แบบเสนอโครงการวิจัย (research project)

ประกอบการเสนอของบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) การเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อบรรเทาความรุนแรงจากพายุลูกเห็บ

(ภาษาอังกฤษ) Efficiency Improvement of Hail Suppression Operation

ชื่อแผนงานวิจัย (ภาษาไทย) (กรณีเป็นโครงการวิจัยภายใต้แผนงานวิจัย) .....

(ภาษาอังกฤษ) .....

ส่วน ก : ลักษณะโครงการวิจัย

- (•) โครงการวิจัยใหม่
- ( ) โครงการวิจัยต่อเนื่อง

  ระยะเวลา.....1.....ปี.....เดือน ปีนี้เป็นปีที่.....1.....

1. **ยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ**

   ยุทธศาสตร์ ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 8 : การพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัย และนวัตกรรม

   เป้าประสงค์ -ไม่ต้องระบุ-

   กลยุทธ์ -ไม่ต้องระบุ-

2. **นโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ**

   ยุทธศาสตร์ ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 1 : เร่งส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้บรรลุเป้าหมายและสนองตอบต่อประเด็นเร่งด่วนตามยุทธศาสตร์และแผนพัฒนาประเทศ และภารกิจของหน่วยงาน โดยรัฐลงทุนเพื่อการวิจัยและพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

   กลยุทธ์ 1.1 เร่งส่งเสริมและสนับสนุนให้หน่วยงานและนักวิจัยผลิตผลงานวิจัย องค์ความรู้ นวัตกรรม และเทคโนโลยีจากงานวิจัยในรูปแบบสหวิทยาการและบูรณาการความร่วมมือจากหลายหน่วยงาน เพื่อมุ่งเป้าสนองตอบต่อเป้าหมายการพัฒนาประเทศและภารกิจของหน่วยงาน

   แผนวิจัย -ไม่ต้องระบุ-

3. **ยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติรายประเด็น**

   ยุทธศาสตร์การวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

4. **ยุทธศาสตร์ชาติ**

   การสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

5. **นโยบาย/เป้าหมายของรัฐบาล**

   - ( ) ระเบียบวาระแห่งชาติ

     ไม่สอดคล้อง
   - ( ) โครงการท้าทายไทย

     ไม่สอดคล้อง
   - (•) นโยบายรัฐบาล

8. การพัฒนาและส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การวิจัยและพัฒนา และนวัตกรรม

6. ยุทธศาสตร์ของหน่วยงาน

.....ยุทธศาสตร์ที่ 2 การเพิ่มประสิทธิภาพการดัดแปรสภาพอากาศ.....

.....

การตรวจสอบทรัพย์สินทางปัญญาหรือสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง

- (•) ไม่มีการตรวจสอบทรัพย์สินทางปัญญา และ/หรือ สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง
- ( ) ตรวจสอบทรัพย์สินทางปัญญาแล้ว ไม่มีทรัพย์สินทางปัญญา และ/หรือ สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง
- ( ) ตรวจสอบทรัพย์สินทางปัญญาแล้ว มีทรัพย์สินทางปัญญา และ/หรือ สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง

หน่วยงานร่วมลงทุน ร่วมวิจัย รับจ้างวิจัย หรือ Matching fund

ชื่อหน่วยงาน/บริษัท .....

ที่อยู่ .....

เบอร์โทรศัพท์ .....

ชื่อผู้ประสานงาน .....

เบอร์โทรศัพท์ผู้ประสานงาน .....

เบอร์โทรสารผู้ประสานงาน .....

อีเมลผู้ประสานงาน .....

การเสนอขอเสนอหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของงานวิจัยนี้ต่อแหล่งทุนอื่น หรือเป็นการวิจัยต่อยอดจากโครงการวิจัยอื่น

( ) มี (•) ไม่มี

หน่วยงาน/สถาบันที่ยื่น .....

ชื่อโครงการ .....

ระบุความแตกต่างจากโครงการนี้ .....

สถานะการพิจารณา

- (•) ไม่มีการพิจารณา
- ( ) โครงการได้รับอนุมัติแล้ว

  สัดส่วนทุนที่ได้รับ..... %
- ( ) โครงการอยู่ระหว่างการพิจารณา

มาตรฐานการวิจัย

- [ ] มีการใช้สัตว์ทดลอง
- [ ] มีการวิจัยในมนุษย์
- [ ] มีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทางชีวภาพ
- [ ] มีการใช้ห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวกับสารเคมี

ส่วน ข : องค์ประกอบในการจัดทำโครงการวิจัย

1. **ผู้รับผิดชอบ**

คำนำหน้า	ชื่อ-สกุล	ตำแหน่งในโครงการ	สัดส่วนการมีส่วนร่วม	เวลาที่ทำวิจัย (ชั่วโมง/สัปดาห์)
นาย	ฐิติกร จรรยาธรรม	หัวหน้าโครงการ	40	15
นางสาว	มนทรัตม์ บูรณะหิรัญ	ผู้ร่วมวิจัย	30	12
นาย	สราวุธ อาทยะกุล	ผู้ร่วมวิจัย	15	10
นาย	กำพล เกษจินดา	ผู้ร่วมวิจัย	5	5
นาย	พิสิษฐ์ชัย เกตุเวชสุริยา	ผู้ร่วมวิจัย	5	5
นางสาว	จตุรภรณ์ ลีนานนท์	ผู้ร่วมวิจัย	5	5

2. **ประเภทการวิจัย** การวิจัยพื้นฐาน
   สาขาการวิจัยหลัก OECD 1. วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ
   สาขาการวิจัยย่อย OECD 1.1 วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ : วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ
   ด้านการวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. **สาขาวิชาการ** สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพและคณิตศาสตร์
4. **คำสำคัญ (keyword)**
   คำสำคัญ (TH) .....ยับยั้งลูกเห็บ, การปฏิบัติการฝนหลวง.....
   คำสำคัญ (EN) .....Hail suppression.....
5. **ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย**

