลงหรือ พัฒนาตัวในทางที่ดีขึ้นหรือไม่ อย่างไร รวมทั้งการประเมินผลความสำเร็จของการปฏิบัติการฝนหลวงตามภารกิจการช่วยเหลือในพื้นที่เป้าหมายที่กำหนดประจำวันว่าสามารถช่วยเหลือ แก้ไข และบรรเทาความเดือดร้อน ของประชาชนหรือหน่วยงานต่างๆได้บรรลุตามวัตถุประสงค์หรือไม่ หลักเกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง ประกอบด้วยหลักเกณฑ์ในการประเมินผล การปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน และหลักเกณฑ์ในการประเมินผลการทำฝนตามภารกิจประจำวัน

3.1 หลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน

เป็นการกำหนดหลักเกณฑ์ในการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน โดยประเมินความสำเร็จของการดำเนินงานจากสภาพหรือลักษณะของเมฆในพื้นที่เป้าหมายว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงก่อน และหลังการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างไร โดยกำหนดชนิดข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผล รวมทั้งกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการประเมินผลความสำเร็จในแต่ละขั้นตอน หลักเกณฑ์ในการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ถึง 3.4

ตารางที่ 3.1 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 1

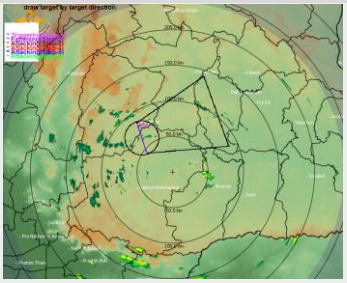
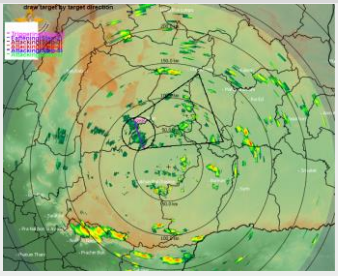
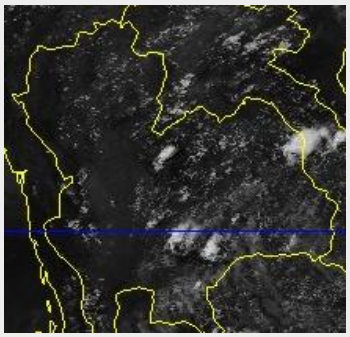
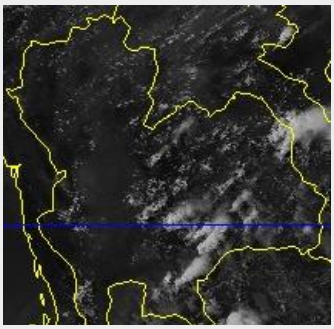
การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ภาพดาวเทียม	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาคพื้น	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
ขั้นตอนที่ 1	มีค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Radar Reflectivity) ระหว่าง 0-20 dBZ ที่ระดับ 3.25 กม.	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวง (VIS)	**<u>กรณี</u>** **ก่อนการปฏิบัติการ** ฝนหลวง : ท้องฟ้าโปร่ง **หลังการปฏิบัติการ** ฝนหลวง : พบเมฆก่อตัวใพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวง (ภาพถ่ายจากอากาศยาน/ภาคพื้น)	แยกเป็น 2 กรณี 1.ท้องฟ้าโปร่ง ภายใน 5 ชั่วโมง
			<u>กรณี</u> **ก่อนการปฏิบัติการ**ฝนหลวง มีเมฆก่อตัวอยู่เดิม **หลังการปฏิบัติการ** ฝนหลวง : พบว่าเมฆมีปริมาณหรือขนาดเพิ่มมากขึ้น (ภาพถ่ายจากอากาศยาน/ภาคพื้น)	2.มีเมฆก่อตัวอยู่แล้ว ภายใน 3 ชั่วโมง (ภายหลังจากภารกิจการโปรยสารฝนหลวงเสร็จสิ้น)

การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ภาพดาวเทียม	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาคพื้น	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
การประเมินผล	**ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 1**		**หลังการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 1**	
การสังเกตด้วยสายตา	ท้องฟ้ามีเมฆเล็กน้อย **ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ** **จังหวัดขอนแก่น** **วันที่ 3 พฤษภาคม 2558 เวลา 10:35 น.**		เมฆมีปริมาณหรือขนาดเพิ่มมากขึ้น  **ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ** **จังหวัดขอนแก่น** **วันที่ 3 พฤษภาคม 2558 เวลา 10:55 น.**	
ข้อมูลเรดาร์	ไม่พบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ในบริเวณพื้นที่เป้าหมายปฏิบัติการฝนหลวง  **ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ** **จังหวัดสุรินทร์** **วันที่ 6 ตุลาคม 2561 เวลา 11:30 น.**		เริ่มพบค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ในบริเวณพื้นที่เป้าหมายปฏิบัติการฝนหลวง  **ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ** **จังหวัดสุรินทร์** **วันที่ 6 ตุลาคม 2561 เวลา 14:00 น.**	
ข้อมูลภาพดาวเทียม	 **ภาพดาวเทียม VIS แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ** **จังหวัดนครราชสีมา** **วันที่ 10 เมษายน 2562 เวลา 11:30 น.**		 **ภาพดาวเทียม VIS แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ** **จังหวัดนครราชสีมา** **วันที่ 10 เมษายน 2562 เวลา 13:00 น.**	

ที่มา : ภาพถ่ายและภาพเรดาร์ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และภาพดาวเทียมของกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 3.2 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 2

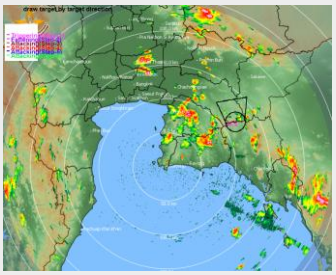
การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ภาพดาวเทียม	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาคพื้น	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
ขั้นตอนที่ 2	มีค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ ไม่น้อยกว่า 28 dBZ และกลุ่มเมฆมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ไม่น้อยกว่า 5 กม.	IR โดยมีอุณหภูมิยอดเมฆน้อยกว่า 5 องศาเซลเซียส และ VIS พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวง	เมฆก่อยอดสูงเพิ่มมากขึ้นหรือมีความหนา > 3,500 ฟุต หรือพบกลุ่มเมฆมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ≥ 5 กม. โดยการวัดจากการคำนวณจากระยะทางการบินผ่านเมฆ หรือ การจับพิกัดก่อน – หลัง เข้าเมฆ หรือ Weather Radar บนเครื่องบินเมฆบริเวณใกล้เคียงที่เกิดจากธรรมชาติที่มีคุณสมบัติตรงตามเงื่อนไขที่จะเกิดเป็นเมฆฝนหรือเมฆเป้าหมายสามารถนับรวมเป็นความสำเร็จของขั้นตอนที่2	ภายใน 60 นาที (ภายหลังจากภารกิจการโปรยสารฝนหลวงเสร็จสิ้น)
การประเมินผล	**ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 2**		**หลังการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 2**	
การสังเกตด้วยสายตา	มีเมฆคิวมูลัสก่อตัวอยู่ก่อนแล้ว **ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 28 สิงหาคม 2559 เวลา 16:05 น.**		เมฆพัฒนาตัวก่อยอดสูงเพิ่มมากขึ้น **ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 28 สิงหาคม 2559 เวลา 16:25 น.**	
ข้อมูลเรดาร์	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย		กลุ่มเมฆพัฒนาตัว โดยที่ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์มีค่าความเข้มเพิ่มมากขึ้น	

การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ภาพดาวเทียม	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาคพื้น	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
	 ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดขอนแก่น วันที่ 18 สิงหาคม 2561 เวลา 10:30 น.		 ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดขอนแก่น วันที่ 18 สิงหาคม 2561 เวลา 12:24 น.	
ข้อมูลภาพดาวเทียม	 ภาพดาวเทียม VIS แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 10 เมษายน 2562 เวลา 14:00 น.		 ภาพดาวเทียม VIS แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 10 เมษายน 2562 เวลา 15:00 น.	

ที่มา : ภาพถ่ายและภาพเรดาร์ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และภาพดาวเทียมของกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 3.3 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 3

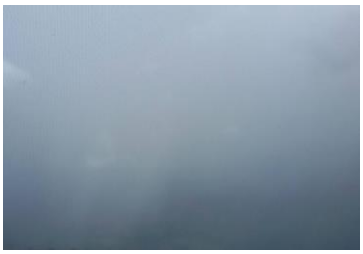
การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ถังวัดน้ำฝน	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาคพื้น	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
ขั้นตอนที่ 3	ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ มากกว่า 35 dBZ (≥ 6 นาที) และพบกลุ่มฝนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5 กม. หรือปริมาณฝนสะสมที่ประเมินจากเรดาร์ (Z) มีค่า ≥ 3 มม.	ปริมาณน้ำฝน มากกว่า 0.1 มม. ในพื้นที่เป้าหมาย ที่มา : อุตุฯ /สสน./อสฝล./อื่นๆ	มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมายสังเกตพบโดยนักวิชาการ หรือ อสฝล./ประชาชนทั่วไป รายงาน : ไลน์/โทรศัพท์	ภายใน 3 ชั่วโมง (ภายหลังจากภารกิจการโปรยสารฝนหลวงเสร็จสิ้น)
การประเมินผล	**ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 3**		**หลังการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 3**	

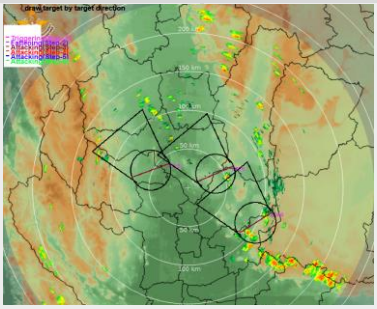
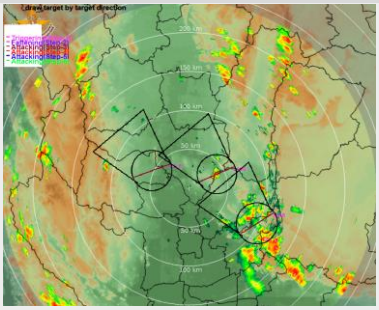
การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ถังวัดน้ำฝน	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาคพื้น	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
การสังเกตด้วยสายตา	เมฆคิวมูลัสที่ยังไม่มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย **ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ** **จังหวัดนครราชสีมา** **วันที่ 21 สิงหาคม 2559 เวลา 15:05 น.**		เริ่มมีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย **ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ** **จังหวัดนครราชสีมา** **วันที่ 21 สิงหาคม 2559 เวลา 16:10 น.**	
ข้อมูลเรดาร์	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย  **ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ** **จังหวัดจันทบุรี** **วันที่ 4 พฤษภาคม 2561 เวลา 14:06 น.**		มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย (ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ > 35 dBZ) **ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ** **จังหวัดจันทบุรี** **วันที่ 4 พฤษภาคม 2561 เวลา 15:30 น.**	

ที่มา : ภาพถ่ายและภาพเรดาร์ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร

ตารางที่ 3.4 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 4 - 6

การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ถังวัดน้ำฝน	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาคพื้น	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
ขั้นตอนที่ 4	ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์มากกว่า 35 dBZ (≥ 6 นาที) และพบกลุ่มฝนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5 กม. หรือปริมาณฝนสะสมที่ประเมินจากเรดาร์ (Z) มีค่า ≥ 3 มม.	ปริมาณน้ำฝน มากกว่า 0.1 มม. ในพื้นที่เป้าหมาย ที่มา : อุตุฯ /สสน./อสฝล./อื่นๆ	มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมายสังเกตพบโดยนักวิชาการ หรือ อสฝล./ประชาชนทั่วไป รายงาน : ไลน์/โทรศัพท์	ภายใน 3 ชั่วโมง (หลังปฏิบัติการ)

การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ถังวัดน้ำฝน	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาคพื้น	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
ขั้นตอนที่ 5	มีค่าความเข้มของกลุ่มฝนมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มก่อนปฏิบัติการ และมีค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ มากกว่า 40 dBZ (≥ 6 นาที) หรือปริมาณฝนสะสมที่ประเมินจากเรดาร์ (Z) มีค่า ≥ 6 มม.	ปริมาณน้ำฝน มากกว่า 0.1 มม.ในพื้นที่เป้าหมาย ที่มา : อุตุฯ /สสน./อสฝล./อื่นๆ	มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย รายงาน :ไลน์/โทรศัพท์	ภายใน 2 ชั่วโมง (หลังปฏิบัติการ)
ขั้นตอนที่ 6	มีค่าความเข้มของกลุ่มฝนมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเข้มก่อนปฏิบัติการ และมีค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ มากกว่า 40 dBZ (≥ 6 นาที) หรือปริมาณฝนสะสมที่ประเมินจากเรดาร์ (Z) มีค่า ≥ 6 มม.	ปริมาณน้ำฝน มากกว่า 0.1 มม.ในพื้นที่เป้าหมาย ที่มา : อุตุฯ /สสน./อสฝล./อื่นๆ	มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย รายงาน : ไลน์/โทรศัพท์	ภายใน 2 ชั่วโมง (หลังปฏิบัติการ)
การประเมินผล	**ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 4 - 6**		**หลังการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 4 - 6**	
การสังเกตด้วยสายตา	เมฆคิวมูลัสเริ่มมีฝนตกเล็กน้อยในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย **ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 16 กรกฎาคม 2559 เวลา 12:45 น.**		มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมายเป็นวงกว้างมากขึ้น  **ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 16 กรกฎาคม 2559 เวลา 13:10 น.**	
ข้อมูลเรดาร์	พบกลุ่มเมฆฝนในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย		มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมายเป็นวงกว้างมากขึ้น (ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ > 40 dBZ)	

การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ถังวัดน้ำฝน	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาคพื้น	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
	 ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดลพบุรี วันที่ 23 ตุลาคม 2561 เวลา 12:54 น.		 ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดลพบุรี วันที่ 23 ตุลาคม 2561 เวลา 14:36 น.	

ที่มา : ภาพถ่ายและภาพเรดาร์ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร

3.2 หลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละภารกิจ

เป็นการประเมินผลสำเร็จการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละภารกิจ ประกอบด้วย การบรรเทาปัญหาหมอกควันและไฟป่า, การยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ, การป้องกันและแก้ไขภัยแล้ง, และการเติมน้ำต้นทุนให้เขื่อนกักเก็บน้ำ หลักเกณฑ์ในการประเมินผลสำเร็จการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละภารกิจ แสดงดังตารางที่ 3.5

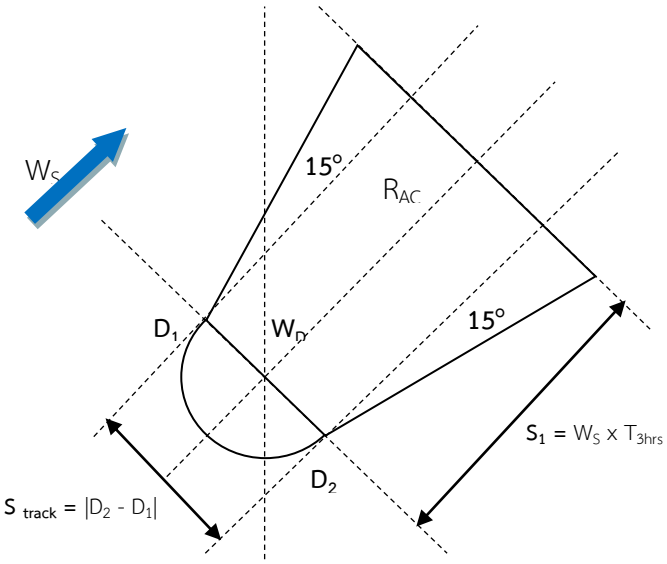
ตารางที่ 3.5 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินผลสำเร็จการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละภารกิจ

ภารกิจ	ความสำเร็จของภารกิจ	เกณฑ์การประเมิน	แหล่งข้อมูล	วิธีการประเมิน
การบรรเทาปัญหาหมอกควันและไฟป่า	- มีฝนตกในพื้นที่เป้าหมาย	มีปริมาณฝน 24 ชม มากกว่า 0.1 mm	-ฝนสะสมรายวัน เรดาร์ -ปริมาณน้ำฝน จาก อุตุฯ/สสนก./อสฝล./ชป./ กฟผ./สมาคมชาวไร่อ้อย/ โรงงานน้ำตาล	- ใช้โปรแกรมประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงอัตโนมัติซึ่งใช้ค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar reflectivity)
การยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ	สามารถบรรเทาความรุนแรงของพายุลูกเห็บในพื้นที่เป้าหมาย	ไม่มีรายงานการเกิดลูกเห็บจากเมฆเป้าหมายการปฏิบัติการภายในระยะเวลา 3 ชั่วโมง นับจากเวลาเริ่มปฏิบัติการ	- ภาพถ่ายกลุ่มเมฆก่อนและหลังการปฏิบัติการที่ถ่ายในมุมเดียวกัน - ข้อมูลเรดาร์ -ข่าว/รายงานของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย/TMD /อสฝล.	- พบค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar reflectivity) ในบริเวณพื้นที่เป้าหมายลดลง - ไม่มีรายงานการเกิดลูกเห็บจากเมฆเป้าหมายการปฏิบัติการ

ภารกิจ	ความสำเร็จของภารกิจ	เกณฑ์การประเมิน	แหล่งข้อมูล	วิธีการประเมิน
การป้องกันและแก้ไขภัยแล้ง	- มีฝนตกในพื้นที่เป้าหมาย - สามารถสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงตอบสนองผู้ขอรับบริการ ได้	- มีฝนตกในพื้นที่เป้าหมาย - หรือพื้นที่เป้าหมายมีปริมาณฝนสะสม 7 วัน มากกว่า 10 มม. - ผู้ขอรับบริการฝนหลวงได้รับการช่วยเหลือภายในเวลาที่กำหนด <u>ข้อเสนอแนะ</u> มีพื้นที่ฝนตก สะสม 7 วัน มากกว่า 50 % ของพื้นที่เป้าหมายที่กำหนด (พท.ขอรับบริการ - พื้นที่ฝนสะสม 7 วัน น้อยกว่า 10 มม. - พท.ประกาศของ ปภ.)	-ระบบรายงานการปฏิบัติการฝนหลวง -การรายงานปริมาณน้ำฝนจาก อสฝล./ TMD (ฝนสะสมรายวัน เรดาร์)/DRRAA (เรดาร์)/ สสนก. -ระบบขอรับบริการฝนหลวง	- พบค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar reflectivity) ในพื้นที่กรวย* ที่ได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง - ปริมาณฝน 24 ชม. (รายสถานี และ Contour เมื่อไม่มีฝนรายสถานี) - การประสานงานกับผู้ขอรับบริการฝนหลวง หรือ อสฝล.ในพื้นที่เป้าหมายหลังจากปฏิบัติการ
การเติมน้ำต้นทุนให้เขื่อนกักเก็บน้ำ	- มีปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเป้าหมายในวันถัดไป หรือ - มีฝนตกในบริเวณพื้นที่ลุ่มรับน้ำของเขื่อน Q = CIA C = ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละเขื่อน IA = ฝน Evaluated (ลบ.ม.)	- มีปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อน หรือ - มีปริมาณฝน 24 ชม. มากกว่า 0.1 มม. ในบริเวณพื้นที่ลุ่มรับน้ำ	- รายงานจากกรมชลประทาน, การไฟฟ้าฝ่ายผลิต/TMD - ฝนสะสมรายวัน เรดาร์ - ปริมาณน้ำฝน จาก อุตุฯ/สสนก./อสฝล./ชป./ กฟผ./สมาคมชาวไร่อ้อย/ โรงงานน้ำตาล	- ประเมินจากปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเป้าหมายในวันถัดไป - ใช้โปรแกรมประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงอัตโนมัติซึ่งใช้ค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar reflectivity) ในบริเวณพื้นที่ลุ่มรับน้ำของเขื่อน

หมายเหตุ:

1) การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่โดยพื้นที่กรวยรับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง ดังแสดงรูปที่ 3.1 แสดงการกำหนดขนาด และรูปแบบกรวยประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่ และตารางที่ 3.6 ตัวแปรที่ใช้ในการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่โดยพื้นที่กรวยรับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง



รูปที่ 3.1 แสดงการกำหนดขนาด และรูปแบบกรวยประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรที่ใช้ในการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่โดยพื้นที่กรวยรับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง

ลำดับ	ตัวแปร	รายละเอียด	หน่วย	หมายเหตุ
1	$W_{S,D}$	เวคเตอร์ของลมเฉลี่ย ที่ระดับ 5,000-10,000 ฟุต	knots	ผลจากการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศ หรือการเคลื่อนตัวของกลุ่มเมฆจากเรดาร์ หรือทิศทางและความเร็วลมจากอากาศยาน
2	W_S	ความเร็วลมเฉลี่ย ที่ระดับ 5,000-10,000 ฟุต ($W_S \leq$ 50 กม.)	knots	
3	W_D	ทิศทางลมเฉลี่ย ที่ระดับ 5,000-10,000 ฟุต	องศา	
4	D_1	พิกัด (Lat_1, Lon_1) เริ่มต้นการโปรยสารฝนหลวง	องศา	-
5	D_2	พิกัด (Lat_2, Lon_2) สิ้นสุดการโปรยสารฝนหลวง	องศา	-
6	S_{track}	ระยะทางการโปรยสารฝนหลวง	กิโลเมตร	$\lvert D_2 - D_1 \rvert \leq$ 50 กม.
7	S_1	ความยาวกรวยพื้นที่รับประโยชน์	กิโลเมตร	$S_1 = W_D \times T_{3hrs}$ กำหนดให้ T=3 ชั่วโมง
8	R_{acc}	ปริมาณฝนสะสม	มิลลิเมตร	ผลรวมของฝนที่ประเมินได้จากเรดาร์ ตั้งแต่เวลา 02:00 – 13:00 UTC

ภาคผนวก ก

หลักเกณฑ์การพิจารณาสภาพอากาศ

หลักเกณฑ์การพิจารณาสภาพอากาศ

หลักเกณฑ์การพิจารณาสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงในการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละขั้นตอนนั้น ประกอบด้วย ข้อมูลเรดาร์, ภาพถ่ายดาวเทียม (VIS), ภาพถ่ายดาวเทียม (IR), และการสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยาน แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 1.3 เกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน

ตารางที่ 1 เกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน

เกณฑ์การพิจารณา	ข้อมูลเรดาร์	ภาพถ่ายดาวเทียม (VIS)	ภาพถ่ายดาวเทียม (IR)	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยาน	เวลาสิ้นสุดการเฝ้าระวังและติดตามสภาพอากาศ
ขั้นตอนที่ 1	ไม่มีค่าการสะท้อนกลับ / พบค่าการสะท้อนกลับเล็กน้อย	พบ / ไม่พบกลุ่มเมฆ บริเวณต้นลมเหนือพื้นที่เป้าหมาย	ไม่พบกลุ่มเมฆ	ท้องฟ้าโปร่ง หรือมีคิวมูลัส สเตโตคิวมูลัสเล็กน้อย	เฝ้าระวังและติดตามสภาพอากาศ 16:00 น. แผนปฏิบัติการฝนหลวง 17:00 น.
ขั้นตอนที่ 2	พบเมฆ ø ขนาด 2-5 กม. หรือมีค่าการสะท้อนกลับ < 20 dBZ	พบกลุ่มเมฆต้นลมเหนือพื้นที่เป้าหมาย	ไม่พบกลุ่มเมฆ	เมฆหนา > 3,000 ฟุต แต่ยอดเมฆสูงไม่เกิน 10,000 ฟุต	
ขั้นตอนที่ 3	พบเมฆ ø ขนาด > 5 กม. หรือมีค่าการสะท้อนกลับ 20-28 dBZ	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	พบกลุ่มเมฆ	เมฆหนา > 3,000 ฟุต และยังคงเป็นเมฆอุ่นและยังคงมีส่วนของเมฆอุ่นที่ปฏิบัติการได้	
ขั้นตอนที่ 4	พบเมฆ ø ขนาด > 5 กม. หรือมีค่าการสะท้อนกลับ 28-35 dBZ	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	ไม่พบหรือพบกลุ่มเมฆ	เมฆหนา > 5,000 ฟุต และยังคงเป็นเมฆอุ่นและยังคงมีส่วนของเมฆอุ่นที่ปฏิบัติการได้	
ขั้นตอนที่ 5	พบเมฆ ø ขนาด > 5 กม. หรือมีค่าการสะท้อนกลับ 35 dBZ หรือยอดเมฆสูงตามตารางระดับความสูงของ Freezing Level	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	เมฆระยะเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Stage)	
ขั้นตอนที่ 6	พบเมฆ ø ขนาด > 5 กม. หรือมีค่าการสะท้อนกลับ 35 dBZ หรือยอดเมฆสูงตามตารางระดับความสูงของ Freezing Level	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	เมฆระยะเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Stage)	

