

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางอุทุนิยมวิทยาที่มีผล
ต่อการทำฝนหลวงในประเทศไทย

ปริญญานิพนธ์

ของ

นอม งามนิสัย

ขอสมทบคณา

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

11 มีนาคม 2519

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางอุทุนิยมวิทยาที่มีผล
ต่อการทำฝนหลวงในประเทศไทย

บทคัดย่อ
ของ
น้อม งามนิสัย

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
11 มีนาคม 2519

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผล ต่อการทำฝนหลวงในประเทศไทย

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิด
ฝนหลวงกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาคับกันเอง
และการคำนวณสมการถดถอยเพื่อการทำนายโอกาสการเกิดฝนหลวง

ผลการศึกษาพบว่า โอกาสการเกิดฝนหลวงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรทาง
อุตุนิยมวิทยา ในลักษณะดังต่อไปนี้คือ

1. เป็นปฏิภาคตรงกับความชื้นสัมพัทธ์
2. เป็นปฏิภาคตรงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ
3. เป็นปฏิภาคผกผันกับอุณหภูมิ

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาคับกันเอง มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์
2. อุณหภูมิมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ
3. ความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคตรงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ

สมการถดถอยที่ดีที่สุด ที่ใช้ทำนายโอกาสการเกิดฝนหลวง คือ

$$Pr = 1.1257 - 0.0373 T + 0.3124 C$$

เมื่อคำนวณโอกาสการเกิดฝนหลวงทั่วประเทศไทย โดยใช้สมการถดถอย
ดังกล่าว ปรากฏว่าค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงแปรเปลี่ยนไปตามพื้นที่และฤดูกาล

AN ANALYSIS OF THE EFFECT OF METEOROLOGICAL FACTORS
ON ARTIFICIAL RAIN MAKING IN THAILAND

ABSTRACT

BY

NOM NGAMNISAI

Presented in partial fulfilment of the requirements

for the Master of Education Degree

~~Srinakharinwirot~~ University (Prasarnmit)

March '11, 1976

AN ANALYSIS OF THE EFFECT OF METEOROLOGICAL FACTORS
ON ARTIFICIAL RAIN MAKING IN THAILAND

The main purpose of this study was to find out the relationship between probability of successful rains attempted and meteorological factors, the relationship among the meteorological factors and the calculation of the regression equations predicting a probability of a successful artificial rain attempt.

The finding indicated that the relationship between probability of successful artificial rains making and meteorological factors were.-

1. positive relation with relative humidities.
2. positive relation with low cloud types.
3. negative relation with temperatures.

The relationships among meteorological factors were.-

1. Temperatures were related negatively with relative humidities.
2. Temperatures were related negatively with low cloud types.
3. Relative humidities were related negatively with low cloud types.

The best regression equation predicting the probability of successful artificial rain making was

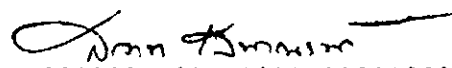
- - - - -

$$Pr = 1.1257 - 0.0373 T + 0.3124 C$$

The application of above equation to show the probability of successful artificial rain in Thailand reveal the variations of the probability according to areas and seasons.

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิต ได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้


..... ประธานกรรมการ


..... กรรมการ

..... มีนาคม 2519

ประกาศคุณประการ

ปริญญานิพนธ์สำเร็จลงได้ ด้วยความกรุณาและเมตตาของบุคคลหลายฝ่าย
ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ประเสริฐ วิทยารัฐ และศาสตราจารย์สวาท เสนามรงค์
เป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาแนะนำ ให้ขอคิดเห็น ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ
จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับ

อธิบดีกรมอุตุนิมวิทยา และบรรณารักษ์ห้องสมุดกรมอุตุนิมวิทยาที่อนุญาต
ให้ใช้ห้องสมุดและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องสมุดในทุกประการ

อาจารย์ปฎิพัทธ์ พัชรวิวัฒน์ศิริ เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิชาการ กรมอุตุนิมวิทยา
ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้ความสะดวกในการรวบรวมข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวง

ร.ท. บุรพา ชคเชย ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลืออย่างมากในเรื่องสถิติ
และการวิจัย ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาค้าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุดขอขอบคุณ คุณบุญรุ่ง วัฒนวิเชียร และคุณปราณี สันตะจิตต์
ที่ให้กำลังใจ คอยช่วยเหลือและสนับสนุนในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

น้อม งามนิลย์

ประกาศคุณประการ

ส่วนหนึ่งของทุนในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย
จากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

น้อม งามนิสัย

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการศึกษา	6
ความสำคัญของการศึกษา	6
สมมุติฐานในการศึกษา	7
ขอบเขตของการศึกษา	7
เกณฑ์ในการเลือกองค์ประกอบทางอุตสาหกรรมวิทยา	8
นิยามศัพท์เฉพาะ	8
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
3 วิธีดำเนินการศึกษา	38
แหล่งข้อมูล	38
การจัดกระทำข้อมูล	38
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์	39
ข้อกำหนดในการศึกษา	40
4 การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์	41
สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	41
การวิเคราะห์ข้อมูลโดยถืออุตสาหกรรมเป็นเกณฑ์	42
คำนวณหาโอกาสการปฏิบัติการผิดพลาดอย่างได้รับความสำเร็จโดยถือ อุตสาหกรรมเป็นเกณฑ์	42

กำหนดหาความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทาง อุตุนิยมวิทยาและระหว่างตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยากับตัวเอง	44
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา	47
คำนวณสมการที่เหมาะสมขององค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อโอกาส การเกิดฝนหลวง	49
วิเคราะห์ข้อมูลโดยถือความชันสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์	52
คำนวณโอกาสการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างได้รับความสำเร็จโดยถือ ความชันสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์	52
กำหนดหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปร ทางอุตุนิยมวิทยาและระหว่างตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยากับตัวเอง	54
เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปร ทางอุตุนิยมวิทยาและระหว่างตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยากับตัวเอง เมื่อคำนวณจากการแบ่งกลุ่มตามอุณหภูมิและความชันสัมพัทธ์	56
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา เป็นกราฟ	58
คำนวณหาสมการที่เหมาะสมขององค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อ โอกาสการเกิดฝนหลวง	60
เปรียบเทียบสมการถดถอยระหว่างข้อ 1.4 กับ 2.5	61
การคำนวณโอกาสการเกิดฝนหลวงในสถานีอุตุนิยมวิทยาแต่ละสถานี ทั่วประเทศไทย ตลอดปี	63
แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงทั่วประเทศไทยเป็นรายเดือนตลอดปี	72

บทที่	หน้า
5 อภิปราย สรุป ข้อเสนอแนะ	92
ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดผลหลวง กับตัวแปร	
ทางอุตุนิยมวิทยา	92
ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาคับกันเอง	96
สมการถดถอยที่โยงบอกถึงโอกาสการเกิดผลหลวง	101
สรุปผลการศึกษา	108
ข้อบกพร่องในการศึกษา	109
ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป	111
บรรณานุกรม	113
ภาคผนวก	118

บัญชีตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงโอกาสการเกิดผลหลงจากการคำนวณ โดยถือคุณสมบัติเป็นเกณฑ์	43
4.2 แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดผลหลงกับตัวแปร ทางอุตุนิยมวิทยาแต่ละตัว และระหว่างตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ด้วยกันเอง	45
4.3 แสดงโอกาสการเกิดผลหลงจากการคำนวณโดยถือความสัมพันธ์เป็นเกณฑ์	52
4.4 แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดผลหลงกับตัวแปรทาง อุตุนิยมวิทยาแต่ละตัว และระหว่างตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ด้วยกันเอง	54
4.5 เปรียบเทียบค่าสหสัมพันธ์จากการคำนวณในข้อ 1.2 กับ 2.2	56
4.6 แสดงการเปรียบเทียบสมการถดถอยจากข้อ 1.2 กับ 2.5	62
4.7 แสดงโอกาสการเกิดผลหลงของสถานีอุตุนิยมวิทยาแต่ละสถานีเป็นรายเดือน	64

บัญชีรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับคุณภาพน้ำ	47
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับความชื้นสัมพัทธ์	48
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ	49
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับความชื้นสัมพัทธ์	58
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับคุณภาพน้ำ	59
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ	59
4.7 กราฟแสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงของสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่	67
4.8 กราฟแสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงของสถานีอุตุนิยมวิทยานครพนม	68
4.9 กราฟแสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงของสถานีอุตุนิยมวิทยาพระนคร	70
4.10 กราฟแสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงของสถานีอุตุนิยมวิทยาลองใหญ่และระนอง	72
4.11 แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ประจำเดือนมกราคม	74
4.12 แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ประจำเดือนกุมภาพันธ์	75
4.13 แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ประจำเดือนมีนาคม	76
4.14 แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ประจำเดือนเมษายน	78
4.15 แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ประจำเดือนพฤษภาคม	79
4.16 แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ประจำเดือนมิถุนายน	81
4.17 แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ประจำเดือนกรกฎาคม	82
4.18 แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ประจำเดือนสิงหาคม	83
4.19 แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ประจำเดือนกันยายน	84
4.20 แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ประจำเดือนตุลาคม	85
4.21 แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ประจำเดือนพฤศจิกายน	86
4.22 แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ประจำเดือนธันวาคม	88

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชาชนพลเมืองมีอาชีพในการทำไร่ ทำนา ทำสวน เป็นส่วนใหญ่ การเกษตรต้องอาศัยน้ำเป็นปัจจัยสำคัญ แม้ว่าจะได้มีการพัฒนาในด้านชลประทานแล้วก็ตาม แต่ก็ยังไม่เพียงพอ ยังคงต้องอาศัยน้ำฝนที่ตกลงมาตามฤดูกาล บางทีฝนน้อยเกินไปจนเกิดความแห้งแล้งทำให้พืชนานาชนิดเหี่ยวแห้งล้มตายไป

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงห่วงใยพสกนิกรในท้องถิ่นที่ประสบความแห้งแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝนซึ่งเป็นฤดูเพาะปลูก ชาวไร่ชาวนามักประสบความทุกข์ยากเนื่องจากปัญหาฝนทิ้งเป็นช่วงระยะยาว ทำให้พืชผลเสียหายเสมอมา (คณะปฏิบัติการฝนหลวง, 2518 : 1)

เมื่อ พ.ศ. 2494 พณฯ ม.ล. เฑาะ สนิทวงศ์ ในฐานะองคมนตรีได้อัญเชิญพระราชปรากรของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวในรัชกาลปัจจุบันเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาน้ำขาดแคลนน้ำในภาคอีสานของประเทศว่าจะมีวิธีการที่จะทำให้ฝนตกนอกเหนือจากฝนที่ตกเองตามธรรมชาติเพื่อช่วยเหลือราษฎรทางภาคอีสานไว้หรือไม่ ซึ่งหากมีผู้ทางนี้ก็จะได้มีการค้นคว้ากันต่อไปอีกว่า วิธีการอย่างไหนที่เหมาะสมและใช้ได้ดี เนื่องจากเหตุดังกล่าวนี้ มจ. จักรพันธ์เพ็ญศิริ จักรพันธุ์ ซึ่งดำรงตำแหน่งอธิบดีกรมการข้าว จึงได้ส่งเรื่องพระราชปรากรนี้พร้อมด้วยเอกสารที่เกี่ยวกับการทำฝนเทียม (Rain Making หรือ Cloud Seeding) ของสถาบันก่าง ๆ มาให้ ม.ร.ว. เทพฤทธิ์ เทวกุล ทำการศึกษาหาหลักฐานเพื่อนำเสนอ พณฯ ม.ล. เฑาะ สนิทวงศ์ กราบบังคมทูลเกล้าถวายรายงานต่อพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ซึ่ง ม.ร.ว. เทพฤทธิ์ เทวกุล ได้ศึกษาเกี่ยวกับการทำให้ฝนตก จากเอกสารและการติดต่อกับสถาบันต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้ โดยละเอียดถี่ถ้วน

และได้รับความร่วมมือ จาก ดร.เรณู สุวรรณสิทธิ์ ซึ่งในขณะนั้นดำรงตำแหน่งผู้ช่วย
เทคนิคการคลังการ (Technical Assistant to Permanent of Finance)
จัดหาเอกสารบางส่วน และร่วมกัน จัดการทำฝนเทียมเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำฝนตามธรรม-
ชาติเสนอขึ้นมาตามลำดับชั้นแล้วครั้งหนึ่ง แต่มิได้มีการดำเนินการก้าวหน้าแก่ประการ
ใด เนื่องจากขาดการสนับสนุนจากกระกับต่าง ๆ ในขณะนั้นประการหนึ่งขาดปัจจัย
ทางด้านงบประมาณและอุปกรณ์ในการดำเนินงานอีกประการหนึ่ง (คณะปฏิบัติการ-
ฝนเทียม, 2513 : 61 - 62)

อย่างไรก็ตาม ม.ร.ว.เทพฤทธิ์ ยังคงสนใจศึกษา กันคว้าและติด-
ตามเรื่องนี้เสมอมา และได้จัดตั้งคณะปฏิบัติการขึ้นจัดทำโครงการสังเขปเพื่อเสนอ
แนะดูทางที่จะปฏิบัติการให้ได้ผลดีที่สุดและวิธีดำเนินการเสนอต่อท่านปลัดกระทรวง
ซึ่งเมื่อได้รับอนุมัติแล้ว ได้เริ่มลงมือปฏิบัติการตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2512 (ก.)

กรรมวิธีทำฝนให้ตกในครั้งนั้น ก็โดยการดัดแปลงกรรมวิธีและข้อมูล
ต่าง ๆ โดยใช้น้ำแข็งแห้ง โปรยเข้าไปในก้อนเมฆจากยอดของก้อนเมฆ เมื่อเมฆรวม
ตัวและก่อตัวเป็นเมฆคิวมูลัสสีเทาเข้มตลอดทั้งก้อนแล้ว ก็ใช้เครื่องบินแอร์ทรัสต์
บินวนละอองอนุภาคของน้ำเปล่าเข้าไปในฐานเมฆ สูงจากระดับพื้นดินประมาณ 5,000-
9,000 ฟุต เมฆที่ก่อตัวเมื่อรวมกับอนุภาค น้ำจะเกิดเป็นฝนตกในที่สุด (ราชวรุณ,
สถาปคัย ปรีดา, 2516 : 34)

ในขณะที่โลกยังมีประชากรเพียงจำนวนน้อย ประชาชนไม่เคยมีความ
วิตกกังวลถึงเรื่องปริมาณน้ำจืดเลย เมืองใหญ่ ๆ ส่วนมากตั้งอยู่บนชายฝั่ง ทะเลสาบ
หรือริมฝั่งแม่น้ำ การอุตสาหกรรมในยุคนั้นก็ยังคงการนำเพียงจำนวนน้อยและการ
ชลประทานก็ยังไม่ต้องมีกว้างขวางนัก หลังจากที่มีการปฏิวัติอุตสาหกรรมเมื่อ 100
กว่าปีมานี้รวมทั้งการปฏิวัติทางการเกษตรกรรมเมื่อ 20-30 ปีก่อน ประชากรเพิ่มขึ้น
อย่างมาก ความต้องการน้ำจืดเพื่ออุปโภค บริโภคมีปริมาณมากขึ้น นักวิทยาศาสตร์
และนักการเมืองทั่วโลกเริ่มที่จะตระหนักถึงการขาดแคลนนํ้า ซึ่งจะเป็นผลต่อพืชพรรณ
ประชากรและสังคม (Battan, Louse, J., 1962 : 2)

แม้ว่าปีหนึ่ง ๆ จะมีฝนตกลงสู่ผิวโลกมากมาย ถึงที่นักวิทยาศาสตร์ได้
ประมาณไว้ว่า มีถึง 40 นิ้วต่อปี จำนวนนี้เฉลี่ยไ้วันละ 4×10^{11} ตันซึ่งบนภาคพื้นทวีป

มนุษย์ต้องใช้วันละ 2.5×10^{11} ตัน และถ้าปริมาณน้ำฝนดังกล่าวสามารถแบ่งให้เท่า ๆ กันแล้ว มนุษย์จะมีน้ำใช้ถึงคนละ 4 ตันต่อวัน (Ibid.p4) แต่รายเฉลี่ยนี้ไม่มีทางที่จะเป็นไปได้ เพราะฝนจะตกแตกต่างกันไปตามสถานที่และฤดูกาล ไม่มีบริเวณใด ๆ หรือเวลาใด ๆ เลยที่ฝนจะตกลงมาในปริมาณเท่ากัน

อย่างไรก็ตามในบรรยากาศที่หุ้มห่อโลกเราอยู่นี้มีไอน้ำเป็นส่วนผสมอยู่ ลีโอโพลด์ (Leopold) กล่าวว่าถ้ามนุษย์สามารถนำไอน้ำ ในอากาศลงมาใช้ได้ก็จะช่วยบรรเทาความเดือดร้อนของผู้ที่อาศัยอยู่ในบริเวณแห้งแล้งได้ สมมุติว่าในบรรยากาศของโลกในช่วงระยะเวลาหนึ่ง มีน้ำอยู่ประมาณ 3100 ลูกบาศก์ไมล์ แต่หาอยู่ในสภาพของไอน้ำ (น้อยกว่า $1/100,000$ ของน้ำทั้งหมดที่ในบรรยากาศจะรับได้) และถ้าปริมาณน้ำในบรรยากาศตกลงมาเป็นฝนทั้งหมด จะสามารถปกคลุมผิวโลกทั้งหมดสูงประมาณ 1 นิ้ว (Leopold, Luna, 1968 : 47)

การที่จะทำให้ไอน้ำในบรรยากาศกลั่นตัวตกลงมาเป็นฝนนั้น มนุษย์สามารถใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ ทำเป็นผลสำเร็จมาแล้ว การที่มนุษย์พยายามเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศนั้นเริ่มขึ้นในปี ค.ศ.1946 เมื่อ วินเซนต์ เจ. เชเฟอร์ และเออร์วิง แลงเมอร์ (Vincent J. Schaefer and Irving Langmuir) ซึ่งทำงานอยู่กับบริษัท เจเนอราล อีเลคทริก ลาบอราตอรีส์ ในนิวยอร์ก ได้ทำการทดลองโดยใช้น้ำแข็งแห้ง (dry ice) 2-3 กำมือโปรยจากเครื่องบินสูงก่อนเมฆ ทำให้บางส่วนของเมฆสลายตัวไป ขณะเดียวกันก็ทำให้มีหิมะค่อย ๆ ตกลงสู่พื้นดิน จากประสบการณ์ทำให้เป็นความรู้เบื้องต้นแก่ นักเรื่องเมฆ (Cloud Physicist) ใช้สร้างพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ในการแปลงสภาพอากาศ (The scientific basis of weather modification) (Battan, Louse, J., 1962:89-91)

หลังจากนั้นได้มีกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ชาติต่าง ๆ พยายามปรับปรุงหลักการและวิธีการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศกันอย่างแพร่หลายทั้งในสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และอังกฤษ

ในต้นปี ค.ศ. 1950 ได้มีการทำฝนเทียมเพื่อการค้าขึ้น และสามารถเพิ่มปริมาณน้ำฝนได้ตั้งแต่ 50-100 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพะกาลอากาศในท้องถิ่นนั้นด้วย การทำฝนเทียมนี้สามารถช่วยลดอัตราการประสมภาวะขาดแคลนน้ำของพืชได้อย่างมาก ทำให้เกษตรกรไม่ต้องสูญเสียเงินที่ลงทุนไปแล้ว

อย่างไรประโยชน์ (Battan, Louse, J., 1962 : 103)

สำหรับการทำแผนหลวงในประเทศไทยนั้น ขณะนี้อยู่ในระหว่างการทดลอง และวิจัย พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงสนพระทัยมาก ทรงติดตามผลการปฏิบัติการอยู่เสมอ และพระราชทานข้อคิดเห็นที่จะขจัดปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ทำให้การทำแผนหลวงในประเทศไทยก้าวหน้าขึ้นมาก ทั้งสูตรเทคนิคต่าง ๆ วิธีการ และขั้นตอนในการปฏิบัติการทำแผนหลวง

การทดลองปฏิบัติการแผนหลวงไม่อาจกระทำในห้องปฏิบัติการใด ๆ ได้ ต้องทดลองปฏิบัติในท้องฟ้าในช่วงที่เกิดความแห้งแล้งอย่างแท้จริง ฉะนั้นผลของการค้นคว้าทดลองปฏิบัติการ จึงเป็นประโยชน์โดยตรงต่อราษฎร (คณะปฏิบัติการแผนหลวง, 2518 : 3)

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่จะบังคับเมฆให้กลายเป็นฝนตกลงสู่ พื้นดินนั้นคือเวลา ของการปฏิบัติการก่อฝนท่วงที่กับการก่อตัวของเมฆชนิดที่ทำให้เกิดฝน เพราะเมฆ ชนิดนี้เปรียบเสมือนกลังที่เก็บเอาความชุ่มชื้นไว้ตามธรรมชาติ มีเมฆที่ก่อตัวมา นั้นอาจสลายตัวหรือลอยผ่านพ้นไปแหล่งอื่นเสียก่อน (คณะปฏิบัติการฝนเทียม, 2513 : 67-68)

ฝนเทียมของประเทศไทยนั้นมีชื่อเสียงขจรกระจายไปทั่วโลกแล้ว ในฐานะที่เป็นประเทศแรกในโลก ที่ทำฝนได้ผลดีมีรากาณที่สุด และสามารถทำให้ฝนตกลง ได้ตรงเป้าหมาย

ที่เราเรียกกันว่าฝนเทียม จนเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายซึ่งเป็นคำที่ หนังสือพิมพ์และบุคคลทั่วไปเรียกกันจนติดปาก ความจริงแล้วฝนเทียมก็น้ำฝน แท้มันเอง แลความมนุษย์เราได้ใช้ความพยายามนำเอาวิทยาศาสตร์เข้าไปช่วย ธรรมชาติทำให้เกิดในเวลาและตามบริเวณที่กำหนด

แต่ที่จริงแล้วน้ำฝนที่ตกลงมา ก็มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับน้ำฝนที่ตกลงมา ตามธรรมชาตินั้นเอง ใช้อาบ ใช้บริโภค ได้อย่างดี ไม่มีอันตรายเป็นที่ทราบกันคืออยู่ แล้วว่า ฝนธรรมชาติมันเกิดจากไอน้ำในอากาศรวมตัวกันเกิดเป็นเมฆ เมื่อเมฆรวม ตัวกันหนาแน่น และสภาพของอากาศอำนวย ก็จะเกิดฝนตกขึ้นเองตามธรรมชาติ หากว่าสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยให้ เมฆก็จะลอยกระจัดกระจายเคลื่อนตัวไปตามทิศทางลมหมด

มนุญจึงไปกระตุ้น หรือใช้สารเคมีที่เหมาะสมไปทำให้เกิดเมสรวมเมฆ เหล่านั้น จนเป็นก้อนใหญ่ มีความหนาแน่นอย่างเพียงพอแล้วก็ใช้สารเคมีไปบังคับ ทำให้ฝนตกลงสู่พื้นที่ ตามเป้าหมายในระยะเวลาที่ต้องการแทนที่จะปล่อยให้เมฆลอยไปตามสายลม

จึงมีผู้กล่าวว่า ฝอยฝนเทียมที่ไม่เหมาะสมเพราะน้ำฝนที่ตกลงมาเป็นน้ำฝนธรรมชาติ ธรรมชาติเอง แก่ก็เกิดหาซื้อที่เหมาะสมกันมานาน จนเมื่อคราวที่ไปทำฝนพิชิตน้ำเน่าที่ราชบุรี เมื่อเดือนพฤษภาคม 2516 ราษฎรพากันเรียกฝนที่ตกลงมาครั้งนี้ว่า "ฝนหลวงพระราชทาน" ราษฎรทั่วไปจึงเรียกว่า "ฝนหลวง"

ฝนหลวงนอกจากจะมีประโยชน์ดังที่กล่าวมาแล้ว ฝนหลวงยังช่วยในการสร้างป่าเพื่อรักษาต้นน้ำลำธาร เป็นการพิทักษ์รักษาอนุรักษ์ธรรมชาติเอาไว้ ช่วยให้มีความชุ่มชื้นเพื่อปล่อยน้ำท่ากระแสน้ำ และการเพาะปลูกนาปรังการ

มีเพียงแก่การเรียกเมฆมาฝนให้ตกลงมาเท่านั้น ยังสามารถช่วยได้ เมฆทำลายฝน ไล่หมอกได้ด้วย ซึ่งใช้ประโยชน์ในกิจการบินและการทหารอีก นกมีประการด้วยหลักการอันคล้ายคลึงกัน (ราชวรุณ, สถาปัตย์ ปรึคา, 2516 : 49 - 50)

เพื่อเป็นการสนับสนุนโครงการปฏิบัติการฝนหลวงในประเทศไทยให้ได้ผลดียิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่าน่าจะได้มีการวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ทางอุตุนิยมวิทยาว่าจะมีความสัมพันธ์ในลักษณะใดกับโอกาสการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างใด ผลสำเร็จและองค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยาในที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย ในช่วงเวลาที่ต่างกัน จะมีส่วนช่วยให้การปฏิบัติการฝนหลวงมีโอกาสพบความสำเร็จเพียงใด

ทั้งนี้เพื่อให้คณะปฏิบัติการฝนหลวง ได้มีข้อมูลเบื้องต้นเพื่อนำไปพิจารณาประกอบการปฏิบัติการฝนหลวงในสถานที่ต่าง ๆ ในช่วงเวลาที่ต่างกันเพื่อช่วยให้การปฏิบัติการฝนหลวงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ได้ผลสำเร็จสมความปรารถนาและลงทุนในการปฏิบัติการทั้งเวลาและเงินทราน้อยที่สุด และในขณะเดียวกันก็จะทำให้การช่วยบรรเทาความเดือดร้อนของประชาชน อันเนื่องมาจากฝนแล้ง ฝนทิ้งระยะ โดยการทำฝนหลวงนั้น เป็นไปอย่างทั่วถึง ซึ่งจะทำให้เกิดผลเสียหายต่อพืชพันธุ์และเศรษฐกิจของประชาชนที่ไ้ลงทุนลงแรงเพาะปลูกไปแล้วนั้นน้อยที่สุดอีกด้วย

ความมุ่งหมายของการศึกษา

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางอุทุนิยมวิทยา ที่ใช้ในการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละตัวแปร
2. เพื่อหาความคับขันขององค์ประกอบทางอุทุนิยมวิทยา กับโอกาสการเกิดฝนหลวง
3. เพื่อกำหนดหาสมการที่เหมาะสมขององค์ประกอบทางอุทุนิยมวิทยา ทั้งหมด ที่มีผลต่อโอกาสการเกิดฝนหลวง
4. เพื่อนำข้อมูลทางอุทุนิยมวิทยาของแต่ละสถานี ในแต่ละเดือนมาคำนวณตามสมการในข้อ 3 เพื่อหาว่าในแต่ละสถานี ในแต่ละเดือนจะมีโอกาสปฏิบัติการฝนหลวงได้ประสบความสำเร็จเพียงใด
5. เพื่อนำผลจากข้อ 4 มาสร้างเป็นแผนที่แสดงโอกาสทางปฏิบัติการฝนหลวงได้ประสบความสำเร็จในประเทศไทยเป็นรายเดือน

ความสำคัญของการศึกษา

1. สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาประกอบการปฏิบัติการฝนหลวงว่า ณ บริเวณปฏิบัติการหนึ่ง ในช่วงเดือนหนึ่ง ๆ จะมีโอกาสปฏิบัติการฝนหลวงได้ประสบความสำเร็จมากน้อยเพียงใด
2. สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการทำนายโอกาสปฏิบัติการฝนหลวงอย่างได้ประสบความสำเร็จ ของการปฏิบัติการในแต่ละครั้งได้
3. ทำให้ทราบรูปแบบของโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทยเป็นรายเดือน
4. ทำให้เกษตรกร และประชาชนทั่วไปได้เข้าใจธรรมชาติของฝนหลวงว่า การปฏิบัติการฝนหลวงมีไ้จะปฏิบัติการได้ได้ประสบความสำเร็จได้ในทุก ๆ สภาพอากาศ

สมมติฐานในการถกเถียง

1. สมการที่เหมาะสมในการบ่งบอกถึงโอกาสประสบความสำเร็จของการปฏิบัติการฝนหลวง น่าจะได้อิงดังนี้

$$\text{Prs.} = \Omega (\lambda^c + \beta \text{RH} - \theta T) + \alpha$$

เมื่อ Prs. = โอกาสการเกิดฝนหลวง
 c = ปริมาณเมฆชั้นต่ำ
 RH = ความชื้นสัมพัทธ์ภาคพื้นดิน
 T = อุณหภูมิภาคพื้นดิน

2. โอกาสการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างใดจะได้รับความสำเร็จ น่าจะ

- ก. เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ภาคพื้นดิน
- ข. เป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำในท้องฟ้า
- ค. เป็นปฏิภาคผกผันกับอุณหภูมิภาคพื้นดิน

3. องค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยา น่าจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และจะส่งผลต่อโอกาสการเกิดฝนหลวงด้วย โดย

- ก. ความชื้นสัมพัทธ์จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ
- ข. ความชื้นสัมพัทธ์จะแปรผันผกผันกับอุณหภูมิ
- ค. ปริมาณเมฆชั้นต่ำจะแปรผันผกผันกับอุณหภูมิ

ขอบเขตของการศึกษา

③ 1. องค์ประกอบที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณเมฆชั้นต่ำในท้องฟ้า ① ②

2. กรรวิธีในการหาฝนหลวงที่ใช้ในการศึกษา เป็นกรรวิธีที่ดีที่สุดที่คณะปฏิบัติการฝนหลวงใช้ในประเทศไทยในปัจจุบัน

3. ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการวิเคราะห์หารูปแบบโอกาสการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างใดจะได้รับความสำเร็จนั้น ได้ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศภาคพื้นดิน

สถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา (Synoptic Station) ซึ่งเป็นรายเฉลี่ยจากช่วง
เวลา 20 ปี ทั่วประเทศไทยจำนวน 49 สถานี

เกณฑ์ในการเลือกองค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยา

1. เป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการปฏิบัติการฝนหลวงโดยตรง
2. เป็นองค์ประกอบที่คณะปฏิบัติการฝนหลวงตรวจสอบสภาพทุกครั้งก่อนลงมือปฏิบัติการทำฝนหลวง
3. เป็นองค์ประกอบที่ กองอากาศประจำถิ่น กรมอุตุนิยมวิทยาได้รวบรวมและหากำเฉลี่ยไว้ในรอบ 20 ปี

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การทำฝนหลวง การทำฝนเทียม (Rain making) คือปฏิบัติการที่มนุษย์ก่อความสภาพอากาศ เร่งให้เมฆรวมตัวกันหนาแน่นจนขนาดใหญ่ขึ้นและก่อยอดสูงอย่างรวดเร็ว แล้วเร่งให้เมฆนั้นตกลงมาเป็นฝน
2. ฝนหลวง ฝนเทียม (Artificial Rainfall) คือฝนที่เกิดจากการที่มนุษย์ปฏิบัติการก่อความสภาพอากาศ เร่งให้เมฆรวมตัวกันหนาแน่นจนขนาดใหญ่ขึ้นและก่อยอดสูงอย่างรวดเร็ว แล้วเร่งให้เมฆนั้นตกลงมาเป็นฝน
3. องค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยา หมายถึง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณเมฆชั้นต่ำในท้องฟ้า
 - ก. อุณหภูมิ เป็นอุณหภูมิภาคพื้นดิน ที่ตรวจได้ในช่วงเวลาก่อนที่จะมีการปฏิบัติการทำฝนหลวง
 - ข. ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นความชื้นสัมพัทธ์ ภาคพื้นดินที่ตรวจได้ในช่วงเวลาก่อนที่จะมีการปฏิบัติการทำฝนหลวง
 - ค. ปริมาณเมฆชั้นต่ำในท้องฟ้า เป็นปริมาณเมฆชั้นต่ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และตรวจปริมาณได้ในช่วงเวลาก่อนที่จะมีการปฏิบัติการทำฝนหลวง

4. โอกาสการเกิดฝน คือ ถ้าที่แสดงให้เห็นว่าในการปฏิบัติการฝนหลวง
แต่ละครั้ง โอกาสที่ฝนจะตกมาจากการปฏิบัติการนั้นมีค่ามากน้อยเพียงใด

5. รูปแบบของโอกาสของการเกิดฝนหลวง ในประเทศไทย คือรูปที่เกิด
จากการสร้างเส้นฝนหลวงเทียมจาก (Artificial rain isoline) ผ่านไปทาง
สถานีอุตุนิยมวิทยาที่มีโอกาสการเกิดฝนหลวง จากการคำนวณของ ~~คนที่~~ ทำ ๆ กัน
เป็นรายเดือน

บทที่ 2

ทฤษฎีอะงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปฏิบัติการพัฒนาหลวงนั้น ได้มีการค้นคว้าและวิจัยกันมาเป็นเวลาหลายปีและทำกันในหลายประเทศแล้วรวมทั้งในประเทศไทยเราด้วย จึงมีผู้ทำการศึกษาวจัยไว้พอสมควรเริ่มจากการทดลองครั้งแรกของ วินเซนต์ เจ. เชฟเฟอร์และออร์วิง แลงเมอร์ (Vincent J. Schaefer and Irving Langmuir) เมื่อปี ค.ศ. 1960 ในสหรัฐอเมริกาจนกระทั่งถึงการทดลองและฝึกหัดคำว่าเรื่องพัฒนาหลวงในประเทศไทย ซึ่งเริ่มทดลองปฏิบัติการครั้งแรกเมื่อ 1 กรกฎาคม 2512 การปฏิบัติการพัฒนาหลวงให้ได้ผลนั้นนอกจากต้องมีอุปกรณ์ สารเคมี และเทคนิควิธีการปฏิบัติการที่เหมาะสมแล้ว มัวยังทางธรรมชาติก็มีส่วนช่วยสนับสนุนอยู่ไม่น้อย สำหรับงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องนั้นมีดังนี้

เมฆกับการปฏิบัติการพัฒนาหลวง

เมฆในท้องฟ้านี้มีด้วยกันหลายชนิด มีทั้งเมฆชนิดที่ร้อนที่จะตกลงมาเป็นฝนได้หรือเมฆชนิดจะสามารถกระตุ้นในเมฆกลายเป็นฝนได้ กับเมฆชนิดที่ไม่ร้อนจะตกมาเป็นฝนและเมฆชนิดที่ไม่สามารถกระตุ้นหรือบังคับให้ตกลงมาเป็นฝนได้ คณะปฏิบัติการพัฒนาหลวงกล่าวว่า ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการที่จะบังคับเมฆให้กลายเป็นฝน ตกกลงสู่พื้นดินก็คือ เวลาของการปฏิบัติการซึ่งต้องทันช่วงที่กับการก่อตัวของเมฆที่ต่ำ ให้เกิดฝน เพราะเมฆชนิดนี้เปรียบเสมือน กลังที่เก็บเอาความชุ่มชื้นไว้ตามธรรมชาติ ฉะนั้นเมฆฝนที่ก่อตัวขึ้นอาจละลายตัว หรือลอยผ่านพ้นไปสู่แหล่งอื่นเสียก่อน

เมฆชนิดที่ต่ำได้เกิดฝนนี้เรียกว่า กิวมูลัส (Cumulus) ซึ่งมีลักษณะคล้ายปุยขนแกะ (ฐานล่างของก้อนเมฆมีสีเทาดำ ตอนบนหรือยอดเมฆเป็นปุยสีขาวหรือเทาอ่อน ๆ) ฉะนั้นการปฏิบัติการบังคับให้เกิดมีฝนตกลงมาได้นั้น จึงต้องมีเมฆชนิดนี้ลอยอยู่ในแนวบริเวณที่ต้องการให้มีฝนตกเท่านั้น และจากผลการค้นคว้าเกี่ยวกับ

เรื่องนี้ ในประเทศออสเตรเลีย ปรากฏว่าเมฆคิวมูโลสตราจะมีความหนาเกิน 1,700 เมตรและการค้นคว้าในอ่าวายพบว่า เมฆคิวมูโลสนี้จะต้องมีความหนามากกว่า ระยะความสูงระหว่างฐานเมฆกับพื้นดิน นอกจากนี้ยังทดลองบังคับเมฆชนิดอื่น เช่น เมฆ สเตรกัส หรือเมฆเซอร์รัส (Stratus or Cirrus) ให้กลายเป็นฝนตกแต่ไม่ได้ผล (คณะปฏิบัติการฝนเทียม, 2513:67-68)

พลเรือโทสนธิ เวสารัชชานนท์ (สนธิ, 2512:2-3) กล่าวว่าฝนตกจากเมฆที่ลอยอยู่ในอากาศ เมฆเหล่านี้ประกอบไปด้วยละอองน้ำอันเล็กละเอียด (Minuscule drops of Moisture) ซึ่งเกิดจากไอน้ำในอากาศกลั่นตัวละอองน้ำไม่สามารถตกลงมาได้เพราะมีขนาดเล็กละเอียด และสรุปในตอนท้ายว่า การที่เราเห็นมีเมฆในท้องฟ้าแต่ไม่มีฝนตกลงมา เป็นด้วยเหตุดังต่อไปนี้คือ

1. ยังมีเมฆไม่หนาแน่นมากอยู่ในท้องฟ้า
2. ขนาดของเม็ดละอองน้ำในเมฆยังมีขนาดเล็ก ไม่มีน้ำหนักพอที่จะตกลงมาถึงพื้นดิน

จารย์เชอร์ เอ็น สตราเลอร์ (Strahler, 1969:189-190) กล่าวว่าเมื่อสภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้เมฆคิวมูโลสกลายเป็นเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) ซึ่งเป็นเมฆที่ทำให้เกิดฝนตกหนัก มีฟ้าแลบ ฟ้าร้อง และลมกระโชก เมฆคิวมูโลนิมบัสอาจอยู่สูงจากพื้นดิน 1,000-2,000 ฟุต (300-600 เมตร) และจากฐานเมฆถึงยอดเมฆอาจสูงถึง 30,000 หรือ 40,000 ฟุต

ส่วนเชอร์เบอร์ท ไรห์ล (Herbert Riehl) กล่าวว่าเมื่อเมฆคิวมูโลสถูกยกตัวสูงขึ้น จะทำให้มันมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีเกล็ดน้ำแข็งปรากฏอยู่บนยอดเมฆ อันขาวสะอาด รูปทรงของเมฆเป็น แบบ ทังทีมีด (Anvil-shaped) ภายในก้อนเมฆยังมีกระแสอากาศพัดขึ้นพัดลงด้วยความเร็วสูง เมฆชนิดนี้เรียกว่า คิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) เป็นเมฆที่ทำให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนองและกาสอากาศในลักษณะอื่น ๆ (Riehl, Herbert, 1965:79)

ที แอล เชอเรสเชวสกี (P.L. Schereschewsky) ได้นำคำจำกัดความของโฮเวิร์ด (Howard, 1803:7) มาอธิบายเมฆคิวมูโลสว่า เป็นเมฆขนาดหนา

ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางตั้ง มักจะปรากฏตัวในช่วงเวลาที่อากาศมีการยกตัว บนภาคพื้นทวีปจะมีเมฆชนิดนี้ปรากฏในตอนเช้าและอาจมีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเล็กลงก็ได้ไปจนกระทั่งเย็น

โดยทั่วไปแล้วเมฆคิวมูลัสจะมีสี่เท่า เมื่อเมฆชนิดนี้มีการเปลี่ยนแปลงอาจจะทำให้เกิดฝนตกได้เบาบาง (Schereschewsky, P.L., 1945 : 890)

พี.แอล. เซอเรสเชวสกี ยังได้นำคำจำกัดความของวิลแบช (Weilbach, 1880 : 27) ที่อธิบายถึงลักษณะของเมฆคิวมูโลนิมบัสมากล่าวไว้ด้วยว่า เมฆชนิดนี้จะทำให้เกิดฝนปรอย ๆ หรือมีหิมะ บางทีก็มีลูกเห็บตามปกติ จะมีพายุฝนฟ้าคะนองด้วย (Ibid; pp 890 - 891)

วิลเลียม แดค ดอนน์ (William L. Donn) ได้อธิบายถึงลักษณะและคุณสมบัติของเมฆคิวมูลัสว่า เมฆคิวมูลัสเป็นเมฆที่มีสีขาวซึ่งจะปรากฏให้เห็นอยู่เสมอในฤดูร้อน อย่างไรก็ตามอาจจะเกิดในฤดูอื่น ๆ ได้ เมฆชนิดนี้เป็นเมฆที่มีฐานแบน และเพิ่มความหนาขึ้นในแนวตั้ง จนกระทั่งมียอดเมฆคล้ายดอกกระหล่ำปลี การปกติของเมฆคิวมูลัสเป็นสัญลักษณ์ของอากาศที่ ค่ำจางที่พายุฝนฟ้าคะนองใกล้ผ่านไป แล้วเมฆคิวมูลัสฐานแบนนี้จะปรากฏติดตามมาทันที และมีความสูงของยอดเมฆไปจากนัก นักจะค่อย ๆ ลดผ่านข้ามท้องฟ้าไป ระดับฐานของเมฆชนิดนี้แต่ละก้อนเกือบจะอยู่ในระนาบเดียวกัน และมีความสูงเท่ากับระดับของจุดน้ำค้าง (dew-point level) การปกติของเมฆมักจะพัดผ่านเมฆคิวมูลัสเป็นทางไป ทำให้เมฆถูกแบ่งออกเป็นก้อนเล็ก ๆ เราเรียกเมฆที่เกิดจากการกระทำของลมดังกล่าวว่า แฟลคโต คิวมูลัส (fractocumulus)

ส่วนเมฆคิวมูโลนิมบัสนั้น ดอนน์กล่าวว่า เป็นเมฆที่เจริญเติบโตมาจากเมฆคิวมูลัส จะมีความสูงเพิ่มขึ้นมาก จากฐานเบงถึงเมฆสูงประมาณ 2-5 ไมล์ เมื่อเมฆโตขึ้นขนาดนี้แล้ว จะทำให้เกิดพายุ ฝนฟ้าคะนอง เราอาจเรียกเมฆชนิดนี้ว่า ฮีธเธด (Thunderhead) ก็ได้ เมฆชนิดนี้แต่ละก้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งรูปร่างและรูปร่างในขณะที่มีลมพัดขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งเมื่อเมฆคิวมูโลนิมบัส โตเต็มที่ แล้วอาจเมฆก็จะแบนราบและเบี่ยงไปตามทิศทางของลมจนทำให้มีลักษณะคล้ายทั้งที่เด็ก (Donn, William L., 1965 : 102 - 103)

สตริงเกอร์ (E.T. Stringer) กล่าวว่าโดยปกติแล้วเมฆคิวมูลัสเป็นเมฆที่เก็บหยากน้ำไว้ เมฆชนิดนี้มีความชื้นสูงและกระแสอากาศเคลื่อนตัวในแนวตั้งอยู่ตลอดเวลา ถ้าเมฆชนิดนี้มีความสูงมากขึ้นก็หมายความว่า มันเก็บน้ำได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำจากเมฆคิวมูลัสนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะของเมฆเพียงอย่างเดียว แต่มันขึ้นอยู่กับลักษณะของอากาศโดยรอบเมฆนั้นด้วยเพราะอากาศโดยรอบจะเป็นตัวการควบคุม กำหนดปริมาณกระบวนการเกิดก้อนตัวของอากาศในก้อนเมฆในทางนี้ (Stringer, E.T., 1972 : 318)

