

พหุลวง
ศาสตร์พระราชา

การถอดบทเรียนการปฏิบัติการพหุลวง





การถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง กรมฝนหลวงและการบินเกษตร Version 1.0

พิมพ์ครั้งที่ 1 : ปีงบประมาณ 2560



“...การทำแผนเขียนนี้ไม่ใช่เรื่องง่าย จะต้องมีการอุปการณวัสดุและเจ้าหน้าที่ งานที่ทำนี้ก็ต้องสิ้นเปลืองไม่ใช่น้อย แต่ถ้าผลที่ได้คือจะเป็นผลที่น่าพอใจ การทำแผนนี้เป็นสิ่งที่ลำบากหลายๆ ประการ ทางด้านเทคนิค และในด้าน จังหวะที่จะทำเพราะถ้าพูดถึงด้านเทคนิค แผนที่ทำนี้จะพลิกฤดูกาลไม่ได้ไม่ใช่ว่าแผนแล้งจะบันดาลได้อย่างปฏิหาริย์ ทำให้มีฝนเพียงพอกับการเพาะปลูกมีได้หรือจะแทนการชลประทานที่ชุดเรียบร้อยกว้างขวางก็ไม่ได้แต่เป็นทางหนึ่ง ที่มีหวัง สำหรับฤดูกาลที่ควรจะมียฝน และฝนเทียมจะช่วยให้ประคองพืชผล ไม่ให้สิ้นไปพอได้การทำแผนเขียนนี้เป็น สิ่งใหม่ จึงต้องทำโครงการอย่างระมัดระวังเพราะว่าสิ้นเปลือง ถ้าทำแล้วไม่ได้ผลจะสิ้นเปลืองโดยใช้เหตุ...”

พระราชดำรัสเกี่ยวกับการโครงการฝนหลวง โครงการในพระราชดำริ ณ พระตำหนักจิตรลดารโหฐาน
เมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2517

“...สิทธิบัตรนี้เป็นของคนไทย คนไทยเป็นคนทำและการทำฝนนี้ได้กุศล ให้ตั้งใจทำเหมือนกับถวายสังฆทานเพราะ การทำฝนนี้ไม่ได้ทำให้คนใดคนหนึ่งโดยเฉพาะหรือกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งโดยเฉพาะ...”

พระราชทานกระแสแก่คณะผู้เข้าเฝ้าฯ ทูลเกล้าฯ ถวายสิทธิบัตรฝนหลวง ณ วังไกลกังวล
เมื่อวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2552

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
1. การวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	1
1.1 การเตรียมความพร้อมด้านปัจจัยการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	1
1.2 การวิเคราะห์และกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวง	3
1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและเกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจ การปฏิบัติการฝนหลวง	8
2. การปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการทำฝน	15
2.1 การปฏิบัติการฝนหลวงตามตำราฝนหลวง	15
2.2 การปฏิบัติการยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ	26
2.3 การปฏิบัติการบรรเทาหมอกควันและไฟป่า	27
2.4 การกักเสริมการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอ่อนโดยใช้พลุสารดูดความชื้น	28
2.5 เงื่อนไขที่สำคัญของการการปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการทำฝน	29
3. การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง	30
3.1 หลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน	30
3.2 หลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละภารกิจ	36
ภาคผนวก ก	41
ภาคผนวก ข	43
ภาคผนวก ค	47
ภาคผนวก ง	55
ภาคผนวก จ	59
ภาคผนวก ฉ	61

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 เกณฑ์การตัดสินใจด้านปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	1
1.2 หลักเกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายปฏิบัติการฝนหลวง ภารกิจภัยแล้งและฝนทิ้งช่วง	3
1.3 ข้อจำกัดของการกำหนดพื้นที่เป้าหมายการช่วยเหลือในภารกิจภัยแล้ง และฝนทิ้งช่วง	5
1.4 เกณฑ์ความสำคัญเร่งด่วนของการกำหนดพื้นที่ให้ช่วยเหลือพื้นที่ ประสบปัญหาจากภัยแล้ง	5
1.5 เกณฑ์การให้คะแนนเพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวง ประจำวันในภารกิจภัยแล้งและฝนทิ้งช่วง	7
1.6 แสดงตารางวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับการวางแผน การปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	9
1.7 เกณฑ์ความเหมาะสมของสภาพอากาศในการตัดสินใจปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	12
1.8 เกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน	13
1.9 กำหนดเวลาสิ้นสุดการเฝ้าระวังและติดตามสภาพอากาศของแต่ละขั้นตอน	14
2.1 ความสูงเฉลี่ยของระดับ CCL ในแต่ละภูมิภาค (ค่าเฉลี่ย 5 ปี พ.ศ. 2555-2559)	19
2.2 แสดงระดับความสูงของ Melting Layer (0°C) ของแต่ละภูมิภาค (ค่าเฉลี่ย 5 ปี พ.ศ. 2555-2559)	24
2.3 แสดงอัตราการโปรยสารฝนหลวงของเครื่องบินแต่ละชนิดที่ใช้ ในการปฏิบัติการฝนหลวง	29
3.1 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 1	31
3.2 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 2	32
3.3 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 3	33
3.4 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 4 – 6	35
3.5 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินผลสำเร็จการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละภารกิจ	37
3.6 ตัวแปรที่ใช้ในการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่โดยพื้นที่กรวย รับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง	39

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ตำราฝนหลวงพระราชทาน	15
2.2 แผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 1	16
2.3 ลักษณะท้องฟ้า/เมฆที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 1 (ซ้าย) และรูปแบบการบินในขั้นตอนที่ 1 (ขวา)	17
2.4 แผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 2	18
2.5 ลักษณะเมฆที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 2 (ซ้าย) และรูปแบบการบินในขั้นตอนที่ 2 (ขวา)	18
2.6 แผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 3	20
2.7 ลักษณะเมฆที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 3 (ซ้าย) และรูปแบบการบินในขั้นตอนที่ 3 (ขวา)	21
2.8 แสดงแผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 4	21
2.9 ลักษณะเมฆที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 4 (ซ้าย) และรูปแบบการบินในขั้นตอนที่ 4 (ขวา)	22
2.10 แผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 5	23
2.11 ลักษณะเมฆที่เหมาะสมแบบ Hard ของการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 5 (บน) และรูปแบบการยิงพลุ AgI ในขั้นตอนที่ 5 : การยิงพลุ AgI เหนือยอดเมฆเย็น (ซ้ายล่าง) และการยิงพลุ AgI จากด้านข้างเมฆเย็น (ขวาล่าง)	24
2.12 แสดงแผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 6	25
2.13 แสดงสภาพลักษณะเมฆคิวมูลัสที่เหมาะสมและมีโอกาสการเกิดลูกเห็บ (ซ้าย) และการรายงานการเกิดพายุลูกเห็บ บริเวณ ตำบลสานตม อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย เมื่อวันที่ 16 มีนาคม 2557 (ขวา)	26
2.14 ภาพการเกิดไฟฟ้าที่พรุคนครึ่ง จ.นครศรีธรรมราช (วันที่ 11 สิงหาคม 2555)	27
2.15 แสดงติดตั้งอุปกรณ์สำหรับพลุสารดูดความชื้นและการใช้พลุสารดูดความชื้น เครื่องบิน AU23A (ซ้าย) และรูปแบบการบินในการใช้พลุสารดูดความชื้น (ขวา)	28
3.1 แสดงการกำหนดขนาด และรูปแบบกรวยประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่	39

การวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวันจะเป็นการพิจารณาเพื่อกำหนดวิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานต่างๆ สำหรับการกำหนดการปฏิบัติการฝนหลวง รวมทั้งเพื่อสร้างหลักเกณฑ์ของการตัดสินใจขึ้นบนปฏิบัติการฝนหลวงตามภารกิจประจำวัน กระบวนการวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การเตรียมความพร้อมด้านปัจจัยการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน (2) การวิเคราะห์และกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวง และ (3) การวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและเกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวง

1.1 การเตรียมความพร้อมด้านปัจจัยการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

การเตรียมความพร้อมด้านปัจจัยการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน จะพิจารณาจากปัจจัยที่สำคัญใน 4 ด้าน ได้แก่ สนามบิน, เครื่องมืออุปกรณ์และอากาศยาน, บุคลากร และ สารฝนหลวง ซึ่งหากขาดความพร้อมอาจส่งผลกระทบต่อปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน หลักเกณฑ์การควบคุมปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1.1 เกณฑ์การตัดสินใจด้านปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

ตารางที่ 1.1 เกณฑ์การตัดสินใจด้านปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

ปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน*	เกณฑ์การพิจารณา	การควบคุม
สนามบิน	- สนามบินพร้อมสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	NOTAM
อากาศยานและบริษัทภาคพื้น	- อากาศยานและบริษัทภาคพื้นพร้อมปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน - อากาศยานและบริษัทภาคพื้นมีจำนวนเพียงพอต่อการบินปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	แบบฟอร์มรายงานการปฏิบัติการประจำวันของเครื่องบิน
บุคลากร (นักวิชาการ, นักบิน, ช่างเครื่องบิน, เจ้าหน้าที่בודไปรษณีย์สารฝนหลวง, พนักงานขับรถยนต์)	- บุคลากรมีจำนวนเพียงพอต่อการบินปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	แบบฟอร์มตรวจสอบความพร้อมด้านบุคลากร
เครื่องบินโดยสารฝนหลวงและเครื่องยนต์ต้นกำลัง	- เครื่องบินโดยสารฝนหลวงและเครื่องยนต์ต้นกำลังอยู่ในสภาพ	แบบรายงานความพร้อมของอุปกรณ์เครื่องบินโดยสารฝนหลวง

ปัจจัยสนับสนุนการ ปฏิบัติการ ฝนหลวงประจำวัน*	เกณฑ์การพิจารณา	การควบคุม
	พร้อมใช้งาน - เครื่องบดสารฝนหลวงและ เครื่องยนต์ต้นกำลังมีจำนวน เพียงพอต่อการปฏิบัติการ ฝนหลวง	และเครื่องยนต์ต้นกำลัง
สารฝนหลวง	- สารฝนหลวงแต่ละสูตรมีคุณภาพ และปริมาณเพียงพอต่อการ ปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน	แบบรายงานความพร้อมของ สารฝนหลวง ระบบคลังสาร ฝนหลวง แบบฟอร์มตรวจสอบ คุณภาพ สารฝนหลวง ประจำเดือน
รถบรรทุกสารฝนหลวง	- รถบรรทุกสารฝนหลวงมีจำนวน เพียงพอต่อการปฏิบัติการ ฝนหลวงประจำวัน - รถบรรทุกสารฝนหลวงอยู่ใน สภาพพร้อมใช้งาน	แบบรายงานความพร้อมของ รถบรรทุกสารฝนหลวง

หมายเหตุ : * หากขาดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งไม่สามารถปฏิบัติการได้

ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรทบทวนและจัดทำ KM ระดับความพร้อมของเกณฑ์การตัดสินใจด้านปัจจัยสนับสนุนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน
- 2) ทบทวนหรือวิจัยกระบวนการจัดการสารในขั้นตอนต่างๆ อาทิ ขนส่ง / STOCK / PROCESS / USAGE
- 3) วิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงกระบวนการบดสารฝนหลวง

1.2 การวิเคราะห์และกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวง

การวิเคราะห์และกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน โดยวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ทั้งเชิงปริมาณและเชิงพื้นที่ เช่น ข้อมูลพื้นฐานทางอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลอุทกวิทยา ข้อมูลปัจจัยความต้องการฝน เป็นต้น โดยพิจารณาดังนี้

- 1) การวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายการช่วยเหลือประจำวัน
- 2) การกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

1.2.1 การวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายการช่วยเหลือประจำวัน

การวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายการช่วยเหลือประจำวัน จะพิจารณาจากเกณฑ์ข้อมูลพื้นฐาน และข้อมูลบ่งชี้ความต้องการฝนต่างๆ แยกตามภารกิจของการปฏิบัติ โดยสามารถแบ่งการปฏิบัติการออกเป็น 4 ภารกิจ ดังนี้

- 1) การปฏิบัติการภารกิจภัยแล้งและฝนทิ้งช่วง
- 2) การปฏิบัติการเติมน้ำต้นทุน
- 3) การปฏิบัติการบรรเทาหมอกควันและไฟป่า
- 4) การปฏิบัติการยับยั้งลูกเห็บ

1.2.1.1 การปฏิบัติการภารกิจภัยแล้งและฝนทิ้งช่วง

การปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อสร้างความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ป่าไม้ โดยเพิ่มปริมาณน้ำฝนให้กับพื้นที่เกษตรกรรม ป้องกันและแก้ไขปัญหากล้วยแล้งเนื่องจากฤดูฝนมาล่าช้ากว่าปกติ หรือฝนทิ้งช่วงระหว่างฤดูกาลเพาะปลูกซึ่งการวิเคราะห์เพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายการช่วยเหลือจะพิจารณาจากลำดับความสำคัญเร่งด่วนของพื้นที่ช่วยเหลือพื้นที่ประสบปัญหาจากภัยแล้ง โดยพิจารณาจากข้อมูลพื้นฐาน เช่น ข้อมูลปริมาณน้ำฝน และข้อมูลบ่งชี้ความต้องการฝน เช่น ข้อมูลการขอรับบริการฝนหลวง เป็นต้น ทั้งนี้มีหลักเกณฑ์การวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมาย และเกณฑ์ความสำคัญเร่งด่วนของพื้นที่ช่วยเหลือพื้นที่ประสบปัญหาจากภัยแล้ง โดยมีรายละเอียด ดังตารางที่ 1.2 หลักเกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายปฏิบัติการฝนหลวงภารกิจภัยแล้งและฝนทิ้งช่วง ตารางที่ 1.3 ข้อจำกัดของการกำหนดพื้นที่เป้าหมายการช่วยเหลือในการกิจภัยแล้งและฝนทิ้งช่วง และตารางที่ 1.4 เกณฑ์ความสำคัญเร่งด่วนของการกำหนดพื้นที่ให้ช่วยเหลือพื้นที่ประสบปัญหาจากภัยแล้ง

ตารางที่ 1.2 หลักเกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายปฏิบัติการฝนหลวงภารกิจภัยแล้งและฝนทิ้งช่วง

ชนิดข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ข้อมูล	เกณฑ์การพิจารณา	Weighting*	หลักเกณฑ์การให้คะแนน	ค่าคะแนน	แหล่งข้อมูล
ข้อมูลพื้นฐาน	ปริมาณฝน	ข้อมูลฝนสะสม (รายวัน)	ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนสะสม 24 ชั่วโมงจากทุกสถานีของแต่ละจังหวัด	W ₁	ไม่มีฝนตก	1.00	กรมอุตุนิยมวิทยา/กรมทรัพยากรน้ำ/สสนก.
					0.1 - 10.0 มม.	0.75	
					10.1 - 35.0 มม.	0.50	
					35.1 - 90.0 มม.	0.25	
					> 90 มม.	0.00	
		ค่า	ค่าเบี่ยงเบน	W ₂	< (-10) มม.	1.00	กรมอุตุนิยม

ชนิด ข้อมูล	ประเภท ข้อมูล	ข้อมูล	เกณฑ์การ พิจารณา	Weighting*	หลักเกณฑ์ การให้คะแนน	ค่าคะแนน	แหล่ง ข้อมูล
		เบี่ยงเบน ฝนจากค่า ปกติ (ราย สัปดาห์)	ของปริมาณ ฝนรวม 7 วัน จากค่าเฉลี่ย ปกติ (7 days normaly rainfall) ของ แต่ละจังหวัด		-10 ถึง +10	0.50	วิทยา/สสนก.
					> (+10) มม.	0.00	
		ข้อมูล จำนวน วันที่ไม่มี ฝนตก	จำนวนวัน ต่อเนื่องที่ไม่มี ฝนตกของแต่ละ จังหวัด (ค่าสูงสุด)	W ₃	> 15 วัน	1.00	กรมอุตุนิยม วิทยา/สสนก.
					8 - 15 วัน	0.75	
					3 - 7 วัน	0.50	
					1 - 3 วัน	0.25	
					0 วัน	0.00	
	ข้อมูล บ่งชี้ ความ ต้องการ ฝน	พื้นที่ เสี่ยงภัย แล้ง	พื้นที่ ประกาศ ภัยแล้ง (ระดับ อำเภอ)	W ₄	> 50%	1.00	รายงาน สาธารณภัย ประจำวัน ของ ปก.
					1 - 50%	0.50	
					ไม่เป็นพื้นที่ภัย แล้ง	0.00	
		พื้นที่ ร้องขอฝน	ข้อมูลร้อง ขอฝน เพื่อ บรรเทา ภัยแล้ง	W ₅	> 76%	1.00	ระบบขอรับ บริการ ฝนหลวง
					51 - 75%	0.75	
					26 - 50%	0.50	
					1 - 25%	0.25	
					ไม่มีการร้องขอ	0.00	
		พื้นที่ ที่รับ การ ช่วยเหลือ	ข้อมูล ฝนตก	W ₆	ไม่มีฝนตก >75% ของ การร้องขอฝน	1.00	เรตาร์/ เครือข่ายภาค ประชาชน/ ระบบขอรับ บริการ ฝนหลวง
					ไม่มีฝนตก 51-75% ของ การร้องขอฝน	0.75	
					ไม่มีฝนตก 26-50% ของ การร้องขอฝน	0.50	
					ไม่มีฝนตก 1-25% ของ การร้องขอฝน	0.25	
					ไม่มีการร้องขอฝน	0.00	

หมายเหตุ : * ศูนย์ปฏิบัติการฝนหลวงจะพิจารณา Weighting ค่า W₁₋₆ ตามความเหมาะสม

ตารางที่ 1.3 ข้อจำกัดของการกำหนดพื้นที่เป้าหมายการช่วยเหลือในการกิจกัยแล้งและฝนทิ้งช่วง

ชนิดข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ข้อมูล	เกณฑ์การพิจารณา	เงื่อนไข	แหล่งข้อมูล
ข้อจำกัด	ภัยพิบัติ	ข้อมูลพื้นที่เฝ้าระวังอุทกภัย/น้ำป่าไหลหลาก/พื้นที่ดินถล่ม/วาตภัย	มีประกาศ	หลีกเลี่ยงการปฏิบัติการฝนหลวงบริเวณพื้นที่ที่ประสบภัยพิบัติ	กรมทรัพยากรน้ำ/ ปภ./ กษช./ สสนก.
	ข้อมูลเพาะปลูกพืช	ช่วงต้องการน้ำของพืช	อยู่ในช่วงเวลาที่พืชไม่ต้องการน้ำ	หลีกเลี่ยงการปฏิบัติการฝนหลวงบริเวณพื้นที่ที่พืชอยู่ในระยะไม่ต้องการฝน ได้แก่ ระยะติดช่อดอก (ไม่ผล) และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต	สำนักเศรษฐกิจการเกษตร/สำนักงานเกษตรจังหวัดเกษตรและสหกรณ์จังหวัด/ระบบขอรับบริการฝนหลวงอาสาสมัครฝนหลวง

ตารางที่ 1.4 เกณฑ์ความสำคัญเร่งด่วนของการกำหนดพื้นที่ให้ช่วยเหลือพื้นที่ประสบปัญหาจากภัยแล้ง

ค่าคะแนนรวม	ระดับความสำคัญเร่งด่วนในการปฏิบัติการฝนหลวง
>76% ของคะแนนรวมทั้งหมด	เร่งด่วน
26-75% ของคะแนนรวมทั้งหมด	ปานกลาง
<25% ของคะแนนรวมทั้งหมด	เฝ้าติดตามสถานการณ์