หมายเหตุ : Ø หมายถึงเส้นผ่านศูนย์กลาง

ภาคผนวก ข

นิยามคำศัพท์

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 สำหรับเป็นสารเพื่อทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัวดูดซับความชื้น
เมฆอุ่น	เมฆคิวมูลัสที่มีอุณหภูมิในเมฆ สูงกว่า 0 องศาเซลเซียส
เมฆเย็น	เมฆคิวมูโลนิมบัสที่มีอุณหภูมิในเมฆ ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส
เมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus)	เมฆคิวมูลัสขนาดใหญ่ที่มียอดเมฆสูงกว่า 10 กิโลเมตร บางครั้งมียอดเมฆแผ่ออกเป็นรูปร่างคล้ายทั่ง (Anvil) ส่วนใหญ่จะมีฟ้าแลบฟ้าร้องหรือที่เรียกว่า พายุฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorm) หากเกิดในฤดูร้อนจะมีความรุนแรงมากจะเรียกว่าพายุฤดูร้อนและบางครั้งมีลูกเห็บตกร่วมอยู่ด้วยก็จะเรียกว่า พายุลูกเห็บ (Hail Storm)
เมฆคิวมูลัส (Cumulus)	เมฆก้อนส่วนมากหนาและมองเห็นขอบนอกชัดเจนก่อตัวในแนวตั้ง ยอดเมฆมีลักษณะเหมือนโดมหรือหอคอยส่วนที่นูนขึ้นไปมีรูปร่างคล้ายกะหล่ำดอก
เมฆสเตรโตคิวมูลัส (Stratocumulus)	เมฆก้อนหรือเมฆคิวมูลัส ลอยติดกันเป็นแพ ไม่มีรูปทรงที่ชัดเจน มีช่องว่างระหว่างก้อนเพียงเล็กน้อย
ลูกเห็บ (Hail)	หยาดน้ำฟ้าชนิดหนึ่งเกิดในเมฆคิวมูโลนิมบัสที่มีความปั่นป่วนของกระแสอากาศภายในเมฆที่เกิดขึ้นจากกระแสอากาศไหลขึ้น (Updraft) และไหลลง (downdraft) พัดให้ผลึกน้ำแข็งปะทะกับน้ำเย็นยิ่งยวดกลายเป็นก้อนน้ำแข็งห่อหุ้มกันเป็นชั้นๆจนกลายเป็นก้อนน้ำแข็งขนาดใหญ่เมื่อตกลงมาแล้วละลายเป็นเม็ดฝนไม่ทันก็จะเรียกว่าลูกเห็บตกถึงพื้นดิน

คำศัพท์	คำนิยาม
ผลตรวจอากาศชั้นบน	การตรวจสภาพอากาศตั้งแต่ระดับผิวพื้นขึ้นไปสู่ชั้นบรรยากาศเบื้องบนที่ระดับความสูงต่างๆ ประมาณ 30 กิโลเมตรจากพื้นดินโดยอาศัยบอลลูนอัดด้วยแก๊สไฮโดรเจนผูกพ่วงด้วยเครื่องส่งวิทยุหยั่งอากาศ (Radiosonde) ความถี่ 1680 MHz และมีเครื่องรับที่ภาคพื้นดินทำการบันทึกข้อมูลและรายงานผลข้อมูลที่ตรวจวัดได้ ได้แก่ ค่าความกดอากาศ (Pressure; P) ค่าอุณหภูมิ (Temperature; T) ทิศทางและความเร็วลม (Wind Speed and Direction) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity; RH)
กระแสอากาศไหลขึ้น	การเคลื่อนตัวของอากาศไหลขึ้นในก้อนเมฆ กระแสอากาศไหลขึ้นทำให้ส่วนกลางของก้อนเมฆขยายตัวขึ้นในแนวดิ่ง
ปริมาณน้ำในก้อนเมฆ	อัตราส่วนของปริมาณน้ำที่มีในก้อนเมฆ ณ ขณะนั้นมีหน่วยเป็น กรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร
เรดาร์ฝนหลวง	เรดาร์ตรวจอากาศ (Weather RADAR) ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตรที่ใช้ตรวจวัดกลุ่มฝนซึ่งใช้ในการวางแผนการปฏิบัติการติดตามและประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง
dBZ : ค่าเดซิเบลเมื่อเทียบกับ Z	หน่วยของค่าตรวจวัดสัญญาณสะท้อนกลับ (Z) ของสัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนจากวัตถุที่อยู่ในระยะไกลระดับอ้างอิง สำหรับ Z มีหน่วยเป็น mm^6m^{-3} สัญญาณสะท้อนกลับของก้อนเมฆจะขึ้นอยู่กับจำนวนขนาดและประเภทของปรากฏการณ์ทางอุตุนิยมวิทยาที่เกิดขึ้นในบรรยากาศรวมถึงฝนหิมะและลูกเห็บ
หมอกควัน	ปรากฏการณ์ที่ฝุ่น ควัน และอนุภาคแขวนลอยในอากาศ รวมตัวกันในสภาวะที่อากาศที่ไม่สามารถระบายไปสู่ชั้นบรรยากาศได้ เกิดขึ้นได้ง่ายในสภาพอากาศแห้ง ลักษณะภูมิประเทศที่เอื้อให้เกิดหมอกควันปกคลุม ได้แก่ พื้นที่แอ่งกระทะ หรือพื้นที่ปิดระหว่างหุบเขา
ไฟป่า	ไฟที่เผาไหม้เชื้อเพลิงตามธรรมชาติในป่าหรือทุ่งหญ้า หรือ ไร่ร้างหรือในสวนป่าแล้วลุกลามไปได้โดยอิสระปราศจากการควบคุม
น้ำเค็มรุกล้ำ	สถานการณ์ที่น้ำทะเลรุกล้ำเข้ามาในแม่น้ำ หรือแหล่งน้ำจืด จนทำให้มีค่าความเค็มเกินค่ามาตรฐานกำหนด ส่งผลกระทบต่อการเกษตรและการผลิตน้ำประปา

ภาคผนวก ค

การเกิดเมฆและฝน

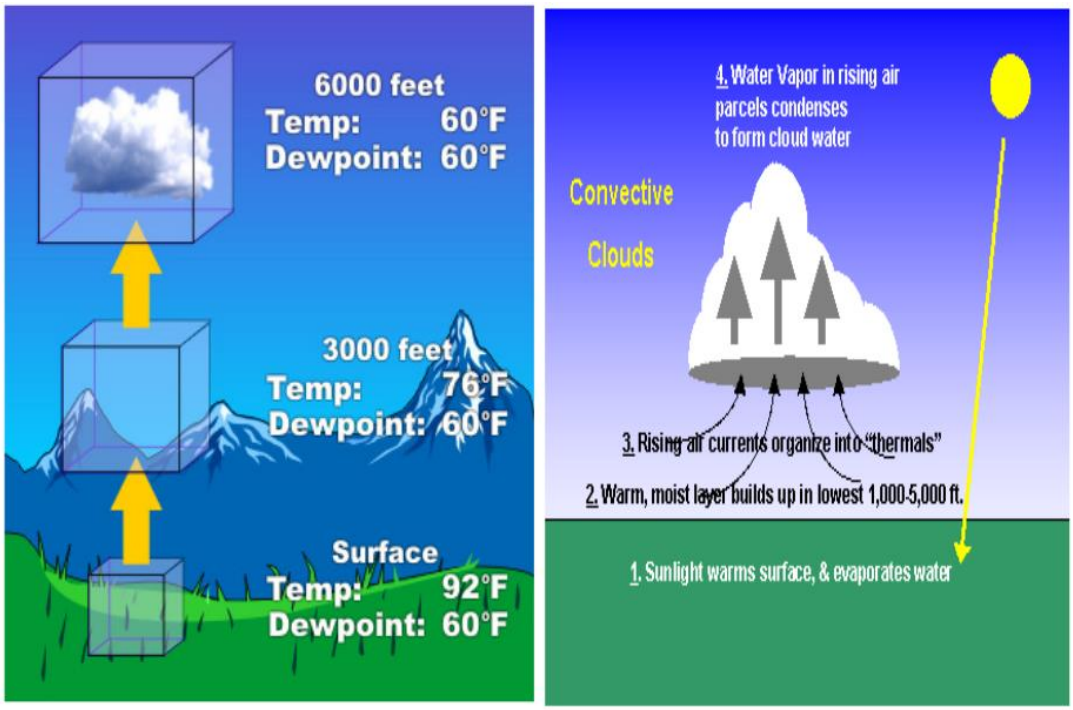
การเกิดเมฆและฝน

การเกิดเมฆ (Cloud formation)

เมฆสำหรับนักอุตุนิยมวิทยา คือ การรวมตัวกันของหยดน้ำเล็กๆ (Cloud Droplets) หรืออนุภาคน้ำแข็ง (Ice Particles) ที่มีจำนวนมากพอที่จะสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ขนาดเม็ดน้ำในเมฆมีตั้งแต่ขนาดไม่กี่ไมครอนจนถึงขนาดใหญ่ประมาณ 100 ไมครอน อุณหภูมิของอากาศในธรรมชาติสามารถเย็นลงจนต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point) ได้หลายวิธีในคืนที่ไม่มีเมฆหรือหมอก ความร้อนจำนวนมากจากบรรยากาศชั้นล่างจะแผ่รังสีออกไปยังภายนอก เมื่อชั้นนอกอากาศที่ใกล้กับผิวพื้นมีความชื้นในขณะที่อากาศแห้งจะเกิดการเย็นตัวลงของพื้นผิวโลกและของอากาศชั้นล่างซึ่งจะเย็นตัวลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างซึ่งจะทำให้เกิดหมอก หมอกมักจะเกิดในพื้นต่ำ เช่น หุบเขา เพราะอากาศที่เย็นนั้นจะหนักและจมลงในพื้นที่ที่มีความกดอากาศต่ำ หมอกยังสามารถเกิดขึ้นเมื่ออากาศอุ่นชื้นไหลผ่านผิวน้ำที่เย็นนั่นคืออากาศถูกทำให้เย็นตัวลงโดยการสูญเสียความร้อนให้แก่น้ำจนกระทั่งอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และในกรณีที่อากาศเย็นไหลพัดผ่านผิวน้ำอุ่นก็สามารถเกิดหมอกจากการควบแน่นของปริมาณของไอน้ำที่เพิ่มเข้าไปในอากาศจนเพียงพอที่จะทำให้อากาศเกิดการอิ่มตัว