ในช่วงฤดูร้อนของทุกปีการเกิดพายุฤดูร้อนและลูกเห็บตกได้สร้างความเสียหายต่อทรัพย์สินของประชาชน กรมฝนหลวงและการบินเกษตรได้มีส่วนเข้าไปช่วยบรรเทาภัยธรรมชาตินี้ด้วยการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆเย็นเพื่อบรรเทาความรุนแรงจากพายุลูกเห็บ โดยการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆเย็น ด้วยการยิงพลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ (AgI Flare) ที่ยอดเมฆซึ่งมีระดับอุณหภูมิ -4 ถึง -12 องศาเซลเซียส ในปริมาณที่มากกว่าการปฏิบัติการทำฝนเมฆเย็นตามปกติ (Over seeding) เป็นเทคนิคการดัดแปรสภาพอากาศเพื่อทำให้กลุ่มเมฆตกเป็นฝนก่อนที่จะก่อยอดสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดลูกเห็บตกมาถึงพื้น สร้างความเสียหายแก่ทรัพย์สินและชีวิตประชาชน

กรมฝนหลวงและการบินเกษตร มีภารกิจการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อบรรเทาความรุนแรงจากพายุลูกเห็บ ซึ่งดำเนินการในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายนของทุกปี โดยร่วมมือกับกองทัพอากาศที่สนับสนุนเครื่องบินและเจ้าหน้าที่การบินในการปฏิบัติการ ในปัจจุบัน สถานีเรดาร์ฝนหลวงในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากพายุลูกเห็บ ได้ติดตั้งโปรแกรมประยุกต์ TITAN (Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Now Casting) ซึ่งสามารถบอกคุณสมบัติกลุ่มฝนและความน่าจะเป็นในการเกิดลูกเห็บได้ รวมถึงสามารถนำข้อมูลการตรวจกลุ่มเมฆมาวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการเกิดลูกเห็บ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะนำเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงนี้มาช่วยในการประเมินและบรรเทาผลกระทบที่เกิดจากพายุลูกเห็บ รวมถึงการยืนยันประสิทธิผลของการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อบรรเทาความรุนแรงจากลูกเห็บอีกด้วย

6. **วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย**

6.1) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆเย็นเพื่อบรรเทาความรุนแรงของพายุลูกเห็บด้วยโปรแกรม TITAN (Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Now Casting)

6.2) เพื่อประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆเย็นในการบรรเทาความรุนแรงของพายุลูกเห็บ

6.3) เพื่อสร้างความเชื่อมั่นและเพิ่มองค์ความรู้ในการดัดแปรสภาพอากาศ

7. ขอบเขตของโครงการวิจัย

ดำเนินการวิจัย ณ ศูนย์ปฏิบัติการฝนหลวงภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ บริเวณพื้นที่ภาคเหนือในรัศมีการตรวจวัดของเรดาร์ 240 กิโลเมตร โดยเรดาร์จะทำการตรวจวัดกลุ่มฝนทุกๆ 6 นาที และใช้โปรแกรมประยุกต์ TITAN ประเมินคุณสมบัติของกลุ่มเมฆและผลการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆเย็นเพื่อบรรเทาความรุนแรงของพายุลูกเห็บ

นักวิจัยจะทำการเลือกกลุ่มเมฆเป้าหมายด้วยโปรแกรมประยุกต์ TITAN โดยประเมินคุณสมบัติและคัดเลือกกลุ่มเมฆเป้าหมายที่จะปฏิบัติการฝนหลวงเมฆเย็นเพื่อบรรเทาความรุนแรงของพายุลูกเห็บ จากนั้นจะแจ้งให้เครื่องบินขึ้นปฏิบัติการ หลังจากบินปฏิบัติการจะทำการประเมินผลจากข้อมูลเรดาร์โดยใช้โปรแกรมประยุกต์ TITAN เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มเมฆที่ยิงพลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ (Seeded) และกลุ่มเมฆธรรมชาติ (No-seeded) จะสามารถบอกได้ถึงประสิทธิผลของปฏิบัติการฝนหลวงเมฆเย็นเพื่อบรรเทาความรุนแรงของพายุลูกเห็บ

8. ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

ในปี ค.ศ. 1993 Dixon and Weiner นักพัฒนาโปรแกรม ได้พัฒนาโปรแกรมที่ชื่อว่า TITAN (Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Now Casting) ซึ่งติดตั้งกับระบบเรดาร์ที่เป็นแบบโพลาไรซ์สองแกน (Dual Polarization) ซึ่งเป็นระบบการวัดการสะท้อนกลับของคลื่น (Reflectivity) ที่สามารถบอกคุณสมบัติของเม็ดน้ำและผลึกน้ำแข็งที่อยู่ภายในก้อนเมฆได้ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญของเมฆที่กำลังพัฒนาและจะมีลูกเห็บตก ทำให้สามารถวางแผนการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆเย็นเพื่อบรรเทาความรุนแรงของพายุลูกเห็บได้แม่นยำมากขึ้น

นอกจากนี้ ในแง่ของการประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆเย็นเพื่อบรรเทาความรุนแรงของพายุลูกเห็บเปรียบเทียบกับกลุ่มเมฆธรรมชาติที่ไม่ปฏิบัติการ สามารถนำข้อมูลที่ได้มาประเมินประสิทธิผลการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆเย็นเพื่อบรรเทาความรุนแรงของพายุลูกเห็บได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

9. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

เมฆ (Cloud)

เมฆ คือ ไอน้ำที่กลั่นตัวและรวมกันเข้าเป็นกลุ่มก้อน อาจมีสภาพเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ของน้ำหรือน้ำแข็ง หรือทั้งสองอย่างปนกันและลอยอยู่ในอากาศ สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ในกลุ่มของผสมนี้อาจมีอนุภาคใหญ่ๆ ของน้ำแข็งปนอยู่ด้วย หรืออาจมีอนุภาคที่ไม่มีน้ำหรืออนุภาคที่เป็นของแข็งตัวอย่าง เช่น ก๊าซ ผงฝุ่น หรือควัน ฯลฯ ซึ่งเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมปนอยู่ด้วย

เมฆเกิดจากอากาศร้อนซึ่งสามารถดูดรับเอาไอน้ำไว้ได้มาก ซึ่งมักจะเรียกว่าอากาศชื้นลอยตัวขึ้นและเย็นลงไอน้ำในอากาศกลั่นตัวกลายเป็นเมฆเราสามารถมองเห็นได้

