

การใช้พลุสารดูความชื้นที่มีผลต่อลักษณะเมฆฟิลิกต์ที่ระดับฐานเมฆคิวมูลัส

นางสาวหนึ่งหทัย ตันติพลับทอง



การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต
แขนงวิชาการจัดการการเกษตร สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

พ.ศ. 2556

**The Effects of Hygroscopic Flares on Characteristics of Cloud Physics
at the Cumulus Cloud Base**

Miss Nuenghatai Tantiplubthong



An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Agriculture in Agricultural Resources Management

School of Agriculture and Cooperatives
Sukhothai Thammathirat Open University

2013

หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ	การใช้พลุสารดูความชื้นที่มีผลต่อลักษณะเมฆฟิลิกส์ที่ระดับ ฐานเมฆคิวมูลัส
ชื่อและนามสกุล	นางสาวหนึ่งหทัย ตันติพลับทอง
แขนงวิชา	การจัดการการเกษตร
สาขาวิชา	เกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. พงศ์พันธุ์ เขียรหิรัญ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน 2556

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พงศ์พันธุ์ เขียรหิรัญ)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ประเสริฐ อังสุรัตน์)

(รองศาสตราจารย์ ดร. อัจฉรา จิตตลดากร)

ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์

ชื่อการศึกษาค้นคว้าอิสระ การใช้พลาสมาความถี่สูงที่มีผลต่อลักษณะเมมฟิสิกส์ที่ระดับ
ฐานเมมคิวมูลัส

ผู้ศึกษา นางสาวหนึ่งหทัย ดันติพลับทอง รหัสนักศึกษา 2529001618

ปริญญา เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรเกษตร)

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. พงศ์พันธุ์ เขียวหิรัญ ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลาสมาความถี่สูงสุตรโซเดียมคลอไรด์และ
สุตรแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อลักษณะเมมฟิสิกส์ที่ระดับฐานเมมคิวมูลัส

วิธีการทดลองใช้หน่วยทดลองที่ได้มาจากข้อมูลทุกภูมิภาคภายใต้โครงการทดสอบประสิทธิภาพพลา
สมาความถี่สูงเสริมการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอุ่น ตั้งแต่ปี 2552 – 2554 โดยจำแนกหน่วยทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม
ได้แก่ กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลาสมาความถี่สูง จำนวน 3 ตัวอย่าง กลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาโซเดียมคลอไรด์ จำนวน
6 ตัวอย่าง และกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาแคลเซียมคลอไรด์ จำนวน 9 ตัวอย่าง ข้อมูลเมมฟิสิกส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์
ได้แก่ ปริมาณน้ำ ขนาด และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดอนุภาคขนาดเล็กที่มีขนาด
ไม่เกิน 47 ไมครอนที่ติดตั้งบนเครื่องบินวิจัยเมฆฟิสิกส์ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ทำการวิเคราะห์ด้วย
สถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ทำการเปรียบเทียบข้อมูลเมมฟิสิกส์
ระหว่างก่อนใช้กับหลังใช้พลาสมาความถี่สูงด้วยวิธี paired samples t-test และเปรียบเทียบความแตกต่างของ
ค่าเฉลี่ยข้อมูลเมมฟิสิกส์ด้วยวิธี independent samples t-test

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างก่อนใช้กับหลังใช้พลาสมาความถี่สูง ด้วยวิธี
paired samples t-test ปรากฏว่ากลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลาสมาความถี่สูงกับกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาโซเดียมคลอไรด์ ไม่มี
ความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งปริมาณน้ำ ขนาดและปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ แต่
พบว่าเม็ดน้ำของกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาแคลเซียมคลอไรด์มีขนาดใหญ่ขึ้นหลังการใช้พลาสมาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่
ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมมฟิสิกส์ด้วยวิธี independent samples
t-test พบว่า กลุ่มเมฆทั้งสามกลุ่มมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ ขนาด และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำไม่
แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมมฟิสิกส์ กล่าวได้ว่ากลุ่มเมฆ
ที่มีการใช้พลาสมาความถี่สูงทั้งสองสุตรมีแนวโน้มช่วยให้เม็ดน้ำที่ระดับฐานเมฆเกิดการรวมตัวกันจนมีขนาด
ใหญ่ขึ้นได้ดีกว่าการรวมตัวกันตามธรรมชาติ และกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาแคลเซียมคลอไรด์ มีขนาดเม็ดน้ำใหญ่กว่า
กลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาโซเดียมคลอไรด์ และกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาโซเดียมคลอไรด์ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำและปริมาณ
ความเข้มข้นของเม็ดน้ำได้ดีกว่ากลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาแคลเซียมคลอไรด์

คำสำคัญ พลาสมาความถี่สูง เมมฟิสิกส์ ฐานเมมคิวมูลัส

Independent Study title: The Effects of Hygroscopic Flares on Characteristics of Cloud Physics at the Cumulus Cloud Base

Researcher: Miss Nuenghatai Tantiplubthong; **ID:** 2529001618;

Degree: Master of Agriculture (Agricultural Resources Management);

Independent study advisor: Dr. Pongpan Thienhirun, Associate Professor;

Academic: 2013

Abstract

The purpose of this study was to compare the effects of sodium chloride hygroscopic flare and calcium chloride hygroscopic flare on characteristics of cloud physics at the height of cumulus cloud base.

This experiment was conducted by using experimental units from secondary data under the project for testing effectiveness of employing hygroscopic flare to enhance warm cloud seeding from 2009 - 2011. The experimental units were divided into three categories: three clouds that were not seeded, six clouds that were seeded with sodium chloride, and nine that were seeded with calcium chloride. The cloud physics parameters used in the analysis consisted of liquid water content, size, and total concentration of water droplets, as measured by a device measuring particles less than 47 microns attached on the cloud physics research aircraft of the Department of Royal Rainmaking and Agricultural Aviation. Descriptive analysis and inferential statistics were used to analyze the data. The comparison of data between before and after the experiment was done by paired samples t-test. The difference of the mean data of the cloud physics was also compared by independent sample t-test.

It was found that the experimental units which did not use hygroscopic flare and the experimental units using sodium chloride hygroscopic flare (seeded) showed no statistically significant difference between before and after the experiment at the statistical significance level of 0.05 for liquid water content, size and total concentration of water droplets. However, the size of water droplets of the experimental units using calcium chloride hygroscopic flare measured after seeding were significantly larger than before seeding at significance level of 0.05. When analyzed by independent sample t-test, the study showed no significant difference in liquid water content, size and total concentration of water droplets between the three categories of cloud at the statistical significance level of 0.05. Still, the comparison of mean data of cloud physics showed that the two cloud groups which were seeded using both kinds of flare tended to have an enhanced coalescence process at the cumulus cloud base compared to natural cloud formation. Moreover, the experimental units using calcium chloride hygroscopic flare resulted in larger size of water droplets than the experimental units which were seeded by sodium chloride hygroscopic flare. In contrast, the experimental units seeded by sodium chloride hygroscopic flare exhibited larger volume and higher concentration of water droplet than the experimental units seeded by calcium chloride hygroscopic flare.

Keywords: Hygroscopic flares, Cloud physics, Cumulus cloud base, Artificial rain, Cloud seeding

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ ผู้ศึกษาได้รับการสนับสนุนข้อมูลเมฆฟิสิกส์เพื่อการศึกษาจากกองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีฝนหลวง กรมฝนหลวงและการบินเกษตร และได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก ดร.ประเสริฐ อังสุรัตน์ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์บรรยากาศประยุกต์ กรมฝนหลวงและการบินเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น เสนอแนะ และแนะนำแนวทางในการเขียนรายงานผลการศึกษา รวมทั้งตอบรับเป็นกรรมการสอบ และยังได้รับความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์พันธุ์ เขียวหิรัญ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ในการรับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำแนะนำและติดตามการทำการศึกษาค้นคว้าอิสระอย่างใกล้ชิด นับตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ ผู้ศึกษารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง

ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณคุณอาจารย์ และผู้เกี่ยวข้องประจำสาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการเรียนในหลักสูตรเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรเกษตร) รวมถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการศึกษาค้นคว้าอิสระครั้งนี้ ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษานี้ ผู้ศึกษาขอมอบให้ผู้สนใจศึกษาค้นคว้าทุกท่านทุกสาขาวิชา

หนึ่งหทัย ตันติพลับทอง

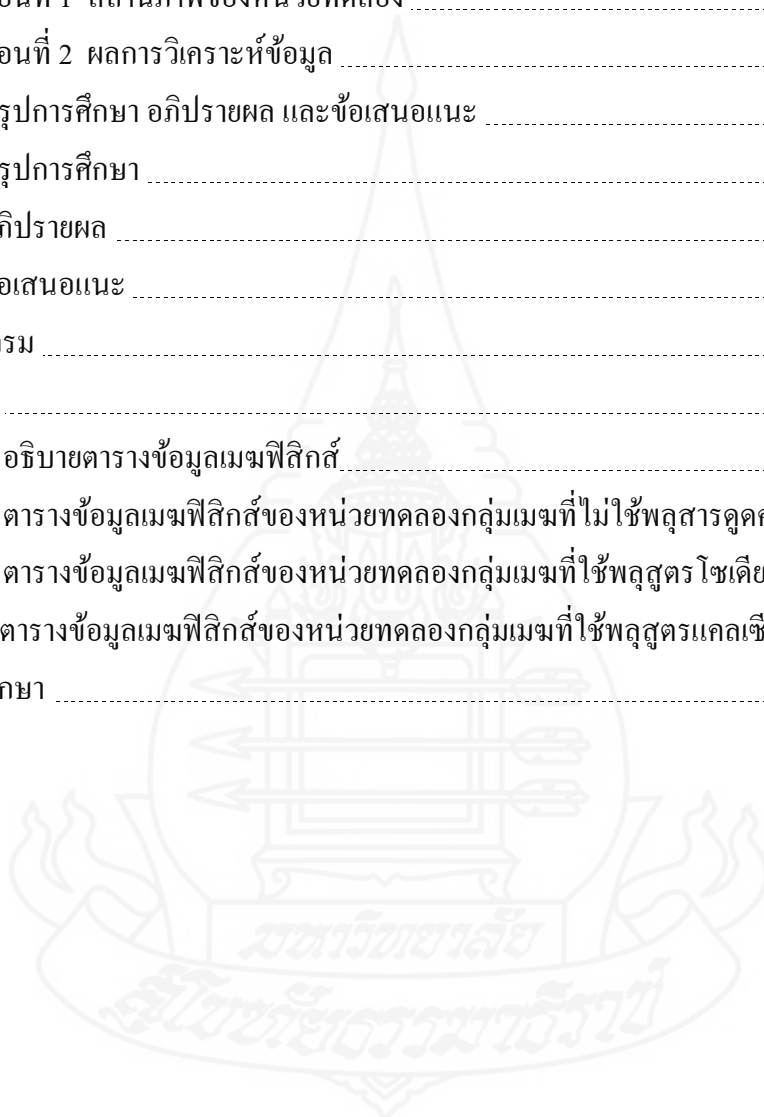
พฤศจิกายน 2556

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์การศึกษา	2
กรอบแนวคิดการศึกษา	2
ขอบเขตของการศึกษา	3
ข้อจำกัดในการศึกษา	3
นิยามศัพท์เฉพาะ	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	6
เครื่องมือวิทยาศาสตร์ตรวจวัดเมฆฟิสิกส์	6
การทำฝนเทียมอ่อน	7
เมฆคิวมูลัส	7
ฐานเมฆคิวมูลัส	8
สารดูดความชื้นชนิดผง	8
พลูสารดูดความชื้น	12
การศึกษาค้นคว้าวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา	20
หน่วยทดลอง	20
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา	20
การเก็บรวบรวมข้อมูล	21
การวิเคราะห์ข้อมูล	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	27
ตอนที่ 1 สถานภาพของหน่วยทดลอง	27
ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	27
บทที่ 5 สรุปการศึกษา อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	55
สรุปการศึกษา	55
อภิปรายผล	58
ข้อเสนอแนะ	61
บรรณานุกรม	63
ภาคผนวก	67
ก อธิบายตารางข้อมูลเมฆฟิสิกส์	68
ข ตารางข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของหน่วยทดลองกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลุสารดูคความชื้น	71
ค ตารางข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของหน่วยทดลองกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตรโซเดียมคลอไรด์	73
ง ตารางข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของหน่วยทดลองกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตรแคลเซียมคลอไรด์	76
ประวัติผู้ศึกษา	80



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลก่อนใช้กับหลังใช้ พลาสมาความถี่ของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลาสมาความถี่.....	28
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลก่อนใช้กับหลังใช้ พลาสมาความถี่ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาโซเดียมคลอไรด์.....	28
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลก่อนใช้กับหลังใช้ พลาสมาความถี่ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาแคลเซียมคลอไรด์.....	29
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลาสมาความถี่ของ กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลาสมาความถี่.....	30
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี paired-samples t-test ของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลาสมาความถี่.....	31
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลาสมาความถี่ของ กลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาโซเดียมคลอไรด์.....	33
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี paired-samples t-test ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาโซเดียมคลอไรด์.....	35
ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลาสมาความถี่ของ กลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาแคลเซียมคลอไรด์.....	37
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี paired-samples t-test ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาแคลเซียมคลอไรด์.....	38
ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลา สมาความถี่ของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลาสมาความถี่ กลุ่มเมฆที่ใช้พลา สมาโซเดียมคลอไรด์ และกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาแคลเซียมคลอไรด์.....	40
ตารางที่ 4.11 ผลต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลา สมาความถี่ของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลาสมาความถี่ กลุ่มเมฆที่ใช้พลา สมาโซเดียมคลอไรด์ และกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาแคลเซียมคลอไรด์.....	41
ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของผลต่างข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลาสมาความถี่.....	42
ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยของผลต่างข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาความถี่ สมาโซเดียมคลอไรด์.....	42

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยของผลต่างข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสารดูดความชื้น สูตรแคลเซียมคลอไรด์.....	43
ตารางที่ 4.15 ผลต่างของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลุสารดูดความชื้นระหว่าง กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลุสารดูดความชื้นกับกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตร โซเดียมคลอไรด์....	44
ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี independent samples t-test ระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลุสารดูดความชื้นกับกลุ่มเมฆที่ใช้พลุ สูตร โซเดียมคลอไรด์.....	44
ตารางที่ 4.17 ผลต่างของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลุสารดูดความชื้น ระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลุสารดูดความชื้นกับกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตร แคลเซียมคลอไรด์.....	47
ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วย independent samples t-test ระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลุสารดูดความชื้นกับกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตร แคลเซียมคลอไรด์.....	48
ตารางที่ 4.19 ผลต่างของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลุสารดูดความชื้น ระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตร โซเดียมคลอไรด์กับกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตร แคลเซียมคลอไรด์.....	51
ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วย independent samples t-test ระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตร โซเดียมคลอไรด์กับกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตร แคลเซียมคลอไรด์.....	51

