

แผนแบบการปฏิบัติการทดลองทำฝันสาธิต เพื่อการวิเคราะห์ประเมินผล

ราชวุช ขันติyanนท์¹

บทคัดย่อ ความตุ่งขากของการวิเคราะห์ประเมินผลการทำฝันหลวงที่ผ่านมา มีสาเหตุมาจาก จีด จำกัดในด้าน ถุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ความไม่เชื่อถือของข้อมูล ความผันแปรของข้อมูลปริมาณผู้ ฝัน โดยธรรมชาติ และ โอกาสในการทำกราฟทดลอง การพัฒนาปัจจัยพื้นฐานที่จำเป็นต่อการ ดำเนินงานทางวิทยาศาสตร์ของสำนัก ฝันหลวงและการบินเกษตร ระหว่างปี 2531-2536 ภายใต้ โครงการวิจัยทัศนพยากรณ์บรรยายศาสตร์ประยุกต์ ได้มีผลอย่างสำคัญ ที่ทำให้เกิดการพัฒนาความรู้ที่ ฐานและวิธีการที่จะออกแบบโครงการปฏิบัติการทดลองเพื่อการ วิเคราะห์ประเมินผลการทำฝัน

การทดสอบประสิทธิภาพของการทำฝันทางทฤษฎี โดยการปฏิบัติการจำลองในการ ประยุกต์ความเชื่อมต่อไปในเมฆด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ และคงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของ ปริมาณผู้ฝันที่สูงกว่าการเกิดของตามธรรมชาติ จากความรู้ที่ได้รับได้ถูกนำมาสร้างเป็นสมมติ ฐานและแนวความคิด (Conceptual Model) ของกรรมวิธี ที่จะทำการทดลองและทดสอบทาง สถิติ

แผนปฏิบัติการทดลองทำฝันจากเมฆถุนเพื่อการวิเคราะห์ประเมินผล ได้รับการพัฒนา ขึ้นเพื่อนำไปใช้งานระหว่างปี พ.ศ. 2537-2541 วิธีการทดลองเป็นแบบ Randomized Crossover Design ปฏิบัติการโดยใช้เครื่องบินภาคท่าจำนวน 2 เครื่อง ประยุกต์ความเชื่อมต่อ ตลอดไปริ่ด จำนวน 2,000 กิโลกรัม เช้าไปในเมฆเหนือพื้นที่เป้าหมาย 2 ถุ ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล ประกอบด้วยปริมาณผู้ฝัน ที่มีผู้คนติด การกระจายของปริมาณผู้ฝัน และเวลาที่ฟันเริ่นต้น หลังการ ประยุกต์ สมมติฐานของกรรมวิธีจำนวน 4 ข้อซึ่งจะแสดงถึงผลของการเพิ่ม ปริมาณและการ กระจายของผู้ฝันเหนือพื้นที่เป้าหมายและพื้นที่ได้ลุน จะได้รับการทดสอบทาง สถิติ รวมทั้งจะมีการประเมินผลทางพิสิกส์ควบคู่กันไปด้วย จากการศึกษาเพื่อหาจำนวน ตัวอย่างที่ต้องการ โดยหวังผลของการเพิ่มปริมาณผู้ฝันที่สูงกว่าธรรมชาติ 10% ที่ระดับ Significance level alpha = 0.05 และ Probability-of-detection = 90% สรุปได้ว่าต้องการจำนวน ตัวอย่าง 195 และ 144 ตัวอย่าง สำหรับพื้นที่เป้าหมายที่อยู่ด้านตะวันตกและด้านตะวันออก ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่า สำหรับการว่า จะสามารถทำการทดลองได้ปีละ 70 ตัวอย่างที่ สมบูรณ์ใน 1 ปี จะต้องใช้เวลาประมาณ 5 ปี เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความเชื่อมั่นในระดับที่ ต้องการ

¹ ฝ่ายวิชาการ สำนักฝันหลวงและการบินเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

1. บทนำ

จากผลของการสำรวจและศึกษา ทบทวนปัญหาและอุปสรรคของการวิเคราะห์ประเมินผลการปฏิบัติการฝนหลวงที่ผ่านมาในอดีต และได้ถูกนำเสนอไว้ในรายงานวิจัยเรื่อง "Problem and Progress in Thailand Rainmaking Evaluation" (ราชวุช, 2527) สรุปประเด็นสำคัญได้ 3 ประการ คือ

1) ยังไม่อาจสรุปขึ้นได้ชัดเจน ถึงผลหรือประสิทธิภาพ ของการปฏิบัติการฝนหลวงที่ผ่านมา ในระดับที่สามารถยอมรับ ได้ในเชิงสถิติ อันเนื่องมาจากเมื่อการทำงานที่มุ่งหวังผลของการแก้ไขปัญหา ก้าวขาดแคลนนี้เป็นหลัก ซึ่งต้องพายานมปฏิบัติการทุกวัน พื้นที่เป้าหมายมีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน ขึ้นอยู่กับความต้องการเร่งด่วนของความช่วยเหลือ และยังมีข้อจำกัดในด้านเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่จะให้ข้อมูลที่ถูกต้อง น่าเชื่อถือ ในการวัดผล

2) ข้อมูลปริมาณน้ำฝนนี่ความผันแปรตามธรรมชาติสูง (High natural variability) โดยเฉพาะในเขตร้อน (Tropical Zone) และยังไม่สามารถตัดสินใจที่จะสามารถพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนล่วงหน้าได้แม่นยำเพียงพอที่จะทำให้สามารถแยกผลของการทำฝน ซึ่งมีขนาดอยู่ระหว่าง 10 - 30 เปอร์เซ็นต์ของฝนธรรมชาติ ออกจากความผันแปรดังกล่าว

3) เมฆฝนในแต่ละวัน ไม่ว่าจะมีการทำฝนหรือไม่ ก็มีโอกาสที่จะตกเป็นฝนหนักหรือไม่ตกเลย ดังนั้น หากปราศจากการทำการทดลองแบบสุ่มปฏิบัติการ (Randomized Experiment) ภายใต้การดำเนินงาน ตามข้อกำหนดของแผนการทดลองทางสถิติ ที่ต้องอาศัยข้อมูลตัวอย่างที่มากพอแล้ว ก็ยากที่จะสามารถพิสูจน์หรือหาตัวเลขประสิทธิภาพของการทำฝนได้

จากการศึกษาข้างต้น จึงได้มีการดำเนินกิจกรรมศึกษาวิจัยข้อมูลที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นรูปแบบขึ้น ระหว่าง ปี พ.ศ. 2531 - 2536 เพื่อสนับสนุนการออกแบบโครงการปฏิบัติการทดลองทำฝนสาธิตเพื่อการวิเคราะห์ประเมินผล กิจกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมภายใต้ชื่อ "โครงการวิจัยทรัพยากรน้ำรากฟ้า ประยุกต์" ซึ่งเป็นกลุ่มที่สำคัญในแผนพัฒนาฝนหลวง โดยได้มีการจัดซื้อและติดตั้งอุปกรณ์ วิทยาศาสตร์ ที่จะช่วยในการศึกษาวิจัยและวิเคราะห์ประเมินผลการทำฝน จำนวนหลายรายการ มีการพัฒนาบุคลากรทางวิชาการโดยการฝึกอบรมความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ บรรยายกาศและการคัดแปลงสภาพอากาศในระบบสารภพ สำหรับการศึกษาวิจัยในโครงการดำเนินงานโดยนักวิทยาศาสตร์ของสำนักฝนหลวงและการบินเกษตร ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญด้านการคัดแปลงสภาพอากาศจากสถาบัน