ถึงแม้ว่ากระบวนการของการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำให้เกิดหมอกนั้นจะมีประสิทธิภาพแต่สาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดเมฆ คือการเคลื่อนที่ขึ้นของมวลอากาศ ความกดอากาศนั้นจะลดลงตามความสูง เมื่อมวลอากาศยกตัวขึ้นมันจะเคลื่อนที่จากความกดอากาศสูงไปยังต่ำจะทำให้มวลอากาศขยายและอุณหภูมิลดลง ถ้ามวลอากาศแห้งและไม่มีความร้อนภายนอกเพิ่มเข้ามาหรือลดลงในขณะที่อากาศลอยตัวขึ้นมันจะเย็นตัวลงในอัตราส่วน 1.0 องศาเซลเซียส ต่อ 100 เมตร หรือที่เรียกกันว่า Dry Adiabatic Lapse Rate คำว่า Adiabatic แสดงให้เห็นว่ามวลอากาศไม่ได้รับหรือเสียความร้อนจากการแผ่รังสีหรือการนำความร้อนส่วน Lapse Rate มีความหมายโดยนัยว่าอัตราที่อุณหภูมิลดลงตามระดับความสูง

เมื่อมวลอากาศลอยสูงขึ้นอุณหภูมิของตัวมันเองจะลดลง ค่าความชื้น สัมพัทธ์ของอากาศจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการอิ่มตัวและเริ่มเกิดการควบแน่น ซึ่งเป็นเทคนิคมาตรฐานในการทำนายความสูงของฐานเมฆเมื่อเมฆเริ่มที่จะก่อตัวผลกระทบจากการเย็นตัวที่เกิดจากการขยายตัวของอากาศที ล่อยตัวขึ้นได้ถูกชดเชยบางส่วนด้วยความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาระหว่างกระบวนการควบแน่น หรือ ความร้อนแฝงของการระเหยเป็นไอ (Latent Heat of Vaporization) ซึ่งมีค่าประมาณ 600 แคลอรี่ต่อกรัมของน้ำ



(ที่มา : http://www.srh.noaa.gov/srh/jetstream/synoptic/clouds.htm และ http://www.weatherquestions.com/How_do_clouds_form.htm)

รูปที่ 1 ทฤษฎีมวลอากาศ (Parcel Theory) และการเกิดเมฆ Convective Clouds

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

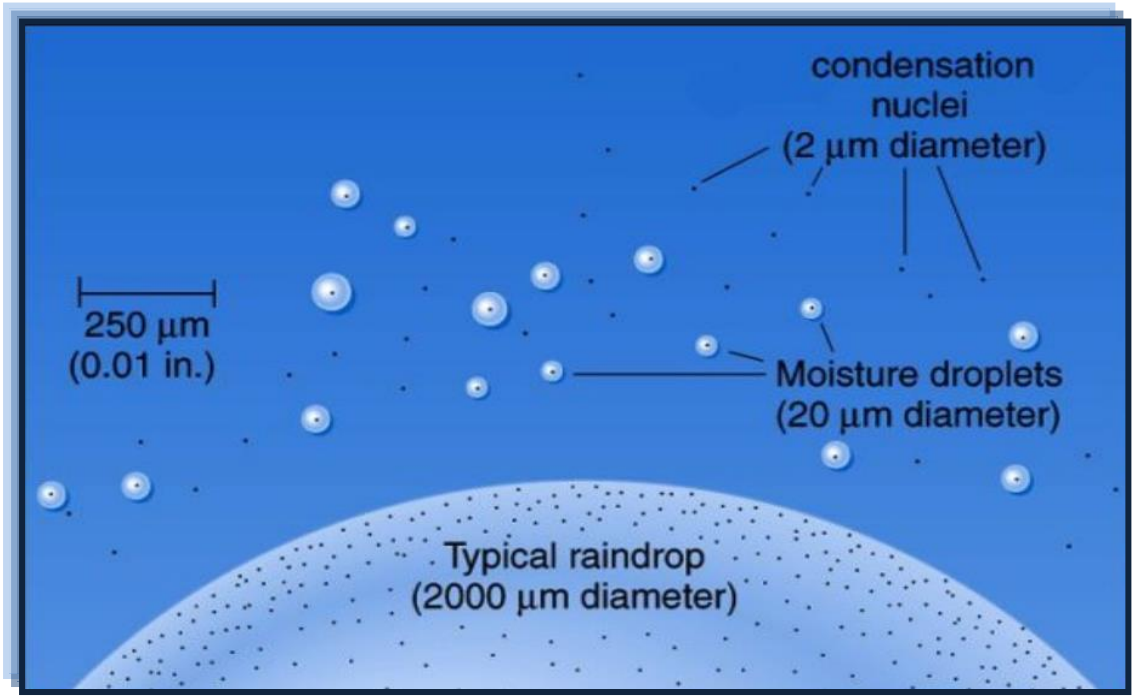
ถ้าอัตราการยกตัวขึ้นของมวลอากาศ หรือที่อาจจะเรียกได้ว่าความเร็ว Updraft นั้น ค่อนข้างสูง อากาศจะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วซึ่งการควบแน่นอาจจะเกิดไม่เร็วพอที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ในกรณีนี้อากาศอาจจะเกิดการอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturated) ขึ้น อย่างไรก็ตามการอิ่มตัวยิ่งยวดมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นน้อยมากไม่เกิน 1% แม้ในระดับที่มากที่สุด

ภายในเมฆนั้นมีอนุภาคเล็กๆ ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศเป็นแกนกลั่นตัว (Condensation Nuclei) จำนวนมากซึ่งมีขนาดที่หลากหลาย แกนกลั่นตัวเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ (Hygroscopic) ดังเช่น ฝุ่น ควัน เกสรดอกไม้ หรืออนุภาคเกลือ ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.0002 มิลลิเมตร

Paul Sirvatka (2011) หากปราศจากแกนกลั่นตัวแล้ว ไอน้ำบริสุทธิ์จะสามารถควบแน่นเป็นของเหลวได้ในกรณีที่มีความอิ่มตัวมากกว่า 120% หรือ ความอิ่มตัวยิ่งยวด 20% (20% Supersaturated) เนื่องจากการควบแน่นมาเป็นหยดน้ำรูปทรงกลมนั้นเป็นโครงสร้างที่ไม่เสถียรเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงต้องใช้ความอิ่มตัวในระดับสูงเพื่อที่จะเอาชนะแรงต้านที่ชื่อว่าแรงตึงผิว(Surface Tension) แต่ถ้าไอน้ำถูกปนเปื้อนด้วยอนุภาคเล็กๆ (Aerosols) หรือแกนกลั่นตัวแล้ว ไอน้ำจะสามารถควบแน่นเป็นหยดน้ำในค่าความอิ่มตัวยิ่งยวดที่น้อยลงมาก อาจจะลดลงเป็นหลักสิบของเปอร์เซ็นต์ค่าความอิ่มตัว

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

ละอองน้ำขนาดเล็กตกลงอย่างช้าๆ ด้วยแรงต้านของอากาศและระเหยกลับเป็นไอน้ำ (ก๊าซ) เมื่ออยู่ใต้ระดับควบแน่นลงมาไม่ทันตกถึงพื้นโลก อย่างไรก็ตามในกรณีที่ มีกลุ่มอากาศยกตัวอย่างรุนแรง หยดน้ำเหล่านั้นสามารถรวมตัวกันภายในก้อนเมฆ จนมีขนาดใหญ่ประมาณ 0.05 มิลลิเมตร ถ้าหยดน้ำมี ขนาด 2 มิลลิเมตร มันจะมีน้ำหนักมากกว่าแรงพยุงของอากาศและตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกสู่พื้นดินกลายเป็นฝน



(**ที่มา :** http://regentsearth.com/ILLUSTRATED%20GLOSSARY/CondenNuclei.htm)

รูปที่ 2 แสดงอนุภาคขนาดต่างๆ ในกระบวนการเกิดเมฆและเม็ดฝน

1.1 การเคลื่อนตัวของเมฆฝน

เมฆฝน Convective หรือพายุฟ้าคะนองนั้นสามารถพิจารณาถึงทิศทางการเคลื่อนตัวของพายุได้จากยอดเมฆที่มีลักษณะเป็นรูปทั่งยื่นล้ำออกไปทางด้านหน้าพายุ จากการศึกษาของสุรพันธ์ (2539) พบว่า พายุฟ้าคะนองที่เกิดจากเมฆที่สูงไม่เกินระดับ Freezing Level จะไม่ปรากฏยอดเมฆเป็นรูปทั่ง เมฆชนิดนี้เกิดจากการยกตัวของกระแสอากาศ (Updraft) และการจมตัวลงที่ปรากฏไม่นานนัก ฝนที่เกิดมีปริมาณเล็กน้อยมักเป็นเมฆที่เกิดมากบริเวณชายฝั่งหรือทะเลปิด

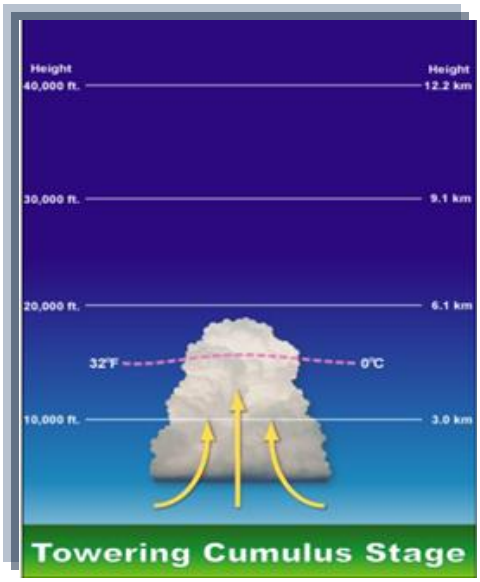
สำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ในแถบเขตร้อนพายุฟ้าคะนองที่เกิดมักก่อตัวสูงตั้งแต่ 30,000 ฟุต ถึง 50,000 ฟุต ยอดเมฆจะสูงเกินกว่าระดับ Freezing Level ทำให้พายุที่เกิดมีความรุนแรงอย่างมาก ความสูงของยอดเมฆ โดยรวมอยู่ที่ระดับ 35,000 ฟุต ถึง 50,000 ฟุต แต่ส่วนใหญ่จะมีความสูงที่ 40,000 ฟุต ถึง 45,000 ฟุต ยอดเมฆที่พบสูงสุดอยู่ที่ระดับ 60,000 ฟุต

สำหรับวงจรชีวิตของเมฆฝน Convective จะแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ระยะเวลารวมของวงจรชีวิตโดยทั่วไปประมาณ 30 นาที ถึง 60 นาทีเซลล์ของเมฆฝนมักปรากฏเป็นกลุ่มๆ บริเวณด้านหน้าพายุ แต่ละเซลล์จะมีวงจรชีวิตต่างกัน บางเซลล์อาจก่อตัวและสลายไปอย่างรวดเร็วโดยไม่ก่อให้เกิดฝนตก ลักษณะการเกิดเซลล์ใหม่ของเมฆ Convective จะเกิดจากกระแสลมที่พัดลง (Downdrafts) ออกจากเมฆก้อนแรก เกิดเป็นเซลล์ที่สองบริเวณด้านข้างของเซลล์แรก ในทำนองเดียวกันหากกระแสลมที่พัดออกจากเซลล์ที่สองยังคงมีกำลังเพียงพอก็จะทำให้เกิดเซลล์ใหม่บริเวณเซลล์ที่สองเรื่อยๆ ไป

1.2 วงจรชีวิตของเมฆฝน

วงจรชีวิตของเมฆฝน Convective ตั้งแต่เกิดจนสลายตัวสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้