ข้อเสนอแนะ

- 1) นักวิชาการต้องมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องของระบบลุ่มน้ำ/ภูมิประเทศ/ภูมิอากาศ/การเพาะปลูกเชิงพื้นที่
- 2) ปัจจุบันมีการกำหนดพื้นที่เป้าหมายในระดับจังหวัด หากมีข้อมูลสนับสนุนครบถ้วนและเพียงพอ สามารถพัฒนาเพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายในระดับอำเภอได้
- 3) ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Water Requirement) โดยพิจารณาจุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) เพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจในการกำหนดพื้นที่เป้าหมายปฏิบัติการฝนหลวง
- 4) สร้างระบบการรายงานข้อมูลข่าวสารต่างๆ จากเครือข่ายอาสาสมัครฝนหลวง
- 5) สร้างความร่วมมือด้านข้อมูลปริมาณน้ำฝนกับกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายอำเภอ สำหรับเป็นฐานข้อมูลในการวางแผนปฏิบัติการประจำวันที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

- 6) หากไม่มีข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยาสามารถใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากหน่วยงานอื่นที่อยู่ใกล้เคียงได้
- 7) แต่ละศูนย์ฯ ควรมีฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ของพื้นที่การเกษตรและพื้นที่ป่าไม้
- 8) ประยุกต์ Agri Map เพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายในการวางแผนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน
- 9) ควรพัฒนาข้อมูล GIS สำหรับวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวงในการปฏิบัติการภารกิจภัยแล้งและฝนทิ้งช่วง

1.2.1.2 การปฏิบัติการเติมน้ำต้นทุน

เป็นการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักให้กับเขื่อนต่างๆ ทั่วประเทศ ไทย เพื่อสำรองไว้เป็นน้ำต้นทุนในการบริหารจัดการน้ำในช่วงฤดูแล้งถัดไปและเพื่อสาธารณะประโยชน์ต่างๆ (กรมฝนหลวงและการบินเกษตรได้กำหนดเขื่อนและอ่างเก็บน้ำเป้าหมายจำนวน 39 เขื่อน ตามแผนปฏิบัติการประจำปี 2560) โดยมีการประชุมวางแผนระหว่างกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ร่วมกับกรมชลประทานและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เพื่อพิจารณาลำดับความเร่งด่วนของการช่วยเหลือให้กับเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำต่างๆ

ข้อเสนอแนะ

- 1) ศูนย์ปฏิบัติการฝนหลวงเป็นผู้ประสานงานผู้รับผิดชอบเขื่อนในพื้นที่เป้าหมายสำหรับการเติมน้ำในเขื่อน
- 2) นักวิชาการต้องมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องพื้นที่ลุ่มน้ำและลักษณะทิศทางการวางตัวหรือทิศทางการไหลของกลุ่มน้ำนั้นๆ

1.2.1.3 การปฏิบัติการบรรเทาหมอกควันและไฟป่า

การปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อบรรเทาและลดความหนาแน่นของหมอกควัน รวมทั้งเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่ป่าไม้ โดยเฝ้าระวังและติดตามสถานการณ์ปัญหาหมอกควันและคุณภาพอากาศ จากการค่า Hotspot และค่าปริมาณฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) เฉลี่ยใน 24 ชั่วโมง ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพและการใช้ชีวิตประจำวันของประชาชน

ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรแจ้งให้หน่วยงานในพื้นที่ได้รับทราบถึงการปฏิบัติการฝนหลวงช่วยเหลือเพื่อบรรเทาปัญหาหมอกควัน และไฟป่า

1.2.1.4 การปฏิบัติการยับยั้งลูกเห็บ

การตัดแปรสภาพอากาศยับยั้งการเกิดลูกเห็บเพื่อป้องกันและบรรเทาความเสียหายต่อพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่เขตชุมชน โดยเฝ้าระวังติดตามสถานการณ์การเกิดลูกเห็บจากประกาศแจ้งเตือนภัยของกรมอุตุนิยมวิทยา และตัดสินใจปฏิบัติการจากข้อมูลตรวจอากาศและข้อมูลเรดาร์ (Titan) ของสถานีเรดาร์ฝนหลวง

1.2.2 การกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

การกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน จะพิจารณาจากหลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่เป้าหมายตามภารกิจต่างๆ ของการวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมาย การช่วยเหลือประจำวันของแต่ละภารกิจ ในหัวข้อ 1.2.1 มาจัดลำดับความสำคัญเร่งด่วนของแต่ละพื้นที่เป้าหมาย เพื่อใช้ในการกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวันต่อไป รายละเอียดการกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 1.5 เกณฑ์การให้คะแนนเพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวันในภารกิจภัยแล้งและฝนทิ้งช่วง

ตารางที่ 1.5 เกณฑ์การให้คะแนนเพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน ในภารกิจภัยแล้งและฝนทิ้งช่วง

ภารกิจ	ภัยแล้ง						
	บรรเทาภัยแล้ง						
จังหวัด	ข้อมูล ฝน สะสม	ค่า เบี่ยงเบน ฝนจากค่า ปกติ	ฝนทิ้ง ช่วง	พื้นที่ ประกาศ ภัยแล้ง	ข้อมูลร่อง ขอฝน	จำนวน อำเภอร้อง ขอฝนที่ ได้รับการ ช่วยเหลือ (ร้อยละ)	ค่าคะแนน รวม (ภัยแล้ง)
กรุงเทพมหานคร							
กระบี่							
กาญจนบุรี							
กาฬสินธุ์							
กำแพงเพชร							
.....							
.....							
.....							
อำนาจเจริญ							

1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและเกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวง

การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศเป็นกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลหรือตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ทิศทางและความเร็วลม ค่าดัชนีสภาพอากาศ ลักษณะภูมิอากาศระดับกว้าง และการพยากรณ์อากาศเพื่อใช้ในการกำหนดหลักเกณฑ์ความเหมาะสมของสภาพอากาศ และโอกาสในการเกิดฝนในพื้นที่เป้าหมาย ในการวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน การวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับการวางแผนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 1.6 ตารางวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับการวางแผนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน และตารางที่ 1.7 เกณฑ์ความเหมาะสมของสภาพอากาศในการตัดสินใจปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

ตารางที่ 1.6 แสดงตารางวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิตามพื้นที่สำหรับวางแผนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

ชนิดข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ข้อมูล	เกณฑ์กำหนดค่าคะแนน		ความถี่	แหล่งข้อมูล
			0 คะแนน	1 คะแนน		
1. ความชื้นสัมพัทธ์	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย	ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ระดับ 0 - 5,000 ฟุต	< 60%	≥ 60%	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
		ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต	< 60%	≥ 60%	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
		ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ระดับ 10,000 - 15,000 ฟุต	< 60%	≥ 60%	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
		ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ระดับ 20,000 - 25,000 ฟุต	< 60%	≥ 60%	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
2. ลม	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 0 - 5,000 ฟุต	≥ 20 knots	≥ 20 knots	รายวัน / ทุก 6 ชม. ตั้งแต่ 01:00 น.	TMD (แผนที่ลม)/ DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
		ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 5,000 - 10,000 ฟุต	≥ 20 knots	≥ 20 knots	รายวัน / ทุก 6 ชม. ตั้งแต่ 01:00 น.	TMD (แผนที่ลม)/ DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
		ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 10,000 - 15,000 ฟุต	≥ 20 knots	≥ 20 knots	รายวัน / ทุก 6 ชม. ตั้งแต่ 01:00 น.	TMD (แผนที่ลม)/ DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
		ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 20,000 - 25,000 ฟุต	≥ 20 knots	≥ 20 knots	รายวัน / ทุก 6 ชม. ตั้งแต่ 01:00 น.	TMD (แผนที่ลม)/ DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
3. ค่าดัชนีสภาพอากาศ	LI (Lifted Index)	ดัชนีที่ใช้บอกความไม่เสถียรภาพของมวลอากาศในระดับต่ำ	> (-4)	≤ (-4)	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	SI	ดัชนีที่ใช้บอกความไม่เสถียรภาพของ	> 0	≤ 0	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)

ชนิดข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ข้อมูล	เกณฑ์กำหนดค่าคะแนน		ความถี่	แหล่งข้อมูล
			0 คะแนน	1 คะแนน		
	(Showalter Index)	มวลอากาศที่ระดับ 850 มิลลิบาร์				
	KI* (K Index)	ดัชนีที่บอกถึงศักยภาพในการก่อตัวในแนวตั้ง	< 33	≥ 33	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	CAPE (Convective Available Potential Energy)	พลังงานศักย์ที่มีอยู่ในยกตัวของกระแสอากาศในแนวตั้ง	< 1,500	≥ 1,500	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
	PW (Total Precipitation Water)	ค่าของหยาดน้ำฟ้ารวม	< 1.5 นิ้ว	≥ 1.5 นิ้ว	รายวัน	DRRAA (ผลตรวจอากาศชั้นบน)
4. สภาพภูมิอากาศ	ความกดอากาศผิวพื้น	ค่าความกดอากาศผิวพื้นที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวง	> 1012	≤ 1012	รายวัน	TMD (รายจังหวัด)
	สภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Synoptic Scale)	สภาพอากาศที่มีผลต่อการปฏิบัติการฝนหลวง	มีพายุดีเปรสชันขึ้นไป	มีหย่อมความกดอากาศหรือมีร่องมรสุมหรือมีแนวปะทะอากาศหรือมีลม	รายวัน	TMD (Top Chart)

ชนิดข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ข้อมูล	เกณฑ์กำหนดค่าคะแนน		ความถี่	แหล่งข้อมูล
			0 คะแนน	1 คะแนน		
				มรสุม		
	สภาพท้องฟ้า	ปริมาณและลักษณะของเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย หรือบริเวณสนามบิน หรือค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์	มีเมฆแผ่นปกคลุมหรือมีฝนในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย หรือมีฝนบริเวณสนามบิน หรือมีค่าการสะท้อนในบริเวณสนามบินมากกว่า 35 dBZ	มีค่าการสะท้อนในบริเวณพื้นที่เป้าหมายมากกว่า 28 dBZ	เรดาร์ : 6 นาที / 15 นาที ดาวเทียม : 10 นาที / 30 นาที / 1 ชั่วโมง	TMD (เรดาร์/ดาวเทียม)/ DRRAA (เรดาร์)
5. การพยากรณ์อากาศ	การพยากรณ์อากาศประจำวัน และการพยากรณ์อากาศ 7 วัน ข้างหน้า	มีโอกาสดเกิดฝนในพื้นที่	มีการแจ้งเตือนอุทกภัยมีพายุ	มีโอกาสดเกิดฝนในพื้นที่	รายวัน / 7 วัน	TMD (พยากรณ์อากาศประจำวัน และการพยากรณ์อากาศ 7 วัน ข้างหน้า)

หมายเหตุ : * ค่า KI ขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่และฤดูกาล

ตารางที่ 1.7 เกณฑ์ความเหมาะสมของสภาพอากาศในการตัดสินใจปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

ค่าคะแนนรวม	ความเหมาะสมของสภาพอากาศ
น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5	ไม่เหมาะสม
6 – 11	เหมาะสม
มากกว่าหรือเท่ากับ 12	เหมาะสมมาก

1.3.2 การกำหนดเกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวง

เป็นกระบวนการเพื่อใช้ในการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวันประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือ การกำหนดหลักเกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่แยกตามภารกิจ และหลักเกณฑ์การเฝ้าระวังและติดตามสภาพ

1.3.2.1 หลักเกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวง

หลักเกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่ แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 1.8 เกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน

ตารางที่ 1.8 เกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน

เกณฑ์การพิจารณา	ข้อมูลเรดาร์	ภาพถ่ายดาวเทียม (VIS)	ภาพถ่ายดาวเทียม (IR)	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยาน	ภารกิจของการปฏิบัติ (หัวข้อ)
ขั้นตอนที่ 1	ไม่มีค่าการสะท้อน / พบค่าการสะท้อนเล็กน้อย	พบ / ไม่พบกลุ่มเมฆ บริเวณต้นลมเหนือพื้นที่เป้าหมาย	ไม่พบกลุ่มเมฆ	ท้องฟ้าโปร่ง หรือมีคิวมูลัส สเตโตคิวมูลัส เล็กน้อย	(1.1.2.1) (1.1.2.2) (1.1.2.3)
ขั้นตอนที่ 2	พบเมฆ ๘ ขนาด 2-5 กม. หรือมีค่าการสะท้อน < 20 dBZ	พบกลุ่มเมฆต้นลมเหนือพื้นที่เป้าหมาย	ไม่พบกลุ่มเมฆ	เมฆหนา > 3,000 ฟุต แต่ยอดเมฆสูงไม่เกิน 10,000 ฟุต	(1.1.2.1) (1.1.2.2) (1.1.2.3)
ขั้นตอนที่ 3	พบเมฆ ๘ ขนาด > 5 กม. หรือมีค่าการสะท้อน 20-28 dBZ	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	พบกลุ่มเมฆ	เมฆหนา > 3,000 ฟุต และยังคงเป็นเมฆอุ่น	(1.1.2.1) (1.1.2.2) (1.1.2.3)
ขั้นตอนที่ 4	พบเมฆ ๘ ขนาด > 5 กม. หรือมีค่าการสะท้อน 28-35 dBZ	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	ไม่พบหรือพบกลุ่มเมฆ	เมฆหนา > 5,000 ฟุต และยังคงเป็นเมฆอุ่น	(1.1.2.1) (1.1.2.2) (1.1.2.3)
ขั้นตอนที่ 5	พบเมฆ ๘ ขนาด > 5 กม. หรือมีค่าการสะท้อน 35 dBZ หรือยอดเมฆสูงตามตารางระดับความสูงของ Melting Layer	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	เมฆระยะเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Stage)	(1.1.2.1) (1.1.2.2) (1.1.2.3) (1.1.2.4)
ขั้นตอนที่ 6	พบเมฆ ๘ ขนาด > 5 กม. หรือมีค่าการสะท้อน 35 dBZ หรือยอดเมฆสูงตามตารางระดับความสูงของ Melting Layer	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	เมฆระยะเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Stage)	(1.1.2.1) (1.1.2.2) (1.1.2.3)

1.3.2.2 หลักเกณฑ์การเฝ้าระวังและติดตามสภาพอากาศ

หากวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศแล้ว พบว่า สภาพอากาศไม่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวง นักวิชาการจะต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศใหม่ทุกๆ 30 นาที เนื่องจากอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อพิจารณาความเหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงในช่วงเวลานั้นๆ ตามหลักเกณฑ์ในหัวข้อ 1.3.1 และจะยกเลิกภารกิจประจำวันเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศแล้วยังไม่เหมาะสมจนถึงเวลาสิ้นสุดของแต่ละขั้นตอนตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1.9

ตารางที่ 1.9 กำหนดเวลาสิ้นสุดการเฝ้าระวังและติดตามสภาพอากาศของแต่ละขั้นตอน

ขั้นตอนการปฏิบัติการฝนหลวง	เวลาสิ้นสุดการเฝ้าระวังและติดตามสภาพอากาศ
ขั้นตอนที่ 1	ก่อนเวลาพระอาทิตย์ตก* 4.5 ชั่วโมง
ขั้นตอนที่ 2	ก่อนเวลาพระอาทิตย์ตก* 3.0 ชั่วโมง
ขั้นตอนที่ 3	ก่อนเวลาพระอาทิตย์ตก* 1.5 ชั่วโมง
ขั้นตอนที่ 4	ก่อนเวลาพระอาทิตย์ตก* 1.5 ชั่วโมง
ขั้นตอนที่ 5	ก่อนเวลาพระอาทิตย์ตก* 1.5 ชั่วโมง
ขั้นตอนที่ 6	ก่อนเวลาพระอาทิตย์ตก* 1.5 ชั่วโมง

หมายเหตุ : เวลาพระอาทิตย์ตก อ้างอิงจาก รายงานสภาพอากาศรายจังหวัดของจังหวัดที่มีการตั้งหน่วยปฏิบัติการฯ

ข้อเสนอแนะ

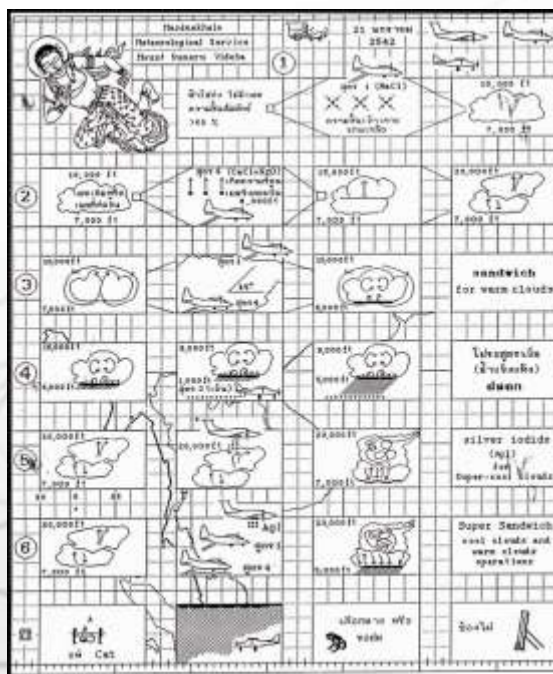
1) เนื่องจากค่า KI เป็นดัชนีสภาพอากาศที่นักวิชาการเห็นว่ามีค่าสำคัญ และมีหลักเกณฑ์เฉพาะในแต่ละพื้นที่และฤดูกาล ดังนั้นควรศึกษาวิจัยเพิ่มเติมหลักเกณฑ์ของค่า KI ที่เหมาะสมเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่ต่อไป

2. การปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการทำฝน

การปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการทำฝน ประกอบด้วย การปฏิบัติการฝนหลวงตามตำราฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน การปฏิบัติการยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ, การปฏิบัติการบรรเทาหมอกควันและไฟป่า และการปฏิบัติการฝนหลวงด้วยเทคนิคอื่นๆ ได้แก่ การเสริมการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอ่อนโดยใช้พลุสารดูดความชื้น

2.1 การปฏิบัติการฝนหลวงตามตำราฝนหลวง

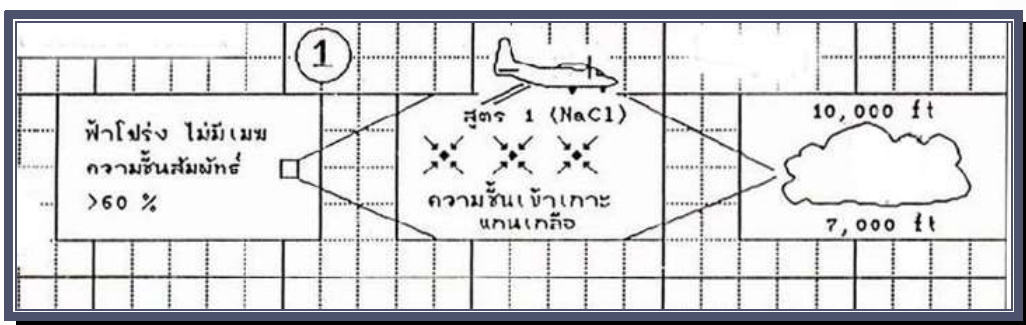
พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช มหิตลาธิเบศรรามาธิบดี จักรีนฤพดินทร สยามินทราธิราช บรมนาถบพิตร ทรงสรุปขั้นตอนกรรมวิธีการปฏิบัติการฝนหลวงโดยทรงประดิษฐ์ภาพ “ตำราฝนหลวง” ด้วยคอมพิวเตอร์ แสดงขั้นตอน และกรรมวิธีการตัดแปรสภาพอากาศ ให้เกิดฝนจากเมฆอ่อนและเมฆเย็น และพระราชทาน “ตำราฝนหลวง” แก่นักวิชาการฝนหลวง เมื่อวันที่ 21 มีนาคม 2542 เพื่อให้เป็นแบบอย่างใช้ในการปฏิบัติการฝนหลวงให้เป็นไปในทางเดียวกัน “ตำราฝนหลวง” ประมวลความรู้ทางวิชาการเทคนิคและกระบวนการขั้นตอนกรรมวิธีในการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างครบถ้วนทั้งเทคโนโลยีฝนหลวงไว้ในหนึ่งหน้ากระดาษได้อย่างสมบูรณ์ง่ายต่อความเข้าใจและการถือปฏิบัติ