รายงานฉบับนี้ ได้สรุปเสนอแผนแบบของการปฏิบัติการทดลองทำฝนสาธิตจากเมฆถุนที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานระหว่างปี 2537- 2541 ซึ่งประกอบด้วยหลักการและเหตุผลในการกำหนดเลือกพื้นที่เป้าหมายและวิธีการทดลอง รวมทั้งผลของการศึกษาและทดสอบทางคณิตศาสตร์ และ สถิติที่เกี่ยวข้อง

2. แผนปฏิบัติการทดสอบทำฝันจากเมฆอุ่น

2.1 พื้นที่โครงการ (Experimental Area)

แผนการทดสอบ ได้กำหนดเลือกพื้นที่อุ่นรับน้ำค่อนล่างของเขื่อนภูมิพล (ภาพที่ 1) เป็นพื้นที่ปฏิบัติการทดสอบ ซึ่งมีสภาพภูมิประเทศเป็นสันเขาวงตัวอู๊ดในแนวเหนือ-ใต้ และมีสถานีเรดาร์ฝนหลวงตั้งอยู่บนเนินเขาที่ความสูง 1,126 เมตร บริเวณ อ่ามหาชนก่ออย จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีรักมีการตรวจวัดที่ 100 กิโลเมตร ซึ่งครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายของโครงการทดสอบ

เหตุผลของการเลือกพื้นที่อุ่นรับน้ำค่อนล่างของเขื่อนภูมิพลเป็นพื้นที่โครงการ สรุปได้ดัง

1) ปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มสูงขึ้นจากการปฏิบัติการทดสอบ (หากได้ผล) จะเกิดผลประโยชน์โดยตรงต่อพื้นที่หลาภูมิประเทศ เช่น บรรเทาหรือแก้ไขปัญหาภัยต่อการฟื้นฟูดินที่ทำการเกษตรป่าไม้ อุปโภค บริโภค และการผลิตไฟฟ้าพลังงาน เพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่ป่าไม้ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเขตป่าสงวน เขตราชอาณาจักร ศักดิ์สิทธิ์ และพื้นที่ดันน้ำสำหรับ

2) จากความเป็นประโยชน์ในหลักๆ ด้านตามข้อ 1) จะส่งผลให้ปริมาณน้ำฝนจำนวน 1 หน่วย ที่เป็นผลจากการทำฝัน ให้ผลตอบแทน (B/C RATIO) สูงสุด

3) สันเขื่อนภูมิพลเป็นแม่น้ำเครื่องป้องกันน้ำท่วม ดังนั้นจึงเป็นการลดอัตราการเสียบันเนื่องจากผลที่ไม่เพียงประสงค์ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากผลของการปฏิบัติการทดสอบ เช่น การทำฝันอาจมีส่วนเสริมธรรมชาติทำให้เกิดพายุฝุ่น และปัญหาน้ำท่วมติดตามมาได้

4) จากการศึกษาสถิติข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่โครงการ ชี้ให้เห็นว่า มีโอกาสที่จะเกิดเมฆที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติการทดสอบประมาณ 100 วัน ในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม - ตุลาคม) ซึ่งจะทำให้ได้จำนวนหน่วยทดลองมากพอในระยะเวลาสั้น

5) ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (inflow) จะเป็นตัวแปรอิสระในการนั่งอุกหนีดจากตัวเลขปริมาณน้ำฝน ที่จะใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงผลของการปฏิบัติการทดสอบทำฝันได้ (ดึงแม้ว่าจะอยู่นอกเหนือจากของเขตของการศึกษาไว้ข้างในขั้นนี้)

2.2 ฐานปฏิบัติการและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ (Field Operation Sites and Facilities)

ฐานปฏิบัติการทดสอบทำฝันสาธิค แบ่งออกได้เป็น 4 หน่วยงานหลัก (ภาพที่ 2) คือ

1) ศูนย์วิจัยปฏิบัติการฝันหลวงชาธิค (Field Operation Center, FOC)

ที่ตั้งของศูนย์วิจัยปฏิบัติการฝันหลวงชาธิค อยู่ภายในพื้นที่ของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ท่าอากาศยานนานาชาติ จังหวัดเชียงใหม่ อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ภายในศูนย์ประกอบด้วย เครื่อง PC คอมพิวเตอร์จำนวน 4 เครื่อง สำหรับงานจัดการข้อมูล (Data Management) และงานวิเคราะห์วิจัยเบื้องต้น (Preliminary Analysis) มี Terminals สำหรับแสดงภาพผลการตรวจเรดาร์และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งส่งสัญญาณ

ผ่านระบบสื่อสารข้อมูลโดยตรงจากสถานีเรดาร์ฝนหลวง ภาพที่ปรากฏที่ศูนย์วิจัยฯจะเป็นภาพที่ໄกส์เคียง กับเวลาที่ตรวจร่องมาก นอกจากนี้ยังมีระบบสื่อสาร FM, VHF, SSB, ที่สามารถติดต่อสื่อสารกับหน่วยปฏิบัติได้ทั่วถึงทุกหน่วยภายในศูนย์วิจัยฯแบ่งออกเป็น 4 ห้อง คือ ห้องอำนวยการและสื่อสาร ห้องปฏิบัติงานวิจัย ห้องประชุมและบรรยายสรุป และห้องศูนย์ข้อมูล

ศูนย์แห่งนี้มีหน้าที่ วางแผน สั่งการ อำนวยการ ติดตามผล รวบรวมและจัดการข้อมูล ตลอดจนทำ การศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์เบื้องต้น ข้อมูลวิชาการทั้งหมดจะถูกรวบรวมไว้ยังศูนย์วิจัยหลักที่ สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร กรุงเทพ เพื่อทำการวิเคราะห์ผลในขั้นสุดท้าย

2) ฐานปฏิบัติการเมฆอุ่น (Warm Cloud Seeding Air Base)

เครื่องบินที่ใช้ในการทดลองทำฝนจากเมฆอุ่นประกอบด้วยเครื่องบินกาซ่า ของกระทรวงเกษตร และสหกรณ์ จำนวน 2 เครื่อง มีน้ำหนักบรรทุกเครื่องละ 1000 กิโลกรัม โดยใช้พื้นที่ของท่าอากาศยาน เชียงใหม่เป็นฐานปฏิบัติการ และเป็นที่ตั้งของหน่วยสนับสนุนน้ำมันเชื้อเพลิงและสารเคมี

3) ฐานเครื่องบินเสถียรปีเตอร์ (Helicopter Air Base)

เครื่องบินเสถียรปีเตอร์ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์จำนวน 1 เครื่อง ประจำปฎิบัติการที่สถานี ปราบไฟป่า บริเวณเชิงดอยสุเทพ จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อสนับสนุนภารกิจการส่งกำลัง บำรุงป่ายังสถานี เ雷ดาร์ฝนหลวง และภารกิจบินสำรวจและเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากเครื่องวัดฝนอัตโนมัติจำนวน 50 จุด ที่ติดตั้งในบริเวณพื้นที่เป้าหมายการทดลอง

4) สถานีเรดาร์ฝนหลวง (Doppler Radar Station)