จากการปฏิบัติการฝนหลวงในประเทศไทย นายเมฆา รัตตะยิทธิ เจ้าหน้าที่ยฝ่ายวิชาการ คณะปฏิบัติการฝนหลวงเห็นว่า การปฏิบัติการฝนหลวงให้ได้ผลนั้นไม่จำเป็นต้องปฏิบัติการจากเมฆคิวมูลัสเท่านั้น หากช่วยธรรมชาติอย่างถูกต้องแล้วแม้ในสภาพท้องฟ้าโปร่งใสปราศจากเมฆที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือเกิดขึ้นอยู่บ้างเพียงเล็กน้อยก็ตาม ก็สามารถจะสร้างเมฆที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเพียงเล็กน้อยให้หนาแน่น และสามารถที่จะบังคับให้ฝนตกลงสู่เป้าหมายได้ในที่สุด

(เมฆา รัตตะยิทธิ, 2514 : 5)

ความสัมพันธ์กับการปฏิบัติการฝนหลวง

ความสัมพันธ์ในบรรยากาศ เป็นองค์ประกอบสำคัญประการหนึ่งในการเกิดของหยากน้ำฟ้าตามธรรมชาติ แม้แต่ในการทำฝนหลวงก็ตาม ดังที่พลเรือโทสนธิ เวสารัชชานันท์ กล่าวว่า การทำฝนเทียมนั้นจะต้องทำในลักษณะอากาศที่มีความชื้นเพียงพอ และในท้องฟ้ามีเมฆชนิดที่จะทำให้เกิดฝนตกได้โดยธรรมชาติอยู่แล้วถึงนั้นการจะทำให้ฝนตกลงมานั้นทำได้โดย

ก. ทำให้เมฆในท้องฟ้าหนาแน่นขึ้น

ข. ทำให้หยากของเมฆจะตกลงน้ำในเมฆก้อนที่จะตกลงมาเป็นฝน

(สนธิ เวสารัชชานันท์, 2512 : 3)

คณะปฏิบัติการฝนหลวงได้กล่าวไว้ในเรื่องสารเคมีที่ใช้ในการปฏิบัติการฝนหลวงว่า ผงเกลือแ่งเป็นสารที่ดูดซับความชื้นได้ดี แม้ในสภาพอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์เพียง 60-70% ส่วนผงแคลเซียมคลอไรด์นั้น ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต้องมีความชื้นสัมพัทธ์อย่างน้อย 70 % ผงแคลเซียมคาร์บอเนตมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 80% ขึ้นไป ผงยูเรียต้องมีความชื้นสัมพัทธ์ 70% ขึ้นไป (คณะปฏิบัติการฝนหลวง, 2518 : 2)

และในกรรมวิธีทำฝนหลวง คณะปฏิบัติการฝนหลวงยังกล่าวว่า การทำฝนหลวงขึ้นอยู่กับสภาพพื้นอากาศเป็นสำคัญ เช่นมีความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสมควรตั้งแต่ 70% ขึ้นไปจึงปฏิบัติการได้ผลดี (ค.หน้า 3)

อาจารย์ปฏิพัทธ์ เทตวิวัฒน์ศิริ ได้สรุปผลจากการร่วมปฏิบัติการฝนหลวงกับคณะปฏิบัติการฝนหลวง กระทรวงเกษตรฯ ระหว่างวันที่ 24-31 2518 ว่า

จากการศึกษาลักษณะอากาศจากแผนที่อากาศและข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ในช่วงเวลาที่ปฏิบัติการฝนหลวงนี้ จะสังเกตเห็นได้ว่าวันที่มีฝนตกอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี คือ วันที่ 27 พ.ค. ในบริเวณที่เป็นเป้าหมายนั้นลักษณะอากาศอำนวยกว่าวันอื่น ๆ คือ

1. ร่องความกดอากาศต่ำได้เคลื่อนตัวลงมามากที่สุดและรุนแรงขึ้นในวันดังกล่าวโดยภาคเหนือตอนบนสุดของประเทศไทย ประกอบด้วยแผนที่ลมในระดับ 2,000 - 5,000 ฟุต มีลักษณะของสตรีมไลน์เทรอฟ (Streamline trough) ปรากฏภาคเหนือจากถนนปางป๋องกอด มายังพม่าผ่านภาคเหนือของประเทศไทย โดยเฉพาะระดับ 2,000 ฟุต ปรากฏว่ามีลมหมุน (Cyclonic Vortex) ปกคลุมอยู่ในจังหวัดแพร่บุรีร์ พินธุโลก และนครสวรรค์อย่างชัดเจน
2. ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาในวันดังกล่าวซึ่งตรวจได้ในเวลา 7.00 น. เปรียบเทียบกับวันอื่น ๆ จะเห็นว่า

- ลักษณะของเมฆก่อนปฏิบัติการปรากฏว่ามีเมฆชั้นต่ำชนิดแผ่น กำลังก่อตัวขึ้นเรื่อย ๆ

- ความชื้นสัมพัทธ์สูงถึง 94% และค่าความกดอากาศที่ผิวพื้นลดต่ำกว่าวันอื่น ๆ ในช่วงปฏิบัติการถึง 1008.4 มิลลิบาร์

(ปฏิพัทธ์ พัทธวิวัฒนศิริ, 2518 : 3)

ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศนั้นมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับการกลั่นตัวของละอองน้ำในบรรยากาศ ดังที่ เกลน ที เทรวาร์ธา (Glenn T. Trewartha) กล่าวว่า ความชื้นในบรรยากาศหมายถึงสมรรถนวิสัยของอากาศในการรับไอน้ำ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศเป็นสำคัญ และ เทรวาร์ธา กล่าวต่อไปว่าการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศจะเกิดขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นและเมื่ออากาศใกล้จุดอิ่มตัวไอน้ำ (Trewartha, Glenn T., 1954 : 114-118)

อนุภาคของเมฆทุกชนิด จะมีกำเนิดมาจากการ ความแน่นของไอน้ำบนอนุภาคใดอนุภาคหนึ่ง อนุภาคนิกต่าง ๆ นั้น อาจเป็นหยดน้ำ เกล็ดน้ำแข็งหรืออาจมีทั้งสองอย่างปนกัน

เมฆชนิดที่เป็นน้ำ (Water clouds) จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์เกิน 100% โดยมีการความแน่นบนอนุภาคที่เหมาะสม เมื่อการความแน่นสิ้นสุดลงไอน้ำในบรรยากาศก็จะลดลง ความชื้นสัมพัทธ์ก็จะไม่ถึง 100% เช่น เดิมอีก

ความชื้นสัมพัทธ์ที่แท้จริงนั้น จะขึ้นอยู่กับอัตราของภาวะเย็น (Rate of cooling) และจำนวนอนุภาค (nuclei) ที่จะเป็นตัวทำให้ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเปลี่ยนไป อย่างไรก็ตามปริมาณการกลั่นตัวนั้นไปก็เปลี่ยนไปรวดเร็วเช่นเดียวกับความชื้นสัมพัทธ์ และบางครั้งการกลั่นตัวก็ขึ้นอยู่กับอัตราความเป็นที่มีอุณหภูมิต่ำลง

จากการทดสอบและเปรียบเทียบของ สไกวเรส และ ทูเมย์ (Squires and Twomey) ในปี 1960 ทูเมย์และวอร์เนอร์ (Twomey and Warner) ในปี 1967 พบว่าถ้าเราวัดจำนวนของอนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศได้ เราก็จะสามารถหาจำนวนหยาดเมฆ (Cloud droplet) ได้ (SMIC, 1971 : 220 - 221)

ฮอเรช โรเบอรัท ไบเวอร์ส กล่าวว่าความชื้นสัมพัทธ์ เป็นปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เพราะเป็นอัตราส่วนของไอน้ำในบรรยากาศ 22 ชนิด คือ ปริมาณไอน้ำที่แท้จริง (Actual Vapor Pressure) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามความกดกัน กับไอน้ำที่อากาศจะอิ่มตัว (Saturation Vapor Pressure) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ จะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความสูงด้วย จากสถานีตรวจอากาศส่วนมากแล้วพบว่าในรอบวันนั้นความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงอย่างกว้างขวางและจะแปรผันเป็นปฏิกาลกลับกันอุณหภูมิด้วย (Byers, 1959 : 112)

การเปลี่ยนแปลงของไอน้ำตามความสูงนั้น จากหนังสือของ SMIC กล่าวว่าปริมาณไอน้ำจะลดลงประมาณ $\frac{1}{3}$ ของระดับเดิมเมื่อขึ้นไปสูงกว่าระดับนั้น ทุก ๆ 2 กม. นอกจากนี้ยังพบว่าไอน้ำจะลดลงตามแนวละติจูดอีกด้วย กล่าวคือ ละติจูดยิ่งสูงขึ้นปริมาณไอน้ำในบรรยากาศจะลดลง เช่น บริเวณเส้นศูนย์สูตรจะมีปริมาณไอน้ำที่ทำให้เป็นหยาดน้ำฟ้าได้ 50 มม. ต่อหน่วย คอลัมน์ของบรรยากาศ (a Unit column of air) แต่บริเวณอาร์กติก จะมีเพียง 5 มม. และบริเวณแอนตาร์กติกจะมีเพียง 1.5 มม. เท่านั้น ยิ่งไปกว่านั้นปริมาณไอน้ำในบรรยากาศยังแปรเปลี่ยนไปตามฤดูกาลอีกด้วย (SMIC, 1971 : 240 - 241)

การแปรผันของความชื้นในบรรยากาศนั้น สัมพันธ์กันอย่างมากกับอุณหภูมิ คอนน์ (Donn, 1965 : 46 - 48) กล่าวว่าตามปกติแล้วอากาศร้อนอุ้มไอน้ำได้ดีกว่าอากาศเย็นความสามารถในการอุ้มไอน้ำของอากาศนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศโดยรวม ความสามารถของอุณหภูมิ หนึ่งสามารถอุ้มปริมาณไอน้ำได้สูงสุดปริมาณหนึ่งเราเรียกว่า สมรรถณวิสัย (Capacity) และถ้าอากาศ ๗ อุณหภูมิหนึ่งมีไอน้ำอยู่จนเต็มสมรรถณวิสัย เราเรียกอากาศในขณะนั้นว่า "อิ่มตัวด้วยไอน้ำ"

การที่อากาศจะถึงจุดอิ่มตัวด้วยไอน้ำนั้น จะเกิดขึ้นได้ 2 วิธีด้วยกัน คือ (1) ถ้าอุณหภูมิหรือหนึ่งหนึ่งคือสมรรถณวิสัยคงที่ อากาศจะถึงจุดอิ่มตัวเมื่อมีไอน้ำเพิ่มเข้าไปในอากาศโดยการระเหยจากแหล่งน้ำต่าง ๆ หรือ (2) ถ้าอุณหภูมิลดลง

ซึ่งจะทำให้สมรรถวิสัยลดลงด้วย จนกระทั่งเท่ากับปริมาณไอน้ำที่แท้จริงในบรรยากาศ อากาศก็จะอึดตัวด้วยไอน้ำอีกเช่นกัน

การกลั่นตัวกับการปฏิบัติการณ์หลวง

ในบรรยากาศนั้นตามปกติจะมีไอน้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญประการหนึ่ง ไอน้ำในบรรยากาศจะไม่มีผลสำคัญเลยถ้าไม่มีการกลั่นตัว (Condensation) ของไอน้ำเหล่านั้นเพราะการกลั่นตัวนั้นเป็นเบื้องต้นของหยาดน้ำฟ้าต่าง ๆ ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและมนุษย์ทำให้เกิดขึ้น พลเรื่อโทสนิช เวสารัชชณันท์ กล่าวว่า การทำให้ไอน้ำเมฆหนาแน่นขึ้นก็ก่อ ทำให้ไอน้ำในอากาศกลั่นตัวเป็นละอองน้ำของเมฆ ใ้หมากขึ้นเมฆจึงจะเพิ่มพูนทวีหนาแน่นขึ้นอีก มีวิธีการที่จะทำได้ 2 วิธีคือ การเพิ่มปริมาณไอน้ำในอากาศให้มากขึ้นเรื่อย ๆ จนอากาศอึดตัวด้วยไอน้ำไม่ว่าจะอึดไอน้ำต่อไปอีกได้ และในที่สุดก็กลั่นตัวเป็นละอองน้ำของเมฆอีกวิธีหนึ่งคือ ทำให้อากาศเย็นลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าขีดที่จะอึดไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศไว้ได้และกลั่นตัวออกเป็นละอองเมฆ วิธีที่สองนี้เป็นวิธีการที่ใช้ในการทำฝนเทียมในปัจจุบัน (สนิช เวสารัชชณันท์, 2512 : 3)

การกลั่นตัว (Condensation) เป็นสาเหตุโดยตรงของหยาดน้ำฟ้าชนิดต่าง ๆ การกลั่นตัวจะเกิดได้ในสภาวะต่าง ๆ กัน ซึ่งจะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของอากาศอุณหภูมิ ความกดดันหรือความชื้นตามปกติการกลั่นตัวจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง แต่ปริมาตรของอากาศยังคงที่และอากาศเย็นลงจนถึง จุดน้ำค้าง (Dew point) หรือเกิดเมื่อปริมาตรอากาศเพิ่มขึ้นแต่อุณหภูมิมิได้เพิ่มขึ้น (ซึ่งจะเกิดเมื่อมีการขยายตัวแบบอะเดียแบติก-adiabatic) หรือเกิดเมื่อทั้งอุณหภูมิและปริมาตรอากาศลดลง ทำให้สมรรถวิสัยในการอึดไอน้ำของอากาศลดลง

ในเรื่องการกลั่นตัวนี้ "แกนการกลั่นตัว" (Condensation nuclei) นั้นเป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่ง การกลั่นตัวจะเกิดได้ยากในอากาศบริสุทธิ์ ไอน้ำจะเกาะหาในผิวที่เหาะสมมันจึงจะสามารถกลั่นตัวได้ ถ้าอากาศบริสุทธิ์มีอุณหภูมิต่ำกว่า

จุดน้ำค้างมันจะกลายเป็นอากาศที่อิ่มตัวไอน้ำอย่างเต็มที่ (Supersaturated - ความชื้นสัมพัทธ์ 100%) และการที่จะทำให้เกิดหยดน้ำจากอากาศบริสุทธิ์จะต้องมีความชื้นสัมพัทธ์ถึง 320% โดยจะไกละอองน้ำที่มีรัศมี 10^{-7} ซม. (0.001 ไมครอน)

ตามปกติแล้วการกลั่นตัวจะปรากฏบนพื้นผิวของสิ่งอื่น เช่น พื้นดิน ใบไม้ ซึ่งจะกลั่นตัวในรูปของน้ำค้าง ในอากาศเองการกลั่นตัวจะเกิดขึ้นรอบแกนเล็กๆ ที่เรียกว่า แกนไฮโกรสโคปิก (Hygroscopic nuclei) แกนเหล่านี้ได้แก่สารพวก ผุ่น คาร์บอน กัมมะถันออกไซด์ เกลือแกง และอนุภาคของสารอื่น ๆ ที่มีขนาดเล็กมาก (Barry, R.G. and Chorley, R.S., 1968 : 67 - 69)

มิดเดิลตัน (Middleton) ได้สรุปผลการทดลองของ คูลลิเออร์ (Coulter) อี.อี.เอ็น. มาสการ์ท (E.E.N. Mascart) และไอท์เคน (Aitken, John) ว่า พื้นฐานเบื้องต้นที่สำคัญยิ่งของการกลั่นตัวก็คือการที่ไอน้ำต้องรวมตัวกันรอบ ๆ แกนการกลั่นตัว การกลั่นตัวจะเกิดขึ้นได้ แม้ว่าในอากาศนั้นจะไม่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ และเมื่อยังมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นด้วยแล้วก็จะทำให้มีหยดน้ำเพิ่มขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้มีหมอกแดด (Haze) หนาแน่นขึ้นในบรรยากาศ (Middleton, W.E. Knowles, 1965 : 172 - 176)

ส่วนไบเยอร์ (Byers) กล่าวว่าจากการทดลองมาเป็นเวลานาน พบว่าการที่ไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นของเหลวจะต้องเกิดขึ้นรอบ ๆ แกนการกลั่นตัว แกนเหล่านี้เป็นผงฝุ่นขนาดเล็ก ที่ลอยลอยอยู่ในบรรยากาศเราเรียกว่า แอโรโซลส์ (aerosols) ฝุ่นที่จะเป็น แอโรโซลส์ที่แท้จริงต้องมีรัศมีน้อยกว่า 3 ไมครอน ส่วนฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่านี้ ก็มีในบรรยากาศเหมือนกัน แต่มันจะค่อย ๆ ตกลงสู่พื้นดินอย่างช้า ๆ ฝุ่นบางอย่างอาจมีสารประเภทไฮโกรสโคปิกผสมอยู่ สารเคมีดังกล่าวนี้มักจะมีส่วนผูกพันกับน้ำ ฝุ่นละอองแต่ละอนุภาคจะเป็นจุดเริ่มต้นที่จะทำให้เกิดหยดน้ำ มีขนาดใหญ่ขึ้นก่อนที่อากาศจะอิ่มตัวด้วยไอน้ำเสียอีก (Byers, H.R., 1959 : 341 - 342)

เทรวาร์ธา (Trewartha, Glenn T., 1954 : 119) กล่าวว่า

การกลั่นตัวจะเกิดขึ้นเมื่อมีแกนขนาดเล็ก (Microscopic nuclei) เท่านั้น โดยไอน้ำจะไปเกาะรอบ ๆ พื้นผิวของอนุภาคเหล่านั้น ซึ่งแต่เดิมมีความเชื่อกันว่าฝุ่นขนาดเล็ก (Microscopic dust) เท่านั้นที่จะทำให้เกิดการกลั่นตัว แต่ต่อมาพบว่าฝุ่นธรรมดา (Ordinary dust) ก็ทำให้เกิดการการกลั่นตัวได้ ซึ่งอนุภาคเหล่านี้เราเรียกว่า แกนไฮโกรสโคปิก (Hygroscopic nuclei)

ส่วนโลเอ็บแซค (Loebsack, Theo) กล่าวว่าอากาศก่อนที่มันจะกลั่นตัวได้ อากาศจำเป็นต้องมีฝุ่นผงหรืออนุภาคเกล็ดเป็นแกนเสียก่อน น้ำที่เป็นก๊าซจึงจะก่อตัวขึ้นได้คล้ายกับเป็นหนังที่จะหุ้มห่อแกน เมื่อมีภาวะถึงนั้นแล้วเมื่อน้ำจึงจะก่อตัวขึ้นได้

ตามปกติอากาศมีสิ่งไม่บริสุทธิ์เหล่านี้อยู่แล้วอย่างเพียงพอ ซึ่งถือว่าเป็นแกนแห่งการกลั่นตัว เพื่อช่วยให้ไอน้ำเปลี่ยนสภาพเป็นหยดน้ำ เหนือเมฆอุตสาหกรรมใหญ่ ๆ อากาศแต่ละหนึ่งลูกมากก้นี้ มีอนุภาคดังกล่าวนี้ถึง $2\frac{1}{2}$ ล้าน-อนุภาค (Loebsack, Theo, 1959 : 144 - 145)

แลมบ์ (Lamb) กล่าวว่า เมื่ออุณหภูมิของอากาศลดลง (ทั้งโดยการสัมผัสกับพื้นผิวที่เย็นกว่า หรือโดยการขยายตัว) จะทำให้อากาศในบริเวณนั้นถึงจุดอิ่มตัวด้วยไอน้ำแล้วการกลั่นตัวก็จะปรากฏขึ้น ในอากาศที่บริสุทธิ์จริง ๆ แล้ว สภาวะการอิ่มตัวด้วยไอน้ำ (Supersaturation) นั้นมีทางเป็นไปได้ แต่ว่าในบรรยากาศนั้นจะมีอนุภาคขนาดเล็กปะปนอยู่เสมอ ได้แก่เกล็ดซึ่งเกิดจากการระเหยของน้ำในมหาสมุทร อนุภาคเหล่านี้จะกลายเป็นแกนการกลั่นตัว เราเรียกว่า ไฮโกรสโคปิก (Hygroscopic) จะทำให้เกิดการกลั่นตัวขึ้นทั้ง ๆ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ยังต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ หยดน้ำหรือเกล็ดน้ำแข็งลำดับแรกนั้นเกิดขึ้นในลักษณะอนุภาคขนาดเล็ก (Microscopic) มีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียง 2-3 ไมครอน ตามปกติอนุภาคของสารต่าง ๆ ในบรรยากาศนั้นมีเป็นล้าน ๆ อนุภาคในบรรยากาศเพียง 1 ลิตร อนุภาคเหล่านี้จะค่อย ๆ ตกลงสู่พื้นผิวอย่างช้า ๆ ความเร็วในการตก (Fall - speed or Terminal velocity)

ของแต่ละอนุภาคช้ามาก อนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ไมครอน จะตกด้วยความเร็วเพียง 3 มม./วินาทีหรือ 200 เมตร/วัน และบางครั้งอนุภาคเหล่านั้นอาจลอยขึ้นลงได้แล้วแต่การเคลื่อนไหวของอากาศ (Lamb, H.H., 1972 : 353)

เคย์ (Day, John A., 1970 : 31) กล่าวว่า อากาศจะถึงจุดอิ่มตัวด้วยไอน้ำด้วยสาเหตุสองประการคือ

- ก. ไครับไอน้ำเริ่มเข้าไป โดยที่อุณหภูมิยังคงเดิม หรือ
 - ข. อุณหภูมิของอากาศลดลง จนถึงระดับที่ปริมาณของไอน้ำในอากาศซึ่งอุณหภูมิที่ลดลงไม่สามารถจะรับได้ ในปริมาณไอน้ำที่มีเท่าเดิม
- ทั้งสองวิธีนี้จะทำให้ไอน้ำซึ่งอยู่ในสภาวะเป็นก๊าซเปลี่ยนเป็นละอองน้ำและทำให้ ไอน้ำเล็ก ๆ รวมตัวกันละอองน้ำมากยิ่งขึ้น จนกลายเป็นหยดน้ำเล็ก ๆ ซึ่งจะกลายเป็นเมฆในที่สุด

อนุภาคของฝุ่นละอองในบรรยากาศนั้น นอกจากจะเกิดตามธรรมชาติแล้ว มนุษย์ก็มีส่วนอย่างมากในการผลิตอนุภาคขนาดจิ๋วเหล่านั้นให้ฟุ้งกระจายเข้าสู่บรรยากาศ ดังเช่น ซูลเลจ (Soulage - 1967) และเทลฟอร์ด (Telford - 1960) ได้กล่าวไว้ของกันว่า แกนเมสที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ แกนที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม จากการทดลองของทูเมย์ (Twomey - 1967) พบว่าการเผาอ้อยในบริเวณรัฐควีนส์แลนด์นั้นทำให้มีแกนเมสเพิ่มเข้าสู่บรรยากาศจำนวนมาก

อย่างไรก็ตามในโลกเราปัจจุบันนี้ ทูเมย์ (Twomey) และวอยซีโวกสกี (Wojciechowski - 1969) ได้ประมาณว่ามนุษย์เป็นผู้สร้างแกนเมสประมาณ 10^{26} อนุภาค/วันหรือ 4×10^{28} อนุภาค/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำหนดของจุง (Junge) แล้วพบว่าเป็นค่าระดับเสีย 80 ล้านเท่า จึงเป็นที่แน่นอนว่า อัตราการฟุ้งกระจายของอนุภาคเหล่านี้เท่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน จะทำให้บรรยากาศมีแกนในการสร้างเมฆเกินความต้องการ (SMIC, 1971 : 223 - 224)

ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณเล็กกว่า 20 ไมครอน ที่ฟุ้งกระจายเข้าสู่บรรยากาศ (10^6 เมตริกตัน/ปี) มีดังตารางต่อไปนี้

อนุภาคที่เกิดจากธรรมชาติ	
ฝุ่นจากดินและหิน	100 - 500
ฝุ่นจากไฟไหม้ป่าและการจุดไหม้อื่น ๆ	3 - 150
ผงเกลือจากทะเล	(300)
ฝุ่นผงจากการระเบิดของภูเขาไฟ	25 - 150
อนุภาคที่เกิดจากก๊าซ	
ซัลเฟต จาก H_2S	130 - 200
เกลือแอมโมเนียมจาก NH_3	80 - 270
ไนเตรตจาก NO_x	60 - 430
ไฮโดรคาร์บอนจากการคายของพืช	75 - 200
รวม	773 - 2200
เกิดจากการกระทำของมนุษย์	
ฝุ่นละออง (การฟุ้งกระจายโดยกรง)	10 - 90
ฝุ่นละอองที่เกิดจากก๊าซ	
ซัลเฟตจาก SO_2	130 - 200
ไนเตรตจาก NO_x	30 - 35
ไฮโดรคาร์บอน	15 - 90
รวม	185 - 415
รวมทั้งสิ้น	958 - 2615

สำหรับขนาดของฝุ่นละอองที่ลอยในบรรยากาศนั้น มีขนาดต่าง ๆ กัน แบกแทน (Battan) กล่าวว่าแกนการกลั่นตัว ในอากาศแบ่งเป็น 3 พวกใหญ่ ๆ คือ

1. ขนาดเล็กสุด (Smallest) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 0.4 ไมครอน และจะมีอยู่ในอากาศประมาณ 1,000 - 5,000 หน่วยต่ออากาศ 1 ลบ.ซม. พวกนี้เราเรียกว่าแกนไอท์เคิน (Aitken nuclei)

2. ขนาดใหญ่ (Large nuclei) มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.4 - 1.0 ไมครอนจะมีอยู่ในอากาศประมาณ 300 หน่วย ต่ออากาศ 1 ลบ.ซม.

3. ขนาดยักษ์ (Giant nuclei) มีขนาด 1 - 10 ไมครอน มีอยู่ในบรรยากาศเพียงเล็กน้อย (Battan, Louis J., 1962 : 11)

ไบเออร์ (Byers) แบ่งขนาดของแกนการกลั่นตัวและอนุภาคของฝุ่นละอองในบรรยากาศไว้ดังต่อไปนี้

ขนาดของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ชนิดของฝุ่นละออง	รัศมีโดยประมาณ (ซม.)
ไอออนขนาดเล็ก	10^{-7}
ไอออนขนาดกลาง	10^{-7} - 2×10^{-6}
ไอออนขนาดใหญ่	2×10^{-6} - 10^{-5}
ไอท์เคินนิวคลีไอ	2×10^{-6} - 10^{-5}
ควัน ฝุ่น หมอกแดด (Haze)	10^{-5} - 10^{-4}
แกนการกลั่นตัวขนาดใหญ่	10^{-5} - 3×10^{-4}
แกนการกลั่นตัวขนาดยักษ์	3×10^{-4} - 10^{-3}
หยาดเมฆและละอองหมอก (Fog)	5×10^{-5} - 5×10^{-3}
หยดฝนปรอย ๆ (Drizzle drops)	5×10^{-3} - 5×10^{-2}
หยดฝน (Raindrops)	5×10^{-2} - 5×10^1

(Byers, 1959 : 343)

ฝุ่นละอองในบรรยากาศนั้น นอกจากจะเป็นองค์ประกอบสำคัญในการกลั่นตัวของละอองน้ำแล้ว ฝุ่นละอองเหล่านั้นยังมีอิทธิพลต่อกาลอากาศและลักษณะภูมิอากาศในหลาย ๆ ทางด้วยกัน เช่น เป็นตัวการปิดกั้นการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังผิวโลก มีอิทธิพลต่อทัศนวิสัยและหมอก เมฆ และความชื้น รวมทั้งหยาดน้ำฟ้าชนิดต่าง ๆ ด้วย วิลฟรีด แบช (Wilfrid Bach) กล่าวว่า หยาดน้ำฟ้าในบริเวณตัวเมืองนั้นเพิ่มขึ้น ซึ่งมีปัจจัยสำคัญ 4 ประการด้วยกันที่ทำให้เกิดหยาดน้ำฟ้าเพิ่มขึ้น คือ

1. มีแกนการกลั่นตัวจากฝุ่นละอองในบรรยากาศเพิ่มขึ้น
 2. เกิดจากมีตัวก่อกลั่นตัวของอากาศโดยทั่วไป อันเนื่องมาจากความสูงของสิ่งก่อสร้างภายในตัวเมือง
 3. อากาศยกตัวสูงขึ้นเหนือตัวเมืองในลักษณะเดียวกับเหนือเกาะ
 4. การเพิ่มไอน้ำเข้าสู่บรรยากาศจากขบวนการเผาไหม้ในตัวเมือง
- ตัวการสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้กาลอากาศเปลี่ยนแปลงก็คือ ฝุ่นละออง ในบรรยากาศ ดังเช่นที่เมือง ลา พอร์ต ในรัฐอินเดียนา (La Porte, Indiana) เมื่อมีโรงงานมากขึ้นปรากฏว่ามีหยาดน้ำฟ้าเพิ่มขึ้น 31 เปอร์เซ็นต์ ()
- ฝนฟ้าคะนอง 38 เปอร์เซ็นต์ และมีลูกเห็บตกมากกว่าบริเวณโดยรอบถึง 246 เปอร์เซ็นต์ (Baoh, 1972 : 28-32)

การเกิดโตของละอองน้ำ

หยาดน้ำฟ้าทุกชนิดจะตกลงมาจากเมฆ แต่ไม่ได้หมายความว่าเมฆทั้งหมดจะกลายเป็นหยาดน้ำฟ้า เป็นที่เชื่อกันว่าเมฆที่จะกลายเป็นหยาดน้ำฟ้าคือเมฆคิวมูลัส แต่เมฆคิวมูลัสบางครั้งก็ไม่สามารถจะตกลงมาเป็นหยาดน้ำฟ้าได้ เพราะ

ละอองน้ำในก้อนเมฆยังมีขนาดเล็กเกินไป เมฆจะกลายเป็นหยาดน้ำฟ้าและตกลงมาได้ ก็ต่อเมื่อขนาดของละอองน้ำมีขนาดโตเพียงพอเสียก่อน

การเติบโตของละอองเมฆจนกลายเป็นหยดของหยาดน้ำฟ้าขึ้นอยู่กับปัจจัยของกระบวนการ แต่มีทฤษฎีที่สำคัญและเป็นที่รู้จักกันดีเพียง 2 ทฤษฎีคือ

1. วิธีการเกิดผลึกน้ำแข็ง (Ice Crystal Method) ทฤษฎี

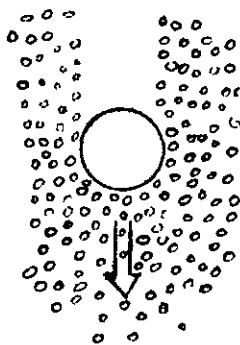
ทอร์ เบร์เกอร์อน (Tor Bergeron) ชาวสวีเดน และ วอลเตอร์ ฟินด์เซน (Walter Findeisen) เป็นผู้คิดค้น ทฤษฎีนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่า ความกดดันไอ น้ำ (Vapor pressure) เหนือ น้ำแข็ง น้นน้อยกว่าเหนือผิวน้ำ ตามปกติแล้วการลดลงของอุณหภูมิตามอัตราอะเดียแบติก (adiabatic cooling) จะเกิดขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ไอน้ำในอากาศถึงจุดควบแน่นได้ และผลจากการเพิ่มความสูงนี้จะทำให้ละอองน้ำเป็นจืด (Super cooling) ในระหว่างของอุณหภูมิ 10 องศาและ -20 องศา เรายกตัวอย่างในก้อนเมฆมักจะมีผลึกน้ำแข็งปะปนอยู่ ถ้าสภาวะเช่นนี้เกิดอยู่เหนือผิวน้ำอากาศก็จะไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัว แต่ว่าถ้าสภาวะดังกล่าวเกิดอยู่เหนือผิวน้ำแข็ง อากาศก็จะอิ่มตัวเต็มที่ และถ้ามีไอน้ำเพิ่มเข้าไป ในอากาศ จะทำให้ไอน้ำกลั่นตัวเกาะบนเกล็ดน้ำแข็ง ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดเกล็ดน้ำแข็งมีน้ำหักเพิ่มขึ้น จนทำให้ตกลงมาเป็นหยาดน้ำฟ้าในที่สุด แม้ว่าบางครั้งจะมีอากาศยกตัวขึ้นบ้าง เกล็ดน้ำแข็งนั้นก็สามารถตกลงมาได้

2. วิธีการรวมตัว (Capture Method) ทฤษฎีนี้พาดพิงไปถึงขนาด

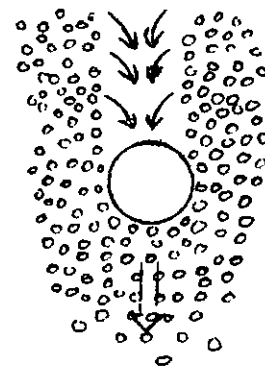
ต่าง ๆ ของแกนการกลั่นตัว ซึ่งจากการที่อนุภาคของฝุ่นละอองในบรรยากาศมีขนาดต่างกัน จึงทำให้เกิดมีขบวนการสมรรถนของการชนกัน (Collision) ขึ้นระหว่างที่อนุภาคเคลื่อนที่ขึ้นลงหยดน้ำก็จะไปเกาะเอาละอองน้ำที่เล็กกว่าเข้ามารวมด้วย ทำให้มีขนาดโตขึ้นและเริ่มตกลงสู่พื้นโลก ซึ่งก็จะเกาะเอาละอองน้ำที่อยู่ในวิธีการตกเข้ามารวมด้วย เราเรียกการเกาะแบบนี้ว่า การเกาะโดยตรง (Direct capture)

การที่อนุภาคขนาดโตขึ้นนั้นทำให้เคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วย ขณะที่เคลื่อนที่ลงสู่เบื้องล่างนั้น ทางด้านบนที่หยกน้ำเคลื่อนที่ผ่านมาจะมีสภาพที่เกือบจะเป็นสูญญากาศ ทำให้ละอองน้ำที่อยู่ใกล้เคียงเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วเข้าไปเกาะด้านบนของหยกน้ำใหญ่ เราเรียกว่า เวคแคปเจอร์ (Wake capture) ขบวนการนี้จะเกิดติดต่อกันจนกระทั่งหยกน้ำมีความเร็วของการตกสูงสุด(Terminal velocity) และแต่ละหยกก็จะตกลงถึงพื้นหรืออาจแตกกระจายออกเสียก่อนจากแรงเสียดสีของอากาศ ฝนมักจะเกิดโดยวิธีนี้

DIRECT CAPTURE



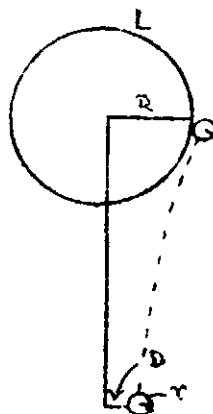
WAKE CAPTURE



(William, Higginson, Rohrbough, 1973 : 242 : 243)

ปีเตอร์เซนและเซอร์เวร์ (Petersen and Serverre, 1969 : 98)

กล่าวว่า เมื่อเมฆมีการกลั่นตัวแล้ว ละอองน้ำจะตกผ่านเมฆลงมาแล้วปะทะกับละอองน้ำอื่น ๆ ซึ่งจะทำให้ขนาดโตขึ้นเรื่อย ๆ ดังรูป



กล่าวคือ ละอองน้ำใหญ่ L ตกลงมาโดยสัมผัสกับละอองน้ำเล็ก S ซึ่ง (สมมุติว่า) ละอองน้ำเล็กมีระยะห่างจากแนวการตกของ L เป็นระยะทาง d ละอองน้ำที่อยู่ใกล้แนวการตกมาก ๆ จะถูกหักออกด้วยความเร็วของการตก และละอองน้ำอื่น ๆ ก็จะหนีห่างออกไป ในขณะที่ S จะเฉียด L ไป ผลของการตกของละอองน้ำจะกวาดพื้นที่ไป d^2 ในขณะที่พื้นที่หักออกไปนั้นเท่ากับ $(R + r)^2 R$ และ r นั้นคือรัศมีของ L และ S ตามลำดับ

$$\text{อัตราส่วนจึงเท่ากับ} \quad E = \frac{d^2}{(R + r)^2}$$

เราเรียกอัตราส่วนนี้ว่า "สมรรถนะของการชนกัน" (Collision efficiency) จากสมรรถณภาพนี้ จะทำให้ละอองน้ำมีขนาดโตขึ้นเรื่อย ๆ

นายเออร์ (Byers) กล่าวว่า "สมรรถนะของการชนกัน" (Collision) และ "ขบวนการรวมกัน" (Coalescence) นั้นมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนไหวสัมพัทธ์ (Relative Motions) ของละอองน้ำที่เคลื่อนที่โดยแรงดึงดูดของโลก ทำให้ละอองน้ำตกลงสู่พื้นโลกอย่างช้า ๆ ความเร็วของการตกของละอองน้ำเราเรียกว่า เทอร์มินอลเวโลซิตี (Terminal Velocity) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของละอองน้ำ (Byers, H.R., 1959 : 364 - 368)

ในเรื่องการเจริญเติบโตของละอองเมฆนี้ เมสัน (Mason, B. J., 1962 : 34 - 41) กล่าวว่า มีขบวนการที่เป็นไปได้ 2 ประการ ที่แกนเมฆจะมีรัศมีเพิ่มขึ้นคือ (1) การกระจายของไอน้ำ จะไปกวนแน่นรอบ ๆ แกนการกลั่นตัว และ (2) โดยขบวนการ "สมรรถนะของการชนกัน" (Collision) ซึ่งเกิดจากการตกของละอองน้ำที่สัมผัสกับละอองน้ำอื่น ๆ ที่ตกลงด้วยแรงดึงดูดของโลก ในอัตราความเร็วที่ต่างกัน

การที่ละอองเมฆจะตกลงมาเป็นฝนปรอย ๆ (drizzle) หรือเป็นฝน (Rain) นั้น ไอน้ำจะต้องมีการกวนแน่นให้มีขนาดโตขึ้นก่อน หยดน้ำที่เรียกว่า ฝนปรอยนั้นมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1 - 0.5 มม. ความเร็วของการตก

ประมาณ 0.3 - 2 เมตร/วินาที เม็ดฝน (Rain drop) มีขนาดใหญ่กว่านี้ ก็มีส่วนที่เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 มม. แต่ขนาดจะเล็กลงเรื่อย ๆ เมื่อตกลงมา เพราะเกิดการระเหยเนื่องจากการขัดสีกับอากาศ จนเหลือเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 มม. และความเร็วของเม็ดฝนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. ประมาณ 4 ม./วินาที และเม็ดฝนที่มีขนาดใหญ่กว่านี้อาจมีความเร็วถึง 10 ม./วินาที (Lamb, H.H., 1972 : 354 - 5)

สำหรับความเร็วของการเคลื่อนที่ของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ตามแรงดึงดูดของโลกมีดังนี้

รัศมี (ไมครอน)	ความเร็วของการเคลื่อนที่ (มม./วินาที)
0.1 =	8×10^5
1.0	4×10^3
10.0	0.3
100.0	25

(SMIC, 1971 : 198)

จากการคำนวณตามพอมบี้ (Hocking, 1953) และจากประสบการณ์ในการทดลอง (Woods and Mason, 1964) พบว่า ละอองเมฆจะเติบโตจนเป็นเม็ดฝนนั้นจะต้องเตรียมขบวนการสมรรถนะของการชนกัน (Collision) และขบวนการรวมกัน (Coalescence) อย่างพอเพียง (ก็จะต้องมี 1 ขบวนการ ต่ออากาศ 1 ลิตร) เพื่อสร้างจุดกำเนิดของการกลั่นตัว ให้ละอองน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นประมาณ 40 ไมครอน หรือมากกว่านั้น สภาวะเช่นนี้จะเกิดขึ้นในบรรยากาศในเขตอบอุ่น (Warm climate) ซึ่งมีไอน้ำผสมอยู่ในอากาศจนถึงจุดอิ่มตัว และบางกรณีอาจเกิดการกลั่นตัวได้ก่อนหากมีอนุภาคฝุ่นละอองขนาดใหญ่ผสมอยู่ จากการสังเกตพบว่าในเมฆคิวมูลัส ที่เกิดในอากาศเหนือพื้นสมุทร จะมีน้ำ (เหลว) ผสมอยู่น้อยกว่าอากาศเหนือภาคพื้นทวีป แต่ว่าแต่ละหยดมีขนาดใหญ่กว่า และพร้อมที่จะกลายเป็น

หยาดน้ำฟ้าได้เร็วกว่า เมสัน (Mason) กล่าวว่าเมฆคิวมูลัสในอากาศเหนือภาคพื้นสมุทร จะมีหยดน้ำ 50 หยด/ลูกบาศก์เมตร แต่ภาคพื้นทวีปจะมีถึง 200 หยด/ลูกบาศก์เมตร (Lamb, H.H., 1972 : 353 - 4)

สารเคมีกับการทำฝนหลวง

สารเคมีที่ใช้ในการสร้างเมฆหรือเร่งให้เมฆตกเป็นฝนนั้น มีหลายชนิดด้วยกัน ดังเช่น

เมสัน (Mason) กล่าวว่าแกนเมฆประดิษฐ์นี้มีหลายชนิดด้วยกัน หอสมุดไค้ดงการางต่อไปนี้

ชื่อสาร	ลักษณะสมมาตรของผลึก	อุณหภูมิ- เปลี่ยนรูป ผลึกของ สาร (°C)
เงินไอโอไดค์	หกเหลี่ยม	-4
ตะกั่วไอโอไดค์	หกเหลี่ยม	-6
คิวปริกซัลไฟต์	หกเหลี่ยม	-6
ทองแดงไอโอไดค์	สี่เหลี่ยม	-8
แอมโมเนียมฟลูออไรด์	หกเหลี่ยม	-9
เงินซัลไฟด์	ผลึกรูปเข็ม	-8
เงินออกไซด์	แท่งสี่เหลี่ยม	-11
แกลดเมียมไอโอไดค์	หกเหลี่ยม	-12
วานาเดียมเพนโตไนด์	แท่งแปดเหลี่ยม	-14
ไอโอดีน	แท่งแปดเหลี่ยม	-14

(Mason, B.J., 1962 : 60)

แบตแทน (Battan, Louis, J., 1962 : 91 - 102) กล่าว
ถึงการทดลองของเชฟเฟอร์และแลงเมียร์ (Schaefer and Langmuir)
ว่าน้ำแข็งแห้ง (dry ice) สามารถทำให้หิมะตกลงมาได้ ถ้าเราโปรยน้ำแข็งแห้ง
ลงไปบนก้อนเมฆชนิดเย็นจัด และกล่าวต่อไปถึงการทดลองของเบอร์นาร์ด ฟอนเนกัต
(Bernard Vonnegut) ว่าฟอนเนกัตใช้เงินไอโอไดด์ (Silver - iodide)
โปรยลงไปบนก้อนเมฆก็ได้ผลเช่นเกี่ยวกับการใช้น้ำแข็งแห้ง