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการศึกษา	2
ภาพที่ 2.1 เครื่องมือตรวจวัดหยดเมฆ (FSSP)	6
ภาพที่ 2.2 เมฆคิวมูลัส	8
ภาพที่ 2.3 สารดูดความชื้น “โซเดียมคลอไรด์” ชนิดผง	9
ภาพที่ 2.4 ถังบรรจุเกลือเปียก สูตร 4/1 (เกลือสินเธาว์)	10
ภาพที่ 2.5 ถังบรรจุเกลือเปียก สูตร 4/2 (เกลือสมุทร)	10
ภาพที่ 2.6 สารดูดความชื้น “แคลเซียมคลอไรด์” ชนิดผง	11
ภาพที่ 2.7 ส่วนประกอบของแท่งพลูสารดูดความชื้นที่ผลิตโดยกองทัพอากาศ	12
ภาพที่ 2.8 การวัดขนาดอนุภาคควันของพลูสารดูดความชื้นสูตร “แคลเซียมคลอไรด์” เมื่อปี 2547	13
ภาพที่ 2.9 การกระจายของขนาดอนุภาคสารดูดความชื้นสูตร “แคลเซียมคลอไรด์”	14
ภาพที่ 2.10 จำนวนสะสมของขนาดอนุภาคสารดูดความชื้นสูตร “แคลเซียมคลอไรด์”	14
ภาพที่ 2.11 การเผาไหม้ของพลูสารดูดความชื้นที่ผลิตโดยกองทัพอากาศ	15
ภาพที่ 2.12 การโปรยสารดูดความชื้นชนิดผงเป็ด้วยเครื่องบินการาเวนของกรมฝนหลวง และการบินเกษตร	16
ภาพที่ 2.13 การเผาไหม้ของพลูสารดูดความชื้นในระหว่างการทดลองทำฝน ที่เมือง Coahuila, Mexico	17
ภาพที่ 3.1 cloud base spectra for hygroscopic flare seeding	23
ภาพที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้น ของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลูสารดูดความชื้น	30
ภาพที่ 4.2 เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลูสาร ดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลูสารดูดความชื้น	32
ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้น ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตร โซเดียมคลอไรด์	34
ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลูสาร ดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตร โซเดียมคลอไรด์	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลาสมาความถี่ ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาเคลือบเคลือบ.....	37
ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลาสมา ความถี่ของข้อมูลเมฆที่ใช้พลาสมาเคลือบเคลือบ.....	39
ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย และผลต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ พลาสมาความถี่ของข้อมูลเมฆที่ไม่ใช้พลาสมาความถี่ กลุ่มเมฆที่ใช้พลา สมาเคลือบเคลือบ และกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาเคลือบเคลือบ.....	41



บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเป็นส่วนสำคัญในชีวิตประจำวัน ในการดำรงชีพของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตในโลก แม้แต่ในร่างกายของคนเรายังประกอบไปด้วยน้ำสูงถึงร้อยละ 70 พื้นผิวโลกประกอบขึ้นด้วยพื้นดินและพื้นน้ำ โดยส่วนที่เป็นผิวน้ำนั้น มีอยู่ประมาณ 3 ส่วน เป็นพื้นดิน 1 ส่วน และมีการใช้ประโยชน์ของน้ำเพื่อการเกษตร อุตสาหกรรม และอื่น ๆ ในส่วนของการเกษตร ทรัพยากรน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการทำการเกษตรในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศ จึงมีความพยายามเก็บกักน้ำเพื่อการเกษตร เช่น การสร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำ และฝาย เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชทรงให้ความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมจะมีความต้องการใช้น้ำเพื่อการผลิตสินค้าทางการเกษตร แต่มักจะประสบปัญหาขาดแคลนน้ำ โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงเกิดโครงการต่าง ๆ มากมาย ทั้งการจัดการน้ำผิวดิน เพื่อช่วยเหลือเกษตรกรที่ประสบปัญหาขาดแคลนน้ำสำหรับการเกษตร กิจกรรมอื่น รวมถึงการใช้น้ำใต้ดินของประชาชน อีกด้านหนึ่งน้ำในบรรยากาศ ได้แก่ เมฆ และฝน จัดเป็นทรัพยากรน้ำในบรรยากาศ ซึ่งการจัดการน้ำในบรรยากาศเพื่อการเกษตร ก่อให้เกิดโครงการพระราชดำริฝนหลวงตั้งแต่ปี พ.ศ.2498 เป็นความพยายามในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยจากตำราต่างประเทศ และทดลองดัดแปรสภาพอากาศเพื่อให้ก้อนเมฆบนท้องฟ้าตกลงมาเป็นฝนในพื้นที่ประสบภัยแล้ง และนำไปสู่การแก้ไขปัญหาภัยพิบัติอื่น ๆ เช่น ปัญหาหมอกควัน ไฟป่า และการช่วยผลักดันน้ำเค็ม เป็นต้น การศึกษาวิจัยและการทดลองดังกล่าวได้ยกระดับจากโครงการพระราชดำริฝนหลวง เป็นหน่วยงานราชการจนกระทั่งเป็นกรมฝนหลวงและการบินเกษตร สังกัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เมื่อวันที่ 24 มกราคม พ.ศ.2556

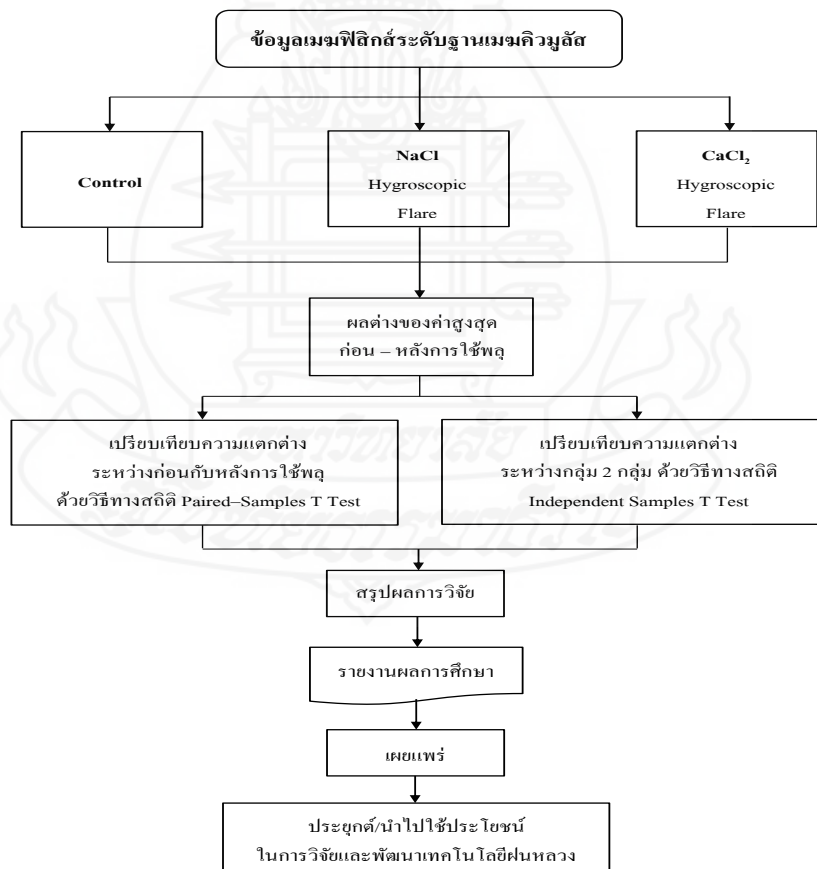
ปัจจุบันกรมฝนหลวงและการบินเกษตรได้มีความร่วมมือด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีฝนหลวงกับกองทัพอากาศไทย ในการศึกษาวิจัยผลิตพลุสารดูดความชื้นเพื่อใช้ในการทำฝน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่โดยใช้พลุเผาไหม้ให้สารฝนหลวงออกมาเป็นควัน หรือที่เรียกว่า pyrotechnic flare เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และเพื่อให้เกิดประสิทธิผลในการทำฝนยิ่งขึ้น ซึ่งได้ทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพพลุสารดูดความชื้นจากการใช้งานจริงกับเมฆคิวมูลัสและ

บิณฑรรววดัดเมฆฟิสิกส์ด้วยอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ที่ระดับฐานเมฆ ที่มีการใช้พลุสารดูดความชื้น ดังนั้น การศึกษาผลของการใช้พลุสารดูดความชื้นจากข้อมูลการตรวจวัดเมฆฟิสิกส์ที่ระดับฐานเมฆ คิวมูลัส เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการนำไปพัฒนาวิธีการปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการจัดการทรัพยากรน้ำของแต่ละภูมิภาค โดยเฉพาะการจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อการเกษตร อันเป็นภารกิจหลักของกรมฝนหลวงและการบินเกษตรได้ดียิ่งขึ้นต่อไป

2. วัตถุประสงค์การศึกษา

เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลุสารดูดความชื้นสูตรโซเดียมคลอไรด์และสูตรแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อลักษณะเมฆฟิสิกส์ที่ระดับฐานเมฆคิวมูลัส

3. กรอบแนวคิดการศึกษา



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการศึกษา

4. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาแต่ละเรื่องมีขอบเขตมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับงบประมาณและระยะเวลาที่จะทำการศึกษาการกำหนดขอบเขตของการศึกษาจะช่วยให้ผู้ศึกษาวางแผนการเก็บข้อมูลได้ครอบคลุมและตรงกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่ตั้งไว้

4.1 พื้นที่การศึกษา ได้แก่ พื้นที่ภาคกลางในรัศมี 160 กิโลเมตรของการตรวจวัดของเรดาร์ฝนหลวงตาคลี อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์

4.2 หน่วยทดลอง ได้แก่ กลุ่มเมฆก้อนหรือกลุ่มเมฆคิวมูลัสที่กำลังเจริญเติบโต มีลักษณะเป็นเมฆก่อนข้างเดียว ยังไม่มีฝนตกจากฐานเมฆ

4.3 ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ ได้แก่ ปริมาณน้ำ ขนาดและปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำภายในก้อนเมฆ

4.4 เวลาที่ตรวจวัดข้อมูลเมฆฟิสิกส์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 – 2554

4.5 ตัวแปร ได้แก่ พลุสารดูความชื้นสูตรโซเดียมคลอไรด์ และพลุสารดูความชื้นสูตรแคลเซียมคลอไรด์

5. ข้อจำกัดในการศึกษา

การศึกษาที่ต้องใช้เครื่องบินวิจัยเพื่อตรวจวัดเมฆฟิสิกส์จะมีค่าใช้จ่ายทางการบินที่สูงมาก และการใช้ห้องฟ้าเป็นห้องทดลองซึ่งเป็นระบบเปิดจึงมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องหลายด้านแตกต่างจากการทดลองในระบบปิดหรือในห้องแลปหรือแปลงทดลอง ประกอบกับตัวอย่างการทดลอง คือ เมฆที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ การกำหนดเงื่อนไขเพื่อคัดเลือกหน่วยทดลอง ยิ่งทำให้การได้มาซึ่งตัวอย่างเป็นไปได้ยาก จึงเก็บตัวอย่างได้น้อย และมีการใช้งบประมาณสูงมาก

6. นิยามศัพท์เฉพาะ

6.1 เมฆฟิสิกส์ มาจาก cloud physics หมายถึง กระบวนการทางกายภาพที่จะนำไปถึงการเกิด การเจริญเติบโต และกลายเป็นหยาดน้ำฟ้าของเมฆ (หนึ่งหทัย, 2551)

6.2 แคลเซียมคลอไรด์ สารฝนหลวงประเภทดูดซับความชื้นแล้วคายความร้อนออกมาแล้วทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น เรียกว่า exothermic chemical มีชื่อและสูตรทางเคมีว่า calcium

chloride – CaCl₂ เรียกเป็นรหัสว่า สูตร 6 ซึ่งจะใช้ในขั้นตอนที่ 2 เลียงให้อ้วน ให้เมฆเจริญเติบโตมีขนาดใหญ่จนสามารถบังคับให้ตกเป็นฝนในขั้นตอนที่ 3 โจมตี ให้ฝนตกลงสู่พื้นที่เป้าหมายในที่สุด

6.3 โซเดียมคลอไรด์ เป็นสารฝนหลวงที่ทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัวของเมฆ (cloud condensation nuclei – CCN) เป็นสารที่ไวต่อการดูดซับความชื้น ซึ่งมีชื่อและสูตรทางเคมีว่า sodium chloride - NaCl ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เรียกเป็นรหัสว่า สูตร 1 เป็นสารฝนหลวงเริ่มต้นใช้งานในรูปแบบสารละลายจากน้ำทะเลโดยตรง และพัฒนาให้เป็นผงละเอียด เรียกกันว่า ผงเกลือเป็ง เป็นสารฝนหลวงหลักที่สำคัญที่ใช้ในทุกขั้นตอนของกระบวนการเทคโนโลยีฝนหลวง (หนึ่งหทัย, 2550)

6.4 พลุสารดูดความชื้น หมายถึง เทคโนโลยีใหม่ในการพัฒนาเทคโนโลยีฝนหลวง โดยการผลิตแท่งพลุที่มีเนื้อสารฝนหลวงชนิดดูดซับความชื้นเป็นเทคนิคการเผาไหม้แท่งพลุให้สารฝนหลวงชนิดต่าง ๆ ออกมาเป็นควันสำหรับปล่อยในอากาศหรือปล่อยเข้าสู่ก้อนเมฆ เพื่อเร่งกระบวนการเกิดเมฆจนกระทั่งมีฝนตก

6.5 หยาดน้ำฟ้า เป็นศัพท์เฉพาะทางอุตุนิยมวิทยา มาจาก precipitation หมายถึง น้ำที่มีลักษณะเป็นของเหลว หรือของแข็ง ซึ่งเกิดจากก้อนเมฆบนท้องฟ้าแล้วตกลงมายังพื้นโลก ได้แก่ ฝน หิมะ และลูกเห็บ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2556)

6.6 FSSP ย่อมาจาก Forward Scattering Spectrometer Probe คือ เครื่องมือตรวจวัดอนุภาคเม็ดน้ำขนาดเล็กหรือหยดเมฆ ตรวจวัดปริมาณน้ำ (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร; g/m³) ขนาด (ไมครอน; μm) และปริมาณความเข้มข้น (อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร; #/cc) ของอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 2 – 47 ไมครอน (หนึ่งหทัย, 2550)

6.6.1 g/m³ เป็นสัญลักษณ์หรือสิ่งที่ใช้แทนความหมายของหน่วยวัดปริมาตรที่เป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นหน่วยของปริมาณน้ำในเมฆ

6.6.2 μm เป็นสัญลักษณ์หรือสิ่งที่ใช้แทนความหมายของหน่วยวัดความยาวที่เป็น ไมครอน (micron) หรือ ไมโครเมตร (micrometer) ซึ่งเป็นหน่วยของขนาดอนุภาคหยดน้ำในเมฆ

6.6.3 #/cc เป็นสัญลักษณ์หรือสิ่งที่ใช้แทนความหมายของหน่วยวัดความเข้มข้นของอนุภาคหยดน้ำจากการคำนวณออกมาเป็น จำนวนอนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ จำนวนอนุภาคต่อซีซี ซึ่งเป็นหน่วยวัดความเข้มข้นของอนุภาคหยดน้ำในเมฆ

6.7 pyrotechnic flare เทคโนโลยีของพลุเผาไหม้แท่งเนื้อสารให้สารออกมาเป็นควัน เทคนิคใหม่สำหรับการทำฝน ซึ่งจะเผาไหม้แท่งพลุสารดูดความชื้นให้สารฝนหลวงออกมาเป็นควัน เพื่อใช้เร่งกระบวนการเกิดเมฆจนกระทั่งตกเป็นฝน

6.8 LWC ย่อมาจาก **Liquid Water Content** หมายถึง ค่าปริมาณน้ำในเมฆ มีหน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (g/m^3)

6.9 MVD ย่อมาจาก **Mean Volume Diameter** หมายถึง ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่ตรวจวัดด้วย FSSP มีหน่วยเป็น ไมโครเมตร หรือ ไมครอน มีสัญลักษณ์ μm

6.10 TC ย่อมาจาก **Total Concentrate** หมายถึง ค่าปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคที่ตรวจวัดด้วย FSSP มีหน่วยเป็น อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ($\#/cc$)

6.11 control หมายถึง กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูออโรคาร์บอน

6.12 seed NaCl หมายถึง กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูออโรคาร์บอนชนิดโซเดียมคลอไรด์