สถานีเรดาร์ฝนหลวงตั้งอยู่บนเนินเขาห่างจากตัวอำเภอเมืองเชียงใหม่ ไปทางตะวันออก ประมาณ 9 กิโลเมตร ที่ความสูง 1,126 เมตร ระบบเรดาร์เป็น S-Band Doppler Radar ความยาวคลื่น 10.7 เซนติเมตร กำลังส่ง 500 กิโลวัตต์ ควบคุมการทำงานและบันทึกผลข้อมูลด้วยระบบเรดาร์ งานสายอากาศ มีสีสันต่ำศูนย์กลาง 21 ฟุต ทำการตรวจในลักษณะ Volume Scan ทุกๆ 5 นาที มีโปรแกรม Iris Software ในการควบคุมการทำงานและแสดงผล ชี้แจงออกจากจะให้ข้อมูลคำแนะนำพิกัด และความเข้มของกลุ่มฝน แล้ว ยังสามารถทำงานทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนความสูงของข้อมูล ทิศทางและ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศในรัศมีทำการตรวจและภายในก้อนเมฆ ส่งสัญญาณเตือนเมื่อ มีพายุฝนฟ้าคะนองรวมทั้งสามารถให้ข้อมูลในรูปปริมาณน้ำฝนภายในเมฆที่ระดับต่างๆ และผลกระทบของ น้ำฝนทั้งก่อนได้ออกคำข

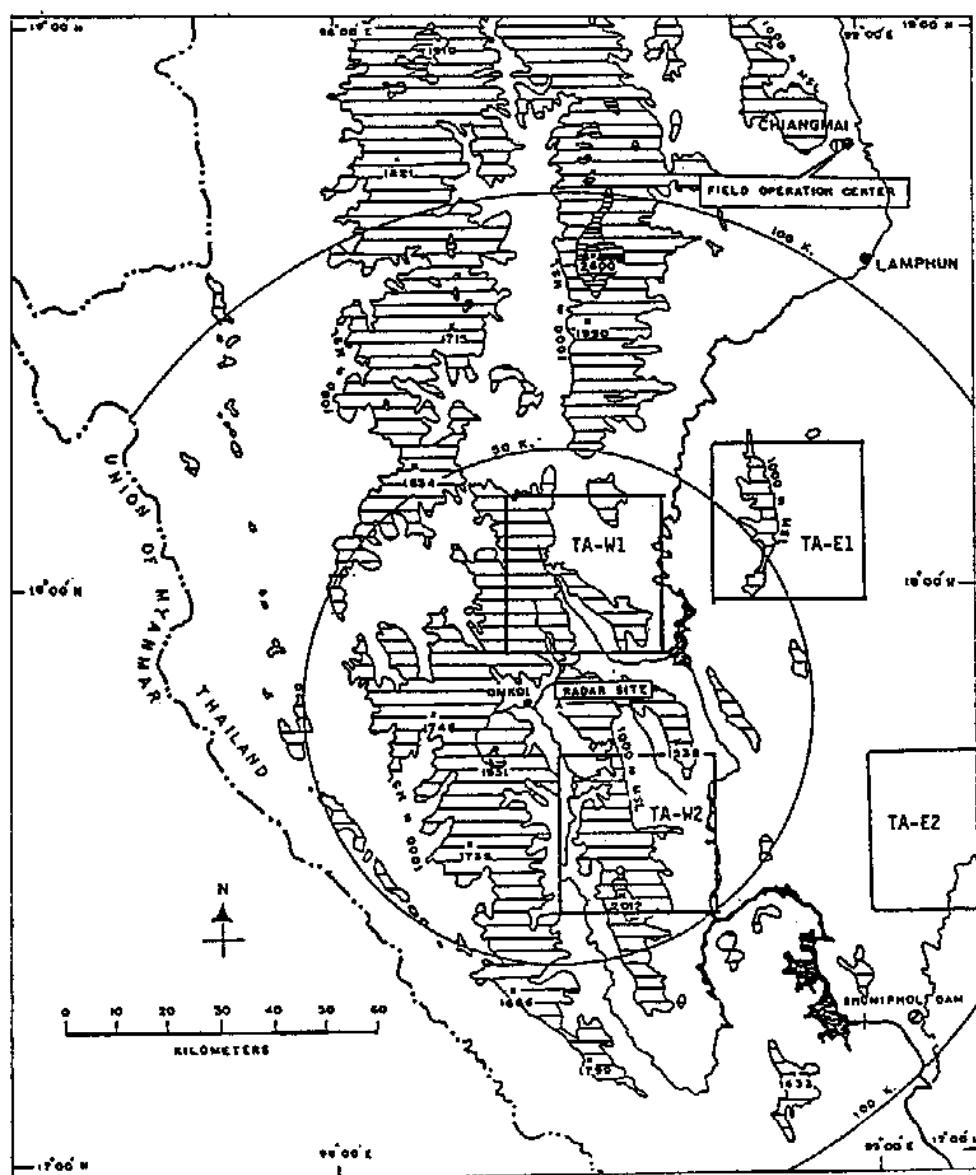


Figure 1 Map of the experimental area, displays the 1,000 m. terrain profile of the Southern Bhumibol catchment area and the 2 pairs of target areas for warm cloud seeding randomized crossover experiment.

ปัจจุบันที่สถานีเรดาร์ได้ติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมระบบ GMS ซึ่งจะแสดงภาพเมฆฝน และพาหุน มูลค่าคงเหลือในระดับกว้าง (Synoptic) ครอบคลุมพื้นที่ เอเชียและแปซิฟิก ซึ่งจะช่วยในการพยากรณ์อากาศเพื่อประกอบการตัดสินใจและวางแผนการทดลองได้อย่างเหมาะสม

ระบบวิทยุห้องอากาศ (Upper Air Sounding) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นในเดลาระดับบนบรรยากาศ เครื่องวัด (Sensors) และเครื่องส่งวิทยุจะหยกติดไปพร้อมกับคลื่นในตอนเข้า สัญญาณข้อมูลที่ส่งกลับมาถึงเครื่องรับกานพื้นดินจะใช้ในการวิเคราะห์ และพยากรณ์การพัฒนาตัวของเมฆ และโอกาสความสำเร็จในการทดลองทำฝน รวมทั้งยังใช้เป็น Input ของการศึกษาแบบจำลองของเมฆ (Cloud Models) และการปฏิบัติการเทียม (Seeding Simulations) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