เฟลทเชอร์ (Fletcher, N.H.) กล่าวว่าจากการที่ เดวีส์
(Davies) ทดลองนำบอลลูกบรทุกดวงเกลือไปโปรยบนเมฆในอเมริกาตะวันออก
พบว่า หลังจากโปรยดวงเกลือ 20 - 30 นาที ก็มีฝนตก จากการทดลองของ
อากัสติน (Augustin, 1954) ในมาการกัสการ์ และการทดลองของ โฟนียเย กี'
แอลเบ (Fournier d'Albe) ในแคว้นปัวจัวบ เมื่อปี 1955 ก็ได้ผลเช่น
เดียวกัน

ลูดลัม (Ludlam, 1951) และโบเวน (Boven, 1952)
ทดลองโดยการพ่นน้ำเข้าไปในก้อนเมฆที่มีระดับที่เฉพาะสม จะทำให้เกิดฝนตกได้
ซึ่งทั้งสองได้ตั้งข้อสังเกตว่า ประการแรกละอองน้ำที่พ่นเข้าไปควรมีรัศมี 30 ไมครอน
ประการที่สองระดับที่จะพ่นน้ำควรเป็นระดับที่จะพ่นน้ำเข้าไปในก้อนเมฆได้ การ
พิจารณาความหนาและความเร็วของการยกตัวของเมฆช่วย (Fletcher, N.H.,
1962 : 295 - 298)

สารเคมีกับการทำฝนหลวงในประเทศไทย

การทำฝนหลวงในประเทศไทยนั้น มีการใช้สารเคมีหลายชนิด ซึ่งองค์
ผู้ว่าราชการศูนย์พิเศษฝนหลวง ได้ทรงปรึกษารัฐกิจคนสุดท้ายใหม่ ๆ ประทานแก่นักวิชา
การปฏิบัติการฝนหลวงตลอดมา สูตรเหล่านั้นได้แก่

สูตร 1 เกลือแบ่ง หรือไฮเกียบคลอไรด์ ซึ่งจะช่วยสร้างแกนใน
อากาศ เพราะผงเกลือแบ่งสามารถดูดซับน้ำในอากาศได้อย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่า
ความชื้นในอากาศจะมีเพียง 6๑ เปอร์เซ็นต์ก็ตาม เมื่อถูกซับน้ำแล้วจะไม่ทำให้อุณห-
ภูมิเปลี่ยนแปลง ใช้เป็นแกนปกกิ้งเพื่อก่อให้เกิดเมฆ และทำให้เมฆที่มีอยู่แล้วรวม
ตัวกันหนาแน่นยิ่งขึ้น

สูตร 3 น้ำแข็งแห้ง โดยนำน้ำแข็งแห้งมาบีบให้เป็นเกล็ดเล็ก ๆ
และตอกให้เป็นก้อนขนาด 1 ลูกบาศก์นิ้ว คุณสมบัติของน้ำแข็งแห้งใช้สำหรับสร้าง
จุดเย็นและชักนำแนวฝนให้แผ่อาณาเขตกว้างขวางยิ่งขึ้นและเข้าสู่เป้าหมาย กับ
ช่วยให้ฐานเมฆต่ำลงทั้งนี้เพราะคุณสมบัติที่มีอุณหภูมิต่ำมาก (-78° ถึง -80°)
และเมื่อสลายตัวจากสภาพของแข็งจะระเหิดกลายเป็นไอ ทำให้อุณหภูมิต่ำกระจายไป
ทั่วท้องฟ้า

สูตร 4 ยูเรีย 46 เปอร์เซนต์ที่บดจนเป็นผงละเอียดเกี่ยวกับเกลือแบ่ง
ยูเรียเมื่อถูกความชื้นแล้ว จะทำให้อุณหภูมิต่ำลงเราเรียกว่า แกนเย็น ซึ่งจะทำให้
เมฆรวมตัวกันหนาแน่นเร็วยิ่งขึ้นและชักนำไอน้ำในอากาศ และกลุ่มเมฆเล็ก ๆ ใน
บริเวณรอบ ๆ ทำให้ขนาดของเมฆใหญ่หนาแน่น เกิดฝนตกเร็วยิ่งขึ้น ผงยูเรียนี้ถูก
ความชื้นได้ดีในสภาพอากาศที่มีความชื้นตั้งแต่ 70 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป

สูตร ๕ ผงแคลเซียมคลอไรด์ ใช้ในสภาพที่ชื้นและละเอียดจนเป็นผง
เช่นเดียวกัน เป็นสารเคมีที่ถูกความชื้นได้ดี แม้ในสภาพอากาศที่มีความชื้นเพียง
7๑ เปอร์เซนต์ขณะถูกความชื้นจะมีปฏิกิริยาทำให้เกิดความร้อน เมื่อถูกซับความชื้น
จนอิ่มตัว อาจทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 70 องศาเซลเซียสทำให้อากาศลอยตัวขึ้นสูง
และชักนำความชื้นหรือเมฆโดยรวมเข้าสู่บริเวณนั้น ช่วยให้เกิดเมฆและทำให้เมฆ
รวมตัวกันเร็วขึ้นอีกทางหนึ่ง

สูตร 8 เป็นส่วนผสมของสูตร 4 และสูตร 6 ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน
เพื่อเร่งให้เมฆ รวมตัวกันเร็วยิ่งขึ้น

สูตร 9 เป็นส่วนผสมของสูตร 1 กับสูตร 3 ในอัตราส่วน 1:1 เพื่อ

ให้แกนเย็นเล็กน้อย ช่วยให้เกิดเมฆและน้ำฝนในอัตราส่วน 1 : 2 ก็เพื่อให้แกนเย็นจัดใช้ในการเร่งและชักนำให้ฝนตกลงสู่เป้าหมาย

สูตร 10 เป็นส่วนผสมของสูตร 1 และสูตร 4 เพื่อใช้ในการเร่งให้เมฆรวมตัวกันหนาแน่นและเร่งให้ฝนตกเร็วยิ่งขึ้น

สูตร 11 เป็นส่วนผสมของสูตร 1 กับสูตร 6 เพื่อจะให้เกิดจุดหรือแนวอากาศ ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่นเพื่อชักนำเมฆและไอน้ำเข้าสู่บริเวณนั้นได้ และไต่พื้นที่กว้างขวางยิ่งขึ้น (ราชวรวงศ์, สถาปัตย์ ปรีดา, 2516 : 34 - 40)

ในสรุปรายงานการทำฝนหลวงในประเทศไทย โดยคณะกรรมการฝนหลวงมีสารเคมีที่ต่างไปจากที่กล่าวมาแล้วอีกชนิดหนึ่งคือ ผงแคลเซียมคาร์บอเนตใช้ในสภาพที่ฝนจนเป็นแป้ง เป็นสารเคมีที่ดูดซับความชื้นได้ดี ส่วนมากใช้เมื่อสภาพอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 80% เมื่อดูดซับความชื้นจนอิ่มตัวอาจทำให้อุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส (คณะกรรมการฝนหลวง, 2518 : 2)

จากรายงานการไปร่วมปฏิบัติการฝนหลวงที่สุรินทร์และบุรีรัมย์ นายณรงค์ ปิยะพันธ์ ได้กล่าวถึงสูตรในการปฏิบัติการไว้ และมีแตกต่างจากที่กล่าวถึงมาแล้วคือ

สูตร	3+4	ไค้แก่น้ำแข็งแห้ง + ยูเรีย
สูตร	3+4+6	ไค้แก่น้ำแข็งแห้ง + ยูเรีย + แคลเซียม- กลอไรด์
สูตร	913	หมายถึงยูเรีย + เกลือผงในอัตราส่วน 1:3
สูตร	914	หมายถึงยูเรีย + เกลือผง ในอัตราส่วน 1:4
สูตร	913+4	หมายถึงน้ำแข็งแห้ง + เกลือ + ยูเรีย

(ณรงค์ ปิยะพันธ์, 2516 : 1 - 2)

การทดลองทำฝนหลวง

การทดลองทำฝนหลวงนั้นมีในหลายประเทศ เช่น ออสเตรเลีย คานาดา อังกฤษ แอฟริกาใต้ และสหรัฐอเมริกา ซึ่งสรุปผลออกมาพบว่า การทำฝนหลวงด้วยน้ำแข็งแห้งจะมีโอกาสได้รับความสำเร็จมาก ถ้ายอดเมฆมีความสูงมีอุณหภูมิ -7° และความหนาของเมฆชนิดเย็นจักควรประมาณ 4,000 ฟุต จากการทดลองเกินกว่า 100 ครั้งในออสเตรเลีย สรุปผลออกมาได้ว่า

1. หยาดน้ำฟ้าจะเกิดได้ 100% ถ้ายอดเมฆมีอุณหภูมิ -7° องศาเซลเซียสลงไปและถ้ายอดเมฆมีอุณหภูมิ 0° องศาเซลเซียสโอกาสเกิดหยาดน้ำฟ้าจากการทดลองจะลดน้อยลงตามลำดับ ณ อุณหภูมิตั้งแต่ -15° องศาเซลเซียสลงไปโอกาสการเกิดหยาดน้ำฟ้าจากการทดลองจะไม่มีความหมาย เพราะเมฆมีโอกาที่จะเกิดเป็นฝนตามธรรมชาติได้สูงมาก

2. ช่วงเวลาที่จะปรากฏหยาดน้ำฟ้า ณ ฐานเมฆ จะขึ้นอยู่กับความหนาของเมฆเป็นสำคัญ โดยจะใช้เวลาก่อตัวประมาณ 10 นาที และเวลาที่จะเพิ่มความหนาของเมฆอีก 1 นาที ในทุก ๆ 800 ฟุต

3. ความเข้ม (Intensity) ของหยาดน้ำฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของเมฆที่เพิ่มขึ้น

4. ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งของหยาดน้ำฟ้าที่จะตกลงสู่พื้นดินก็อรรถกับความสูงของฐานเมฆจากพื้นดิน จะต้องน้อยกว่าความหนาของเมฆ

(Mason, B.J., 1962 : 98 - 99)

ส่วนการทำฝนหลวงในประเทศไทยนั้น ได้ดำเนินการเป็นขั้นตามลำดับดังนี้

ปฏิบัติการขั้นตอน

เป็นสรุปผลการปฏิบัติการที่ปากช่องและหัวหิน โดยอาศัยกรรมวิธีที่ศึกษาค้นคว้าจากที่ต่างประเทศเกยกระหามา โดยเลือกเฉพาะวิธีการที่ดีว่าเหมาะสมสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศไทย จึงสรุปผลได้ว่า

1. สามารถบังคับให้เมฆคิวมูลัส ก่อนที่ถูกทดลองก่อรวมตัวเอง จนกลายเป็นเมฆฝนสีเทาเข้มตกออกทั้งก้อนในเวลาอันรวดเร็ว ภายใน 2-5 นาที และถ้าหากสภาพอากาศใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานเมฆลงมาอำนวยการ กล่าวคือมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์สูง อุณหภูมิของอากาศไม่ร้อนจัดจนเกินไป เมฆจะลอยต่ำลงเรื่อย ๆ และกลายเป็นฝนตกจนถึงดินในที่สุด

2. การใช้น้ำแข็งแห้งบังคับเมฆนี้ หากใช้ในอัตราที่ไม่เหมาะสมหรือเกินขนาดไป ผลที่ได้รับจะทำให้เมฆสลายตัว ยิ่งใช้มากเกินไปเท่าใดยิ่งทำให้สลายตัวเร็วเท่านั้น

3. การบังคับให้ฝนตก ลงสู่เป้าหมายนั้นเป็นไปได้ยาก เพราะกระแสนลมเป็นอุปสรรคสำคัญ (ราชวรวงศ์, สถาบันกสิกรรม, 2516 : 40)

ปฏิบัติการขั้นพัฒนากรรมวิธี

กรรมวิธีในการทำฝนหลวงที่พัฒนาก้าวหน้ามาเป็นลำดับ จนใช้เป็นกรรมวิธีปฏิบัติการฝนหลวงในปัจจุบัน ขอสรุปเป็นขั้นตอนตามลำดับดังนี้

1. ก่อสภาพอากาศ (Up-set Equilibrium) เริ่มปฏิบัติการในช่วงเวลาเช้าไม่เกิน 08.00 น. ในขณะที่สภาพอากาศยังมีกรรมวิธีขึ้นสัมพัทธ์สูงเกินกว่า 80 เปอร์เซ็นต์เพื่อให้อากาศบางจุดเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน โดยใช้อย่างรวดเร็วเชื่อมการขยายตัวความชื้นสัมพัทธ์เกิน 90 เปอร์เซ็นต์แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ก็ใช้อย่างกะล่อนแบ่งผสมเกลือน้ำแข็งแห้งในอัตราส่วนผสม 10 : 1 ทั้งนี้เพื่อช่วยในการก่อให้เกิดเมฆเร็วขึ้นและช่วยให้เมฆที่เริ่ม

เกิดขึ้นมาก่อรวมตัวไกวรวดเร็วยิ่งขึ้น ระดับความสูงที่ปฏิบัติการตั้งแต่ 3,000 - 7,000 ฟุต

2. เร่งเมฆให้ก่อรวมตัวหนาแน่นจนขนาดใหญ่ และก่อยอดสูงรวดเร็วขึ้น (เลี้ยงเมฆให้วุ่น) ใช้ผงแคลเซียมคลอไรด์โปรยสลับกับผงยูเรียเข้าไปในยอดเมฆและช่องว่างระหว่างเมฆที่ยังกระจัดกระจายและยอดยังไม่สูงพอโดยโปรยสลับทีละน้อยในอัตราแคลเซียมคลอไรด์ 25 กรัม ผงยูเรีย 100 กรัม เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอากาศลอยตัวขึ้น และจมลงแล้วโปรยเกลือแกงหรือผงเกลือแกงผสมยูเรียในอัตราส่วน 10:1 หรือไม่ต่ำกว่า 6:1 ตามความเหมาะสมกับยอดเมฆที่ยังไม่สูงมากนักและโปรยชิดฐานเมฆ การช่วยเร่งให้เมฆรวมตัวนี้ปฏิบัติการเป็นระยะทิ้งช่วงห่างกันประมาณ 1 ชั่วโมง

3. การบังคับหรือเร่งให้ฝนตก (โจมตีเมฆ) เมื่อเมฆรวมตัวกันหนาแน่นจนสังเกตเห็นยอดสูงเพียงพอ (เกิน 8,000 ฟุตขึ้นไป) ฐานเมฆเข้มจนเป็นสีเทาเกือบดำและเรียบเกือบเป็นเส้นตรง ก่อนที่กลุ่มเมฆฝนดังกล่าวจะเริ่มเคลื่อนที่เข้าปกคลุมพื้นที่เป้าหมาย ทำการโจมตีเพื่อบังคับหรือเร่งให้ฝนตก เพื่อป้องกันมิให้กลุ่มเมฆเคลื่อนหนีเป้าหมายโดย

3.1 ใช้น้ำแข็งแห้งเป็นก้อนขนาดไม่เกิน 1 ลูกบาศก์นิ้ว โปรยเข้าไปในยอดเมฆ ในอัตราการโปรย 100 กรัม ทุก ๆ 5 -10 วินาที หากสมรรถนะของเครื่องบินสามารถบินขึ้นไปเหนือยอดเมฆได้ หากบินสามารถขึ้นไปได้ก็ใช้โปรยชิดฐานเมฆ แต่เป็นวิธีที่เสี่ยงอันตรายยิ่ง หรือโปรยในสถานที่เป็นเกล็ดเล็ก ๆ ที่ระดับต่ำกว่าฐานเมฆไม่น้อยกว่า 1,000 ฟุต เพื่อป้องกันมิให้เกล็ดน้ำแข็งปลิวพุ่งเข้าฐานเมฆมากเกินไป การใช้น้ำแข็งแห้งโปรยเข้าก่อนเมฆต้องใช้ด้วยความระมัดระวังและด้วยความชำนาญยิ่ง มิฉะนั้นหากโปรยหรือให้น้ำแข็งแห้งเข้าไปในก่อนเมฆมากเกินไป แทนที่จะเร่งให้ฝนตกเร็วขึ้น แต่อาจทำลายให้เมฆสลายตัวได้

3.2 ใช้วิธีโปรยสารเคมีแบบแผนวิธีที่ กล่าวคือโปรยผงเกลือแกงที่ยอดเมฆพร้อมกับโปรยผงยูเรียที่ฐานเมฆโดยใช้เครื่องบินสองเครื่องหากสภาพ

เมฆอานวยให้ปฏิบัติการเช่นนั้นได้

3.3 วิธีที่ใช้โดยลัทธิวิธีหนึ่งคือใช้พ่นละอองน้ำที่อุณหภูมิของฐานเมฆเล็กน้อย ไม่เกิน 1-2 ° หรือน้ำละลายยูเรียซึ่งจะทำให้อุณหภูมิค่าโดยพ่นที่ฐานเมฆ หากมีเครื่องบินที่ติดอุปกรณ์สเปรย์ น้ำยาเคมีร่วมปฏิบัติการได้

(คณะปฏิบัติการฝนหลวง, 2518 : 3 -4)

ปฏิบัติการชั้นช่วยเหลือราษฎร

การปฏิบัติการฝนหลวงได้สำเร็จเป็นที่น่าพอใจยิ่ง เฉลี่ยแล้วสามารถทำให้ฝนตกได้ 94.2 เปอร์เซ็นต์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่มีช่วงว่างฝนทั้ง (เมฆา รัชตะปิติ, 2515 : 2 - 9) ซึ่งการปฏิบัติการชั้นนี้จะช่วยบรรเทาความแห้งแล้งให้กับท้องที่ที่ประสบภาวะฝนแล้งได้

สำหรับกรรมวิธีการปฏิบัติการฝนหลวงที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในปัจจุบัน เมฆา รัชตะปิตีกล่าวว่า ใช้โดยลในอัตราสูง และสามารถทำฝนหลวงได้แม้ในสภาพท้องฟ้าโปร่งใสปราศจากเมฆที่เกิดตามธรรมชาติ หรือแม้มีเพียงเล็กน้อยก็ทำได้ และกรรมวิธีก็มีพอสรุปได้ดังนี้

1. สร้างหรือเร่งเมฆให้ก่อตัวเร็วและมีปริมาณมากขึ้น นอกเหนือจากเมฆที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ

2. เร่งและช่วยให้เมฆที่สร้างขึ้นและที่มีอยู่บ้างแล้วตามธรรมชาติรวมตัวกันหนาแน่นเป็นเมฆแบบกลุ่มเป้าหมายที่ต้องการให้ตกเป็นบริเวณกว้าง

3. เร่งและบังคับให้เมฆในข้อ 2 เกิดเป็นฝนตกลงสู่เป้าหมาย

(ด. หน้า 10 - 11)

ราชารุณและสถาปิตย์ ปรีดา ก็ได้สรุปกรรมวิธีปฏิบัติการฝนหลวงไว้เหมือนกับเมฆา รัชตะปิติ และได้แนะนำการใช้สูตรไว้ดังนี้คือ

1. ในระยะสร้างและก่อให้เกิดเมฆ สูตรที่จะต้องเลือกใช้ก็มีสูตร 9 ซึ่งเป็นส่วนผสมของสูตร 1 และสูตร 3 ในอัตราส่วน 1 : 10 กับสูตร 11

ซึ่งเป็นส่วนผสมของสูตร 1 กับสูตร 6

2. ระยะเร่งให้เมฆรวมตัวกัน จะต้องใช้สูตร 8 สูตร 10 และ
สูตร 1

3. ระยะที่บังคับให้ฝนตก ขยายอาณาเขตฝนตก และไว้ในระยะ
ชักนำเอาฝนเข้าสู่เป้าหมาย สูตรที่ควรจะใช้ก็มีสูตร 3 ผสมสูตร 9 ใน
อัตราส่วน 1 : 2 และสูตร 5 (ราชวรุษ, สถาบันกษัตริย์, 2516 : 40)

สำหรับขั้นตอน ในการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละครั้งนั้นมีพอสรุป
ได้ดังนี้

1. ขั้นเตรียมการ

1.1 วางเครื่องจักรกลในบริเวณเป้าหมาย เพื่อทราบปริมาณ
น้ำฝน

1.2 ส่งเครื่องบินและเครื่องมือ ตลอดจนลำเลียงวัสดุเคมี
ไปยังฐานปฏิบัติการ

2. ปฏิบัติการประจำวัน

2.1 ตรวจลักษณะลมฟ้าอากาศ มีการตรวจความกดกัน อุณหภูมิ
ความชื้นสัมพัทธ์ ลม ทิศทางและความเร็ว ทัศนวิสัย จำนวนทัศนวิสัย และปรากฏ-
การณ์อื่น ๆ เช่น แดด กวาวสว่างของท้องฟ้า

2.2 ตรวจอุณหภูมิในระกัต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 1,000 ฟุต
ถึง 15,000 ฟุต โดยบอลลูนอากาศเพื่อทราบทิศทางและความเร็วลมในการโปรย
ผงเคมี

2.3 กำหนดทิศทางในแผนที่และแนวทิศทาง ที่จะให้เครื่องบิน
โปรยผงเคมี

2.4 กำหนดสูตรที่ใช้ในการโปรยผงเคมี (ชนิด ปริมาณ และ
ระยะเวลา)

3. ต้องคอยติดตามผลการปฏิบัติการและในกรณีจำเป็นอาจเปลี่ยนคำสั่ง

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ

4. ตรวจสอบปริมาณน้ำฝนตามรายงานที่ได้รับจากเจ้าหน้าที่ในท้องที่
ต่าง ๆ บริเวณปฏิบัติการ (คณะปฏิบัติการฝนหลวง, 2518 : 3-4)

จากเอกสารอ้างอิงและผลการวิจัยที่กล่าวอ้างมาทั้งหมด จะเห็น
ได้ว่าการทำฝนหลวงนั้น มีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และ
ปริมาณเมฆชั้นต่ำ และถ้าความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสามนั้นอยู่ในลักษณะที่
เหมาะสมแล้ว ก็จะทำให้การปฏิบัติการฝนหลวงได้ผลดียิ่งขึ้น จากเหตุผลดังกล่าว
ทำให้ผู้วิจัยมองเห็นว่าจากผลการปฏิบัติการฝนหลวงที่ผ่านมาแล้วนั้น จะสามารถสร้างสม
การที่เหมาะสมเพื่อใช้ทำนายโอกาสการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างได้รับความสำเร็จ
ได้

วิธีดำเนินการศึกษา

1. แหล่งข้อมูล

1.1 ข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวง รวบรวมจากรายงานการปฏิบัติการฝนหลวงซึ่งคณะปฏิบัติการฝนหลวง ส่งมาให้กรมอุทกนิยมวิทยา

1.2 ข้อมูลทางอุทกนิยมวิทยา ที่นำมาคำนวณหาโอกาสการเกิดฝนหลวงประจำเดือนได้จาก "สถิติอากาศประจำถิ่นของประเทศไทย ในคาบ 20 ปี (พ.ศ. 2494 - 2513) ซึ่งกรมอุทกนิยมวิทยา กระทรวงคมนาคม ได้เก็บรวบรวมไว้

2. การจัดกระทำข้อมูล

2.1 แบ่งข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติการฝนหลวงทั้งหมด โดยถืออุทกนิยมเป็นเกณฑ์

2.1.1 คำนวณหาโอกาสการเกิดฝนหลวง (Probability) ในแต่ละฤดูของข้อมูล

2.1.2 กำหนดหารายเฉลี่ยของตัวแปรทางอุทกนิยมวิทยา ในแต่ละค่าสำหรับโอกาสการเกิดฝนหลวง

2.1.3 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficients) ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุทกนิยมวิทยาแต่ละตัว และระหว่างตัวแปรทางอุทกนิยมวิทยาคับกันเอง พร้อมกับทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ด้วย

2.1.4 คำนวณสมการถดถอย (Regression Equation) ของเส้นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุทกนิยมวิทยาแต่ละตัว

2.1.5 กำหนดการแจกแจง โดยถือโอกาสการเกิดฝนหลวง

เป็นตัวแปรต้น ส่วน อุณหภูมิ ปริมาณเมฆชั้นต่ำ เป็นตัวแปรตาม โอกาสการเกิดฝนหลวง
เป็นตัวแปรต้น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์เป็นตัวแปรตาม และโอกาสการเกิดฝนหลวง
เป็นตัวแปรต้น ปริมาณเมฆชั้นต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์เป็นตัวแปรตาม

2.2 แบ่งข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติฝนหลวงทั้งหมด โดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็น
เกณฑ์ แล้วดำเนินการต่อไปเหมือนข้อ 2.1 ทุกประการ

2.3 กำหนดโอกาสการเกิดฝนหลวงในสถานีตรวจอากาศแต่ละสถานีตลอดปี
โดยไขข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา จาก "สถิติอากาศประจำวันของประเทศไทย"
ในฉบับ 20 ปี (พ.ศ. 2494 - 2513)

2.4 สร้างแผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ในแต่ละเดือน
ตลอดปี

3. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1 การคำนวณหาโอกาสการเกิดฝนหลวง คำนวณได้จาก

$$Pr = \frac{S}{S+T}$$

3.2 ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาคำนวณได้จาก

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

3.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับจำนวนได้จาก

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

3.4 การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ใช้

t-test เมื่อ

$$t = r \sqrt{\frac{N-2}{1-r^2}}$$

3.5 การคำนวณหาสมการถดถอยที่มีตัวแปรตาม 1 ตัว สมการจะอยู่ในรูป

$$Y = bx + a$$

ค่า b คำนวณได้จาก $b = \frac{\sum (Y - \bar{Y})(X - \bar{X})}{\sum (X - \bar{X})^2}$

ค่า a คำนวณได้จาก $a = \bar{Y} - b\bar{X}$

3.6 การคำนวณหาสมการถดถอยที่มีตัวแปรตาม 2 ตัว สมการจะอยู่ในรูป $Y = a + bX_1 + cX_2$ วิธีการคำนวณและวิธีการทดสอบจะแสดงไว้ในภาคผนวก

4. ข้อกำหนดในการศึกษา

1. ตัวแปรทางจิตวิทยามีวิชาอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากที่ใช้ในการศึกษา ถือว่าเหมือนกันหมดในทุกครั้งที่ปฏิบัติการทดลอง
2. ถือว่า วิธีการ ชวงเวลา และสารเคมีที่ใช้ปฏิบัติการทดลองในแต่ละครั้งนั้นเหมือนกันหมด
3. ถือว่าลักษณะภูมิประเทศไม่มีอิทธิพลต่อการปฏิบัติการทดลอง

การวิเคราะห์ และผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งเป็น 3 ชั้นดังนี้

1. วิเคราะห์โอกาสการเกิดปนหลวง ที่คำนวณได้จากการแบ่งข้อมูลโดยถือ
อุณหภูมิเป็นหลัก แล้วดำเนินการวิเคราะห์ขั้นต่อไปดังนี้

1.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดปนหลวงกับอุณหภูมิ
ความสัมพันธ์ และปริมาณเมฆชั้นต่ำ

1.2 วิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Equation) ที่
คำนวณได้

2. วิเคราะห์โอกาสการเกิดปนหลวง ที่คำนวณได้จากการแบ่งข้อมูลโดย
ถือความสัมพันธ์เป็นเกณฑ์ แล้วดำเนินการวิเคราะห์ขั้นต่อไปดังนี้

2.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดปนหลวงกับ ความ
สัมพันธ์ อุณหภูมิ และปริมาณเมฆชั้นต่ำ

2.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อ 1.1 กับ 2.1

2.3 วิเคราะห์สมการถดถอยที่คำนวณได้

2.4 วิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อเลือกสมการถดถอยที่ดีที่สุดไปใช้ใน
ขั้นต่อไป

3. วิเคราะห์โอกาสการเกิดปนหลวงที่ได้จากการคำนวณตามสมการใน
ข้อ 2.4 และนำผลที่ได้ไปสร้างแผนผังต่อไป

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

$$Pr = \alpha + \theta T + \lambda C$$

คือสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
โอกาสการเกิดปนหลวงกับอุณหภูมิและปริมาณ
เมฆชั้นต่ำ

$Pr = \alpha + \theta T + \beta RH$ คือสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
โอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิและความ
ชื้นสัมพัทธ์

$Pr = \alpha + \lambda C + \beta RH$ คือสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
โอกาสการเกิดฝนหลวงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ
และความชื้นสัมพัทธ์

α - ค่าคงที่ - คือค่าคงที่ที่กำหนดได้ในแต่ละสมการ

T - ติ - คืออุณหภูมิ

θ - ซีกา - คือสัมประสิทธิ์ของ T

RH - อาร์เอช - คือความชื้นสัมพัทธ์

β - เมตา - คือสัมประสิทธิ์ของ RH

C - ซี - คือปริมาณเมฆชั้นต่ำ

λ - แลมันต้า - คือสัมประสิทธิ์ของ C

R - อาร์ - คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

1. การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้อุณหภูมิเป็นเกณฑ์

1.1 การวิเคราะห์โอกาสการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างใดประสบความสำเร็จ โดยใช้อุณหภูมิเป็นเกณฑ์

การกำหนดโอกาสการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างใดประสบความสำเร็จ โดยใช้อุณหภูมิเป็นเกณฑ์นั้น ทำให้โดยแบ่งข้อมูลทั้งหมดออกเป็นกลุ่ม ๆ โดยแบ่งตามอุณหภูมิ ในแต่ละกลุ่มก็จะมีทั้งการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างใดประสบความสำเร็จและไม่ประสบความสำเร็จ ซึ่งสามารถคำนวณออกมาเป็นโอกาสการเกิดฝนหลวงได้โดยใช้สูตร $Pr = \frac{S}{S+f}$ เมื่อกำหนดโอกาสการเกิดฝนหลวงได้แล้ว จึงคำนวณการายเฉลี่ย (Mean) ของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีวิสัยทั้งหมดคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณเมฆชั้นต่ำ ซึ่งได้ผลออกมาตามตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวง จากการคำนวณโดย
ถ้อยอุณหภูมิตัวเป็นเกณฑ์

T	$Pr = \frac{S}{S+f}$	$\bar{T}$	RH	$\bar{C}$
20.5 - 23.9	1.00	22.97	92.25	2.25
24.0 - 24.9	0.91	24.41	93.00	2.36
25.0 - 25.9	0.82	25.37	89.87	1.91
26.0 - 26.9	0.69	26.35	86.00	1.94
27.0 - 27.9	0.75	27.38	80.00	1.93
Σ	4.17	126.48	441.12	10.93
Mean	0.834	25.29	88.22	2.08

จากตาราง 4.1 แสดงให้เห็นถึงโอกาสการเกิดฝนหลวงที่ได้รับผลสำเร็จ จากการคำนวณโดยถ้อยอุณหภูมิตัวเป็นเกณฑ์ พบว่าโอกาสการเกิดฝนหลวงจะมีค่าเป็น 1.00 ในขณะที่มีการปฏิบัติการในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20.5 - 23.9 องศาเซลเซียส และโอกาสการเกิดฝนหลวงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อนำอุณหภูมิในแต่ละกลุ่มมาหาค่าเฉลี่ยตามสูตร $Mean = \frac{\Sigma T}{N}$ ก็ได้ผลเช่นเดียวกันคือเมื่อโอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิมิแนวโน้มลดลง

เป็นที่น่าสังเกตว่าในช่วงอุณหภูมิ 26.0-26.9 องศาเซลเซียส โอกาสการเกิดฝนมีเพียง 0.69 ซึ่งน้อยกว่าโอกาสการเกิดฝนหลวงในช่วงอุณหภูมิ 27.0 - 27.9 องศาเซลเซียส ที่มีค่าถึง 0.75

ในขณะที่กำหนดหาโอกาสการเกิดฝนโดยถ้อยอุณหภูมิตัวเป็นเกณฑ์นั้น ก็หาค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำของโอกาสการเกิดฝนหลวงแต่ละค่าไปพร้อม ๆ กัน ปรากฏว่าความชื้นสัมพัทธ์มีแนวโน้มลดลง

เมื่อโอกาสการเกิดฝนมีค่าลดลง และปริมาณเมฆชั้นต่ำก็ลดลง เช่นเดียวกันคือปริมาณเมฆชั้นต่ำมีแนวโน้มลดลง เมื่อโอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าลดลง

จากผลในตาราง 4.1 ผู้วิจัยจะได้นำค่าของโอกาสการเกิดฝนหลวงของอุทกวิทยามีความสัมพันธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำ ไปหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางอุทกวิทยามีวิทยาทละตัวกับโอกาสการเกิดฝนหลวงและระหว่างตัวแปรทางอุทกวิทยามีวิทยากว่กันเอง

1.2 กำหนดหาค่าสหสัมพันธ์ ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวง กับตัวแปรทางอุทกวิทยามีวิทยาและระหว่างตัวแปรทางอุทกวิทยามีวิทยากว่กันเอง

การกำหนดหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุทกวิทยามีวิทยาแต่ละตัว และระหว่างตัวแปรทางอุทกวิทยามีวิทยากว่กันเอง

กำหนดได้จาก
$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$
 เมื่อได้ค่า

จากการคำนวณข้างกล่าวแล้ว นำค่า r ไปกำหนดหาค่า t - test เพื่อหา ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Level of significance) ของตัวแปรสหสัมพันธ์ โดยใช้
$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1 - r^2}{N - 2}}}$$
 หลังจากนั้นนำ t ไปหา

ระดับนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรสหสัมพันธ์ จากการตาราง Critical value of t .

จากตาราง 4.2 เป็นผลการคำนวณหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุทกวิทยามีวิทยาแต่ละตัว และระหว่างตัวแปรทางอุทกวิทยามีวิทยากว่กันเอง สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุทกวิทยามีวิทยาเป็นลบคือเท่ากับ -0.9224 และมีก่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $.05$ แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุทกวิทยามีวิทยาเป็นปฏิภาคผกผัน แก่กันและกัน คือเมื่ออุทกวิทยามีวิทยาเพิ่มขึ้น โอกาสที่จะปฏิบัติกาฝนหลวงอย่างไ้รับความสำเร็จจะมีค่าลดลง

ตาราง 4.2 แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิด
ฝนหลวงกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาแต่ละตัวและ
ระหว่างตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาคับกันเอง

R	Pr	T	RH	C
Pr	1	-0.9224	0.7573	0.9012
T	-0.9224	1	-0.9032	-0.7926
RH	0.7573	-0.9032	1	0.8516
C	0.9012	-0.7926	0.8516	1

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำ
กับโอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าเป็นบวก แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณเมฆ
ชั้นต่ำนั้นมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคตรงกัน โอกาสการเกิดฝนหลวง ก็คือถ้าความชื้น
สัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำมีค่าเพิ่มขึ้น โอกาสที่จะปฏิบัติการฝนหลวงที่ได้รับ
ความสำเร็จก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับโอกาส
การเกิดฝนหลวงมีค่าเท่ากับ 0.7573 แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าสหสัมพันธ์
ระหว่างปริมาณเมฆชั้นต่ำกับโอกาสการเกิดฝนหลวงนั้นเท่ากับ 0.9012 และมี
นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาด้วยกันเอง พบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำกับอุณหภูมิมีค่าเป็นลบ คือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับอุณหภูมิเท่ากับ -0.9032 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $.05$ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมฆชั้นต่ำกับอุณหภูมิเท่ากับ -0.7926 แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังกล่าว แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำกับอุณหภูมิจะเป็นปฏิภาคผกผันซึ่งกันและกัน

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณเมฆชั้นต่ำนั้น มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.8516 ซึ่งมีค่าเป็นบวกและมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $.10$ แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณเมฆชั้นต่ำมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงต่อกัน คือเมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์มากขึ้นปริมาณเมฆชั้นต่ำในท้องฟ้าจะมีมากขึ้นด้วย

จากการวาง 4.1 และจากผลการหาค่าสหสัมพันธ์ จะมีประโยชน์อย่างมากในการพิจารณาเลือกตัวแปรเพื่อการสร้างแบบจำลอง (Model) สำหรับการทำนายโอกาสการเกิดฝนหลวง ซึ่งในขั้นนี้ผู้วิจัยจะเลือกเอาเพียงสองตัวแปรคือ อุณหภูมิ และปริมาณเมฆชั้นต่ำเท่านั้น ที่ไม่นำความชื้นสัมพัทธ์มาพิจารณาก็ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

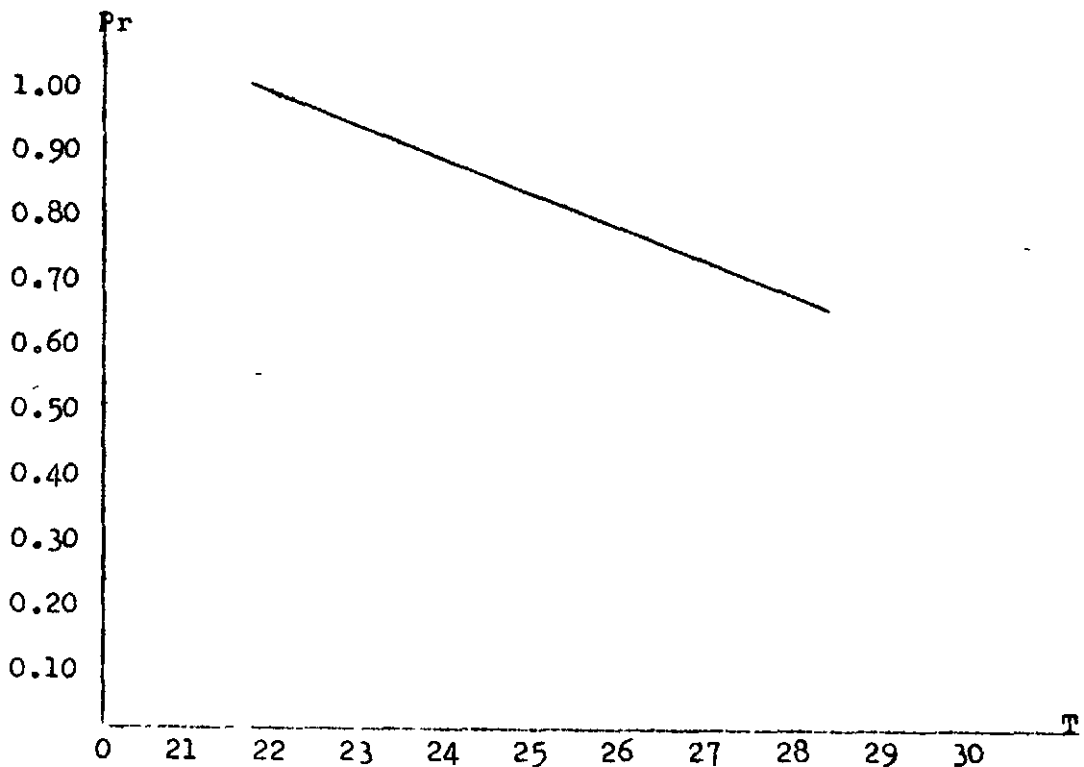
1. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับโอกาสการเกิดฝนหลวงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีผลมากนักต่อโอกาสการเกิดฝนหลวง

2. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับอุณหภูมิมิมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $.05$ และค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับโอกาสการเกิดฝนหลวงมีนัย

สำคัญทางสถิติที่ระดับ $.05$ จึงพิจารณาใช้อุณหภูมิและปริมาณเมฆชั้นต่ำเพียง 2 ตัวแปรเพื่อสร้างแบบจำลองของสมการเพื่อทำนายโอกาสการเกิดฝนหลวง

1.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาเป็นกราฟ

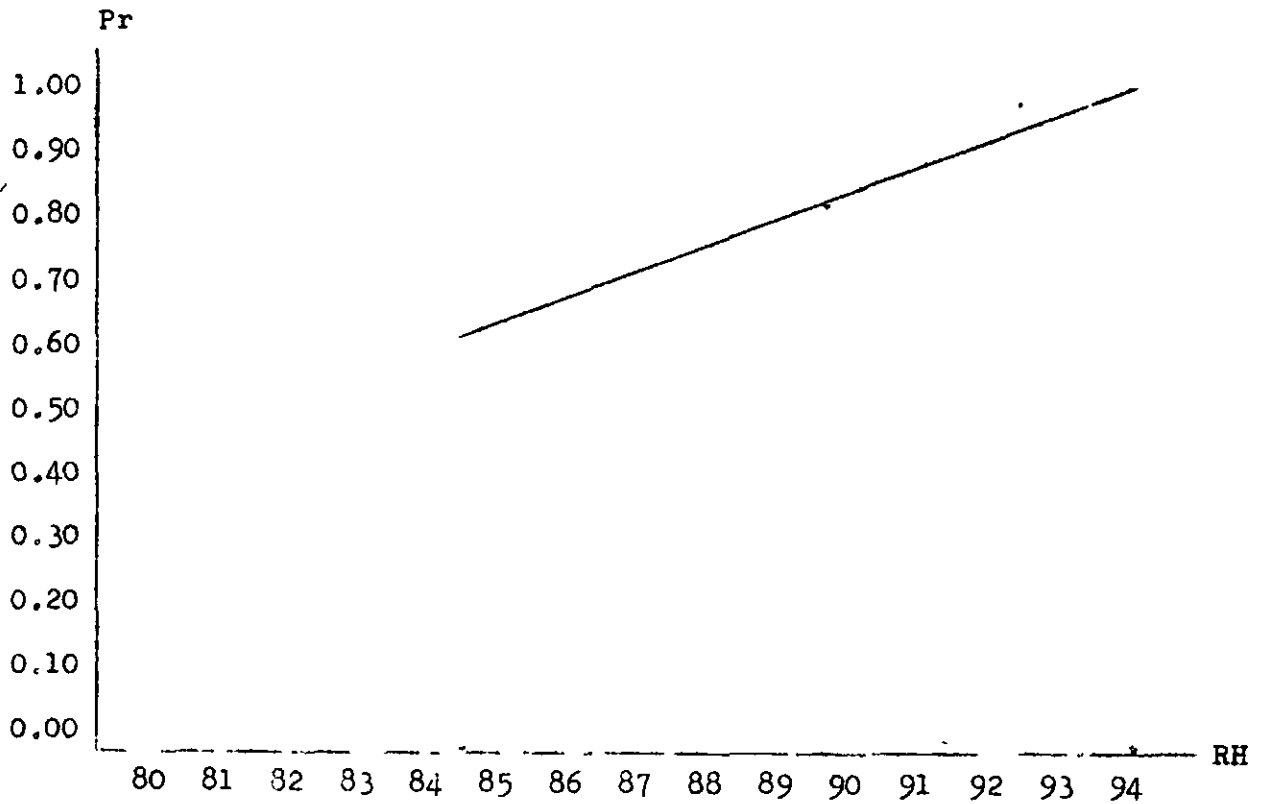
รูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิ ซึ่งความสัมพันธ์ที่ปรากฏออกมาเป็นกราฟเส้นตรงนั้นแสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิเป็นปฏิกิริยาผกผันซึ่งกันและกัน ตรงกับผลที่ได้จากการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และสมการถดถอยของกราฟเส้นตรงนี้จะอยู่ในรูป $Y = bx + a$ หรือ $Pr = bT + a$ ซึ่งค่า b คำนวณได้จาก $b = \frac{\sum (y - \bar{y})(x - \bar{x})}{\sum (x - \bar{x})^2}$ และค่า a คำนวณได้จาก $a = \bar{Pr} - b\bar{T}$ ผลจากการคำนวณจึงกล่าวได้สมการถดถอยดังนี้คือ