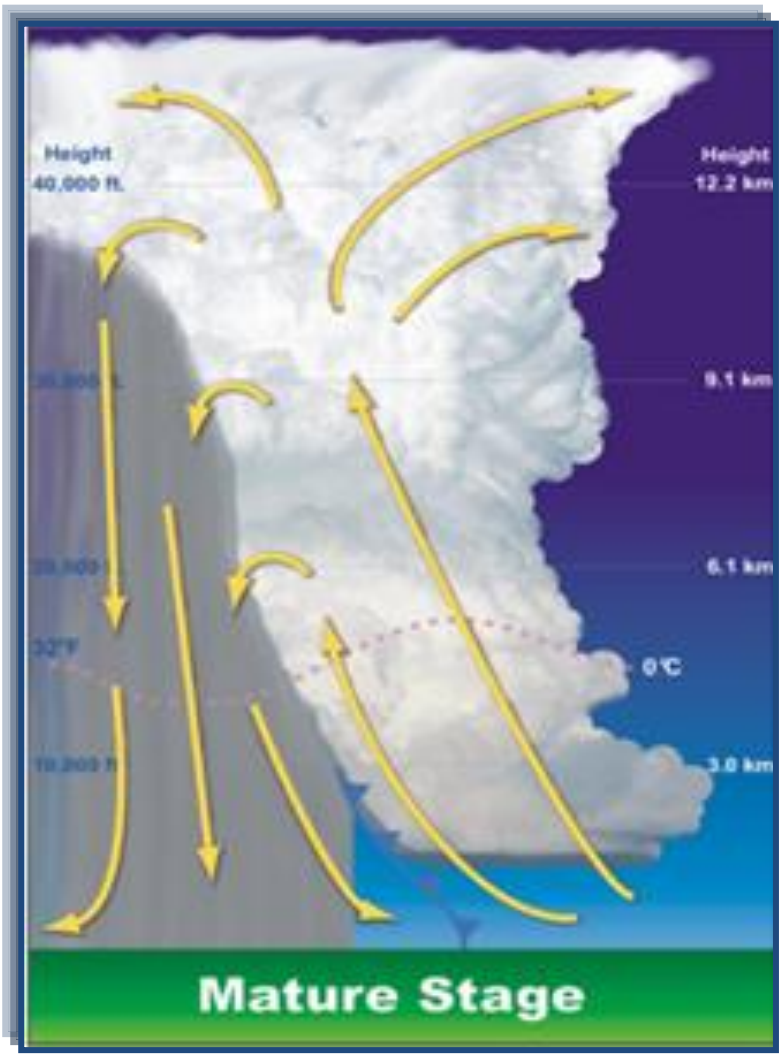
1) ระยะก่อตัว (Towering Cumulus Stage) ในระยะนี้ มวลอากาศอุ่นชื้นจะลอยตัวสูงขึ้นและจะเย็นตัวลง กลายเป็นเมฆคิวมูลัส (Cumulus) ที่เป็นก้อนปุกปุยสีขาว ก้อนเมฆนี้เป็นผลมาจากการควบแน่นและการเคลื่อนที่ซึ่งทำให้เกิดการปลดปล่อยความร้อนแฝงจำนวนมากออกมา ความร้อนที่ปลดปล่อยออกมานั้นทำให้อากาศในก้อนเมฆอุ่นกว่าอากาศรอบๆ เมฆจะก่อตัวไปเรื่อยๆ ตราบเท่าที่อากาศชื้นไหลเข้าสู่เมฆจากด้านล่างกระแสอากาศไหลขึ้น (Updrafts) จะไหลขึ้นในเมฆ เมื่อ กระแสอากาศไหลขึ้นสูงสุดในก้อนเมฆโดยที่ปกติจะสูงประมาณ 12 - 14 กิโลเมตร จะเปลี่ยนทิศทาง 180 องศา ไปเป็นกระแสอากาศไหลลง (Downdrafts) ระยะนี้จะใช้เวลาประมาณ 10 - 15 นาที จากนั้นพายุจะเข้าสู่ระยะต่อไป



(**ที่มา :** http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7t.html และ http://www.srh.noaa.gov/srh/jetstream/tstorms/life.htm)

รูปที่ 3 เมฆฝนในระยะก่อตัว

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



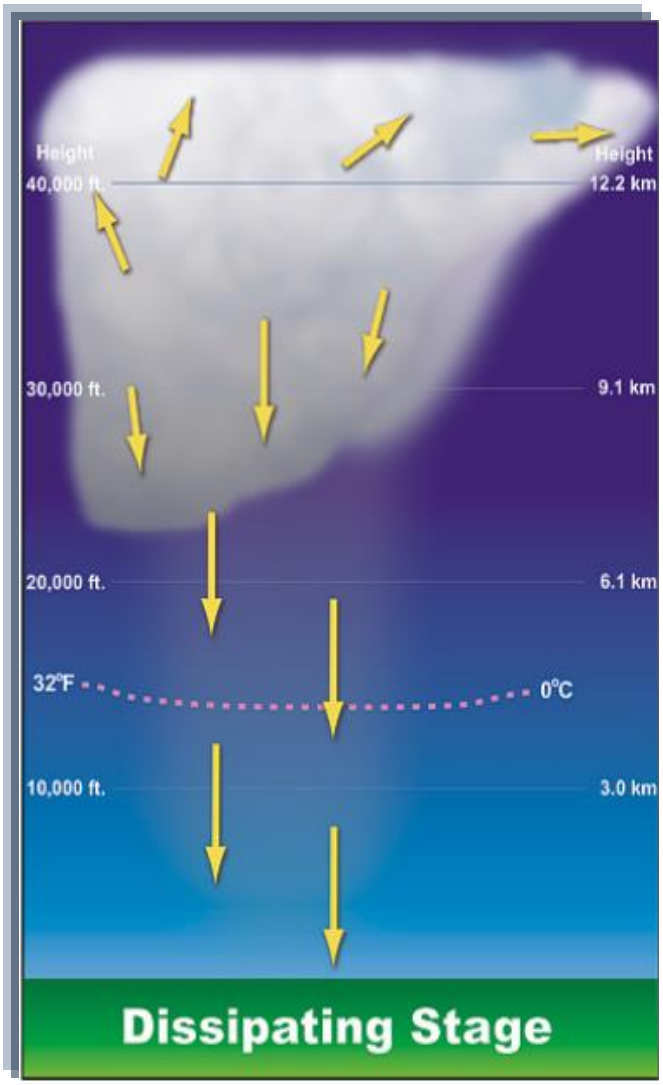
(**ที่มา :** http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7t.html และ
http://www.srh.noaa.gov/srh/jetstream/tstorms/life.htm)

รูปที่ 4 เมฆฝนในระยะเติบโตเต็มที่

เมฆฝนในระยะนี้จะมีสภาพอากาศรุนแรงที่สุดเช่น มีลมแรง ฝนตกหนัก ฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า หรือบางครั้งมีลูกเห็บตก ในขั้นนี้ปกติจะใช้เวลาประมาณ 15 - 30 นาที นับตั้งแต่เริ่ม มีฝนตกลงถึงพื้น

3) ระยะสลายตัว (Dissipation Stage) ใช้เวลาประมาณ 30 นาที ในขั้นสลายตัวนี้เมื่อพลังงานถูกปลดปล่อยออกมาแล้ว สภาพอากาศภายในกับภายนอกเมฆก็จะค่อยๆ ปรับสมดุลเข้าหากัน ภายในก้อนเมฆจะมีแต่กระแสอากาศพัดลงอย่างเดียว ฝนที่ตกจะค่อยลดน้อยลงและหยุดในที่สุดอุณหภูมิในก้อนเมฆจะเปลี่ยนไปจนเท่ากับบริเวณข้างเคียง ทิศและความเร็วลมจะเปลี่ยนไปจนเท่ากับบริเวณใกล้เคียง เมฆก้อนนี่ก็จะสลายตัวไปในที่สุดจุดสังเกตของขั้นตอนนี้ คือที่ยอดเมฆจะเป็นรูปทั่งเนื่องจากอากาศที่ปั่นป่วนนั้นหมดแรงที่ยกตัวเองให้สูงกว่านี้อีกยอดเมฆจึงกระจายออกด้านหน้าของการเคลื่อนที่วงจรชีวิต โดยทั่วไปจะไม่เกิน 1 - 2 ชั่วโมง ช่วงที่ มีอันตรายและน่ากลัวที่สุดคือ ระยะเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Stage)

(**ที่มา :** http://www.aeromet.tmd.go.th/ met/ -story/show_22.htm)



(ที่มา : http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7t.html และ
http://www.srh.noaa.gov/srh/jetstream/tstorms/life.htm)

รูปที่ 5 เมฆฝนในระยะสลายตัว

ภาคผนวก ง

สารฝนหลวงและพลุที่ใช้ในการปฏิบัติการฝนหลวง

ตารางที่ 2 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

ลักษณะอากาศที่สำคัญในแต่ละฤดูกาล
ของกรมอุตุนิยมวิทยา

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

สรุปการจัดการความรู้ (KM) ประจำปี พ.ศ.2560

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

เรื่อง

ลักษณะอากาศที่สำคัญในแต่ละฤดูกาล ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โดย คณะกรรมการจัดการความรู้ส่วนพยากรณ์อากาศ

คำนำ

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

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

14 กรกฎาคม 2560

สรุปการจัดการความรู้ KM ศล. ปี พ.ศ. 2560

เรื่อง “ลักษณะอากาศที่สำคัญในแต่ละฤดูกาลของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ”

จากการจัดการความรู้(KM) ของ ศล. สามารถสรุปลักษณะอากาศที่สำคัญในแต่ละฤดูกาลของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนี้

1. ฤดูร้อน ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะเริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาพอากาศของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่

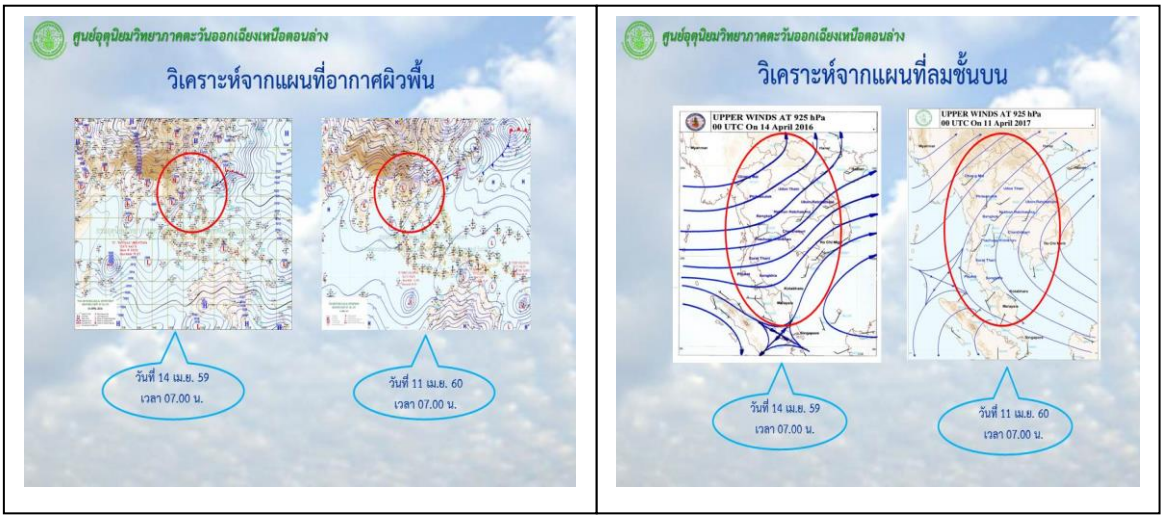
1.1) หย่อมความกดอากาศต่ำเนื่องจากความร้อน (Heat low)

คือ พื้นที่ที่ได้รับความเข้มของแสงจากดวงอาทิตย์สูง ทำให้พื้นดินร้อนจัด อากาศใกล้ผิวพื้นร้อนกว่าบริเวณข้างเคียงถูกยกตัวขึ้นเกิดเป็นหย่อมความกดอากาศต่ำที่ผิวพื้น และสูงขึ้นไปในชั้นบรรยากาศเบื้องบนไม่มาก มักไม่มีการเคลื่อนที่ บริเวณหย่อมเกิดการพัดเวียนของลมระดับล่างอ่อนๆ 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) ความกดอากาศสูงหรือมวลอากาศเย็นจากประเทศจีน

ถ้าแผ่ลงมาปกคลุมถึงประเทศไทยตอนบน จะทำให้เกิดการปะทะกันของมวลอากาศเย็นกับมวลอากาศร้อนที่ปกคลุมประเทศไทยอยู่ก่อนหน้า ทำให้เกิดการยกตัวของกระแสอากาศอย่างฉับพลัน ก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง ลมกระโชกแรง และอาจมีลูกเห็บตกเกิดขึ้น หรือที่เรียกว่า **พายุฤดูร้อน** และในกรณีที่ความกดอากาศสูงแผ่ลงมาแรงๆ จะทำให้อุณหภูมิลดลงได้ถึง 10 องศาเซลเซียส