ภาพที่ 2.1 ตำราฝนหลวงพระราชทาน

2.1.1 ขั้นตอนที่ 1

ในขั้นตอนที่ 1 ปฏิบัติการเพื่อเร่งให้เกิดเมฆในขณะที่ท้องฟ้าโปร่งหรือมีเมฆเดิมก่อตัวอยู่บ้าง และมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ โดยโปรยสารฝนหลวงสูตร 1 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นแกนกลั่นตัว (Cloud Condensation Nuclei ; CCN) ความชื้นหรือไอน้ำจะถูกดูดซับเข้าไปเกาะรอบแกนเกลือ แล้วรวมตัวกันเกิดเป็นเมฆ และเมฆเหล่านี้จะพัฒนาขึ้นเป็นเมฆก้อนใหญ่



ภาพที่ 2.2 แผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 1

สารฝนหลวง : สูตร 1 (เกลือแ่ง : NaCl)

ลักษณะอากาศ :

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

รูปแบบการโปรย : บินโปรยขวางทิศทางลม ระยะทาง 25 - 30 NM (45 - 55 กิโลเมตร)

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



ภาพที่ 2.3 ลักษณะท้องฟ้า/เมฆที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 1 (ซ้าย) และรูปแบบการบินในขั้นตอนที่ 1 (ขวา)

ความสูงการบิน : กรณีพื้นที่ปฏิบัติการเป็นพื้นที่ราบจะโปรยสารเหนือระดับ Convective Condensation Level (CCL) ประมาณ 1,000 ฟุต (จากข้อมูลผลตรวจอากาศชั้นบน) และกรณีพื้นที่ปฏิบัติการเป็นพื้นที่ภูเขาจะโปรยสารเหนือระดับ Lifting Condensation Level (LCL) ประมาณ 1,000 ฟุต โดยที่ระดับความสูงการโปรยสารต้องไม่ต่ำกว่า 5,000 ฟุต เพื่อป้องกันไม่ให้สารฝนหลวงหล่นถึงพื้น

Highlight/Trick :

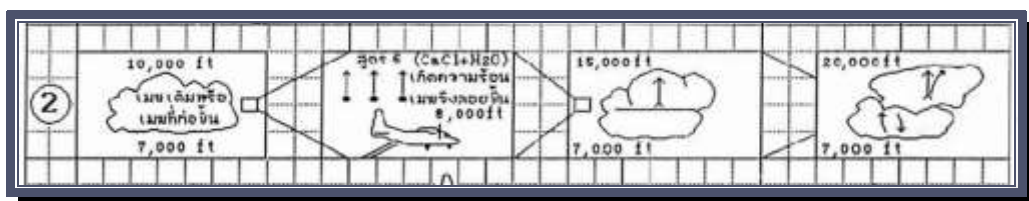
- 1) อัตราการโปรยสารฝนหลวง ดูตารางที่ 2.3
- 2) ขั้นตอนที่ 1 แต่ละหน่วยปฏิบัติการฯ เลือกปฏิบัติการฝนหลวง ตามลักษณะการก่อตัวของเมฆในแต่ละพื้นที่
- 3) กรณี ท้องฟ้าโปร่ง บินเป็นเส้นตรง เหนือระดับ CCL เพื่อให้อนุภาคของสารคลุกเคล้ากับความชื้นในอากาศ ที่ระดับ CCL ซึ่งเป็นระดับเมฆก่อตัวและกลั่นตัว
- 4) กรณี ท้องฟ้ามีเมฆชั้นกลางและ/หรือชั้นสูงปกคลุมเป็นส่วนมากนั้น จะติดตามสภาพอากาศอย่างใกล้ชิด
- 5) กรณีพื้นที่ปฏิบัติการเป็นพื้นที่ราบจะโปรยสารเหนือระดับ CCL หากพื้นที่ปฏิบัติการเป็นพื้นที่ภูเขาจะโปรยสารเหนือระดับ LCL

ข้อเสนอแนะ :

- 1) ควรมีการจัดหาอุปกรณ์หรือเครื่องมือสำหรับตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ภายในและนอกอากาศยานขณะปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 1
- 2) ศูนย์ฯ ควรจะพิจารณารูปแบบการโปรย (เช่น เส้นตรง เส้นโค้ง วงกลม) ของพื้นที่เป้าหมายในแต่ละวัน
- 3) แต่ละศูนย์ฯ ควรมีการถอดบทเรียน เรื่องลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศของแต่ละภูมิภาคที่เหมาะสมในการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 1 เพื่อใช้ประกอบการวางแผนการปฏิบัติการฝนหลวง

2.1.2 ขั้นตอนที่ 2

ในขั้นตอนที่ 2 ปฏิบัติการเพื่อเร่งการพัฒนาตัวของเมฆที่ก่อขึ้น หรือเมฆเดิมที่มีอยู่ตามธรรมชาติ โดยโปรยสารฝนหลวงสูตร 6 หรือ สูตร 8 เข้าไปในกลุ่มเมฆที่ระดับสูงกว่าฐานเมฆไม่น้อยกว่า 1,000 ฟุต ทำให้เกิดความร้อนอันเนื่องมาจากการคายความร้อนแฝงจากการกลั่นตัวรอบ CCN ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาของไอน้ำกับสารฝนหลวงโดยตรง และพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติ จะช่วยเร่งหรือเสริมแรงยกตัวของมวลอากาศภายในเมฆยกตัวขึ้น เร่งการกลั่นตัวของไอน้ำและการรวมตัวกันของเม็ดน้ำภายในเมฆ ทำให้เมฆมีความหนาแน่นมากขึ้น จนเมฆมีขนาดใหญ่ขึ้นและก่อยอดขึ้นถึงระดับ 15,000 ฟุต ได้เร็วกว่าที่จะปล่อยให้เจริญขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งการยกตัวขึ้นและจมตัวลงของมวลอากาศ การกลั่นและการรวมตัวของเม็ดน้ำยังคงเป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องกันไป



ภาพที่ 2.4 แผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 2

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

ลักษณะอากาศ : เมฆคิวมูลัส ที่มีความหนาจากฐานเมฆถึงยอดเมฆ 5,000 ฟุตขึ้นไป

รูปแบบการโปรย : โปรยสารฝนหลวงให้ชิดขอบเมฆ/เข้าเมฆในด้านที่กลุ่มเมฆกำลังเจริญเติบโต

ความสูงการบิน : สูงกว่าฐานเมฆไม่น้อยกว่า 1,000 ฟุต



ภาพที่ 2.5 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.ตาคี จ.นครสวรรค์	-
ตะวันออก เฉียงเหนือ*	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	ข้อมูล ปี 2558

หมายเหตุ:

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

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

Highlight/Trick :

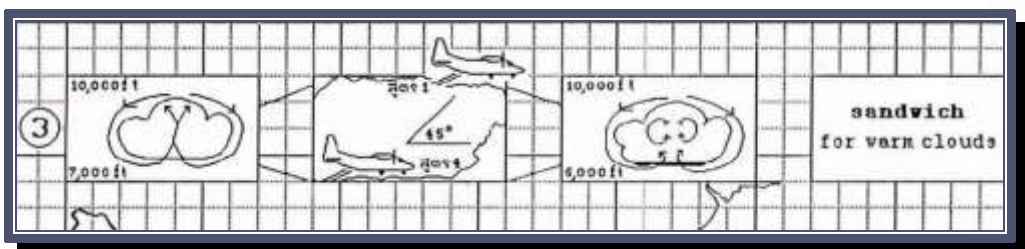
- 1) ความสูงเฉลี่ยของระดับ CCL (Cloud Condensation Level) ในแต่ละภูมิภาค ดูตารางที่ 2.1
- 2) อัตราการโปรยสารฝนหลวง ดูตารางที่ 2.3
- 3) สารฝนหลวงสูตร 6 สามารถดูดซับความชื้นได้ดีเหมาะกับการใช้ปฏิบัติการในฤดูแล้งซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ (60 - 70%) ส่วนสารฝนหลวงสูตร 8 สามารถให้ความร้อนสูงเหมาะกับการโปรยเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง (มากกว่า 70% ขึ้นไป) ควรปรับอัตราการโปรยให้เหมาะสมกับขนาดของกลุ่มเมฆเป้าหมาย
- 4) เครื่องบิน AU23A มีข้อจำกัดในการโปรยสารฝนหลวงสูตร 6 เนื่องจากสารสูตร 6 จะไปเกาะที่ล้อหลังของเครื่องบิน ทำให้มีผลต่อความปลอดภัยทางการบิน

ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการศึกษาวิจัยเมฆอุ่นมียอดที่มีการพัฒนาตัวได้ดี ควรทำการโปรยสารสูตร 1 เพื่อเพิ่ม CCN ให้กับกลุ่มเมฆที่ระดับความสูงไม่เกิน 10,000 ฟุต
- 2) ทดสอบคุณสมบัติค่าปลดปล่อยพลังงานของสูตร 6 และสูตร 8

2.1.3 ขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 คือ ขั้นตอนที่เร่งหรือบังคับให้เกิดฝน เมื่อเมฆอุ่นเจริญเติบโต ยอดเมฆคมชัด เมฆมีความหนาแน่นมากกว่า 3,000 ฟุต ฐานเมฆเรียบสีเทา และเคลื่อนตัวเข้าสู่พื้นที่เป้าหมายจะทำการบังคับให้มีฝนตกด้วยเทคนิคการโจมตีแบบแซนวิช (Sandwich) โดยโปรยสารสูตร 1 และ สูตร 4 เพื่อให้ฐานเมฆเริ่มลดระดับลง เม็ดน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น มีปริมาณและความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เม็ดน้ำร่วงสู่ฐานเมฆจนเริ่มตกเป็นฝน



ภาพที่ 2.6 แผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 3

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

ลักษณะอากาศ : เมฆอุ่นที่กำลังเจริญเติบโต ก่อตัวหนาแน่น ยอดเมฆคมชัด ฐานเรียบสีเทา เมฆมีความหนาแน่นมากกว่า 5,000 ฟุต และเมฆมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5 กิโลเมตร

รูปแบบการโปรย : ใช้เทคนิคแซนวิช โดยใช้เครื่องบิน จำนวน 2 ลำ บินทำมุม 45 องศา เริ่มปฏิบัติการโปรยสารฝนหลวงในด้านที่เมฆมีการเจริญเติบโต หรือด้านที่เมฆรับแสงอาทิตย์ โดยบินปฏิบัติการตามรูปร่างของเมฆคิวมูลัส

ความสูงการบิน :

- เครื่องบินลำบน ใช้สารฝนหลวงสูตร 1 โปรยภายในเมฆที่ระดับ 2 ใน 3 ของความหนาของเมฆ แต่ระดับการบินสูงไม่เกิน 10,000 ฟุต
- เครื่องบินลำล่าง ใช้สารฝนหลวงสูตร 4 โปรยภายในเมฆที่ระดับสูงกว่าฐานเมฆ 500 - 1,000 ฟุต แต่ระดับการบินไม่ต่ำกว่า 5,000 ฟุต
- เครื่องบินทั้ง 2 ลำ จะต้องมียกระดับความสูงการบินต่างกันไม่น้อยกว่า 1,000 ฟุต



ภาพที่ 2.7 ลักษณะเมฆที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 3 (ซ้าย) และรูปแบบการบินในขั้นตอนที่ 3 (ขวา)

Highlight/Trick :

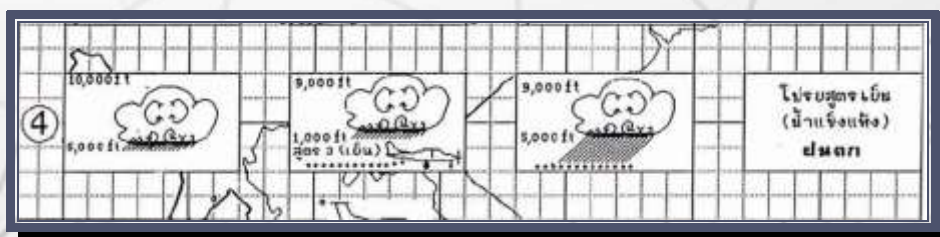
1) อัตราการโปรยสารฝนหลวง ดูตารางที่ 2.3

ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการศึกษาวิถัยขนาดของเมฆที่เหมาะสม สำหรับการปฏิบัติการในขั้นตอนที่ 3

2.1.4 ขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 4 คือ การเสริมการโจมตีเมฆอ่อน เพื่อเพิ่มปริมาณฝนให้มากขึ้น โดยทำให้ฐานเมฆลดระดับต่ำลง ฝนตกหนาแน่นมากขึ้น และชักนำให้กลุ่มฝนเคลื่อนตัวเข้าสู่พื้นที่เป้าหมายหวังผลได้แน่นอนและเร็วขึ้น



ภาพที่ 2.8 แสดงแผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 4

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

ลักษณะอากาศ :

- ปฏิบัติการต่อจากขั้นตอนที่ 3 ซึ่งเป็นขั้นตอนเสริมการโจมตี
- กลุ่มเมฆเป้าหมาย เป็นเมฆที่อยู่ใน Cumulus Stage ฐานเมฆสีเทาเข้มเห็นได้อย่างชัดเจน เมฆยังคงมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนและมีการพัฒนาตัวที่เพียงพอต่อการตกเป็นฝนหรืออาจเริ่มมีฝนตกเล็กน้อยในบางส่วนและเมฆไม่อยู่ในสถานะ Mature Stage ซึ่งมีสภาพอากาศแปรปรวน และเป็นอันตรายต่อการบิน

รูปแบบการโปรย : บินวนเป็นรูปวงกลม ได้ฐานเมฆ

ความสูงการบิน : โปรยสารฝนหลวง ต่ำกว่าระดับฐานเมฆในระยะ 500-1,000 ฟุต



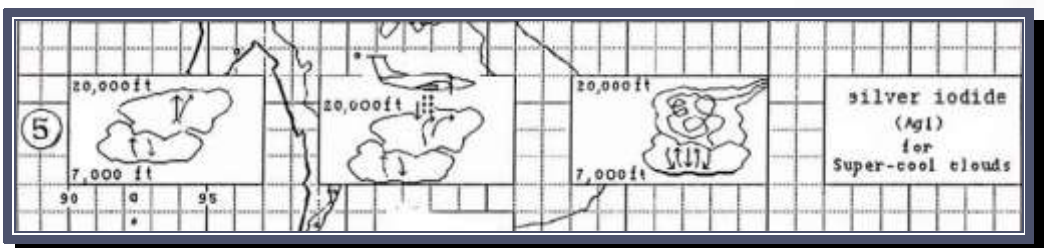
ภาพที่ 2.9 ลักษณะเมฆที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 4 (ซ้าย) และรูปแบบการบินในขั้นตอนที่ 4 (ขวา)

Highlight/Trick :

- 1) อัตราการโปรย : 15-20 kg/NM (คำนวณจากอัตราการโปรยจากเครื่องบิน Caravan จำนวน 700 กิโลกรัม ระยะเวลา 20-25 นาที)
- 2) เนื่องจากการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 4 เป็นการปฏิบัติการได้ฐานเมฆ ในกรณีที่มีภูเขา นักบินจะเป็นผู้พิจารณาระดับความสูงที่ปลอดภัยสำหรับการปฏิบัติการ
- 3) เครื่องบิน AU23A มีข้อจำกัดในการโปรยสารฝนหลวงสูตร 3 เนื่องจากเครื่องบินมีขนาดเล็ก การระบายอากาศน้อย ทำให้มีผลต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานบนอากาศยาน

2.1.5 ขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 5 คือ การโจมตีเมฆเย็นด้วยซิลเวอร์ไอโอไดด์ (AgI) ที่ระดับความสูง 20,000 ฟุตขึ้นไป เพื่อให้ไอน้ำระเหยจากเมฆน้ำเย็นยิ่งยวด (Super cooled vapour) มาเกาะรอบ AgI กลายเป็นผลึกน้ำแข็ง และมีขนาดใหญ่ขึ้นจนร่วงหล่นลงมา และละลายเป็นเม็ดฝนเมื่อเข้าสู่ระดับเมฆอุ่น รวมตัวกับเมฆน้ำในเมฆอุ่นเป็นเมฆน้ำขนาดใหญ่ขึ้น และเป็นฝนตก



ภาพที่ 2.10 แผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 5

สารฝนหลวง : ซิลเวอร์ไอโอไดด์

ลักษณะอากาศ :

- เป็นเมฆคิวมูลัส ในระยะ Mature Stage ที่ก่อยอดพัฒนาตัวเป็นเมฆเย็น มีลักษณะเมฆเป็นแบบ Hard

- ปริมาณน้ำในก้อนเมฆมากกว่า 1.0 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีกระแสอากาศไหลขึ้นมากกว่า 1,000 ฟุตต่อนาที (จากข้อมูลเครื่องวัดเมฆฟิสส์ที่ติดตั้งบนเครื่องบินซูเปอร์คิงแอร์)

รูปแบบการยิงพลุ AgI : พิจารณาจากความสูงยอดเมฆ มี 2 รูปแบบ

- 1) กรณียอดเมฆมีความสูงน้อยกว่า 22,000 ฟุต : การยิงพลุ AgI จะยิงเหนือยอดเมฆเย็น โดยบินเหนือยอดเมฆให้ไกลยอดที่สุด และยิงพลุให้เข้าเมฆขณะที่บินผ่าน ซึ่งต้องพิจารณาแรงเฉื่อยและวิถีโค้งของพลุที่ยิงออกไปเพื่อให้พลุพุ่งเข้าสู่ยอดเมฆเป้าหมายได้สำเร็จ

- 2) กรณียอดเมฆมีความสูงมากกว่า 22,000 ฟุต : การยิงพลุ AgI จะยิงจากด้านข้างเมฆเย็น ในกรณีไม่สามารถทำการยิงพลุเหนือยอดเมฆได้

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

อัตราการใช้สาร : ใช้พลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ จำนวน 2 นัด ต่อ 1 ยอดเมฆ



ภาพที่ 2.11 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 Melting Layer (0°C) ของแต่ละภูมิภาค (ค่าเฉลี่ย 5 ปี พ.ศ. 2555-2559) ดูตารางที่ 2.2

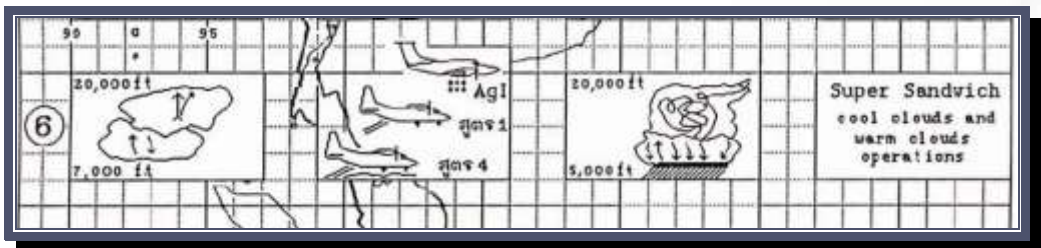
ตารางที่ 2.2 แสดงระดับความสูงของ Melting Layer (0°C) ของแต่ละภูมิภาค (ค่าเฉลี่ย 5 ปี พ.ศ. 2555-2559)

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.ตากลิ 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

2.1.6 ขั้นตอนที่ 6

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



ภาพที่ 2.12 แสดงแผนภาพตามตำราฝนหลวงในขั้นตอนที่ 6

สารฝนหลวง : สูตร 1 สูตร 4 และฟลูซิลเวอร์ไอโอไดด์

ลักษณะอากาศ : เมฆคิวมูลัสในระยะ Cumulus Stage หรือ Mature Stage ที่ก่อยอดและเมฆพัฒนาเป็นเมฆเย็น

รูปแบบการโปรย : ใช้เทคนิคซูเปอร์แซนวิช โดยใช้เครื่องบิน จำนวน 3 ลำ

ความสูงการบิน :