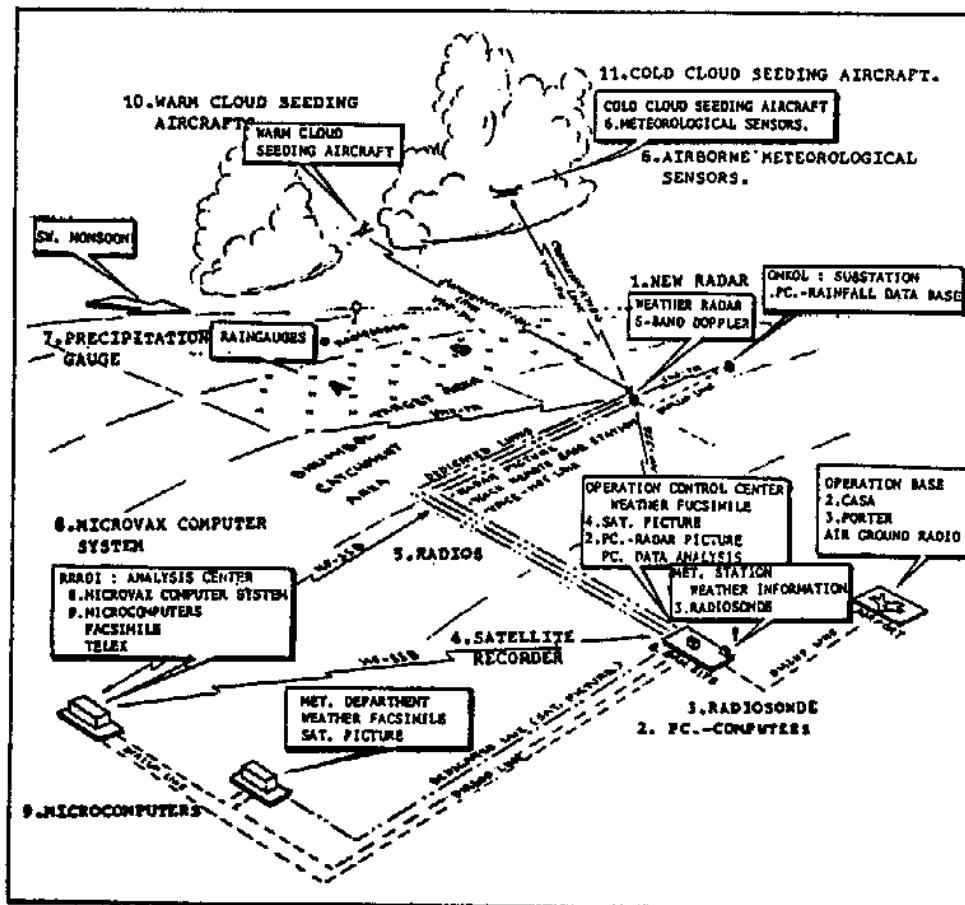


Figure 2 A schematic representation of the randomized seeding project layout, facilities, key operating sites and equipment.

กล้องถ่ายภาพต่อเนื่องชนิด Time lapse Camera เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถบันทึกภาพความเปลี่ยนแปลงของเมฆหน้าฝนที่เป้าหมาย เพื่อให้เป็นข้อมูลประกอบการศึกษาถูกต้องของเมฆและการวิเคราะห์ผล

2.3 พื้นที่เป้าหมายปฏิบัติการทดลอง (Target Areas)

การพิจารณาเลือกพื้นที่เป้าหมายที่เหมาะสม กระทำการได้ข้อกำหนด 3 ประการ คือ

1) พื้นที่เป้าหมาย 1 และ 2 ควรมีค่าสหสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนที่ดี เพื่อเอื้ออำนวยต่อการอัณฑะผลกระทบในระยะเวลาที่สั้นที่สุด

2) พื้นที่เป้าหมาย 1 และ 2 ควรอยู่ห่างกันพอสมควร (มี Buffer Area) เพื่อหลีกเลี่ยงการได้รับอิทธิพลจากการปฏิบัติการของอีกพื้นที่หนึ่ง (Contamination) อยู่ห่างกันเกินไปจะเกิดความแตกต่างของบรรยากาศและสภาพแวดล้อมของการเปลี่ยนแปลงของเมฆและฝน

3) พื้นที่เป้าหมายทั้งสองด้านอยู่ภายใต้การตรวจวัดของสถานีเรดาร์ฟันหลวง เพื่อให้ได้ข้อมูลตัวแปรที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ผล

ในการหาค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนระหว่างพื้นที่เป้าหมาย 2 แห่ง กระทำการโดยอาศัยแผนที่ปริมาณน้ำฝน 3 ชั่วโมง (3 - hourly rainfall maps) ซึ่งสร้างขึ้นจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนชั่วโมง 3 ปี เหนือบริเวณพื้นที่โครงการ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนนี้เป็นข้อมูลที่คำนวณจากค่าความเหี่ยวนของก้อนฝนที่ตรวจวัดด้วยระบบเรดาร์ฟันหลวง โดยใช้สมการ Z-R relationship ($Z = 300 \cdot R^{1.4}$) ด้วยวิธีการนี้ทำให้ได้พื้นที่ที่มีความเหมาะสมจะใช้เป็นพื้นที่เป้าหมายของการทดลอง จำนวน 2 ถึง แต่ละถ่วงตัวอยู่ในแนวเทือก N-W-S-E ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางลมที่พัดผ่านพื้นที่ในช่วงฤดูฝนพื้นที่ แต่ละถ่วงจะมีระยะห่างพอสมควร และเพียงพอสำหรับการปรากฏตัวของเมฆที่มีความเหมาะสม ซึ่งจะทำให้สามารถทำการทดลองเพื่อเก็บตัวอย่างได้วันละ 2 ครั้ง

ในที่สุดได้ตัดสินใจเลือกพื้นที่ 2 ถึง ขนาด 30×30 กิโลเมตร ซึ่งอยู่ในรัศมี 100 กิโลเมตร ของการตรวจวัดโดยเรดาร์ฟันหลวง (ภาพที่ 1) เป็นพื้นที่เป้าหมายของการปฏิบัติการทดลอง คือ

ถูกที่ 1 : TA-W1 (หรือ Target - West 1)

TA-W2 (หรือ Target - West 2)

ถูกที่ 2 : TA-E1 (หรือ Target - East 1)

TA-E2 (หรือ Target - East 2)

ตารางที่ 1 และ 2 แสดงถูกความสัมพันธ์ของพื้นที่เป้าหมายและพื้นที่เบริกบินเทียน และค่าสหสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนระหว่างพื้นที่แต่ละถ่วง ตามลำดับ

Table 1 Target area names and relationships

Target Pair		Upwind Control	Target Area	Downwind Area
West	North	CA-W1	TA-W1	DW-W1
	South	CA-W2	TA-W2	DW-W2
East	North	CA-E1	TA-E1	DW-E1
	South	CA-E2	TA-E2	DW-E2

Table 2 Frequency of simultaneous occurrence of rain events and correlation coefficients between relevant targets

Targets	Number of Occurrences (Y = Rain, N = No Rain)				Correlation Coefficient
	Y/Y	Y/N	N/Y	N/N	
TA-W1/TA-W2	167	1	38	131	0.66
CA-W1/TA-W1	131	74	2	130	0.54
CA-W2/TA-W2	125	43	6	163	0.63
TA-W1/DW-W1	144	1	61	131	0.87
TA-W2/DW-W2	147	20	21	149	0.60
TA-E1/TA-E2	179	11	20	127	0.71
CA-E1/TA-E1	191	8	17	121	0.64
CA-E2/TA-E2	174	16	15	132	0.22
TA-E1/DW-E1	175	7	24	131	0.75
TA-E2/DW-E2	161	15	29	132	0.51

2.4 สมนติฐานของกรรมวิธีการปฏิบัติการทดลองทำฝนจากเมฆอุ่น

การทำฝนเทียมหรือฝนหลวงในประเทศไทยที่ผ่านมา จัดอยู่ในประเภทของการทำฝนจากเมฆอุ่น (Warm Cloud) และกรรมวิธีที่ใช้เป็นแบบไปรษณีย์ประชาราตนี้ประกอบด้วยความชื้นจากเครื่องบินเข้าสู่ก้อนเมฆ (Airborne Hygroscopic Seeding) แต่ก่อนที่จะกล่าวถึงสมนติฐานของกรรมวิธีนี้ จำเป็นจะต้องกล่าวถึงกรรมวิธีของการเกิดฝนในเมฆอุ่นตามธรรมชาติเป็นสังเวปเสียงก่อน เพื่อความเข้าใจที่ดีสำหรับผู้ที่ไม่คุ้นเคยกับเรื่องเมฆและฝนมาก่อน ดังต่อไปนี้