เมฆ มีหลายชนิด แต่มีบางชนิดเท่านั้นที่มีฝนตกลงมาโดยจะลอยตัวอยู่ในอากาศเฉยๆแต่มีลักษณะอากาศที่ทำให้ละอองน้ำรวมตัวกันเป็นเม็ดน้ำใหญ่ขึ้นและมีน้ำหนักมากขึ้น กระแสอากาศหรือลมไม่สามารถจะพัดให้เม็ดน้ำนั้นลอยตัวอยู่ในอากาศได้ มันจึงตกลงมาเป็นฝนหรือหิมะขาวๆหรือบางทีเป็นลูกเห็บตกลงมาบนพื้นโลก ละอองน้ำในเมฆจะมีขนาด 0.01-0.02 มิลลิเมตรหรือเท่ากับ 10 ถึง 20 ไมครอน สามารถลอยอยู่ในบรรยากาศเป็นเมฆ เมื่อละอองน้ำในเมฆเกิดการรวมตัวกันโต จนมีเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 1 มิลลิเมตร (1,000 ไมครอน) หรือใหญ่กว่า มันจะตกลงมาจากเมฆปกติ แล้วเม็ดฝน 1 เม็ดจะเกิดจากละอองน้ำในเมฆรวมกันมากกว่า 1 ล้านเม็ด

กระบวนการเกิดเมฆ

เมฆ (Cloud) คือ มวลอากาศที่ลอยตัวขึ้นจากผิวดินจนถึงระดับความสูงหนึ่ง จึงเกิดการควบแน่นเนื่องจากสภาวะอากาศในขณะนั้นมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ เกิดหยดน้ำ (Water droplets) หรือ ผลึกน้ำแข็ง (Ice crystals) แขวนลอยอยู่ในมวลอากาศนั้น (Wallace and Hobb, 1977) ดังนั้น กระบวนการเกิดเมฆจึงเกิดจากกระบวนการควบแน่น ซึ่งประกอบด้วยปัจจัย 3 ประการ คือ

- ไอน้ำในอากาศ (Water vapor)
- กลวิธีในการควบแน่น (Mechanism of condensation)
- แกนควบแน่น (Condensation nuclei)

เมฆ แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ เมฆชั้นสูง เมฆชั้นกลาง เมฆชั้นต่ำ และเมฆที่ก่อตัวตามแนวตั้ง เมฆแต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ โดยมีชื่อเรียกตามลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2) สำหรับเมฆที่เกี่ยวข้องในการทำฝนหลวงส่วนใหญ่ คือ **เมฆคิวมูลัส** (Cumulus)

การเกิดเมฆคิวมูลัส

ในตอนเช้าเมื่อพลังงานจากดวงอาทิตย์ ตกกระทบพื้นผิวโลก พลังงานบางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนทำให้พื้นโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความแตกต่างของความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบรวมถึงคุณสมบัติในการรับความร้อนที่แตกต่างกันของพื้นผิวโลก ทำให้อุณหภูมิบริเวณต่างๆ เพิ่มขึ้นแตกต่างกัน และเกิดการแผ่พลังงานความร้อนออกสู่อากาศเพิ่มมากขึ้น อากาศที่สัมผัสอยู่กับพื้นผิวที่ร้อนกว่าจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศบริเวณข้างเคียง จึงลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศเบื้องบนและมีการไหลเข้ามาแทนที่ของอากาศที่แวดล้อมอยู่โดยรอบ ซึ่งกระบวนการนี้มีชื่อเรียกว่า การพาความร้อน (Convection) ในทำนองเดียวกันทะเลในช่วงเวลากลางวัน พื้นดินจะมีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำก่อให้เกิดกระแสลม (Wind) ในระดับต่ำที่พัดจากทะเลเข้าสู่ทวีป และพาความชื้นและสารแขวนลอยที่เกิดจากการระเหย (Evaporation) ของน้ำทะเลเข้าสู่ทวีป และสะสมอยู่ในบรรยากาศระดับต่ำก่อนที่จะมีการคลุกเคล้า (Mixing) และป้อนเข้าสู่ระบบของการลอยสูงขึ้น (Upward motion) ก่อเกิดเป็นเมฆและอาจตกเป็นฝนในที่สุด

การที่เมฆจะสามารถรักษารูปทรงหรือมีขนาดโตขึ้นต่อไปได้ในบรรยากาศโดยรอบที่แห้งกว่านั้น จะต้องอาศัยกระบวนการพาความร้อนและกระบวนการควบแน่น (Convection and Condensation Process) บริเวณใต้ฐานเมฆที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพื่อเพิ่มก้อนเม็ดน้ำ (Cloud droplets) เข้าไปในก้อนเมฆในอัตราที่เท่ากับหรือสูงกว่าการระเหยของเม็ดน้ำที่ผิวของก้อนเมฆอันเนื่องมาจากการคลุกเคล้ากับอากาศแห้งโดยรอบ (Entrapment) ดังนั้นช่วงอายุของเมฆ ขนาดของเมฆ และอัตราการเพิ่มขนาดของเม็ดน้ำภายในเมฆ จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จในการตกเป็นฝน เมื่อพิจารณาเมฆคิวมูลัสในบางวันที่ก่อตัวเป็นเมฆในสภาพอากาศทรงตัว ซึ่งไม่มีการเจริญเติบโต และจะสลายตัวไปในตอนบ่ายโดยไม่ตกเป็นฝน จึงเรียกชื่อเมฆนี้ว่าเมฆคิวมูลัสในภาวะอากาศดี (Fair Cumulus)