- เครื่องบินลำบน ใช้สารยิงฟลูซิลเวอร์ไอโอไดด์ที่ยอดเมฆ
- เครื่องบินลำกลาง ใช้สารฝนหลวงสูตร 1 โปรยภายในเมฆที่ระดับ 2 ใน 3 ของความหนาของเมฆ แต่ระดับการบินสูงไม่เกิน 10,000 ฟุต
- เครื่องบินลำล่าง ใช้สารฝนหลวงสูตร 4 โปรยภายในเมฆที่ระดับสูงกว่าฐานเมฆประมาณ 500 - 1,000 ฟุต แต่ระดับการบินไม่ต่ำกว่า 5,000 ฟุต
- เครื่องบินทั้ง 3 ลำ จะต้องมียุทธศาสตร์ความสูงการบินต่างกันไม่น้อยกว่า 1,000 ฟุต

Highlight/Trick

- 1) อัตราการโปรยสารฝนหลวง ดูตารางที่ 2.3
- 2) อัตราการใช้ฟลู AgI ดูขั้นตอนที่ 5

ข้อเสนอแนะ :

- 1) อาจมีการใช้สารฝนหลวง สูตร 3 ร่วมในการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ซึ่งควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อยืนยันผลต่อไป

2.2 การปฏิบัติการยับยั้งการเกิดพายุลูกเห็บ

เป็นการประยุกต์ใช้การโจมตีเมฆเย็น ในขั้นตอนที่ 5 เพื่อยับยั้งและบรรเทาปัญหาการเกิดพายุลูกเห็บในช่วงฤดูร้อนหรือช่วงที่กำลังเปลี่ยนฤดูกาล โดยปกติจะอยู่ในช่วงระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมของทุกปี ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่เกษตรกรรมและเขตชุมชน

สารฝนหลวง: พลูซิลเวอร์ไอโอไดด์

ลักษณะอากาศ :

- เป็นเมฆคิวมูลัส ในระยะ Cumulus Stage หรือ Mature Stage ที่ก่อยอดพัฒนาตัวเป็นเมฆเย็น มีลักษณะเมฆเป็นแบบ Hard

- ปริมาณน้ำในก้อนเมฆมากกว่า 1.0 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีกระแสอากาศไหลขึ้นมากกว่า 1,000 ฟุตต่อนาที (จากข้อมูลเครื่องวัดเมฆฟิสกส์ที่ติดตั้งบนเครื่องบินซูเปอร์คิงแอร์)

รูปแบบการยิงพลุ AgI : พิจารณาจากความสูงยอดเมฆ มี 2 รูปแบบ

- 1) กรณียอดเมฆมีความสูงน้อยกว่า 22,000 ฟุต : การยิงพลุ AgI จะยิงเหนือยอดเมฆเย็น โดยบินเหนือยอดเมฆให้ไกลที่สุด และยิงพลุให้เข้าเมฆขณะที่บินผ่าน ซึ่งต้องพิจารณาแรงเฉื่อยและวิถีโค้งของพลุที่ยิงออกไปเพื่อให้พลุพุ่งเข้าสู่ยอดเมฆเป้าหมายได้สำเร็จ

- 2) กรณียอดเมฆมีความสูงมากกว่า 22,000 ฟุต : การยิงพลุ AgI จะยิงจากด้านข้างเมฆเย็น ในกรณีไม่สามารถทำการยิงพลุเหนือยอดเมฆได้

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

อัตราการใช้สาร : ใช้พลูซิลเวอร์ไอโอไดด์ จำนวน 1 - 2 ชุด หรือ 6 - 8 นัต ต่อ 1 ยอดเมฆ



ภาพที่ 2.13 แสดงสภาพลักษณะเมฆคิวมูลัสที่เหมาะสมและมีโอกาสการเกิดลูกเห็บ (ซ้าย) และการรายงานการเกิดพายุลูกเห็บ บริเวณ ตำบลसानตม อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย เมื่อวันที่ 16 มีนาคม 2557 (ขวา)

Highlight/Trick :

- 1) เพิ่มปริมาณการใช้ปุ๋ย Agl ต่อยอดเมฆเป้าหมาย เพื่อ Over-seeding จนกระทั่งเมฆยุบและสลายตัว และสามารถบินวนกลับมายิงพลุซ้ำที่ยอดเมฆเดิมได้ ในกรณีที่ยอดเมฆดังกล่าวยังไม่ยุบตัว

ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับวิธีการป้องกันพายุลูกเห็บ เช่น ระยะก่อนเกิด ระยะเริ่มต้น INTERVENTION เมฆอ่อน และการใช้ UAV ในเวลากลางคืน เป็นต้น

2.3 การปฏิบัติการบรรเทาหมอกควันและไฟป่า

เป็นการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนต่างๆ หรือการดัดแปรสภาพอากาศ เพื่อลดความหนาแน่นของหมอกควันในบรรยากาศ ลดปัญหามลพิษทางอากาศ ลดความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อทรัพยากรธรรมชาติ และเพื่อการดับไฟป่า

ภาคเหนือ : โดยปกติจะเกิดปัญหาหมอกควันและไฟป่า ในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนของทุกปี

ภาคใต้ : โดยปกติจะเกิดปัญหาหมอกควันและไฟป่าจากบริเวณป่าพรุ เช่น ป่าพรุโต๊ะแดง ป่าพรุควนเคร็ง เป็นต้น ในช่วงระหว่างเดือนมิถุนายนถึงกันยายนของทุกปี



ภาพที่ 2.14 ภาพการเกิดไฟป่าที่พรุควนเคร็ง จ.นครศรีธรรมราช (วันที่ 11 สิงหาคม 2555)

ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคต่างๆ ในการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อบรรเทาหมอกควันและไฟป่าก่อนนำมาใช้ในการปฏิบัติการจริง อาทิ สารละลายยูเรีย หรือเทคนิคหลุมดำ

2.4 การกิจกรรมการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอ่อนโดยใช้พลุสารดูดความชื้น

เป็นการเสริมการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอ่อน ในขั้นตอนที่ 2 โดยการจุดพลุสารดูดความชื้นเพื่อเร่งการพัฒนาตัวของเมฆที่ก่อขึ้น หรือเมฆเดิมที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เร่งการกลั่นตัวของไอน้ำและการรวมตัวกันของเม็ดน้ำภายในเมฆ ทำให้เมฆมีความหนาแน่นมากขึ้น จนเมฆมีขนาดใหญ่ขึ้นและก่อยอดขึ้นถึงระดับ 15,000 ฟุต ได้เร็วกว่าที่จะปล่อยให้เจริญขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งการยกตัวขึ้นและจมตัวลงของมวลอากาศ การกลั่นและการรวมตัวของเม็ดน้ำ ยังคงเป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องกันไป

สารฝนหลวง : พลุสารดูดความชื้น NaCl และ CaCl_2

ลักษณะอากาศ : เมฆคิวมูลัส ที่มีความหนาจากฐานเมฆถึงยอดเมฆอย่างน้อย 3,000 ฟุตขึ้นไป

รูปแบบการจุดพลุ NaCl และ CaCl_2 :

- ปฏิบัติการใต้ฐานเมฆให้ชิดฐานเมฆมากที่สุดในบริเวณที่มีกระแสอากาศไหลขึ้น เพื่อให้กระแสลมพัดพาสารเข้าไปในกลุ่มเมฆ

- ใช้เครื่องบิน AU ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับพลุสารดูดความชื้นบริเวณส่วนปีกของเครื่องบินทั้งสองข้าง ซึ่งสามารถบรรจุได้ข้างละ 6 นัด รวมทั้งหมด 12 นัด อัตราการจุด 6 นาทีต่อครั้ง และใช้ปริมาณพลุจำนวน 6 - 12 นัดต่อกลุ่มเมฆ

หมายเหตุ :

- พลุ NaCl จำนวน 1 นัด จะมีเนื้อสาร NaCl ประมาณ 800 กรัม
- พลุ CaCl_2 จำนวน 1 นัด จะมีเนื้อสาร CaCl_2 ประมาณ 750 กรัม



ภาพที่ 2.15 แสดงติดตั้งอุปกรณ์สำหรับพลุสารดูดความชื้นและการใช้พลุสารดูดความชื้นเครื่องบิน AU23A (ซ้าย) และรูปแบบการบินในการใช้พลุสารดูดความชื้น (ขวา)

2.5 เงื่อนไขที่สำคัญของการปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการทำฝน

2.5.1 การบินภายใต้เงื่อนไขสภาพภูมิประเทศ

1) การบินปฏิบัติการในบริเวณพื้นที่แนวชายแดนต้องบินห่างจากเส้นแบ่งเขตชายแดน ไม่น้อยกว่า 5 NM หรือประมาณ 10 กิโลเมตร

2) การบินปฏิบัติการในบริเวณพื้นที่ราบหรือบริเวณยอดเขา ต้องมีระยะการบินห่างจาก Terrain อย่างน้อย 2,000 ฟุต หรืออยู่ในระดับความสูงที่นักบินเห็นว่ามีความปลอดภัย ในกรณีมีความจำเป็นต้องบินในระดับต่ำ

2.5.2 อัตราการโปรยสารฝนหลวง

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

ตารางที่ 2.3 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
	1	บินเดี่ยว	700	110	45 - 60	12-15	โปรย 5-10 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 :

* อัตราการโปรยสารฝนหลวง พิจารณาจากความเข้มข้นในการโปรยสารฝนหลวง (สูตร 1, 4, 6 และ 8) ที่อัตรา 45 kg/NM โดยคำนวณจากการโปรยสารฝนหลวง จำนวน 2.1 ตัน ใช้ Caravan 3 ลำ ต่อระยะทางเส้นตรง 35-45 NM ใช้เวลาโปรย 20-25 นาที

** เครื่องบินที่ได้รับการสนับสนุนจากกองทัพอากาศ

ข้อพึงระวัง

การใช้งานเครื่องบิน Caravan จำนวน 1 หรือ 2 ลำ ต่อชุดบิน หรือการใช้เครื่องบิน CASA เพียง 1 ลำ ต่อชุดบิน สำหรับการปฏิบัติงานในแต่ละครั้ง อาจไม่เพียงพอ เพราะการปฏิบัติงานจะต้องใช้อัตราการโปรยต่อระยะทางที่สูงมาก ดังนั้นในการปฏิบัติงานจริงนักวิชาการอาจไม่สามารถรักษาระดับความเข้มข้นของสารฝนหลวงที่ 45 kg/NM ได้

ข้อเสนอแนะ

- 1) พัฒนาระบบการสื่อสารบนเครื่องบินขณะปฏิบัติการสำหรับติดต่อเจ้าหน้าที่บนเครื่องบินและภาคพื้น
- 2) พัฒนาแนวทางการตัดสินใจและประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงนอกพื้นที่หลัก (เที่ยวพิเศษ) Contingency plan
- 3) วิจัยขั้นตอน/วิธีการปฏิบัติการรูปแบบใหม่ๆ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการปฏิบัติการฝนหลวง
- 4) ทำ KM ตำราคู่มือ สำหรับสังเกตการณ์ขณะขึ้นบิน
- 5) ควรทำ KM เงื่อนไขในการปฏิบัติการในแต่ละฤดูกาล

3. การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง

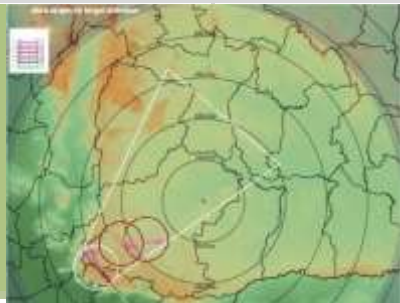
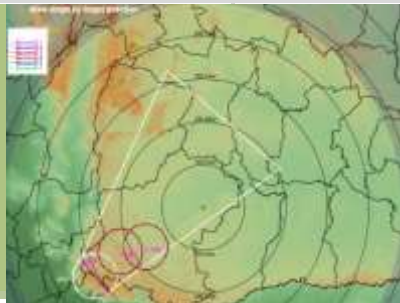
การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง เป็นการประเมินผลความสำเร็จของการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน โดยภายหลังจากการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละขั้นตอนเสร็จสิ้นแล้ว กลุ่มเมฆที่เข้าไปปฏิบัติการมีการเปลี่ยนแปลง หรือ พัฒนาตัวในทางที่ดีขึ้นหรือไม่อย่างไร รวมทั้งการประเมินผลความสำเร็จของการปฏิบัติการฝนหลวงตามภารกิจการช่วยเหลือในพื้นที่เป้าหมายที่กำหนดประจำวันว่าสามารถช่วยเหลือ แก้ไข และบรรเทาความเดือดร้อน ของประชาชนหรือหน่วยงานต่างๆได้บรรลุตามวัตถุประสงค์หรือไม่ หลักเกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง ประกอบด้วย หลักเกณฑ์ในการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอนตามตำราฝนหลวงพระราชทาน และหลักเกณฑ์ในการประเมินผลการทำฝนตามภารกิจประจำวัน

3.1 หลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน

เป็นการกำหนดหลักเกณฑ์ในการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอนตามตำราฝนหลวงพระราชทาน โดยประเมินผลความสำเร็จของการดำเนินงานจากสภาพหรือลักษณะของเมฆในพื้นที่เป้าหมายว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงก่อน และหลังการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างไร โดยกำหนดชนิดข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผล รวมทั้งกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการประเมินผลความสำเร็จในแต่ละขั้นตอน หลักเกณฑ์ในการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละขั้นตอน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ถึง 3.4

ตารางที่ 3.1 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 1

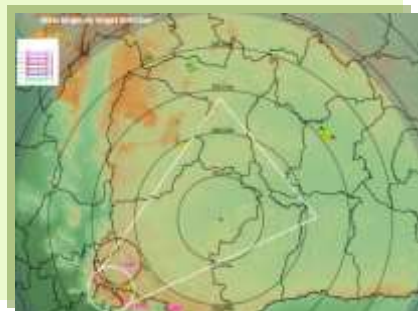
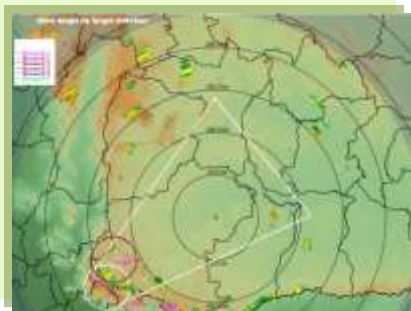
การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ภาพดาวเทียม	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาพถ่าย	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
ขั้นตอนที่ 1	<u>กรณี : ท้องฟ้าโปร่ง</u> ไม่พบ <u>กรณี : มีเมฆก่อตัวอยู่เดิม</u> มีค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar Echo) ในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวง	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวง (VIS)	<u>กรณี</u> ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวง : ท้องฟ้าโปร่ง หลังการปฏิบัติการฝนหลวง : พบเมฆก่อตัวในพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวง (ถ่ายภาพ) <u>กรณี</u> ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวง : มีเมฆก่อตัวอยู่เดิม หลังการปฏิบัติการฝนหลวง : พบว่าเมฆมีปริมาณหรือขนาดเพิ่มมากขึ้น (ถ่ายภาพ)	ภายใน 60 นาที (หลังโปรยสารฝนหลวงเสร็จ)
การประเมินผล	ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 1		หลังการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 1	
การสังเกตด้วยสายตา	ท้องฟ้ามีเมฆเล็กน้อย  ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดขอนแก่น วันที่ 3 พฤษภาคม 2558		เมฆมีปริมาณและขนาดเพิ่มมากขึ้น 	
ข้อมูลเรดาร์	ไม่พบ Radar Echo ในบริเวณพื้นที่เป้าหมายปฏิบัติการฝนหลวง		เริ่มพบ Radar Echo ในบริเวณพื้นที่เป้าหมายปฏิบัติการฝนหลวง	

การ ปฏิบัติการ ฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ภาพดาวเทียม	การสังเกตด้วยสายตา บนอากาศยานและ ภาพถ่าย	เวลาในการ ประเมินการ ปฏิบัติการฝนหลวง
				
	ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 4 พฤษภาคม 2558			

ที่มา : ภาพถ่ายและภาพเรดาร์ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร

ตารางที่ 3.2 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 2

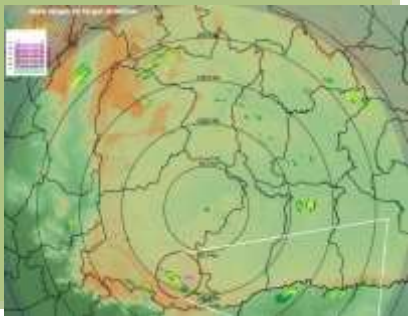
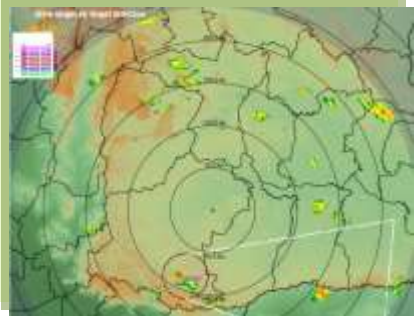
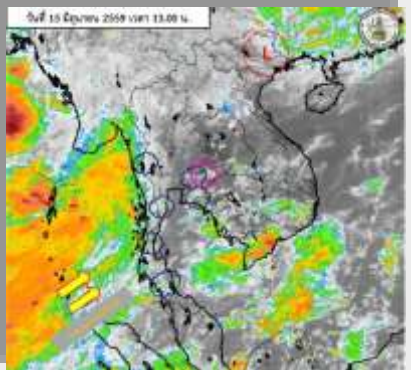
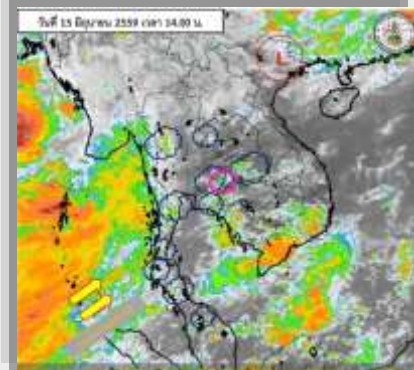
การ ปฏิบัติการ ฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ภาพดาวเทียม	การสังเกตด้วย สายตบนอากาศ ยานและภาพถ่าย	เวลาในการ ประเมินการ ปฏิบัติการฝนหลวง
ขั้นตอนที่ 2	มีค่าการสะท้อนของ เรดาร์ (Radar Echo) ที่ระดับ 20 - 28 dBZ หรือพบกลุ่มเมฆเส้น ผ่านศูนย์กลาง > 5 km	พบกลุ่มเมฆใน บริเวณพื้นที่ ปฏิบัติการฝนหลวง (VIS)	เมฆก่อยอดสูงเพิ่ม มากขึ้นหรือมีเมฆหนา > 3,000 ฟุต หรือพบ กลุ่มเมฆมีเส้นผ่าน ศูนย์กลาง > 5 km	ภายใน 30 นาที (หลังโปรยสาร ฝนหลวงเสร็จ)
การ ประเมินผล	ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 2		หลังการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 2	
การสังเกต ด้วยสายตา	มีเมฆคิวมูโลสก่อตัวอยู่ก่อนแล้ว  ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 28 สิงหาคม 2559		เมฆพัฒนาตัวก่อยอดสูงเพิ่มมากขึ้น 	

การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ภาพดาวเทียม	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาพถ่าย	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
ข้อมูลเรดาร์	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย  ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 24 มิถุนายน 2559		กลุ่มเมฆพัฒนาตัว โดยที่ Radar Echo มีค่าความเข้มเพิ่มมากขึ้น 	

ที่มา : ภาพถ่ายและภาพเรดาร์ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร