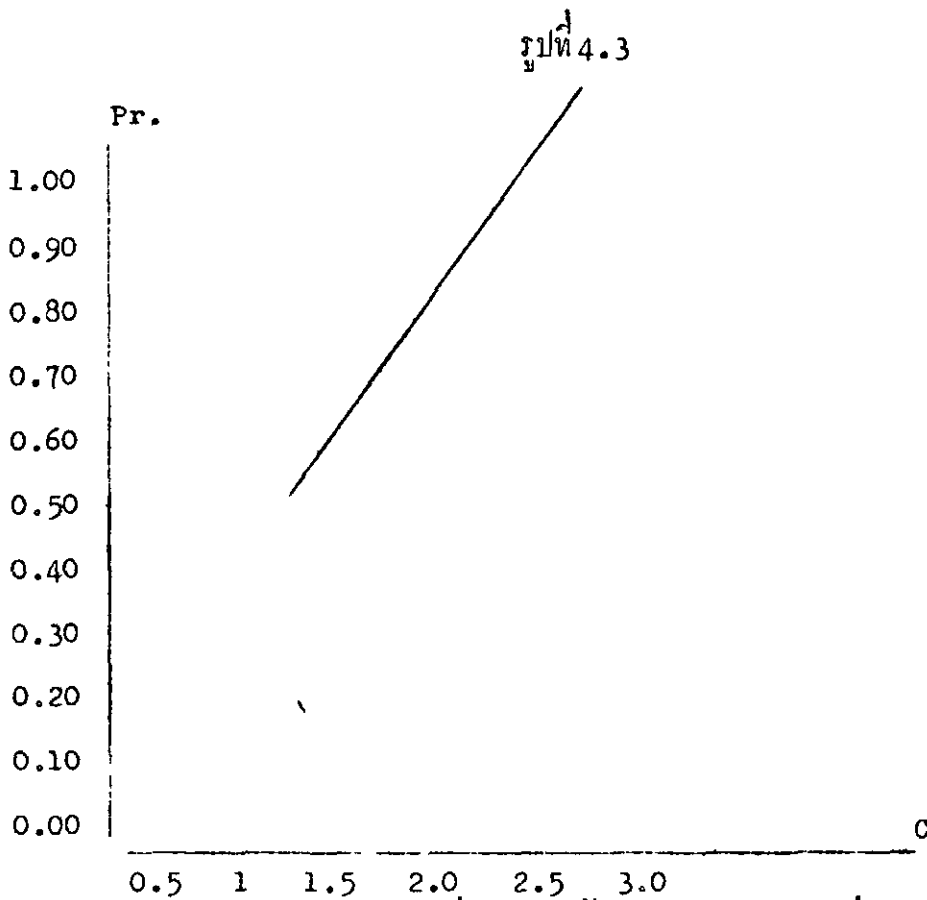
$$Pr = -0.06695T + 2.52317$$

รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งความสัมพันธ์ที่ปรากฏออกมาเป็นกราฟเส้นตรงนั้น แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับความชื้นสัมพัทธ์เป็นปฏิภาคตรงซึ่งกันและกัน ตรงกับผลที่ได้จากการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เมื่อคำนวณหาสมการถดถอยตามวิธีการในรูปที่หนึ่งได้ดังนี้คือ $Pr = 0.01767RH - 0.72885$

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำในท้องฟ้า ความสัมพันธ์ที่ปรากฏออกมาเป็นกราฟเส้นตรงนั้น แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงนั้นเป็นปฏิภาคตรงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำซึ่งตรงกับค่าสหสัมพันธ์ที่กำหนดไว้ในตาราง 4.2 เมื่อคำนวณหาสมการถดถอยของเส้นกราฟในรูปนี้ตามวิธีการในรูปที่ 1 ได้ดังนี้คือ $Pr = 0.4444C - 0.0904$



จากสมการถดถอยที่คำนวณได้มาทั้งหมด จะเห็นว่าสัมประสิทธิ์ที่คูณอยู่กับอุณหภูมิมีค่าเป็นลบคือ -0.06695 แสดงว่าอุณหภูมินั้นมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับโอกาสการเกิดฝนหลวง ส่วนสัมประสิทธิ์ที่คูณอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำมีค่าเป็นบวกคือ 0.01767 และ 0.4444 ตามลำดับ แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณเมฆชั้นต่ำมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับโอกาสการเกิดฝนหลวง ผลที่ได้นี้ตรงกับผลที่ได้จากการคำนวณหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำกับโอกาสการเกิดฝนหลวง

1.4 การคำนวณหาสมการที่เหมาะสมขององค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อโอกาสการเกิดฝนหลวง

การคำนวณหาสมการที่เหมาะสมขององค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อโอกาสการเกิดฝนหลวงนี้ ถ้าพิจารณาวิธีการหาสมการถดถอยซึ่งจะใช้

โอกาสการเกิดฝนหลวง (Pr) เป็นตัวแปรตาม และใช้ อุณหภูมิ (T) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และปริมาณเมฆชั้นต่ำ (c) เป็นตัวแปรตาม ในแต่ละสมการจะมีตัวแปรตามเพียง 2 ตัวแปร ซึ่งรูปของสมการจะอยู่ในรูป

$$Pr = \alpha + \theta T + \lambda c \quad (1)$$

$$Pr = \alpha + \theta T + \beta RH \quad (2)$$

$$Pr = \alpha + \lambda c + \beta RH \quad (3)$$

และสมการที่จะพิจารณาเพื่อใช้ต่อไปนั้นจะใช้เพียงสมการที่ (1) เท่านั้น ทั้งนี้ก็ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้ว ก่อนที่จะนำสมการที่ (1) ไปใช้ ต้องมีการทดสอบความเหมาะสมของสมการเสียก่อน ทั้งวิธีการสร้างสมการและการทดสอบความเหมาะสมของสมการ จะแสดงไว้ในภาคผนวก

1.4.1 การคำนวณสมการ $Pr = \alpha + \theta T + \lambda c$

สมการนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิและปริมาณเมฆชั้นต่ำ ข้อมูลที่จะนำมาคำนวณเพื่อหาค่าอัลฟา ค่าซีตาและค่าแลมบ์ดานั้นนำข้อมูลเบื้องต้นมาจากตาราง 4.1

ผลจากการคำนวณได้ค่าอัลฟา 1.1275 ค่าซีตา -0.0373 ค่าแลมบ์ดา 0.3124 ดังนั้นรูปสมการจากการคำนวณจึงได้ดังนี้คือ

$$Pr = 1.1275 - 0.0373T + 0.3124c$$

จะสังเกตเห็นว่าค่าซีตาซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิมีกาเป็นลบ ส่วนค่าแลมบ์ดาซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ของปริมาณเมฆชั้นต่ำมีกาเป็นบวก แสดงว่าอุณหภูมิมีกความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับโอกาสการเกิดฝนหลวง ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนกับปริมาณเมฆชั้นต่ำเป็นปฏิภาคโดยตรง ผลนี้พ้องกับผลที่ได้จากการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และสมการถดถอยที่คำนวณจากตัวแปรตามเพียง 1 ตัว จากการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสมการ พบว่าสมการดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติใกล้ระดับ .05

1.4.2 การคำนวณสมการ $Pr = \alpha + \theta T + \beta RH$

สมการนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาจากแหล่งเดียวกันกับการคำนวณสมการที่ 1

ผลจากการคำนวณได้ค่า α เท่า 4.073 ค่า θ เท่า -0.0945 และค่าเบต้า -0.0096 ดังนั้นรูปสมการจากการคำนวณจึงได้ดังนี้คือ

$$Pr = 4.073 - 0.0945T - 0.0096RH$$

จากสมการนี้ค่า θ มีค่าเป็นลบ ซึ่งตรงกันกับผลที่ได้ในสมการที่ (1) แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับโอกาสการเกิดฝนหลวงนั้นเป็นปฏิภาคผกผันกันเมื่อพิจารณา ค่าเบต้า ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ของความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเป็นลบแสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับโอกาสการเกิดฝนหลวง ผลจากสมการนี้ขัดแย้งกับ ผลจากการหาสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์และสมการถดถอยที่คำนวณจากตัวแปรเพียง 1 ตัว จากการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสมการนี้ พบว่าสมการที่ 2 ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

1.4.3 การคำนวณสมการ $Pr = \alpha + \lambda C + \beta RH$

สมการนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมาจากแหล่งเดียวกันกับการคำนวณสมการที่ 1

ผลการคำนวณสมการนี้ได้ค่า α เท่า -0.5004 ค่าแลมบ์ดา 0.4893 และค่าเบต้า 0.00359 ดังนั้นรูปสมการที่คำนวณได้จึงอยู่ในรูป

$$Pr = -0.5004 + 0.4893C + 0.00359RH$$

จากสมการนี้ค่าแลมบ์ดาเป็นบวก ซึ่งตรงกับผลที่ได้ในสมการที่ (1) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมฆชั้นต่ำกับโอกาสการเกิดฝนหลวง และผลจากสมการถดถอยระหว่างปริมาณเมฆชั้นต่ำกับโอกาสการเกิดฝนหลวง เมื่อพิจารณาค่าเบต้าก็ได้ผลเช่นเดียวกันคือ

มีค่าเป็นบวก และผลตรงกับค่าสหสัมพันธ์และสมการถดถอยที่คำนวณมาจากโอกาสการเกิดฝนหลวงกับความชื้นสัมพัทธ์ แสดงว่าปริมาณเมฆชั้นต่ำและความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคตรงกัน โอกาสการเกิดฝนหลวง จากการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสมการนี้พบว่า สมการนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2. การวิเคราะห์ข้อมูลโดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์

2.1 คำนวณหาโอกาสการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างใดรับความสำเร็จ โดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์

การคำนวณหาโอกาสการเกิดฝนหลวงอย่างใดรับความสำเร็จ โดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์นั้น ใช้ข้อมูลชุดเดียวกับข้อ 1 แต่การแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่ม ๆ นั้นถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์ แล้วคำนวณหาโอกาสการเกิดฝนหลวงและรายเฉลี่ยของตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยา โดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้อ 1 ทุกประการ ซึ่งได้แสดงออกมาตามตาราง 4.3

ตาราง 4.3 แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวง จากการคำนวณโดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์

RH	$Pr = \frac{S}{S+f}$	$\overline{RH}$	$\overline{T}$	$\overline{C}$
75 - 79	0.71	76.29	26.7	0.86
80 - 84	0.78	82.89	26.26	1.27
85 - 89	0.78	87.83	25.67	2.06
90 - 94	0.86	91.86	24.86	2.29
95 - 99	0.92	96.15	24.18	2.85
Σ	4.05	435.02	127.67	9.33
Mean	0.81	87.00	25.53	1.87

จากตาราง 4.1 แสดงให้เห็นถึงโอกาสการเกิดฝนหลวงอย่างไ้รับความสำเร็จ จากการคำนวณโดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์ พบว่าโอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าเป็น .71 เมื่อความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 75 - 79 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์ของการปฏิบัติการฝนหลวงที่น้อยที่สุด และโอกาสการเกิดฝนหลวงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้ว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 95-99 เปอร์เซ็นต์โอกาสการเกิดฝนหลวงมีถึง .92 ซึ่งเป็นค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงที่สูงที่สุด

เป็นที่น่าสังเกตว่าในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 85-89 เปอร์เซ็นต์ โอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่า .78 ซึ่งเท่ากับโอกาสการเกิดฝนในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 80-84 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตามแนวโน้มที่ปรากฏแล้วในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 85-89 เปอร์เซ็นต์น่าจะมีโอกาสการเกิดฝนหลวงมากกว่าในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 80-84 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงเมื่อโอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าเพิ่มขึ้น กล่าวคือโอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.71 อุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยถึง 26.7 องศาเซลเซียส แต่เมื่อโอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.92 ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิมิ่ค่าต่ำสุดคือมีเพียง 24.18 องศาเซลเซียสเท่านั้น

สำหรับปริมาณเมฆชั้นต่ำนั้น มีแนวโน้มเช่นเดียวกับความชื้นสัมพัทธ์ คือเมื่อโอกาสการเกิดฝนหลวงมีน้อย ปริมาณเมฆชั้นต่ำก็จะมีน้อยด้วย และปริมาณเมฆชั้นต่ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อโอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าเพิ่มขึ้น จากตาราง 4.3 จะเห็นว่าเมื่อโอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าน้อยสุด คือ .71 ปริมาณเมฆชั้นต่ำก็มีน้อยสุดด้วย คือมีโดยเฉลี่ยเพียง 0.86 เท่านั้น แต่เมื่อโอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าสูงสุดเป็น 0.92 ปริมาณเมฆชั้นต่ำมีถึง 2.85

เมื่อพิจารณาตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปรรวมกัน จะเห็นได้ว่าผลจากตาราง 4.3 มีลักษณะตรงกับตาราง 4.1 และจากตารางที่ 4.3 นี้จะได้นำ

ค่าโอกาสการเกิดฝนหลวง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และปริมาณเมฆชั้นต่ำ ไปหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาแต่ละตัวกับโอกาสการเกิดฝนหลวง และระหว่างตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาคับกันเอง

2.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาและระหว่างตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาคับกันเอง

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาและระหว่างตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาคับกันเองนั้น ใช้วิธีการ สถิติที่ใช้ และการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เหมือนกับที่ใช้ในข้อ 1.2 และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้ ดังปรากฏในตาราง 4.4

จากการวาง 4.4 เป็นผลการคำนวณค่าสหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาแต่ละตัว และระหว่างตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาคับกันเอง สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับโอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าเป็นบวกคือ 0.9045 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลของ

ตาราง 4.4 แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาแต่ละตัว และระหว่างตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาคับกันเอง

R	Pr	RH	T	C
Pr	1	0.9045	-0.9435	0.8768
RH	0.9045	1	-0.9787	0.9913
T	-0.9435	-0.9787	1	-0.9810
C	0.8768	0.9913	-0.9810	1

การหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ครั้งนี้ ตรงกับผลที่ได้ในข้อ 1.2 ซึ่งเป็นสิ่งที่ยืนยันให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับความชื้นสัมพัทธ์นั้นเป็นปฏิภาคโดยตรงต่อกันและกัน

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิมีค่าเป็นลบ เท่ากับ -0.9435 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $.02$ ผลของการหาค่าสหสัมพันธ์นี้ตรงกันกับผลที่ได้ในข้อ 1.2 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมินั้นเป็นปฏิภาคผกผันแก่กันและกัน

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมฆชั้นต่ำกับโอกาสการเกิดฝนหลวงพบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นบวก คือ 0.8768 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $.10$ และผลนี้ตรงกับการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมฆชั้นต่ำกับโอกาสการเกิดฝนหลวงที่ได้ในข้อ 1.2 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำเป็นปฏิภาคตรงแก่กันและกัน

สำหรับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำนี้มีค่าเป็นลบ กล่าวคือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ -0.9787 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $.01$ และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณเมฆชั้นต่ำมีค่าเท่ากับ -0.9810 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $.01$ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังกล่าวมานี้พ้องกับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำ ที่คำนวณได้ในข้อ 1.2 แสดงว่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิจะเป็นปฏิภาคผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำในท้องฟ้า

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณเมฆชั้นต่ำมีค่าเป็นบวก คือเท่ากับ 0.9913 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $.001$ ซึ่งตรงกับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณเมฆชั้นต่ำที่ได้ในข้อ 1.2 แสดงว่าความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณเมฆชั้นต่ำเป็นปฏิภาคตรงต่อกันและกัน

2.3 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาและระหว่างตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาคับกันเอง เมื่อคำนวณจากการแบ่งกลุ่มตามอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์

จากตาราง 4.5 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุทกนิยมนิเวศวิทยา จากผลการคำนวณในข้อ 1.2 กับ 2.2 จะเห็นว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิมีค่าเป็นลบทั้งสองครั้ง คือ -0.9224 เมื่อคำนวณโดยการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามอุณหภูมิมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $.05$ และ -0.9435 เมื่อคำนวณโดยการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามความชื้นสัมพัทธ์ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $.02$ แสดงให้เห็นว่าเมื่อแบ่งข้อมูล โดยถืออุณหภูมิเป็นเกณฑ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิด

ตาราง 4.5 เปรียบเทียบค่าสหสัมพันธ์จากการคำนวณในข้อ 1.2 กับ 2.2

R		Pr	T	RH	C
Pr	1.2	1	-0.9224	-0.7573	-0.9012
	2.2	1	-0.9435	-0.9045	-0.8768
T	1.2	-0.9224	1	-0.9032	-0.7926
	2.2	-0.9435	1	-0.9787	-0.9810
RH	1.2	0.7573	-0.9032	1	0.8516
	2.2	0.9045	-0.9787	1	0.9913
C	1.2	0.9012	-0.7926	0.8516	1
	2.2	0.8768	-0.9810	0.9913	1

หมายเหตุ 1.2 หมายถึงค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณจากข้อมูลที่แบ่งกลุ่มโดยถืออุณหภูมิเป็นเกณฑ์
 2.2 หมายถึงค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณจากข้อมูลที่แบ่งกลุ่มโดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์

ในหลวงกับอุณหภูมิมิมีระดับนัยสำคัญทางสถิติต่ำกว่าเมื่อแบ่งข้อมูลโดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเป็นบวกทั้งสองครั้ง จากข้อ 1.2 มีค่า = 0.7573 แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติจากข้อ 2.2 มีค่า 0.9045 และมีค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์นั้นเป็นปฏิภาคตรงต่อกันและกัน แต่สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากข้อ 2.2 นั้นมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับสูงกว่าค่าสหสัมพันธ์จากข้อ 1.2

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมฆชั้นต่ำกับโอกาสการเกิดฝนหลวง พบว่ามีค่าบวกทั้งสองครั้ง จากข้อ 1.2 มีค่า 0.9012 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จากข้อ 2.2 มีค่า 0.8768 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .10 แสดงว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมฆชั้นต่ำกับโอกาสการเกิดฝนหลวงมีนัยสำคัญทางสถิติลดลงเมื่อกำนวณตามข้อ 2.2 อย่างไรก็ตามจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทั้งสองครั้งแสดงว่าปริมาณเมฆชั้นต่ำมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคตรงกันกับโอกาสการเกิดฝนหลวง

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์นั้นมีค่าเป็นลบทั้งสองครั้งคือ -0.9032 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อกำนวณจากข้อ 1.2 และมีค่าเป็น -0.9787 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เมื่อกำนวณจากข้อ 2.2 แสดงว่าเมื่อแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่ม ๆ โดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์แล้วพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ มีนัยสำคัญทางสถิติสูงกว่าเมื่อแบ่งข้อมูลโดยถืออุณหภูมิเป็นเกณฑ์

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณเมฆชั้นต่ำมีค่าเป็นลบทั้งสองครั้งเมื่อกำนวณตามข้อ 1.2 มีค่าเท่ากับ -0.7926 และไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อกำนวณตามข้อ 2.2 มีค่า -0.9810 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 จะเห็นได้ว่าเมื่อกำนวณค่าสหสัมพันธ์จากการแบ่งข้อมูลโดยถืออุณหภูมิเป็นเกณฑ์จะได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณเมฆชั้นต่ำมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับต่ำกว่า

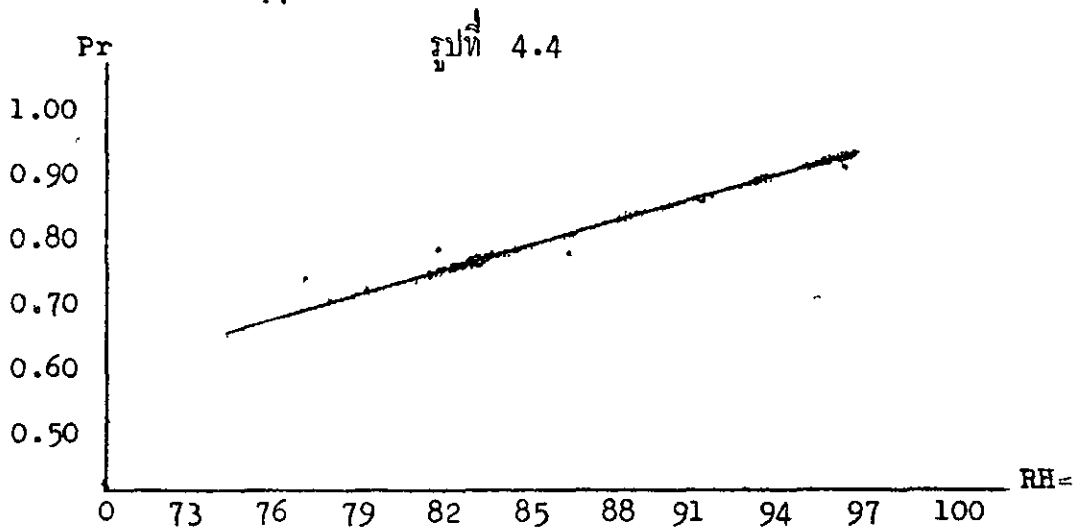
การแบ่งข้อมูลโดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์

ส่วนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณเมฆชั้นต่ำ นั้นมีค่าเป็นบวกทั้งสองครั้งคือ 0.8516 และ 0.9913 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .10 และ .001 ตามลำดับ แสดงว่าการแบ่งข้อมูลโดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์นั้น จะได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณเมฆชั้นต่ำ มีนัยสำคัญทางสถิติสูงกว่าเมื่อแบ่งข้อมูลโดยถืออุณหภูมิเป็นเกณฑ์

ที่กล่าวมาทั้งหมดในข้อ 2.3 นี้ แสดงให้เห็นว่า

1. โอกาสการเกิดฝนหลวง จะแปรผันเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำ แต่จะแปรผันผกผันกับอุณหภูมิ
2. อุณหภูมิจะแปรผันผกผันกับ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณเมฆชั้นต่ำ แต่ความชื้นสัมพัทธ์จะแปรผันตรงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ

2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุทกนิยมนิยามเป็นกราฟ

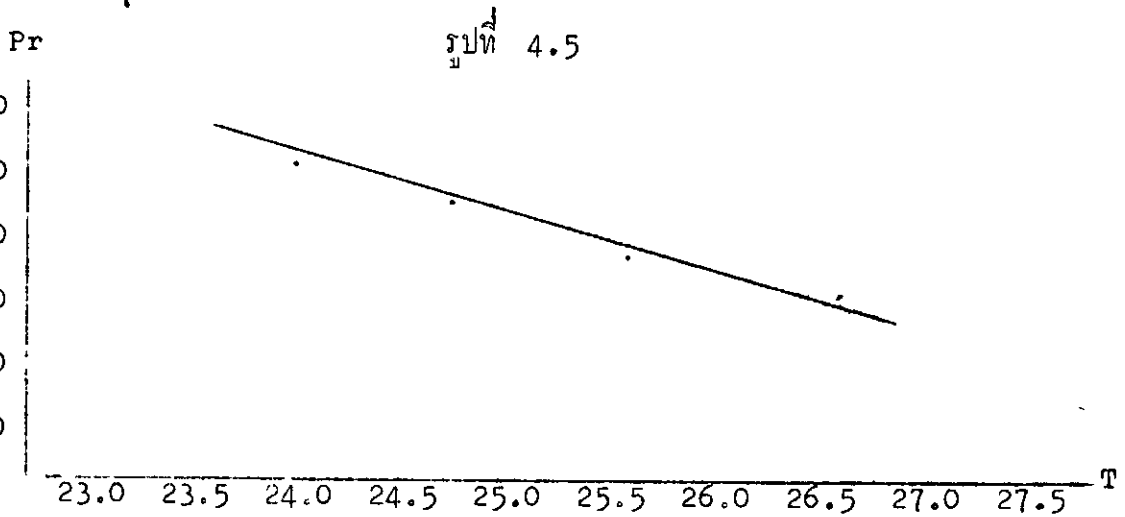


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับความชื้นสัมพัทธ์ ความสัมพันธ์ที่ปรากฏออกมาเป็นกราฟเส้นตรงนั้น แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์

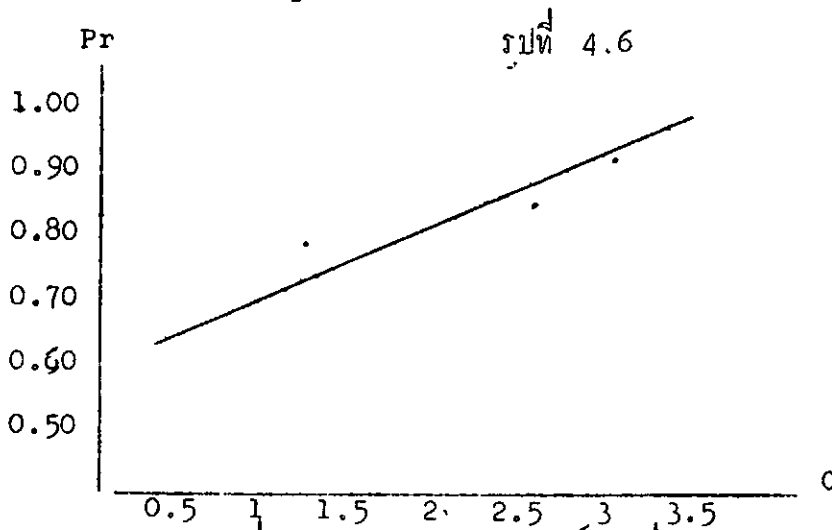
มีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคตรงกับโอกาสการเกิดฝนหลวง และจากความสัมพันธ์ดังกล่าวเมื่อกำหนดออกมาเป็นสมการถดถอย โดยใช้วิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ 1.3 จะได้รูปสมการออกมาดังนี้คือ

$$Pr = 0.0101RH - 0.0687$$

จากรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิความสัมพันธ์ที่ปรากฏออกมาเป็นกราฟเส้นตรง แสดงว่าอุณหภูมิต่างๆ มีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับโอกาสการเกิดฝนหลวง และเมื่อกำหนดสมการถดถอย



จะได้รูปสมการออกมาดังนี้คือ $Pr = -0.07637T + 2.7597$



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำในท้องฟ้าเป็นกราฟเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างโอกาส

การเกิดฝนหลวงกับปริมาณเมฆนั้นเป็นปฏิภาคตรงต่อกัน และเมื่อกำหนดสมการถดถอยของเส้นกราฟในรูป 4.6 นี้ จะได้ดังนี้คือ $Pr = 0.09375C + 0.6347$

จากรูป 4.4, 4.5 และ 4.6 พบว่าได้ผลตรงกันกับผลการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในข้อ 2.2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอยของอุณหภูมิมีค่าเป็นลบ แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับโอกาสการเกิดฝนหลวงนั้นเป็นปฏิภาคผกผันซึ่งกันและกัน แต่ค่าสัมประสิทธิ์ของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำมีค่าเป็นบวก แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำนั้นเป็นปฏิภาคตรงต่อกัน และผลในข้อนี้ยังตรงกันกับผลการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในข้อ 1.2 และการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาเป็นกราฟในข้อ 1,3 ด้วย

2.5 คำนวณหาสมการที่เหมาะสมขององค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อโอกาสการเกิดฝนหลวง

การคำนวณหาสมการที่เหมาะสมขององค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการทำฝนหลวงนั้น ใช้วิธีการคำนวณหารูปแบบของสมการ และการทดสอบรูปแบบของสมการเช่นเดียวกับข้อ 1.4 แก่ไข่มุกเบื้องต้นเพื่อการคำนวณจากตาราง 4.3 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการแบ่งโดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์

2.5.1 การคำนวณสมการ $Pr = C + \theta T + \lambda C$

สมการนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิและปริมาณเมฆชั้นต่ำ โดยมีโอกาสการเกิดฝนหลวงเป็นตัวแปรต้น และอุณหภูมิกับปริมาณเมฆชั้นต่ำเป็นตัวแปรตาม จากการคำนวณได้ค่าตัดฟ้าซึ่งเป็นค่าคงที่ 3.596 ค่าตัดฟ้าซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ -0.1063 และค่าตัดฟ้าสัมประสิทธิ์ของปริมาณเมฆชั้นต่ำ -0.0384 จึงได้สมการดังนี้คือ

$$Pr = 3.596 - 0.1063T - 0.0384 C$$

จากการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสมการนี้ ตามวิธีเดียวกันกับการทดสอบในข้อ 1.4

ปรากฏว่าสมการนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

$$2.5.2 \quad \text{การคำนวณสมการ } Pr = \alpha + \theta T + \beta RH$$

สมการนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยมีโอกาสการเกิดฝนหลวงเป็นตัวแปรต้น อุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์เป็นตัวแปรตาม จากการคำนวณได้ค่าตัดค่าเท่ากับ 1.51629 ค่าตัดค่า -0.043 และค่าเบต้า 0.0045 ดังนั้นจะได้สมการจากการคำนวณดังนี้คือ

$$Pr = 1.51629 - 0.043T + 0.0045RH$$

เมื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสมการนี้ ปรากฏว่าสมการนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

$$2.5.3 \quad \text{การคำนวณสมการ } Pr = \alpha + \gamma C + \beta RH$$

สมการนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ โดยมีโอกาสการเกิดฝนหลวงเป็นตัวแปรต้น ปริมาณเมฆชั้นต่ำและความชื้นสัมพัทธ์เป็นตัวแปรตาม จากการคำนวณ ปรากฏว่าค่าตัดค่าเท่ากับ -0.8431 ค่าแลมบ์ดา -0.107 และค่าเบต้า 0.0213 ดังนั้นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำและความชื้นจึงอยู่ในรูป

$$Pr = -0.8431 - 0.107C + 0.0213RH$$

จากการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสมการนี้ ปรากฏว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2.6 เปรียบเทียบผลการทดลอง ระหว่างข้อ 1.4 กับ 2.5

ผลการทดลองทั้งสามผลการจากข้อ 1.4 นั้นคำนวณจากข้อมูลในตาราง 4.1 ซึ่งแบ่งข้อมูลโดยถืออุณหภูมิเป็นเกณฑ์ ส่วนผลการทดลองทั้งสามผลการในข้อ 2.5 นั้น เป็นผลการที่คำนวณจากข้อมูลในตาราง 4.3

ตาราง 4.6 แสดงการเปรียบเทียบสมการถดถอยจากข้อ 1.4 กับ 2.5

NO	REGRESSION EQUATION (1.4)	SIG LEVEL	REGRESSION EQUATION (2.5)	SIG LEVEL
1	$Pr = 1.1275 - 0.0373T + 0.3124C$	.05	$Pr = 3.596 - 0.1063T - 0.0384C$	-
2	$Pr = 4.073 - 0.0945T - 0.0096RH$	-	$Pr = 1.51629 - 0.043T + 0.0045RH$	-
3	$Pr = -0.5004 + 0.4893C + 0.00359RH$	-	$Pr = -0.8431 - 0.107C + 0.0213RH$	-

จากตาราง 4.6 เป็นตารางเปรียบเทียบสมการที่กำหนดไว้ตามข้อ 1.4 กับ 1.6 เมื่อพิจารณาสมการที่ 1 พบว่าสมการที่ได้นั้นยอมรับสมการที่กำหนดไว้ตามข้อ 2.5 เพราะ

1. ค่าที่ค่าเป็นลบและค่าเกมมาเป็นบวก ซึ่งตรงกับสมมติฐานที่ระดับนัยระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิและปริมาณเมฆชั้นต่ำที่กำหนดไว้ในข้อ 1.2 และ 2.2

2. เป็นสมการที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติสูงกว่าสมการที่กำหนดตามข้อ 2.5 แม้จะไม่ถึงระดับ .05 แต่ก็ใกล้เคียงมาก

ส่วนสมการที่กำหนดตามข้อ 2.5 นั้น ยังไม่ยอมรับเพราะ

1. ค่าเกมมาเป็นลบซึ่งแย้งกับสมมติฐานที่ระดับนัยที่กำหนดไว้ในข้อ 1.2 และ 2.2

2. เป็นสมการที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

สมการที่ 2 เป็นสมการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สมการที่ได้นั้นข้อ 1.4 เป็นสมการที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าเกมก็ยังขัดแย้งกับสมมติฐานที่ระดับนัยระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับโอกาสการเกิดฝนหลวงที่ปรากฏในข้อ 1.2 และ 2.2 ด้วย กล่าวคือค่าเกมเป็นลบ แต่สมมติฐานที่ระดับนัยระหว่างโอกาสการเกิดฝนกับความสัมพันธ์ที่มีค่าเป็นบวก

ส่วนสมการที่กำหนดตามข้อ 2.5 นั้นเป็นสมการที่ตรงกับสมมติฐานที่ทดสอบไว้ที่กำหนดไว้ในข้อ 1.2 และ 2.2 แต่ก็เป็นสมการที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน

เมื่อพิจารณาสมการที่ 3 ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับปริมาณเมฆวันต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ พบว่าสมการที่กำหนดตามข้อ 1.4 นั้นตรงกับสมมติฐานที่ทดสอบไว้ที่กำหนดไว้ในข้อ 1.2 และ 2.2 ถือว่าเหมาะสมและน่าเชื่อถือ แต่เป็นสมการที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติสมการที่กำหนดไว้จากข้อ 2.5 นั้นเป็นสมการที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติและยังเป็นสมการที่แย้งกับสมมติฐานที่ทดสอบไว้ที่กำหนดไว้ในข้อ 1.2 และ 2.2 ถือว่าเหมาะสมและน่าเชื่อถือ

จากการเปรียบเทียบสมการทั้ง 3 ผู้วิจัยจึงมีข้อแนะนำสำหรับผู้ที่จะใช้สมการเพื่อทำนายโอกาสการเกิดฝนหลวงให้ใช้สมการที่ 1 ที่เป็นผลจากการกำหนดตามข้อ 1.4 ทั้งนี้เพราะสมการดังกล่าวเหมาะสมในการทำนายโอกาสการเกิดฝนหลวงมากกว่าสมการอื่น ๆ ดังเหตุผลต่อไปนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ค่าที่ปรากฏในสมการนี้สอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิและปริมาณเมฆวันต่ำที่กำหนดไว้ในข้อ 1.2 และ 2.2
2. เป็นสมการที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ใกล้เคียงกับระดับ .05 ซึ่งเป็นสมการที่มีนัยสำคัญทางสถิติสูงสุด
3. เป็นสมการที่ตรงกับเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในตอนท้ายของข้อ 1.2

3. การกำหนดหาโอกาสการเกิดฝนหลวงในสถานีอุตุนิยมวิทยาแต่ละสถานีทั่วประเทศ ทดลองปี

การกำหนดหาโอกาสการเกิดฝนหลวงในสถานีอุตุนิยมวิทยาแต่ละสถานีทั่วประเทศ ทดลองปี กำหนดโดยให้สมการถดถอยสมการที่ (2) จากการกำหนดตามข้อ 2.5 ไม่สามารถที่จะใช้สมการที่ดีที่สุดตามที่กล่าวไว้ในข้อ 2.6 ได้ ทั้งนี้เพราะปริมาณเมฆที่ปรากฏใน "สมุดสถิติอากาศประจำวันของประเทศไทย"

ในคาบ 20 ปี (พ.ศ. 2494 - 2513) เป็นปริมาณเมฆทั้งท้องฟ้า กับปริมาณ
เมฆที่ใจในการกำหนดค่าการตกของ สบการที่ (1) ในข้อ 1.4 นั้นเป็นเพียง
ปริมาณเมฆชั้นต่ำเท่านั้น วังพิจารณาข้อสมการที่ (2) จากการกำหนดค่าข้อ 2.5
แทน

สมการที่ใช้

$$Pr = 1.51629 - 0.043T + 0.0045RH$$

อุณหภูมิที่ใช้

เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือนของแต่ละสถานีในช่วง

เวลา 20 ปี (พ.ศ. 2494 - 2513)

ความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้

เป็นความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยประจำเดือนของแต่ละ

สถานี ในช่วงเวลา 20 ปี (พ.ศ. 2494 - 2513)

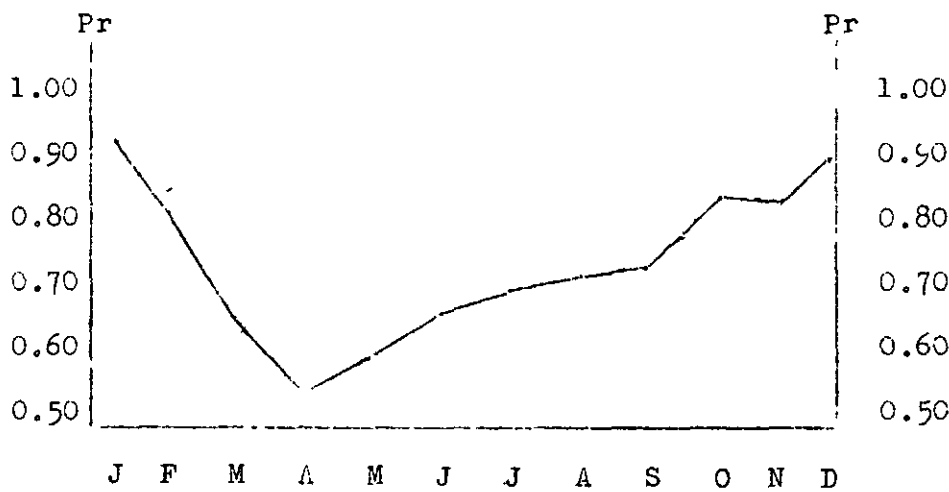
ตาราง 4.7 แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงของสถานีอุทกนิยมนิคมวิทยาแต่ละสถานีเป็นรายเดือน

ลำดับที่	สถานีตรวจอากาศ	โอกาสเกิดฝนหลวงประจำเดือน											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1.	เชียงใหม่	1.02	.90	.76	.64	.66	.72	.73	.76	.75	.80	.90	1.01
2.	แม่ฮ่องสอน	.90	.81	.62	.47	.57	.69	.72	.74	.72	.73	.78	.89
3.	เชียงใหม่	.94	.82	.65	.54	.61	.67	.70	.73	.74	.84	.83	.87
4.	แม่สะเรียง	.88	.80	.61	.47	.55	.70	.73	.74	.71	.70	.75	.82
5.	ลำปาง	.89	.76	.59	.49	.57	.64	.66	.70	.72	.76	.82	.90
6.	น่าน	.93	.81	.67	.57	.60	.65	.69	.71	.72	.73	.81	.92
7.	แพร่	.83	.76	.59	.49	.57	.65	.68	.71	.72	.73	.79	.89
8.	อุตรดิตถ์	.80	.69	.55	.46	.54	.64	.66	.69	.70	.69	.73	.80
9.	ตาก	.80	.60	.41	.38	.52	.62	.62	.63	.67	.73	.78	.84

ลำดับที่	สถานีตรวจอากาศ	โอกาสเกิดฝนหลวงประจำเดือน											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ก.	พ.ย.	ธ.ค.
10.	พิษณุโลก	.77	.66	.54	.47	.55	.62	.66	.68	.68	.67	.71	.78
11.	แม่สอด	.83	.72	.58	.50	.60	.73	.76	.77	.74	.72	.76	.85
12.	เพชรบูรณ์	.80	.67	.56	.50	.57	.66	.69	.72	.72	.70	.75	.81
13.	เขื่อนภูมิพล	.76	.60	.45	.38	.52	.61	.63	.64	.68	.71	.74	.79
14.	เลย	.91	.77	.63	.58	.63	.65	.67	.70	.74	.76	.85	.90
15.	อุดรธานี	.88	.76	.61	.54	.60	.65	.66	.68	.71	.71	.78	.88
16.	นครพนม	.90	.80	.66	.58	.63	.70	.73	.74	.74	.75	.80	.90
17.	สกลนคร	.88	.77	.63	.56	.62	.67	.67	.70	.72	.72	.79	.90
18.	มุกดาหาร	.87	.75	.59	.59	.59	.65	.67	.69	.72	.73	.79	.87
19.	ขอนแก่น	.81	.69	.55	.50	.56	.63	.65	.67	.70	.71	.75	.82
20.	ร้อยเอ็ด	.82	.70	.58	.53	.57	.63	.65	.68	.71	.72	.77	.83
21.	อุบลราชธานี	.78	.68	.56	.53	.59	.65	.67	.69	.71	.71	.74	.80
22.	สุรินทร์	.79	.68	.56	.54	.60	.65	.67	.79	.72	.73	.77	.82
23.	นครราชสีมา	.82	.68	.57	.54	.60	.62	.65	.67	.71	.75	.80	.86
24.	ฉะเชิงเทรา	.87	.75	.66	.64	.66	.66	.69	.71	.75	.80	.87	.90
25.	ชัยภูมิ	.74	.64	.53	.55	.56	.62	.65	.68	.71	.69	.71	.76
26.	นครสวรรค์	.73	.61	.49	.45	.52	.59	.62	.65	.66	.69	.77	.77
27.	ลพบุรี	.68	.59	.51	.49	.56	.61	.66	.67	.69	.69	.69	.71
28.	สุพรรณบุรี	.71	.62	.51	.45	.52	.56	.60	.62	.66	.68	.72	.75
29.	ปราจีนบุรี	.68	.61	.54	.53	.59	.64	.67	.68	.69	.67	.66	.70

ลำดับที่	สถานีตรวจอากาศ	โอกาสเกิดฝนหลวงประจำเดือน											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
30.	กาญจนบุรี	.72	.60	.48	.44	.54	.59	.62	.63	.66	.71	.74	.78
31.	ขอนแก่น	.71	.66	.59	.54	.58	.60	.63	.64	.66	.65	.68	.73
32.	พระนครศรีอยุธยา	.72	.67	.61	.56	.60	.63	.66	.67	.69	.70	.71	.74
33.	อุทัยธานี	.73	.62	.54	.53	.59	.64	.69	.70	.71	.71	.74	.78
34.	ชลบุรี	.71	.62	.61	.56	.60	.61	.64	.66	.68	.71	.71	.72
35.	สกลนคร	.62	.61	.56	.53	.58	.58	.61	.61	.64	.73	.67	.66
36.	จันทบุรี	.73	.72	.69	.66	.70	.72	.74	.74	.75	.73	.73	.74
37.	คลองใหญ่	.72	.71	.68	.66	.68	.73	.75	.75	.76	.74	.72	.70
38.	เกาะสีชัง	.67	.65	.60	.53	.58	.57	.61	.62	.66	.69	.67	.67
39.	หัวหิน	.80	.74	.67	.61	.61	.61	.64	.65	.68	.74	.74	.77
40.	ประจวบคีรีขันธ์	.80	.76	.70	.63	.62	.64	.65	.67	.67	.73	.75	.78
41.	ชุมพร	.82	.77	.71	.65	.67	.70	.72	.72	.73	.75	.79	.82
42.	บ้านดอน	.79	.73	.67	.63	.65	.66	.69	.69	.71	.75	.79	.80
43.	นครศรีธรรมราช	.78	.74	.68	.65	.64	.63	.65	.66	.68	.73	.78	.79
44.	สงขลา	.72	.70	.68	.65	.64	.65	.67	.67	.68	.72	.75	.74
45.	นราธิวาส	.77	.74	.70	.66	.66	.68	.69	.70	.74	.74	.77	.79
46.	ระนอง	.75	.70	.66	.64	.71	.76	.77	.78	.79	.78	.77	.77
47.	ภูเก็ต	.66	.63	.61	.62	.67	.68	.70	.70	.72	.72	.71	.68
48.	สนามบินภูเก็ต	.73	.69	.66	.65	.70	.70	.71	.71	.74	.76	.75	.75
49.	ตรัง	.76	.70	.63	.62	.69	.72	.74	.74	.75	.75	.76	.75