ตารางที่ 1 ชนิดของเมฆ จำแนกตามลักษณะการเกิดและความสูง

ชนิดเมฆ	ชื่อเมฆ	ความสูง (กม.)	ลักษณะ
ชั้นสูง	เซอร์รัส (Cirrus, Ci)	6 - 18	ริ้วขาวบาง
	เซอร์โรสเตรตัส (Cirrostratus, Cs)		แผ่นขาวบาง
	เซอร์โรคิวมูรัส (Cirrocumulus, Cc)		ก้อนเล็กคล้ายระลอกทราย
ชั้นกลาง	อัลโตสเตรตัส (Altostratus, As)	2-8	แผ่นทึบและต่ำกว่าเซอร์โรสเตรตัส คล้ายฝูงแกะ
	อัลโตคิวมูลัส (Altocumulus, Ac)		
ชั้นต่ำ	สเตรโตคิวมูรัส (Stratocumulus, Sc)	ผิวพื้น - 2	อยู่ต่ำ ก้อนกลมเป็นคลื่น
	นิมโบสเตรตัส (Nimbostratus, Ns)		แผ่นหนาฟ้ามืดครึ้ม
ก่อตัวแนวตั้ง	คิวมูรัส (Cumulus, Cu)	ผิวพื้น - 18	เมฆก้อนหนา
	คิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus; Cb)		ก้อนหนาทึบยอดแผ่สูง

ที่มา: Ahrens (1998)

กระบวนการเกิดฝนที่สำคัญมี 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการเกิดฝนในเมฆอุ่น และกระบวนการเกิดฝนในเมฆเย็น

1) กระบวนการเกิดฝนในเมฆอุ่น (Warm rain process)

เมฆอุ่น คือ เมฆที่มีการเจริญเติบโตและให้ฝนในชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส โดยมีกระบวนการชนกันและรวมตัวกัน (Collision and Coalescence process) เป็นกระบวนการหลักในการเจริญเติบโตของเม็ดน้ำ ซึ่งอธิบายได้ว่า เม็ดน้ำภายในเมฆที่เกิดจากกระบวนการควบแน่นของไอน้ำบนแกนกลั่นตัว (CCN) จะมีขนาดเล็กมาก แต่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งจะมีการรวมตัวของเม็ดน้ำจำนวนหนึ่งทำให้มีขนาดที่แตกต่างกัน จากนั้นเม็ดน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่าจะเคลื่อนที่ลงด้วยแรงดึงดูดของโลกในอัตราที่เร็วกว่าเม็ดน้ำที่มีขนาดเล็กกว่า (ความเร็วในการร่วงหล่นของวัตถุ จะเป็นปฏิภาคตรงกับรัศมียกกำลังสองของวัตถุนั้น) ด้วยเหตุนี้เม็ดน้ำขนาดใหญ่กว่า (ตกเร็วกว่า) จึงมีโอกาสชนกับเม็ดน้ำขนาดเล็กกว่า ตามแนวทางที่ร่วงหล่น และรวมตัวกันทำให้เม็ดน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นก่อนที่จะแตกตัวออกเป็นเม็ดน้ำขนาดกลางจำนวนมากขึ้น และวิ่งชนและรวมตัวกับเม็ดน้ำขนาดที่เล็กกว่าต่อไป หากพฤติกรรมนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องแบบลูกโซ่ (Chain reaction) ในที่สุดเม็ดน้ำภายในเมฆจะมีขนาดใหญ่จำนวนมากและสามารถตกเป็นฝนได้ ซึ่งกระบวนการชนกันและรวมตัวกันนี้จะมีส่วนสำคัญต่อการเกิดฝนในเขตร้อน เช่น ประเทศไทย แต่เนื่องจากในบรรยากาศที่มีแกนกลั่นตัวตามธรรมชาติขนาดเล็ก และจำนวนมากเกินไป จะเกิดกระจายตัวของความชื้นในการเกาะแกนกลั่นตัว ทำให้เม็ดน้ำที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กและจำนวนมากตามไปด้วย ทำให้กระบวนการชนกัน และรวมตัวกันของเม็ดน้ำไม่มีประสิทธิภาพซึ่งต้องใช้เวลามากในการเจริญเติบโตไปเป็นเม็ดฝน ดังนั้น เมฆจึงสลายตัวไปก่อนที่เม็ดน้ำจะโตพอที่จะตกเป็นฝน

2) กระบวนการเกิดฝนในเมฆเย็น (cold rain process)

เมฆเย็น คือ เมฆที่มีการเจริญเติบโตและก่อยอดสูงขึ้นไปในชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส โดยมีกระบวนการผลึกน้ำแข็ง (Ice–crystal process) เกิดขึ้นบริเวณยอดเมฆที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง –3 ถึง –4 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิของเม็ดน้ำต่ำกว่าจุดเยือกแข็งแต่ยังไม่กลายเป็นน้ำแข็ง ที่เรียกว่า เม็ดน้ำเย็นยิ่งยวด (Super cooled droplets) อยู่ร่วมกับแกนของการเยือกแข็ง (Ice nuclei) ซึ่งเป็นอนุภาคของสสารประเภทแร่ ดินเหนียว สารอินทรีย์ และเกลือทะเล ที่จะทำหน้าที่เป็นแกนของการเกิดผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal) และการเจริญเติบโตต่อไปของผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นได้หลายวิธี เช่น เกิดจากการระเหิดของน้ำจากเม็ดน้ำเย็นยิ่งยวด ซึ่งมีความดันไอ (Vapor pressure) ที่ผิวสูงกว่า ไปจับเกาะและกลายเป็นน้ำแข็ง (Sublimation) บนผิวของผลึกน้ำแข็งซึ่งมีความดันไอต่ำกว่า (Burgeon process) อย่างต่อเนื่อง หรือเกิดจากการที่ผลึกน้ำแข็งสัมผัสกับเม็ดน้ำเย็นยิ่งยวดโดยตรง ทำให้กลายเป็นเม็ดน้ำแข็ง (Contact freezing) ในขณะที่ผลึกน้ำแข็งหรือเม็ดน้ำแข็งมีขนาดโตขึ้นก็จะร่วงหล่นลงมา ชนกับผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กกว่า และเกาะติดกันทำให้มีขนาดโตขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อผลึกน้ำแข็งหรือเม็ดน้ำแข็งมีขนาดใหญ่มากขึ้น ในที่สุดก็จะตกพ้นฐานเมฆลงมาเป็นหิมะหรือลูกเห็บ หรืออาจละลายเป็นน้ำฝนเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส ก่อนตกลงสู่พื้นดิน