6.13 seed CaCl₂ หมายถึง กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูออโรคาร์บอนชนิดแคลเซียมคลอไรด์

7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

7.1 ศูนย์ปฏิบัติการฝนหลวงภาคของกรมฝนหลวงและการบินเกษตรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประกอบการวางแผนขั้นตอนต่าง ๆ ของการทำฝนเมฆอ่อน การคัดเลือกชนิดสาร ขนาดของสาร

7.2 นำไปสู่การนำเทคโนโลยีใหม่ไปใช้ทดแทนหรือเสริมการปฏิบัติการฝนหลวงที่ใช้สารฝนหลวงชนิดผง โดยเฉพาะในขั้นตอนที่ 1 ก่อทวนหรือก่อเมฆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการทำฝนหลวง

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ตรวจวัดเมฆฟิสิกส์

เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ติดตั้งบนเครื่องบินสำหรับใช้ตรวจวัดข้อมูลเมฆฟิสิกส์ รวมทั้งสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ขนาดและความเข้มข้นของอนุภาคละอองลอย (aerosol) ขนาดและความเข้มข้นของแกนกลั่นตัวของเมฆ (cloud condensation nuclei; CCN) รูปร่าง ขนาด ปริมาณน้ำ ความเข้มข้นของอนุภาคทั้งน้ำและผลึกน้ำแข็ง (water droplet and ice crystal) กระแสอากาศไหลขึ้น-ลงในเมฆ ความกดอากาศ ความสูง อุณหภูมิ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความชื้นสัมพัทธ์ ทิศทางและความเร็วลม ตำแหน่งปัจจุบันของเครื่องบิน และเส้นทางการบิน

สำหรับข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของอนุภาคหยดเมฆ (cloud droplet) ตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดหยดเมฆ (Forward Scattering Spectrometer Probe ; FSSP) สามารถตรวจวัดขนาด ปริมาณน้ำ และปริมาณความหนาแน่น/ความเข้มข้นของอนุภาคเม็ดน้ำขนาดเล็กที่มีขนาดตั้งแต่ 2 – 47 ไมครอน (หนึ่งหทัย, 2550)



ภาพที่ 2.1 เครื่องมือตรวจวัดหยดเมฆ (FSSP)

ที่มา : หนึ่งหทัย ดันดิพลับทอง (2554)

2. การทำฝนเมฆอ่อน

ข้อมูลจากการศึกษาค้นคว้าของหนึ่งหทัย (2550) เกี่ยวกับกรรมวิธีในการทำฝนหลวงเมฆอ่อน โดยประเสริฐ อังสุรัตน์ และทรง กลิ่นประทุม (2539) กล่าวไว้ว่าเป็นการโปรยสารดูดความชื้นให้ฟุ้งกระจายเข้าไปภายในเมฆ ซึ่งสารเหล่านั้นดูดซับไอน้ำ และเป็นการกระตุ้นหรือเร่งกระบวนการเจริญเติบโตของเม็ดน้ำและกลายเป็นเม็ดฝนได้รวดเร็วขึ้น และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการโปรยอนุภาคสารดูดความชื้น (hygroscopic particles) เข้าไปภายในเมฆอ่อน (warm clouds) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางไมโครฟิสิกส์ของเมฆ เพิ่มความรุนแรงของกระแสอากาศภายในก้อนเมฆ และเร่งให้กระบวนการเกิดฝนให้เกิดเร็วขึ้น ดังนี้

2.1 ขนาดอนุภาคมี 0.1 - 1.0 ไมครอน จะใช้บริเวณใต้ฐานเมฆ เพื่อเพิ่มปริมาณแกนกลั่นตัวของเม็ดน้ำ นำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการควบแน่น และเพิ่มกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยเป็นไปตามธรรมชาติภายในเมฆ

2.2 ขนาดอนุภาคมี 5 - 10 ไมครอน เพื่อเร่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติของเมฆ

2.3 ขนาดอนุภาคมี 50 - 100 ไมครอน เพื่อให้เกิดการข้ามขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติ และเร่งกระบวนการชนและรวมตัวกัน ให้ช่วงการเกิดฝนเร็วขึ้น

3. เมฆคิวมูลัส

จากศัพท์อุตุนิยมวิทยาของกรมอุตุนิยมวิทยาให้ความหมาย เมฆคิวมูลัส (cumulus) ซึ่งใช้ ค. เป็นอักษรย่อภาษาไทย และ Cu เป็นอักษรย่อภาษาอังกฤษ เป็นเมฆก้อน ส่วนมากหนาและมองเห็นขอบนอกชัดเจน ก่อตัวในแนวขึ้นพอกพูนสูงขึ้นยอดเมฆมีลักษณะเหมือนโดมหรือหอคอย ส่วนที่นูนขึ้นไปมีรูปร่างคล้ายกะหล่ำดอก ส่วนที่แสงอาทิตย์ส่องทะลุได้จะมีสีขาวสดใส ฐานของเมฆคิวมูลัสนี้มีสีค่อนข้างดำ ถ้าเกิดขึ้นเป็นหย่อม ๆ หรือลอยอยู่โดดเดี่ยวจะแสดงถึงภาวะอากาศดี ถ้าก้อนมีขนาดใหญ่ขึ้นอาจมีฝนตกภายใต้ก้อนเมฆได้ ฝนที่เกิดจากเมฆนี้จะมีลักษณะเป็นฝนชุกเฉพาะแห่ง



ภาพที่ 2.2 เมฆคิวมูลัส

ที่มา : ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ (2556)

4. ฐานเมฆคิวมูลัส

ฐานเมฆคิวมูลัส หมายถึง ระดับความสูงของฐานเมฆก้อน เมฆคิวมูลัส ในที่นี้จะหมายถึงระดับความสูงสำหรับการบินตรวจวัดเมฆฟิสิกส์ในก้อนเมฆ ตามรูปแบบการบินวิจัยตรวจวัดฐานเมฆ ที่เรียกเป็นภาษาอังกฤษว่า cloud base spectra ซึ่งจะทำการบินตรวจวัดเมฆฟิสิกส์เหนือฐานเมฆหรือสูงกว่าฐานเมฆจริงไม่เกิน 1,000 ฟุต

5. สารดูดความชื้นชนิดผง

สารดูดความชื้น (hygroscopic particles) คือ สารเคมีหรืออนุภาคที่สามารถดูดซับความชื้นหรือไอน้ำในอากาศแล้วกลั่นตัวเป็นหยดเมฆได้ ซึ่งสารผงเหลวที่มีโซอยู่ในปัจจุบัน (พ.ศ. 2556) ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมออกไซด์ ยูเรีย และน้ำแข็งแห้ง แต่ผู้ศึกษาจะมุ่งเน้นเฉพาะ โซเดียมคลอไรด์ และ แคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งนำมาพัฒนาเป็นพลูสารดูดความชื้นเพื่อใช้ในการทำฝนหลวงในอนาคตอันใกล้

5.1 โซเดียมคลอไรด์ ข้อมูลจากการศึกษาค้นคว้าของหนึ่งหทัย (2550) โซเดียมคลอไรด์เป็นสารผงเหลวที่ทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัวของเมฆ (cloud condensation nuclei – CCN) เป็นสารที่ไวต่อการดูดซับความชื้น (surface active material – SAM) ซึ่งเมื่อดูดซับความชื้นจนอิ่มตัวด้วยไอน้ำแล้วกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ (droplet) ขนาดเล็ก ๆ ที่มีความเข้มข้นและความตึงผิว (surface tension) สูง และมีอุณหภูมิลดต่ำลงเล็กน้อย ทำให้มีการปลดปล่อยความร้อนแฝง (latent

heat) ออกมาเพียงเล็กน้อยแทบจะไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีฟิสิกส์ในบรรยากาศหรือในเมฆในเชิงของเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamics)

ส่วนใหญ่จะนิยมใช้เกลือทะเล (sea salt) มีชื่อและสูตรทางเคมีว่า sodium chloride (NaCl) พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เรียกเป็นรหัสว่า **สูตร 1** เดิมเคยใช้ในรูปของสารละลายจากน้ำทะเลโดยตรงและพัฒนาให้มีความเข้มข้นที่มีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity - Sp.gr.) สูงขึ้นตามลำดับจนถึงใกล้อิ่มตัว (ประมาณ 1.4) และพัฒนาให้เป็นผงละเอียดเรียกกันว่า ผงเกลือแป็ง

ฉะนั้น สูตร 1 จึงใช้เป็นแกนกลั่นตัวของเมฆ (CCN) ทั้งในรูปของเหลวหรือสารละลายเข้มข้น และในรูปผงละเอียดจึงเรียกกันว่า **ผงเกลือแป็ง** ตลอดมาจนถึงปัจจุบัน เป็นสารฝนหลวงหลักที่สำคัญที่ใช้ในทุกขั้นตอนของกระบวนการเทคโนโลยีฝนหลวง ตั้งแต่เริ่มต้นจนเกิดฝนในที่สุด เกลือทะเลนี้เมื่อนำมาละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง (room temperature) จนอิ่มตัวจะทำให้อุณหภูมิน้ำลดต่ำลงเพียงเล็กน้อยไม่เกิน 2°C และมีปฏิกิริยาดังนี้



ขนาดอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดประมาณ 150 - 250 ไมครอน ความชื้นสัมพัทธ์ระดับที่สารฝนหลวงโซเดียมคลอไรด์ดูดความชื้นได้ดีอยู่ระหว่าง 60 - 70%



ภาพที่ 2.3 สารดูดความชื้น “โซเดียมคลอไรด์” ชนิดผง

ที่มา : Vasudev Water Solution (2010)

กรมฝนหลวงและการบินเกษตรใช้สารฝนหลวงโซเดียมคลอไรด์ชนิดผง 2 แบบ คือ เกลือแป็ง แบบ 4/1 และ เกลือแป็ง แบบ 4/2

5.1.1 เกลือแป็ง แบบ 4/1 (เกลือสินเธาว์)

เฉพาะเนื้อสารฝนหลวงเกลือแป็ง แบบ 4/1 มีรายละเอียดดังนี้

- 1) ต้องมีเนื้อสารโซเดียมคลอไรด์ ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก
- 2) เป็นผงละเอียด สามารถผ่านร่อนมาตรฐานเบอร์ 40 ได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 97 โดยน้ำหนัก และผ่านร่อนมาตรฐานเบอร์ 120 ได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก
- 3) ความชื้นไม่เกินร้อยละ 0.60 โดยน้ำหนัก

5.1.2 เกลือแป้ง แบบ 4/2 (เกลือสมุทร)

เฉพาะเนื้อสารผงหลวงเกลือแป้ง แบบ 4/2 มีรายละเอียดดังนี้

- 1) ต้องเป็นเกลือทะเลที่สะอาด มีดีเกลือ ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.35 โดยน้ำหนัก
- 2) ต้องมีเนื้อสารโซเดียมคลอไรด์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก
- 3) เป็นผงละเอียด สามารถผ่านร่อนมาตรฐานเบอร์ 120 ได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก
- 4) ความชื้นไม่เกินร้อยละ 0.60 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 2.4 ถุงบรรจุเกลือแป้ง สูตร 4/1
(เกลือสินเชาว์)



ภาพที่ 2.5 ถุงบรรจุเกลือแป้ง สูตร 4/2
(เกลือสมุทร)

ที่มา : แทนไทร์ พลหาญ และทรง กลิ่นประทุม (2551)

5.2 แคลเซียมคลอไรด์ การจัดการความรู้ เรื่อง สารปนหลวง ของสำนักปนหลวง และการบินเกษตร (2551) ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับแคลเซียมคลอไรด์ว่า เป็นสารปนหลวงประเภทคายความร้อนออกมาแล้วทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น สารปนหลวงกลุ่มนี้เมื่อดูดซับความชื้นแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ในบรรยากาศและในเมฆ คือ ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น

ความร้อนที่เกิดจากสารฝนหลวงกลุ่มนี้เกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ ประการแรก ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาของสารฝนหลวงโดยตรง ซึ่งจะคายความร้อนออกมาที่เรียกว่า heat of reaction และประการที่สอง คือ ความร้อนแฝง (latent heat) ที่ปล่อยออกมาจากการเปลี่ยนสถานะของไอน้ำเป็นของเหลวที่เกิดจากการที่ไอน้ำเข้าไปเกาะกลั่นตัวรอบแกนกลั่นตัวที่เป็นสารฝนหลวงกลุ่มนี้

ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาโดยตรงนี้เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาแล้ว แกนกลั่นตัวนั้นจะกลายเป็นหยดน้ำ (water droplet) เป็นแกนกลั่นตัวในรูปของเหลวที่เป็นสารละลายเข้มข้นที่ไอน้ำยังคงเข้ามาเกาะกลั่นตัวและปล่อยความร้อนแฝงออกมาทำให้เกิดกระบวนการเจริญเติบโตของหยดน้ำและเมฆอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับสารฝนหลวงกลุ่มอื่น ๆ แต่กระแสพัดขึ้น (updraft) ที่เกิดจากสารฝนหลวงกลุ่มนี้จะรุนแรงกว่ากลุ่มอื่น เพราะมีปฏิกิริยาให้ความร้อนถึง 2 ชั้น

รายละเอียดคุณลักษณะแคลเซียมคลอไรด์ ชนิดผง เฉพาะเนื้อสารมีดังนี้

- 1) เมื่อละลายแคลเซียมคลอไรด์ จำนวน 100 กรัม ต่อน้ำ 100 ซีซี. ต้องทำให้อุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิเดิมของน้ำไม่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส
- 2) มีเนื้อสารแคลเซียมคลอไรด์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก
- 3) มีสารที่ไม่ละลายน้ำได้ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ จำนวน 10 กรัม ต่อน้ำ 200 ซีซี.)
- 4) เป็นผงละเอียดสามารถผ่านร่อนมาตรฐานเบอร์ 120 ได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก และผ่านร่อนมาตรฐานเบอร์ 270 ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 2.6 สารดูดความชื้น “แคลเซียมคลอไรด์” ชนิดผง