"เมฆ" เปรียบเสมือนถุงลมไวนิลสภาพที่บรรจุไว้ด้วยเม็ดน้ำขนาดเล็กจำนวนมาก ขนาดของเม็ดน้ำภายในเมฆ (Cloud Droplets) มีตั้งแต่ร้อยหนึ่งพันกว่า 1 ในครอน ไปจนถึงขนาดที่เป็นเม็ดฝน (Rain drops) ซึ่งมีรัศมีเฉลี่ยประมาณ 1000 ในครอน และกว่าที่เม็ดฝนจะ落地พอยู่สามารถอาบน้ำแรงโดยตัวและกระแสอากาศที่ไหลขึ้น (Up Draft) ภายในเมฆจนตกลงมาเป็นฝนได้ บางครั้งต้องมีรัศมีใหญ่กว่า 4

มิสติเมตร เม็ดน้ำภายในเมฆเริ่มเกิดขึ้นจากการควบแน่นของไอน้ำบนแกนความแน่น (Cloud Condensation Nuclei, CCN) ซึ่งได้แก่สารแขวนลอยต่างๆ ในบรรยากาศ การเจริญเติบโตของเม็ดน้ำขนาดเล็กมากเหล่านี้จะดำเนินต่อไปช้าๆ โดยขบวนการควบแน่น (Condensation) ของไอน้ำ และการกระแทบรวมตัวกันโดยบังเอิญเป็นครั้งๆ ของเม็ดน้ำ (Stochastic Coalescence) หรือที่เรียกว่าขบวนการ Autoconversion เม็ดน้ำในเมฆจะเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว โดยขบวนการชนกันและรวมตัวกัน (Collision-coalescence) จนกลายเป็นเม็ดฝนที่สามารถหลอมรวมเป็นฝนได้ ระยะเวลาและอัตราการเจริญเติบโตของเม็ดน้ำขนาดเล็กจะถูกเปลี่ยนเป็นเม็ดฝนจากเมฆนี้ จะถูกควบคุมโดยขบวนการทาง Thermodynamic และ Microphysics และประสิทธิภาพของขบวนการที่ควบคุมการเจริญเติบโตของเม็ดน้ำ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น การคุณภาพก้อนมวลอากาศที่ขึ้นมา เช่น แรงดึงดูด ขนาดและจำนวนของ CCN, อุณหภูมิของฐานเมฆ, ความเร็วของกระแสลมไอลน์ในเมฆ, ขนาดของเมฆ, และระยะเวลาในการดำเนินกลไกต่างๆ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า การที่ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาลก็มีสาเหตุมาจากการปัจจัยหนึ่งหรือ หลายๆ ปัจจัยเหล่านี้ขาดความหมายสน

1) สมมติฐานของการวิธีทำฝนจากเมฆอุ่น (Warm Cloud Seeding Hypothesis)

แนวความคิดหรือสมมติฐานของการทำฝนหุงดวงจากเมฆอุ่นของไทยก็คือ พยายามทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางไนโตรฟิลิกส์และไนโตริกส์ภายในเมฆ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของขบวนการที่เร่งการเจริญเติบโตของเม็ดน้ำภายในเมฆ และลดระยะเวลาที่ต้องใช้ในการเริ่มขบวนการเกิดฝน รวมไปถึงการเพิ่มปริมาณน้ำฝนที่ตกถึงพื้นที่เป้าหมายที่ต้องการ วิธีการที่ใช้ในการทำฝนหลวงที่ผ่านมาแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้สารเคมี ได้แก่ ละหัวปืนและไนโตริกส์ในปริมาณและความสูงต่างๆ ตามสภาพเมฆ ได้แก่

ขั้นที่ 1 : เร่งการเกิดเมฆ หรือเรียกว่าการก่อขบวนสภาพอากาศ

ขั้นที่ 2 : เพิ่มปริมาณและเร่งการเจริญเติบโตของเมฆและเม็ดน้ำภายในเมฆ หรือเรียกว่าการเติมเมฆให้อ้วน

ขั้นที่ 3 : เร่งการตกเป็นฝนเหนือพื้นที่เป้าหมาย หรือเรียกว่าการโจรตี

สำหรับรายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติการและการใช้สารเคมี ได้สรุปไว้ในเอกสารการทำฝนหลวง ในประเทศไทย พ.ศ. 2531 และจะกล่าวถึงโดยละเอียดในที่นี้

2) การศึกษาเพื่อออกแบบสมมติฐานของการวิธีเพื่อใช้ในการทดสอบ

การออกแบบการวิธีปฏิบัติการทดสอบ ได้คำนวณโดยอาศัยโปรแกรมการศึกษาแบบจำลองของเมฆบนเครื่องคอมพิวเตอร์ (Numerical Cloud Model Experiments) โปรแกรมแบบจำลองที่ใช้ทดสอบมีชื่อว่า "HAMOD" เป็น 1 1/2 Dimensional, Time-dependent Model พร้อมรายละเอียดทาง

ในโครงการพิสิกส์ ซึ่งปรับปรุงแก้ไขล่าสุดโดย Silverman (1993) และนำมาใช้ในประเทศไทยเป็นครั้งแรก ข้อมูลที่เป็น input ของโปรแกรม คือ ผลการตรวจอุณหภูมิและความชื้นของชั้นบรรยากาศประจำวัน (Upper Air Soundings) ของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ซึ่งเป็นค่าแทนที่ดีของบรรยากาศที่จะมีการพัฒนาตัวของเมฆธรรมชาติให้หนืดพื้นที่เป้าหมาย ขั้นแรกข้อมูลของชั้นบรรยากาศที่มีลักษณะแตกต่างกันไปในแต่ละวันจะถูกวิเคราะห์ เพื่อพยากรณ์พฤติกรรมของการเกิดเมฆและฝนโดยธรรมชาติ หรือที่เรียกว่า Base Run (ตารางที่ 3) จากนั้นเมฆธรรมชาติจะถูกเปลี่ยนแปลงอยู่สมบัติทางพิสิกส์และไดนาไมส์ ในลักษณะของการจำลอง (Seeding Simulation) ของการโปรดักต์การเคมีชนิด ขนาด และปริมาณต่างๆ กัน ที่ระดับความสูงต่างๆ กันเข้าไปเมฆ และเมื่อนำข้อมูลความเปลี่ยนแปลงของการพัฒนาตัวของเมฆและการเกิดฝนทั้งสองกรณี (Base Run กับ Seeding Simulation) มาเปรียบเทียบกัน ผลต่างของผลลัพธ์ที่ได้ (ตารางที่ 4) จะแสดงประสิทธิภาพของกรณีวิธีที่ใช้

ความรู้ที่ได้รับจากผลการศึกษาแบบจำลองสรุปได้ดังนี้

- การเกิดฝนโดยธรรมชาติ จะขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายของขนาดของอนุภาคแกนกลั่นตัว (CCN Spectrum) เช่น ฟังจะตกลื่นอย่างด้านบรรยากาศมี CCN ที่มีขนาดเล็กจำนวนมากๆ
- สารอุดความชื้นที่ใส่เข้าไปในเมฆสามารถทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงทางในโครงการพิสิกส์ ซึ่งจะนำไปเพิ่มปริมาณและประสิทธิภาพของการเกิดฝนในก้อนเมฆ
- ในบรรดาสารอุดความชื้นที่ทำการทดสอบ พบว่า สารแคลเซียมคลอไรด์ ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการเพิ่มปริมาณน้ำฝน ภายใต้คุณสมบัติตั้งต่อไปนี้

ขนาดของอนุภาค (Particle Size) :