จากการวาง 4.7 ซึ่งแสดงว่าโอกาสการเกิดฝนหลวง จากการ
กำหนดตามสมการดังกล่าวมาแล้ว พบว่าในภาคเหนือซึ่งมีสถานีอุตุนิยมวิทยา
13 สถานี คือสถานีที่ 1 - 13 โอกาสการเกิดฝนหลวงจะมีค่าสูงในระยะต้นปี แล้วค่า
จะลดลงเรื่อย ๆ จนประมาณเดือน พฤษภาคม โอกาสการเกิดฝนหลวงจะมีแนวโน้ม
เพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงปลายปี และปีค่าสูงสุดในเดือนธันวาคม
ซึ่งค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงดังกล่าว แสดงเป็นกราฟได้ดังรูป 4.7



รูปที่ 4.7

รูปที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงของสถานีอุตุนิยมวิทยา
เชียงใหม่ เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับลักษณะ
ทางภูมิศาสตร์ จะพบว่าในเดือนมกราคมเป็นเดือนที่โอกาสการเกิดฝนหลวงปีค่า
สูงสุดคือ .94 ทั้งนี้เพราะเดือนมกราคมเป็นเดือนที่ภาคเหนือมีอุณหภูมิค่า อากาศ
หนาวเย็น อุณหภูมิโดยเฉลี่ย 21.1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ย
74.4 เปอร์เซ็นต์ซึ่งใบ้ค่าเกินไปนัก จึงทำให้โอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าสูงใน
เดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม โอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะในภาคเหนือ
อุณหภูมิสูงขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ลดลง เนื่องมาจากเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูจากฤดูหนาว
ไปสู่ฤดูร้อน และค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงจะลงต่ำสุดในเดือนเมษายน ในเดือน
เมษายนนี้เป็นเดือนที่เป็นฤดูร้อนที่แท้จริงของภาคเหนือ ในสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่

เดือนเมษายนนี้มีอุณหภูมิสูงสุดในรอบปีคือเฉลี่ยถึง 28.8 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเพียง 59 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

จากเดือนเมษายนไปแล้วภาคเหนือเริ่มได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้ภาคเหนือมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น พร้อมกับนั้นอุณหภูมิก็ค่อย ๆ ลดลง จึงทำให้เกิดโอกาสการเกิดฝนหลวงบ่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงเดือนตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคมภาคเหนือเริ่มเข้าสู่ฤดูหนาวทำให้โอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิลดต่ำลงและความชื้นสัมพัทธ์ยังคงสูงอยู่ เช่นในเดือนธันวาคมอุณหภูมิเฉลี่ย 25.6 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 74.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้โอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าถึง .87

เมื่อพิจารณาโอกาสการเกิดฝนหลวงสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีทั้งหมด 12 สถานี คือสถานีที่ 14-25 โดยทั่วไปมีรูปแบบคล้ายคลึงกับภาคเหนือ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.8



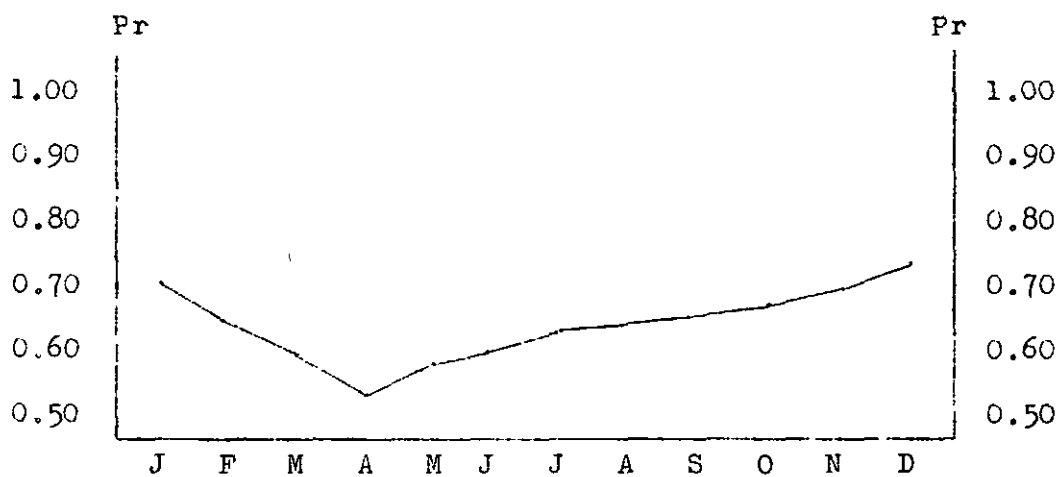
รูปที่ 4.8

รูปที่ 4.8 เป็นกราฟแสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงของสถานีอุตุนิยมวิทยากรมฝนชลประทานในการสร้างกราฟ รูปแบบของกราฟคล้ายคลึงกับภาคเหนือคือในเดือนมกราคม

ทั้งภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นฤดูหนาวมีอุณหภูมิต่ำ แ่ขณะเดียวกัน ความชื้นสัมพัทธ์ไม่ต่ำมากและเช่นเดียวกันถ้าโอกาสการเกิดฝนหลวงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือต่ำสุดในก่อนเมษายนเช่นเดียวกับภาคเหนือ

หลังจากก่อนเมษายน ถ้าโอกาสการเกิดฝนหลวงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือก็เริ่มขึ้นเว้นเกี่ยวกับภาคเหนือ แ่ก่ความชื้นของเส้นกราฟในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีไม่มากเท่ากับภาคเหนือ ทั้งนี้เพราะในภาคเหนือนั้นผลต่างของ ถ้าโอกาสการเกิดฝนหลวงในแต่ละเดือนจะมีค่ามากกว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แสดงให้เห็นสภาพทางภูมิศาสตร์ว่าในภาคเหนือมีความต่างระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละเดือนนั้นมีมากกว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งส่งผลทำให้ ถ้าโอกาสการเกิดฝนหลวงในแต่ละเดือนต่างกันมากน้อยตามไปด้วย

สำหรับภาคกลางนั้น มีสถานีอุตุนิยมวิทยา 7 สถานีคือสถานีที่ 26-32 โอกาสการเกิดฝนหลวงมีลักษณะคล้ายคลึงกับภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กล่าวคือโอกาสการเกิดฝนหลวงจะสูงในเดือนกรกฎาคมและจะลดต่ำลงในเดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม และลดต่ำสุดในเดือน เมษายน หลังจากนั้นโอกาสการเกิดฝนหลวงจึงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงเดือนธันวาคม ถึงรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9

รูปที่ 4.9 เป็นกราฟแสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในภาคกลางโดยโอกาส

โอกาสการเกิดฝนหลวงของสถานีอุตุนิยมวิทยากรุงเทพมหานคร แม้ว่ารูปแบบของกราฟจะคล้ายคลึงกับภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือก็ตามแต่ความชันของกราฟก็ต่างจากของสองภาคดังกล่าวมาแล้วมาก โอกาสการเกิดฝนสูงสุดของภาคกลางมีค่าเพียง .74 เท่านั้น ซึ่งต่ำกว่าค่าสูงสุดในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมาก ส่วนค่าต่ำสุดนั้นใกล้เคียงกับทั้งสองภาค เมื่อพิจารณาในช่วงแต่ละเดือนค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงก็ต่ำกว่าในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

แสดงว่าองค์ประกอบทางภูมิศาสตร์หรืออุตุนิยมวิทยาในภาคกลางไม่ส่งเสริมการทำฝนหลวงเท่ากับภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กล่าวคือแม้ว่าจะมีความชื้นสัมพัทธ์สูง แต่ดูเหมือนจะเป็นตัวฉุดโอกาสการเกิดฝนที่สูงกว่า

ส่วนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สถานีอุตุนิยมวิทยา 6 สถานีคือสถานีที่ 33-38 นั้น สองสถานีแรกคือสถานีอุตุนิยมวิทยารัฐประเทศ และชลบุรีมีรูปแบบของโอกาสการเกิดฝนหลวงตลอดปีคล้ายคลึงกับภาคกลางมากทั้งนี้เพราะสถานีดังกล่าวมีสภาวะทางภูมิอากาศคล้ายคลึงกับภาคกลางมากแต่ก็สถานีที่ 3 คือ สัตหีบ จันทบุรี คลองใหญ่ และเกาะสีชังมีรูปแบบโอกาสการเกิดฝนหลวงตลอดปีต่างไปจากทุกภาคที่กล่าวถึงมาแล้ว กล่าวคือในเดือนมกราคมโอกาสการเกิดฝนหลวงจะมีค่า .72 และค่าจะค่อย ๆ ลดลงในเดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม และจะมีค่าต่ำสุดในเดือนเมษายน ซึ่งมีค่า .66 ซึ่งก็ยังสูงกว่าค่าต่ำสุดของสามภาคที่กล่าวมาแล้ว หลังจากนั้นโอกาสการเกิดฝนหลวงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและสูงสุดในเดือนกันยายน ก็มีค่า .76 และโอกาสการเกิดฝนหลวงจะลดลงอีกครั้งหนึ่งจนถึงเดือนธันวาคมมีโอกาสการเกิดฝนหลวงเพียง .70 เท่านั้น ถึงรูปที่ 4.10

ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีรูปแบบโอกาสการเกิดฝนหลวงต่างไปจากสามภาคดังกล่าวมาแล้ว ก็เพราะสภาพภูมิศาสตร์เกี่ยวกับภูมิอากาศของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีบริเวณกว้างต่างไปจากสามภาคนี้มาก กล่าวคือในช่วงฤดูหนาวที่ประมาณเดือนพฤศจิกายน-มกราคม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้รับอิทธิพลจากมรสุมฤดูหนาว

แต่ใบมากเท่ากับภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือหรือภาคกลาง อุณหภูมิจะไม่ต่ำมาก
ขณะเดียวกันความชื้นสัมพัทธ์ก็ต่ำไปมากนัก โอกาสการเกิดฝนหลวงจึงไม่สูงจะสูงนัก

ในเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน เป็นช่วงที่ภาคตะวันออกอยู่ในระหว่าง
ฤดูร้อน ซึ่งได้รับอิทธิพลน้อยมากทั้งจากลมมรสุมฤดูหนาวหรือมรสุมฤดูร้อน ทำให้
ภาคนี้อุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าในช่วงกลางปี โอกาสการเกิดฝนหลวง
จึงมีค่าต่ำไปด้วยและต่ำกว่าในฤดูหนาวด้วย จากเดือนเมษายนเป็นต้นไปโอกาส
การเกิดฝนหลวงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นลำดับเพราะบริเวณนี้จะได้รับอิทธิพลของลมมรสุม
ฤดูร้อนที่ทวีกำลังแรงขึ้นเป็นลำดับทำให้บริเวณนี้มีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นมาก โดย
เฉพาะในเดือนกันยายนซึ่งเป็นเดือนที่ภาคนี้นอกจากจะได้รับความชื้นจากลมมรสุม
ฤดูร้อนแล้ว ยังได้รับความชื้นจากที่แปรสัณฐาน (Depression) ที่พัดเอามาจากทะเล
จีนใต้อีกด้วย เดือนกันยายนจึงเป็นเดือนที่โอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าสูงสุด

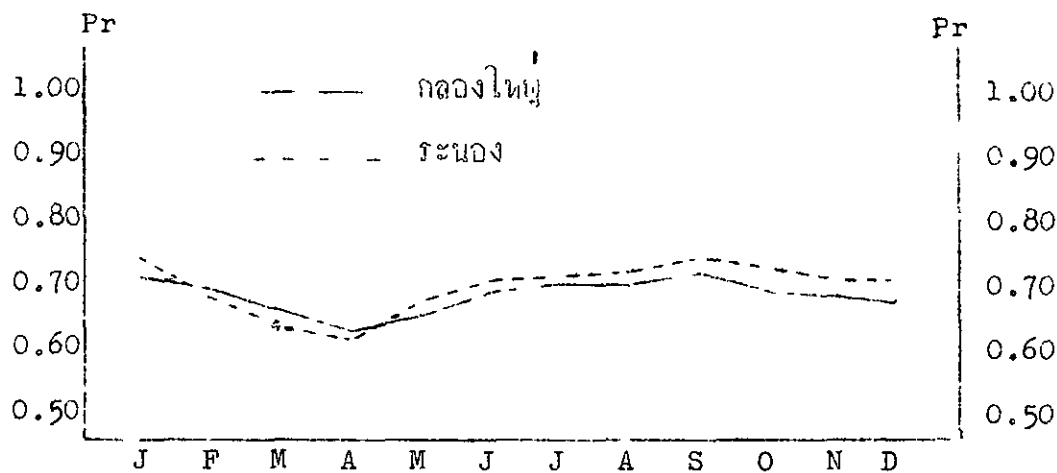
เมื่อสังเกตดูความลาดชันของกราฟในภาคตะวันออกจะพบว่ามีความน้อย
มากทั้งโอกาสการเกิดฝนหลวงต่ำสุดและสูงสุดก็ไม่ต่างกันมาก แสดงให้เห็นว่า
ความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละเดือนไม่แปรปรวนมากนัก
(ดูรูปที่ 4.10)

ในภาคใต้มีสถานีอุตุนิยมวิทยาทั้งหมด 11 สถานีคือสถานีที่ 39-49
โอกาสการเกิดฝนหลวงใน 7 สถานีปรกคือสถานี 39-45 ซึ่งอยู่ทางตะวันตกของภาค
มีรูปแบบโอกาสการเกิดฝนหลวงคล้ายคลึงกับภาคกลางทั้งรูปแบบของกราฟและค่าของ
โอกาสการเกิดฝนหลวง ทั้งนี้เพราะมีรูปแบบของภูมิอากาศคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ
อุณหภูมิโดยเฉลี่ยและความชื้นในแต่ละเดือนจะเท่า ๆ กัน

ส่วน 4 สถานีคือสถานีที่ 46-49 เป็นสถานีอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ทาง
ชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของภาค มีรูปแบบโอกาสการเกิดฝนหลวงคล้ายคลึงกับ
สถานีสุดท้ายของภาคตะวันออกคือ สถานี จันทบุรี กลองใหญ่ และเกาะช้าง ทั้งนี้
เพราะภูมิอากาศทางชายฝั่งตะวันออกคล้ายคลึงกับสี่สถานีดังกล่าว คือ ในฤดูหนาวทาง
ชายฝั่งตะวันออกได้รับอิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเล็กน้อยหรือไม่ได้รับเลย

ทำให้ฤดูฝนมีน้ำมากกว่าฤดูร้อนมากนัก ขณะเดียวกันก็ไปได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ด้วย ความชื้นสัมพัทธ์จึงมีไม่สูงนัก โอกาสการเกิดฝนหลวงจึงไม่สูง ในฤดูร้อนฤดูฝนจะมีเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ขณะเดียวกันความชื้นสัมพัทธ์ก็ลดลง ทำให้ในฤดูร้อนโอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าต่ำสุด โดยเฉพาะในเดือนเมษายนจากเดือนพฤษภาคมไปจนถึงประมาณเดือนตุลาคมเป็นช่วงที่ชายฝั่งตะวันตกได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้อย่างเต็มที่ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นขณะเดียวกันฤดูฝนก็ลดลงเล็กน้อยโอกาสการเกิดฝนหลวงจึงเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.10

ในภาคใต้โอกาสการเกิดฝนหลวงจึงมีค่าสูงในช่วงฤดูฝนซึ่งเป็นช่วงที่ได้รับมรสุมฤดูร้อน ซึ่งเป็นช่วงกลางปีส่วนกับปีและปลายปีนั้นโอกาสการเกิดฝนหลวงจะต่ำกว่ากลางปี



รูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10 แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงของสถานีอุทกนิยมหาวิทยาลัย
กลองใหญ่และระนอง

4. แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย เป็นรายเดือน
ตลอดปี

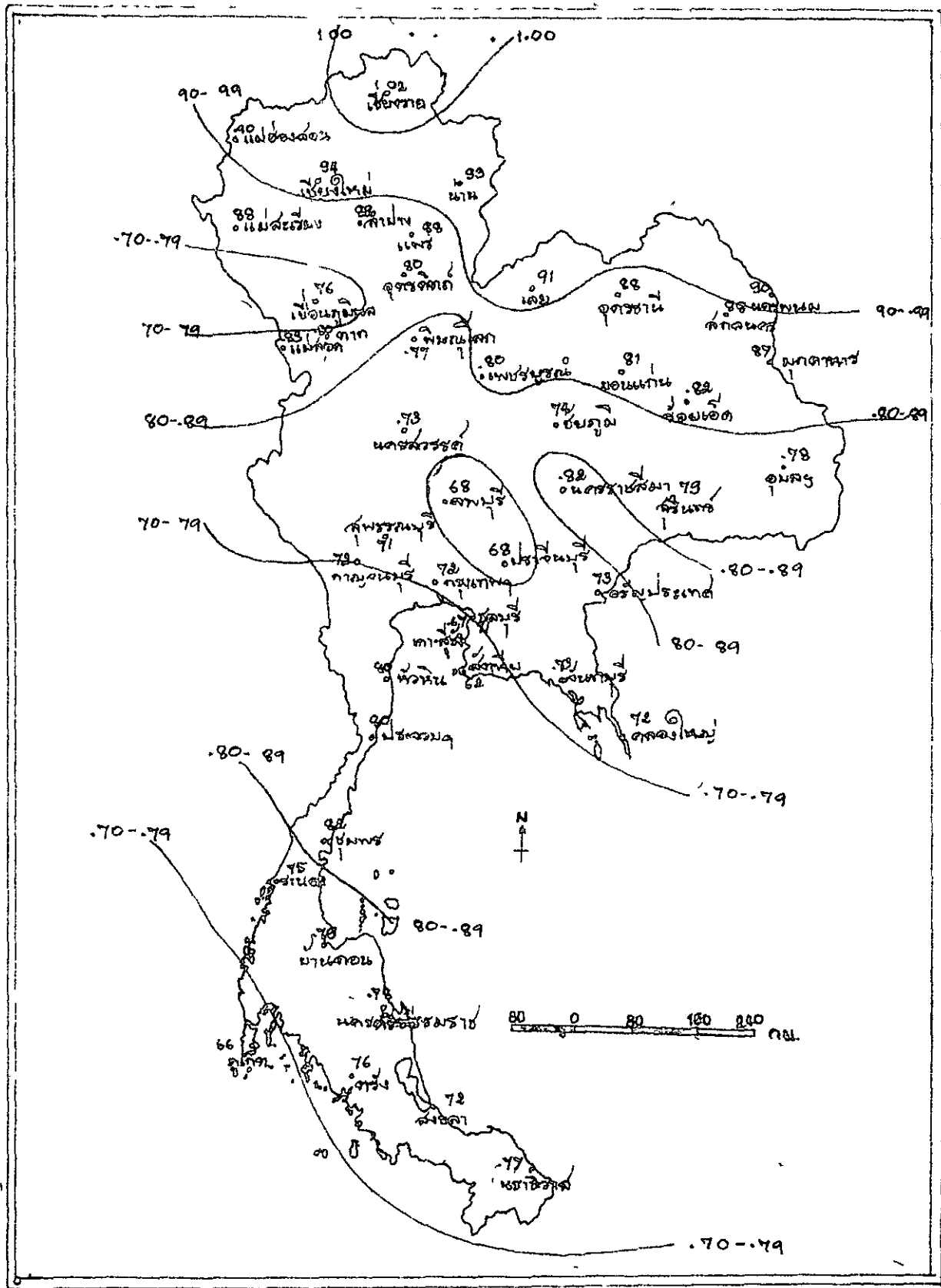
จากการคำนวณโอกาสการเกิดฝนหลวง ซึ่งได้ผลตามตาราง 4.7

เมื่อนำผลที่ได้คำนวณที่และจากเส้นฝนหลวงเข้ามาภาค จะได้แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงทั่วประเทศ เป็นรายเดือน

ในเดือนมกราคม (รูปที่ 4.11) จะเห็นว่าตอนบนสุดของภาคเหนือ โอกาสที่จะได้รับผลสำเร็จในการทำฝนหลวงมีค่าถึง 1.02 ตอนกลางของภาคเหนือ และตอนบนของภาคเหนือการทำฝนหลวงมีโอกาสได้รับผลสำเร็จระหว่าง .90-.99 ตอนใต้ของภาคเหนือและตอนกลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือการทำฝนหลวงมีโอกาสได้รับผลสำเร็จระหว่าง .80-.89 ภาคกลาง ตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงใต้การทำฝนหลวงมีโอกาสพบความสำเร็จระหว่าง .70-.79 ยกเว้น ลพบุรีและปราจีนบุรีที่ปีโอกาสได้รับความสำเร็จเพียง .68 กับนครราชสีมามีโอกาส การเกิดฝนหลวงถึง .82ทางตอนบนของภาคใต้การทำฝนหลวงมีโอกาสได้รับความ สำเร็จระหว่าง 0.80-.89 ส่วนตอนล่างของภาคใต้โอกาสการทำฝนหลวงอย่างไ้ ได้รับความสำเร็จจะอยู่ระหว่าง .70-.79 ยกเว้นภูเก็ต ซึ่งโอกาสได้รับความ สำเร็จ มีเพียง .66 เท่านั้น

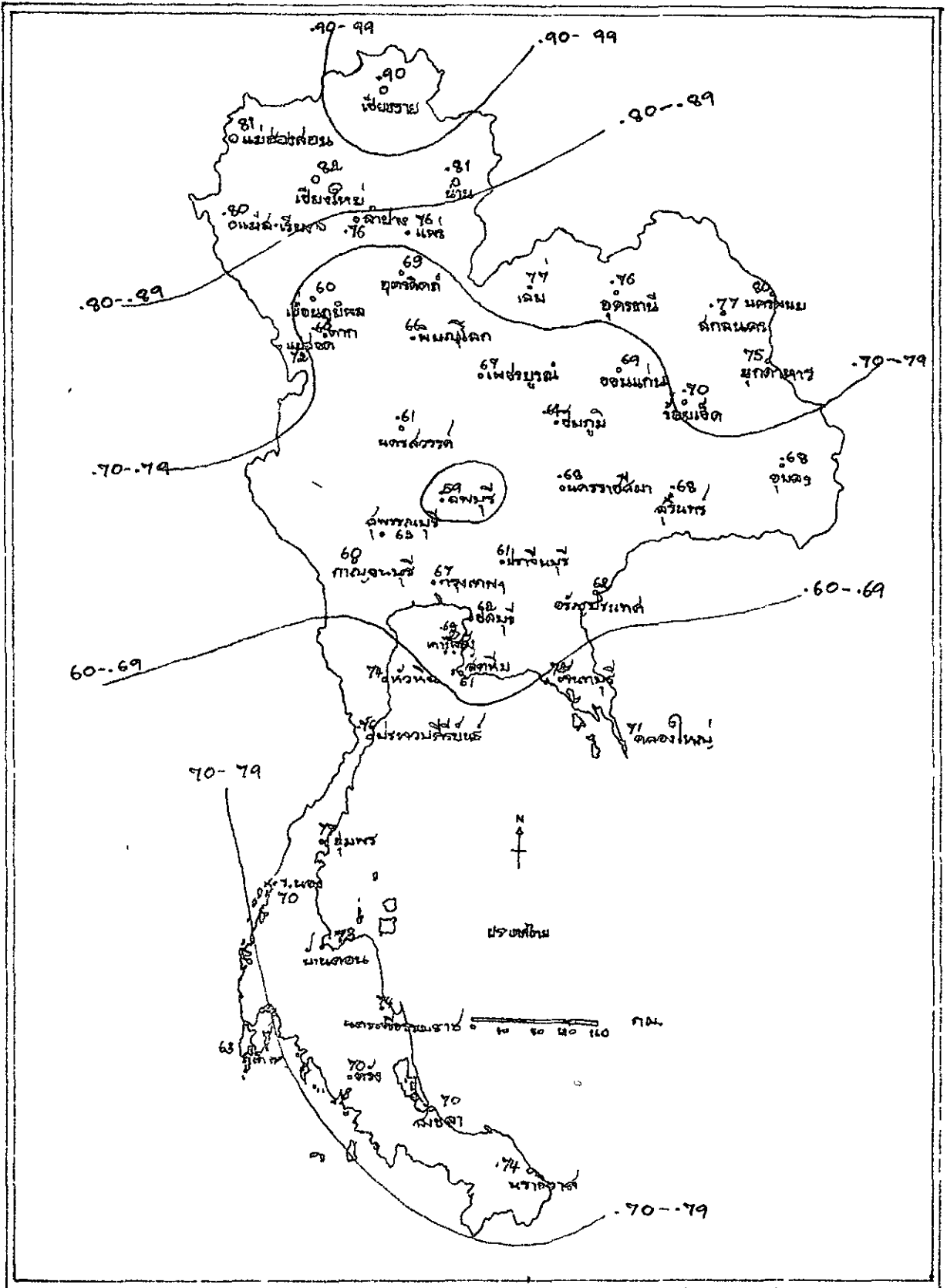
เมื่อพิจารณาทั้งประเทศ พบว่าโอกาสการทำฝนหลวงอย่างไ้ ได้รับความ สำเร็จจะปีปากที่ภาคเหนือของประเทศแล้วค่อย ๆ ลดลงเมื่อลงมาทางใต้และจะ มากขึ้นอีกครั้งเมื่อมาถึงตอนบนของภาคใต้แล้วค่าก็จะน้อยลงอีกสำหรับภาคใต้โดยเฉพาะ จะเห็นว่าทางฝั่งตะวันออกของภาคโอกาสที่จะทำฝนหลวงอย่างไ้ ได้รับความ สำเร็จจะมี มากกว่าทางชายฝั่งตะวันตก

ในเดือนกุมภาพันธ์ (รูปที่ 4.12) ตอนบนสุดของภาคเหนือการทำฝน หลวง มีโอกาสได้รับความ สำเร็จ .90 ตอนกลางของภาคเหนือตอนบนและทางตะวันออกของตอนกลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โอกาสที่จะทำฝนหลวงให้ไ้ ได้รับความ สำเร็จมีค่าระหว่าง 0.70-0.89 ตอนใต้ของภาคเหนือ ด้านตะวันตกของตอนกลาง และตอนใต้ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางทั้งภาคและตอนบนของภาคตะวันออก โอกาสการทำฝนหลวงอย่างไ้ ได้รับความ สำเร็จมีค่าระหว่าง 0.60-0.69 ยกเว้นลพบุรีซึ่ง มีค่าเพียง 0.59 ส่วนตอนใต้ของภาคตะวันออก ภาคใต้ทั้งภาคยกเว้นภูเก็ตปีโอกาส



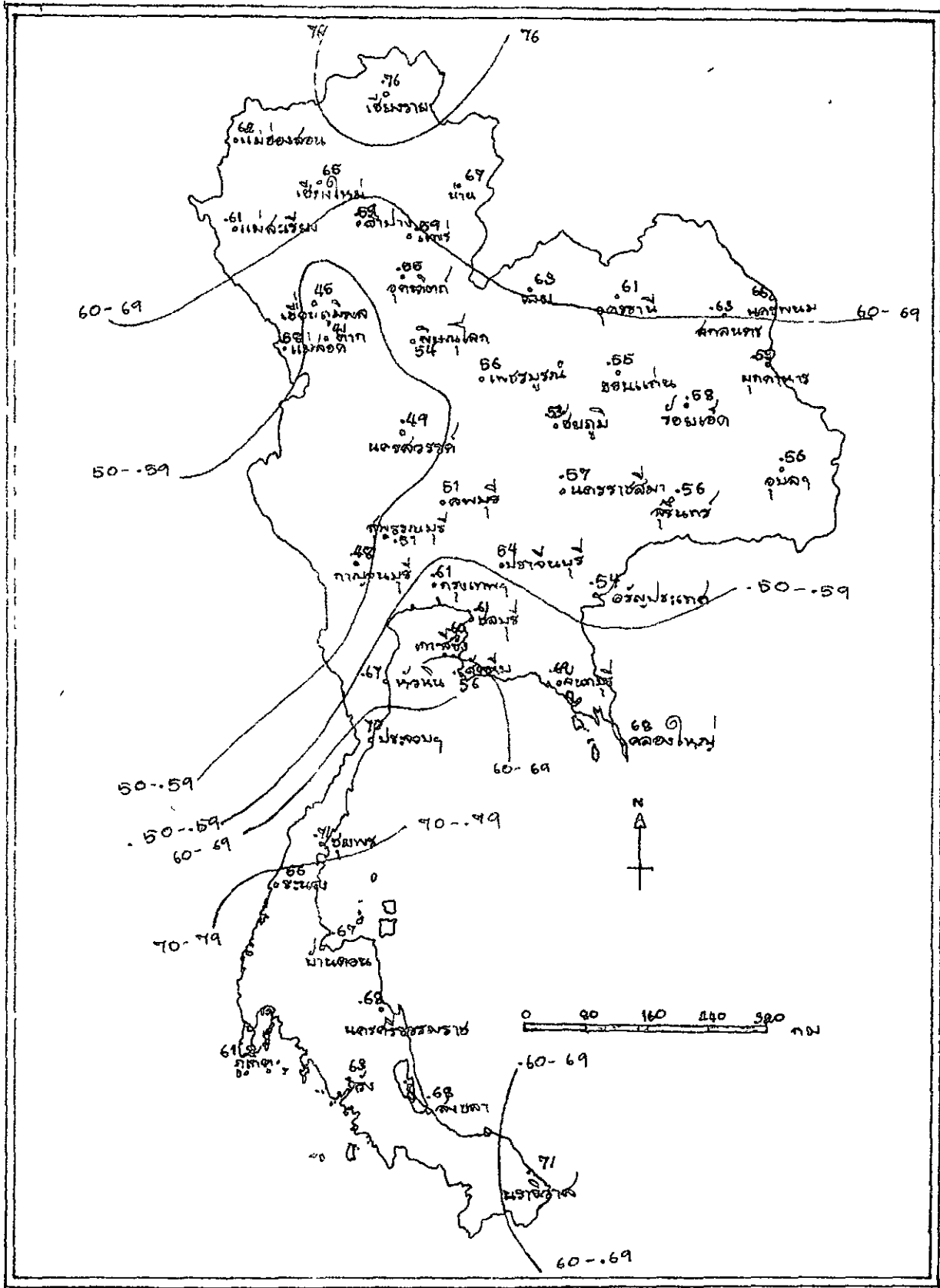
รูปที่ 4.11

แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงทั่วประเทศไทยประจำเดือนมกราคม



รูปที่ 4.12

แสดงโอกาสการเกิดพ่นหาวทั่วประเทศไทยประจำเดือนกุมภาพันธ์



รูปที่ 4.13

แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงทั่วประเทศไทยประจำเดือนมีนาคม

การทำแผนหลวงอย่างใดได้รับความสำเร็จระหว่าง .70-.79 ส่วนภูเก็ทนั้นมีค่าเพียง .63

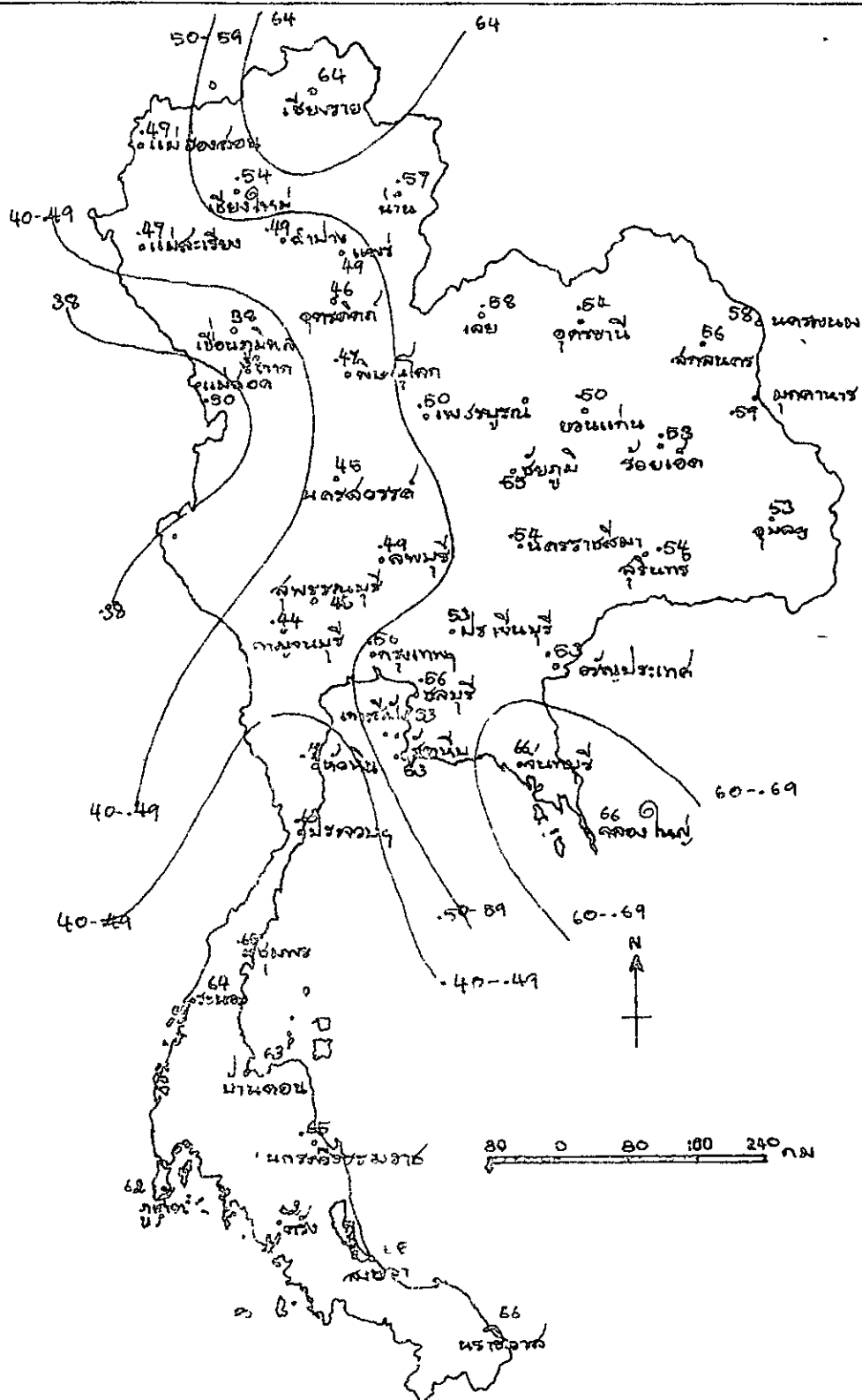
ในก่อนฤกษ์วันนี้ เพื่อพิจารณาทั้งประเทศจะมีรูปแบบคล้ายคลึงกับ
เดือนกรกฎาคม แต่ว่าโอกาสการทำแผนหลวงอย่างใดได้รับความสำเร็จในแต่ละสถานที่
กานอยลง

เดือนมีนาคม (รูปที่ 4.13) ตอนบนสุดของภาคเหนือโอกาสที่จะทำ
แผนหลวงอย่างใดได้รับความสำเร็จมีค่า .76 ตอนกลางของภาคเหนือตอนบนของภาค
ตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าระหว่าง .60-.69 ตอนใต้ของภาคเหนือ ยกเว้นเขื่อนภูมิพล
และตาก ภาคกลางทั้งภาคยกเว้นนครสวรรค์ กาญจนบุรี และพระนครศรีอยุธยา
และตอนใต้ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมทั้งตอนบนของภาคตะวันออกก็อปราชินบุรี
กับรัฐประเทศมีค่าระหว่าง .50-.59 ส่วนเขื่อนภูมิพล ตาก นครสวรรค์และกาญจนบุรี
มีค่าระหว่าง .40-.49

กรุงเทพมหานครตอนใต้ของภาคตะวันออก ยกเว้นสี่ตำบลรวมทั้งตอนบน
สุดของภาคใต้ก็อ่าวหัวหินมีค่าระหว่าง .60-.69 ภาคใต้ส่วนที่เหลือมีค่าระหว่าง .60-.69
ทั้งนี้ยกเว้น ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และ นราธิวาส เพราะทั้งสามสถานที่มีค่าระหว่าง .70-
.79

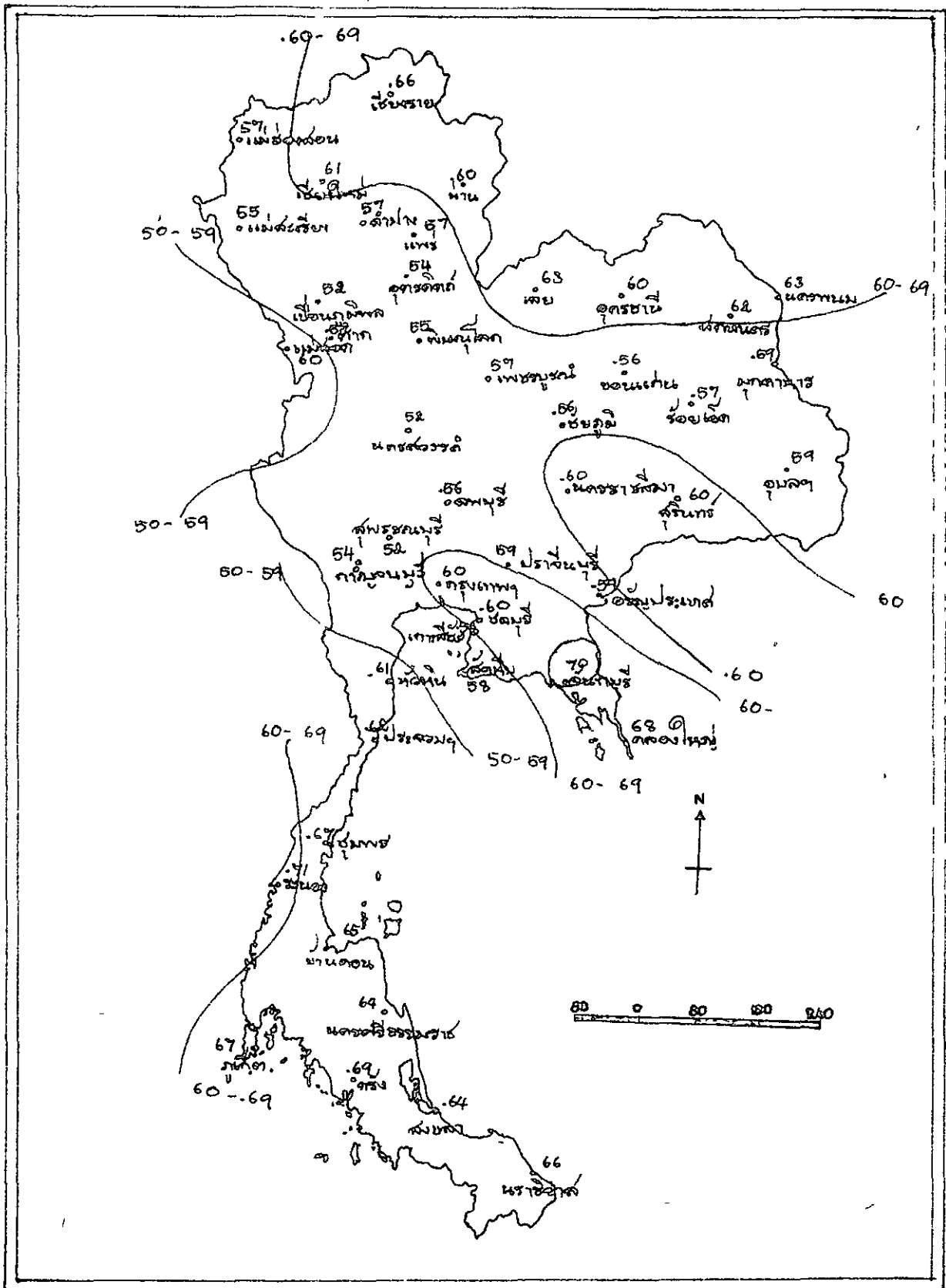
เดือนเมษายน (รูปที่ 4.14) ตอนบนสุดของภาคเหนือโอกาสการเกิด
แผนหลวงมีค่า .64 ตอนกลางของภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งภาค ภาคตะวันออก
ทั้งภาคยกเว้นจันทบุรีและคลองใหญ่ มีค่าระหว่าง .50-.59 ส่วนจันทบุรีและ
คลองใหญ่มีค่า .66 ทั้งสองสถานที่

ตอนใต้ของภาคเหนือ ยกเว้นเขื่อนภูมิพล ตาก และแม่สอด ภาคกลาง
ทั้งภาค ยกเว้นกรุงเทพมหานคร โอกาสการเกิดแผนหลวงมีค่าระหว่าง .40-.49 ส่วน
เขื่อนภูมิพลและตากมีค่า .38 แม่สอดมีค่า .50 และกรุงเทพมหานครมีค่า .56
ภาคใต้ทั้งหมดมีค่าระหว่าง .60-.69



รูปที่ 4.14

แสดงโอกาสการเข้าพบหลวงปู่ประทีปไทยประจำเดือนเมษายน



รูปที่ 4.15

แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงทั่วประเทศไทยประจำปีเดือนพฤษภาคม