ตารางที่ 3.3 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 3

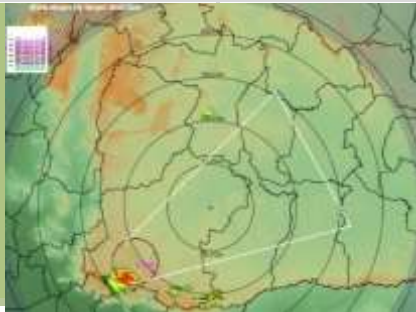
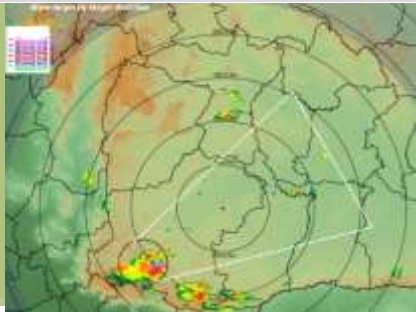
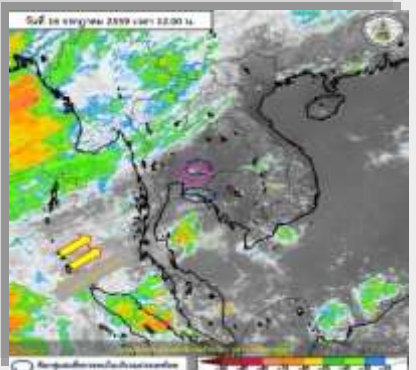
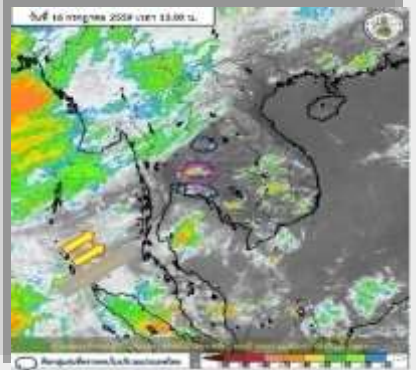
การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ภาพดาวเทียม	การสังเกตด้วยสายตาบนอากาศยานและภาพถ่าย	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
ขั้นตอนที่ 3	มีค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar Echo) ที่ระดับ 28-35 dBZ หรือพบกลุ่มเมฆมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง > 5 km	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวง (VIS, IR)	มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	ภายใน 60 นาที (หลังโปรยสารฝนหลวงเสร็จ)
การประเมินผล	ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 3		หลังการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 3	
การสังเกตด้วยสายตา	เมฆคิวมูลัสที่ยังไม่มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย		เริ่มมีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	

การ ปฏิบัติการ ฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ภาพดาวเทียม	การสังเกตด้วย สายตา บนอากาศยาน และภาพถ่าย	เวลาในการประเมิน การปฏิบัติการ ฝนหลวง
				
	ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 21 สิงหาคม 2559			
ข้อมูลเรดาร์	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย			มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย (Radar reflectivity > 35 dBZ)
	ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของหน่วยฯ จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 11 พฤษภาคม 2559			
ภาพ ดาวเทียม	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย			มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย
	ภาพถ่ายดาวเทียม วันที่ 15 มิถุนายน 2559			

ที่มา : ภาพถ่ายและภาพเรดาร์ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และภาพดาวเทียมของกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 3.4 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนที่ 4 - 6

การปฏิบัติการฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ภาพดาวเทียม	การสังเกตด้วยสายตาดบนอากาศยานและภาพถ่าย	เวลาในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวง
ขั้นตอนที่ 4	มีค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar Echo) > 35 dBZ หรือพบกลุ่มเมฆมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าเดิม	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวง (VIS, IR)	มีฝนตกเพิ่มขึ้นในบริเวณพื้นที่เป้าหมายและกลุ่มฝนมีการตกเป็นวงกว้างมากขึ้น	ภายใน 30 นาที (หลังโปรยสารฝนหลวงเสร็จ)
ขั้นตอนที่ 5	ยอดเมฆสูงเพิ่มมากขึ้น (Radar Echo - Top/Cross Section)	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวง (VIS, IR)	มีฝนตกเพิ่มขึ้นในบริเวณพื้นที่เป้าหมายหรือยอดเมฆสูงเพิ่มมากขึ้น	ภายใน 30 นาที (หลังจากยิง AgI)
ขั้นตอนที่ 6	มีค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar Echo) > 35 dBZ หรือพบกลุ่มเมฆมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าเดิม	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวง (VIS, IR)	มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย	ภายใน 30 นาที (หลังจากยิง AgI)
การประเมินผล	ก่อนการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 4 - 6		หลังการปฏิบัติการฝนหลวงขั้นตอนที่ 4 - 6	
การสังเกตด้วยสายตา	เมฆคิวมูลัสเริ่มมีฝนตกเล็กน้อยในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย		มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมายเป็นวงกว้างมากขึ้น	
	 ภาพถ่ายการปฏิบัติการของหน่วยฯ จ.นครราชสีมา วันที่ 16 กรกฎาคม 2559			
ข้อมูลเรดาร์	พบกลุ่มเมฆฝนในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย		มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมายเป็นวงกว้างมากขึ้น (Radar Reflectivity > 35dBZ)	

การ ปฏิบัติการ ฝนหลวง	ข้อมูลเรดาร์	ภาพดาวเทียม	การสังเกตด้วย สายตาดนอากาศ ยานและภาพถ่าย	เวลาในการ ประเมินการ ปฏิบัติการ ฝนหลวง
				
	ภาพเรดาร์แสดงการปฏิบัติการของ หน่วยฯ จ.นครราชสีมา วันที่ 16 กรกฎาคม 2559			
ภาพ ดาวเทียม	พบกลุ่มเมฆในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย		มีฝนตกในบริเวณพื้นที่เป้าหมายเป็นวงกว้าง มากขึ้น	
				
	ภาพดาวเทียม วันที่ 16 กรกฎาคม 2559			

ที่มา : ภาพถ่ายและภาพเรดาร์ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และภาพดาวเทียมของกรมอุตุนิยมวิทยา

3.2 หลักเกณฑ์ในการประเมินการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละภารกิจ

เป็นการประเมินผลสำเร็จการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละภารกิจ ประกอบด้วย การปฏิบัติการภารกิจภัยแล้งและฝนทิ้งช่วง, การปฏิบัติการเติมน้ำต้นทุน, การปฏิบัติการบรรเทาหมอกควันและไฟป่า และการปฏิบัติการยับยั้งลูกเห็บ หลักเกณฑ์ในการประเมินผลสำเร็จการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละภารกิจ แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินผลสำเร็จการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละภารกิจ

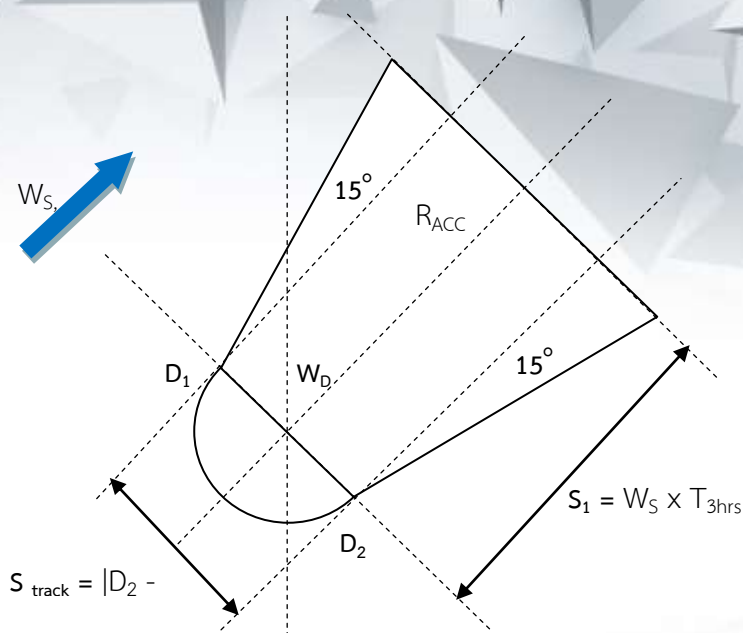
ภารกิจ	ความสำเร็จของภารกิจ	เกณฑ์การประเมิน	แหล่งข้อมูล	วิธีการประเมิน
ภัยแล้ง	- มีฝนตกในพื้นที่เป้าหมาย - พื้นที่ภัยแล้งได้รับการช่วยเหลือ - ผู้ขอรับบริการฝนหลวง ได้รับการช่วยเหลือ หรือตอบกลับภายใน 5 วัน	มีปริมาณฝน 24 ชม มากกว่า 0.1 mm หรือ มีฝนตกในพื้นที่ภัยแล้งที่รับผิดชอบ ภายใน 7 วัน มากกว่า เกณฑ์ที่กำหนดหรือ ผู้ขอรับบริการฝนหลวง ได้รับการช่วยเหลือ หรือตอบกลับภายใน 5 วัน	ระบบรายงานการปฏิบัติการฝนหลวง/ การรายงานจาก อสพล./ TMD (ฝนสะสม รายวัน เรดาร์)/DRRAA (เรดาร์)/ สสนก./ระบบขอรับบริการฝนหลวง	- พบค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar Echo) ในพื้นที่กรวย* ที่ได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง - ปริมาณฝน 24 ชม. (รายสถานี และ Contour เมื่อไม่มีฝนรายสถานี) - ติดต่อสอบถามผู้ขอรับบริการผ่านช่องทางต่างๆ
เติมน้ำต้นทุน	- มีปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเป้าหมายในวันถัดไป - มีฝนตกในบริเวณพื้นที่ลุ่มรับน้ำของเขื่อน	มีปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเป้าหมาย มากกว่า 0.01 ล้าน ลบ.ม หรือมีปริมาณฝน 24 ชม มากกว่า 0.1 มม.	รายงานจากกรมชลประทาน, การไฟฟ้าฝ่ายผลิต/TMD (ฝนสะสมรายวัน เรดาร์) / DRRAA (เรดาร์)	- พบค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar Echo) ในบริเวณพื้นที่ลุ่มรับน้ำของเขื่อน - ประเมินจากปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเป้าหมายในวันถัดไป
หมอกควันและไฟป่า	- มีฝนตกในพื้นที่เป้าหมาย - พื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวงมีค่า Aerosol concentration ที่มีขนาด < 10 ไมครอน ลดลง - จำนวน hotspot ในพื้นที่เป้าหมายลดลง	มีปริมาณฝน 24 ชม มากกว่า 0.1 mm หรือ เปรียบเทียบ Aerosol concentration ก่อน และ หลังปฏิบัติการ โดยมีค่าลดลง	เรดาร์/รายงานจากหน่วยงานต่างๆ เช่น กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย/อาสาสมัครฝนหลวง/กรมป่าไม้/SKA	- พบค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar Echo) ในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย - ใช้เครื่อง SKA บินตรวจวัดค่า Aerosol concentration ในอากาศก่อนและหลังปฏิบัติการ - รายงานผลการปฏิบัติการฝนหลวงให้จังหวัดทราบ ผ่านทางหนังสือราชการหรือระบบออนไลน์

ตารางที่ 3.5 แสดงหลักเกณฑ์ในการประเมินผลสำเร็จการปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละภารกิจ (ต่อ)

ภารกิจ	ความสำเร็จของภารกิจ	เกณฑ์การประเมิน	แหล่งข้อมูล	วิธีการประเมิน
ลูกเห็บ	ไม่พบพายุลูกเห็บในพื้นที่เป้าหมาย/ความรุนแรงของพายุลูกเห็บลดลง	ไม่พบรายงานการเกิดพายุลูกเห็บในพื้นที่เป้าหมาย/พื้นที่ที่ประสบภัยจากพายุลูกเห็บลดลง	ข่าว/รายงานของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย/TMD (ฝนสะสมรายวัน เรดาร์)/DRRAA (เรดาร์)/รายงานจาก อสฝ./จากการสังเกตของนักวิชาการผู้ปฏิบัติงาน	- พบค่าการสะท้อนของเรดาร์ (Radar Echo) ในบริเวณพื้นที่เป้าหมายลดลง - พิจารณาความสูง (Radar Cross Section) และความรุนแรง (Radar Intensity) ของกลุ่มเมฆเป้าหมายมีค่าลดลง - ประเมิน Hail Probability ที่ตรวจได้จากเรดาร์แบบ Dual Polarization มีค่าลดลง - ยอดเมฆหยุดการพัฒนาตัว หรือพัฒนาตัวช้าลง

หมายเหตุ:

- 1) การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่โดยพื้นที่ที่กรวยรับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง ดังแสดงรูปที่ 3.1 แสดงการกำหนดขนาด และรูปแบบกรวยประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่ และตารางที่ 3.6 ตัวแปรที่ใช้ในการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่โดยพื้นที่ที่กรวยรับประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง



รูปที่ 3.1 แสดงการกำหนดขนาด และรูปแบบกรวยประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่
ตารางที่ 3.6 ตัวแปรที่ใช้ในการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเชิงพื้นที่โดยพื้นที่ที่กรวยรับ
ประโยชน์จากการปฏิบัติการฝนหลวง

ลำดับ	ตัวแปร	รายละเอียด	หน่วย	หมายเหตุ
1	$W_{S,D}$	เขตเตอร์ของลมเฉลี่ย ที่ระดับ 5,000-10,000 ฟุต	knots	ผลจากการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิทยุหยั่งอากาศ
2	W_S	ความเร็วลมเฉลี่ย ที่ระดับ 5,000-10,000 ฟุต ($W_S \leq 50$ km)	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	$ D_2 - D_1 \leq 50$ km
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

ข้อเสนอแนะ:

- 1) ควรมีการติดตั้งระบบ TITAN ให้แก่ทุกหน่วย/ศูนย์ปฏิบัติการ เพื่อใช้ในการประเมินผลความสำเร็จของแต่ละกลุ่มเมฆ จากการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน
- 2) ปรับปรุงวิธีการประเมินโดยกรวยหรือ Storm Tracking
 - นำ GPS ขึ้นเครื่องบิน และนำไฟล์มาอัปโหลดเส้นทางการบิน
 - การนับผลงานที่ตรงกับพื้นที่เป้าหมาย โดยประเมินผลให้ถึง outcome & impact เช่น ตกบริเวณ crop water requirement เพื่อบรรเทาความเดือดร้อน
- 3) ควรประเมินน้ำไหลเข้าเขื่อนโดยประยุกต์จากโครงการ R^2 และ R^3
- 4) ควรประยุกต์งานวิจัยใช้ค่า Z-R จากเรดาร์แสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำฝน (mm/hr)
- 5) ควรมีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำฝนจากการปฏิบัติการฝนหลวงเพิ่มเติมเกี่ยวกับความเค็ม (Salinity) เพื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสำหรับน้ำเพื่ออุปโภคบริโภคและคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร
- 6) ควรทำ KM หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการประเมินหลังโปรยสาร ของขั้นตอนต่างๆ ในแต่ละฤดูกาล
- 7) ควรทบทวนหรือหาเงื่อนไข กรณีไม่ประสบผลสำเร็จในการปฏิบัติการ



ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

ความพร้อมด้านปัจจัยสนับสนุน

- อากาศยานและบริเวณภาคพื้น
- สารฝนหลวง และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
- บุคลากร

สภาพอากาศ

- ความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูง 5,000 – 10,000 ฟุต มีค่ามากกว่าร้อยละ 60
- ความเร็วลมน้อยกว่า 20 น็อต
- ดัชนีเสถียรภาพชั้นอากาศจากผลตรวจอากาศชั้นบนที่มีโอกาสเกิดเมฆฝน
- ข้อมูลแผนที่อากาศ ดาวเทียม โมเดลการพยากรณ์ ฯลฯ

วางแผน

- กำหนดพื้นที่เป้าหมายโดยพิจารณาจากข้อมูลพื้นที่ประสบภัยแล้ง พื้นที่ขอรับบริการฝนหลวง พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่ลุ่มรับน้ำของเขื่อนเพื่อเติมน้ำต้นทุน ทั้งนี้ต้องพิจารณาพื้นที่ไม่ต้องการฝน เช่น พื้นที่ที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร
- กำหนดขั้นตอนการปฏิบัติการฝนหลวง

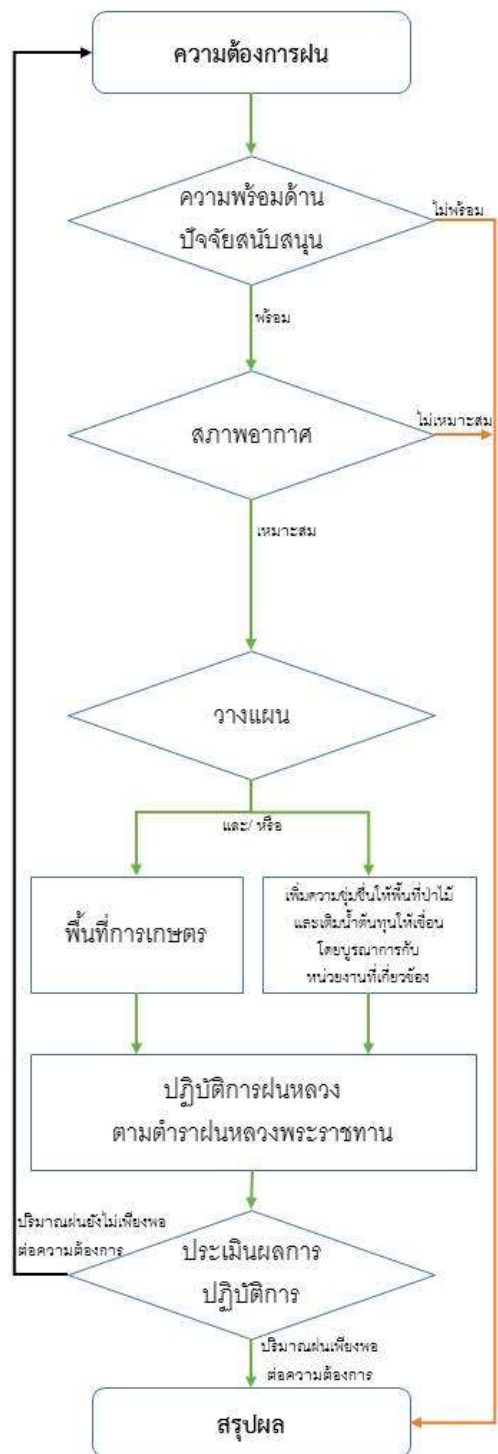
ปฏิบัติการฝนหลวง

- เตรียมสารฝนหลวงให้มีขนาดอนุภาคที่เหมาะสม
- ลำเลียงสารฝนหลวงขึ้นอากาศยาน
- จัดเรียงสารฝนหลวงบนอากาศยาน
- ปฏิบัติการฝนหลวงตามตำราฝนหลวงพระราชทาน
 - 1) ขึ้นตอนก่อกรวน
 - 2) ขึ้นตอนเลี้ยงให้อ้วน
 - 3) ขึ้นตอนโจมตี

ทั้งนี้ การปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละวันอาจไม่ครบทั้ง 3 ขึ้นตอน ขึ้นกับความเหมาะสมของสภาพอากาศและพื้นที่เป้าหมาย

ประเมินผลการปฏิบัติการ

- เรดาร์ตรวจอากาศ
- ถังวัดน้ำฝน
- รายงานจากเกษตรกร/อาสาสมัครฝนหลวงในพื้นที่



ภาคผนวก ข

นิยามคำศัพท์

คำศัพท์

สารฝนหลวง

พลุซิลเวอร์ไอโอดด์
(Silver Iodide Flares)

พลุดูดความชื้นสูตรโซเดียมคลอไรด์
(Sodium Chloride Hygroscopic
Flares)

พลุดูดความชื้นสูตรแคลเซียมคลอไรด์
(Calcium Chloride Hygroscopic
Flares)

เมฆอ่อน

เมฆเย็น

เมฆคิวมูโลนิมบัส
(Cumulonimbus)