ขนาด 50 ไมครอน เหนอะแน่นเมฆที่มีอายุสั้น(スタイルตัวเร็ว)

ขนาด <30 ไมครอน เหนอะแน่นเมฆที่มีอายุช้า(スタイルตัวช้า)

ปริมาณการโปรดักต์ (Seeding Dosage) :

ประสิทธิภาพจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารเคมีที่ใส่เข้าไปในเมฆ

ตำแหน่งของเมฆที่โปรดักต์สารเคมี (Seeding Location) :

การโปรดักต์สารเคมีเข้าไปชิดฐานเมฆมากที่สุดจะให้ผลดีที่สุด

เวลาที่จะเริ่มโปรดักต์สารเคมี (Seeding Time) :

ภายใน 5-10 นาที เมื่อเมฆเริ่มก่อตัว จะให้ผลดีที่สุด

- ผลกระทบของพายุบ่ำบี้ ใบบางกรณี เมฆที่ไม่ก่อให้เกิดฝนโดยธรรมชาติจะให้ฝนได้มีโอกาสตกลงจาก การโปรดักต์สารเคมีเข้าไปในเมฆ
- การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝน จากการโปรดักต์สารเคมีในเมฆที่มีศักยภาพในการให้ฝนสูงตามธรรมชาติอยู่แล้ว จะสูงกว่าการเพิ่มขึ้นในเมฆที่มีศักยภาพต่ำ

Table 3 List of ChiangMai soundings used in the numerical model experiments and general characteristics of the model clouds that result before seeding.

Sounding	Cloud Base Temp (°C)	Cloud Depth (meters)	Cloud Duration (minute)	Rain Efficiency (%)	Rain Amount (mm)
CM930826	19.5	1710	75	0	0
CM930527	20.8	1420	75	0	0
CM930422	18.0	1200	75	0.00001	0
CM930814	20.8	1930	75	0.00021	0.00001
CM930809	20.4	2970	75	0.00677	0.00099
CM930815	20.0	2730	75	0.00788	0.00121
CM930822	18.8	2800	50	0.08481	0.01011
CM930807	19.8	2930	70	0.08761	0.01582
CM930816	20.1	3230	39	0.21288	0.04485
CM930821	19.3	2860	75	0.28812	0.04672
CM930813	20.4	3450	47	0.74997	0.13711

Table 4 Results of seeding the warm clouds produced by Chiang Mai soundings given in Table 3.

Sounding	Cloud Base Temp (°C)	Cloud Depth (meters)	Rain Efficiency S/NS	Rain Amount S/NS
CM930826	19.5	1710	(*)	(*)
CM930527	20.8	1420	(*)	(*)
CM930422	18.0	1200	(*)	(*)
CM930814	20.8	1930	(*)	(*)
CM930809	20.4	2970	20.86	20.92
CM930815	20.0	2730	19.91	19.84
CM930822	18.8	2800	13.32	13.46
CM930807	19.8	2930	5.84	5.83
CM930816	20.1	3230	3.49	3.49
CM930821	19.3	2860	2.46	2.46
CM930813	20.4	3450	2.52	2.52

S/NS means to Seeded/No Seeded, (*) means to values exceed 100.0

3) สรุปสมนติฐานของกรณีที่ใช้ในการทดสอบ
ผลการทดสอบสมนติฐานการทำฝนในทางทฤษฎี โดยอาศัยวิธีการปฏิบัติการจำลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้รู้ได้เช่นว่า การประยุกต์ใช้แบบจำลอง คลอไวร์ด เข้าไปในเมฆได้ส่งผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงทางไนโตรฟิสิกส์ ซึ่งนำไปเพิ่มประสิทธิภาพของกลไกการเกิดฝนและลดระยะเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการเกิดฝนให้สั้นลง ดังนั้นจึงสร้างเป็นสมนติฐานของการปฏิบัติการทดลองทำฝนจากเมฆอุ่น (Conceptual Model) ได้ว่า "สารเคมีแคลเซียมเซี่ยน คลอไวร์ด ที่มีคุณสมบัติในการถูกความชื้นได้ดีกว่า และมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาค CCN ที่มีอยู่ตามธรรมชาติหนึ่งอันที่เป็นหมาย เมื่อถูกโปรยเข้าไปในเมฆใน

จะไปเริ่มการทำงานของขบวนการชนกันและรวมตัวกัน ของเม็ดน้ำ (Collision-Coalescence Process) ในก้อนเมฆให้เกิดรีวูบิน โดยลัด ขั้นตอนที่ต้องใช้เวลามากในการเจริญเติบโตของเม็ดน้ำที่มีขนาดเล็กในขบวนการ Autoconversion และการที่เวลาที่ใช้ในการพัฒนาขนาดของเม็นน้ำในก้อนเมฆไปจนมีขนาดใหญ่ที่จะตกเป็นฝนลงนี้ จะเป็นการเพิ่มโอกาสและประสิทธิภาพของการเกิดฝน โดยเฉพาะในวันที่เมฆมีระยะเวลาจำกัดในการเจริญเติบโต (Short-lived Clouds)"

3. สมมติฐานทางสถิติ

สมมติฐานที่จะทำการทดสอบในโครงการ ประกอบ ด้วย 4 Null Hypotheses คือ

- H01: การโปรดักต์เมานีแคลเซียม ลดต่อตัว เป้าไปในเมฆเป้าหมายจะไม่มีผลต่อโอกาส ความเป็นไปได้ที่ฝนจะตกที่ใดที่หนึ่งในพื้นที่เป้าหมาย ในช่วง 1 ชั่วโมงแรกนับจากเริ่มโปรดักต์เมานี
- H02: การปฏิบัติการจะไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยพื้นที่ฝนตก (Mean area covered by rainfall) ในหน่วยทดลอง (Experimental Unit)
- H03: การปฏิบัติการจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณรวม ของน้ำฝนต่อหน่วยทดลอง (Total rainfall volume per Experimental Unit)
- H04: การปฏิบัติการจะไม่มีผลทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลง ของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ได้ลม (Rainfall in the Downwind area)

การปฏิเสธ 4 Null Hypotheses ข้างต้น จะชี้ให้เห็นว่า

- H11: การปฏิบัติการมีผลทำให้มีฝนตกจากเมฆซึ่งจะไม่ตกลงตามธรรมชาติ
- H12: การปฏิบัติการมีผลทำให้มีการเพิ่มน้ำของพื้นที่ฝนตกหรือระยะเวลาการตกของฝน
- H13: การปฏิบัติการมีผลทำให้ปริมาณน้ำฝนรวมต่อหน่วยทดลองเพิ่มขึ้น
- H14: การปฏิบัติการมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการกระจายของฝน (Redistribution) หรือไม่ก็ทำให้ปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้นในพื้นที่ได้ลม

4. ข้อกำหนดของแผนปฏิบัติการ

1) หน่วยทดลอง (Experimental Unit)

หน่วยทดลองหมายถึง เมฆทั้งหมดที่ปรากฏตัวอยู่เหนือพื้นที่เป้าหมายในช่วง 3 ชั่วโมง คือ ระหว่างเวลา 0900 - 1200 น. ในพื้นที่เป้าหมายคู่ที่อยู่ทางด้านตะวันตก และระหว่างเวลา 1500 - 1800 น. ในพื้นที่เป้าหมายคู่ที่อยู่ด้านตะวันออก

2) ตัวทดลอง (Treatment Units)