6. พลุสารดูดความชื้น

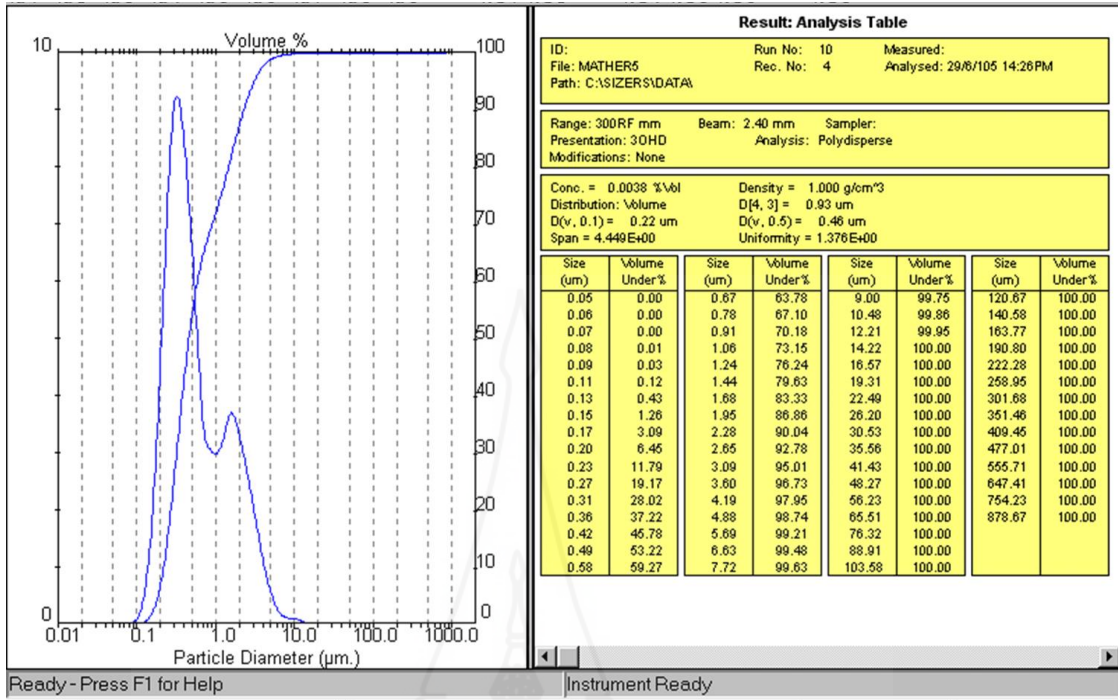
พลุสารดูดความชื้น (hygroscopic flare) เป็นเทคโนโลยีใหม่มาใช้ผลิตเป็นแท่งพลุสารดูดความชื้นของสารฟลุวแต่ละสูตร เป็นเทคนิคของการเผาไหม้เนื้อสารออกมาเป็นควันที่มีเนื้อสารดูดความชื้น ซึ่งอนุภาคสารดูดความชื้นขนาดไม่เกิน 1 ไมครอน หรือที่เรียกว่า pyrotechnics ยังคงทำการศึกษา ค้นคว้า วิจัยและทดลองภายใต้โครงการความร่วมมือด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีฟลุวระหว่างกรมฟลุวและการบินเกษตรกับกองทัพอากาศ ซึ่งกรมฟลุวและการบินเกษตรเป็นผู้จัดทำงบประมาณให้แก่กองทัพอากาศใช้ในการทดลองสูตรเนื้อสารฟลุวสำหรับผลิตแท่งพลุสารดูดความชื้น โดยเริ่มจากสูตร “แคลเซียมคลอไรด์” ทำการทดลองใช้งานเพื่อทดสอบประสิทธิภาพตั้งแต่ปี 2547 จนถึงปัจจุบัน (2556) ต่อมาได้ผลิตพลุสารดูดความชื้น สูตร “โซเดียมคลอไรด์” เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งสูตร ขณะนี้อยู่ในระหว่างทำการทดลองทดสอบประสิทธิภาพพลุสารดูดความชื้นทั้งสองสูตร

ถ้าหากได้ผลสรุปในทางสถิติจากการทดลองนับได้ว่าเป็นการเริ่มต้นนำเทคโนโลยีใหม่จากการทดลองไปประยุกต์ใช้งานในขั้นตอนที่ 1 ก่อทวนหรือก่อเมฆ ตามตำราฟลุวพระราชทาน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเชื้อเพลิงของเครื่องบินเนื่องจากติดตั้งใช้งานกับเครื่องบินขนาดเล็ก ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านแรงงานเนื่องจากใช้เจ้าหน้าที่เพียงคนเดียวในการควบคุมการสั่งการจุดพลุ ถือว่าเป็นความก้าวหน้าของการวิจัยเกี่ยวกับสารฟลุวอีกระดับหนึ่ง



ภาพที่ 2.7 ส่วนประกอบของแท่งพลุสารดูดความชื้นที่ผลิตโดยกองทัพอากาศ

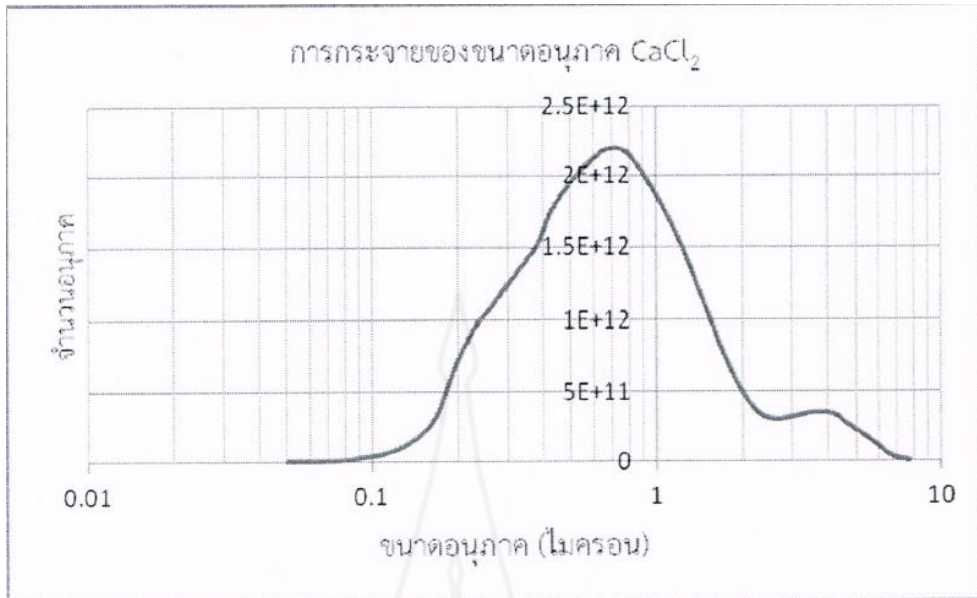
ที่มา : ศูนย์วิจัยและพัฒนาาระบบอาวุธกองทัพอากาศ (2555)



ภาพที่ 2.8 การวัดขนาดอนุภาคควันของพลุสารดูดความชื้นสูตร “แคลเซียมคลอไรด์” เมื่อปี 2547

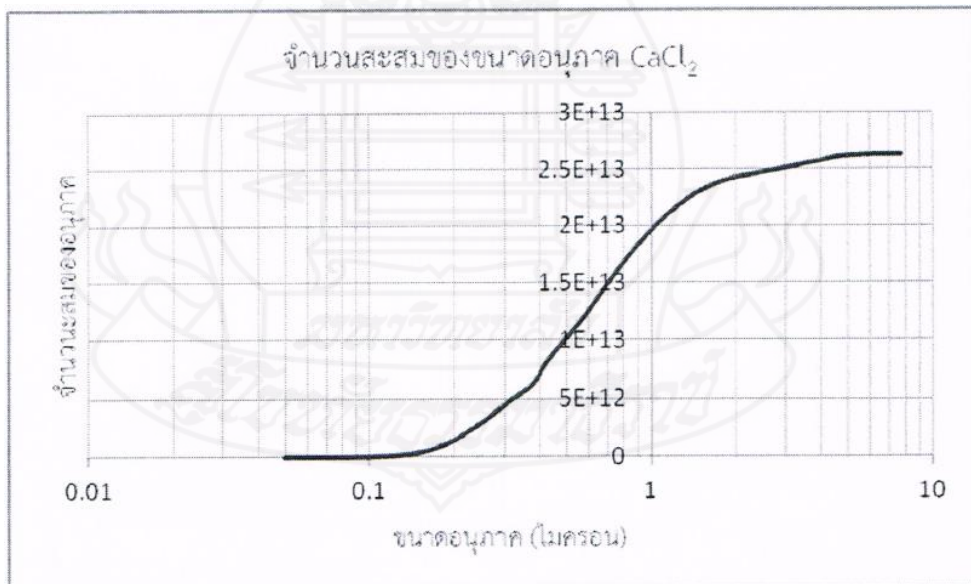
ที่มา : ศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบอาวุธกองทัพอากาศ (2555)

ศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบอาวุธกองทัพอากาศ สรุปไว้ว่า ขนาดอนุภาค CaCl₂ และ NaCl มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.7 ไมครอน ดังภาพที่ 2.8 และภาพที่ 2.9 พลุแต่ละแท่งจะให้จำนวนอนุภาค รวม 2.6 x 10¹³ อนุภาค ดังภาพที่ 2.10 และจากการคำนวณ thermodynamics โดยโปรแกรม GUIEP ผลผลิตของควันส่วนที่ละลายน้ำได้เป็น CaCl₂ ปริมาณ 20 กรัมต่อส่วนผสมพลุ 100 กรัม พลุแต่ละนัดบรรจุ 820 กรัม ให้ CaCl₂ 164 กรัม คิดเป็นร้อยละ 20



ภาพที่ 2.9 การกระจายของขนาดอนุภาคสารดูดความชื้นสูตร “แคลเซียมคลอไรด์”

ที่มา : ศูนย์วิจัยและพัฒนาาระบบอาวุธกองทัพอากาศ (2555)



ภาพที่ 2.10 จำนวนสะสมของขนาดอนุภาคสารดูดความชื้นสูตร “แคลเซียมคลอไรด์”

ที่มา : ศูนย์วิจัยและพัฒนาาระบบอาวุธกองทัพอากาศ (2555)



ภาพที่ 2.11 การเผาไหม้ของพลุสารดูดความชื้นที่ผลิตโดยกองทัพอากาศ

ที่มา : ศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบอาวุธกองทัพอากาศ (2555)

7. การศึกษาค้นคว้าวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bruintjes R. T. (1999) กล่าวถึงการทดลองทำฝนด้วยสารดูดความชื้นชนิดผง ในปี ค.ศ. 1990 ว่า Mather G. K. ได้รายงานกรณีของการทำฝนโดยไม่ได้ตั้งใจของเมฆ โดยอนุภาคสารดูดความชื้นที่ปล่อยออกมาจากโรงงานทำกระดาษกราฟ (Kraft) ในแอฟริกาใต้ ทำให้หยดเมฆ (cloud droplet) เกิดการรวมกัน (coalescence process) ในเมฆและปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น ข้อสังเกตนี้ นำไปสู่การต่อ ยอดการทดลองทำฝนด้วยสารดูดความชื้น ในปี ค.ศ. 1997 Mather และคณะ ทำการทดลองในประเทศแอฟริกาใต้ ปี ค.ศ. 2000 Silverman and Sukarnjanaset ทำการทดลองในประเทศไทย ปี ค.ศ. 2001 Bruintjes และ Fowler ทำการทดลองในประเทศเม็กซิโก และปี ค.ศ. 2000 Murty และคณะ ทำการทดลองในประเทศอินเดีย ยังมีการทดลองเพิ่มเติมในรัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา โดยใช้เกลือผงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค 2 – 5 ไมครอน นับเป็นจุดเริ่มต้นการทดลอง วิจัย รวมทั้งการพัฒนากรรรมวิธีและเทคโนโลยีด้านการทำฝน การคัดแปรสภาพอากาศโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดผงแป้ง และผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโดย Medina et al. (1989) พบว่า แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารดูดความชื้นที่มีประสิทธิภาพที่สุด จึงใช้ในการทดลองเมฆอุ่นในโครงการวิจัยทรัพยากรบรรยากาศประยุกต์ (Applied Atmospheric Resources Research Program; AARRP)



ภาพที่ 2.12 การโปรยสารดูดความชื้นชนิดผงแป้งด้วยเครื่องบินคาราเวน
ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร

ที่มา : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2556)

Bruintjes R. T. (1999) ได้รวบรวมความคืบหน้าล่าสุดในการพัฒนากรรมวิธีการทำฝนของประเทศต่าง ๆ ไว้ว่า มีวิธีการใหม่เกี่ยวกับการทำฝนเมฆก้อนในช่วงฤดูร้อนด้วยพลุสารดูดความชื้นใต้ฐานเมฆ (ภาพที่ 2.13) ที่ผลิตอนุภาคเกลือขนาดเล็ก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 ไมครอน) เพื่อขยายการกระจายของหยดเมฆ (cloud droplet) และเร่งกระบวนการรวมตัวกันของเม็ดน้ำ (coalescence process) ในปี ค.ศ. 1997 Cooper และคณะ ได้ทดลองใช้พลุเผาไหม้ให้อนุภาคแกนกลั่นตัวของเมฆขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.3 ไมครอน) เพื่อให้เมฆมีการเจริญเติบโตและช่วยกระตุ้นให้แกนกลั่นตัวที่มีขนาดใหญ่ยับยั้งแกนกลั่นตัวธรรมชาติที่มีขนาดเล็ก โดยการข้ามขั้นตอนการเกิดเม็ดน้ำขนาดใหญ่ในเมฆให้เกิดเร็วขึ้น ซึ่งจะเริ่มต้นจากการชนกันและรวมตัวกัน (collision and coalescence process) ภายใน 15 นาที ถือว่าเร็วกว่าวงจรชีวิตของการเกิดเม็ดน้ำภายในเมฆตามธรรมชาติ โดยทั่วไปจะใช้เวลานานประมาณ 30 นาที ในปี ค.ศ. 1991 Mather กล่าวว่าการพัฒนาวิธีการนี้จะต้องอาศัยเรดาร์ตรวจอากาศและข้อสังเกตทางเมฆฟิสิกส์แสดงให้เห็นการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงกระบวนการชนกันและรวมตัวกันของเม็ดน้ำในเมฆ ข้อสังเกตก่อนหน้านี้ในปี ค.ศ. 1991 Hindman และคณะ ได้กล่าวถึงข้อดีในการดำเนินงานที่สำคัญในรูปแบบของการทำฝนวิธีนี้ว่า เป็นการใช้น้ำปริมาณของเกลือที่จำเป็นจำนวนน้อยมาก และให้อนุภาคออกมาอย่างง่ายภายใต้ฐานเมฆ ในปี ค.ศ. 1997 Cooper และคณะ ได้ระบุเพิ่มเติมว่าพลุสารดูดความชื้นช่วยให้กำหนดการกระจายหยดเมฆภายในเมฆก้อนในช่วงฤดูร้อนตั้งแต่ระยะเริ่มต้นได้



ภาพที่ 2.13 การเผาไหม้ของพลุสารดูดความชื้นในระหว่างการทดลองทำฝน
ที่เมือง Coahuila, Mexico

ที่มา : Bruintjes R.T. (1999)

Bruintjes R. T. (1999) ยังได้กล่าวถึงการทดลองในปี ค.ศ. 1997 ของ Mather และคณะ ซึ่งทดลองแบบสุ่มศึกษาการก่อตัวเป็นเมฆภายในเมฆก้อนตั้งแต่ปี 1991 - 1996 ที่ประเทศแอฟริกาใต้ โดยผลที่ได้จากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าปริมาณฝนจากเมฆทดลอง (cloud seeding) มีปริมาณฝนสูงกว่าเมฆควบคุม (cloud control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และชี้ให้เห็นอีกว่า เมฆทดลองมีฝนตกหนักและนานกว่าเมฆควบคุม อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นหลักฐานทางเมฆฟิสิกส์สนับสนุนสมมติฐานทางกายภาพ สามารถอธิบายผลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้เป็นความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ที่อาจจะสำคัญที่สุดในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาของการตัดแปรสภาพอากาศ ผลการทดลองในแอฟริกาได้นำไปสู่การเริ่มต้นโครงการในเม็กซิโกในปี 1996 โดยใช้พลุสารดูดความชื้นเช่นเดียวกับแอฟริกาใต้ ซึ่งดำเนินการภายใต้การนำของ The National Center for Atmospheric Research ; NCAR (Boulder, Colorado) สหรัฐอเมริกา โครงการที่เกิดขึ้นในช่วง 4 - 5 ปีที่ผ่านมา รวมทั้งการวัดทางกายภาพและการทดลองทำฝนแบบสุ่ม ภาพรวมของการทดลองและผลการศึกษาเบื้องต้นจัดทำโดย Bruintjes และคณะ เมื่อปี ค.ศ. 1998

วิธีการทำฝนโดยใช้พลุสารดูดความชื้นช่วยเปิดมุมมองที่ดีเกี่ยวกับความน่าจะเป็นในการเพิ่มปริมาณน้ำฝนจากการใช้พลุสารดูดความชื้น แต่ยังคงมีปัญหาสำคัญบางประการ คือ การแพร่กระจายและการนำเอาสารดูดความชื้นที่ได้จากพลุเข้าไปภายในก้อนเมฆ และเมื่อปี ค.ศ. 1988 Blyth และคณะ ได้เสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่คือการใส่พลุบริเวณที่มีแรงดึงของกระแสอากาศพัดขึ้น ซึ่งคาดว่าจะนำควันสารดูดความชื้นจากฐานเมฆขึ้นไปบนยอดเมฆ และผลิตหยดเมฆแพร่กระจายเพิ่มขึ้นจนกระทั่งกลายเป็นเม็ดฝนขนาดใหญ่ไหลกลับลงมาที่ฐานเมฆ สารดูดความชื้น