คำนิยาม

สารเคมีที่นำมาใช้ในการปฏิบัติการฝนหลวงและการดัดแปรสภาพอากาศ

สารฝนหลวงประเภทหนึ่งเป็นพลุที่บรรจุสารซิลเวอร์ไอโอดด์ (Silver Iodide : AgI) สำหรับเป็นสารที่ใช้ทำฝนหลวงเมฆเย็น โดยติดตั้งบนเครื่องบินแบบปรับความดัน และปล่อยพลุจากเครื่องบินเข้าไปบริเวณยอดของเมฆเพื่อให้สารซิลเวอร์ไอโอดด์แตกตัวเป็นเป็นแกน (ICN) ในก้อนเมฆ (ภาพผนวกที่ 1)

สารฝนหลวงประเภทหนึ่งเป็นพลุที่บรรจุสารโซเดียมคลอไรด์ สำหรับเป็นสารเพื่อทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัวดูดซับความชื้น (ภาพผนวกที่ 2)

สารฝนหลวงประเภทหนึ่งเป็นพลุที่บรรจุสารแคลเซียมคลอไรด์ สำหรับเป็นสารเพื่อทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัวดูดซับความชื้น (ภาพผนวกที่ 3)

เมฆคิวมูลัสที่มีอุณหภูมิในเมฆ สูงกว่า 0 องศาเซลเซียส

เมฆคิวมูโลนิมบัสที่มีอุณหภูมิในเมฆ ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส

เมฆคิวมูลัสขนาดใหญ่ที่มียอดเมฆสูงกว่า 10 กิโลเมตร บางครั้งมียอดเมฆแผ่ออกเป็นรูปร่างคล้ายทั่ง (Anvil) ส่วนใหญ่จะมีฟ้าแลบฟ้าร้องหรือที่เรียกว่าพายุฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorm) หาก

คำศัพท์

คำนิยาม

เมฆคิวมูลัส (Cumulus)

เกิดในฤดูร้อนจะมีความรุนแรงมากจะเรียกว่าพายุ ฤดูร้อนและบางครั้งมีลูกเห็บตกร่วมอยู่ด้วยก็จะ เรียกว่าพายุลูกเห็บ (Hail Storm) (ภาพผนวกที่ 4)

เมฆสเตรโตคิวมูลัส (Stratocumulus)

เมฆก้อนส่วนมากหนาและมองเห็นขอบนอกชัดเจน ก่อตัวในแนวตั้ง ยอดเมฆมีลักษณะเหมือนโดมหรือ หอคอยส่วนที่นูนขึ้นไปมีรูปร่างคล้ายกะหล่ำดอก ส่วนที่แสงอาทิตย์ส่องทะลุได้จะมีสีขาว (ภาพผนวกที่ 5)

ลูกเห็บ (Hail)

เมฆก้อนหรือเมฆคิวมูลัส ลอยติดกันเป็นแพ ไม่มี รูปทรงที่ชัดเจน มีช่องว่างระหว่างก้อนเพียงเล็กน้อย (ภาพผนวกที่ 6)

หยาดน้ำฟ้าชนิดหนึ่งเกิดในเมฆคิวมูโลนิมบัสที่มีความปั่นป่วนของกระแสอากาศภายในเมฆที่เกิดขึ้น จากกระแสอากาศไหลขึ้น (Updraft) และไหลลง (downdraft) พัดให้ผลึกน้ำแข็งปะทะกับน้ำเย็น ยิ่งยวดกลายเป็นก้อนน้ำแข็งห่อหุ้มกันเป็นชั้นๆจน กลายเป็นก้อนน้ำแข็งขนาดใหญ่เมื่อตกลงมาแล้ว ละลายเป็นเม็ดฝนไม่ทันก็จะกลายเป็นลูกเห็บตกถึง พื้นดิน

ผลตรวจอากาศชั้นบน

การตรวจสภาพอากาศตั้งแต่ระดับผิวพื้นขึ้นไปสู่ชั้น บรรยากาศเบื้องบนที่ระดับความสูงต่างๆ ประมาณ 30 กิโลเมตรจากพื้นดินโดยอาศัยบอลลูนอัดด้วย แก๊สไฮโดรเจนผูกพ่วงด้วยเครื่องส่งวิทยุหยังอากาศ (Radiosonde) และมีเครื่องรับที่ภาคพื้นดินทำการ บันทึกข้อมูลและรายงานผลข้อมูลที่ตรวจวัดได้ ได้แก่ ค่าความกดอากาศ (Pressure; P) ค่าอุณหภูมิ (Temperature; T) ทิศทางและความเร็วลม (Wind Speed and Direction) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity; RH)

คำศัพท์

คำนิยาม

กระแสน้ำในอากาศไหลขึ้น

การเคลื่อนตัวของอากาศไหลขึ้นในก้อนเมฆ กระแสน้ำในอากาศไหลขึ้นทำให้ส่วนกลางของก้อนเมฆขยายตัวขึ้นในแนวดิ่ง

ปริมาณน้ำในก้อนเมฆ

อัตราส่วนของปริมาณน้ำที่มีในก้อนเมฆ ณ ขณะนั้นมีหน่วยเป็น กรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร

เรดาร์ฝนหลวง

เรดาร์ตรวจอากาศ (Weather RADAR) ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตรที่ใช้ตรวจวัดกลุ่มฝนซึ่งใช้ในการวางแผนการปฏิบัติการติดตามและประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง

dBZ : ค่าเดซิเบลเมื่อเทียบกับ Z

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

หมอกควัน

ปรากฏการณ์ที่ฝุ่น ควัน และอนุภาคแขวนลอยในอากาศ รวมตัวกันในสภาวะที่อากาศปิดหมอกควันเกิดขึ้นได้ง่ายในสภาพอากาศแห้ง ลักษณะภูมิประเทศที่เอื้อให้เกิดหมอกควันปกคลุม ได้แก่ พื้นที่แอ่งกระทะ หรือพื้นที่ปิดระหว่างหุบเขา

ไฟป่า

ไฟที่เผาไหม้เชื้อเพลิงตามธรรมชาติในป่าหรือทุ่งหญ้า หรือ ไร่ร้างหรือในสวนป่า แล้วลุกลามไปได้โดยอิสระปราศจากการควบคุม

น้ำเค็มรุกล้ำ

สถานการณ์ที่น้ำทะเลรุกล้ำเข้ามาในแม่น้ำ หรือแหล่งน้ำจืด จนทำให้มีค่าความเค็มเกินค่ามาตรฐานกำหนด ส่งผลกระทบต่อการเกษตรและการผลิตน้ำประปา



ภาคผนวก ค

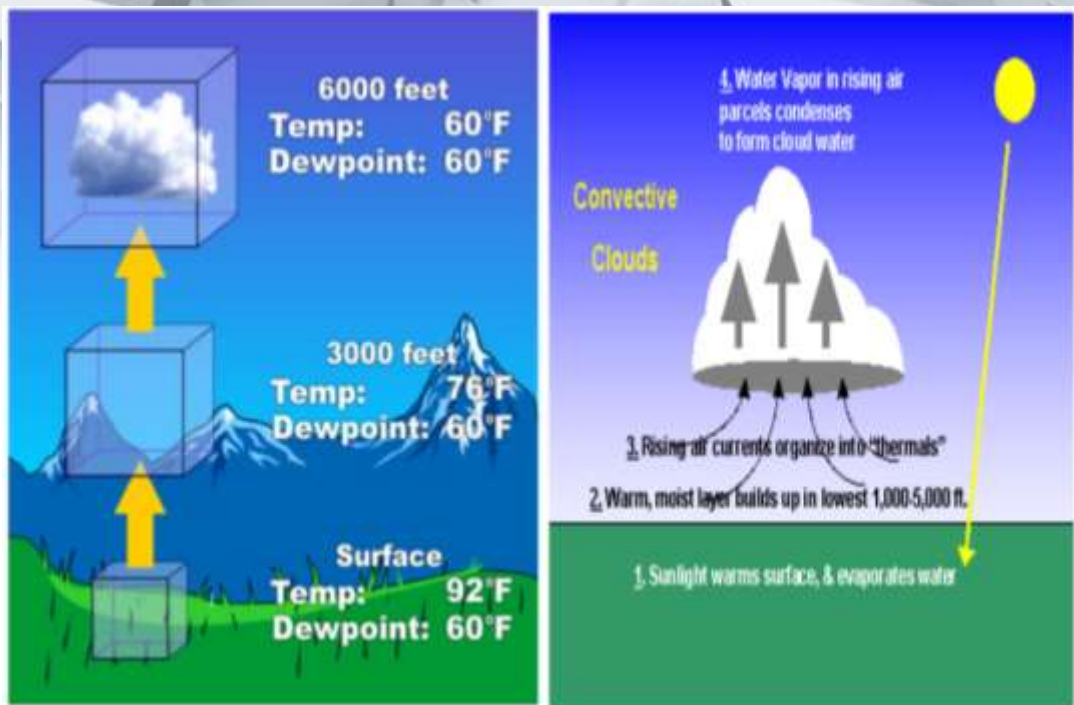
การเกิดเมฆและฝน

การเกิดเมฆ (Cloud formation)

เมฆสำหรับนักอุตุนิยมวิทยา คือ การรวมตัวกันของหยดน้ำเล็กๆ (Cloud Droplets) หรืออนุภาคน้ำแข็ง (Ice Particles) ที่มีจำนวนมากพอที่จะสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ขนาดเม็ดน้ำในเมฆมีตั้งแต่ขนาดไม่กี่ไมครอนจนถึงขนาดใหญ่ประมาณ 100 ไมครอน อุณหภูมิของอากาศในธรรมชาติสามารถเย็นลงจนต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point) ได้หลายวิธี ในคืนที่ไม่มีเมฆหรือหมอก ความร้อนจำนวนมากจากบรรยากาศชั้นล่างจะแผ่รังสีออกไปยังภายนอก เมื่อชั้นนอกอากาศที่ใกล้กับผิวพื้นมีความชื้นในขณะที่อากาศแห้งจะเกิดการเย็นตัวของพื้นผิวโลกและของอากาศชั้นล่างซึ่งจะเย็นตัวลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างซึ่งจะทำให้เกิดหมอก หมอกมักจะเกิดในพื้นที่ต่ำ เช่น หุบเขา เพราะอากาศที่เย็นนั้นจะหนักและจมลงในพื้นที่ที่มีความกดอากาศต่ำ หมอกยังสามารถเกิดขึ้นเมื่ออากาศอุ่นขึ้นไหลผ่านผิวน้ำที่เย็น นั่นคืออากาศถูกทำให้เย็นตัวลงโดยการสูญเสียความร้อนให้แก่ น้ำ จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และในกรณีที่อากาศเย็นไหลพัดผ่านผิวน้ำอุ่นก็สามารถเกิดหมอกจากการควบแน่นของปริมาณของไอน้ำที่เพิ่มเข้าไปในอากาศจนเพียงพอที่จะทำให้อากาศเกิดการอิ่มตัว

ถึงแม้ว่ากระบวนการของการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำให้เกิดหมอกนั้นจะมีประสิทธิภาพแต่สาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดเมฆ คือการเคลื่อนที่ขึ้นของมวลอากาศ ความกดอากาศนั้นจะลดลงตามความสูง เมื่อมวลอากาศยกตัวขึ้นมันจะเคลื่อนที่จากความกดอากาศสูงไปยังต่ำจะทำให้มวลอากาศขยายและอุณหภูมิลดลง ถ้ามวลอากาศแห้งและไม่มีความร้อนภายนอกเพิ่มเข้ามาหรือลดลงในขณะที่อากาศลอยตัวขึ้นมันจะเย็นตัวลงในอัตราส่วน 1.0 องศาเซลเซียสต่อ 100 เมตร หรือที่เรียกกันว่า Dry Adiabatic Lapse Rate คำว่า Adiabatic แสดงให้เห็นว่ามวลอากาศไม่ได้รับหรือเสียความร้อนจากการแผ่รังสีหรือการนำความร้อน ส่วน Lapse Rate มีความหมายโดยนัยว่า อัตราที่อุณหภูมิลดลงตามระดับความสูง

เมื่อมวลอากาศลอยสูงขึ้นอุณหภูมิของตัวเองจะลดลง ค่าความชื้น สัมพัทธ์ของอากาศจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง เกิดการอิ่มตัวและเริ่มเกิดการควบแน่น ซึ่งเป็นเทคนิคมาตรฐานในการทำนายความสูงของฐานเมฆเมื่อเมฆเริ่มที่จะก่อตัวผลกระทบจากการเย็นตัวที่เกิดจากการขยายตัวของอากาศที่ ลอยตัวขึ้นได้ถูกชดเชยบางส่วนด้วยความร้อนที่ปลดปล่อยออกมา ระหว่างกระบวนการควบแน่น หรือ ความร้อนแฝงของการระเหยเป็นไอ (Latent Heat of Vaporization) ซึ่งมีค่าประมาณ 600 แคลอรีต่อกรัมของน้ำ



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

รูปที่ 2.1 ทฤษฎีมวลอากาศ (Parcel theory) และการเกิดเมฆ Convective Clouds

อุณหภูมิของมวลอากาศที่ยกตัวและเกิดการควบแน่นอยู่ในช่วงอัตราประมาณ 0.6 องศาเซลเซียสต่อ 100 เมตร ความร้อนแฝงที่ปลดปล่อยออกมานั้น เกิดจากการลดลงของ Lapse Rate ที่ 0.4 องศาเซลเซียสต่อ 100 เมตร จาก Dry Adiabatic Rate

ถ้าอัตราการยกตัวขึ้นของมวลอากาศ หรือที่อาจจะเรียกได้ว่าความเร็ว Updraft นั้นค่อนข้างสูง อากาศจะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วซึ่งการควบแน่นอาจจะเกิดไม่เร็วพอที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ในกรณีนี้อากาศอาจจะเกิดการอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturated) ขึ้น อย่างไรก็ตามการอิ่มตัวยิ่งยวดมีโอกาที่จะเกิดขึ้นน้อยมากไม่เกิน 1% แม้ในระดับที่มากที่สุด

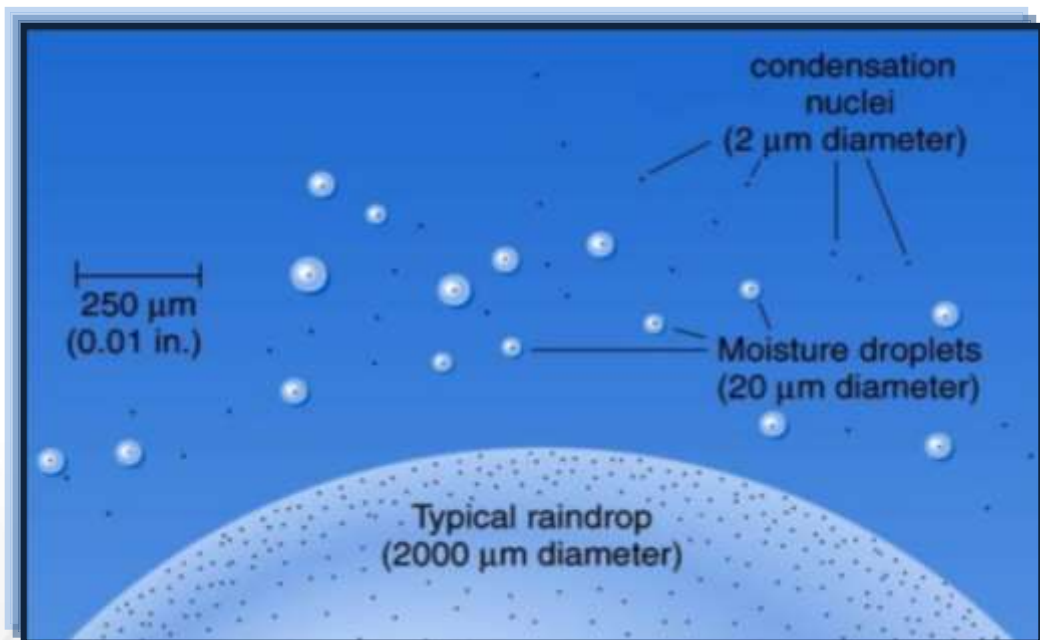
ภายในเมฆนั้นมีอนุภาคเล็กๆ ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศเป็นแกนกลั่นตัว (Condensation Nuclei) จำนวนมากซึ่งมีขนาดที่หลากหลาย แกนกลั่นตัวเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ (Hygroscopic) ดังเช่น ฝุ่น ควิน เกสรดอกไม้ หรืออนุภาคเกลือ ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.0002 มิลลิเมตร

Paul Sirvatka (2011) หากปราศจากแกนกลั่นตัวแล้ว ไอน้ำบริสุทธิ์จะสามารถควบแน่นเป็นของเหลวได้ในกรณีที่มีความอิ่มตัวมากกว่า 120% หรือ ความอิ่มตัวยิ่งยวด 20% (20% Supersaturated) เนื่องจากการควบแน่นมาเป็นหยดน้ำรูปทรงกลมนั้นเป็นโครงสร้างที่ไม่เสถียรเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงต้องใช้ความอิ่มตัวในระดับสูงเพื่อที่จะเอาชนะแรงต้านที่ชื่อว่า

แรงตึงผิว(Surface tension) แต่ถ้าไอน้ำถูกปนเปื้อนด้วยอนุภาคเล็กๆ (Aerosols) หรือ แกนกลั่นตัวแล้ว ไอน้ำจะสามารถควบแน่นเป็นหยดน้ำในค่าความอึมตัวยิ่งยวดที่น้อยลงมาก อาจจะลดลงเป็นหลักสิบของเปอร์เซ็นต์ค่าความอึมตัว

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

ละอองน้ำขนาดเล็กตกลงอย่างช้าๆ ด้วยแรงต้านของอากาศและระเหยกลับเป็นไอน้ำ (ก๊าซ) เมื่ออยู่ใต้ระดับควบแน่นลงมาไม่ทันตกถึงพื้นโลก อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีกลุ่มอากาศ ยกตัวอย่างรุนแรง หยดน้ำเหล่านั้นสามารถรวมตัวกันภายในก้อนเมฆ จนมีขนาดใหญ่ประมาณ 0.05 มิลลิเมตร ถ้าหยดน้ำมี ขนาด 2 มิลลิเมตร มันจะมีน้ำหนักมากกว่าแรงพยุงของอากาศ และตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกสู่พื้นดินกลายเป็นฝน



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

รูปที่ 2.2 แสดงอนุภาคขนาดต่างๆ ในกระบวนการเกิดเมฆและเม็ดฝน

1.1 การเคลื่อนตัวของเมฆฝน

เมฆฝน Convective หรือพายุฟ้าคะนองนั้นสามารถพิจารณาถึงทิศทางการเคลื่อนตัวของพายุได้จากยอดเมฆที่มีลักษณะเป็นรูปทรงแปดเหลี่ยมพุ่งออกไปทางด้านหน้าพายุ จากการศึกษาของ สรุพันธ์ (2539) พบว่า พายุฟ้าคะนองที่เกิดจากเมฆที่สูงไม่เกินระดับ Freezing level จะไม่ปรากฏยอดเมฆเป็นรูปทรงแปดเหลี่ยม 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