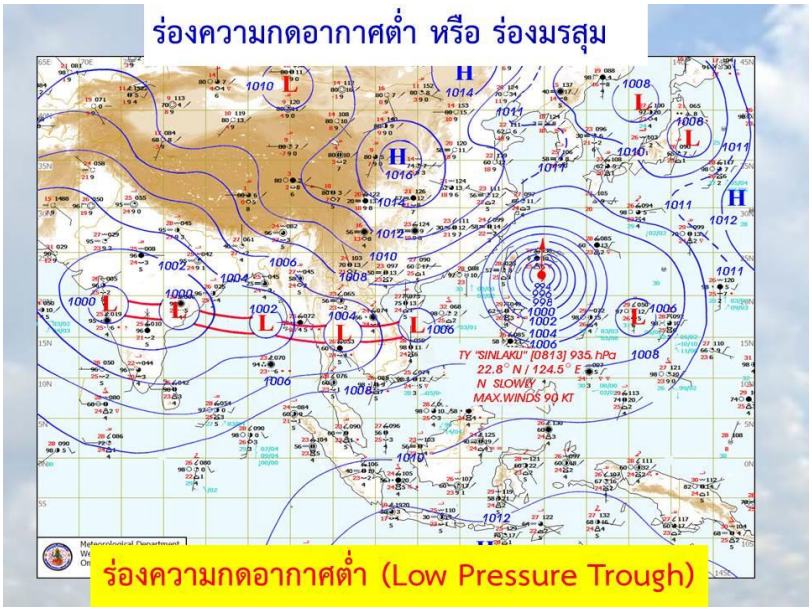
1.2.2) ความกดอากาศสูงจากมหาสมุทรแปซิฟิก (Pacific High)

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

2. ฤดูฝน ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะเริ่มต้นตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาพอากาศของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่

2.1) ร่องความกดอากาศต่ำ (Low Pressure Trough)

คือ บริเวณแนวของหย่อมความกดอากาศต่ำที่อยู่ระหว่างความกดอากาศสูงของทั้งสองซีกโลก แนวร่องความกดอากาศต่ำนี้จะวางตัวในแนวค่อนข้างจะเป็นตะวันตก-ตะวันออก ในการลากแผนที่อากาศผิวพื้นจะลากเชื่อมระหว่างหย่อมความกดอากาศต่ำ



ความแรงของร่องความกดอากาศต่ำ จะขึ้นอยู่กับ

1) ความแคบ หรือการถูกบีบโดยบริเวณความกดอากาศสูงจากทั้งสองขั้วโลก (ยิ่งแคบยิ่งแรง)

2) ระยะห่างระหว่างหย่อมความกดอากาศต่ำ (ยิ่งถี่ยิ่งแรง)

3) จำนวนหย่อมความกดอากาศต่ำที่ประกอบขึ้นเป็นร่องความกดอากาศต่ำ (ยิ่งมากยิ่งแรง)

ลักษณะอากาศที่เกิดขึ้น

ลักษณะอากาศในแนวร่องความกดอากาศต่ำจะแปรปรวน อากาศมีการยกตัว ทำให้บริเวณแนวร่องจะมีเมฆก่อตัวได้ดี ทำให้มีเมฆมากและมีฝนตกได้มากกว่าพื้นที่ที่อยู่นอกแนวร่อง โดยลักษณะฝนที่ตกจะตกได้หลายเวลา ฝนจะตกต่อเนื่อง บริเวณที่เป็นหย่อมความกดอากาศต่ำจะมีฝนตกหนักเกิดขึ้น หย่อมความกดอากาศนี้จะเคลื่อนตัวตามแนวร่องจากตะวันออกไปตะวันตก

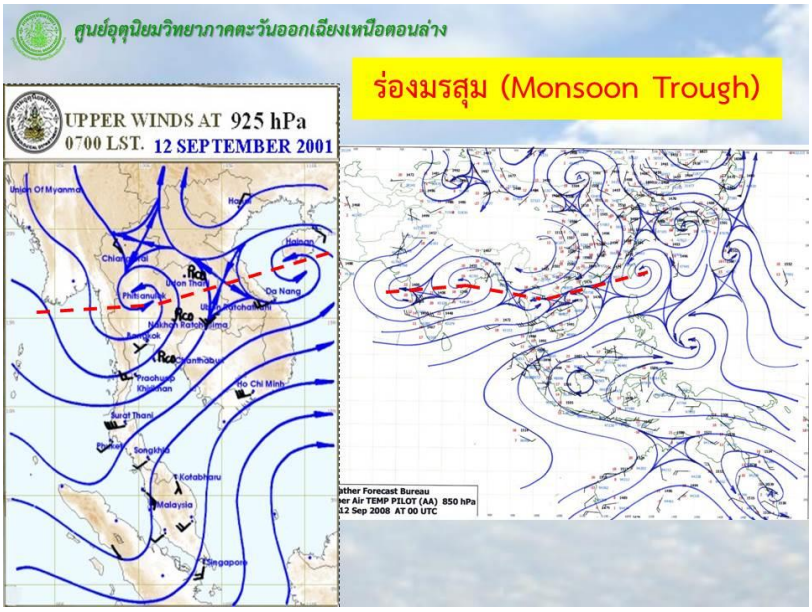
การเคลื่อนตัวของแนวร่องความกดอากาศต่ำ

แนวร่องความกดอากาศต่ำจะเลื่อนขึ้นและเลื่อนลงตามแนวดันของบริเวณความกดอากาศสูงจากทั้งสองซีกโลก ซึ่งโดยปกติจะเลื่อนขึ้นเหนือในช่วงต้นฤดูฝนจากอิทธิพลของบริเวณความกดอากาศสูงจากซีกโลกใต้ที่มีกำลังแรงขึ้น และจะเลื่อนจากเหนือลงใต้ในช่วงปลายฤดูฝนหลังจากที่เคลื่อนตัวไปพาดผ่านอยู่บริเวณประเทศจีนตอนใต้

ร่องความกดอากาศต่ำอาจมีได้สองร่องเมื่อมีความกดอากาศสูงจากมหาสมุทรแปซิฟิกเข้ามาแทรกที่เราเรียกว่า Secondary Trough โดยตัวร่องหลักจะพาดอยู่บริเวณประเทศจีนตอนใต้ และร่องที่สองจะพาดอยู่บริเวณประเทศไทย แต่มักจะมีกำลังไม่ค่อยแรง โดยวางตัวจากชายฝั่งประเทศอินเดีย ผ่านอ่าวเบงกอลประเทศไทยไปยังชายฝั่งประเทศเวียดนาม ในการลากแผนที่อากาศผิวพื้น จะลากเป็นเส้นคู่ที่ลากเชื่อมระหว่างหย่อมความกดอากาศต่ำ ส่วนระยะห่างของเส้นคู่ขนานไม่ได้กำหนดไว้เป็นการเฉพาะอย่างชัดเจนขึ้นอยู่กับความเหมาะสมตามสเกลของแผนที่นั้นๆ โดยปกติจะห่างกันประมาณ 2 ละติจูด

2.2) ร่องมรสุม (Monsoon Trough)

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



ลักษณะการพัดของกระแสลมของร่องมรสุม

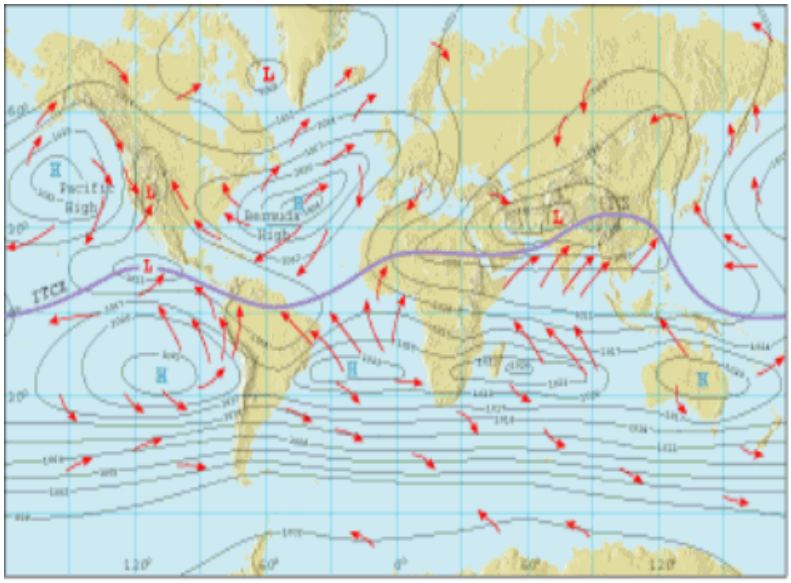
เกิดจากการพัดเวียนรอบๆ หย่อมความกดอากาศต่ำกำลังแรงที่ปรากฏในระดับผิวพื้น หรือลักษณะที่เกิดจากการพัดเฉือนกัน (Shear) ของลมสองกระแสที่มีทิศทางต่างกัน หรือมีทิศทางเดียวกันแต่มีความเร็วต่างกัน ในแผนที่ลมชั้นบนจะลากแกนกลางของ Trough ด้วยเส้นประหนาเชื่อมต่อระหว่าง Vortex

ลักษณะอากาศที่เกิดขึ้น

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

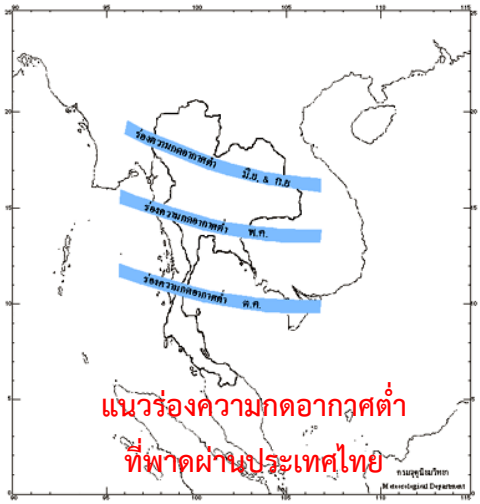
2.3) แนวพัดสอบเข้าหากันของลมค้า (Inter Tropical Convergence Zone : ITCZ)

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



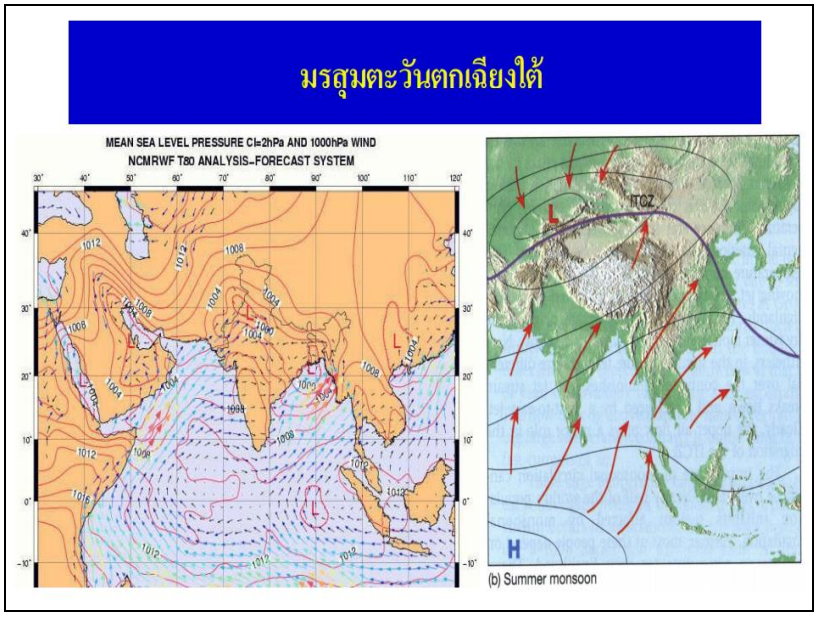
ลักษณะอากาศที่เกิดขึ้น

ลักษณะอากาศในแนวของแนวพัดสอบจะมีการยกตัวของอากาศได้ดี ทำให้มีเมฆมากและมีฝนตกได้มากกว่าบริเวณอื่นๆ และบ่อยครั้งที่มีการก่อตัวของพายุหมุนเขตร้อนเกิดขึ้นด้วย