จะมีโอกาสแพร่กระจายไปทั่วในก้อนเมฆ นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นผลแบบไดนามิก แต่ต้องมีการเก็บข้อมูลสำรวจเพิ่มเติม ความกังวลเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขก่อนที่จะเป็นที่ยอมรับว่าเป็นเทคนิคเพิ่มฝนลงสู่พื้นดินในระบบของการเกิดเมฆที่แตกต่างกันทั่วโลก เป็นความสดใสที่จะเห็นเทคนิคใหม่ในด้านการคัดแปรสภาพอากาศ

7.1 พลุสารดูดความชื้นของอินโดนีเซีย Haryanto U. (2013) กล่าวไว้อย่างน่าสนใจ ดังนี้

7.1.1 ได้รับการพัฒนาโดย Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) ตั้งแต่ปี 1998 และ PT Pindad เริ่มต้นเมื่อปี 2010 การผลิตแบบ Nul-Series บางส่วนของหน่วยงานวิจัยแห่งชาติ เช่น National Aeronautics and Space Agency (Lapan), Batan และได้รับการสนับสนุนสำหรับวัสดุและการทดสอบการกระจายของขนาดอนุภาค

7.1.2 ฐานในการประเมินผลและผลของการทดสอบพลุสารดูดความชื้น เมื่อ BATAN aerosol laboratory ผลิตโดยกำหนดคุณลักษณะของพลุอินโดนีเซีย โดยมีระยะเวลาในการเผาไหม้ 4.0 – 4.5 นาที มีค่าความต้านทาน 0.8 – 1.0 โอห์ม และมีอนุภาคที่โดดเด่นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1 – 2.1 ไมครอน (44.2%) ตามด้วยอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 - 1.1 ไมครอน (25.15%)

7.1.3 อุณหภูมิเปลวไฟประมาณ 1,100 – 1,300 °C

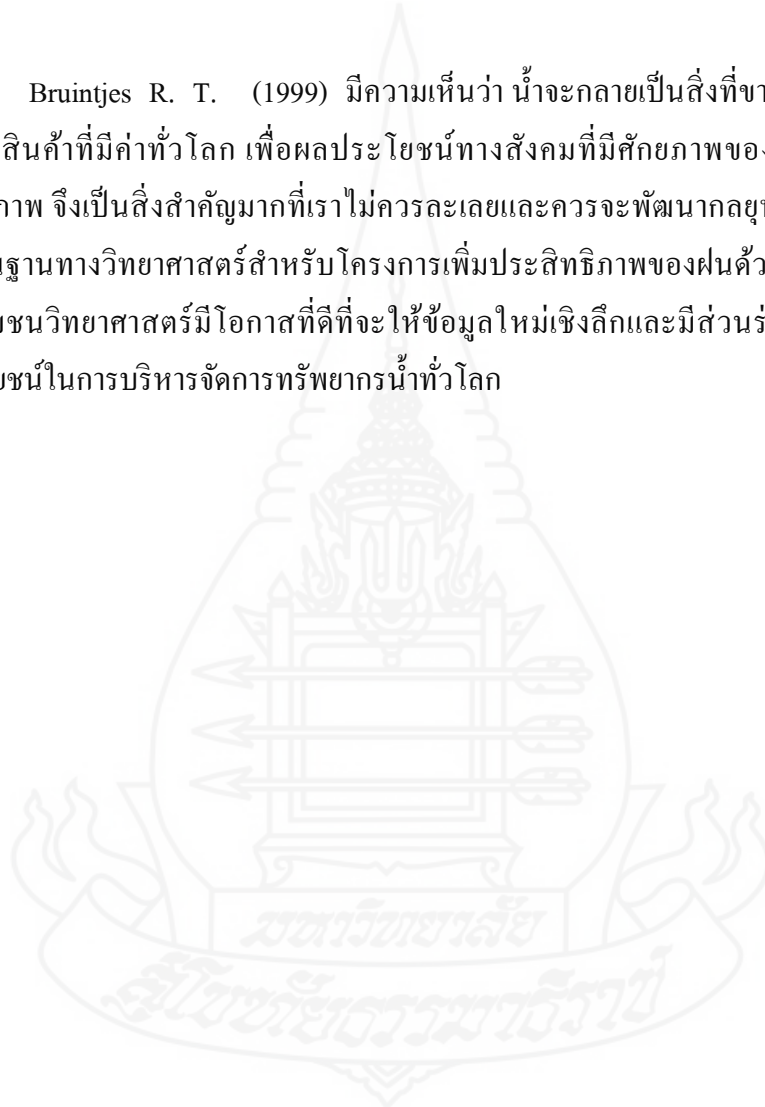
7.1.4 ไม่มีรายงานพลุด้าน หลังจากการประมวลผลและผ่านการทดสอบตาม SOP Manufacture Indonesia Flare และได้รับการรับรองคุณภาพพลุสารดูดความชื้นจาก National Standard Indonesia

7.1.5 การผลิต Nul-Series ผลิตโดย PT Pindad โดยการกำกับดูแลของนักวิทยาศาสตร์ และวิศวกรของ BPPT และมีการสนับสนุนในการมีส่วนร่วมของการพัฒนาโปรแกรม

Berthoumieu Jean-François (2003) ได้ศึกษาวิธีการใหม่ของการใช้พลุสารดูดความชื้นในการป้องกันลูกเห็บ โดยถูกนำมาใช้ตั้งแต่ปี 1995 ในพื้นที่ทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศฝรั่งเศส สมมติฐาน คือ การเร่งกระบวนการเกิดฝนโดยมีเป้าหมายในการลดระดับความสูงเฉลี่ยของศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วงของพายุ มีความปลอดภัยด้านสิ่งแวดล้อมที่จะใช้เฉพาะ “แคลเซียมคลอไรด์” หรือ “โซเดียมคลอไรด์” ผลิตพลุสารดูดความชื้นสำหรับติดตั้งบนเครื่องบินเพื่อใช้งานที่ระดับฐานเมฆ มวลของเกลือที่ได้จากพลุเมื่อเทียบกับมวลของน้ำที่ผลิตโดยพายุ รวมถึงการมีศักยภาพสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดฝน Brintjes R. T. (1999) กล่าวว่าในขณะที่เดียวกันพลุสารดูดความชื้นได้รับการพัฒนาครั้งแรกในแอฟริกาใต้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดฝน และ

การพัฒนาอื่น ๆ ตามวิธีการของ Mather และผลการทดลองของ Cooper ที่ระบุไว้เมื่อปี ค.ศ. 1997 ว่าได้ผลิตพลูสารดูดความชื้นสูตรใหม่ โดยใช้ “แคลเซียมคลอไรด์” แทน โปแทสเซียมคลอไรด์ เป็นที่คาดการณ์ว่าจะมีคุณภาพดูดซับความชื้นได้ดีขึ้นและการกระจายขนาดของผลึกที่ผลิตใน แอฟริกาใต้ศูนย์กลางอยู่ที่ 0.8 ไมครอน แทน 0.5 ไมครอน การทดสอบผลจากประเทศ สหรัฐอเมริกายังคงอยู่ในระหว่างการพัฒนาพร้อมกับ NCAR และโครงการอื่น ๆ ในยุโรปและ แอฟริกา

Bruintjes R. T. (1999) มีความเห็นว่า น้ำจะกลายเป็นสิ่งที่ขาดแคลนมากขึ้นและ กลายเป็นสินค้าที่มีค่าทั่วโลก เพื่อผลประโยชน์ทางสังคมที่มีศักยภาพของการเพิ่มฝนอย่างมี ประสิทธิภาพ จึงเป็นสิ่งสำคัญมากที่เราไม่ควรละเลยและควรที่จะพัฒนากลยุทธ์การประสานงาน เพื่อให้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์สำหรับโครงการเพิ่มประสิทธิภาพของฝนด้วยเครื่องมือใหม่และ เทคนิคชุมชนวิทยาศาสตร์มีโอกาสที่ดีที่จะให้ข้อมูลใหม่เชิงลึกและมีส่วนร่วมอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อประโยชน์ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำทั่วโลก



บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาค้นคว้าอิสระเรื่องนี้เป็นการนำข้อมูลทุติยภูมิจากโครงการทดสอบประสิทธิภาพพลาสมาความถี่สูงในการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอุ่น ปี 2552 – 2554 มาใช้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อให้เกิดการต่อยอดการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับลักษณะเมฆฟิสิกส์ของพลาสมาความถี่สูง

1. หน่วยทดลอง

1.1 หน่วยทดลอง แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1.1.1 กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลาสมาความถี่สูง (control)

1.1.2 กลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาความถี่สูงสูตรโซเดียมคลอไรด์ (seed NaCl)

1.1.3 กลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาความถี่สูงสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (seed CaCl₂)

1.2 หน่วยทดลอง คือ เมฆก้อนหรือเมฆคิวมูลัส (cumulus cloud) ที่กำลังเจริญเติบโต (growing cloud หรือ convective cloud) มีลักษณะเป็นเมฆก้อนข้างเดียว ยังไม่มีฝนตกจากฐานเมฆ มีลักษณะเป็น floating target และมีจำนวนซ้ำ (หน่วยทดลอง) อย่างน้อย 3 ซ้ำ (หน่วยทดลอง) ได้แก่ หน่วยทดลองของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลาสมาความถี่สูง (control) จำนวน 3 หน่วยทดลอง หน่วยทดลองของกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาความถี่สูงสูตรโซเดียมคลอไรด์ (seed NaCl) จำนวน 6 หน่วยทดลอง และหน่วยทดลองของกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาความถี่สูงสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (seed CaCl₂) จำนวน 9 หน่วยทดลอง จำนวนหน่วยทดลองรวมทั้งสิ้น 18 หน่วยทดลอง

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

2.1 ข้อมูลเมฆฟิสิกส์จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดอนุภาคเม็ดน้ำ (FSSP) ที่ติดตั้งบนเครื่องบินวิจัยเมฆฟิสิกส์ Super King Air 350 ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ได้แก่ ปริมาณน้ำ (g/m³) ขนาดของเม็ดน้ำ (μm) และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (#/cc)

2.2 โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

โดยเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากโครงการทดสอบประสิทธิภาพพลุสารดูดความชื้น เสริมการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอ่อน ตั้งแต่ปี 2552 – 2554 จากนั้นจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลุสารดูดความชื้น หรือ control จำนวน 3 หน่วยทดลอง
- กลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตรโซเดียมคลอไรด์ หรือ seed NaCl จำนวน 6 หน่วยทดลอง
- กลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตรแคลเซียมคลอไรด์ seed CaCl₂ จำนวน 9 หน่วยทดลอง

3.1 เครื่องมือวัสดุอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องบินที่ใช้



AU-23



& Super King Air 350

3.1.2 พลุสารดูดความชื้น สูตรโซเดียมคลอไรด์ และ สูตรแคลเซียมออกไซด์



3.1.3 เรดาร์ฝนหลวงภาคใต้ อำเภอตากถ้ำ จังหวัดนครสวรรค์



3.2 การคัดเลือกกลุ่มเมฆหน่วยทดลอง มีหลักเกณฑ์ดังนี้

3.2.1 เป็นเมฆก้อนหรือเมฆคิวมูลัส (cumulus cloud; Cu) หรือเมฆสตรีโตคิวมูลัส (stratocumulus cloud; Sc) ที่กำลังเจริญเติบโต (growing cloud หรือ convective cloud) มีลักษณะเป็นเมฆค่อนข้างเดี่ยว ยังไม่มีฝนตกจากฐานเมฆ

3.2.2 ความสูงของยอดเมฆ 8,000 – 12,000 ฟุตโดยประมาณ

3.2.3 มีค่ากระแสดอากาศไหลขึ้นภายในเมฆไม่น้อยกว่า 300 ฟุตต่อนาที

3.2.4 มีค่าปริมาณน้ำภายในเมฆที่ตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดปริมาณน้ำ (King Liquid Water Content; KLWC) ไม่น้อยกว่า 0.3 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3.2.5 ความกว้างของฐานเมฆก้อนหรือเมฆคิวมูลัส ตั้งแต่ 2 – 6 กิโลเมตร หรือเมฆสตรีโตคิวมูลัส ตั้งแต่ 5 – 10 กิโลเมตร

3.2.6 กลุ่มเมฆหน่วยทดลองต้องอยู่ในพื้นที่การตรวจวัดด้วยเรดาร์ฝนหลวงตาศิลิ อำเภอตาศิลิ จังหวัดนครสวรรค์ ในรัศมีไม่เกิน 160 กิโลเมตร

3.3 วิธีการบินวิจัย ตรวจวัดเมฆฟิสิกส์ที่ระดับฐานเมฆหรือเรียกว่า cloud base spectra ภายใต้โครงการทดสอบประสิทธิภาพพลุสารดูดความชื้นเสริมการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอุ่น โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 นักวิชาการบนเครื่องบิน Super King Air คัดเลือกกลุ่มเมฆหน่วยทดลองจากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของเมฆด้วยสายตาที่ระดับความสูง 10,000 ฟุต

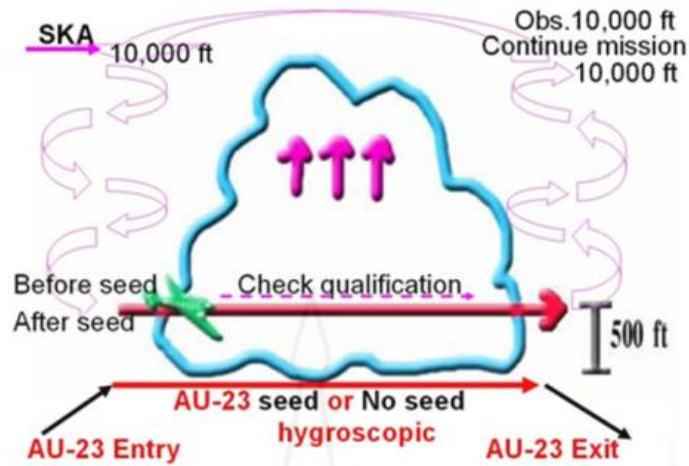
3.3.2 ทำการตรวจวัดเมฆฟิสิกส์ที่ระดับฐานเมฆก่อนการใช้พลุสารดูดความชื้น

3.3.3 ตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้น (ข้อ 3.2) ตัดสินใจคัดเลือกเป็นกลุ่มเมฆทดลอง

3.3.4 เมื่อเครื่องบิน AU-23 เข้าปล่อยพลุสารดูดความชื้นใต้ฐานเมฆ

3.3.5 หลังจากเครื่องบิน AU-23 เสร็จสิ้นภารกิจและออกจากเมฆทดลอง

3.3.6 จึงทำการตรวจวัดเมฆฟิสิกส์ที่ระดับฐานเมฆหลังการใช้พลุสารดูดความชื้น



ภาพที่ 3.1 cloud base spectra for hygroscopic flare seeding

ที่มา : หนึ่งหทัย ดันดิพลับทอง (2553)

ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ จากการตรวจวัดที่ระดับฐานเมฆคิวมูลัส ก่อนและหลังการใช้พลุสาร
ดูคความชื้น จำแนกหน่วยทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม มีรายละเอียด ดังนี้

	control	seed NaCl	seed CaCl ₂
ปี 2552	ไม่มี	ไม่มี	ไม่สมบูรณ์
ปี 2553	1	3	4
ปี 2554	2	3	5
จำนวน			
หน่วยทดลองรวม	3	6	9