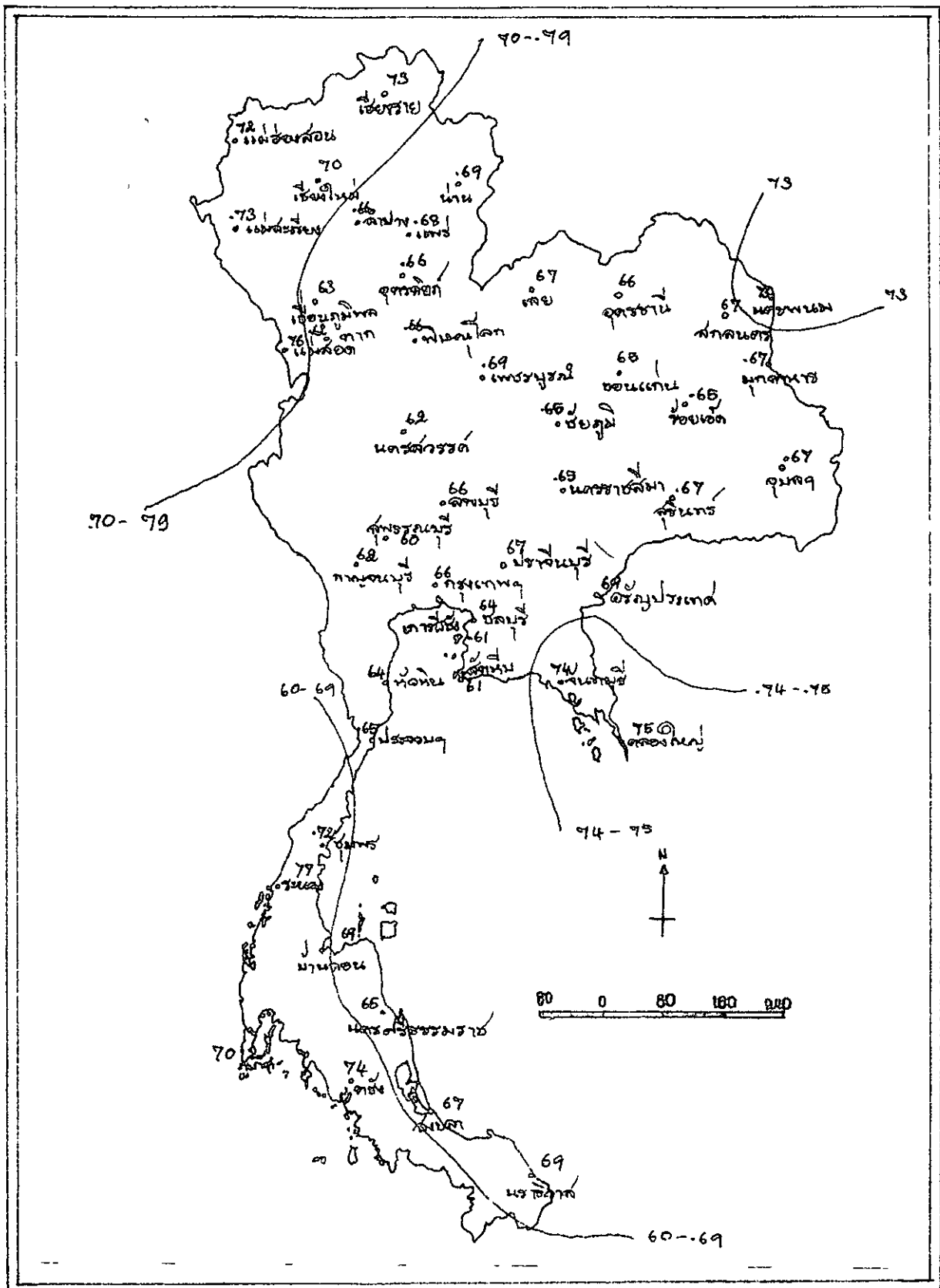
เดือนพฤษภาคม (รูปที่ 4.15) ตอนบนของภาคเหนือตอนบนของภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ โอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าระหว่าง .60-.69 ตอนใต้ของ ภาคเหนือยกเว้นแม่สอ กอนกลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางทั้งหมด ยกเว้นกรุงเทพมหานครและตอนบนของภาคตะวันออก มีค่าระหว่าง .50-.59 แม่สอตอนใต้ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กรุงเทพมหานคร ชลบุรี และคลองใหญ่ มีค่าระหว่าง .60-.69 ส่วนเกาะสีชังและสัตหีบมีค่า .58 จันทบุรีมีค่า .70 ภาคใต้ทั้งหมดมีค่าระหว่าง .60-.99 ยกเว้นระนองเพราะระนองมีค่า .71

ในเดือนมิถุนายน (รูปที่ 4.16) ส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีโอกาส การเกิดฝนหลวงระหว่าง .60-.69 ยกเว้นบางสถานีในภาคเหนือคือ เชียงราย แม่สอเรียง แม่สอ ทางจากตะวันออกเฉียงเหนือก่อนนครพนม ภาคตะวันออก คือ จันทบุรี กลองใหญ่ และภาคใต้คือ จันทบุรี ระนอง ที่โอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าระหว่าง .70-.79 และบางสถานีในภาคกลางคือ นครสวรรค์ สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เกาะสีชัง สัตหีบ ที่โอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าระหว่าง .50-.59

ในเดือนกรกฎาคม (รูปที่ 4.17) ตอนบนและทางตะวันตกของภาคเหนือ โอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าระหว่าง .70-.79 ทางตอนล่างของภาคเหนือภาคกลาง ทั้งภาค ภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งภาคยกเว้นนครพนม ภาคตะวันออกทั้งภาคยกเว้น จันทบุรี และคลองใหญ่ รวมทั้งหัวหินและประจวบคีรีขันธ์ โอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่า ระหว่าง .60-.69 ส่วนนครพนม จันทบุรี และคลองใหญ่ โอกาสการเกิดฝนหลวงมี ค่าระหว่าง .70-.79 ในภาคใต้ตอนใต้จากประจวบคีรีขันธ์ลงไปโอกาสการเกิดฝนหลวง แบ่งเป็นสองกลุ่มคือ ทางชายฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าระหว่าง .60-.69 ส่วนชายฝั่ง ตะวันตกมีค่าระหว่าง .70-.79

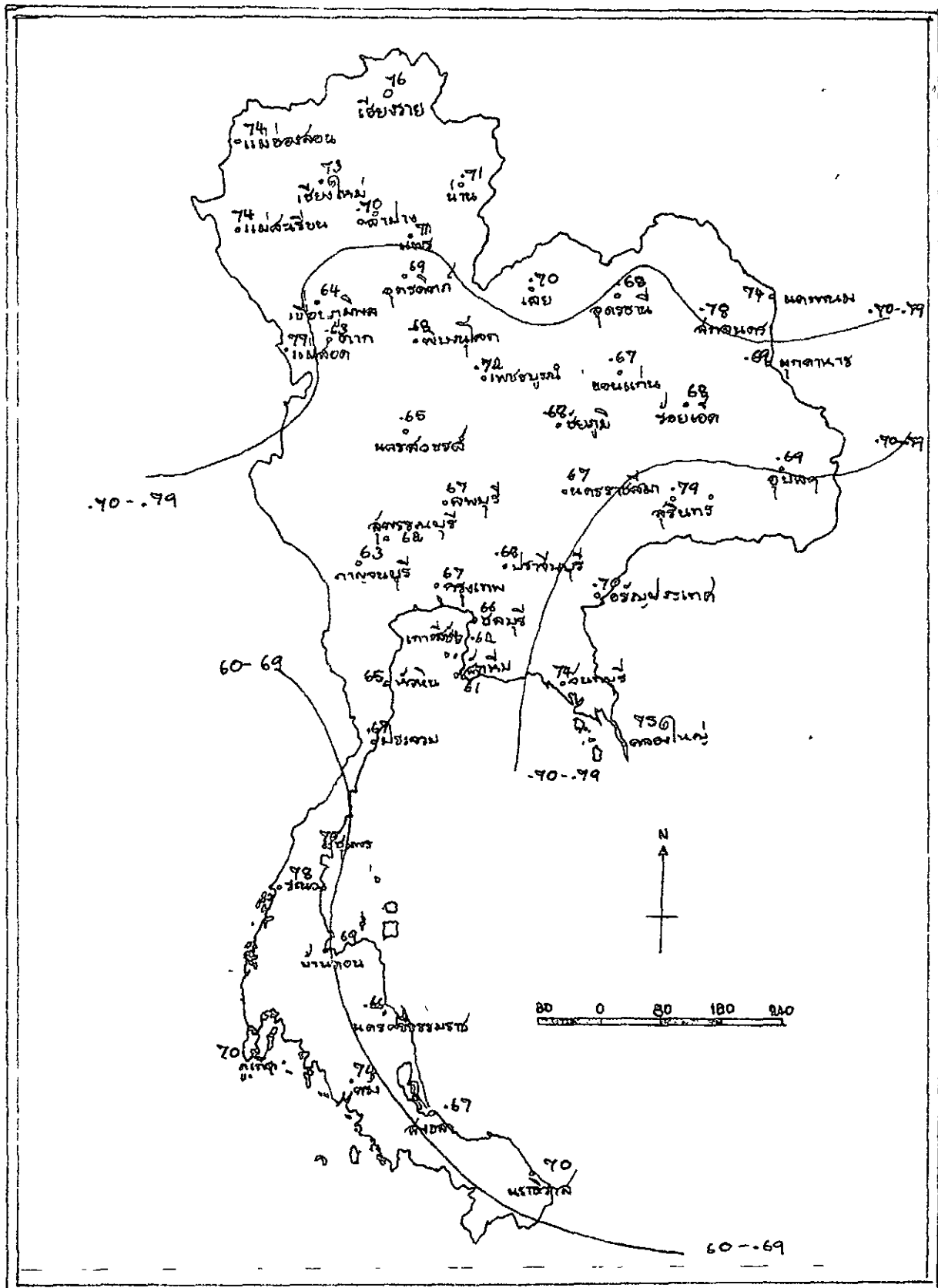
ในเดือนสิงหาคม (รูปที่ 4.18) โอกาสการเกิดฝนหลวงคล้ายคลึง กับเดือนกรกฎาคม -คือทางตอนกลางและตอนบนของภาคเหนือ - ตอนบนของภาคตะวัน ออกเฉียงเหนือ โอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าระหว่าง .70-.79 ตอนใต้ของภาคเหนือ

แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงจั่วประเทศไทยประจำเดือนมิถุนายน



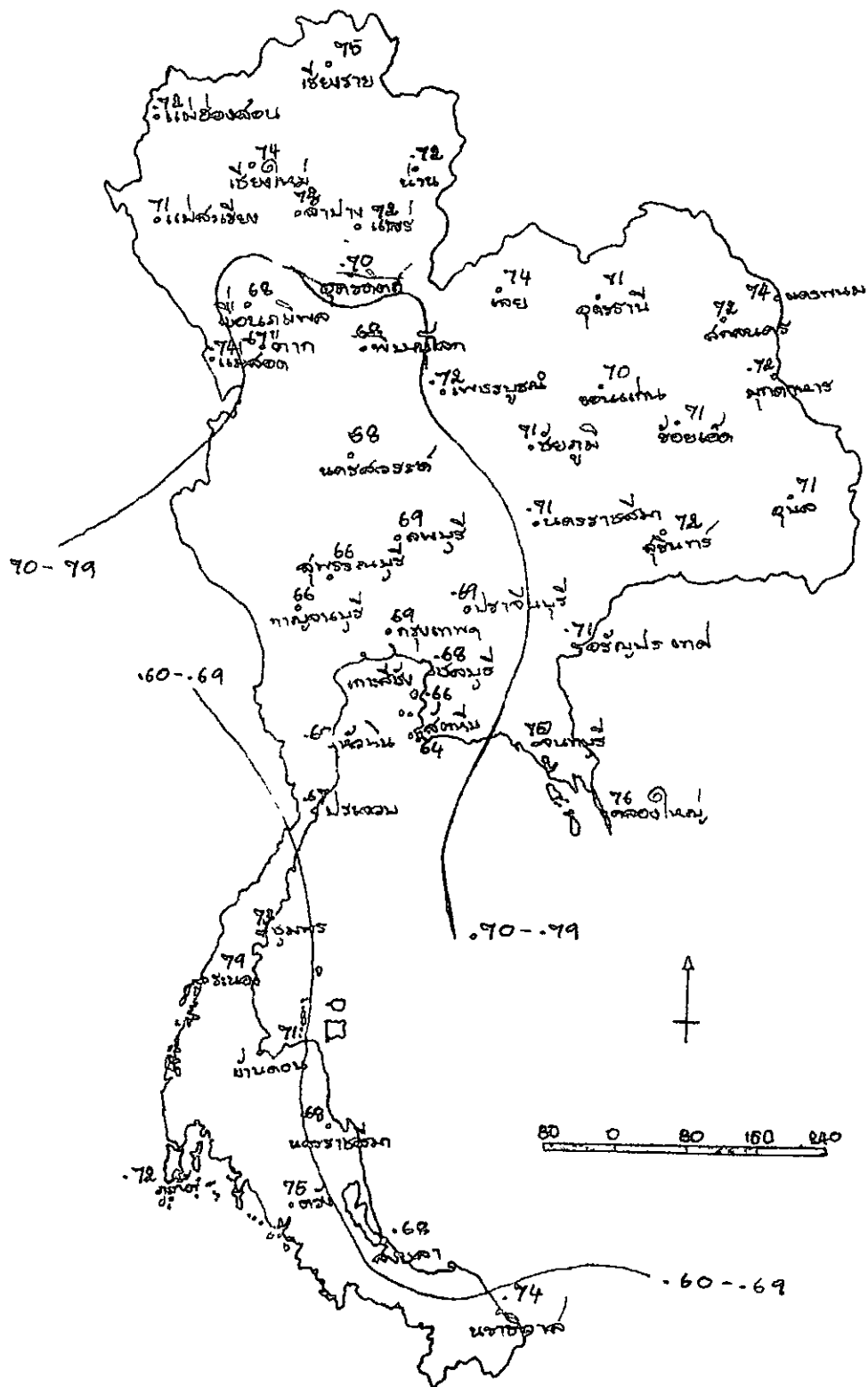
รูป 4.17

แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงทั่วประเทศไทยประจำเดือนกรกฎาคม



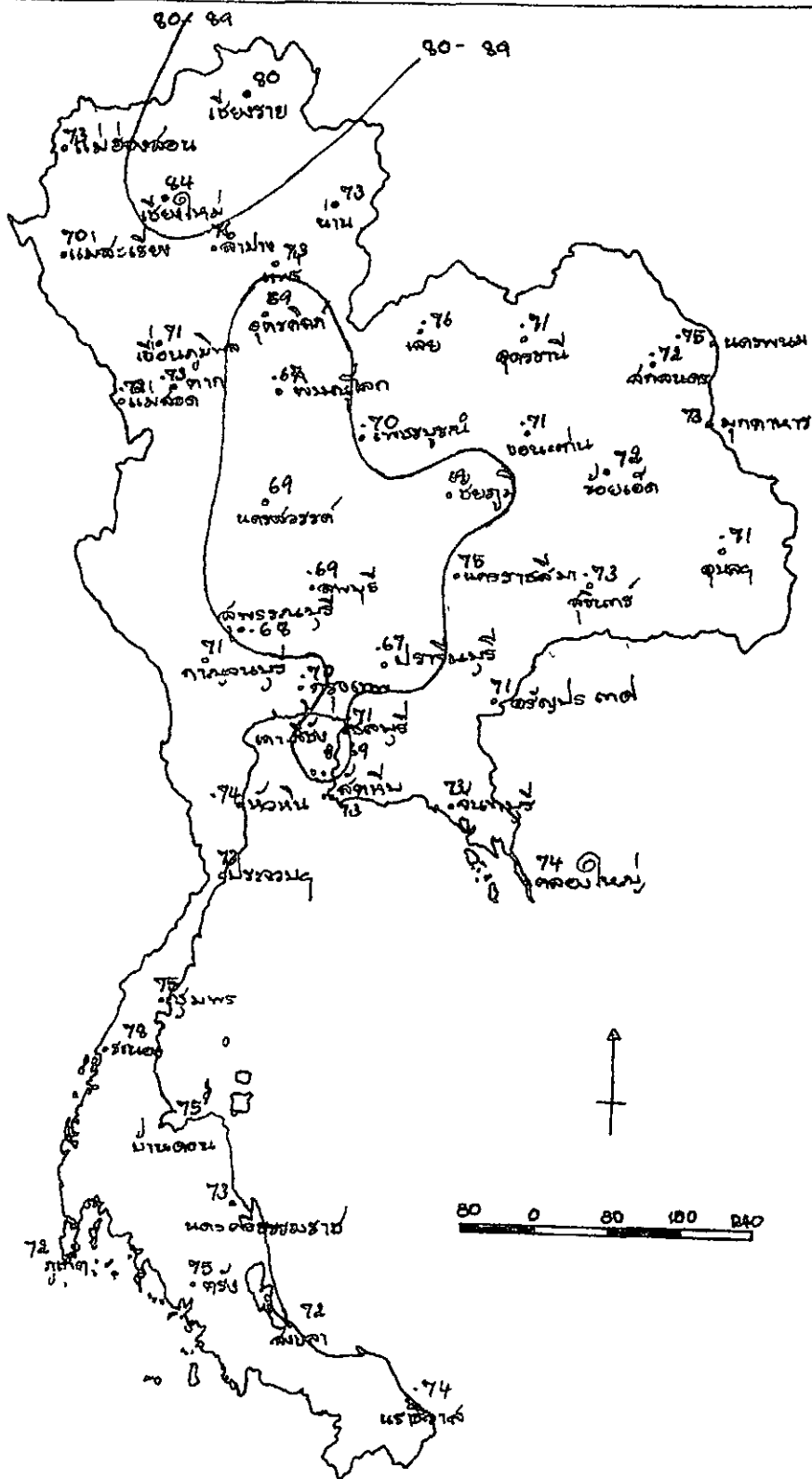
รูปที่ 4.18

แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงทั่วประเทศไทยประจำเดือนสิงหาคม



รูปที่ 4.19

แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงทั่วประเทศไทยประจำปีเดือนกันยายน



รูปที่ 4.20

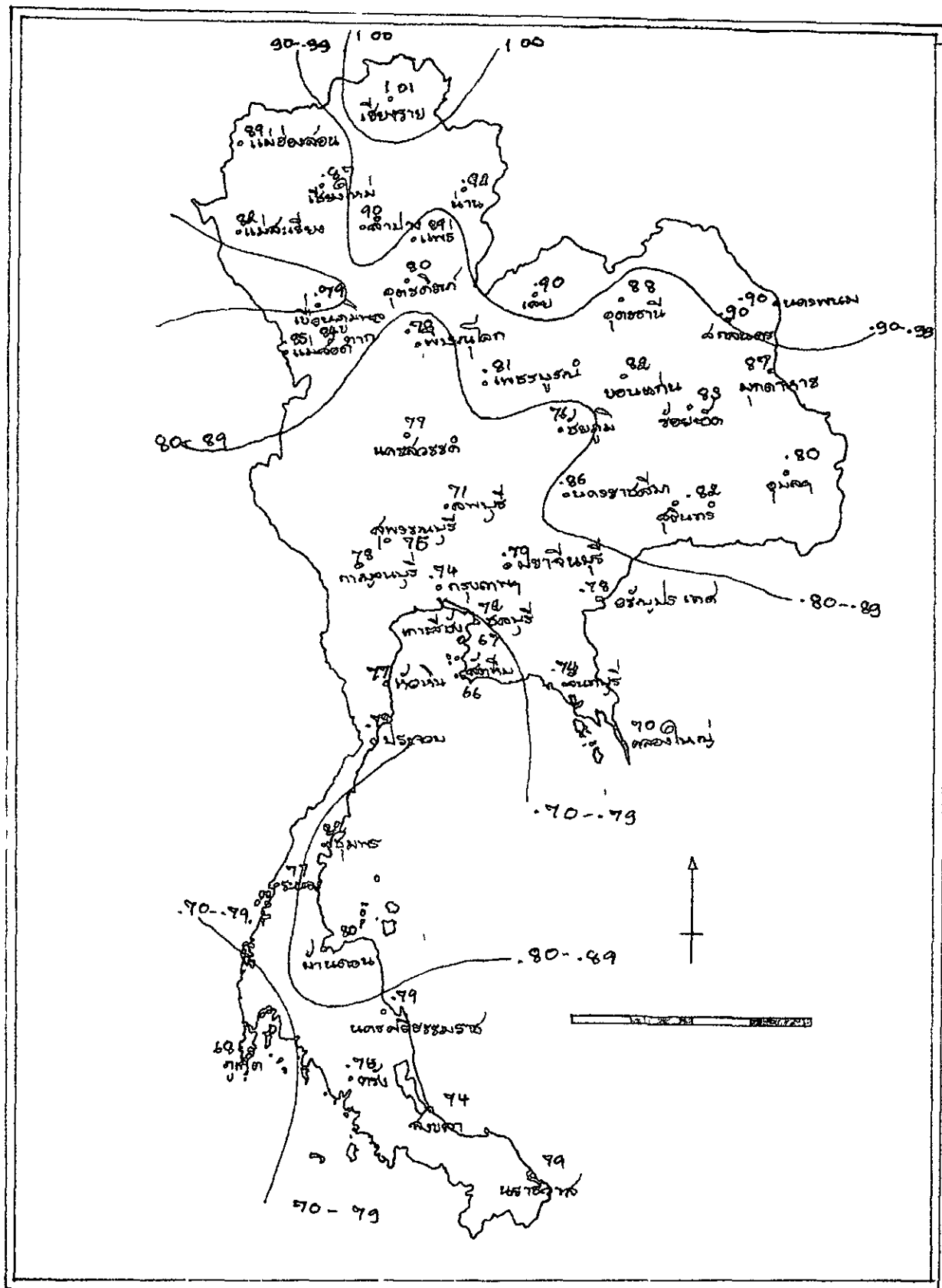
แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงทั่วประเทศไทยประจำเดือนตุลาคม

ภาคกลางทั้งหมด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลางและตอนใต้ทั้งหมด ยกเว้น สุรินทร์ ภาคตะวันออกทั้งภาคยกเว้น อนุรักษ์ประเทศ จันทบุรี กลองใหญ่ มีค่าโอกาส การเกิดฝนหลวงระหว่าง .60-.65 ส่วนสุรินทร์ อนุรักษ์ประเทศ จันทบุรี กลองใหญ่ มีค่าระหว่าง .70-.79 สำหรับภาคใต้ตอนบนสุดมีค่าระหว่าง .60-.65 แต่ได้ จากประจวบคีรีขันธ์ลงไป โอกาสการเกิดฝนหลวงทางชายฝั่งตะวันออกยกเว้น นราธิวาสมีค่าระหว่าง .60-.69 ส่วนนราธิวาสและชายฝั่งตะวันตกมีค่าระหว่าง .70-.79

ในเดือนกันยายน (รูปที่ 4.19) ภาคเหนือทั้งภาคยกเว้นเขื่อน ภูมิพล ตาก และพิษณุโลก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งภาค ทางตะวันออก ของภาค ตะวันออกคือ อนุรักษ์ประเทศ จันทบุรี และกลองใหญ่ มีค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงระหว่าง .70-.79 ส่วนเขื่อนภูมิพล ตาก พิษณุโลก ภาคกลางทั้งภาค ทางตะวันตก ของภาคตะวันออก รวมทั้งหัวหินและประจวบคีรีขันธ์ มีค่าระหว่าง .60-.69 ส่วนภาคใต้จากประจวบคีรีขันธ์ลงไปโอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าระหว่าง .70-.79 ยกเว้นเฉพาะนครศรีธรรมราช และสงขลาที่มีค่าเพียง .68 เท่านั้น

ในเดือนตุลาคม (รูปที่ 4.20) ส่วนใหญ่ของประเทศมีโอกาสการ เกิดฝนหลวงอยู่ระหว่าง .70-.79 ทั้งนี้ยกเว้นตอนบนสุดของภาคเหนือคือเชียงใหม่ และเชียงใหม่มีค่า .80 และ .84 ตามลำดับ ส่วนตอนกลางของประเทศก็มีค่า เพียง .60-.69 เท่านั้น

เดือนพฤศจิกายน (รูปที่ 4.21) ตอนบนสุดของภาคเหนือคือ เชียงรายมีค่าโอกาสการเกิดฝนหลวง .90 ตอนกลางของภาคเหนือและตอนบนของ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าระหว่าง .80-.89 ส่วนที่เหลือโอกาสการเกิด ฝนหลวงเกือบทั้งประเทศมีค่าระหว่าง .70-.79 ยกเว้นนกรราชสีมา มีค่า .80 ลพบุรี ปราจีนบุรี เกาะสีชังและสตูลมีค่าระหว่าง .60-.69



รูปที่ 4.22

แสดงโอกาสการเกิดพ่นหลวงทั่วประเทศไทยประจำปีคือนันวาคม

เดือนธันวาคม (รูปที่ 4.22) ตอนบนสุดของภาคเหนือคือเชียงใหม่ มีโอกาสการเกิดฝนหลวงถึง 1.01 ทางตะวันออกของภาคเหนือรวมทั้งตอนบนของ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าระหว่าง .90-.99 ทางตะวันตกและตอนใต้ของ ภาคเหนือยกเว้นเขื่อนภูมิพลและพินุลโลก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เหลือทั้งหมด มีค่าระหว่าง .80-.89 ส่วนเขื่อนภูมิพล พินุลโลก ภาคกลางทั้งหมด และภาค ตะวันออกทั้งภาคยกเว้นเกาะสีชังกับสัตหีบ มีค่าระหว่าง .71-.79 เกาะสีชัง และสัตหีบมีค่าเพียง .67 และ .66 ตามลำดับ

ทางภาคใต้เกือบทั้งหมดมีค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงระหว่าง .70-.79 ยกเว้นชุมพรกับบ้านดอนที่มีค่าถึง 82 และ 80 ตามลำดับ และภูเก็ตมีค่าเพียง .68 เท่านั้น

จากแผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ประจำเดือน เราจะพบว่าในแต่ละเดือน โอกาสการเกิดฝนหลวงจะแตกต่างกันไปในแต่ละสถานี สถานีใดจะมีโอกาสการเกิดฝนหลวงมากน้อยเพียงใด ย่อมขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทาง ภูมิอากาศหรืออากาศของสถานีนั่น ๆ ได้แก่

1. อุณหภูมิ อุณหภูมินี้เป็นอุปสรรคในการทำฝนหลวง ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นเพียงใด โอกาสทำฝนหลวงอย่างไร้ผลสำเร็จจะลดลงในอัตราส่วนกลับกัน

2. ปริมาณเมฆชั้นต่ำ เป็นตัวการที่ทำให้โอกาสการเกิดฝนหลวงเพิ่มขึ้น รวมทั้งน่าจะช่วยให้ลดต้นทุนในการปฏิบัติการลงได้ด้วยถ้าในท้องฟ้ามีปริมาณเมฆชั้นต่ำ อยู่ในปริมาณสูง

3. ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นตัวการทำให้โอกาสการเกิดฝนหลวงเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ

ในสภาพความเป็นจริงนั้นแต่ละสถานี สภาพอากาศอากาศในแต่ละวัน หรือแต่ละเดือนไม่เหมือนกันเลย จึงทำให้ค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงในแต่ละสถานีใน เดือนเดียวกันต่างกันไป เจนในคุณท้าวถ้าเราพิจารณาเดือนธันวาคมเป็นตัวอย่าง จะพบว่าทางตอนบนของประเทศโอกาสการเกิดฝนหลวงจะมีค่าสูงสุดและจะลดลง

เมื่อลงมาถึงตอนกลางและตอนใต้ของประเทศ ทั้งนี้ก็เพราะว่าทางตอนบนของประเทศ ได้รับอิทธิพลจากมรสุมฤดูหนาว ทำให้อุณหภูมิลดลงต่ำ โอกาสการเกิดฝนหลวงจึงสูง ส่วนตอนกลางและตอนใต้ของประเทศ ได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือกว่า ตอนเหนือของประเทศ อุณหภูมิจึงยังสูงกว่าทำให้โอกาสการเกิดฝนหลวงน้อยกว่า

เป็นที่น่าสังเกตว่าในฤดูนี้ฤดูหนาว และบ้านดอน โอกาสการเกิดฝนหลวง จะมีค่าสูงกว่าสถานีอื่นในภาคใต้ ทั้งนี้จะเป็นภัยเหตุผลที่ว่าสองสถานีดังกล่าว อยู่ทางตะวันออกของภาคใต้ ซึ่งจะได้รับลมชื้นจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่ พัดผ่านอ่าวไทยมาก่อน ความชื้นสัมพัทธ์จึงสูง ทำให้โอกาสการเกิดฝนหลวงสูงกว่า สถานีอื่น ๆ ในภาคใต้

ในฤดูร้อนเมื่อพิจารณาเดือนเมษายน (รูปที่ 4.14) เป็นตัวอย่างเรา จะเห็นว่าตอนบนและตอนกลางของประเทศโอกาสการเกิดฝนหลวงน้อยกว่าตอนใต้ ของประเทศ ทั้งนี้ก็เพราะในช่วงฤดูร้อนนี้ตอนบนและตอนกลางของประเทศมีอุณหภูมิ สูง ขณะเดียวกันความชื้นสัมพัทธ์ก็ต่ำ ทำให้โอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าน้อย ส่วนตอนใต้แม้ว่าอุณหภูมิจะสูงเท่า ๆ กับ ตอนบนและตอนกลาง แต่เนื่องจากอยู่ใกล้ ทะเลทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าโอกาสการเกิดฝนหลวงจึงมากกว่า

ในฤดูฝนเมื่อพิจารณาเดือนสิงหาคม (รูปที่ 4.18) เป็นตัวอย่างพบว่า ตอนบนของประเทศโอกาสการเกิดฝนหลวงมีค่าสูงกว่าตอนกลางและเท่ากับชายฝั่ง ตะวันตกของตอนใต้ของประเทศ ทั้งนี้ก็เพราะว่าตอนบนและตอนใต้ฝั่งตะวันตกได้รับ อิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มากกว่าตอนกลางของประเทศและตอนใต้ฝั่ง ตะวันออก ทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าในขณะที่อุณหภูมิส่วนใหญ่ของประเทศในฤดู นี้ไม่ต่างกันมากนัก ทำให้ตอนบนของประเทศและชายฝั่งตะวันตกของตอนใต้มีโอกาส เกิดฝนหลวงมากกว่าตอนกลางของประเทศ ที่กล่าวว่าตอนกลางของประเทศทั้งภาค กลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้รับอิทธิพลของมรสุมตะวันตกน้อยกว่าตอนใต้และ ตอนบนนั้น น่าจะเนื่องมาจากมีหิวดูเขาตะนาวศรีกั้นทางเดินของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

เข้าสู่ภาคกลาง และทิวเขาเพชรบูรณ์ทางเดินของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัด
เข้าสู่ตอนกลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ส่วนชายฝั่งตะวันออกของภาคใต้โอกาสการเกิดฝนหลวงก็น้อยกว่าชายฝั่ง
ตะวันตก เนื่องมาจากเป็นค่านับลมที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ไม่สามารถจะพัดข้าม
ทิวเขาสูงเป็น สันกลางของภาคใต้ไม่ได้ ความชื้นจึงน้อยกว่าชายฝั่งตะวันตก
ทำให้โอกาสการเกิดฝนหลวงน้อยไปกว่า

ขณะเดียวกันในขณะนี้เราจะเห็นว่าภาคตะวันออกเฉียงใต้ก็มีโอกาส
การเกิดฝนหลวงสูงเท่ากับตอนบนและชายฝั่งตะวันตกของภาคใต้ของประเทศ
ทั้งนี้ก็เพราะภาคตะวันออกเฉียงใต้ได้รับความชื้นจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัด
มาจากอ่าวไทยรวมทั้งไต้ฝุ่นและดีเปรสชันจากทะเลจีนใต้ด้วย

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุป ข้อเสนอแนะ

ผลการวิเคราะห์ในบทที่ 4 สามารถอภิปรายผลตามลำดับขั้นดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา
ต่อไปนี้เป็นคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณเมฆชั้นต่ำ
2. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาคับกันเอง
3. สมการถดถอย (Regression equation) ที่แสดงโอกาสการเกิด
ฝนหลวง

1. ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา

1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิ

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการแบ่งข้อมูลโดยถืออุณหภูมิเป็นเกณฑ์หรือโดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์ก็ตาม ได้ผลการหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิตรงกันคือได้ค่าเป็นลบ และเมื่อนำข้อมูลจากทั้งสองกรณีไปสร้างกราฟและคำนวณสมการถดถอย (Regression equation) โดยมีโอกาสการเกิดฝนหลวงเป็นตัวแปรต้นและอุณหภูมิเป็นตัวแปรตาม ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่า ถ้าอุณหภูมิลดลงแล้ว โอกาสการเกิดฝนหลวงจะเพิ่มขึ้น

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงว่าโอกาสการเกิดฝนหลวงมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับอุณหภูมิ ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลนี้ตรงกับสมมุติฐาน ข้อ 2.ค. เหตุผลในทางภูมิศาสตร์ที่จะอธิบายผลของความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับอุณหภูมิมักมีดังนี้คือ

1. หยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ไม่ว่าจะเป็นหยาดน้ำฟ้าที่เกิดตามธรรมชาติหรือเกิดโดยมนุษย์เป็นผู้กระตุ้นก็ตาม หยดน้ำที่ตกจากบรรยากาศลงสู่พื้นผิวโลกจะต้องเริ่มต้นจากการกลั่นตัว (Condensation) ของไอน้ำจนเป็นละอองน้ำ เป็นเมฆ

และเป็นหยาดน้ำฟ้าในที่สุด การกลั่นตัวจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่ออุณหภูมิลดลงโดยรอบอยู่ในสภาพที่เหมาะสมก็ต้องมีอุณหภูมิอยู่ที่ จุดน้ำค้าง (Dew point) การกลั่นตัวจึงจะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นถ้าอุณหภูมิของบรรยากาศสูงกว่าจุดน้ำค้างการกลั่นตัวจะไม่เกิดขึ้น หรือถ้ามนุษย์จะกระตุ้นให้เกิดขึ้นก็ย่อมเป็นไปได้ยาก อุณหภูมิจึงมีผลต่อการเกิดหยาดน้ำฟ้าทั้งที่เกิดตามธรรมชาติและมนุษย์กระตุ้นให้เกิดขึ้นด้วย

2. การกลั่นตัวเพื่อการเกิดหยาดน้ำฟ้านอกจากจะมาจากอุณหภูมิที่เหมาะสมแล้วยังต้องมีความชื้นสัมพัทธ์ที่มากพออีกด้วย โดยเฉพาะการปฏิบัติการฝนหลวงควรปฏิบัติการในขณะที่มีบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 70 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปจึงจะได้ผลดี ถ้าในบรรยากาศมีอุณหภูมิสูงสมรรถนะในการรับไอน้ำของอากาศจะเพิ่มขึ้น หากไอน้ำเพิ่มเข้าสู่บรรยากาศความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิของบรรยากาศลดลงสมรรถนะในการรับไอน้ำของอากาศจะลดลง ถ้าไอน้ำในบรรยากาศยังคงมีปริมาณเท่าเดิมจะทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น การที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นหรือลดลงนี้จะมีผลโดยตรงต่อการกลั่นตัว ซึ่งจะส่งผลต่อการเกิดหยาดน้ำฟ้าในที่สุด

3. การปฏิบัติการฝนหลวงนั้น อุณหภูมิจะมีผลโดยตรงต่อการปฏิบัติการ กล่าวคืออุณหภูมิจะมีผลต่อการสร้างเมฆ การรวมเมฆทั้งที่เกิดตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น และการเลี้ยงเมฆให้โตขึ้น ถ้าในบรรยากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้อากาศขยายตัวเป็นผลทำให้เมฆที่เกิดขึ้นแล้วกระจายออกไปจากเป้าหมาย หรือถ้าเมฆที่รวมตัวกันแล้วอุณหภูมิลดลงเกินไปก็จะทำให้เมฆสลายตัวได้ หรือทำให้ปริมาณการกลั่นตัวลดลงจนไม่สามารถทำให้เมฆ มีขนาดโตขึ้นได้

จากผลของการวิเคราะห์และเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมด จึงสรุปได้ว่าถ้าในบรรยากาศมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น การปฏิบัติการฝนหลวงจะมีโอกาสน้อยลง และถ้าในบรรยากาศมีอุณหภูมิลดลง การปฏิบัติการฝนหลวงจะมีโอกาสเพิ่มขึ้น ดังนั้นเราจะเห็นได้ว่าการปฏิบัติการฝนหลวงจึงเริ่มลงมือปฏิบัติการในตอนเช้าโดยเริ่มตั้งแต่ 7.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิของบรรยากาศยังต่ำ เพราะเพิ่งจะได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์

1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับความชื้นสัมพัทธ์

จากการแบ่งข้อมูลโดยถืออุณหภูมิเป็นเกณฑ์หรือโดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเป็นบวกและจากข้อมูลเดียวกันเมื่อนำไปสร้างกราฟเส้นตรง กราฟเส้นตรงชี้ให้เห็นว่าถ้าความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นแล้วโอกาสการเกิดฝนหลวงจะเพิ่มขึ้นด้วย และจากผลการคำนวณสมการถดถอยของเส้นกราฟดังกล่าว ค่าสัมประสิทธิ์ของความชื้นสัมพัทธ์ก็มีค่าเป็นบวก แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความชื้นสัมพัทธ์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลนี้ตรงกับสมมุติฐานข้อ 2. ก. ในพื้นที่ใดก็ตาม หยาดน้ำฟ้าจะเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติหรือว่ามนุษย์กระตุ้นให้เกิดขึ้นจะต้องมีความชื้นสัมพัทธ์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญทั้งนี้ก็ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

1. การกลั่นตัวของไอน้ำเพื่อการตกลงมาเป็นหยาดน้ำฟ้าั้นจะเกิดขึ้นได้ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่เพียงพอเท่านั้น ถ้าในบรรยากาศมีแกนการกลั่นตัวอยู่แล้ว การกลั่นตัวก็จะเกิดขึ้นก่อนที่บรรยากาศจะอิ่มตัวด้วยไอน้ำ (ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์) ถ้าในบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นการกลั่นตัวรอบแกนการกลั่นตัวก็ย่อมมีเพิ่มขึ้น และส่งผลทำให้การเกิดหยาดน้ำฟ้าได้ง่ายขึ้น

2. ในการปฏิบัติการเพื่อสร้างเมฆขึ้นทำให้เกิดขึ้นในบรรยากาศในขณะที่ต้องทำใบมีเมฆขึ้นต่ำอยู่เลย หรือเพิ่มเมฆขึ้นต่ำจากที่อยู่ม่างแล้วตามธรรมชาติ โดยการโปรยสารเคมีประเภทไฮโกรสโกปิก (Hygroscopic) เพื่อดูดซับไอน้ำในบรรยากาศให้มารวมกันจนเป็นละอองน้ำและเป็นเมฆในที่สุด ถ้าในบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์น้อยเกินไป ไอน้ำที่จะมาเกาะรอบแกนไฮโกรสโกปิกก็จะมีน้อย ทำให้การสร้างเมฆเป็นไปไ้ยาก ในทางตรงข้ามถ้าในบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง การสร้างเมฆก็จะทำได้สะดวก จึงจะทำให้เกิดหยาดน้ำฟ้าได้ง่ายด้วย

3. การที่หยาดน้ำฟ้าจะตกลงสู่พื้นดินไถ่นั้น ขนาดของหยาดน้ำฟ้าต้องมีขนาดโตพอเพียง มิฉะนั้นหยาดน้ำฟ้าจะระเหยไปหมดก่อนที่จะตกลงถึงพื้นดิน แต่ถาในบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะช่วยให้การระเหยของหยาดน้ำฟ้าจากการขัดสีกับบรรยากาศลดลง ทำให้หยดน้ำตกลงสู่พื้นดินได้ ยิ่งไปกว่านั้นการเก็บโคของหยาดน้ำจากขบวนการชนกัน (Collision efficiency) ยังขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์อีกด้วย กล่าวคือถาในบรรยากาศมีไอน้ำมากขบวนการชนกันจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วและง่ายกว่า ทำให้ขนาดของหยาดน้ำฟ้าโตขึ้นอย่างรวดเร็วและมีขนาดโตกว่า หยาดน้ำฟ้าในพื้นที่ที่บรรยากาศมีไอน้ำหรือความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

จากเหตุผลที่กล่าวมาและจากผลการวิเคราะห์ข้อมูล จึงกล่าวได้ว่าโอกาสการเกิดฝนหลวงนั้นมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ ถาในบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นโอกาสการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างใดก็อย่างหนึ่งสำเร็จจะเพิ่มขึ้น และในทางตรงกันข้ามถาในบรรยากาศที่มีความชื้นลดลงการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างใดก็อย่างหนึ่งจะได้รับผลสำเร็จจะมีโอกาสน้อยลงกว่า

1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการแบ่งข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงโดยถืออุณหภูมิเป็นเกณฑ์หรือโดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์ก็ตาม ได้ผลการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงและปริมาณเมฆชั้นต่ำออกมาตรงกันคือได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นบวก จากการสร้างกราฟด้วยข้อมูลเดียวกันเส้นกราฟก็ทำให้เห็นว่าถาปริมาณเมฆชั้นต่ำในท้องฟ้าเพิ่มขึ้นโอกาสการทำฝนหลวงจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อกำนวณสมการถดถอยของเส้นกราฟก็กล่าว ได้สัมประสิทธิ์ของ ปริมาณเมฆชั้นต่ำเป็นบวก

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจึงสรุปได้ว่า โอกาสการเกิดฝนหลวงนั้นมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ ซึ่งตรงกับสมมุติฐานข้อ 2. ข. ในทางภูมิศาสตร์สามารถอธิบายลักษณะของความชื้นสัมพัทธ์ดังกล่าวด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้ คือ

1. การเกิดฝนตามธรรมชาติในฟ้าที่ใด ๆ จะเกิดจาก เมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) ซึ่งเป็นเมฆที่วิวัฒนาการมาจากเมฆคิวมูลัส (Cumulus) ซึ่งเป็นเมฆชั้นต่ำ ดังนั้นในชั้นที่ใด ๆ ถ้ามีเมฆคิวมูลัสอยู่แล้วโอกาสที่เมฆคิวมูลัสจะวิวัฒนาการไปเป็นเมฆคิวมูโลนิมบัสนั้นย่อมเป็นไปได้ง่ายกว่าในชั้นที่ไม่มีเมฆคิวมูลัสอยู่เลย

2. การทำฝนหลวงนั้น มนุษย์ต้องพยายามสร้างเมฆคิวมูลัสขึ้นมาในบริเวณพื้นที่เป้าหมายโดยใช้เทคนิควิธีและสารเคมีที่เหมาะสม แล้วพยายามเลี้ยงเมฆนั้นให้โตเป็นเมฆคิวมูโลนิมบัส ในช่วงสุดท้ายจึงบังคับให้เมฆนั้นตกลงมาเป็นฝน ถ้าในท้องฟ้ามีเมฆคิวมูลัสอยู่แล้วจะทำให้การรวมเมฆ การเลี้ยงเมฆ และการบังคับให้เมฆกลายเป็นฝนนั้นทำได้เร็วกว่า รวดเร็วกว่าและลงทุนน้อยกว่าและโอกาสเกิดฝนหลวงก็มีมากกว่าด้วย

อย่างไรก็ตามการที่จะบังคับให้เมฆคิวมูโลนิมบัสตกลงมาเป็นฝนนั้นขนาดของเมฆต้องใหญ่พอ ความสูงของเมฆจากฐานเมฆถึงยอดเมฆต้องมีระยะทางมากกว่าจากพื้นดินถึงฐานเมฆถึงฐานเมฆ และความเร็วของลมต้องไม่แรงเกินไป เพราะถ้าลมหักแรงเกินไปอาจพัดเบสเมฆให้ไปตกในพื้นที่นอกเป้าหมายได้ หรืออาจทำให้เมฆกระวายเป็นก้อนจนไม่สามารถจะตกลงมาเป็นฝนตามต้องการได้

จากการวิเคราะห์ข้อมูลและเหตุผลที่กล่าวอ้างมา กล่าวได้ว่า โอกาสการเกิดฝนหลวงมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคตรงกับโอกาสการเกิดฝนหลวง กล่าวคือ ถ้าในท้องฟ้ามีปริมาณเมฆชั้นต่ำมาก โอกาสการเกิดฝนหลวงจะมีค่ามากด้วย และถ้าในท้องฟ้ามีปริมาณเมฆชั้นต่ำน้อย โอกาสการเกิดฝนหลวงจะมีค่าน้อยด้วย

2. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางอุทกนิยมนิยามด้วยกันเอง

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุทกนิยกับความสัมพันธ์

ความสัมพันธ์ระหว่างอุทกนิยกับความสัมพันธ์ที่ได้จากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากการแบ่งข้อมูลโดยถืออุทกนิยเป็นเกณฑ์และการแบ่งข้อมูลโดยถือ

ความสัมพันธ์เป็นเกณฑ์ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเป็นลบ แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ เป็นปฏิภาคผกผันแก่กันและกัน กล่าวคือถ้าในบรรยากาศมีอุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์จะน้อย แต่ถ้าในบรรยากาศมีอุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์จะสูง

ด้วยเหตุผลทางภูมิศาสตร์ สามารถอธิบายเหตุผลแห่งความสัมพันธ์นั้นได้ว่า เพราะเหตุใดอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์จึงมีความสัมพันธ์ในเชิงผกผันแก่กันและกัน กล่าวคือ

1. ในพื้นที่ใดก็ตามถ้าในบรรยากาศมีอุณหภูมิสูง สมรรถนะภาพในการอุ้มน้ำของบรรยากาศในพื้นที่นั้นจะเพิ่มขึ้น ถ้าไม่มีการเพิ่มไอน้ำเข้าสู่บรรยากาศให้สมดุลกับสมรรถนะภาพของอากาศแล้ว ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง หรือกล่าวได้ว่าเมื่อบรรยากาศในพื้นที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อากาศก็จะเพิ่มปริมาณด้วยการขยายตัวขึ้น ขณะเดียวกันปริมาณไอน้ำในบรรยากาศยังคงมีปริมาณเท่าเดิม ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างไอน้ำกับปริมาณของอากาศจึงลดลง นั่นคือความชื้นสัมพัทธ์ลดลงนั่นเอง

2. ในพื้นที่ใดก็ตามถ้าในบรรยากาศมีอุณหภูมิลดลง สมรรถนะภาพในการอุ้มน้ำของบรรยากาศในพื้นที่นั้นจะลดลง ถ้าไม่มีการลดไอน้ำของบรรยากาศด้วยการกลั่นตัวเสียก่อน ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้น หรือกล่าวได้ว่าในพื้นที่ใดเมื่ออุณหภูมิลดลง อากาศจะลดปริมาณของตัวมันเองโดยการหดตัว ขณะเดียวกันปริมาณไอน้ำในอากาศยังคงที่ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างไอน้ำกับปริมาณของอากาศจึงเพิ่มขึ้น นั่นคือความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นนั่นเอง

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง จะมีผลทำให้ปริมาณของอากาศเปลี่ยนแปลงด้วย ซึ่งจะส่งผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงไปในทางตรงข้ามกับอุณหภูมิ นั่นคืออุณหภูมิมิมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์นั่นเอง

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการแบ่งข้อมูลโดยถืออุณหภูมิเป็นหลักหรือโดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์ ได้ผลแห่งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณเมฆชั้นต่ำตรงกันคือได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นลบ แสดงว่าอุณหภูมิมิมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ

เมื่อพิจารณาในค่านิยมศาสตร์เราจะพบว่าเมฆกิมูลัสซึ่งเป็นเมฆชั้นต่ำจะมีปริมาณมากในตอนเช้า ตอนเย็นหรือหลังจากฝนตก ส่วนในตอนกลางวันเมฆกิมูลัสจะมีน้อย และที่ปรากฏให้เห็นจะมีขนาดเล็ก แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณเมฆชั้นต่ำจะมีน้อย ทั้งนี้ก็ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิจะเป็นสิ่งที่กำหนดสภาวะการกลั่นตัวของไอน้ำ กล่าวคือการกลั่นตัวจะเกิดขึ้นเมื่อบรรยากาศมีอุณหภูมิต่ำ จุกน้ำค้าง ดังนั้นถ้าอุณหภูมิยิ่งสูงกว่าจุกน้ำค้างมากเพียงใด โอกาสการกลั่นตัวก็จะมีน้อยลง ซึ่งทำให้ละอองน้ำที่รวมกลุ่มกัน จนเป็นเมฆชั้นต่ำนั้นน้อยลงด้วย

2. อุณหภูมิเป็นสิ่งที่กำหนดสภาวะของความชื้นในบรรยากาศ ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์จะมีส่วนสัมพันธ์อย่างยิ่งกับการกลั่นตัวของไอน้ำ ยิ่งไปกว่านั้นความชื้นสัมพัทธ์ยังมีส่วนช่วยให้ขนาดของละอองน้ำในบรรยากาศมีขนาดโตขึ้นด้วย ดังนั้นถ้าอุณหภูมิในบรรยากาศเพิ่มขึ้น ความชื้นจะลดลงปริมาณเมฆชั้นต่ำในท้องฟ้าก็จะมีปริมาณลดลงด้วย ในท้องฟ้าที่นั่นถ้าเวลาใดที่อุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์จะสูงและปริมาณเมฆชั้นต่ำก็จะสูงด้วย

จึงกล่าวได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในบรรยากาศต่ำ ปริมาณเมฆชั้นต่ำจะเพิ่มขึ้นและถ้าอุณหภูมิในบรรยากาศสูง ปริมาณเมฆชั้นต่ำจะลดลง นั่นแสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณเมฆชั้นต่ำจะเป็นปฏิภาคผกผันแก่กันและกัน ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานข้อ 3.ค.