การเปลี่ยนสถานะของเม็ดน้ำกลายเป็นเม็ดน้ำแข็งจะมีการคายความร้อนแฝงออกมาเป็นพลังงานเสริมในการเจริญเติบโตของยอดเมฆ ทำให้เมฆมีขนาดใหญ่ขึ้นและมียอดสูงขึ้น และกลายเป็นเมฆฝนฟ้าคะนอง (Cumulonimbus) ฝนที่เกิดจากเมฆชนิดนี้จึงมักจะมีปริมาณน้ำฝนมากกว่าฝนเมฆอุ่น และอาจมีฟ้าแลบฟ้าร้องฟ้าผ่า และลูกเห็บตามมา ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะพบฝนเมฆเย็นในช่วงเปลี่ยนฤดู หรือบริเวณที่มีตัวการที่ทำให้เกิดการยกตัวของมวลอากาศที่รวดเร็ว เช่น แนวปะทะอากาศ ร่องความกดอากาศต่ำ หรือ บริเวณพายุหมุน

วงจรชีวิตของ THUNDERSTORM มี 3 ขั้น

1. ขั้นคิวมูลัส (Cumulus Stage) กินเวลาประมาณ 10-15 นาที ในเมฆคิวมูลัสที่จะขยายตัวเป็นพายุฟ้าคะนองควรมีขนาดกว้าง 12 กิโลเมตรขึ้นไป มีอากาศอุ่นและชื้นที่ปั่นป่วน และมีกระแสลมพัดขึ้นทางแนวตั้งตลอดตั้งแต่ฐานจนถึงยอดเมฆ (Updraft) บางครั้งมีความรุนแรงถึง50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภายในก้อนเมฆจะมีความปั่นป่วน

รุนแรงขึ้นเป็นลำดับ ภายนอกจะเงียบสงบ แม้นในบริเวณฐานเมฆจะมีกระแสอากาศเบาๆพอที่เครื่องบินจะบินผ่านไปได้ อุณหภูมิในก้อนเมฆจะสูงกว่าอากาศบริเวณใกล้เคียงและความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกภายในยิ่งนานจะยิ่งเพิ่มขึ้น เม็ดน้ำในก้อนเมฆมีขนาดเล็กในระยะแรก และจะโตขึ้นเรื่อยๆตามขนาดของก้อนเมฆ

2. ขั้นเจริญเติบโตเต็มที่(Mature Stage) กินเวลาประมาณ 15-30 นาที เป็นช่วงที่เมฆก้อนใหญ่นี้เติบโตเต็มที่ พลังงานความปั่นป่วนที่อยู่ภายในมีกำลังแรงขยายใหญ่สุดจนไม่มีที่ไป ต้องปลดปล่อยพลังงานนี้ออกมาแล้ว ช่วงนี้แหละที่เป็นอันตรายที่สุดที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุทางการบินมากมาย เพราะเป็นช่วงที่รุนแรงสุดของพายุฝนฟ้าคะนอง จุดเริ่มต้นของ Mature Stageนี้จะสังเกตเห็นฝนเริ่มโปรยลงมาตามด้วยลมกระโชกที่รุนแรงและไร้ทิศทาง ซึ่งเกิดจากเม็ดน้ำและเม็ดน้ำแข็งจำนวนมากภายในเมฆ ซึ่งมีขนาดโตขึ้นจนเกินกว่ากระแสอากาศพัดขึ้นจะต้านไว้ได้ จึงตกลงมาเป็นฝน ในขณะเดียวกันจะเริ่มมีกระแสอากาศพัดลงตามแนวดิ่ง จนเกิดเป็นกระแสอากาศพัดขึ้น-ลงตามแนวดิ่ง โดยกระแสอากาศพัดลง เมื่อไหลลงกระทบพื้นดินก็จะแผ่ออกไปข้างๆทำให้เกิดลมกระโชกที่รุนแรง และไร้ทิศทาง อากาศจะเย็นลง แต่ฝนที่เริ่มตกลงมานั้นยังไม่ทำให้ทัศนะวิสัยลดต่ำลงมากแต่อย่างไร ซึ่งนักบินที่กำลังจะนำเครื่องบินลงในขณะนั้นจะยังคงมองเห็นภาพของสนามบินอยู่ตลอดเวลา เปรียบเสมือนเป็นกับดักล่อให้นักบินตายใจยังคงนำเครื่องบินบินผ่านใกล้ฐานเมฆ แต่อีกสักครู่เดียวฝนก็จะกระหน่ำลงมาอย่างหนักตามด้วยฟ้าผ่า ลมกระโชกและกระแสอากาศพัดในแนวดิ่งที่รุนแรงและไร้ทิศทาง ท้องฟ้ามืดมัวมีฝนตกหนัก ทัศนะวิสัยเลว บางครั้งมีลูกเห็บด้วย มีฟ้าแลบ ฟ้าร้อง เครื่องบินที่บินเข้าไปในเมฆพายุฟ้าคะนองจะได้รับอันตรายจากความกระแทกกระเทือนจากกระแสอากาศพัด ขึ้น-ลง ในแนวดิ่ง ลมกระโชกแรงมีลูกเห็บซึ่งอาจได้รับอันตรายถึงกับเป็นอุบัติเหตุตกได้

3. ขั้นสลายตัว (DISSIPATING STAGE) ใช้เวลาประมาณ 30นาที ในขั้นสลายตัวนี้เมื่อพลังงานถูกปลดปล่อยออกมาแล้ว สภาพอากาศภายในกับภายนอกเมฆก็จะค่อยๆปรับสมดุลเข้าหากัน ภายในก้อนเมฆจะมีแต่กระแสอากาศพัดลงอย่างเดียว ฝนที่ตกจะค่อยลดน้อยลงและหยุดในที่สุด อุณหภูมิในก้อนเมฆจะเปลี่ยนไปจนเท่ากับบริเวณข้างเคียงทิศและความเร็วลมจะเปลี่ยน ไปจนเท่ากับบริเวณใกล้เคียง เมฆก้อนนี้ก็จะสลายตัวไปในที่สุด จุดสังเกตของขั้นตอนนี้ คือที่ยอดเมฆจะเป็นรูปทั่งเนื่องจากอากาศที่ปั่นป่วนนั้นหมดแรงที่ยกตัวเองให้สูงกว่านี้อีก ยอดเมฆจึงกระจายออกด้านหน้าของการเคลื่อนที่ วงจรชีวิตของ Thunderstorm โดยทั่วไปจะไม่เกิน 1-2 ชั่วโมง ช่วงที่มีอันตรายและน่ากลัวที่สุดคือ Mature Stage