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดอนุภาคเม็ดน้ำ
(Forward Scattering Spectrometer Probe; FSSP) ได้แก่ ปริมาณน้ำ (g/m^3), ขนาดของเม็ดน้ำ (μm)
และ ปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ ($\#/cc$) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเมฆฟิสิกส์โดยใช้สถิติเชิง
พรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

4.1 เปรียบเทียบระหว่างก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นด้วยวิธี paired-samples

t-test

paired-samples t-test คือ การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กัน หรืออาจจะวัดมาจากหน่วยทดลองกลุ่มเดียวกัน 2 ครั้งหรือวัดมาจากหน่วยทดลอง 2 กลุ่มที่ได้มาจากการจับคู่คุณลักษณะที่เท่าเทียมกัน บางครั้งเรียกว่า paired-samples test หรือที่รู้จักกันในนาม dependent sample test มีวิธีการคำนวณหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยดังนี้

สมมติฐาน

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

สูตรคำนวณ

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N \sum D^2 - (\sum D)^2}{N - 1}}}$$

$$df = n - 1$$

หาก t-test มีค่านัยสำคัญที่ได้เท่ากับหรือมากกว่า 0.05 (sig. \geq 0.05) แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ถ้า t-test มีค่านัยสำคัญที่ได้น้อยกว่า 0.05 (sig. $<$ 0.05) แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4.2 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี independent samples t-test

independent samples t-test คือ การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม ที่เป็นอิสระต่อกัน หรือเรียกอีกแบบว่า independent sample test สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

สมมติฐาน

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

สูตรคำนวณ

ขั้นแรก ทดสอบความแปรปรวนของหน่วยทดลองทั้งสองกลุ่มว่าแตกต่างกันหรือไม่ ด้วย F-test มีสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

คำนวณด้วยสูตร

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} ; df_1 = n_1 - 1 ; df_2 = n_2 - 1$$

ขั้นสอง พิจารณาค่า F-test ถ้า F-test ที่คำนวณได้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือยอมรับ H_0 แสดงว่า ทั้งสองกลุ่มมีความแปรปรวนเท่ากัน ให้ใช้สูตร 1 (pooled variance หรือ equal variances assumed) ถ้า F-test ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือ ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงว่า ทั้งสองกลุ่มมีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ใช้สูตร 2 (separate variance หรือ equal variances not assumed)

ขั้นสาม เลือกใช้สูตรคำนวณ t-test

สูตร 1 เมื่อ $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left\{ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right\}}}$$

$$df = n_1 + n_2 - 1$$

สูตร 2 เมื่อ $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

$$df = \frac{((S_1^2/n_1)^2 + (S_2^2/n_2)^2)^2}{\frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2 - 1}}$$

ผลลัพธ์จากการประมวลผลจะแสดงค่าสถิติพื้นฐานของตัวแปรตาม (ข้อมูลเมทริกซ์) โดยจำแนกตามกลุ่ม โปรแกรมจะทำการทดสอบความแปรปรวนโดยใช้สถิติ F-test หากค่านัยสำคัญเท่ากับหรือมากกว่า 0.05 (sig. \geq 0.05) แสดงว่า ความแปรปรวนของ 2 กลุ่มนี้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือ ความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน จากนั้นเลือกคู่อค่าสถิติ t-test ในบรรทัดแรก (pooled variance estimate หรือ equal variances assumed) แต่ถ้าค่านัยสำคัญน้อยกว่า 0.05 (sig. $<$ 0.05) แสดงว่า ความแปรปรวนของ 2 กลุ่มนี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นั่นคือ ความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มแตกต่างกัน จะเลือกคู่อ

ค่าสถิติ t-test บรรทัดที่สอง (separate variance estimate หรือ equal variances not assumed) หากค่านัยสำคัญ t-test เท่ากับหรือมากกว่า 0.05 (sig. \geq 0.05) แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของข้อมูล 2 กลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ถ้าค่านัยสำคัญ t-test น้อยกว่า 0.05 (sig. $<$ 0.05) แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของข้อมูล 2 กลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เนื่องจากการทดสอบ t-test มีข้อจำกัด สามารถทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างหน่วยทดลองได้เพียง 2 กลุ่มเท่านั้น แต่ไม่ว่าหน่วยทดลองจะมีจำนวนกี่กลุ่มก็ตามสามารถใช้ t-test ทดสอบความแตกต่างได้ทั้งหมด โดยการจับเป็นคู่ ๆ อย่างเช่น การศึกษาครั้งนี้มีหน่วยทดลอง 3 กลุ่ม ก็ต้องทำการทดสอบ t-test ถึง $n(n-1)/2$ เท่ากับ 3 ครั้ง คือ ทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ 1 กับกลุ่มที่ 2 ทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ 1 กับกลุ่มที่ 3 และทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ 2 กับกลุ่มที่ 3

รายละเอียดจะแสดงการทดสอบ t-test ในบทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ต่อไป



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 สถานภาพของหน่วยทดลอง

ข้อมูลเมฆฟิสิกส์จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดอนุภาคเม็ดน้ำ (FSSP) ที่ติดตั้งบนเครื่องบินวิจัยเมฆฟิสิกส์ Super King Air 350 ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร โดยเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากโครงการทดสอบประสิทธิภาพพลุสารดูดความชื้นเสริมการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอ่อน ตั้งแต่ปี 2552 – 2554 จากนั้นจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลุสารดูดความชื้น หรือ control จำนวน 3 หน่วยทดลอง
- กลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตรโซเดียมคลอไรด์ หรือ seed NaCl จำนวน 6 หน่วยทดลอง
- กลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตรแคลเซียมคลอไรด์ seed CaCl₂ จำนวน 9 หน่วยทดลอง

นำข้อมูลเมฆฟิสิกส์ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดอนุภาคเม็ดน้ำ (FSSP) ได้แก่ ปริมาณน้ำ (g/m³) ขนาดของเม็ดน้ำ (μm) และ ปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (#/cc) ทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เปรียบเทียบข้อมูลเมฆฟิสิกส์ระหว่างก่อนใช้กับหลังใช้พลุสารดูดความชื้นด้วยวิธี paired-samples t-test และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี independent samples t-test

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบข้อมูลเมฆฟิสิกส์ที่เกิดจากการใช้พลุสารดูดความชื้น โดยหาค่าเฉลี่ยของผลต่างและทดสอบผลต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ระหว่างก่อนใช้กับหลังใช้พลุสารดูดความชื้นด้วยวิธี paired-samples t-test แล้วนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ด้วยวิธี independent samples t-test เพื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ที่เกิดจากการใช้พลุสารดูดความชื้นแต่ละชนิด

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเมฆฟิลิกส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลก่อนใช้กับหลังใช้พลุ
สารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลุสารดูดความชื้น

Liquid Water Content (g/m ³)		Size (μm)		Total concentration (#/cc)	
ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
0.00098	0.00108	13.2	12.3	-	-
0.01095	0.01659	7.3	33.4	-	-
0.00509	0.00885	11.5	26.9	117.2	112.5

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลเมฆฟิลิกส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลก่อนใช้กับหลังใช้พลุ
สารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตรโซเดียมคลอไรด์

Liquid Water Content (g/m ³)		Size (μm)		Total concentration (#/cc)	
ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
0.00717	0.01060	6.7	45.0	100.7	115.7
0.01311	0.01366	7.1	7.0	118.2	113.3
0.00530	0.00881	6.3	27.3	116.5	114.5
0.00712	0.00585	9.3	6.2	114.4	115.1
0.00463	0.00813	6.0	12.7	108.0	112.8
0.01366	0.00967	7.4	38.9	102.1	105.0

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลเมฆฟิลิกส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลก่อนใช้กับหลังใช้พุลสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรแคลเซียมคลอไรด์

Liquid Water Content (g/m ³)		Size (μm)		Total concentration (#/cc)	
ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
0.02794	0.0237	9.2	15.5	108.6	99.8
0.02112	0.00057	8.8	9.4	113.3	16.2
0.00332	0.00462	3.5	5.2	107.1	119.2
0.01184	0.01287	6.8	33.1	128.3	112.8
0.00702	0.00756	12.5	38.0	109.1	113.1
0.01126	0.00834	6.8	6.5	110.7	107.7
0.01251	0.01643	12.4	41.4	106.6	110.9
0.00492	0.00558	14.3	42.3	104.4	117.4
0.01283	0.00528	7.3	45.1	97.3	70.4

2.1 เปรียบเทียบข้อมูลก่อนใช้กับหลังใช้พุลสารดูดความชื้นด้วยวิธี paired-samples t-test

ผู้ศึกษาต้องการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ แล้วทำการทดสอบผลต่างของค่าเฉลี่ยของประชากร โดยใช้วิธี paired-samples t-test เปรียบเทียบข้อมูลก่อนใช้กับหลังใช้พุลสารดูดความชื้น

2.1.1 เปรียบเทียบข้อมูลก่อนใช้กับหลังใช้พุลสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พุลสารดูดความชื้น (control) จำนวน 3 หน่วยทดลอง

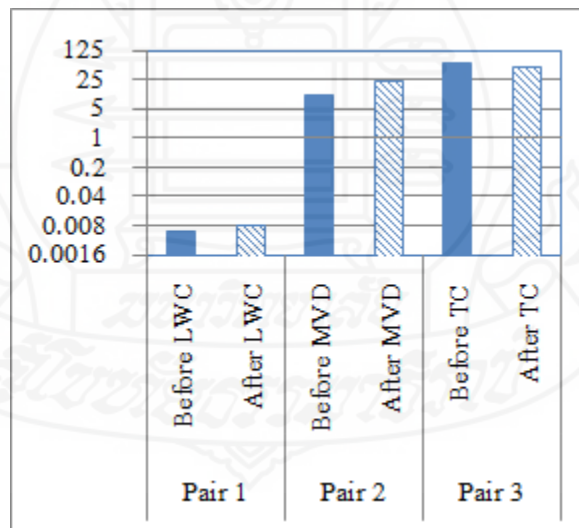
ข้อมูลค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำก่อนใช้กับหลังใช้พุลสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พุลสารดูดความชื้น (control) มีค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พัลซารูดความชื้น
ของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พัลซารูดความชื้น

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 BeforeLWC	.0056733	3	.00501053	.00289283
AfterLWC	.0088400	3	.00775500	.00447735
Pair 2 BeforeMVD	10.667	3	3.0370	1.7534
AfterMVD	24.200	3	10.8060	6.2389
Pair 3 BeforeTC	59.400	2	81.7415	57.8000
AfterTC	56.800	2	78.7717	55.7000

โดย Pair 1 = ข้อมูลปริมาณน้ำ (liquid water content; LWC) หน่วยเป็น g/m^3
 Pair 2 = ข้อมูลขนาดของเม็ดน้ำ (mean volume diameter; MVD) หน่วยเป็น μm
 Pair 3 = ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (total concentrate; TC) หน่วยเป็น $\#/cc$



ภาพที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พัลซารูดความชื้น
ของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พัลซารูดความชื้น

ผู้ศึกษาทำการทดสอบผลต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรโดยใช้วิธี paired-samples t-test เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำ ขนาด และปริมาณความเข้มข้นของเมล็ดน้ำ ก่อนใช้กับหลังใช้พุลสารดูดความชื้นของกลุ่มเมมที่ไม่ใช้พุลสารดูดความชื้น (control) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

เมื่อ μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมมฟิสิกส์ก่อนการไม่ใช้พุลสารดูดความชื้น (control)

μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมมฟิสิกส์หลังการไม่ใช้พุลสารดูดความชื้น (control)

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี paired-samples t-test ของกลุ่มเมมที่ไม่ใช้พุลสารดูดความชื้น

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence				
				Lower	Upper			
Pair 1 BeforeLWC - AfterLWC	-0.00316667	.00281726	.00162654	-.01016512	.00383179	-1.947	2	.191
Pair 2 BeforeMVD - AfterMVD	-13.5333	13.5964	7.8499	-47.3088	20.2421	-1.724	2	.227
Pair 3 BeforeTC - AfterTC	2.6000	2.9698	2.1000	-24.0830	29.2830	1.238	1	.433

โดย Pair 1 = ข้อมูลปริมาณน้ำ (liquid water content; LWC) หน่วยเป็น g/m^3

Pair 2 = ข้อมูลขนาดของเมล็ดน้ำ (mean volume diameter; MVD) หน่วยเป็น μm

Pair 3 = ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของเมล็ดน้ำ (total concentrate; TC) หน่วยเป็น $\#/cc$

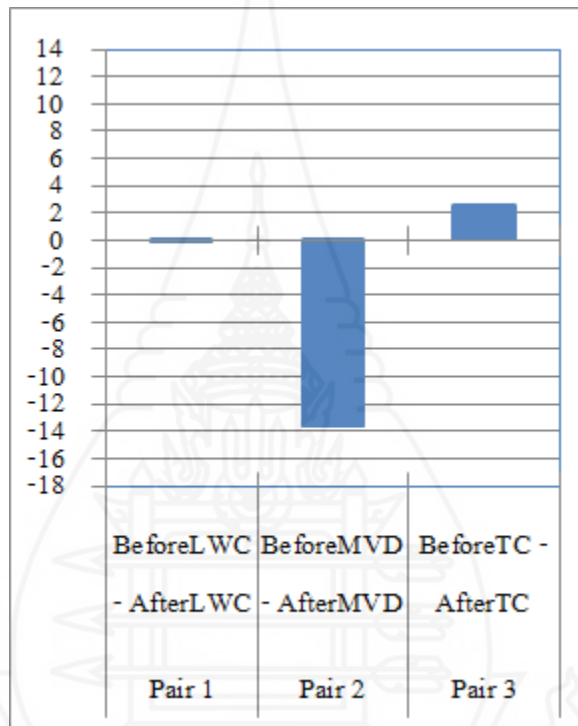
จากการเปรียบเทียบข้อมูลเมมฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พุลสารดูดความชื้นของกลุ่มเมมที่ไม่ใช้พุลสารดูดความชื้น (control) ตารางที่ 4.4 เป็นการแสดงสถิติพรรณนาผลปรากฏดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำ (liquid water content; LWC) ก่อนการใช้สารมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำ $0.0056733 g/m^3$ และหลังการใช้สารมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเป็น $0.00884 g/m^3$ ส่วนค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.5 (Pair 1 : Mean) แสดงการเปลี่ยนแปลงหลังการใช้สาร คือ ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น $0.00316667 g/m^3$

2) ค่าเฉลี่ยขนาดของเมล็ดน้ำ (mean volume diameter; MVD) ก่อนการใช้สารมีค่าเฉลี่ยขนาดเมล็ดน้ำ 10.667 ไมครอน และหลังการใช้สารมีค่าเฉลี่ยขนาดเมล็ดน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 24.2 ไมครอน

ส่วนค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.5 (Pair 2 : Mean) แสดงการเปลี่ยนแปลงหลังการใช้สาร คือ เม็ดน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น 13.5333 ไมครอน

3) ค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (total concentrate; TC) ก่อนการใช้สารมีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ 59.4 #/cc และหลังการใช้สารมีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำลดลงเล็กน้อยวัดได้ 56.8 #/cc ส่วนค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.5 (Pair 3 : Mean) แสดงการเปลี่ยนแปลงหลังการใช้สาร คือ มีปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำลดลง 2.6 #/cc



ภาพที่ 4.2 เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิลิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น

ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี paired-samples t-test เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) ปรากฏว่า