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณเมฆชั้นต่ำ

เมฆชั้นต่ำในท้องฟ้าเกิดขึ้นจากการกลั่นตัวของไอน้ำในบรรยากาศ จนทำให้ไอน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นละอองน้ำ เมื่อละอองน้ำรวมกันเป็นกลุ่มเราเรียกว่าเมฆ การกลั่นตัวของไอน้ำนั้นมีขนาดใหญ่กลายเป็นละอองเมฆนั้นจะเกิดขึ้นด้วยสาเหตุใหญ่สองประการด้วยกัน คือ

1. เมื่ออากาศอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยไอน้ำ คือมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ หรือ

2. อากาศไม่อยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยไอน้ำ แต่ไอน้ำในบรรยากาศไปกลั่นตัวรอบแกนการกลั่นตัว

ในสภาพเป็นจริงของธรรมชาติการกลั่นตัวของไอน้ำ จะเกิดแบบที่สอง มากกว่าแบบที่หนึ่ง ดังนั้นถ้าในบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นจะทำให้มีไอน้ำไปเกาะรอบแกนการกลั่นตัวมากขึ้น ทำให้มีละอองน้ำในบรรยากาศเพิ่มขึ้น และถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ การกลั่นตัวจะเกิดได้ทั้งสองวิธี ซึ่งยิ่งทำให้มีละอองน้ำในบรรยากาศมากยิ่งขึ้น จึงกล่าวได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศมีอิทธิพลต่อปริมาณเมฆชั้นต่ำอย่างยิ่ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในบทที่ 4 สนับสนุนคำกล่าวนั้นเป็นอย่างดี จะเห็นได้ว่าไม่ว่าจะแบ่งข้อมูลโดยการถืออุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์ก็ตาม สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณเมฆชั้นต่ำมีค่าเป็นบวก แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคตรงกับความชื้นต่ำ ซึ่งตรงกับสมมุติฐานข้อ 3.ก.

จากการอธิบายในข้อ 2.1- 2.3 จะเห็นว่าในวันที่มีอุณหภูมิค่าความชื้นสัมพัทธ์จึงน่าจะสูง และปริมาณเมฆชั้นต่ำในท้องฟ้าจะมีปริมาณมากด้วย ทั้งนี้ถ้าบริเวณนั้นมีสภาพอากาศอื่น ๆ ไม่เปลี่ยนแปลงได้แก่

1. ไม่มีมวลอากาศเย็นเคลื่อนตัวเข้ามาในพื้นที่ เพราะมวลอากาศเย็นเป็นมวลอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำซึ่งมีอุณหภูมิต่ำด้วย
 2. อัตราการระเหยคงที่และสมดุลกับการกลั่นตัว กล่าวคือในธรรมชาติของอากาศนั้นถ้ามีแต่การกลั่นตัวอย่างเดียวโดยไม่มีการระเหยเพิ่มไอน้ำเข้าสู่บรรยากาศแล้ว ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงและในที่สุดการกลั่นตัวก็จะยุติ ดังนั้นถ้ามีการระเหยเพิ่มไอน้ำเข้าสู่บรรยากาศในอัตราที่สมดุลกับการกลั่นตัว ความชื้นสัมพัทธ์ก็จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง
- เมื่อบรรยากาศมีอุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์จะสูงและเมฆชั้นต่ำมีปริมาณมาก จะทำให้การปฏิบัติการฝนหลวงมีโอกาสประสบความสำเร็จสูงขึ้น เมื่อพิจารณาการอธิบายในข้อ 2 รวมกับข้อ 1 จึงสรุปได้ว่าตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยานั้นมีความสัมพันธ์กัน และถ้าความสัมพันธ์นั้นไปในเงื่อนไขที่เหมาะสมแล้วจะส่งผลให้การปฏิบัติการฝนหลวงมีโอกาสประสบความสำเร็จในอัตราสูง ในทางตรงข้ามถ้าความสัมพันธ์เป็นไปในลักษณะที่ไม่เหมาะสมจะมีผลทำให้

การปฏิบัติการฝนหลวงมีโอกาสดำเนินการสำเร็จในอัตราที่ลดลงที่กล่าวมาทั้งหมดจึงตรงกับสมมุติฐานข้อที่ 3 ที่กล่าวว่า "องค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยาน่าจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันและจะส่งผลต่อการเกิดฝนหลวงด้วย"

อย่างไรก็ตามแม้ว่าการวิเคราะห์ข้อมูลจะชี้ให้เห็นว่า ถ้าตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยามีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่เหมาะสมแล้ว การปฏิบัติการฝนหลวงมีโอกาสดำเนินการสำเร็จในอัตราสูง ในการปฏิบัติการฝนหลวงจริง ๆ นั้น โอกาสการเกิดฝนหลวงไม่จำเป็นต้องได้รับความสำเร็จในอัตราสูงเสมอไป แม้ว่าตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาจะอยู่ในลักษณะที่เหมาะสมก็ตาม จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆมีอัตราสูง โอกาสการเกิดฝนหลวงก็ต่ำกว่าในช่วงที่มีอุณหภูมิสูงกว่าและความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆต่ำกว่า เช่น อุณหภูมิ เฉลี่ย 26.35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 86.00 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเมฆชั้นต่ำ 1.94 มีค่าโอกาสการเกิดฝนหลวง .69 ซึ่งน้อยกว่าโอกาสการเกิดฝนหลวงในช่วงอุณหภูมิเฉลี่ย 27.38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80.00 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเมฆชั้นต่ำ 1.93 มีโอกาสการเกิดฝนหลวง .75 จากความสัมพันธ์ของตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ช่วงหลังน่าจะมีความโอกาสการเกิดฝนหลวงน้อยกว่า

จากตาราง 4.3 จะเห็นว่าในช่วงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 82.89 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิเฉลี่ย 26.26 องศาเซลเซียส ปริมาณเมฆชั้นต่ำ 1.27 โอกาสเกิดฝนหลวง .78 ซึ่งมีค่าเท่ากับโอกาสการเกิดฝนหลวงในช่วงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 87.83 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิเฉลี่ย 25.67 องศาเซลเซียส และปริมาณเมฆชั้นต่ำ 2.06 จากความสัมพันธ์ของตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ช่วงหลังน่าจะมีความโอกาสการเกิดฝนหลวงมากกว่า แต่ก็มีโอกาสการเกิดฝนหลวงเท่ากับช่วงแรกเท่านั้น การปฏิบัติการฝนหลวงในสภาพความเป็นจริงได้รับผลดังกล่าวโดยไม่เป็นไปตามลักษณะความสัมพันธ์ที่กล่าวมาแล้วนั้น เนื่องจากยังมีตัวแปรอื่น ๆ นอกเหนือจากตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการศึกษา อันมีผลต่อการเกิดฝนหลวงด้วย ตัวแปรอื่น ๆ ที่มีผลต่อโอกาสการเกิดฝนหลวงได้แก่

1. ความพร้อมเพรียงของการเตรียมตัวในการปฏิบัติการว่ามีความพร้อมในสิ่งต่อไปนี้เพียงใด คือ ชนิดและปริมาณของสารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือในการปฏิบัติการ รวมทั้งความชำนาญของคณะปฏิบัติการฝนหลวงด้วย

2. เทคนิควิธีในการโปรยหรือพ่นสารเคมีชนิดต่าง ๆ ว่าเหมาะสมกับจุดประสงค์ในขั้นตอนของการปฏิบัติการเพียงใด

3. การปฏิบัติงานอย่างทันท่วงทีกับขั้นตอนและวัตถุประสงค์

4. ความแปรปรวนของกาลอากาศในช่วงเวลาหลังจากที่ได้ลงมือปฏิบัติการไปแล้ว กล่าวคือในช่วงการเริ่มลงมือปฏิบัติการทำฝนหลวงจะเริ่มตั้งแต่เวลา 7.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ในพื้นที่ยังมีอุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์สูงและปริมาณเมฆชั้นต่ำมาก ในช่วงปฏิบัติการได้แก่การสร้างเมฆ การรวมเมฆและการเลี้ยงเมฆให้โต เมื่อเวลาผ่านไปจึงคววอาทิตย์ส่องแสงแรงขึ้นอาจทำให้สภาวะอากาศไม่เป็นไปตามที่คาดไว้เช่น มีลมพัดแรงขึ้นจะเป็นอุปสรรคต่อการปฏิบัติการในการโปรยหรือพ่นสารเคมีและการรวมเมฆโดยกระแสนลมจะพัดให้สารเคมีพุ่งกระจายไม่พุ่งเข้าสู่เป้าหมายที่ต้องการ หรือทำให้เมฆที่รวมแล้วแตกกระจายออก หรือทำให้เมฆที่กำลังจะตกเป็นฝนเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่เป้าหมายไป

ถ้าอุณหภูมิในช่วงกลางวันร้อนจัดเกินไป ก็จะเป็นอุปสรรคต่อการรวมเมฆ การเลี้ยงเมฆให้โต หรือการบังคับให้เมฆตกเป็นฝนลงในพื้นที่เป้าหมาย

จากตัวแปรที่กล่าวมานี้ เป็นสิ่งชี้ให้เห็นว่าแม้ว่าบางครั้งตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยามีความสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม พร้อมทั้งจะช่วยให้การเกิดฝนหลวงเป็นไปได้ในอัตราสูง แต่การปฏิบัติการฝนหลวงอาจไม่ได้ผลเท่าที่ควรถ้าตัวแปรที่กล่าวถึงในตอนหลังไม่เหมาะสมด้วย

3. สมการถดถอยที่มุ่งบอกถึงโอกาสการเกิดฝนหลวง

3.1 สมการถดถอย จากการแบ่งข้อมูลโดยถืออุณหภูมิเป็นเกณฑ์ ได้ผลดังนี้

Hypothesis Regression Equation	Estimated Regression Equation
(1) $Pr = \alpha + \theta T + \lambda C$	$Pr = 1.1257 - 0.0373T + 0.3124C$

$$(2) \text{ Pr} = \alpha + \beta T + \gamma \text{RH}$$

$$\text{Pr} = 4.073 - 0.0945 T - 0.0096 \text{ RH}$$

$$(3) \text{ Pr} = \alpha + \beta C + \gamma \text{RH}$$

$$\text{Pr} = -0.5004 + 0.4893C + 0.00359\text{RH}$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (1) และสมการที่ (3) จะเห็นว่ารูปแบบของสมการ พ้องกับผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา คือสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิมีค่าเป็นลบ ซึ่งอุณหภูมิทำหน้าที่เป็นอุปสรรคต่อโอกาสการเกิดฝนหลวง ส่วนสัมประสิทธิ์ของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำมีค่าเป็นบวก โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณเมฆชั้นต่ำทำหน้าที่เป็นตัวส่งเสริมโอกาสการเกิดฝนหลวง ผลนี้ตรงกับสมมุติฐาน ข้อที่ 1 ที่กำหนดให้สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิมีค่าเป็นลบสัมประสิทธิ์ของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณเมฆชั้นต่ำมีค่าเป็นบวก

สัมประสิทธิ์ที่คูณอยู่กับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา เป็นเสมือนดัชนีที่ชี้ให้เห็น ความสำคัญของตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่มีต่อโอกาสการเกิดฝนหลวง จะเห็นว่าสัมประสิทธิ์ ของเมฆมีค่าสูงสุด สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิมีค่าสูงกว่าสัมประสิทธิ์ของความชื้นสัมพัทธ์ แสดง ว่าเมฆมีความสำคัญต่อการทำฝนหลวงมากกว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิมีความ สำคัญต่อการทำฝนหลวงมากกว่าความชื้นสัมพัทธ์

ในสภาพทางภูมิศาสตร์เราจะเห็นว่า การเกิดฝนนั้นจะเกิดจากปริมาณเมฆ ชั้นต่ำเป็นสำคัญ กล่าวคือเมื่ออากาศถูกก่อกวน (Upset equilibrium) จะทำให้ เมฆคิวมูลัสวิวัฒนาการเป็นเมฆฝนคือเมฆคิวมูโลนิมบัส และเมื่อเมฆคิวมูลัสมีขนาดใหญ่ขึ้นจนถึง ขนาดที่เรียกว่าโตเต็มที่ (Mature Stage) ฝนก็จะเริ่มตก อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ นั้นเป็นเพียงองค์ประกอบที่จะทำให้เกิดเมฆและให้เมฆกลายเป็นฝนเท่านั้น

ส่วนในการปฏิบัติการฝนเทียมนั้น การปฏิบัติการเบื้องต้นก็คือการสร้างเมฆ ชั้นต่ำถ้าในท้องฟ้าไม่มีเมฆอยู่เลย หรือรวมเมฆเมื่อในท้องฟ้ามีเมฆชั้นต่ำอยู่แล้ว ส่วนอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์นั้นเป็นเพียงสิ่งที่จะช่วยส่งเสริมให้การสร้างเมฆหรือการรวมเมฆเป็นไป ตามต้องการหรือไม่เท่านั้นจึงกล่าวได้ว่าปริมาณเมฆชั้นต่ำเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดต่อโอกาสการ เกิดฝนหลวง

ในสมการที่คำนวณได้สมการที่ (1) และ (3) นั้นมีต่างจากสมการในสมมุติฐานข้อที่ (1) อยู่ประการหนึ่งคือไม่ได้พิจารณาค่าโอเมก้า (Ω) ทั้งนี้เพราะค่าโอเมก้านั้นเป็นตัวประกอบร่วม (Factor) ของสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณเมฆชั้นต่ำ ซึ่งไม่มีอิทธิพลต่อทิศทาง (Vector) ของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาแต่อย่างใด

สมการที่ (2) เป็นสมการที่ขัดแย้งกับค่าสหสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา กล่าวคือสัมประสิทธิ์ของความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเป็นลบ นั่นคือแทนที่ความชื้นสัมพัทธ์จะทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มโอกาสการเกิดฝนหลวง กลับทำหน้าที่เป็นอุปสรรคการเกิดฝนหลวงซึ่งไม่จะเป็นไปได้ในสภาพความเป็นจริงที่ ถ้าพื้นที่ใดมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นโอกาสการเกิดฝนจะน้อยลง

ดังนั้นการพิจารณาสมการเพื่อนำไปทำนายโอกาสการเกิดฝนหลวงจึงควรใช้สมการที่ (1) และ (3) เท่านั้น และสองสมการดังกล่าว สมการที่ (1) จะให้ความเชื่อมั่นในการทำนายได้ดีกว่าสมการที่ (3) ทั้งนี้เพราะสมการที่ (1) มีระดับนัยสำคัญทางสถิติสูงกว่าสมการที่ (3) (โปรดดูวิธีการกิดและการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสมการจากภาคผนวก)

3.2 สมการถดถอย จากการแบ่งข้อมูลโดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์ ได้ผลดังนี้

Hypothesis Regression Equation	Estimated Regression Equation
(1) $Pr = \alpha + \theta T + \lambda C$	$Pr = 3.596 - 0.1063T - 0.0384C$
(2) $Pr = \alpha + \theta T + \beta RH$	$Pr = 1.51629 - 0.043T + 0.0045RH$
(3) $Pr = \alpha + \lambda C + \beta RH$	$Pr = -0.8431 - 0.107C + 0.0213RH$

สมการถดถอยที่คำนวณได้จากการแบ่งข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงโดยถือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์ สมการที่ (1) และ (3) เป็นสมการที่ขัดแย้งกับผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยากับโอกาสการเกิดฝนหลวงเพราะสัมประสิทธิ์ของปริมาณเมฆชั้นต่ำมีค่าเป็นลบ ซึ่งทำให้เมฆชั้นต่ำทำหน้าที่เป็นอุปสรรคต่อโอกาสการเกิดฝนหลวงแทนที่

จะทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มโอกาสการเกิดฝนหลวง ซึ่งเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ในธรรมชาติเพราะในธรรมชาติของการเกิดฝนนั้น ปริมาณเมฆชั้นต่ำจะเป็นสิ่งสำคัญที่ก่อให้เกิดฝน โดยการวิวัฒนาการจากเมฆชั้นต่ำธรรมดาไปเป็นเมฆฝน ดังนั้นเมฆฝนหรือฝนจะเกิดไม่ได้ถ้าไม่มีเมฆชั้นต่ำปรากฏมาก่อน และจากผลของความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์มาแล้วก็ชี้ให้เห็นว่าปริมาณเมฆแปรผันโดยตรงกับโอกาสการเกิดฝนหลวง สมการนี้จึงเป็นสมการที่ขัดแย้งกับลักษณะของธรรมชาติ

ส่วนสมการที่ (2) นั้นเป็นสมการที่เป็นไปตามสมมุติฐานและผลของการหาความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุตุนิยมิวิทยา และเช่นเดียวกันสมการนี้ไม่ได้พิจารณาถึงค่าโอเมก้า ก็ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในข้อ 3.1

3.3 ข้อบกพร่องและขอบเขตจำกัดของสมการถดถอยที่ใช้ทำนายโอกาสการเกิดฝนหลวง

สมการถดถอยที่คำนวณได้ทั้งได้กล่าวถึงมาแล้วในข้อ 3.1 และ 3.2 นั้นเป็นสมการที่ยังมีข้อบกพร่อง 3 ประการ ดังต่อไปนี้คือ

1. ตัวแปรทางอุตุนิยมิวิทยาที่ใช้เป็นตัวแปรตามนั้น เป็นตัวแปรที่มีสหสัมพันธ์ภายใน (Inter correlation) ระหว่างกันและกัน ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณเมฆชั้นต่ำ หรืออุณหภูมิกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ ในทางภูมิศาสตร์ถือว่าถ้าตัวแปรตามมีสหสัมพันธ์ภายในซึ่งกันและกันแล้ว เมื่อจะสร้างสมการถดถอย จะพิจารณาตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งที่สำคัญที่สุด เป็นตัวแปรตามในสมการเท่านั้น

แต่จากสมการถดถอยที่ปรากฏในการวิจัยทั้ง 6 สมการ จะเห็นว่าตัวแปรทางอุตุนิยมิวิทยาที่เป็นตัวแปรตามในแต่ละสมการนั้น เป็นตัวแปรที่มีสหสัมพันธ์ภายในระหว่างกันทั้งนั้น การพิจารณาตัวแปรทางอุตุนิยมิวิทยาเป็นตัวแปรตามถึงสองตัวในสมการเดียวกันก็ด้วยเหตุผลที่ว่า ในการคำนวณสมการถดถอย เมื่อนำค่า Σx_1^2 และ Σx_2^2 มาเมตริก (Matrix) แล้ว สามารถหาอินเวอร์สกลับ (Reversible) ได้ แสดงว่าแม้ว่าตัวแปรทางอุตุนิยมิวิทยาทั้งสองที่ใช้เป็นตัวแปรตามนั้นจะมีสหสัมพันธ์ภายในกัน ต่างก็ยังมีอิทธิพล

ต่อตัวแปรต้น (Pr) โดยอิสระแก่กัน ทั้งนี้เราจะสังเกตได้จากค่า $\hat{\beta}$ (ทิศทางของดัชนี ที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรตาม) ที่คำนวณได้ (ดูวิธีคำนวณสมการถดถอยจากภาคผนวก)

2. ตัวแปรตามที่นำมาพิจารณาในการคำนวณสมการถดถอยนั้นเป็นตัวแปรตาม เพียงบางตัวเท่านั้น ไม่ใช่ตัวแปรตามทั้งหมดที่มีอิทธิพลต่อโอกาสการเกิดฝนหลวง เพราะตัวแปรตามที่มีอิทธิพลต่อการทำฝนหลวงนั้นยังมีอีกหลายตัวแปรดังที่กล่าวถึงมาแล้วในตอนท้ายของ ข้อ 2.3

จึงกล่าวได้ว่าค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงที่คำนวณได้จากการคำนวณโดย สมการใด ๆ ที่เกิดจากการวิจัยครั้งนี้ไม่ใช่ค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงที่แท้จริง ทั้งนี้ก็เพราะว่า ถ้าเราพิจารณาตัวแปรอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการทำฝนหลวงรวมด้วย อาจจะทำให้โอกาสการเกิด ฝนหลวงมีค่าต่างไปจากค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่เป็นผลจากการวิจัยครั้งนี้ก็ได้

3. ขอบเขตจำกัดของการใช้สมการถดถอย สมการถดถอยจากการวิจัยครั้งนี้ได้ จากข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจึงไม่ใช่ข้อมูลที่มาจากการปฏิบัติการณ์ฝนหลวง ที่มีค่าสูงสุดหรือค่าจุดที่ต่างกันไปตามค่าเฉลี่ยและการปฏิบัติการณ์ฝนหลวงที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ส่วนใหญ่เป็นผลการปฏิบัติการณ์ในฤดูร้อนติดต่อกันกับฤดูฝน ช่วงของข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาแคบเกินไปที่จะครอบคลุมตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในทุกฤดูกาลของประเทศไทยได้เมื่อสมการที่ได้จากการวิจัยนั้นอยู่ในขอบเขตจำกัดของข้อมูลดังกล่าวมาแล้ว สมการหนึ่ง ๆ จึงไม่สามารถจะ ทำนายได้ในทุกสภาพกาลอากาศในที่นี้จะแสดงให้เห็นถึงขอบเขตจำกัดของสมการที่ (1) ในข้อ 3.1 ซึ่งเป็นสมการที่ดีที่สุดจากการวิจัยครั้งนี้ และสมการที่ (2) ในข้อ 3.2 อันเป็น สมการที่ใช้คำนวณโอกาสการเกิดฝนหลวงทั่วประเทศไทย ที่ปรากฏในการวิจัยครั้งนี้เท่านั้น (ตารางที่ 4.7)

$$\text{สมการที่ (1)} \quad Pr = 1.1257 - 0.0373 T + 0.3124 C$$

$$Pr = 1 > 1.1257 - 0.0373 T + 0.3124 C$$

$$T < 0.1257 + 0.3124 C$$

$$T < \frac{0.1257}{0.0373} + 8.3753 C$$

สมการนี้ใช้ได้ตลอดเว้นแต่ว่า $Pr \geq 1$ เมื่อ $T < 3.4182 + 8.3753C$

จากผลการคำนวณที่แสดงข้างบนนี้ กล่าวได้ว่าสมการถดถอยสมการที่ (1) ในข้อ 3.1 นั้นสามารถใช้ได้ตลอด แต่ค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงจากการใช้สมการนี้ทำนาย จะมีค่าเกินกว่าหรือเท่ากับ 1 เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการคำนวณครั้งนั้นน้อยกว่า

$$3.4182 + 8.3753C$$

$$\text{สมการที่ (2)} \quad Pr = 1.51629 - 0.043T + 0.0045RH$$

$$Pr = 1 > 1.51629 - 0.043T + 0.0045RH$$

$$T < \frac{0.51629 + 0.0045RH}{0.043}$$

$$T < 12.0067 + 0.1047RH$$

สมการนี้ใช้ได้ตลอดเว้นแต่ $Pr \geq 1$ เมื่อ $T < 12.0067 + 0.1047RH$

จากการคำนวณที่แสดงไว้ข้างบนนี้ กล่าวได้ว่าสมการถดถอยสมการที่ (2) ในข้อ 3.2 นั้นสามารถใช้ทำนายโอกาสการเกิดฝนหลวงได้ตลอด แต่ค่าโอกาสการเกิดฝนหลวง จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 เมื่ออุณหภูมิในสภาพความเป็นจริงของธรรมชาติมีค่าน้อยกว่า $12.0067 + 0.1047RH$

3.4 การใช้สมการถดถอยเพื่อทำนายโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย

การคำนวณโอกาสการเกิดฝนหลวงจากตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ใช้สมการ $Pr = 1.51629 - 0.043T + 0.0045RH$ ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาใช้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศไทย 49 สถานี โอกาสการเกิดฝนหลวงที่คำนวณได้ที่ปรากฏตามตาราง 4.7 นั้น มีข้อน่าสังเกตดังนี้คือ

1. ค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงไม่น่าจะใช้ค่าที่แท้จริง เพราะสมการที่ใช้ทำนายนั้นมีตัวแปรตามเพียงอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์เท่านั้น ในสภาพความเป็นจริงแล้วตัวแปรตามที่มีผลต่อโอกาสการเกิดฝนหลวงนั้น ยังมีอีกหลายตัวแปร เช่น ความเร็วลม ความกดอากาศ ความแปรปรวนของอากาศ เทคนิคการปฏิบัติการ ชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ใช้ปฏิบัติการ ฯลฯ

ยิ่งไปกว่านั้น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่ใช้ในการคำนวณและการวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลที่ปรากฏอยู่ ณ. ระดับพื้นผิวเท่านั้น ซึ่งอาจจะไม่มีผลต่อลักษณะอากาศในระดับ

สูงถึงฐานเมฆชั้นต่ำมากนักก็ได้ เพราะในทางภูมิศาสตร์เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่ายิ่งสูงขึ้นไปถึง
อุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง

2. โอกาสการเกิดฝนหลวงที่ปรากฏในตาราง 4.7 นั้น ส่วนใหญ่จะมีค่าเกิน .50
มีเพียงจำนวนน้อยที่มีค่าต่ำกว่า .50 ทั้งนี้ก็เพราะว่าข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงที่ใช้ในการ
วิจัยครั้งนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูลที่ได้รับความสำเร็จ จากการปฏิบัติการฝนหลวงทั้งหมด
76 ครั้ง ปรากฏสามารถทำให้ฝนตกได้ 63 ครั้ง ไม่ตกเพียง 13 ครั้ง มีโอกาสการเกิดฝน
ถึง .83 และโอกาสที่ฝนจะไม่ตกก็เพียง .17 เท่านั้น เมื่อสมการถดถอยคำนวณมาจากข้อมูล
ที่มีโอกาสการเกิดฝนมากกว่า .50 เช่นนี้ผลที่ได้มาจากการคำนวณจากข้อมูลที่ปรากฏตาม
สถานที่ต่าง ๆ จึงมีค่าส่วนใหญ่มากกว่า .50 ด้วย

3. โอกาสการเกิดฝนหลวงของสถานีอุตุนิยมวิทยา เชียงราย ในเดือนมกราคมและ
ธันวาคมมีค่ามากกว่า 1.00 ทั้งนี้เป็นไปตามเหตุผลในขอบเขตจำกัดของสมการที่ใช้ทำนาย
คือ อุณหภูมิมีน้อยกว่า $12.0067 + 0.1047RH$ แสดงว่าในเดือนมกราคมและธันวาคมของ
สถานีอุตุนิยมวิทยา เชียงราย มีสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่อยู่เหนือขอบเขตของสมการถดถอย
สมการนี้จะใช้ทำนายได้ กังแสดงให้เห็นได้ดังนี้

มกราคม	$T = 19.8 \text{ C}$	$RH = 78.8 \%$
	$T = 19 < 12.0067 + 0.1047 \times 78.8$	
	$T = 19 < 20.26$	
ธันวาคม	$T = 20.2$	$RH = 81.6$
	$T = 20.2 < 12.0067 + 0.1047 \times 81.6$	
	$T = 20.2 < 20.61$	

ในสองเดือนนี้ จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ปรากฏตามธรรมชาติมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิ
ที่กำหนดได้ แสดงให้เห็นว่าสภาพทางอุตุนิยมวิทยาของสถานีอุตุนิยมวิทยา เชียงราย ในเดือน
มกราคมและธันวาคมอยู่เหนือความสามารถของสมการนี้จะใช้ทำนายได้

4. ความแปรผันของโอกาสการเกิดฝนหลวงในประเทศไทย ค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงที่ปรากฏในตารางที่ 4.7 นั้น ในแต่ละสถานีจะแปรผันไปในแต่ละเดือน และในเดือนเดียวกันในสถานีต่างกัน โอกาสการเกิดฝนหลวงก็ต่างกัน ความแปรผันดังกล่าวขึ้นอยู่กับ

ก. ฤดูกาลที่ปรากฏในพื้นที่ ทั้งนี้เพราะฤดูกาลจะเป็นสิ่งกำหนดสภาพอากาศในพื้นที่นั้น ๆ เช่นสถานีอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงจะสูงในช่วงเดือนพฤศจิกายน ธันวาคมและมกราคม ทั้งนี้เพราะว่าในเดือนดังกล่าวเป็นฤดูหนาวอุณหภูมิต่ำและความชื้นโดยเฉลี่ยสูงกว่า 70% เพราะเพิ่งจะผ่านฤดูฝนมาไม่นาน ค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงจึงสูง ในเดือนกุมภาพันธ์ถึงมิถุนายน ภาคเหนืออยู่ในช่วงฤดูร้อน อากาศมีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ โอกาสการเกิดฝนหลวงที่คำนวณได้จึงต่ำด้วย หลังจากเดือนมิถุนายนโอกาสการเกิดฝนหลวงในภาคเหนือจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเพราะภาคเหนือจะเริ่มเข้าสู่ฤดูฝนซึ่งได้รับอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นขณะเดียวกันอุณหภูมิก็ค่อย ๆ ลดลง

ข. ลักษณะของพื้นที่ สถานีอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่ต่างกันย่อมมีสภาพภูมิอากาศและกาลอากาศต่างกัน เพราะสภาพภูมิประเทศในแต่ละพื้นที่นั้นจะต่างกัน และเป็นที่ทราบกันดีในทางภูมิศาสตร์ว่า สภาพภูมิประเทศของพื้นที่นั้นมีอิทธิพลอย่างมากต่อภูมิอากาศและกาลอากาศของพื้นที่ด้วย

จึงกล่าวได้ว่าเมื่อสถานีอุตุนิยมวิทยาทั้งอยู่ต่างพื้นที่กันจะมีสภาพภูมิอากาศและกาลอากาศต่างกันด้วย ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณเมฆชั้นต่ำ ฯลฯ อันจะมีผลทำให้โอกาสการเกิดฝนหลวงในพื้นที่ต่างกันไปด้วยแม้จะเป็นช่วงเวลาเดียวกันก็ตาม

สรุปผลการศึกษา

จากข้อกำหนดในการศึกษา การวิเคราะห์ข้อมูล และการอภิปรายผลจึงสรุปผลการศึกษาในครั้งนี้คือ

1. ไม่ว่าจะแบ่งข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงโดยถืออุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์ก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาได้ผลตรงกันดังนี้คือ

1.1 โอกาสการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างได้รับผลสำเร็จมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ภาคพื้นดิน

1.2 โอกาสการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างได้รับผลสำเร็จมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับอุณหภูมิภาคพื้นดิน

1.3 โอกาสการปฏิบัติการฝนหลวงอย่างได้รับผลสำเร็จมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ

2. ไม่ว่าจะแบ่งข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงโดยถืออุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์เป็นเกณฑ์ก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาได้ผลตรงกันคือ

2.1 ความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณเมฆชั้นต่ำ

2.2 ความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับอุณหภูมิภาคพื้นดิน

2.3 ปริมาณเมฆชั้นต่ำมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับอุณหภูมิภาคพื้นดิน

3. สมการลดถอยที่ดีที่สุดในการบ่งบอกถึงโอกาสการเกิดฝนหลวงคือ

$$Pr = 1.1275 - 0.0373T + 0.3124C$$

ข้อบ่งชี้ในการศึกษา

จากการศึกษาได้พบข้อบ่งชี้ดังนี้

1. ข้อบ่งชี้เกี่ยวกับข้อมูลและการจัดกระทำข้อมูล

1.1 ข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงที่ใช้ในการศึกษานี้มีเพียง 76 ครั้งเท่านั้น นับว่ายังไม่เพียงพอ ประกอบกับฤดูที่ปฏิบัติการฝนหลวงก็มีเพียงช่วงเดียวคือช่วงฤดูร้อนติดต่อกับฤดูฝน พื้นที่การปฏิบัติการฝนหลวงก็มีเพียงบางพื้นที่เท่านั้น ทำให้ข้อมูลที่ได้อาจไม่ครอบคลุมในทุกพื้นที่ในประเทศไทย และทุกฤดูกาล

1.2 จากข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงซึ่งมีน้อยทำให้ การแบ่งข้อมูลเพื่อการคำนวณหาโอกาสการเกิดฝนหลวง (Propability) ในแต่ละกลุ่มมีจำนวนข้อมูลที่ต่างกันมาก ค่าโอกาสการเกิดฝนหลวงแต่ละค่าที่ได้จึงมีความเข้มที่ไม่เท่ากัน

2. ข้อบกพร่องของตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาและตัวแปรอื่น ๆ

2.1 จำนวนตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในการศึกษาที่เป็นตัวแปรตามของสมการถดถอยมีเพียง 3 ตัวแปร ซึ่งยังขาดตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ ที่อาจจะมีผลต่อการทำฝนหลวงไปหลายตัวแปร เช่น ความกดอากาศ (Pressure) ความเร็วของลมระดับต่าง ๆ (Wind speed) จุดน้ำค้าง (Dew point) และอัตราการระเหย (Evaporation) รวมทั้งตัวแปรจากการปฏิบัติการ เช่น ชนิดและปริมาณของสารเคมี ความพร้อมของเครื่องมือและการปฏิบัติการ ความชำนาญและเทคนิคการปฏิบัติการ ตัวแปรดังกล่าวมันต่างก็มีอิทธิพลต่อโอกาสการเกิดฝนหลวง เช่น กันแต่ยังหาหลักฐานข้อมูลไม่ได้ ถ้านำตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้มาพิจารณาด้วยจะทำให้โอกาสการเกิดฝนหลวงต่างไปจากการศึกษาครั้งนี้ก็เป็นได้

2.2 ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยเฉพาะอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์เป็นอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภาคพื้นดิน ซึ่งจะต่างไปจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในระดับสูง เพราะเป็นที่ราบกันก็ในทางภูมิศาสตร์ว่ายิ่งสูงจากพื้นผิวโลกขึ้นไป ความชื้นสัมพัทธ์กับอุณหภูมิจะลดลงในอัตราต่าง ๆ กัน ซึ่งความเปลี่ยนแปลงนี้น่าจะมีอิทธิพลต่อการทำฝนหลวงด้วย

2.3 ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาแต่ละตัวที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ต่างก็มีสหสัมพันธ์ภายในซึ่งกันและกัน ในทางภูมิศาสตร์นั้นถือว่าเมื่อตัวแปรมีสหสัมพันธ์ภายในกันแล้ว จะเลือกตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเพื่อคำนวณสมการถดถอยเท่านั้น

3. ข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้จากการปฏิบัติการในพื้นที่ต่างกัน ซึ่งลักษณะภูมิประเทศ ความใกล้ไกลจากทะเล และช่วงเวลาที่แตกต่างกัน น่าจะมีอิทธิพลต่อโอกาสการเกิดฝนหลวงด้วย ถ้านำสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้มาพิจารณาด้วย น่าจะทำให้ผลการศึกษาดูถูกต้องและน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น

4. ข้อบกพร่องในการสร้างแผนที่ แผนที่แสดงโอกาสการเกิดฝนหลวงของประเทศไทย ประจำเดือนต่าง ๆ นั้นมีข้อบกพร่องดังนี้คือ

4.1 จำนวนสถานีอุตุนิยมวิทยารอบประเทศไทยมีเพียง 49 สถานีเท่านั้น ซึ่งรูปแบบของแผนที่อาจยังไม่ใช้รูปแบบที่แท้จริง ถ้ามีสถานีตรวจอากาศมากขึ้นกว่านี้ รูปแบบของแผนที่แต่ละเดือนอาจต่างจากที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ก็ได้

4.2 การแบ่งภาคของที่ตั้งของสถานีอุตุนิยมวิทยา ถือตามการแบ่งของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งต่างไปจากการแบ่งทางภูมิศาสตร์ ดังเช่นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตามกรมอุตุนิยมวิทยาแบ่งไว้มี 6 สถานีคือ สถานีที่ 33-38 สองสถานีแรกคือ อรัญประเทศ และชลบุรี นั้นมีลักษณะทางภูมิศาสตร์เหมือนกับภาคกลาง โดยเฉพาะทางด้านภูมิอากาศ ซึ่งต่างไปจากสี่สถานีหลังคือ สัตหีบ จันทบุรี คลองใหญ่ และเกาะสีชัง ที่มีลักษณะภูมิอากาศเป็นของบริเวณดังกล่าวโดยเฉพาะ ซึ่งต่างไปจากภาคกลางมาก

ยิ่งไปกว่านั้นการกระจายของสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการสร้างแผนที่บางภาคยังมีน้อยเกินไป เช่นภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีเพียง 6 สถานี และชายฝั่งตะวันตกของภาคใต้ก็มีเพียง 4 สถานีเท่านั้น ซึ่งการกระจายของสถานียังมีน้อยเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของพื้นที่

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาคืบต่อไป

การศึกษาคืบนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น ในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการเกิดฝนหลวงกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา จากการศึกษาครั้งนี้ทำให้พบสิ่งที่น่าสนใจน่าจะได้มีการศึกษาและวิเคราะห์ต่อไปดังนี้

1. น่าจะได้มีการพิจารณาตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ดังต่อไปนี้

1.1 ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการศึกษาคืบนี้ แต่เป็นข้อมูลที่วัดได้ในระดับต่าง ๆ กัน

1.2 ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ เช่น ความกดอากาศ ความเร็วลม จุดน้ำค้าง ทั้งในระดับพื้นผิวและในระดับที่สูงขึ้นไป

1.3 น่าจะได้มีการศึกษาตัวแปรที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์เช่น เทคนิควิธี
सारเคมี ว่ามีความสัมพันธ์และมีอิทธิพลอย่างไรต่อการเกิดฝนหลวง

2. น่าจะได้มีการศึกษาถึงปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่เป้าหมายจากการปฏิบัติการ
ฝนหลวงแต่ละครั้งว่าสัมพันธ์กับสิ่งใดบ้าง เพื่อเป็นแนวทางในการเสนอแนะให้การปฏิบัติการ
ฝนหลวงให้ได้ปริมาณตามที่พื้นที่เป้าหมายต้องการ

3. ควรศึกษาว่าลักษณะของพื้นที่ที่ต่างกัน จะมีอิทธิพลต่อการปฏิบัติการฝนหลวง
หรือไม่ เพียงใด

4. เมื่อมีข้อมูลการปฏิบัติการฝนหลวงเพิ่มขึ้น น่าจะได้มีการศึกษาว่า

4.1 ในพื้นที่ใดที่การปฏิบัติการฝนหลวงได้ผลดีที่สุด และโอกาสการเกิดฝนหลวง
ในพื้นที่นั้น สัมพันธ์กับสิ่งใดในพื้นที่บ้าง

4.2 ในพื้นที่หนึ่ง ๆ นั้น ควรใช้เทคนิควิธีการปฏิบัติการอย่างไร ใช้สารเคมี
ชนิดใด จึงจะปฏิบัติการได้ดีที่สุด

4.3 ในกาลอากาศหนึ่ง ๆ จะใช้เทคนิควิธีปฏิบัติการอย่างไรสารเคมีชนิดใด
ปริมาณเท่าใด จึงจะทำให้การปฏิบัติการในกาลอากาศนั้น ๆ ได้ผลดีที่สุด

บรรณานุกรม

ณรงค์ ปิยะพันธุ์, รายงานการไปร่วมปฏิบัติการฝนเทียมที่รัตนบุรีและบุรีรัมย์,
พิมพ์ที่ ๑, ก.ก. 2516, หน้า 1-2

ปฏิพัทธ์ เท่งวิวัฒน์ศิริ, รายงานการปฏิบัติการฝนหลวง จังหวัดนครสวรรค์,
พิมพ์ที่ ๑, 8 สิงหาคม 2518, หน้า 3

ปฏิบัติการฝนเทียม, คณะ, "สรุปผลการปฏิบัติการฝนเทียม" อนุสรณ์ในงานฌาปนกิจ
นายอรุณ จักกะพาก, สหนิมิตการพิมพ์, 2513, หน้า 60-111

ปฏิบัติการฝนหลวง, คณะ, การทำฝนหลวงในประเทศไทย, โรเนียว, 2518,
5 หน้า

เมธา รัชตะปิติ, รายงานสรุปผลปฏิบัติการฝนเทียมในประเทศไทย พ.ศ. 2514,
โรเนียว, 28 หน้า

ราชวรุณ, สถาปติกย์ ปรีดา, "ฝนหลวง" อนุสาร อ.ส.ท., 14 (2) 34-40,
47-50, ก.บ. 16

ราชวรุณ, "ฝนหลวงพระราชทาน" กฏาบัตรที่ 3/2518, ฝ่ายประชาสัมพันธ์
บริษัท เอส.เอส.เอส. จำกัด ประเทศไทย จำกัด หน้า 2-5

โลเอ็บแซค, ทีโอ, บรรยากาศของเรา -แปลจากภาษาอังกฤษไทย
นาวาเอกชจิต บัวจิตติ และพลเรือตรีขุนวิสิษฐวรารักษ์,

สภาวิจัยแห่งชาติแปลและจัดพิมพ์, 2514, 332 หน้า

สนธิ เวสารัชช์, การพ่นฝุ่น, โรงพิมพ์กรณอุทกนิยมนวิทยา, 2512, 10 หน้า

Bach, Wilfrid, Atmospheric Pollution, McGraw-Hill Problem Series in Geography, McGraw-Hill Book Company, 1972, 144 pp.