ตัวทดลองหมายถึง เมฆทุกก้อนเหนือพื้นที่เป้าหมายที่ได้รับการโปรดักต์เมานีเข้าไปในเมฆ

3) การสุ่มปูนบดิการทดลอง (Randomization)

แผนปฏิบัติการจะเริ่มทำงานเหนือพื้นที่เป้าหมายคู่ที่อยู่ทางตะวันตกในช่วงเช้า และเริ่มทำงานเหนือพื้นที่เป้าหมายคู่ที่อยู่ค้านตะวันออกในช่วงบ่าย วิธีการสุ่มปูนบดิการจะใช้ซองสุ่ม (Randomized Envelopes) ที่จัดทำขึ้นโดยคอมพิวเตอร์ ซึ่งแยกกันอิสระกันและหุดสำหรับพื้นที่ค้านตะวันตกและค้านตะวันออก ในช่องจคหนาจะมีข้อความว่า (1) "SEED NORTH TARGET" หมายความว่าให้ทำการปืนที่เป้าหมายทิศเหนือ หรือ (2) "NOSEED NORTH TARGET" ซึ่งหมายความว่าให้ไปทำการปืนที่เป้าหมายทางทิศใต้ วิธีการ Block Randomization อาจนำมาใช้ เพื่อให้แน่ใจว่าพื้นที่เหนือและใต้จะได้รับการสุ่มเดียวกัน

4) การประกาศแจ้งสถานภาพการเป็นหน่วยทดลอง (Experimental Unit Declaration)

ก่อนเริ่มการปูนบดิการทดลองทุกรั้ง จะต้องมีการประกาศแจ้งสถานภาพของการเป็นหน่วยทดลอง และเมื่อประกาศแจ้งแล้วการทดลองจะเริ่มขึ้นและต้องดำเนินต่อไปจนเสร็จการกิจกรรมแผนที่กำหนด เกษที่ที่ใช้ในการประกาศเป็นหน่วยทดลองจะต้องมีเมฆก้อนชนิด Convective Clouds) จำนวนมากและความหนาไม่ต่ำกว่า 1 กิโลเมตร ปรากฏตัวอยู่เหนือพื้นที่เป้าหมายทั้งเหนือและใต้ หากมีเมฆเพียง 1-2 ก้อน จะไม่ถือว่าเป็นหน่วยทดลอง แต่หากเป็นเมฆที่มีฐานติดต่อกันเป็นแนวยาวและมียอด 2-3 ยอดที่หน้าไม่มีห้อยกกว่า 1 กิโลเมตร ให้ถือว่าเป็นหน่วยทดลองได้

5) ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Primary Response Variables)

ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการปูนบดิการทดลองจะประกอบด้วย

ก) ปริมาตรของน้ำฝน (Rainfall Volume)

ข) พื้นที่ฝนตก (Rainfall Area)

ค) การกระจายของปริมาณน้ำฝน (Spatial Distribution of Rainfall Amount)

ง) ระยะเวลาที่ฝนเริ่มตกนับจากเวลาที่เริ่มโปรดาราเคน

ข้อมูลตัวแปรที่กล่าวมาทั้งหมด จะได้มาจากการบันทึกตรวจสอบเวลาที่ได้มีการปรับแก้ความถูกต้องด้วยข้อมูลจากเครื่องวัดฝนอัตโนมัติแล้วเท่านั้น และข้อมูลตัวแปรทั้งหมดจะเป็นของแต่ละพื้นที่ เป้าหมายและพื้นที่ได้ล้ม ซึ่งทำการตรวจสอบในช่วงเวลาเดียวกัน

6) การแบ่งกลุ่มข้อมูล (Data Stratifications)

เพื่อเป็นการยืนยันผลและการปรับปรุงความถูกต้องของสมมติฐานของกรณีวิธี ข้อมูลตัวแปรจะถูกจัดกลุ่มก่อนทำการศึกษาเบรี่ยนเพื่อบ ได้แก่

ก) จัดกลุ่มตามความหนาของเมฆในขณะเริ่มปูนบดิการ โปรดาราเคน

ข) จัดกลุ่มตามความเข้มของเมฆ คือ เมฆที่เคราร์ตรวจจับได้ หรือตรวจจับไม่ได้ ในขณะเริ่มปูนบดิการ

- ก) จัดกิจกรรมการพัฒนาความสูงของยอดเมฆหลังปฏิบัติการ คือ เมฆที่พัฒนาอยอดไปสูงกว่าระดับ -5 องศา หรือต่ำกว่า -5 องศา.

5 . ขั้นตอนของการวิเคราะห์ประเมินผล

การวิเคราะห์ประเมินผลการปฏิบัติการทดลองได้กำหนดไว้ทั้ง 2 กรณี คือ การวิเคราะห์ผลทางสถิติ และการวิเคราะห์ผลทางฟิสิกส์

1) ขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์ผลทางสถิติ (Statistical Evaluation)

นอกเหนือจากการเก็บรวบรวมข้อมูล ตรวจสอบคุณภาพ และจัดระเบียบข้อมูลแล้ว ขั้นตอนการศึกษาวิเคราะห์จะประกอบด้วย

- การคำนวนหรือการแปลงค่าต่างๆเพื่อให้ได้มาซึ่งชุดของข้อมูลตัวแปร (Primary Response Variables) ตามที่ได้กำหนดไว้ในแผนการทดลอง
- ทำการประเมินค่าผลของการปฏิบัติการเพิ่มปริมาณน้ำฝนในหน่วยทดลองในภาพรวม และในแต่ละกรณีของกิจกรรมข้อมูลย่อยที่กำหนดไว้ (Stratification Subset) ในกรณีจะใช้ค่า Root Double Ratio ใน การประเมินซึ่งจะเป็นการลดความสำคัญของความโน้มเอียง (Biases) ที่อาจมีอยู่ในข้อมูลน้ำฝนระหว่างกันของพื้นที่เป้าหมาย
- ทำการเรียงลำดับข้อมูลทั้งหมด และในแต่ละกรณีของข้อมูลย่อย และจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการทดสอบน้ำดักคุณภาพสถิติ ซึ่งข้อมูลจะประกอบด้วยค่าความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำฝนจริงที่เกิดขึ้นในระหว่างปฏิบัติการ กับค่าปริมาณน้ำฝนที่ทำนายด้วยสมการ Regression ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เป้าหมายเหล่านี้และได้
- ปรับปรุงค่า P-Values โดย MRPP (Multi-Response Permutation Procedure)
- แปลงค่า P-Values ตามสมมติฐานที่กำหนดไว้
- พิจารณาอนุมัติหรือปฏิเสธ Null Hypotheses

2) ขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์ผลทางฟิสิกส์ (Physical Evaluation)

วัดดูประสงค์ เพื่อที่จะเรียนรู้และทำความเข้าใจความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังจากการประยุกต์ เกมีเข้าไปในเมฆ การศึกษาวิจัยจะเน้นในการตรวจสอบผลที่เกิดขึ้นในเมฆที่ได้รับการประยุกต์โดยสารคุณภาพที่ดีที่สุด ตามที่กำหนดไว้

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย

- ระยะเวลาันดั้งแม่เป้าหมายถูกตรวจสอบให้ด้วยเครื่อง ไปจนเมฆสูญเสียคุณสมบัติที่กำหนด
- ค่า Maximum ของความสูงของยอดเมฆ
- ค่า Maximum ของความเข้มของเป้า(เมฆ) ที่ระดับฐานเมฆ
- ค่า Maximum ของพื้นที่บริเวณฐานเมฆ