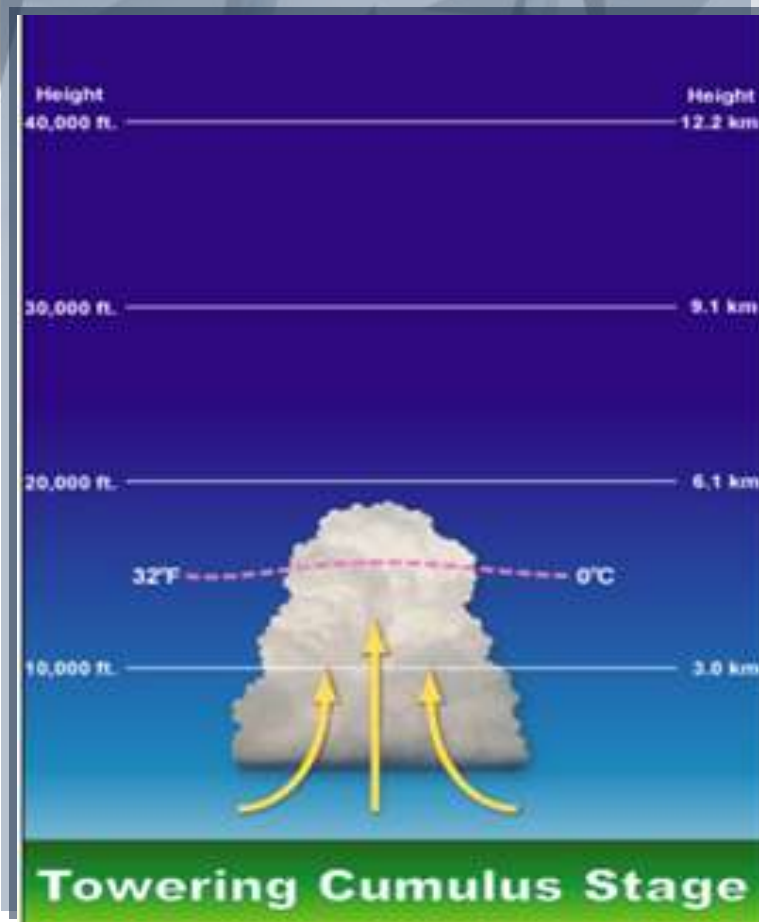
สำหรับวงจรชีวิตของเมฆฝน Convective จะแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ระยะเวลารวมของวงจรชีวิตโดยทั่ว ไปประมาณ 30 นาที ถึง 60 นาที

เซลล์ของเมฆฝนมักปรากฏเป็นกลุ่มๆ บริเวณด้านหน้าพายุ แต่ละเซลล์จะมีวงจรชีวิตต่างกัน บางเซลล์อาจก่อตัวและสลายไปอย่างรวดเร็วโดยไม่ก่อให้เกิดฝนตก ลักษณะการเกิดเซลล์ใหม่ของเมฆ Convective จะเกิดจากกระแสลมที่พัดลง (Downdrafts) ออกจากเมฆก้อนแรก เกิดเป็นเซลล์ที่สองบริเวณด้านข้างของเซลล์แรก ในทำนองเดียวกันหากกระแสลมที่พัดออกจากเซลล์ที่สองยังคงมีกำลังเพียงพอก็จะทำให้เกิดเซลล์ใหม่บริเวณเซลล์ที่สองเรื่อยๆ ไป

1.2 วงจรชีวิตของเมฆฝน

วงจรชีวิตของเมฆฝน Convective ตั้งแต่เกิดจนสลายตัวสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้

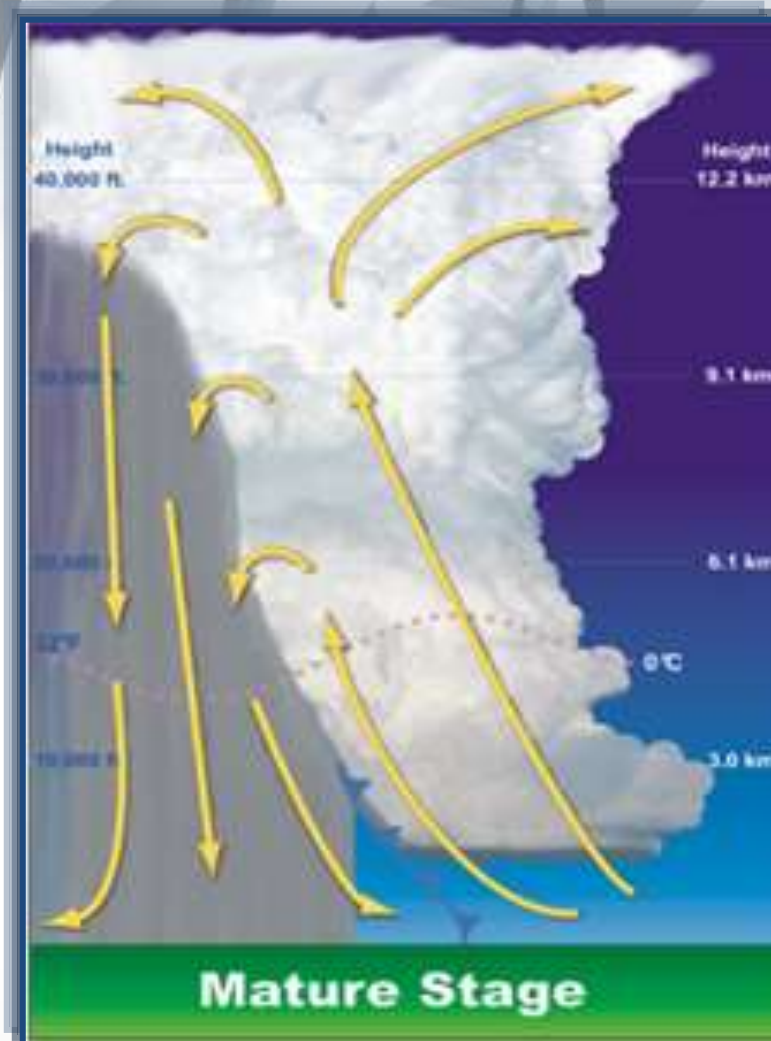
1) **ระยะก่อตัว (Towering Cumulus Stage)** ในระยะนี้ มวลอากาศอุ่นขึ้นจะลอยตัวสูงขึ้นและจะเย็นตัวลง กลายเป็นเมฆคิวมูลัส (Cumulus) ที่เป็นก้อนปุกปุยสีขาว ก้อนเมฆนี้เป็นผลมาจากการควบแน่นและการเคลื่อนที่ซึ่งทำให้เกิดการปลดปล่อยความร้อนแฝงจำนวนมากออกมา ความร้อนที่ปลดปล่อยออกมานั้นทำให้อากาศในก้อนเมฆอุ่นกว่าอากาศรอบๆ เมฆจะก่อตัวไปเรื่อยๆ トラบเท่าที่อากาศชั้นไหลเข้าสู่เมฆจากด้านล่างกระแสอากาศไหลขึ้น (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 2.3 เมฆฝนในระยะก่อตัว

2) ระยะเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Stage) เป็นระยะของการเปลี่ยนทิศทางของกระแสอากาศ จากอิทธิพลของหยาดน้ำฟ้าที่ตกลงสู่พื้นดิน กระแสอากาศบางส่วนจะเริ่มเคลื่อนที่ลง (Downdrafts) รุนแรงขึ้นสวนทางกับทิศทางของกระแสอากาศเดิมที่เคลื่อนที่ขึ้น จึงเกิดการชนและรวมตัวกัน (Collision and Coalescence) ของเม็ดน้ำในพายุ ขณะนี้เมฆฝนจะอยู่ในขั้นตอนที่มีความหนาแน่นที่สุดและเป็นเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) ยอดเมฆจะเป็นรูปทั่งและความแรงของลมชั้นบนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะกระจายผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal) ในยอดเมฆไปตามความยาวและที่ฐานเมฆจะขยายจนมีเส้นผ่านศูนย์กลางหลายกิโลเมตร



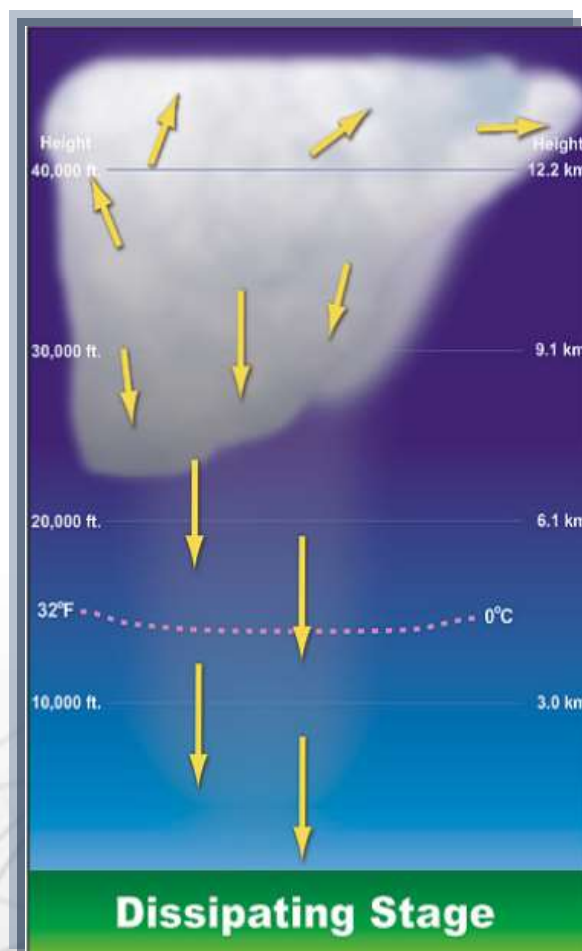
(ที่มา : <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7t.html> และ <http://www.srh.noaa.gov/srh/jetstream/tstorms/life.htm>)

รูปที่ 2.4 เมฆฝนในระยะเติบโตเต็มที่

เมฆฝนในระยะนี้จะมีสภาพอากาศรุนแรงที่สุดเช่น มีลมแรง ฝนตกหนัก พายุแลบ พายุร้องพายุผ่า หรือบางครั้ง มีลูกเห็บตก ในขั้นนี้ปกติจะใช้เวลาประมาณ 15 - 30 นาที นับตั้งแต่เริ่มมีฝนตกลงถึงพื้น

3) **ระยะสลายตัว (Dissipation Stage)** ใช้เวลาประมาณ 30 นาที ในขั้นสลายตัวนี้ เมื่อพลังงานถูกปลดปล่อยออกมาแล้ว สภาพอากาศภายในกับภายนอกเมฆก็จะค่อยๆ ปรับสมดุลเข้าหากัน ภายในก้อนเมฆจะมีแต่กระแสอากาศพัดลงอย่างเดียว ฝนที่ตกจะค่อยลดน้อยลงและหยุดในที่สุดอุณหภูมิในก้อนเมฆจะเปลี่ยนไปจนเท่ากับบริเวณข้างเคียง ทิศและความเร็วลมจะเปลี่ยนไปจนเท่ากับบริเวณใกล้เคียง เมฆก้อนนี้ก็จะสลายตัวไปในที่สุดจุดสังเกตของขั้นตอนนี้ คือที่ยอดเมฆจะเป็นรูปทรงแท่งเนื่องจากอากาศที่ปั่นป่วนนั้นหมดแรงที่ยกตัวเองให้สูงกว่านี้อีกยอดเมฆจึงกระจายออกด้านหน้าของการเคลื่อนที่วงจรวัด โดยทั่วไปจะไม่เกิน 1 – 2 ชั่วโมง ช่วงที่มีอันตรายและน่ากลัวที่สุดคือ 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 2.5 เมฆฝนในระยะสลายตัว

ภาคผนวก ง

ตารางภาคผนวกที่ 1 สารปนหลวและพลุที่ใช้ในการปฏิบัติการปนหลว

สาร ปนหลว	ชื่อภาษาไทย	ชื่อภาษาอังกฤษ	สูตรเคมี	อุณหภูมิของสารละลายที่ เปลี่ยนแปลงไป ณ อุณหภูมิ เริ่มต้น 25 องศาเซลเซียส *
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 6 องศาเซลเซียส
สูตร 6	แคลเซียมคลอไรด์	Calcium Chloride	CaCl ₂	สูงกว่า 45 องศาเซลเซียส
สูตร 8	แคลเซียมออกไซด์	Calcium Oxide	CaO	สูงกว่า 70 องศาเซลเซียส
พลุ	ซิลเวอร์ไอโอไดด์	Silver Iodide	AgI	-
	โซเดียมคลอไรด์	Sodium Chloride	NaCl	-
	แคลเซียมคลอไรด์	Calcium Chloride	CaCl ₂	-

*อัตราส่วนระหว่างสารปนหลวและน้ำที่ 1:1 ที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตารางภาคผนวกที่ 2 การแปลงหน่วย

ตัวแปร	ระบบอังกฤษ	ระบบสากล (SI)	
ระยะทาง	1 NM	1,852 เมตร (m)	1.852 กิโลเมตร (km)
	5 NM	9,260 เมตร (m)	9.26 กิโลเมตร (km)
	1,000 ฟุต	304.8 เมตร (m)	0.3048 กิโลเมตร (km)
	5,000 ฟุต	1,524 เมตร (m)	1.524 กิโลเมตร (km)
ความเร็ว	1 knot	0.514 เมตรต่อวินาที (m/s)	1.852 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/hr)
	1 ฟุตต่อวินาที (ft/s)	0.005 เมตรต่อวินาที (m/s)	-
มวล	2,205 ปอนด์	1,000 กิโลกรัม	1 ตัน
ความกดอากาศ	1 hPa	1 mbar	-

ภาพผนวกที่ 1 ลักษณะพลูซิลเวอร์ไอโอไดต์



ภาพผนวกที่ 2

ลักษณะพลูดูดความชื้นสูตรโซเดียมคลอไรด์



ภาพผนวกที่ 3

ลักษณะพลูดูดความชื้นสูตรแคลเซียมคลอไรด์



ภาพผนวกที่ 4
ลักษณะเมฆคิวโมโลนิมบัส



ภาพผนวกที่ 5
ลักษณะเมฆคิวมูลัส



ภาพผนวกที่ 6
ลักษณะเมฆสเตรโตคิวมูลัส



ภาพผนวกที่ 7
ลักษณะเมฆระยะเจริญเติบโตเต็มที่
(Mature stage)



ภาคผนวก จ

ตารางภาคผนวกที่ 3 แสดงการใช้งานโมเดลสภาพอากาศและข้อมูลที่ใช้พิจารณาสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวง

Model	แหล่งข้อมูล	Wind	PW	Pressure	Temp	RH	Cloudiness	Precipitation	Hot spots	ผู้ใช้งาน
Earth Null School	https://earth.nullschool.net	✓		✓	✓	✓	✓			5 ศูนย์
GFS (NOAA)	http://mag.ncep.noaa.gov/	✓	✓				✓			ศปก.
YR	http://www.yr.no/place/Thailand/	✓		✓	✓	✓	✓	✓		ศปด.
Windyty	https://www.windytyv.com/	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		ศปก. ศปด. ศปด. ศปอ.
Steering Layer	http://tropic.ssec.wisc.edu/real-time/dlmmain.php?&basin=atlantic&sat=wg8&prod=d1m1	✓								ศปก. ศปด.
KMA	http://www.kma.go.kr/ema/nema03/rall/index.jsp	✓		✓	✓		✓	✓		5 ศูนย์
Hongkong	http://www.weather.gov.hk/wxinfo/intersat/satellite/sate.htm	✓		✓			✓			ศปอ.
WRF-TMD	http://www2.tmd.go.th/wrf_tmd/	✓		✓	✓		✓	✓		5 ศูนย์
JMA	http://www.jma.go.jp/en/gms/smallc.html?area=1&element=0&mode=UTC						✓			5 ศูนย์
ASMC	http://asmc.asean.org/home/	✓					✓		✓	5 ศูนย์



ภาคผนวก จ



โครงการฝึกอบรมสัมมนาการจัดทำ AFTER ACTION REVIEW ของการถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง

๑. หลักการและเหตุผล

ประเทศไทยได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งปรากฏการณ์เอลนีโญส่งผลให้ปริมาณน้ำฝนมีค่าต่ำกว่าปกติ และอุณหภูมิอากาศสูงกว่าปกติ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดสภาวะแห้งแล้งอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะในปี พ.ศ. ๒๕๕๘ – ๒๕๕๙ ประเทศไทยประสบปัญหาภัยแล้งอย่างต่อเนื่องปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ที่สำคัญอยู่ในเกณฑ์น้อยกว่าปกติ สอดคล้องกับข้อมูลสถิติภัยแล้งของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย พบว่า ปี พ.ศ. ๒๕๕๙ มีจังหวัดได้รับผลกระทบมากถึง ๔๐ จังหวัด โดยกรมฝนหลวงและการบินเกษตรได้ดำเนินการตามยุทธศาสตร์การป้องกันและแก้ไขปัญหาภัยแล้งและบรรเทาภัยพิบัติอย่างเข้มข้นท่ามกลางความท้าทายของสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง โดยกรมฝนหลวงและการบินเกษตรดำเนินการแก้ไขปัญหาภัยแล้ง ในปี พ.ศ. ๒๕๕๙ มีการขึ้นบินปฏิบัติการฝนหลวง จำนวน ๔,๐๓๔ เที่ยวบิน ๕,๕๓๔:๕๕ ชั่วโมงบิน ปริมาณการใช้สารฝนหลวง ๓,๗๖๖.๑๕ ตัน ๔๖๔ นัต จากเหตุการณ์ดังกล่าวถือว่าเป็นบทเรียนสำคัญที่ควรทบทวนเพื่อค้นหาหรือกำหนดแนวทางการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างมีประสิทธิภาพในภาวะภัยแล้ง สำหรับบรรเทาความเดือดร้อนให้แก่ประชาชนและลดความสูญเสียทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ให้ได้มากที่สุด ดังนั้น กองปฏิบัติการฝนหลวง ในฐานะหน่วยงานหลักในการปฏิบัติการฝนหลวง จึงได้จัดโครงการฝึกอบรมสัมมนาการจัดทำ AFTER ACTION REVIEW ของการถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวงขึ้น โดยมีกิจกรรมการอบรมสัมมนา ๓ ครั้ง เพื่อให้เจ้าหน้าที่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องได้มีโอกาสทบทวนความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ จนนำไปสู่การตกตะกอนทางความคิด ตลอดจนร่วมกันรับรู้/แลกเปลี่ยนปัญหา อุปสรรค สำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนามาตรการของการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาภัยแล้ง และบรรเทาภัยพิบัติต่อไป

๒. วัตถุประสงค์

๒.๑ เป็นเวทีแลกเปลี่ยนประสบการณ์ในการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหากล้วยแล้ง และบรรเทาภัยพิบัติ

๒.๒ ได้คู่มือการปฏิบัติงานในการปฏิบัติการฝนหลวงในภาวะกล้วยแล้งเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหากล้วยแล้ง และบรรเทาภัยพิบัติ

๓. รายละเอียดการฝึกอบรมสัมมนา

การฝึกอบรมสัมมนาประกอบด้วย ๓ กิจกรรม โดยใช้วิธีสัมมนาเป็นคณะ/แบ่งกลุ่มฝึกปฏิบัติ รายละเอียดดังต่อไปนี้

กิจกรรมที่ ๑ “การตั้งโจทย์การถอดบทเรียนจากประสบการณ์ของการปฏิบัติการฝนหลวง” (ระยะเวลา ๑ วัน)

วัตถุประสงค์ เพื่อให้ผู้เข้ารับการอบรมได้คิดวิเคราะห์ประเด็นการถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง

กิจกรรมที่ ๒ “ร่างการถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง” (ระยะเวลา ๒ วัน)

วัตถุประสงค์ เพื่อให้ผู้เข้ารับการอบรมได้คิดวิเคราะห์เกี่ยวกับ การวางแผน และการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวง การปฏิบัติการฝนหลวงและเทคนิคการทำฝน การประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวง

กิจกรรมที่ ๓ “บทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง” (ระยะเวลา ๒ วัน)

วัตถุประสงค์ เพื่อให้ผู้เข้ารับการอบรมได้แสดงความคิดเห็น/เพิ่มเติมเกี่ยวกับความรู้ที่ได้จากการถอดบทเรียน

๔. เป้าหมายผู้เข้าร่วมฝึกอบรมสัมมนา

ผู้เข้าร่วมฝึกอบรมสัมมนา ทั้งหมดจำนวน ๖๘ คน ดังนี้

๔.๑ ผู้สังเกตการณ์	จำนวน ๖ คน
๔.๒ เจ้าหน้าที่กองปฏิบัติการฝนหลวง	จำนวน ๔๒ คน
๔.๓ เจ้าหน้าที่กองบริหารการบินเกษตร	จำนวน ๗ คน
๔.๔ เจ้าหน้าที่กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีฝนหลวง	จำนวน ๕ คน
๔.๕ คณะทำงานและวิทยากร	จำนวน ๓ คน
๔.๖ คณะทำงาน	จำนวน ๕ คน