1) ผลต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำ คำนัยสำคัญ (significance; sig.) = 0.191 (sig. > 0.05) หมายความว่า ก่อนและหลังการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) ผลต่างของค่าเฉลี่ยขนาดเม็ดน้ำ คำนัยสำคัญ = 0.227 (sig. > 0.05) หมายความว่า ก่อนและหลังการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3) ผลต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำ คำนัยสำคัญ = 0.433 (sig. > 0.05) หมายความว่า ก่อนและหลังการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

แสดงว่า ข้อมูลเมฆฟิลิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสารถูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสารถูดความชื้น (control) ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

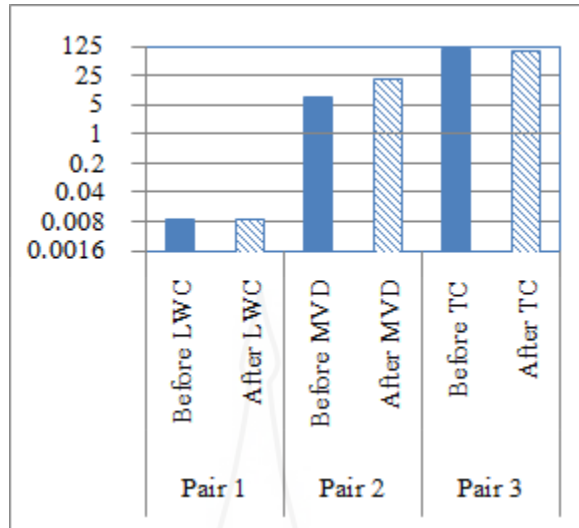
2.1.2 เปรียบเทียบข้อมูลก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสารถูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสารถูดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จำนวน 6 หน่วยทดลอง

ข้อมูลค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำ ขนาดของเม็คน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำ ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสารถูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสารถูดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิลิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสารถูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสารถูดโซเดียมคลอไรด์

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 BeforeLWC	.0084983	6	.00391836	.00159967
AfterLWC	.0094533	6	.00261560	.00106782
Pair 2 BeforeMVD	7.133	6	1.1776	.4807
AfterMVD	22.850	6	16.7302	6.8301
Pair 3 BeforeTC	109.983	6	7.5066	3.0646
AfterTC	112.733	6	3.9409	1.6089



ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสาร โซเดียมคลอไรด์

ผู้ศึกษาทำการทดสอบผลต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรโดยใช้วิธี paired-samples t-test เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำ ขนาด และปริมาณความเข้มข้นของเมฆน้ำ ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสาร โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

เมื่อ μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนการใช้ฟลูสสารดูดความชื้นสูตร โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมฆฟิสิกส์หลังการใช้ฟลูสสารดูดความชื้นสูตร โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

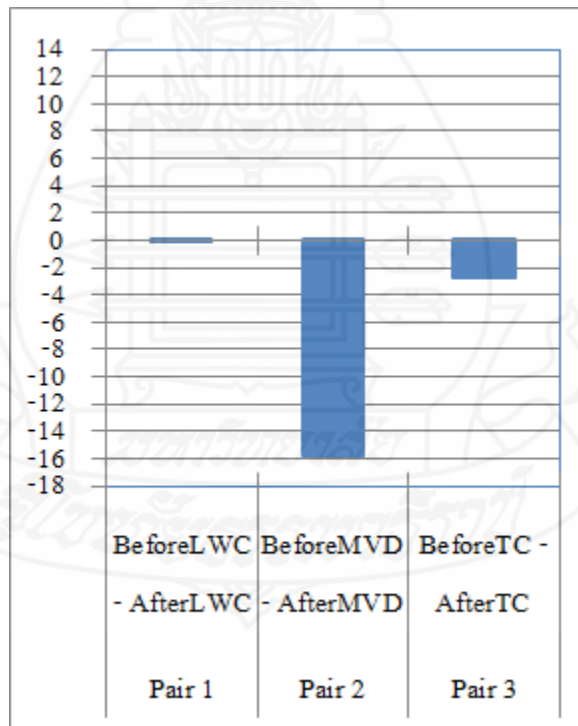
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี paired-samples t-test ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตรโซเดียมคลอไรด์

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence				
				Lower	Upper			
Pair 1 BeforeLWC - AfterLWC	-.00095500	.00312084	.00127408	-.00423013	.00232013	-.750	5	.487
Pair 2 BeforeMVD - AfterMVD	-15.7167	17.1614	7.0061	-33.7265	2.2931	-2.243	5	.075
Pair 3 BeforeTC - AfterTC	-2.7500	6.9221	2.8259	-10.0143	4.5143	-.973	5	.375

โดย Pair 1 = ข้อมูลปริมาณน้ำ (liquid water content; LWC) หน่วยเป็น g/m^3

Pair 2 = ข้อมูลขนาดของเม็ดน้ำ (mean volume diameter; MVD) หน่วยเป็น μm

Pair 3 = ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (total concentrate; TC) หน่วยเป็น $\#/cc$



ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิลิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลุสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตรโซเดียมคลอไรด์

จากการเปรียบเทียบข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จากตารางที่ 4.6 เป็นการแสดงสถิติพรรณนาผลปรากฏดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำ (*liquid water content; LWC*) ก่อนการใช้สารมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำ 0.0084983 g/m^3 และหลังการใช้สารมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 0.0094533 g/m^3 ส่วนค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.7 (Pair 1 : Mean) แสดงการเปลี่ยนแปลงหลังการใช้สาร คือ ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น 0.000955 g/m^3

2) ค่าเฉลี่ยขนาดของเม็ดน้ำ (*mean volume diameter; MVD*) ก่อนการใช้สารมีค่าเฉลี่ยขนาดเม็ดน้ำ 7.133 ไมครอน และหลังการใช้สารมีค่าเฉลี่ยขนาดเม็ดน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 22.85 ไมครอน ส่วนค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.7 (Pair 2 : Mean) แสดงการเปลี่ยนแปลงหลังการใช้สาร คือ เม็ดน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น 15.7167 ไมครอน

3) ค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (*total concentrate; TC*) ก่อนการใช้สารมีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ 109.983 \#/cc และหลังการใช้สารมีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 112.733 \#/cc ส่วนค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.7 (Pair 3 : Mean) แสดงการเปลี่ยนแปลงหลังการใช้สารคือ มีปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำเพิ่มขึ้น 2.75 \#/cc

ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี *paired-samples t-test* เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลเมฆก่อนกับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ปรากฏว่า

1) ผลต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำ คำนัยสำคัญ = 0.487 (sig. > 0.05) หมายความว่า ก่อนและหลังการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) ผลต่างของค่าเฉลี่ยขนาดเม็ดน้ำ คำนัยสำคัญ = 0.075 (sig. > 0.05) หมายความว่า ก่อนและหลังการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3) ผลต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ คำนัยสำคัญ = 0.375 (sig. > 0.05) หมายความว่า ก่อนและหลังการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

แสดงว่า ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

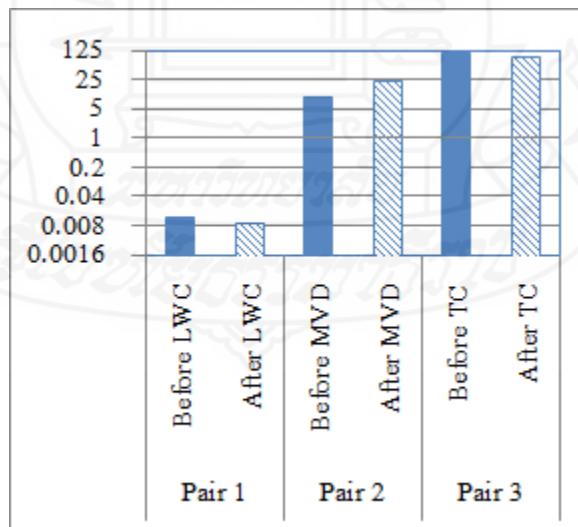
2.1.3 เปรียบเทียบข้อมูลก่อนใช้กับหลังใช้พัลสารดูดความชื้นของกลุ่มเมมที่ใช้พัล
 สูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) จำนวน 9 หน่วยทดลอง

ข้อมูลค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ
 ก่อนใช้กับหลังใช้พัลสารดูดความชื้นของกลุ่มเมมที่ใช้พัลสูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยข้อมูลเมมฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พัลสารดูดความชื้น
 ของกลุ่มเมมที่ใช้พัลสูตรแคลเซียมคลอไรด์

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 BeforeLWC	.0125289	9	.00779849	.00259950
AfterLWC	.0094389	9	.00709605	.00236535
Pair 2 BeforeMVD	9.067	9	3.4417	1.1472
AfterMVD	26.278	9	16.8080	5.6027
Pair 3 BeforeTC	109.489	9	8.3614	2.7871
AfterTC	96.389	9	33.4780	11.1593



ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยข้อมูลเมมฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พัลสารดูดความชื้น
 ของกลุ่มเมมที่ใช้พัลสูตรแคลเซียมคลอไรด์

ผู้ศึกษาทำการทดสอบผลต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรโดยใช้วิธี paired-samples t-test เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ ก่อนใช้ กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นของกลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

เมื่อ μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมมฟิลิกส์ก่อนการใช้ฟลูสสารดูดความชื้นฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂)

μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมมฟิลิกส์หลังการใช้ฟลูสสารดูดความชื้นฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂)

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี paired-samples t-test ของกลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence				
					Lower	Upper			
Pair 1	BeforeLWC - AfterLWC	.00309000	.00740541	.00246847	-.00260230	.00878230	1.252	8	.246
Pair 2	BeforeMVD - AfterMVD	-17.2111	14.8863	4.9621	-28.6537	-5.7685	-3.469	8	.008
Pair 3	BeforeTC - AfterTC	13.1000	34.0663	11.3554	-13.0857	39.2857	1.154	8	.282

โดย Pair 1 = ข้อมูลปริมาณน้ำ (liquid water content; LWC) หน่วยเป็น g/m³

Pair 2 = ข้อมูลขนาดของเม็ดน้ำ (mean volume diameter; MVD) หน่วยเป็น μm

Pair 3 = ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (total concentrate; TC) หน่วยเป็น #/cc

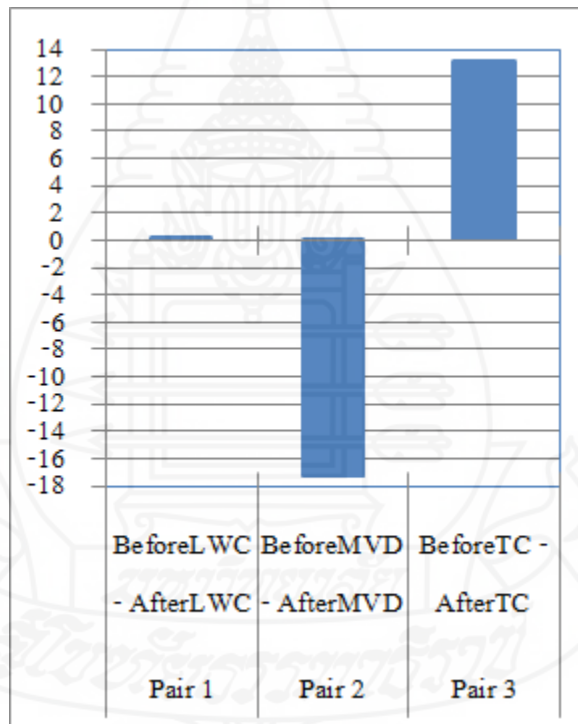
จากการเปรียบเทียบข้อมูลเมมฟิลิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นของกลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) จากตารางที่ 4.8 เป็นการแสดงสถิติพรรณนาผลปรากฏ ดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำ (liquid water content; LWC) ก่อนการใช้สารมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำ 0.0125289 g/m³ และหลังการใช้สารมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำลดลงวัดได้ 0.0094389 g/m³ ส่วนค่า

ผลต่างของค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.9 (Pair 1 : Mean) แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงหลังการใช้สาร คือ ปริมาณน้ำลดลง 0.00309 g/m^3

2) ค่าเฉลี่ยขนาดของเม็ดน้ำ (*mean volume diameter; MVD*) ก่อนการใช้สารมีค่าเฉลี่ยขนาดเม็ดน้ำ 9.067 ไมครอน และหลังการใช้สารมีค่าเฉลี่ยขนาดเม็ดน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 26.278 ไมครอน ส่วนค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.9 (Pair 2 : Mean) แสดงการเปลี่ยนแปลงหลังการใช้สาร คือ เม็ดน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น 17.2111 ไมครอน

3) ค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (*total concentrate; TC*) ก่อนการใช้สารมีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ 109.489 \#/cc และหลังการใช้สารมีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำลดลงวัดได้ 96.389 \#/cc ส่วนค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.9 (Pair 3 : Mean) แสดงการเปลี่ยนแปลงหลังการใช้สาร คือ มีปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำลดลง 13.1 \#/cc



ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิลิคัสก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์

ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี *paired-samples t-test* เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลก่อนกับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ปรากฏว่า

- 1) ผลต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำ คำนัยสำคัญ = 0.246 (sig. > 0.05) หมายความว่า ก่อนและหลังการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
- 2) ผลต่างของค่าเฉลี่ยขนาดเม็ดน้ำ คำนัยสำคัญ = 0.008 (sig. < 0.05) หมายความว่า ก่อนและหลังการทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
- 3) ผลต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ คำนัยสำคัญ = 0.282 (sig. > 0.05) หมายความว่า ก่อนและหลังการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

แสดงว่า ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลาสมาความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาเคลือบแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) ในส่วนของค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำและปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่มีค่าเฉลี่ยขนาดเม็ดน้ำแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลาสมาความชื้นของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลาสมาความชื้น กลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาโซเดียมคลอไรด์ และกลุ่มเมฆที่ใช้พลาสมาแคลเซียมคลอไรด์

Mean		Control	NaCl	CaCl ₂
LWC	Before	.0056733	.0084983	.0125289
	After	.0088400	.0094533	.0094389
MVD	Before	10.667	7.133	9.067
	After	24.200	22.850	26.278
TC	Before	59.400	109.983	109.489
	After	56.800	112.733	96.389

โดย LWC = ข้อมูลปริมาณน้ำ (liquid water content; LWC) หน่วยเป็น g/m³

MVD = ข้อมูลขนาดของเม็ดน้ำ (mean volume diameter; MVD) หน่วยเป็น μm

TC = ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (total concentrate; TC) หน่วยเป็น #/cc

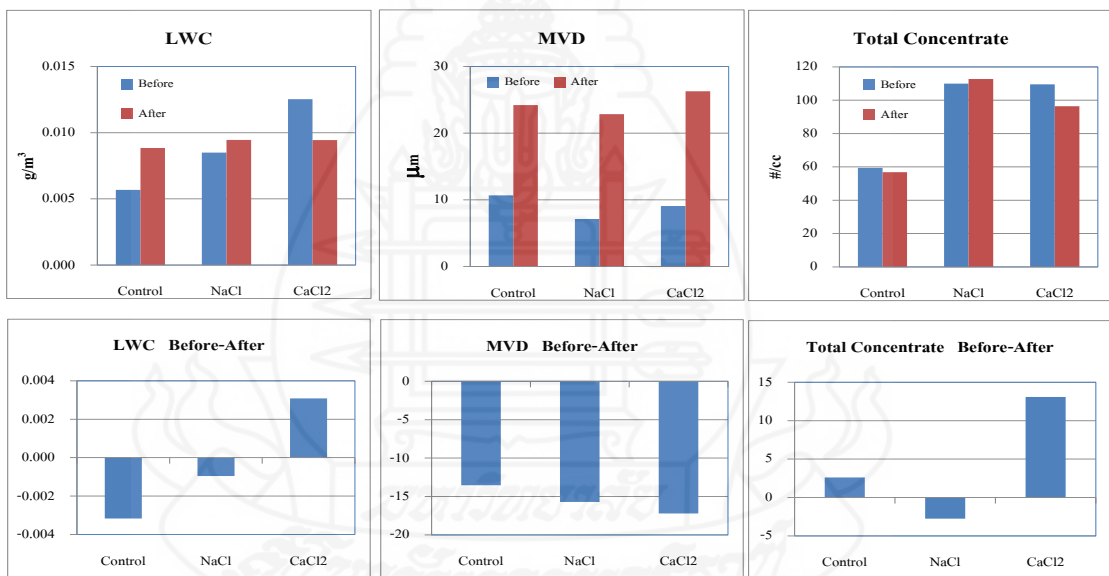
ตารางที่ 4.11 ผลต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลู
 สารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสารดูดความชื้น กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสูตร
 โซเดียมคลอไรด์ และกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์