เมฆพายุฟ้าคะนอง เริ่มก่อตัวขึ้นจากเมฆก้อนธรรมดาก่อน จากนั้นมีการขยายตัวขึ้นด้วยภาวะที่พอเหมาะของอากาศร้อนชื้นที่ไร้เสถียรภาพและมีกลไกที่ทำให้มวลอากาศชื้นลอยตัวสูงขึ้น ทำให้เมฆก้อนขยายตัวขึ้นมีกระแสลมแนวตั้งแรงขึ้น เมฆก้อนขยายตัวสูงใหญ่เป็นเมฆพายุฟ้าคะนองมีฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่าและมีกระแสอากาศไหลขึ้นและลง มีลมกระโชกรุนแรงอากาศจะเย็นลงมีฝนเกิดในบริเวณระดับต่ำของเมฆ ในระดับสูงอาจมีทั้งหิมะ ลูกเห็บและฝนปะปนกัน เมฆพายุฝนฟ้าคะนองเป็นเมฆที่เป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อกิจการบิน

การปฏิบัติการฝนหลวงเมฆเย็นเพื่อบรรเทาความรุนแรงของพายุลูกเห็บ

การปฏิบัติการฝนหลวงเมฆเย็นด้วยการยิงพลุซิลเวอร์ไอโอไดด์ (AgI Flare) ที่ยอดเมฆที่ระดับอุณหภูมิ -4 ถึง -12 องศาเซลเซียส ในปริมาณที่มากกว่าการปฏิบัติการทำฝนเมฆเย็นตามปกติ (Over seeding) ซึ่งเป็นเทคนิคการดัดแปรสภาพอากาศเพื่อทำให้กลุ่มเมฆตกเป็นฝนก่อนที่จะก่อยอดสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดลูกเห็บตกมาถึงพื้นสร้างความเสียหายแก่ทรัพย์สินของประชาชน

10. เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร, 2552. **การประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ. สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร.

Ahrens, C.D. 1988. **Meteorology Today**. 3rd ed. West Publishing Company 582 p.

Han, L., Fu, S., Yang, G., Wang, H., Zheng, Y. and Lin, Y. 2008. A stochastic method for convective storm identification, tracking and nowcasting. Pro. Natur. Sci., 18, 1557-1563.

Silverman, B.A., S.A. Changnon., J.A.Flueck and S.F. Lintner. 1986. **Weather Modification Assessment: Kingdom of Thailand.** Bureau of Reclamation, United Stated Department of Interior, Denver, Colorado, USA.

Wallace, J. M., and P. V. Hobbs. 1977. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**. San Diego, CA: Academic Press, p. 52

Rogers, R. R., 1979: **A short course in cloud physics**. *2nd Edition, International Series in National Philosophy*, 96, 235p.

Dixon, M. and G. Weiner. 1993: TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting–A Radar-based Meteorology. *J. of Atmos. and Ocean. Tech.*, Vol.10, No. 6, 785-797.

Okumura, K., T. Satomura, T. Oki, and W. Khantiyanan, 2003: Diurnal Variation of Precipitation by Moving Mesoscale Systems: Radar Observation in Northern Thailand. *Geophysical Union*, 5p.

Segal, Y., A. Khain, M. Pinsky and D. Rosenfeld. 2004: Effects of hygroscopic seeding on raindrop formation as seen from simulations using a 2000-bin spectral cloud parcel model. *Atmospheric Research,* 71, 3-34.

Piman, T., M.S. Babel, A. Das Gupta and S. Weesakul. 2007: Development of a window correlation matching method for improved radar rainfall estimation. Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, 1361-1372.

11. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

11.1) เผยแพร่ประสิทธิผลของการปฏิบัติการฝนหลวงบรรเทาความรุนแรงจากพายุลูกเห็บให้นักวิชาการและประชาชนทั่วไปได้รับทราบ

11.2) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติการฝนหลวงบรรเทาความรุนแรงจากพายุลูกเห็บ

การนำไปใช้ประโยชน์ในด้าน

- (•) ด้านวิชาการ
- ( ) ด้านนโยบาย
- ( ) ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์/อุตสาหกรรม
- ( ) ด้านสังคมและชุมชน

หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

.....กรมฝนหลวงและการบินเกษตร.....

.....

.....

12. แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

ถ่ายทอดความรู้ในการปฏิบัติการให้แก่ศูนย์ปฏิบัติการฝนหลวงประจำภาค ในสังกัดกรมฝนหลวงและการบินเกษตร...

.....

13. วิธีการดำเนินการวิจัย

13.1 วิธีดำเนินการวิจัย

13.1.1 ทบทวนเอกสารและองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง

13.1.2 ออกแบบและวางแผนงานวิจัย ประชุมร่วม และขออนุมัติโครงการ

13.1.3 เตรียมความพร้อมเครื่องมือ/อุปกรณ์ และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

13.1.4 การดำเนินการวิจัยจะดำเนินการร่วมเข้าไปในขั้นตอนการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆเย็นเพื่อบรรเทาความรุนแรงของพายุลูกเห็บ ซึ่งอยู่ในแผนการปฏิบัติการประจำปีแล้ว มีขั้นตอน ดังนี้

1) วิเคราะห์สภาพอากาศประจำวัน

2) วางแผนการปฏิบัติการประจำวันและใช้โปรแกรม TITAN มาช่วย

3) ปฏิบัติการวิจัยยิงพลุ AgI เพื่อบรรเทาความรุนแรงจากพายุลูกเห็บใน

4) เก็บรวบรวมข้อมูลและประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น โดยรวบรวมข้อมูลและสารสนเทศจากกรมฝนหลวงและการบินเกษตรและหน่วยงานภายนอก เช่น ข้อมูลตรวจอากาศชั้นบน (Upper air observation) และข้อมูลเรดาร์ สถานีเรดาร์ฝนหลวงอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ กรมฝนหลวงและการบินเกษตร และข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง

5) บันทึกข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อบรรเทาความรุนแรงจากพายุลูกเห็บ จากโครงการความร่วมมือกับกองทัพอากาศ โดยใช้เครื่องบินโจมตีแบบที่ 2 (อัลฟาเจท)

6) คัดเลือกข้อมูล (Data selection) โดยนำข้อมูลที่รวบรวมทั้งหมดผ่านกระบวนการคัดเลือก คัดกรองและจัดเตรียมข้อมูล จากโปรแกรมประยุกต์ TITAN เพื่อประมวลผล และข้อมูลผลผลิตเกิดขึ้นภายในโครงการ รวมถึงข้อมูลที่สามารถหาได้จากปีที่เคยปฏิบัติการในอดีต

7) ตรวจสอบความสมบูรณ์ครบถ้วน (Completeness) โดยตรวจสอบส่วนประกอบ ความครบถ้วน ความเรียบร้อยและความสมบูรณ์ ของข้อมูลและสารสนเทศ ตรวจสอบความถูกต้อง (Accuracy) โดยตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาและรายละเอียดของข้อมูล ตรวจสอบความสอดคล้อง (Consistency) โดยตรวจสอบแนวโน้ม หรือทิศทางความสอดคล้องของข้อมูล

13.1.5 วิเคราะห์ข้อมูล และประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆเย็นเพื่อบรรเทาความรุนแรงของพายุลูกเห็บ ตามขั้นตอนดังนี้

1) คัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการเกิดเหตุการณ์ลูกเห็บ จากโปรแกรมประยุกต์ TITAN

2) วิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผลด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์และสถิติ โดยวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีนัยสำคัญ (Significant) และจัดลำดับความสำคัญ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยแบบพหุนาม (Multivariate Regression Analysis) โดยการเปรียบเทียบและสร้างกราฟ หาค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูล (Mean Difference: MD) หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) หรือผลจากการคำนวณอื่น

13.1.6 สรุปผลการวิจัยและรายงานเบื้องต้น

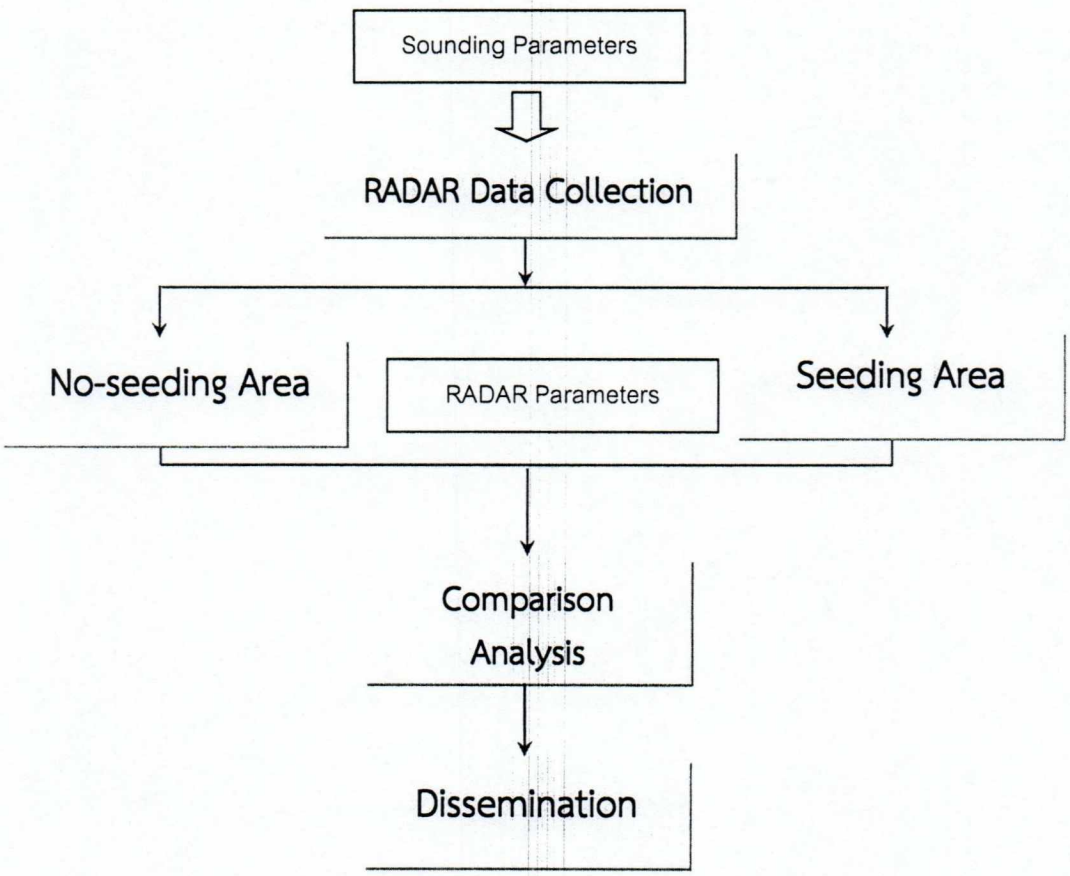
13.1.7 จัดทำเอกสารและรายงานฉบับสมบูรณ์

13.2 เครื่องมือและอุปกรณ์หลักที่ใช้ในโครงการวิจัย

เรดาร์ฝนหลวง อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่ พร้อมโปรแกรม TITAN

13.3 สถานที่ทำการทดลอง: ศูนย์ปฏิบัติการฝนหลวงภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่เป้าหมายบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย ในรัศมีการตรวจวัดเรดาร์อมก๋อย 240 กิโลเมตร

โดยขั้นตอนการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล สามารถสรุปได้ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อบรรเทาความรุนแรงจากพายุลูกเห็บโดยการประยุกต์ใช้ TITAN