2.4) มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (Southwest Monsoon)

เป็นลมที่พัดปกคลุมภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยในช่วงฤดูฝน โดยพัดจากทะเลอันดามัน และมหาสมุทรอินเดีย และเป็นตัวนำความชื้นจากทะเลเข้ามาบนแผ่นดิน



การพิจารณาการเริ่มเข้าสู่ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

พิจารณาจาก ลมที่พัดปกคลุมประเทศไทยได้เปลี่ยนเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ พัดพาความชื้นจากทะเลอันดามันเข้ามาปกคลุมประเทศไทยอย่างชัดเจนและต่อเนื่อง ส่วนลมระดับบนจะเป็นลมตะวันออกพัดปกคลุม และบริเวณประเทศไทยมีฝนตกต่อเนื่องเกือบทั่วไป โดยเฉพาะบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันตก

พิจารณามรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่มีกำลังแรง

- พิจารณาแผนที่อากาศผิวพื้นจะมีหย่อมความกดอากาศกำลังแรงปกคลุมอยู่บริเวณประเทศอินเดียต่อเนื่องขึ้นไปถึงทิเบต และมีบริเวณความกดอากาศสูงอยู่บริเวณซีกโลกใต้
- พิจารณาแผนที่ลมชั้นบน
- เป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ ตั้งแต่ระดับผิวพื้นจนถึงระดับความสูง 850 hPa พิจารณาว่ามีกำลังปานกลาง
- เป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ ตั้งแต่ระดับผิวพื้นจนถึงระดับความสูง 700 hPa พิจารณาว่ามีกำลังค่อนข้างแรง
- เป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ ตั้งแต่ระดับผิวพื้นจนถึงระดับความสูง 500 hPa พิจารณาว่ามีกำลังแรง
- ทิศทางลมระดับความสูง 300 hPa ขึ้นไป เป็นทิศตะวันออก

พิจารณามรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่มีกำลังไม่แรง

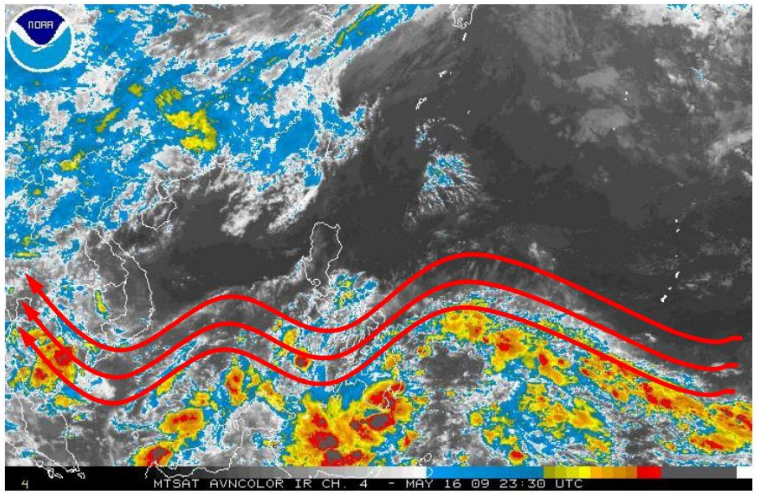
- พิจารณาแผนที่อากาศผิวพื้นจะเห็นว่าหย่อมความกดอากาศกำลังแรงที่ปกคลุมอยู่บริเวณประเทศอินเดียต่อเนื่องขึ้นไปถึงทิเบตมีกำลังอ่อนลงหรือมีบริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศรัสเซียเข้ามาปกคลุม และบริเวณความกดอากาศสูงที่อยู่บริเวณซีกโลกใต้มีกำลังอ่อนลง

- พิจารณาแผนที่ลมชั้นบน มรสุมมีกำลังอ่อน จะเห็นว่าเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ถึงที่ระดับไม่เกิน 850 hPa ส่วนลมระดับสูงขึ้นไปจะเป็นลมตะวันตกหรือตะวันตกเฉียงเหนือ

2.5) คลื่นกระแสลมตะวันออก (Easterly Wave)

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

คลื่นกระแสลมตะวันออก

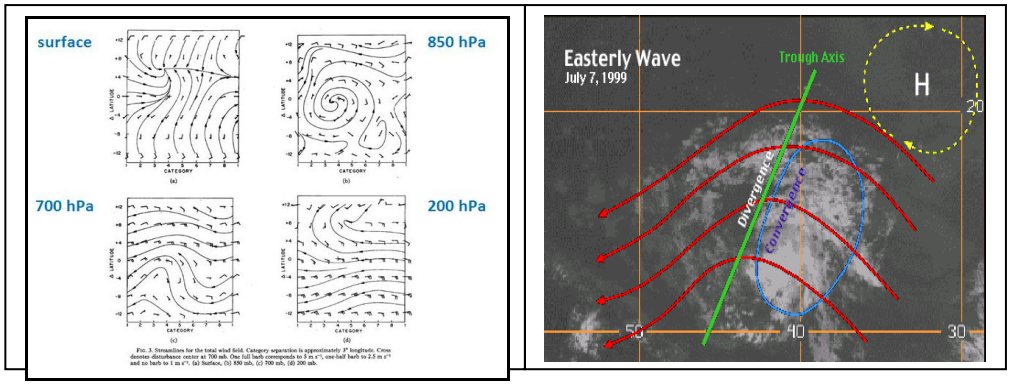


ลักษณะอากาศที่เกิดขึ้น

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 ตื้นๆ เป็นหย่อมความกดอากาศต่ำที่เกิดจากการพาความร้อน อากาศยกตัวดีมีเฉพาะการหมุนเวียนของลมแต่ไม่มีความชื้น ที่ระดับความสูง 850-700 hPa อากาศจะจมตัว พบในฤดูร้อน

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

ปัจจัยที่มีผลต่อการก่อตัวของพายุหมุนเขตร้อน

- ก่อตัวเหนือน่านน้ำในทะเลหรือมหาสมุทรเท่านั้น โดยมีอุณหภูมิน้ำทะเลอย่างน้อย 26 องศาเซลเซียสขึ้นไป
- ต้องเป็นหย่อมความกดอากาศต่ำก่อน
- อยู่ในละติจูดไม่น้อยกว่า 5 องศา
- มี Divergence ในระดับบน

- มีลมเฉือนในแนวตั้งน้อย หรือไม่มี เนื่องจากลมเฉือนในแนวตั้งในระดับที่รุนแรงจะเป็นการหยุดยั้งการก่อตัวของแกนกลางที่อุ่นซึ่งเป็นการระงับการเจริญเติบโตของพายุ

- Gyre คือ ลมในทะเลที่หมุนเวียนเข้าหาศูนย์กลาง อาจเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดพายุหมุนเขตร้อนได้

- อยู่ภายใน ITCZ

3. ฤดูหนาว ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะเริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาพอากาศของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่

3.1) บริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีน

เป็นมวลอากาศเย็นที่แผ่ลงมาจากประเทศจีนทางภาคพื้นดิน ซึ่งจะนำเอาอากาศแห้งและเย็นเข้ามาปกคลุม ทำให้มีอากาศหนาวเย็น แต่ถ้าแผ่ลงมาทางทะเลจีนใต้เข้ามาปกคลุมจะนำเอาอากาศชื้นจากทะเลเข้ามาปกคลุมด้วยนั้นทำให้เกิดฝนละอองขึ้นได้

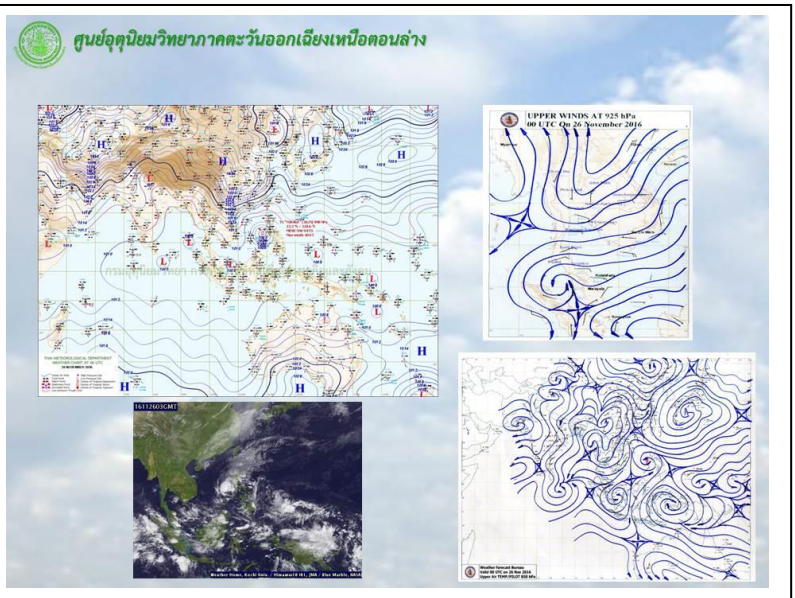
การพิจารณาบริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีน

- จากแผนที่อากาศผิวพื้น เส้นความกดอากาศจะเป็นรูปแบบลิ่มหรือแผ่กว้าง ถ้าเส้นความกดอากาศเท่ามีความถี่มากๆ แสดงว่าจะมีลมแรงเกิดขึ้น

- พิจารณาว่ามีระบบตัวขวางกั้นมวลอากาศเย็น ได้แก่แนวปะทะอากาศ หรือ Trough ที่อยู่บริเวณด้านตะวันออกของประเทศจีน ประเทศญี่ปุ่น หรือบริเวณประเทศเกาหลี หรือไม่

- ลมที่พัดปกคลุมจะเป็นลมเหนือ หรือลมตะวันออกเฉียงเหนือ

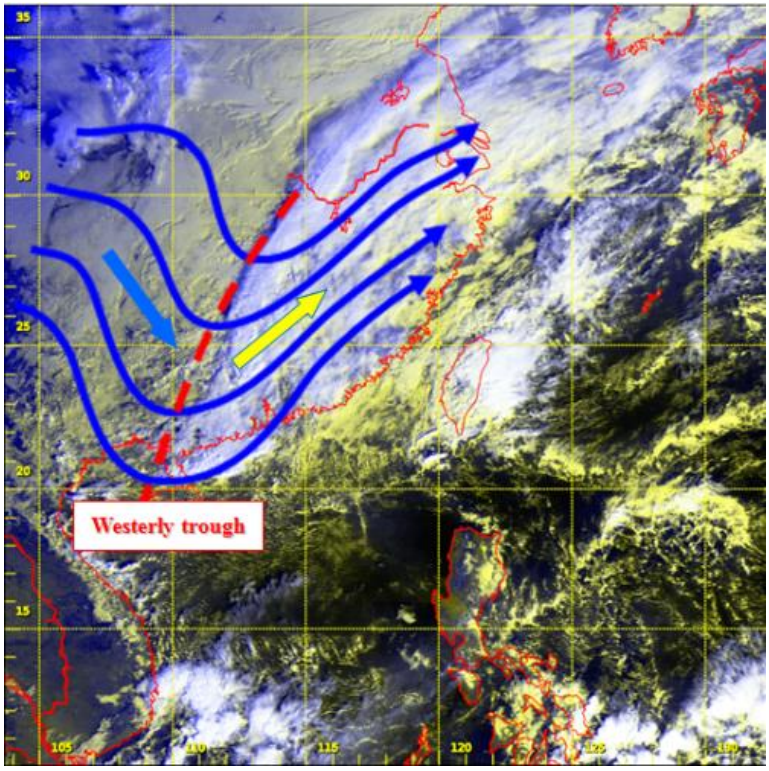
- การกำหนดศูนย์กลางความแรงของความกดอากาศสูง ถ้าศูนย์กลางของความกดอากาศสูงเป็น 1030 hPa แสดงว่า ความกดอากาศสูงมีกำลังปานกลาง เป็น 1045 hPa แสดงว่า ความกดอากาศสูงมีกำลังค่อนข้างแรง และศูนย์กลางของความกดอากาศสูงเป็น 1050 hPa แสดงว่า ความกดอากาศสูงมีกำลังแรง