๕. สถานที่ฝึกอบรมสัมมนา

กิจกรรมที่ ๑ ณ โรงแรมรามา การ์ดेंส เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร

กิจกรรมที่ ๒ ณ โรงแรม เดอะ คาวาลิ คาซ่า รีสอร์ท ตำบลบ้านเกาะ อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

กิจกรรมที่ ๓ ณ โรงแรม เดอะ คาวาลิ คาซ่า รีสอร์ท ตำบลบ้านเกาะ อำเภอ
พระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

๖. ระยะเวลาการฝึกอบรมสัมมนา

<u>กิจกรรมที่ ๑</u> ระหว่างวันที่ ๙ ธันวาคม ๒๕๕๙	จำนวน ๑ วัน
<u>กิจกรรมที่ ๒</u> ระหว่างวันที่ ๒๐ - ๒๑ ธันวาคม ๒๕๕๙	จำนวน ๒ วัน
<u>กิจกรรมที่ ๓</u> ระหว่างวันที่ ๒๓ - ๒๔ มกราคม ๒๕๖๐	จำนวน ๒ วัน

๗. วิทยากร

วิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิภายในและภายนอกกรมฝนหลวงและการบินเกษตร

๘. วิธีการฝึกอบรมสัมมนา

สัมมนาเป็นคณะ/ แบ่งกลุ่มฝึกปฏิบัติ

๙. ที่ปรึกษาโครงการ

- ๙.๑ อธิบดีกรมฝนหลวงและการบินเกษตร
- ๙.๒ รองอธิบดีกรมฝนหลวงและการบินเกษตร (ด้านปฏิบัติการ)
- ๙.๓ รองอธิบดีกรมฝนหลวงและการบินเกษตร (ด้านบริหาร)

๑๐. ผู้สังเกตการณ์

๑๐.๑ นายสุรสิทธิ์	กิตติมณฑล	รองอธิบดีกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ด้านปฏิบัติการ
๑๐.๒ นายปณิธิ	เสมอวงศ์	ผู้อำนวยการกองปฏิบัติการฝนหลวง
๑๐.๓ นายจเด็จ	กลิ่นชื่น	ผู้อำนวยการกองบริหารการบินเกษตร
๑๐.๔ นางนรีลักษณ์	วรรณสาย	ผู้อำนวยการกองวิจัยและพัฒนา เทคโนโลยีฝนหลวง
๑๐.๕ นายไพจิตร	เค้ากล้า	เลขานุการกรม
๑๐.๖ นางสาวเสาวนีย์	แก้วสุข	นักวิเคราะห์นโยบายและแผน ชำนาญการพิเศษ

๑๑. คณะทำงานและวิทยากร

๑๑.๑ นายภักดี	จันทร์เกษ	ผู้อำนวยการกลุ่มวิชาการ ปฏิบัติการฝนหลวง
๑๑.๒ นางสาววรรณพร	เทียมปฐม	นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ
๑๑.๓ นายปริญญา	อินทรเจริญ	นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ

๑๒. คณะทำงาน

๑๒.๑ นางมณีรัตน์	พวงประโคน	นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ
๑๒.๒ นายณัฐพล	นาคอุไร	วิศวกรไฟฟ้าปฏิบัติการ
๑๒.๓ นางสาวประภัสสร	เมฆแสน	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์นโยบายและแผน
๑๒.๔ นายธานี	ดีห์มาด	พนักงานขับรถยนต์ (จ้างเหมา) <u>กิจกรรมที่ ๑</u> วันที่ ๙ ธันวาคม ๒๕๕๙ ณ โรงแรมราม่า การ์เด็นส์ กรุงเทพมหานคร <u>กิจกรรมที่ ๒</u> วันที่ ๑๙-๒๑ ธันวาคม ๒๕๕๙ ณ โรงแรม เดอะ คาวาลิ คาซ่า รีสอร์ท จังหวัดพระนครศรีอยุธยา <u>กิจกรรมที่ ๓</u> วันที่ ๒๒-๒๔ มกราคม ๒๕๖๐ ณ โรงแรม เดอะ คาวาลิ คาซ่า รีสอร์ท จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
๑๒.๕ นายทองศักดิ์	จอมมาลา	พนักงานขับรถยนต์ (จ้างเหมา) <u>กิจกรรมที่ ๑</u> วันที่ ๙ ธันวาคม ๒๕๕๙ ณ โรงแรมราม่า การ์เด็นส์ กรุงเทพมหานคร
นายนคร	บุญเกษม	พนักงานขับรถยนต์ (จ้างเหมา) <u>กิจกรรมที่ ๒</u> วันที่ ๑๙-๒๑ ธันวาคม ๒๕๕๙ ณ โรงแรม เดอะ คาวาลิ คาซ่า รีสอร์ท จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
นายสหรัฐ	ตุวันโน	พนักงานขับรถยนต์ (จ้างเหมา) <u>กิจกรรมที่ ๓</u> วันที่ ๒๒-๒๔ มกราคม ๒๕๖๐ ณ โรงแรม เดอะ คาวาลิ คาซ่า รีสอร์ท จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

๑๓. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เจ้าหน้าที่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการฝนหลวงได้แลกเปลี่ยนข้อมูล/ประสบการณ์ และถ่ายทอดความรู้ เพื่อให้ได้แนวทางหรือมาตรการในการปฏิบัติการฝนหลวงป้องกันและแก้ไขปัญหายากภัยแล้ง และบรรเทาภัยพิบัติ

๑๔. การวัดผลประเมินผล ประเมินผลโครงการฯ หลังเสร็จสิ้นการฝึกอบรม โดยใช้แบบสอบถาม

กำหนดการโครงการฝึกอบรมสัมมนาการจัดทำ AFTER ACTION REVIEW

ของการถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง

กิจกรรมที่ ๑ ระหว่างวันที่ ๙ ธันวาคม ๒๕๕๙ ณ โรงแรมราม่า การ์เด็นส์ เขตหลักสี่

กรุงเทพมหานคร

วันที่ ๙ ธันวาคม ๒๕๕๙		
เวลา ๘:๐๐ – ๘:๓๐ น.		● ลงทะเบียน
เวลา ๘:๓๐ – ๙:๐๐ น.		● พิธีเปิดการฝึกอบรมโครงการฯ
เวลา ๙:๐๐ – ๙:๓๐ น.		● บรรยายการถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง โดยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปณรต มาลากุล ณ อยุธยา
เวลา ๙:๓๐ – ๑๐:๐๐ น.		● บรรยายแนวทางการกำหนดประเด็นเพื่อการถอด บทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง โดยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปณรต มาลากุล ณ อยุธยา
เวลา ๑๐:๐๐ – ๑๐:๓๐ น.		● บรรยายนำเสนอร่างประเด็นเบื้องต้นในการถอด บทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง โดยนายภักดี จันทร์เกษ
เวลา ๑๐:๓๐ – ๑๒:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มคิดวิเคราะห์/ทบทวนประเด็นการถอด บทเรียนฯ
เวลา ๑๒:๐๐ – ๑๓:๐๐ น.		● รับประทานอาหารกลางวัน
เวลา ๑๓:๐๐ – ๑๕:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มคิดวิเคราะห์/ทบทวนประเด็นการถอด บทเรียนฯ (ต่อ)
เวลา ๑๕:๐๐ – ๑๗:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มแสดงความคิดเห็น/เสนอแนะในการปรับปรุง
เวลา ๑๗:๐๐ – ๑๘:๐๐ น.		● รับประทานอาหารเย็น
เวลา ๑๘:๐๐ – ๒๑:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มสรุปประเด็นเบื้องต้นในการถอดบทเรียนจาก การปฏิบัติการฝนหลวง

**กิจกรรมที่ ๒ ระหว่างวันที่ ๒๐-๒๑ ธันวาคม ๒๕๕๙ ณ โรงแรม เดอะ คาวาลิ คาซ่า รี
สอร์ท ตำบลบ้านเกาะ อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา**

วันที่ ๒๐ ธันวาคม ๒๕๕๙		
เวลา ๘:๐๐ – ๘:๓๐ น.		● ลงทะเบียน
เวลา ๘:๓๐ – ๙:๐๐ น.		● บรรยายแนวทางการถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง - วางแผนและตัดสินใจ - การปฏิบัติการฝนหลวง - การประเมินผล โดยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปันรส มาลากุล ณ อยุธยา
เวลา ๙:๐๐ – ๑๑:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มถอดบทเรียน : วางแผนและตัดสินใจ
เวลา ๑๑:๐๐ – ๑๓:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มนำเสนอและแสดงความคิดเห็น
เวลา ๑๓:๐๐ – ๑๔:๐๐ น.		● รับประทานอาหารกลางวัน
เวลา ๑๔:๐๐ – ๑๗:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มถอดบทเรียน : การปฏิบัติการฝนหลวง
เวลา ๑๗:๐๐ – ๑๘:๐๐ น.		● รับประทานอาหารเย็น
เวลา ๑๘:๐๐ – ๒๑:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มนำเสนอและแสดงความคิดเห็น
วันที่ ๒๑ ธันวาคม ๒๕๕๙		
เวลา ๘:๐๐ – ๑๐:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มถอดบทเรียน : การประเมินผล
เวลา ๑๐:๐๐ – ๑๒:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มนำเสนอและแสดงความคิดเห็น
เวลา ๑๒:๐๐ – ๑๓:๐๐ น.		● รับประทานอาหารกลางวัน
เวลา ๑๓:๐๐ – ๑๗:๓๐ น.		● แบ่งกลุ่มสรุปข้อมูลที่ได้จากการถอดบทเรียน

**กิจกรรมที่ ๓ ระหว่างวันที่ ๒๓-๒๔ มกราคม ๒๕๖๐ ณ โรงแรม เดอะ คาวาลิ คาซ่า รี
สอร์ท ตำบลบ้านเกาะ อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา**

วันที่ ๒๓ มกราคม ๒๕๖๐		
เวลา ๘:๐๐ – ๘:๓๐ น.		● ลงทะเบียน
เวลา ๘:๓๐ – ๑๐:๐๐ น.		● บรรยายแนวทางการจัดทำคู่มือ โดยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปันรส มาลากุล ณ อยุธยา
เวลา ๑๐:๐๐ – ๑๒:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มนำเสนอสรุปร่างคู่มือ : วางแผนและตัดสินใจ
เวลา ๑๒:๐๐ – ๑๓:๐๐ น.		● รับประทานอาหารกลางวัน
เวลา ๑๓:๐๐ – ๑๔:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มรับฟังความคิดเห็น : วางแผนและตัดสินใจ

เวลา ๑๔:๐๐ – ๑๕:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มปรับปรุงร่างคู่มือ : วางแผนและตัดสินใจ
เวลา ๑๕:๐๐ – ๑๖:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มนำเสนอแนวทางการนำไปใช้ : วางแผนและตัดสินใจ
เวลา ๑๖:๐๐ – ๑๘:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มนำเสนอสรุปร่างคู่มือ : การปฏิบัติการฝนหลวง
เวลา ๑๘:๐๐ – ๑๙:๐๐ น.		● รับประทานอาหารเย็น
เวลา ๑๙:๐๐ – ๒๐:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มรับฟังความคิดเห็น : การปฏิบัติการฝนหลวง
เวลา ๒๐:๐๐ – ๒๑:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มปรับปรุงร่างคู่มือ : การปฏิบัติการฝนหลวง
วันที่ ๒๔ มกราคม ๒๕๖๐		
เวลา ๘:๐๐ – ๙:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มนำเสนอแนวทางการนำไปใช้ : การปฏิบัติการฝนหลวง
เวลา ๙:๐๐ – ๑๑:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มนำเสนอสรุปร่างคู่มือ : การประเมินผล
เวลา ๑๑:๐๐ – ๑๒:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มรับฟังความคิดเห็น : การประเมินผล
เวลา ๑๒:๐๐ – ๑๓:๐๐ น.		● รับประทานอาหารกลางวัน
เวลา ๑๓:๐๐ – ๑๔:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มปรับปรุงร่างคู่มือ : การประเมินผล
เวลา ๑๔:๐๐ – ๑๕:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มนำเสนอแนวทางการนำไปใช้ : การประเมินผล
เวลา ๑๕:๐๐ – ๑๗:๐๐ น.		● แบ่งกลุ่มสรุปร่างคู่มือการปฏิบัติงานในการปฏิบัติการฝนหลวงในภาวะภัยแล้ง
เวลา ๑๗:๐๐ – ๑๗:๓๐ น.		● พิธีปิดการฝึกอบรมโครงการฯ

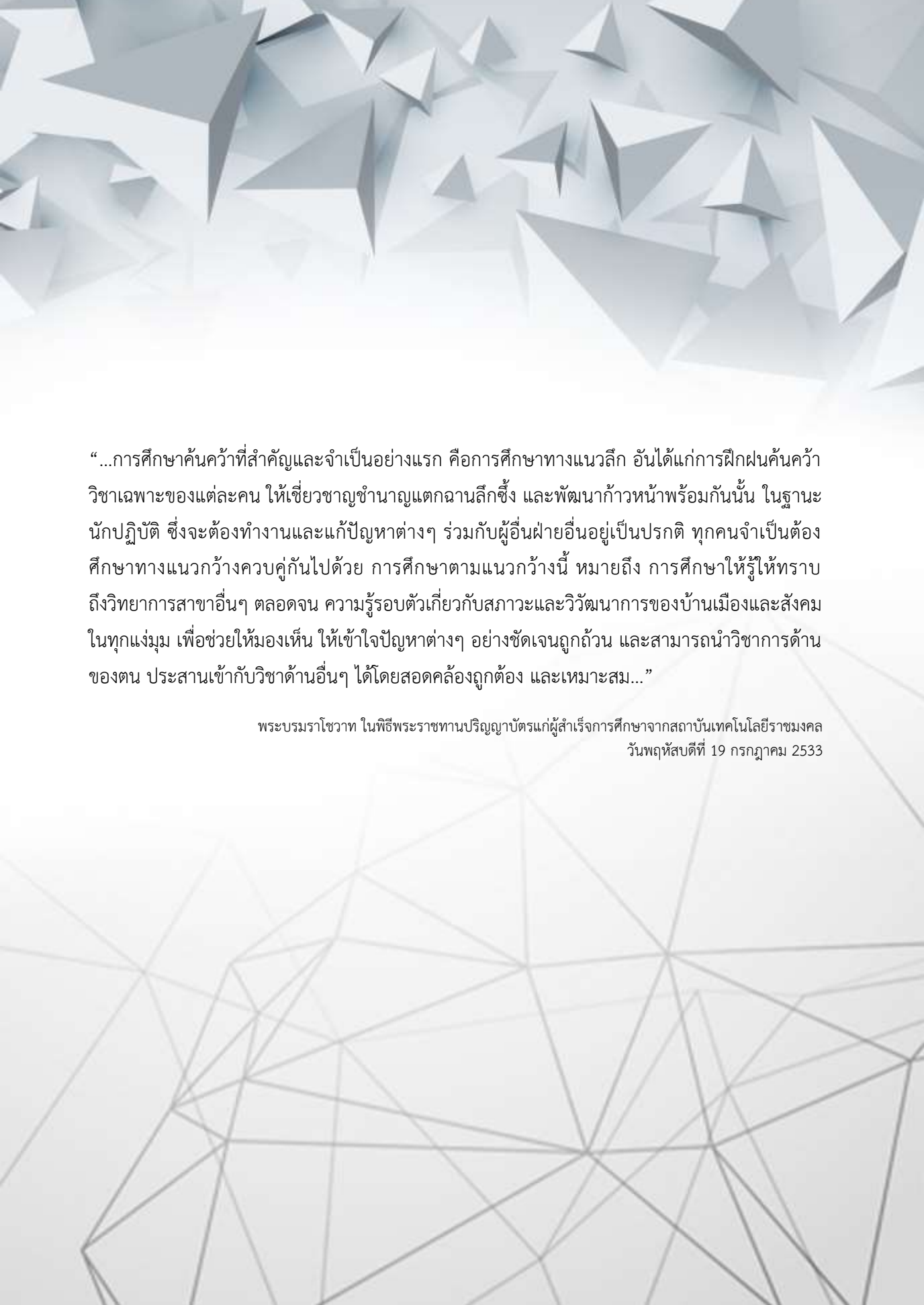
หมายเหตุ ๑. พักรับประทานอาหารว่างและเครื่องดื่ม เวลา ๑๐:๓๐ – ๑๐:๔๕ น. และ เวลา ๑๕:๐๐ – ๑๕:๑๕ น.

๒. แบ่งกลุ่มจำนวน ๕ กลุ่ม โดยมีวิทยากรภายนอกผู้ทรงคุณวุฒิเป็นวิทยากรหลัก ๑ ท่าน และวิทยากรภายนอกและภายในเป็นวิทยากรประจำกลุ่ม ๕ ท่าน รวมวิทยากรทั้งหมดจำนวน ๖ ท่าน

คณะผู้จัดทำ

- | | | |
|-------------------|------------|--|
| 1. นายภักดี | จันทร์เกษ | ตำแหน่งผู้อำนวยการกลุ่มวิชาการปฏิบัติการฝนหลวง |
| 2. นางสาววรรณพร | เทียมปฐม | ตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ |
| 3. นายปริญญา | อินทรเจริญ | ตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ |
| 4. นางมณีนันท์ | พวงประโคน | ตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ |
| 5. นายณัฐพล | นาคอุไร | ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้าปฏิบัติการ |
| 6. นางสาวประภัสสร | เมฆแสน | ตำแหน่งเจ้าหน้าที่วิเคราะห์นโยบายและแผน |
| 7. นางสาวสรณจิต | ไพฑูรยากุล | ตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ |
| 8. นายสรจักร | ปลั่งดี | ตำแหน่งเจ้าหน้าที่วิเคราะห์นโยบายและแผน |
| 9. นายบรรพต | กลิ่นสุข | ตำแหน่งเจ้าหน้าที่วิเคราะห์นโยบายและแผน |





“...การศึกษาค้นคว้าที่สำคัญและจำเป็นอย่างแรก คือการศึกษาทางแนวลึก อันได้แก่การฝึกฝนค้นคว้า วิชาเฉพาะของแต่ละคน ให้เชี่ยวชาญชำนาญแตกฉานลึกซึ้ง และพัฒนาก้าวหน้าพร้อมกันนั้น ในฐานะ นักปฏิบัติ ซึ่งจะต้องทำงานและแก้ปัญหาต่างๆ ร่วมกับผู้อื่นฝ่ายอื่นอยู่เป็นปรกติ ทุกคนจำเป็นต้อง ศึกษาทางแนวกว้างควบคู่กันไปด้วย การศึกษาตามแนวกว้างนี้ หมายถึง การศึกษาให้รู้ให้ทราบ ถึงวิทยาการสาขาอื่นๆ ตลอดจน ความรู้รอบตัวเกี่ยวกับสภาวะและวิวัฒนาการของบ้านเมืองและสังคม ในทุกแง่มุม เพื่อช่วยให้มองเห็น ให้เข้าใจปัญหาต่างๆ อย่างชัดเจนถูกต้อง และสามารถนำวิชาการด้าน ของตน ประสานเข้ากับวิชาด้านอื่นๆ ได้โดยสอดคล้องถูกต้อง และเหมาะสม...”

พระบรมราโชวาท ในพิธีพระราชทานปริญญาบัตรแก่ผู้สำเร็จการศึกษาจากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
วันพฤหัสบดีที่ 19 กรกฎาคม 2533



**กรมพลหลวงและการบินเกษตร กองปฏิบัติการพลหลวง
กลุ่มวิชาการปฏิบัติการพลหลวง**



เลขที่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
โทรศัพท์ 0-2940-5958-60 ต่อ 604

เอกสาร กวป. 002/2560