Battan, Louse J., Cloud Physics and Cloud Seeding, Doubleday & Company, Inc, Garden City, N.Y., 1962, 144 pp.

Blair, Thomas A., Fite, Robert C., Weather Elements, Prentice-Hall, Inc, Englewood, Cliffs, N.J., 1957, 414 pp.

Byer, Horace Robert, General Meteorology, McGraw-Hill Book Company, 1959, 401 pp.

Critchfield, Howard J., General Climatology, Prentice-Hall, Inc, Englewood, Cliffs, N.J., 1966, 420 pp.

Day, John A., Sternes, Gilbert L., Climate and Weather, Addison-Wesley Publishing Company, Inc, California, 1970, 407 pp.

- Faubenfeld, Howard J., and the other, Weather Modification and the Law, Oceana Publications, Inc, Dobbs Ferry, N.Y., 1968, 228 pp.
- Finch, Vernor C., and the other, The Earth and Its Resource, McGraw-Hill Book Company, Inc, N.Y., 1948, pp 21-186.
- Fletcher, N.H., The Physics of Rainclouds, The University Press, Cambridge, 1962, pp 93-159
- Lake, Philip, Physical Geography, The University Printing House, Cambridge, 1971, pp 71-88.
- Lamb, H.H., Climate Present, Past and Future, Volume I, Fundamental and Climate Now, Methuen & Co., Ltd, London, 1972, 613 pp.
- Leopold, Luna, B., Davis, Kenneth, S1, and the editors of Life, Water, Time-Life International, 1968, p 47.
- Loebsack, Theo, Our Atmosphere, Translated from the German by E.L. and D. Rewald, Pantheon Books, Inc, N.Y. 1957, 256 pp.
-

Mason, B.J., Cloud, Rain and Rain Making, Cambridge University Press, 1962, 145 pp.

Middleton, W.E.Knowles, A History of Theories of Rain and Other Forms of Precipitation, Oldbourne Book Company, Ltd, London, 1965, pp 172-176.

Petersen, Serverre, Introduction to Meteorology, McGraw-Hill Book Company, N.Y., 1969, pp 92-103.

Riehl, Herbert, Introduction to Atmosphere, Kogakusha Company, Ltd, Tokyo, 1965, 365 pp.

Schereschewsky, P.L., "Clouds and States of the Sky" Handbook of Meteorology, McGraw-Hill Book Company, Inc, 1945, pp 881-926.

SMIC, Inadvertent Climate Modification Report of the Study of Man's Impact on Climate, The MIT Press Cambridge, Massachusetts and London 1971, 308 pp.

Strahler, Arthur, N, Physical Geography, Toppan Printing Company, Limited, Tokyo, pp 181-215.

Trewatha, Glenn, T., An Introduction to Climate, McGraw-Hill
Book Company, Inc, N.Y. 1954, 402 pp.

Williams, Jerome, and the other, Sea & Air: The Marine
Enviroment, Naval Institute Press, Annapolis, Marryland,
1973, 338 pp.

ពាក្យសម្រាប់

การกำหนดหาสมการถดถอย จากการแบ่งข้อมูลโดยถืออุณหภูมิเป็นเกณฑ์

Hypothesis of regression equation is $Pr = \alpha + \theta T + \lambda C$

$$\Leftrightarrow Y = a + bX_1 + cX_2$$

Real Variable	Pr	T	C						
Variable	Y	X ₁	X ₂	Y ²	X ₁ ²	X ₂ ²	YX ₁	YX ₂	X ₁ X ₂
Case									
1	1.00	22.97	2.25	1.00	527.62	5.06	22.97	2.25	51.68
2	0.91	24.41	2.36	0.83	595.85	5.57	22.21	2.15	57.61
3	0.82	25.37	1.91	0.67	643.64	3.65	20.80	1.57	48.46
4	0.69	26.35	1.94	0.48	694.32	3.76	18.18	1.34	51.12
5	0.75	27.38	1.93	0.56	749.66	3.72	20.54	1.45	52.84
Σ	4.17	126.48	10.39	3.54	3211.09	21.76	104.7	8.76	261.71
$\frac{\Sigma}{N}$	0.834	25.29	2.08						

$$\Sigma y^2 = \Sigma (Y - \bar{Y})^2 = \Sigma Y - \frac{(\Sigma Y)^2}{N} = 3.54 - \frac{(4.17)^2}{5} = 0.062222$$

$$\Sigma x_1^2 = \Sigma (X_1 - \bar{X}_1)^2 = \Sigma X_1 - \frac{(\Sigma X_1)^2}{N} = 3211.09 - \frac{(126.48)^2}{5} = 11.652$$

$$\Sigma x_2^2 = \Sigma (X_2 - \bar{X}_2)^2 = \Sigma X_2 - \frac{(\Sigma X_2)^2}{N} = 21.76 - \frac{(10.39)^2}{5} = 0.16958$$

$$yx_1 = \Sigma (Y - \bar{Y})(X_1 - \bar{X}_1) = \Sigma YX_1 - \frac{\Sigma Y \Sigma X_1}{N} = 104.7 - \frac{(4.17 \times 126.48)}{5} = -0.78432$$

$$\sum yx_2 = \sum (Y - \bar{Y})(X_2 - \bar{X}_2) = \sum YX_2 - \frac{\sum Y \sum X_2}{N} = 8.76 - \frac{(4.17 \times 10.39)}{5} = 0.09474$$

$$X_1 X_2 = \sum (X_1 - \bar{X}_1)(X_2 - \bar{X}_2) = \sum X_1 X_2 - \frac{\sum X_1 \sum X_2}{N} = 261.71 - \frac{(126.48 \times 10.39)}{5} = -1.11544$$

$$\text{Matrix } X^T X = \begin{bmatrix} \sum x_1^2 & \sum x_1 x_2 \\ \sum x_1 x_2 & \sum x_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 11.652 & -1.11544 \\ -1.11544 & 0.16958 \end{bmatrix}$$

$$X^T Y = \begin{bmatrix} \sum yx_1 \\ \sum yx_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.78432 \\ 0.09474 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{Determinant of } X^T X &= |X^T X| = \sum x_1^2 \sum x_2^2 - (\sum x_1 x_2)^2 \\ &= 11.652 \times 0.16958 - (-1.1154)^2 \\ &= 1.975946 - 1.244117 = 0.731776 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inverse of } X^T X &= (X^T X)^{-1} = \frac{1}{|X^T X|} \begin{pmatrix} \sum x_2^2 & -\sum x_1 x_2 \\ -\sum x_1 x_2 & \sum x_1^2 \end{pmatrix} \\ &= \frac{1}{0.731776} \begin{pmatrix} 0.16958 & -(-1.11544) \\ -(-1.11544) & 11.652 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0.2317375 & 1.5242914 \\ 1.5242914 & 15.922904 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coefficient vector estimate } \hat{\beta} &= \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{\delta} \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} (X^T Y) \\ &= \begin{pmatrix} 0.2317 & 1.5243 \\ 1.5243 & 15.9229 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} -0.7843 \\ 0.0947 \end{bmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} -0.1817 + 0.1444 \\ -1.1955 + 1.5079 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.0373 \\ 0.3124 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Constant (or intercept) estimate $\hat{a}$

$$\begin{aligned}\hat{a} &= \bar{Y} - \hat{b}\bar{X}_1 - \hat{c}\bar{X}_2 \\ &= 0.834 - (-0.0373 \times 25.29) - (0.3124 \times 2.08) \\ &= 0.834 + 0.9433 - 0.6498 \\ &= 1.1275\end{aligned}$$

∴ The regression equation estimated is

$$\begin{aligned}Y &= 1.1275 - 0.0373X_1 + 0.3124X_2 \\ \text{Or Pr} &= 1.1275 - 0.0373T + 0.3124C\end{aligned}$$

Test of the regression equation (Analysis of variance table)

Explain sum of square (Variation Y due to X_1, X_2) $\hat{\beta}^T X^T Y$

$$\begin{aligned}&= \begin{bmatrix} -0.0373 & 0.3124 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.7843 \\ 0.09474 \end{bmatrix} \\ &= 0.0292543 + 0.0295967 \\ &= 0.05885\end{aligned}$$

Residual of Y (Variation of Y due to its own data fluctuation)

$$\begin{aligned}e^T e &= \sum y^2 - \hat{\beta}^T X^T Y \\ &= 0.06222 - 0.05885 = 0.00337\end{aligned}$$

Total residual (variation of Y from all source)

$$= \sum y^2 = 0.06222$$

Meansquare of explained variable (X_1, X_2)

$$= \frac{\hat{\beta}^T X^T Y}{2} = \frac{0.05885}{2} = 0.029425$$

Meansquare of residual (due by Y's data)

$$= \frac{e^T e}{n-2-1} = \frac{0.00337}{5-2-1} = 0.001685$$

$$F_{2, n-2-1} = \frac{\text{Meansquare of explained variable}}{\text{Meansquare of residual}}$$

$$= \frac{\frac{\hat{\beta}^T X^T Y}{2}}{\frac{e^T e}{n-2-1}} = \frac{0.029425}{0.001685} = 17.46$$

Summary

Calculation $F_{2, n-2-1} = 17.46$

Critical value of F_2 from table = 19.00 (Level of sig .05)

This estimated regression equation is not significance

Hypothesis of regression equation is $Pr = \alpha + \beta RH + \theta T$

$$\Leftrightarrow Y = a + bX_1 + cX_2$$

Real Variable	Pr	RH	T						
	Y	X ₁	X ₂	Y ²	X ₁ ²	X ₂ ²	YX ₁	YX ₂	X ₁ X ₂
Case									
1	1.00	92.25	22.97	1.00	8510.62	527.62	92.25	22.97	2118.98
2	0.91	93.00	24.41	0.83	8649.00	595.85	84.63	22.21	2270.13
3	0.82	89.87	25.37	0.67	8076.62	643.64	73.69	20.80	2280.00
4	0.69	86.00	26.35	0.48	7356.00	694.32	59.34	18.18	2266.10
5	0.75	80.00	27.38	0.56	6400.00	749.66	60.00	20.54	2190.40
Σ	4.17	441.12	126.48	3.54	39031.68	3211.09	369.91	104.7	11125.61
$\frac{\Sigma}{N}$	0.834	88.22	25.2						

$$y^2 = \Sigma (Y - \bar{Y})^2 = \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{N} = 3.54 - \frac{(4.17)^2}{5} = 0.0622$$

$$x_1^2 = \Sigma (X_1 - \bar{X}_1)^2 = \Sigma X_1^2 - \frac{(\Sigma X_1)^2}{N} = 39031.68 - \frac{(441.12)^2}{5} = 114.31$$

$$x_2^2 = \Sigma (X_2 - \bar{X}_2)^2 = \Sigma X_2^2 - \frac{(\Sigma X_2)^2}{N} = 3211.09 - \frac{(126.48)^2}{5} = 11.652$$

$$yx_1 = \Sigma (Y - \bar{Y})(X_1 - \bar{X}_1) = \Sigma YX_1 - \frac{\Sigma Y \Sigma X_1}{N} = 369.91 - \frac{(4.17 \times 441.12)}{5} = 2.01592$$

$$\sum yx_2 = \sum (Y - \bar{Y})(X_2 - \bar{X}_2) = \sum YX_2 - \frac{\sum Y \sum X_2}{N} = 104.7 - \frac{(4.17 \times 126.48)}{5} = -0.78432$$

$$\sum x_1 x_2 = \sum (X_1 - \bar{X}_1)(X_2 - \bar{X}_2) = \sum X_1 X_2 - \frac{\sum X_1 \sum X_2}{N} = 11125.61 - \frac{(441.12 \times 126.48)}{5} = -32.961$$

$$\text{Matrix } X^T X = \begin{bmatrix} \sum x_1^2 & \sum x_1 x_2 \\ \sum x_1 x_2 & \sum x_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 114.31 & -32.961 \\ -32.961 & 11.652 \end{bmatrix}$$

$$X^T Y = \begin{bmatrix} \sum yx_1 \\ \sum yx_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.01592 \\ -0.78432 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{Determinant of } X^T X &= |X^T X| = \sum x_1^2 \sum x_2^2 - (\sum x_1 x_2)^2 \\ &= (114.31 \times 11.652) - (-32.961)^2 \\ &= 1331.9401 - 1086.4275 = 245.5126 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inverse of } X^T X &= (X^T X)^{-1} \\ &= \frac{1}{|X^T X|} \begin{pmatrix} \sum x_2^2 & -\sum x_1 x_2 \\ -\sum x_1 x_2 & \sum x_1^2 \end{pmatrix} \\ &= \frac{1}{245.5126} \begin{pmatrix} 11.652 & -(-32.961) \\ -(-32.961) & 114.31 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0.0474597 & 0.1342534 \\ 0.1342534 & 0.465596 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Coefficient vector estimated } \hat{\beta} &= \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} (X^T Y) \\
 &= \begin{pmatrix} 0.0474597 & 0.1342524 \\ 0.1342534 & 0.465596 \end{pmatrix} \times \begin{bmatrix} 2.01592 \\ -0.78432 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 0.0956749 + (-0.1052976) \\ 0.2706441 + (-0.3651762) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.009622 \\ -0.0945121 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Constant (or intercept) estimate } \hat{a} \\
 \hat{a} &= \bar{Y} - \hat{b}\bar{X}_1 - \hat{c}\bar{X}_2 \\
 &= 0.834 - (-0.009622 \times 83.22) - (-0.0945121 \times 25.29) \\
 &= 1.6828528 + 2.390211 \\
 &= 4.0730638
 \end{aligned}$$

∴ The regression equation estimated is

$$\begin{aligned}
 Y &= 4.0730638 - 0.009622X_1 - 0.0945121X_2 \\
 \text{Or Pr} &= 4.0730638 - 0.009622RH - 0.0945121T \\
 \text{Pr} &= 4.073 - 0.0945T - 0.0096RH
 \end{aligned}$$

Test of regression equation (Analysis of variance table)

Explained sum of square (Variation Y due to X_1, X_2) $\hat{\beta}^T X^T Y$

$$= \begin{bmatrix} -0.009622 & -0.0945 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2.01592 \\ -0.78432 \end{bmatrix}$$

$$= -0.019397 + 0.074118$$

$$= 0.05472$$

Residual of Y (Variation of Y due to its own data fluctuation)

$$\begin{aligned} e^T e &= \sum y^2 - \hat{\beta}^T X^T Y \\ &= 0.0622 - 0.05472 = 0.00748 \end{aligned}$$

Total residual (Variation of Y from all source)

$$= \sum y^2 = 0.0622$$

Meansquare of explained variable (X_1, X_2)

$$= \frac{\hat{\beta}^T X^T Y}{2} = \frac{0.05472}{2} = 0.02736$$

Meansquare of residual (due by Y's data)

$$= \frac{e^T e}{n-2-1} = \frac{0.00748}{5-2-1} = 0.00374$$

$F_2, n-2-1$

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Meansquare of explained variable}}{\text{Meansquare of residual}} \\ &= \frac{\hat{\beta}^T X^T Y}{2} \bigg/ \frac{e^T e}{n-2-1} = \frac{0.02736}{0.00374} = 7.315508 \end{aligned}$$

Summary

Calculation $F_2, n-2-1$ = 7.315508

Critical values of F_2 from table = 19.0000 (Level of sig .05)

This estimated regression equation is not significance

Hypothesis of regression equation is $Pr = \alpha + \beta RH + \gamma C$

$$\Leftrightarrow Y = a + bX_1 + cX_2$$

Real Variable	Pr	RH	C						
Variable	Y	X ₁	X ₂	Y ²	X ₁ ²	X ₂ ²	YX ₁	YX ₂	X ₁ X ₂
Caso									
1	1.00	92.25	2.25	1.00	8510.06	5.06	92.25	2.25	207.56
2	0.91	93.00	2.36	0.83	8649.00	5.57	84.63	2.15	219.48
3	0.82	89.87	1.91	0.67	8076.62	3.65	73.69	1.57	171.65
4	0.69	86.00	1.94	0.48	7396.00	3.76	59.34	1.34	166.84
5	0.75	80.00	1.93	0.56	6400.00	3.72	60.00	1.45	154.40
Σ	4.17	441.12	10.39	3.54	39031.68	21.76	369.91	8.76	919.93
$\frac{\Sigma}{N}$	0.834	88.22	2.08						

$$s^2 = \frac{\Sigma(Y - \bar{Y})^2}{N} = \frac{\Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{N}}{N} = \frac{3.54 - \frac{(4.17)^2}{5}}{5} = 0.06222$$

$$s_1^2 = \frac{\Sigma(X_1 - \bar{X}_1)^2}{N} = \frac{\Sigma X_1^2 - \frac{(\Sigma X_1)^2}{N}}{N} = \frac{39031.68 - \frac{(441.12)^2}{5}}{5} = 114.31$$

$$s_2^2 = \frac{\Sigma(X_2 - \bar{X}_2)^2}{N} = \frac{\Sigma X_2^2 - \frac{(\Sigma X_2)^2}{N}}{N} = \frac{21.76 - \frac{(10.39)^2}{5}}{5} = 0.16958$$

$$s_{x_1} = \frac{\Sigma(Y - \bar{Y})(X_1 - \bar{X}_1)}{N} = \frac{\Sigma YX_1 - \frac{\Sigma Y \Sigma X_1}{N}}{N} = \frac{369.91 - \frac{(4.17 \times 441.12)}{5}}{5} = 2.01592$$

$$s_{x_2} = \frac{\Sigma(Y - \bar{Y})(X_2 - \bar{X}_2)}{N} = \frac{\Sigma YX_2 - \frac{\Sigma Y \Sigma X_2}{N}}{N} = \frac{8.76 - \frac{(4.17 \times 10.39)}{5}}{5} = 0.09474$$

$$x_1 x_2 = \sum (X_1 - \bar{X}_1)(X_2 - \bar{X}_2) = \sum X_1 X_2 - \frac{\sum X_1 \sum X_2}{N} = 919.93 - \frac{(441.12 \times 10.39)}{5} = 3.28264$$

$$\text{Matrix } X^T X = \begin{bmatrix} \sum x_1^2 & \sum x_1 x_2 \\ \sum x_1 x_2 & \sum x_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 114.31 & 3.28264 \\ 3.28264 & 0.16958 \end{bmatrix}$$

$$X^T Y = \begin{bmatrix} \sum y x_1 \\ \sum y x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.01592 \\ 0.09474 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{Determinant of } X^T X &= |X^T X| = \sum x_1^2 \sum x_2^2 - (\sum x_1 x_2)^2 \\ &= 114.31 \times 0.16958 - (3.28264)^2 \\ &= 19.3847 - 10.7755 = 8.6092 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inverse of } X^T X &= (X^T X)^{-1} = \frac{1}{|X^T X|} \begin{pmatrix} \sum x_2^2 & -\sum x_1 x_2 \\ -\sum x_1 x_2 & \sum x_1^2 \end{pmatrix} \\ &= \frac{1}{8.6092} \begin{pmatrix} 0.16958 & -3.28264 \\ -3.28264 & 114.31 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0.0196975 & -0.38129 \\ -0.38129 & 13.27765 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coefficient vector estimate } \hat{\beta} &= \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T Y \\ &= \begin{pmatrix} 0.019698 & -0.38129 \\ -0.38129 & 13.27765 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 2.01592 \\ 0.09474 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$= \begin{pmatrix} 0.0397095 + (-0.0361234) \\ -0.76865 + 1.257925 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0035861 \\ 0.489275 \end{pmatrix}$$

Constant (or intercept) estimate $\hat{a}$

$$\begin{aligned} \hat{a} &= \bar{Y} - b\bar{X}_1 - c\bar{X}_2 \\ &= .834 - (0.00359 \times 83.22) - (0.4893 \times 2.08) \\ &= .834 - 0.3167 - 1.0177 \\ &= -0.5004 \end{aligned}$$

∴ The regression equation estimated is

$$\begin{aligned} Y &= -0.5004 + 0.00359X_1 + 0.4893X_2 \\ \text{Or Pr} &= -0.5004 + 0.00359RH + 0.4893C \end{aligned}$$

Test of regression equation (Analysis of variance table)

Explained sum of square (Variation Y due to X_1, X_2) $\hat{\beta}^T X^T Y$

$$\begin{aligned} &= \begin{bmatrix} 0.00359 & 0.4893 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2.01592 \\ 0.09474 \end{bmatrix} \\ &= 0.007237 + 0.046356 \\ &= 0.053593 \end{aligned}$$

Residual of Y (Variation of Y due to its own data fluctuation)

$$\begin{aligned} e^T e &= \sum y^2 - \hat{\beta}^T X^T Y \\ &= 0.0622 - 0.053593 = 0.00861 \end{aligned}$$

Total residual (Variation of Y from all source)

$$= \sum y^2 = 0.0622$$

Meansquare of explained variable (X_1, X_2)

$$= \frac{\hat{\beta}^T X^T Y}{2} = \frac{0.053593}{2} = 0.0267965$$

Meansquare of residual (due by Y's data)

$$= \frac{e^T e}{n-2-1} = \frac{0.00861}{5-2-1} = 0.004305$$

$F_{2, n-2-1}$

$$= \frac{\text{Meansquare of explained variable}}{\text{Meansquare of residual}}$$

$$= \frac{\hat{\beta}^T X^T Y}{2} \bigg/ \frac{e^T e}{n-2-1} = \frac{0.0267965}{0.004305} = 6.224$$

Summary.

Calculation $F_{2, n-2-1}$ = 6.224

Critical value of F_2 from table = 19.000 (Level of sig .05)

This estimated regression is not significance

การกำหนดหาสมการถดถอย จากการแบ่งข้อมูลโดยถือความน่าจะเป็น
เป็นเกณฑ์

Hypothesis of regression equation is $Pr = \alpha + \beta T + \lambda C$

$$\Leftrightarrow Y = a + bT + cC$$

Real Variable	Pr	T	C						
Variable	Y	X_1	X_2	Y^2	X_1^2	X_2^2	YX_1	YX_2	X_1X_2
Case									
1	0.71	26.70	0.86	0.50	712.89	0.74	18.96	0.61	22.96
2	0.78	26.26	1.27	0.61	689.59	1.61	20.48	0.99	33.35
3	0.78	25.67	2.06	0.61	658.95	4.24	20.02	1.61	52.88
4	0.86	24.86	2.29	0.74	618.02	5.24	21.38	1.97	56.93
5	0.92	24.18	2.85	0.85	584.67	8.12	22.25	2.62	68.91
Σ	4.05	127.67	9.33	3.31	3264.12	19.95	103.09	7.80	235.03
$\frac{\Sigma}{N}$	0.81	25.534	1.866						

$$\Sigma Y^2 = \Sigma (Y - \bar{Y})^2 = \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{N} = 3.31 - \frac{(4.05)^2}{5} = 0.0295$$

$$\Sigma X_1^2 = \Sigma (X_1 - \bar{X}_1)^2 = \Sigma X_1^2 - \frac{(\Sigma X_1)^2}{N} = 3264.12 - \frac{(127.67)^2}{5} = 4.1944$$

$$\Sigma X_2^2 = \Sigma (X_2 - \bar{X}_2)^2 = \Sigma X_2^2 - \frac{(\Sigma X_2)^2}{N} = 19.95 - \frac{(9.33)^2}{5} = 2.5402$$

$$YX_1 = \Sigma (Y - \bar{Y})(X_1 - \bar{X}_1) = \Sigma YX_1 - \frac{\Sigma Y \Sigma X_1}{N} = 103.09 - \frac{(4.05 \times 127.67)}{5} = -0.3227$$

$$\Sigma yx_2 = \Sigma (Y - \bar{Y})(X_2 - \bar{X}_2) = \Sigma YX_2 - \frac{\Sigma Y \Sigma X_2}{N} = 7.80 - \frac{(4.05 \times 9.33)}{5} = 0.2427$$

$$\Sigma X_1 X_2 = \Sigma (X_1 - \bar{X}_1)(X_2 - \bar{X}_2) = \Sigma X_1 X_2 - \frac{\Sigma X_1 \Sigma X_2}{N} = 235.03 - \frac{(127.67 \times 9.33)}{5} = -3.2022$$

$$\text{Matrix } X^T X = \begin{bmatrix} \Sigma x_1^2 & \Sigma x_1 x_2 \\ \Sigma x_1 x_2 & \Sigma x_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.1944 & -3.2022 \\ -3.2022 & 2.5402 \end{bmatrix}$$

$$X^T Y = \begin{bmatrix} \Sigma yx_1 \\ \Sigma yx_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.3227 \\ 0.2427 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{Determinant of } X^T X &= |X^T X| = \Sigma x_1^2 \Sigma x_2^2 - (\Sigma x_1 x_2)^2 \\ &= 4.1944 \times 2.5402 - (-3.2022)^2 \\ &= 10.6546 - 10.2541 = 0.4005 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inverse of } X^T X &= (X^T X)^{-1} = \frac{1}{|X^T X|} \begin{pmatrix} \Sigma x_2^2 & -\Sigma x_1 x_2 \\ -\Sigma x_1 x_2 & \Sigma x_1^2 \end{pmatrix} \\ &= \frac{1}{0.4005} \begin{pmatrix} 2.5402 & -(-3.2022) \\ -(-3.2022) & 4.1944 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 6.3426 & 7.9956 \\ 7.9956 & 10.4730 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Coefficient vector estimated $\hat{\beta} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T Y$

$$= \begin{pmatrix} 6.3426 & 7.9956 \\ 7.9956 & 10.4730 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} -0.3227 \\ 0.2427 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -2.0468 & + & 1.9405 \\ -2.5802 & + & 2.5418 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.1063 \\ -0.0384 \end{pmatrix}$$

Constant (or intercept) estimate $\hat{a}$

$$\begin{aligned} \hat{a} &= \bar{Y} - \hat{b}\bar{X}_1 - \hat{c}\bar{X}_2 \\ &= 0.81 - (-0.1063 \times 25.534) - (-0.0384 \times 1.866) \\ &= 0.81 + 2.7143 + 0.0717 \\ &= 3.596 \end{aligned}$$

The regression equation estimated is

$$\begin{aligned} Y &= 3.596 - 0.1063X_1 - 0.0384X_2 \\ \text{Or Pr} &= 3.596 - 0.1063T - 0.0384C \end{aligned}$$

Test of regression (Analysis of variance table)

Explained sum of square (Variation of Y due to X_1, X_2) $\hat{\beta}^T X^T Y$

$$\begin{aligned} &= \begin{bmatrix} -0.1063 & -0.0384 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.3227 \\ 0.2427 \end{bmatrix} \\ &= 0.034303 - 0.0093196 \\ &= 0.0249834 \end{aligned}$$

Residual of Y (Variation of Y due to its own data fluctuation)

$$\begin{aligned} e^T e &= \sum y^2 - \hat{\beta}^T X^T Y \\ &= 0.0295 - 0.02498 = 0.00452 \end{aligned}$$

Total residual (variation of Y from all source)

$$= \sum y^2 = 0.0295$$

Meansquare of explained variable (X_1, X_2)

$$= \frac{\hat{\beta}^T X^T Y}{2} = \frac{0.0249834}{2} = 0.01249$$

Meansquare of residual (due by Y's data)

$$= \frac{e^T e}{n-2-1} = \frac{0.00452}{5-2-1} = 0.00226$$

$F_2, n-2-1$

$$= \frac{\text{Meansquare of explained variable}}{\text{Meansquare of residual}}$$

$$= \frac{\hat{\beta}^T X^T Y}{2} \bigg/ \frac{e^T e}{n-2-1} = \frac{0.01249}{0.00226} = 5.5265486$$

Summary

Calculation $F_2, n-2-1$ = 5.527

Critical values of F_2 from table = 19.000 (Level of sig .05)

This estimate regression equation is not significance

Hypothesis of regression equation is $Pr = \alpha + \beta RH + \theta T$

$$\Leftrightarrow Y = a + bX_1 + cX_2$$

Real Variable	Pr	RH	T						
Variable	Y	X ₁	X ₂	Y ²	X ₁ ²	X ₂ ²	YX ₁	YX ₂	X ₁ X ₂
Case									
1	0.71	76.29	26.70	0.50	5820.16	712.89	54.17	18.96	2036.94
2	0.78	82.89	26.26	0.61	6870.75	689.59	64.65	20.48	2176.69
3	0.78	87.83	25.67	0.61	7714.11	658.95	68.51	20.02	2254.60
4	0.86	91.86	24.86	0.74	8438.26	618.02	79.00	21.38	2283.64
5	0.92	96.15	24.18	0.35	9244.82	584.67	88.48	22.25	2324.91
Σ	4.05	435.02	127.67	3.31	38088.00	3264.12	354.79	103.09	1076.78
$\frac{\Sigma}{N}$	0.81	87.004	25.534						

$$y^2 = \Sigma(Y - \bar{Y})^2 = \Sigma Y^2 - \left(\frac{\Sigma Y}{N}\right)^2 = 3.31 - \left(\frac{4.05}{5}\right)^2 = 0.0295$$

$$x_1^2 = \Sigma(X_1 - \bar{X}_1)^2 = \Sigma X_1^2 - \left(\frac{\Sigma X_1}{N}\right)^2 = 38088.00 - \left(\frac{435.02}{5}\right)^2 = 239.52$$

$$x_2^2 = \Sigma(X_2 - \bar{X}_2)^2 = \Sigma X_2^2 - \left(\frac{\Sigma X_2}{N}\right)^2 = 3264.12 - \left(\frac{127.67}{5}\right)^2 = 4.1944$$

$$yx_1 = \Sigma(Y - \bar{Y})(X_1 - \bar{X}_1) = \Sigma YX_1 - \frac{\Sigma Y \Sigma X_1}{N} = 354.79 - \frac{4.05 \times 435.02}{5} = 2.4238$$

$$\Sigma yx_2 = \Sigma (Y - \bar{Y})(x_2 - \bar{x}_2) = \Sigma Yx_2 - \frac{\Sigma Y \Sigma x_2}{N} = 103.09 - \frac{(4.05 \times 127.67)}{5} = -0.3227$$

$$\Sigma x_1 x_2 = \Sigma (x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2) = \Sigma x_1 x_2 - \frac{\Sigma x_1 \Sigma x_2}{N} = 11076.78 - \frac{(435.02 \times 127.67)}{5} = -31.02$$

$$\text{Matrix } X^T X = \begin{bmatrix} \Sigma x_1^2 & \Sigma x_1 x_2 \\ \Sigma x_1 x_2 & \Sigma x_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 239.52 & -31.02 \\ -31.02 & 4.1944 \end{bmatrix}$$

$$X^T Y = \begin{bmatrix} \Sigma yx_1 \\ \Sigma yx_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.4238 \\ -0.3227 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{Determinant of } X^T X &= |X^T X| = \Sigma x_1^2 \Sigma x_2^2 - (\Sigma x_1 x_2)^2 \\ &= 239.52 \times 4.1944 - (-31.02)^2 \\ &= 1004.6426 - 962.2404 = 42.4022 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inverse of } X^T X &= (X^T X)^{-1} = \frac{1}{|X^T X|} \begin{pmatrix} \Sigma x_2^2 & -\Sigma x_1 x_2 \\ -\Sigma x_1 x_2 & \Sigma x_1^2 \end{pmatrix} \\ &= \frac{1}{42.4022} \begin{pmatrix} 4.1944 & -(-31.02) \\ -(-31.02) & 239.52 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0.09899 & 0.7321 \\ 0.7321 & 5.6527 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Coefficient vector estimate } \hat{\beta} &= \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T Y \\
 &= \begin{pmatrix} 0.09899 & 0.7321 \\ 0.7321 & 5.6527 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 2.4328 \\ -0.3227 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 0.2408 + (-0.2363) \\ 1.7811 + (-1.8244) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0045 \\ -0.043 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Constant (Or intercept) estimate $\hat{a}$

$$\begin{aligned}
 \hat{a} &= \bar{Y} - \hat{b}\bar{X}_1 - \hat{c}\bar{X}_2 \\
 &= 0.81 - (0.0045 \times 87.00) - (-0.043 \times 25.53) \\
 &= 0.81 - 0.3915 + 1.09779 \\
 &= 1.51629
 \end{aligned}$$

∴ The regression equation estimated is

$$\begin{aligned}
 Y &= 1.51629 + 0.0045X_1 - 0.043X_2 \\
 \text{Or Pr} &= 1.51629 + 0.0045RH - 0.043T
 \end{aligned}$$

Test of regression equation (Analysis of variance table)

Explained sum of square (Variation of Y due to X_1, X_2) $\hat{\beta}^T X^T Y$

$$\begin{aligned}
 &= \begin{bmatrix} 0.0045 & -0.043 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2.4238 \\ -0.3227 \end{bmatrix} \\
 &= 0.0109 + 0.0139 \\
 &= 0.0248
 \end{aligned}$$

Residual of Y (Variation of Y due to its own data fluctuation)

$$\begin{aligned}
 e^T e &= \sum y^2 - \hat{\beta}^T X^T Y \\
 &= 0.0295 - 0.0248 = 0.0047
 \end{aligned}$$

Total residual (variation of Y from all source)

$$= \sum y^2 = 0.0295$$

Meansquare of explained variable (X_1, X_2)

$$= \frac{\hat{\beta}^T X^T Y}{2} = \frac{0.0248}{2} = 0.0124$$

Meansquare of residual (due by Y's data)

$$= \frac{e^T e}{n-2-1} = \frac{0.0047}{5-2-1} = 0.00235$$

$F_{2, n-2-1} = \frac{\text{Meansquare of explained variable}}{\text{Meansquare of residual}}$

$$= \frac{\hat{\beta}^T X^T Y}{2} \bigg/ \frac{e^T e}{n-2-1} = \frac{0.0124}{0.00235} = 5.2765957$$

Summary

Calculation $F_{2, n-2-1} = 5.277$

Critical values of F from table = 19.000 (Level of sig .05)

This estimate regression equation is not significance.

Hypothesis of regression equation is $Pr = \alpha + \beta RH + \lambda C$

$$\Leftrightarrow Y = a + bX_1 + cX_2$$

Real Variable	Pr	RH	C						
Variable	Y	X ₁	X ₂	Y ²	X ₁ ²	X ₂ ²	YX ₁	YX ₂	X ₁ X ₂
Case									
1	0.71	76.29	0.86	0.50	5820.16	0.74	54.17	0.61	65.61
2	0.78	82.89	1.27	0.61	6870.75	1.61	64.65	0.99	105.27
3	0.78	87.83	2.06	0.61	7714.11	4.24	68.51	1.61	180.93
4	0.86	91.86	2.29	0.74	8438.26	5.24	79.00	1.97	210.36
5	0.92	96.15	2.85	0.85	9244.82	8.12	88.46	2.62	274.03
Σ	4.05	435.02	9.33	3.31	38088.00	19.95	354.79	7.80	836.20
$\frac{\Sigma}{N}$	0.81	87.004	1.866						

$$y^2 = \Sigma(Y - \bar{Y})^2 = \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{N} = 3.31 - \frac{(4.05)^2}{5} = 0.0295$$

$$-x_1^2 = \Sigma(X_1 - \bar{X}_1)^2 = \Sigma X_1^2 - \frac{(\Sigma X_1)^2}{N} = 38088.00 - \frac{(435.02)^2}{5} = 239.52$$

$$x_2^2 = \Sigma(X_2 - \bar{X}_2)^2 = \Sigma X_2^2 - \frac{(\Sigma X_2)^2}{N} = 19.95 - \frac{(9.33)^2}{5} = 2.5402$$

$$yx_1 = \Sigma(Y - \bar{Y})(X_1 - \bar{X}_1) = \Sigma YX_1 - \frac{\Sigma Y \Sigma X_1}{N} = 354.79 - \frac{(4.05 \times 435.02)}{5} = 2.4238$$

$$\sum yx_2 = \sum (Y - \bar{Y})(x_2 - \bar{x}_2) = \sum Yx_2 - \frac{\sum Y \sum x_2}{N} = 7.80 - \frac{(4.05 \times 9.33)}{5} = 0.2427$$

$$\sum x_1 x_2 = \sum (x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2) = \sum x_1 x_2 - \frac{\sum x_1 \sum x_2}{N} = 836.20 - \frac{(435.02 \times 9.33)}{5} = 24.4527$$

$$\text{Matrix} = X^T X = \begin{bmatrix} \sum x_1^2 & \sum x_1 x_2 \\ \sum x_1 x_2 & \sum x_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 239.52 & 24.4527 \\ 24.4527 & 2.5402 \end{bmatrix}$$

$$X^T Y = \begin{bmatrix} \sum yx_1 \\ \sum yx_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.4238 \\ 0.2427 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{Determinant of } X^T X &= |X^T X| = \sum x_1^2 \sum x_2^2 - (\sum x_1 x_2)^2 \\ &= 239.52 \times 2.5402 - (24.4527)^2 \\ &= 608.4287 - 597.9345 = 10.4942 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inverse of } X^T X &= (X^T X)^{-1} = \frac{1}{|X^T X|} \begin{pmatrix} \sum x_2^2 & -\sum x_1 x_2 \\ -\sum x_1 x_2 & \sum x_1^2 \end{pmatrix} \\ &= \frac{1}{10.4942} \begin{pmatrix} 2.5402 & -(24.4527) \\ -(24.4527) & 239.52 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0.24206 & -2.3301 \\ -2.3301 & 22.8239 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\text{Coefficient vector estimated } \hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

$$= \begin{pmatrix} 0.2421 & -2.3301 \\ -2.3301 & 22.8239 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 2.4238 \\ 0.2427 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0.5868 + (-0.5655) \\ -5.6477 + 5.5407 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0213 \\ -0.107 \end{pmatrix}$$

Constant (or intercept) estimate $\hat{a}$

$$\begin{aligned} \hat{a} &= \bar{Y} - \hat{b}\bar{X}_1 - \hat{c}\bar{X}_2 \\ &= 0.81 - (0.0213 \times 87) - (-0.107) \times 1.87 \\ &= 0.81 - 1.8531 + 0.2 \\ &= -0.8431 \end{aligned}$$

∴ The regression equation estimated is

$$\begin{aligned} Y &= -0.8431 + 0.0213X_1 - 0.107X_2 \\ \text{Or Pr} &= -0.8431 + 0.0213RH - 0.107C \end{aligned}$$

Test of regression equation (Analysis of variance table)

Explain sum of square (Variation Y due to X_1, X_2) $\hat{\beta}^T X^T Y$

$$\begin{aligned} &= \begin{bmatrix} 0.0213 & -0.107 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2.4238 \\ 0.2427 \end{bmatrix} \\ &= 0.0516269 - 0.0259689 \\ &= 0.025658 \end{aligned}$$

Residual of Y (Variation of Y due to its own data fluctuation)

$$\begin{aligned} e^T e &= \sum y^2 - \hat{\beta}^T X^T Y \\ &= 0.0295 - 0.025658 = 0.003842 \end{aligned}$$

Total residual (Variation of Y from all source)

$$= \sum y^2 = 0.0295$$

Meansquare of explained data (X_1, X_2)

$$= \frac{\hat{\beta}^T X^T Y}{2} = \frac{0.025658}{2} = 0.012829$$

Meansquare of residual (due by Y's data)

$$= \frac{e^T e}{n-2-1} = \frac{0.003842}{5-2-1} = 0.001921$$

$F_2, n-2-1$

= $\frac{\text{Meansquare of explain variable}}{\text{Meansquare of residual}}$

$$= \frac{\hat{\beta}^T X^T Y}{2} \bigg/ \frac{e^T e}{n-2-1} = \frac{0.012829}{0.001921} = 6.678292$$

Summary

Calculation $F_2, n-2-1$ = 6.678

Critical value of F_2 from table = 19.000 (Level of sig .05)

This estimated regression equation is not significance

หมายเหตุ การคำนวณการถดถอยทั้ง 6 สบการที่ผ่านมานำวิธีการมาจาก
หนังสือ Economic Methods ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2 แต่งโดย J-Johnston,
McGraw-Hill Book Company N.Y., 1960, pp 121-147.

[illegible]