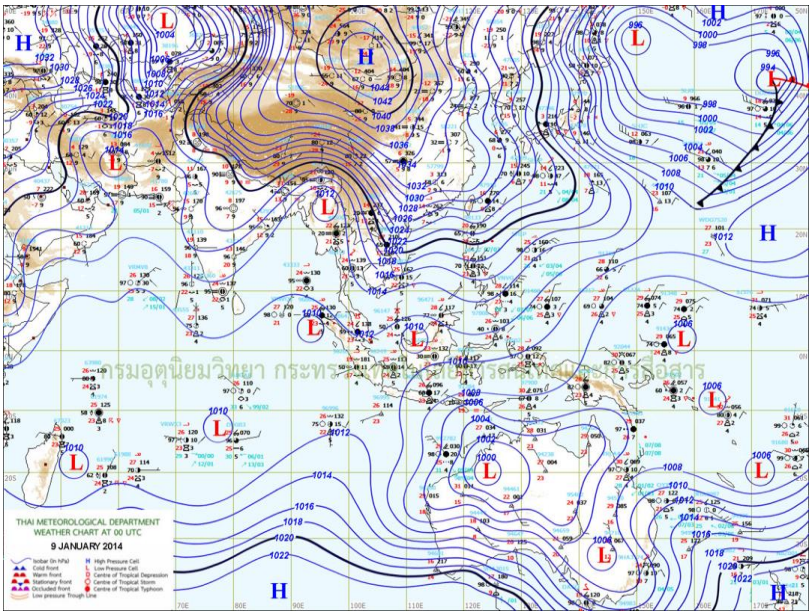
แผนที่อากาศผิวพื้น ลมชั้นบน และภาพดาวเทียมในฤดูหนาว

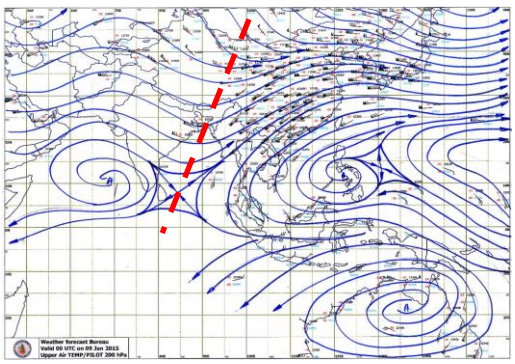
3.2) คลื่นกระแสลมตะวันตก (Westerly Trough)

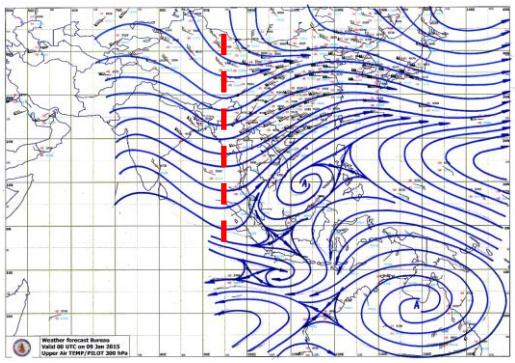
เป็นร่องความกดอากาศต่ำที่เกิดขึ้นในแนวของกระแสลมตะวันตกบริเวณละติจูดกลาง มีแกนวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ โดยปกติจะเคลื่อนตัวจากทิศตะวันตกไปทางตะวันออก ทางด้านหน้าของ Trough จะเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนทางด้านหลังของ Trough เป็นกระแสลมตะวันตกเฉียงเหนือ เมื่อ Trough เคลื่อนที่ผ่านลมจะเปลี่ยนทิศจากตะวันตกเฉียงใต้เป็นตะวันตกเฉียงเหนือทันที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

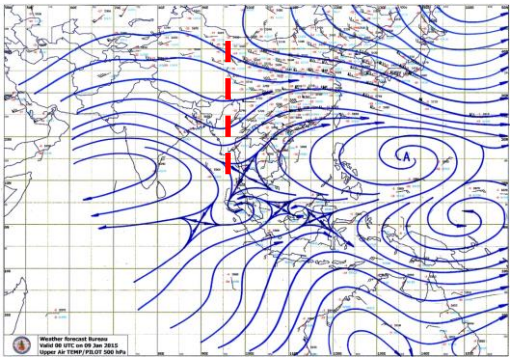


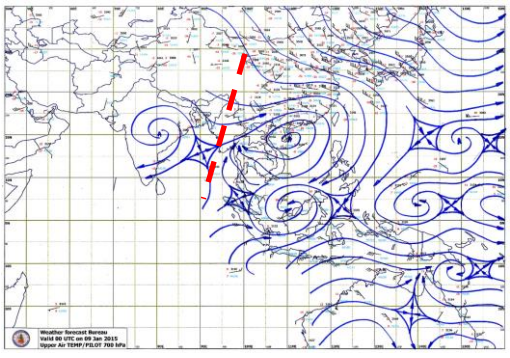
แผนที่อากาศผิวพื้น ลมชั้นบน และภาพดาวเทียมที่มีคลื่นกระแสลมตะวันตกพาดผ่าน

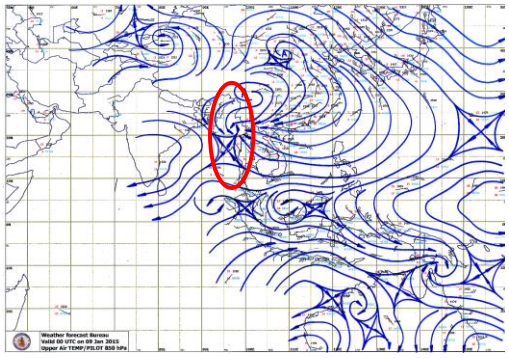


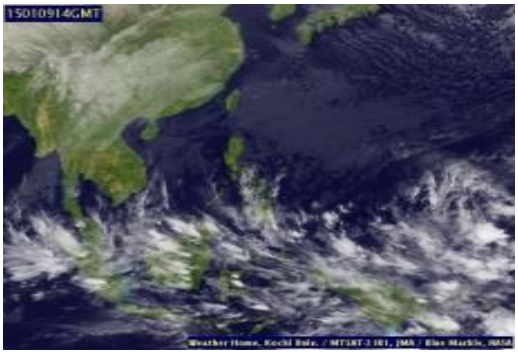












ภาคผนวก ฉ

ข้อเสนอแนะจาก AAR

ข้อเสนอแนะจาก AAR

ศักยภาพเจ้าหน้าที่

1) นักวิชาการควรปฏิบัติงานในพื้นที่เดิมๆ เพื่อให้เกิดความชำนาญและการศึกษาวิจัยในพื้นที่ ทั้งด้านภูมิประเทศและภูมิอากาศ
2) นักวิชาการต้องมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องของระบบลุ่มน้ำ/ภูมิประเทศ/ภูมิอากาศ/การเพาะปลูกเชิงพื้นที่
3) ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Water Requirement) โดยพิจารณาความชื้นของดิน เพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจในการกำหนดพื้นที่เป้าหมายปฏิบัติการฝนหลวง (ศทส.)

พัฒนาระบบ/เทคโนโลยี/อุปกรณ์

1) ควรมีการจัดหาอุปกรณ์หรือเครื่องมือสำหรับตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ภายในและนอกอากาศยานขณะปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 1
2) พัฒนาระบบการสื่อสารบนเครื่องบินขณะปฏิบัติการสำหรับติดต่อเจ้าหน้าที่บนเครื่องบิน และภาคพื้น
3) ควรพัฒนาข้อมูลแผนที่ความชื้นในดินหรือสมดุลน้ำ รวมทั้งความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน เพื่อใช้ประเมินพื้นที่ที่ต้องการน้ำ (ศทส.)

การจัดการความรู้/ประชุมเพื่อหารือแนวทาง

1) พัฒนาแนวทางการตัดสินใจและประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงนอกพื้นที่หลัก (เที่ยวพิเศษ) Contingency Plan
2) ขั้นตอนที่ 1 บินโปรยขวางทิศทางลม และบินกลับเข้าแนวพิกัดปฏิบัติการบินเดิม (ทวนลม) ซึ่งจุดเริ่มต้นแนวพิกัดปฏิบัติการบิน สารมีการกระจายตัวแล้ว ดังนั้นอาจพัฒนาเป็นการโปรยทับแนวสารที่กระจายตัวแทน ทั้งนี้ควรหารือเพื่อหาข้อสรุปหรือการคำนวณในการโปรย
3) ควรกำหนดเวลาโปรยตามฤดูกาล ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ค่าดัชนีสภาพอากาศ สภาพอากาศ/เรดาร์/ดาวเทียม สภาพอากาศระดับภูมิภาค (Synoptic Scale) แบบจำลอง เปรียบเทียบแต่ละฤดูกาล เนื่องจากฤดูแล้งการเกิดเมฆช้า
4) KM การโปรยสาร อาทิเช่น เทคนิคต่างๆ เพื่อควบคุมอัตราการโปรย
5) ทบทวนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนต่างๆ เพื่อการปฏิบัติการบรรเทาหมอกควันและไฟป่า

งานวิจัย

1) ทดสอบคุณสมบัติค่าปลดปล่อยพลังงานของสูตร 6 (แคลเซียมคลอไรด์ : $CaCl_2$) และสูตร 8 (แคลเซียมออกไซด์: (CaO) (ศฝห.)
2) วิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงกระบวนการบด/โปรยสารฝนหลวง/โลจิสติกส์ (กว.)
3) วิจัยขนาดของเมฆที่เหมาะสม สำหรับการปฏิบัติการ (กว. ทำเฉพาะขั้นตอนที่ 1)

4) วิจัยส่วนผสมของสูตร 3 (น้ำแข็งแห้ง: CO_2 (s)) และสูตร 4 (ยูเรีย : $CO(NH_2)_2$) สำหรับการใช้งานในขั้นตอนที่ 4 เนื่องจากการใช้สูตร 3 อย่างเดียวอาจเกิดการจับตัวกัน ซึ่งการใช้สูตร 4 ผสมด้วยเล็กน้อยเพื่อป้องกันการจับตัวของสารฝนหลวง (ขนาดของสูตร 3 ไม่เกิน 1 ลูกบาศก์นิ้ว)
5) วิจัยการใช้สารฝนหลวงสูตร 3 ในการปฏิบัติการขั้นตอนที่ 6 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
6) วิจัยเกี่ยวกับวิธีการป้องกันพายุลูกเห็บ เช่น ระยะก่อนเกิด ระยะเริ่มต้น INTERVENTION เมฆอุ่น และการใช้ UAV ในเวลากลางคืน เป็นต้น (กว.)
7) วิจัยเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการประเมินหลังโปรยสาร ของขั้นตอนต่างๆ ในแต่ละฤดูกาล
8) พัฒนาระบบประเมินน้ำในพื้นที่ลุ่มรับน้ำของเขื่อน (ศทส.)
9) งานวิจัยทบทวนและพิจารณาการใช้พลุดูดความชื้น NaCl $CaCl_2$
10) พัฒนาการโปรยหรือใช้สารในขั้นตอนที่ 2 สำหรับเมฆที่มีความหนาน้อยกว่า 3,000 ฟุต
11) พัฒนาเทคนิคการโปรยในขั้นตอนที่ 2 สำหรับฤดูร้อน เพื่อไม่ให้เกิดการ Overseed
12) วิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยและพื้นที่การเกิดลูกเห็บ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ผลล่วงหน้า
13) พยากรณ์ล่วงหน้า โดยใช้ผลการตรวจอากาศ แต่ละพื้นที่ให้มากขึ้น โดยใช้ Rainbow ในการตัดขวางภาพเมฆที่ศูนย์
14) เทคนิคเฉพาะพื้นที่และพฤติกรรมเมฆ