ก) ค่า Maximum ของปริมาณน้ำฝนที่ตกผ่านฐานของเนิน

ก) ค่าปริมาณน้ำฝนรวมภายในเมือง

วิธีการวิเคราะห์ จะใช้ Double Ratio (DR) เพื่อทดสอบความสำคัญของความผันแปรตามธรรมชาติของข้อมูล โดย

$$DR = SR/CR$$

เมื่อ SR (Single Ratio) เป็นสัดส่วนความแตกต่างของตัวแปรระหว่างปีเขามาฆ (T) ที่ได้รับสารเคมีจริง (ACT) กับปีเขามาฆที่ได้รับสารเคมีแบบปฏิบัติการจำลอง (SIM) หรือ

$$SR = ()T_{ACT} / ()T_{SIM}$$

สำหรับ CR (Control Ratio) เป็นค่าความโน้มเอียง อันเนื่องมาจากการผันแปรตามธรรมชาติ หรือ

$$CR = ()C_{ACT} / ()C_{SIM}$$

ตัวเลขในวงเล็บจะเป็นค่า Mean ของตัวแปรแต่ละตัว

6. การประเมินจำนวนหน่วยทดลอง(ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ)

เนื่องจากวิธีการปฏิบัติการทดลองเป็นแบบ Randomized Crossover Design ซึ่งมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการให้ค่าตอบแทนทางสถิติกายได้เวลาการทดลองที่จำกัด โดยการปฏิบัติการทดลองจะสามารถกระทำได้ทุกวันในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งใน 2 พื้นที่ที่เป็นปีเขามาฆ ไม่จำเป็นต้องมีวันหยุดปฏิบัติการเหมือนกับวิธี Double Ration

ในการประเมินจำนวนหน่วยทดลองที่ต้องการ ได้อ้างอิงสถิติข้อมูลปริมาณน้ำฝนของพื้นที่ปีเขามาฆทั้งสองคู่ และใช้วิธีการ Monte Carlo Simulations ในการหา Power of nonparametric evaluation methodologies ผลของการทำ Simulation โดยใช้ค่า Seeding multiplication factors เท่ากับ 1.10 และภายใต้ค่า อัลฟ่า = 0.05 ที่ Power (Probability-of-detection) = 80 และ 90% ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5 ซึ่งอาจสรุปได้ว่า จำนวนตัวอย่างของหน่วยทดลองที่ต้องการสูงสุดของทั้งสองคู่ของพื้นที่ปีเขามาฆรวมกันได้ 339 หน่วยทดลอง ซึ่งหากคาดว่าจะได้หน่วยทดลองจริง ปีละ 70 หน่วย จะต้องใช้เวลาในการดำเนินโครงการทั้งสิ้นประมาณ 5 ปี

Table 5 Number of samples that will be required in the warm cloud seeding Demonstration project to reach a statistical significance level of 0.05 for a power of 0.8 and 0.9 assuming an increase in rainfall due to seeding of 10%.

Target pair	Power	Sample size for seeding motel (10% Multiplicative)
West	0.08	93
	0.09	144
East	0.08	99
	0.09	195

7. สรุป

จากการศึกษาข้อมูลในอดีต และการทดสอบสมมติฐานของกรณีการทำฝนจากเมฆอุ่นด้วยการปฏิบัติการจำลองด้วยโปรแกรม "HAMOD" ได้ชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้สูงที่วิธีการ ประยุกต์การเคมีชีวภาพ ดูแลความชื้น เช่น แคลเซียม คลอไรด์ เข้าไปในเมฆที่เริ่มนกัดตัว จะทำให้เกิดความแน่นขึ้นแปลงทางในโครงฟิลิกส์ ที่ร่วงและเสริมประสิทธิภาพของกระบวนการเกิดฝนภายในเมฆ และจากการพัฒนาระบบอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ของสำนักฝนหลวงและการบินเกษตรในระยะ 5 ปีที่ผ่านมาทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์คือการศึกษาวิจัยพฤติกรรมของเมฆและฝน เหนือพื้นที่อุ่นร้อนน้ำของเชื่อนภูมิพล และทำให้พบพื้นที่ที่มีค่าสภาพพื้นที่ของปริมาณน้ำฝนสูง ซึ่งอ่อนไหวต่อการวิเคราะห์ประเมินผล

แผนปฏิบัติการทดลองทำฝนจากเมฆอุ่นเพื่อการวิเคราะห์ประเมินผล ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานระหว่างปี พ.ศ. 2537-2541 วิธีการทดลองเป็นแบบ Randomized Crossover Design ปฏิบัติการโดยใช้เครื่องบินอาช่าจำนวน 2 เครื่อง ประยุกต์การเคมีแคลเซียมคลอไรด์ จำนวน 2000 กิโลกรัม เข้าไปในเมฆเหนือพื้นที่เป้าหมาย 2 ครั้ง ซึ่งจะเป็นการสุ่มปฏิบัติการ ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลประกอบด้วยปริมาณน้ำฝน พื้นที่ฝนตก การกระจายของปริมาณน้ำฝน และเวลาที่ฝนเริ่มตกหลังการประยุกต์ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะได้จากการตรวจของระบบคอมพิวเตอร์ฝนหลวง ซึ่งปรับแก้ความถูกต้องด้วยข้อมูลน้ำฝนจากเครื่องจักรฝนอัตโนมัติที่ติดตั้งในพื้นที่โครงการ สมมติฐานของกรณีการทดลอง 4 ข้อซึ่งจะแสดงถึงผลของการเพิ่มปริมาณและ การกระจายของฝนเหนือพื้นที่เป้าหมายและพื้นที่ได้淋 จะได้รับการทดสอบทางสถิติ รวมทั้งจะมีการประเมินผลทางฟิลิกส์ควบคู่กันไปด้วย จากการศึกษาเพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่ต้องการ โดยหวังผลของการเพิ่มปริมาณน้ำฝนที่สูงกว่าธรรมชาติ 10% ที่ระดับ Significance level alpha = 0.05 และ Probability-of-detection = 90% สรุปได้ว่าต้องการจำนวนตัวอย่าง 195 และ 144 ตัวอย่าง สำหรับพื้นที่เป้าหมายคู่ที่อยู่ด้านตะวันตกและคู่ด้านตะวันออกตามลำดับ ซึ่งหมายความว่า ถ้าคาดการว่า จะสามารถทำการทดลองได้ปีละ 70 ตัวอย่างที่สมบูรณ์ใน 1 ปี จะต้องใช้เวลาประมาณ 5 ปี เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความเชื่อมั่นในระดับที่ต้องการ

บรรณานุกรม

- วรรูษ ขันติyanนท์. 2527. *Problems and progress in Thailand rainmaking evaluation*. เอกสารวิชาการ สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- วรรูษ ขันติyanนท์, ทรง กลิ่นประทุม. 2535. *แผนปฏิบัติงาน โครงการทดลอง/ปฏิบัติการ เมฆอุ่น* เอกสารวิชาการ สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- สมหมาย สุรุกุล, เสน่ห์ วาฤทธิ์, วรรูษ ขันติyanนท์, B. A. Silverman. 1989. *Thailand Applied Atmospheric Resources Research Program*. เอกสารวิชาการ สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร

Silverman, B. A., C. Hartzell, W.L. Woodley, D. Rosenfeld, W. Khantiyanan, W. Sukarnjanaset, 1993.
Seeding strategies for Thailand warm cloud seeding experiment. Proceedings, ASEAN
workshop on Scientific plan for an ASEAN cooperative weather modification project.