14. ระยะเวลาการวิจัย

ระยะเวลาโครงการ 1 ปี 0 เดือน

วันที่เริ่มต้น 1 ตุลาคม 2560 วันที่สิ้นสุด 30 กันยายน 2561

สถานที่ทำการวิจัย

ในประเทศ/ต่างประเทศ	ชื่อประเทศ/จังหวัด	พื้นที่ที่ทำวิจัย	ชื่อสถานที่
ในประเทศ	เชียงใหม่	ภาคสนาม	
ในประเทศ	เชียงราย	ภาคสนาม	
ในประเทศ	ลำพูน	ภาคสนาม	
ในประเทศ	ลำปาง	ภาคสนาม	
ในประเทศ	กำแพงเพชร	ภาคสนาม	
ในประเทศ	เพชรบูรณ์	ภาคสนาม	
ในประเทศ	พิจิตร	ภาคสนาม	
ในประเทศ	พิษณุโลก	ภาคสนาม	
ต่างประเทศ	-	สำนักงาน	

แผนการดำเนินงานวิจัย

ปี	กิจกรรม	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
2560	1.ขออนุมัติหลักการ / ขออนุมัติดำเนินโครงการวิจัย/รวบรวมข้อมูลและองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง	X											
2560	2.ตรวจเอกสารและทบทวนวรรณกรรม/ศึกษารูปแบบเหตุการณ์		X	X	X								
2561	3.เตรียมความพร้อมเครื่องมือและอุปกรณ์/ออกแบบและวางแผนการดำเนินการ				X	X							
2561	4.บินปฏิบัติการพร้อมเก็บข้อมูล					X	X	X	X				
2561	5.วิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล							X	X	X	X		
2561	6.จัดทำผลการวิเคราะห์ข้อมูล									X	X		
2561	7.สรุปผลการวิจัยและร่างรายงานฉบับสมบูรณ์										X	X	
2561	8.จัดทำเอกสารฉบับสมบูรณ์ และนำเสนอผลสรุปโครงการ											X	X

15. ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย โครงสร้างพื้นฐาน ฯลฯ) ระบุเฉพาะปัจจัยที่ต้องการเพิ่มเติม)

ประเภท	ชื่อครุภัณฑ์/สิ่งก่อสร้าง	สถานภาพในหน่วยงาน	รายละเอียด	เหตุผลและความจำเป็น	ประมาณการราคา
ครุภัณฑ์		ไม่มี			
สิ่งก่อสร้าง		ไม่มี			

16. งบประมาณของโครงการวิจัย

ปี	ประเภทงบประมาณ	รายละเอียด	จำนวน (บาท)
2561	งบดำเนินการ : ค่าตอบแทน	**ค่าตอบแทนปฏิบัติงานนอกเวลาราชการ** ชุดวิชาการ 3 คน จำนวน 30 วัน วันละ 4 ชั่วโมง ๆ ละ 50 บาท	18,000
2561	งบดำเนินการ : ค่าใช้สอย	**ค่าเบี้ยเลี้ยงคณะวิจัย** ชุดวิชาการ จำนวน 4 คน รวม 60 วัน ๆ ละ 240 บาท	57,600
2561	งบดำเนินการ : ค่าใช้สอย	**ค่าที่พัก** ชุดวิชาการ จำนวน 4 คน รวม 40 วัน ๆ ละ 800 บาท	128,000
2561	งบดำเนินการ : ค่าใช้สอย	**ค่าพาหนะ** ชุดวิชาการ จำนวน 4 คนๆ ละ 1,500 บาท	6,000
2561	งบดำเนินการ : ค่าใช้สอย	**ค่าซ่อมแซมยานพาหนะ** รถยนต์ 1 คัน ชุดวิชาการ รวม 3 เดือน ๆ ละ 5,000 บาท	15,000
2561	งบดำเนินการ : ค่าใช้สอย	**ค่าซอมแซมครุภัณฑ์** เครื่องคอมพิวเตอร์/เครื่องพิมพ์/เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์	7,540
2561	งบดำเนินการ : ค่าใช้สอย	**ค่าจ้างเหมาบริการ** - ผู้ช่วยนักวิจัยระดับปริญญาโท จำนวน 1 อัตรา จ้าง 12 เดือน เดือนละ 19,000 บาท - ค่าจ้างถ่ายเอกสาร / จัดทำเอกสารและคู่มือ จ้าง 2 เดือน เดือนละ 1,500 บาท	 228,000 3,000
2561	งบดำเนินการ : ค่าวัสดุ	**ค่าวัสดุสำนักงาน 6,000 บาท**	6,000
2561	งบดำเนินการ : ค่าวัสดุ	**ค่าหนังสือ วารสาร และตำรา 12,000 บาท**	12,000
2561	งบดำเนินการ : ค่าวัสดุ	**ค่าวัสดุเชื่อเพลิงและหล่อลื่น** - ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง เดือนละ 7,000 บาท 3 เดือน	 21,000
	รวม		**502,140**
	รวมตลอดโครงการ		**502,140**

หมายเหตุ : โดยค่าใช้จ่ายทุกรายการถัวจ่ายได้ไม่เกินอัตราตามที่กระทรวงการคลังกำหนด

17. ผลสำเร็จ

ปี	ผลสำเร็จที่คาดว่าจะได้รับ	ประเภท
2561	รูปแบบของการปฏิบัติการฝนหลวงบรรเทาความรุนแรงจากพายุลูกเห็บ	Primary Result
2562	ข้อมูลยืนยันประสิทธิผลของการปฏิบัติการฝนหลวงบรรเทาความรุนแรงจากพายุลูกเห็บ	Goal Result

18. โครงการวิจัยต่อเนื่อง (คำรับรองจากหัวหน้าโครงการวิจัยว่าโครงการวิจัยได้รับการจัดสรรงบประมาณจริงในปีงบประมาณที่ผ่านมา)

.....

19. คำชี้แจงอื่น ๆ (ถ้ามี)

.....

.....

.....

20. ลงลายมือชื่อ หัวหน้าโครงการวิจัย พร้อมวัน เดือน ปี

ลงชื่อ.....

(นายฐิติกร จรรยาธรรม)

หัวหน้าโครงการวิจัย

วันที่...10... เดือน ..พฤศจิกายน. พ.ศ. ..2559..