Differences Mean	Control	NaCl	CaCl ₂
LWC Before-After	-0.0031667	-0.0009550	.0030900
MVD Before-After	-13.533	-15.717	-17.211
TC Before-After	2.600	-2.750	13.100

โดย LWC = ข้อมูลปริมาณน้ำ (liquid water content; LWC) หน่วยเป็น g/m^3

MVD = ข้อมูลขนาดของเม็ดน้ำ (mean volume diameter; MVD) หน่วยเป็น μm

TC = ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (total concentrate; TC) หน่วยเป็น $\#/cc$



ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย และผลต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้
 ฟลูสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสารดูดความชื้น กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสูตร
 โซเดียมคลอไรด์ และกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์

จากภาพที่ 4.7 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลเมฆฟิสิกส์ จะเห็นได้ชัดเจนว่า กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสูตร
 แคลเซียมคลอไรด์มีความโดดเด่นในการเพิ่มขนาดเม็ดน้ำใหญ่ขึ้นมากกว่ากลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสาร
 ดูดความชื้น และกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสูตรโซเดียมคลอไรด์

2.2 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างก่อนใช้กับหลังใช้พลุ สารดูดความชื้นด้วยวิธี independent samples t-test

โดยหาค่าเฉลี่ยของผลต่างข้อมูลเมฆฟิสิกส์ระหว่างก่อนใช้กับหลังใช้พลุสารดูด
ความชื้นแต่ละชนิด

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของผลต่างข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลุสารดูดความชื้น

	Mean Difference		
	Liquid Water Content (g/m ³)	Size (μm)	Total concentration (#/cc)
control	-0.00010	0.9	0.5
	-0.00564	-26.1	-
	-0.00376	-15.4	4.7

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยของผลต่างข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสารดูดความชื้น
สูตรโซเดียมคลอไรด์

	Mean Difference		
	Liquid Water Content (g/m ³)	Size (μm)	Total concentration (#/cc)
seed NaCl	-0.00343	-38.3	-15.0
	-0.00055	0.1	4.9
	-0.00351	-21.0	2.0
	0.00127	3.1	-0.7
	-0.00350	-6.7	-4.8
	0.00399	-31.5	-2.9

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยของผลต่างข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสารดูดความชื้น
สูตรแคลเซียมคลอไรด์

	Mean Difference		
	Liquid Water Content (g/m ³)	Size (μm)	Total concentration (#/cc)
seed CaCl ₂	0.00424	-6.3	8.8
	0.02055	-0.6	97.1
	-0.00130	-1.7	-12.1
	-0.00103	-26.3	15.5
	-0.00054	-25.5	-4.0
	0.00292	0.3	3.0
	-0.00392	-29.0	-4.3
	-0.00066	-28.0	-13.0
	0.00755	-37.8	26.9

**2.2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้
พลุสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)**

ค่าเฉลี่ยของผลต่างปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้น
ของเม็ดน้ำ ก่อนใช้กับหลังใช้พลุสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลุสารดูดความชื้น
(control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตร โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

ตารางที่ 4.15 ผลต่างของข้อมูลเมฆฟิลิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้นกับกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารโซเดียมคลอไรด์

Treatment	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
LWC Control	3	-.0031667	.00281726	.00162654
NaCl	6	-.0009550	.00312084	.00127408
MVD Control	3	-13.533	13.5964	7.8499
NaCl	6	-15.717	17.1614	7.0061
TC Control	2	2.600	2.9698	2.1000
NaCl	6	-2.750	6.9221	2.8259

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี independent samples t-test ระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้นกับกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารโซเดียมคลอไรด์

	Levene's Test for Equality		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval	
								Lower	Upper
LWC Equal variances assumed	.235	.643	-1.030	7	.337	-.00221167	.00214763	-.00729000	.00286666
Equal variances not assumed			-1.070	4.526	.338	-.00221167	.00206614	-.00769471	.00327138
MVD Equal variances assumed	1.155	.318	.190	7	.854	2.1833	11.4714	-24.9422	29.3088
Equal variances not assumed			.208	5.149	.844	2.1833	10.5217	-24.6305	28.9972
TC Equal variances assumed	.662	.447	1.018	6	.348	5.3500	5.2535	-7.5049	18.2049
Equal variances not assumed			1.520	4.772	.192	5.3500	3.5208	-3.8323	14.5323

โดย LWC = ข้อมูลปริมาณน้ำ (liquid water content; LWC) หน่วยเป็น g/m^3

MVD = ข้อมูลขนาดของเม็ดน้ำ (mean volume diameter; MVD) หน่วยเป็น μm

TC = ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (total concentrate; TC) หน่วยเป็น $\#/cc$

ทำการเปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิลิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จากตารางที่ 4.15 เป็นการแสดงสถิติพรรณนาผลปรากฏดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำ (*liquid water content; LWC*)

กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) มีปริมาณน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 0.0031667 g/m^3 และกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีปริมาณน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 0.000955 g/m^3 ส่วนค่าเฉลี่ยของผลต่างในตารางที่ 4.16 (LWC : Mean Difference) พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แตกต่างกัน $-0.00221167 \text{ g/m}^3$ โดยหลังการใช้ฟลูสสารดูดความชื้นกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) มีปริมาณน้ำสูงกว่ากลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

2) ค่าเฉลี่ยผลต่างของขนาดเม็ดน้ำ (*mean volume diameter; MVD*)

กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) มีขนาดเม็ดน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 13.533 ไมครอน และกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีขนาดเม็ดน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 15.717 ไมครอน ส่วนค่าเฉลี่ยของผลต่างในตารางที่ 4.16 (MVD : Mean Difference) พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างของขนาดเม็ดน้ำระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แตกต่างกันประมาณ 2.1833 ไมครอน โดยหลังการใช้ฟลูสสารดูดความชื้นกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีขนาดเม็ดน้ำใหญ่กว่ากลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control)

3) ค่าเฉลี่ยผลต่างปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (*total concentrate; TC*)

กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) มีปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 2.6 #/cc และกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 2.75 #/cc ส่วนค่าเฉลี่ยของผลต่างในตารางที่ 4.16 (TC : Mean Difference) พบว่าค่าเฉลี่ยของผลต่างปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แตกต่างกันประมาณ 5.35 #/cc โดยหลังการใช้ฟลูสสารดูดความชื้นกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำสูงกว่ากลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control)

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยวิธี independent samples t-test จะมีการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ดังนี้

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

เมื่อ σ_1^2 คือ ความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control)

σ_2^2 คือ ความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสาร โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

จากตารางที่ 4.16 เมื่อทำการตรวจสอบค่าความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ด้วย Levene's Test พบว่า ค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสาร โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) พบว่า มีค่าความแปรปรวนของข้อมูลปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ดังนั้น การอ่านผลวิเคราะห์ t-test ของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ทั้งปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ ต้องเลือกอ่านในบรรทัด equal variances assumed

ผู้ศึกษาตั้งสมมติฐานในการทดสอบค่าเฉลี่ยของผลต่างของประชากร 2 กลุ่ม โดยใช้วิธี independent samples t-test เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ ระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสาร โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

เมื่อ μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยผลต่างของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control)

μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยผลต่างของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสาร โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี independent samples t-test เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นของระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสาร โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จากตารางที่ 4.16 ปรากฏว่า

1) ค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำ ค่านัยสำคัญ = 0.337 (sig. > 0.05)

หมายความว่า ปริมาณน้ำก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสาร โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) ค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าเฉลี่ยขนาดเม็ดน้ำ ค่านัยสำคัญ = 0.854 (sig. > 0.05)

หมายความว่า ขนาดเม็ดน้ำก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูด

ความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตร โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3) ค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำ คำนัยสำคัญ = 0.348 (sig. > 0.05) หมายความว่า ปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำก่อนใช้กับหลังใช้พลูสูตรควบคุมความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลูสูตรควบคุมความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตร โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

แสดงว่า ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลูสูตรควบคุมความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลูสูตรควบคุมความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตร โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำ ขนาดของเม็คน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำ ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.2.2 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลูสูตรควบคุมความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂)

ค่าเฉลี่ยของผลต่างปริมาณน้ำ ขนาดของเม็คน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำก่อนใช้กับหลังใช้พลูสูตรควบคุมความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลูสูตรควบคุมความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.17 ผลต่างของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลูสูตรควบคุมความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลูสูตรควบคุมความชื้นกับกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์

Group Statistics

Treatment	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
LWC Control	3	-.0031667	.00281726	.00162654
CaCl ₂	9	.0030900	.00740541	.00246847
MVD Control	3	-13.533	13.5964	7.8499
CaCl ₂	9	-17.211	14.8863	4.9621
TC Control	2	2.600	2.9698	2.1000
CaCl ₂	9	13.100	34.0663	11.3554

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วย independent samples t-test ระหว่าง
กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้นกับกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์

		Levene's Test for Equality		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval	
									Lower	Upper
LWC	Equal variances assumed	1.040	.332	-1.392	10	.194	-.00625667	.00449491	-.01627195	.00375861
	Equal variances not assumed			-2.116	9.381	.062	-.00625667	.00295618	-.01290282	.00038949
MVD	Equal variances assumed	1.402	.264	.377	10	.714	3.6778	9.7583	-18.0650	25.4206
	Equal variances not assumed			.396	3.767	.713	3.6778	9.2867	-22.7469	30.1024
TC	Equal variances assumed	1.242	.294	-.418	9	.686	-10.5000	25.1198	-67.3248	46.3248
	Equal variances not assumed			-.909	8.477	.388	-10.5000	11.5480	-36.8710	15.8710

โดย LWC = ข้อมูลปริมาณน้ำ (liquid water content; LWC) หน่วยเป็น g/m^3

MVD = ข้อมูลขนาดของเม็ดน้ำ (mean volume diameter; MVD) หน่วยเป็น μm

TC = ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (total concentrate; TC) หน่วยเป็น $\#/cc$

การเปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) จากตารางที่ 4.17 ซึ่งเป็นการแสดงสถิติพรรณนาผลปรากฏดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำ (liquid water content; LWC)

กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) มีปริมาณน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย $-0.0031667 g/m^3$ และกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) มีปริมาณน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย $0.00309 g/m^3$ ส่วนค่าเฉลี่ยของผลต่างในตารางที่ 4.18 (LWC : Mean Difference) พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) แตกต่างกัน $-0.00625667 g/m^3$ โดยหลังการใช้ฟลูสสารดูดความชื้นกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) มีปริมาณน้ำสูงกว่ากลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂)

2) ค่าเฉลี่ยผลต่างของขนาดเม็ดน้ำ (mean volume diameter; MVD)

กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) มีขนาดเม็ดน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย -13.533 ไมครอน และกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) มีขนาดเม็ดน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย -17.211 ไมครอน ส่วนค่าเฉลี่ยของผลต่างในตารางที่ 4.18 (MVD : Mean Difference)

พบว่า ค่าเฉลี่ยผลต่างของขนาดเม็ดน้ำระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูออโรคาร์บอน (control) กับกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูออโรคาร์บอนแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) แตกต่างกันประมาณ 3.6778 ไมครอน โดยหลังการใช้ฟลูออโรคาร์บอนกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูออโรคาร์บอนแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) มีขนาดเม็ดน้ำใหญ่กว่ากลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูออโรคาร์บอน (control)

3) ค่าเฉลี่ยผลต่างปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (total concentrate; TC)

กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูออโรคาร์บอน (control) มีปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 2.6 #/cc และกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูออโรคาร์บอนแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) มีปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 13.1 #/cc ส่วนค่าเฉลี่ยของผลต่างในตารางที่ 4.18 (TC : Mean Difference) พบว่า ค่าเฉลี่ยของผลต่างปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูออโรคาร์บอน (control) กับกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูออโรคาร์บอนแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) แตกต่างกันประมาณ 5.35 #/cc โดยหลังการใช้ฟลูออโรคาร์บอนกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูออโรคาร์บอน (control) ยังมีปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำสูงกว่ากลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูออโรคาร์บอนแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยวิธี independent samples t-test จะมีการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูออโรคาร์บอน (control) กับกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูออโรคาร์บอนแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

เมื่อ σ_1^2 คือ ความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูออโรคาร์บอน (control)

σ_2^2 คือ ความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูออโรคาร์บอนแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

จากตารางที่ 4.18 เมื่อทำการตรวจสอบค่าความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ด้วย Levene's Test ปรากฏว่า ค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูออโรคาร์บอนระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูออโรคาร์บอน (control) กับกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูออโรคาร์บอนแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) พบว่า ค่าความแปรปรวนข้อมูลปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ดังนั้น การอ่านผลวิเคราะห์ t-test ของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ทั้งปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ ต้องเลือกอ่านในบรรทัด equal variances assumed

ผู้ศึกษาตั้งสมมติฐานในการทดสอบค่าเฉลี่ยของผลต่างของประชากร 2 กลุ่ม โดยใช้วิธี independent samples t-test เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำ ขนาดของเม็คน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลูสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

เมื่อ μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยผลต่างของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลูสารดูดความชื้น (control)
 μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยผลต่างของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี independent samples t-test เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนกับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นของระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลูสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) จากตารางที่ 4.18 ปรากฏว่า

1) ค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำ ค่านัยสำคัญ = 0.194 (sig. > 0.05)

หมายความว่า ปริมาณน้ำก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลูสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) ค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าเฉลี่ยขนาดเม็คน้ำ ค่านัยสำคัญ = 0.714 (sig. > 0.05)

หมายความว่า ขนาดเม็คน้ำก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลูสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3) ค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำ ค่านัยสำคัญ = 0.686

(sig. > 0.05) หมายความว่า ปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลูสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

แสดงว่า ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลูสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) มีค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำ ขนาดของเม็คน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำ ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.2.3 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูอูโตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูอูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂)

ค่าเฉลี่ยของผลต่างปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูอูตราคความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูอูโตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูอูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.19 ผลต่างของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูอูตราคความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูอูโตรโซเดียมคลอไรด์กับกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูอูตรแคลเซียมคลอไรด์

Group Statistics

Treatment		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
LWC	NaCl	6	-.0009550	.00312084	.00127408
	CaCl ₂	9	.0030900	.00740541	.00246847
MVD	NaCl	6	-15.717	17.1614	7.0061
	CaCl ₂	9	-17.211	14.8863	4.9621
TC	NaCl	6	-2.750	6.9221	2.8259
	CaCl ₂	9	13.100	34.0663	11.3554

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วย independent samples t-test ระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูอูโตรโซเดียมคลอไรด์กับกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูอูตรแคลเซียมคลอไรด์

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval	
								Lower	Upper
LWC Equal variances assumed	1.490	.244	-1.253	13	.232	-.00404500	.00322722	-.01101698	.00292698
Equal variances not assumed			-1.456	11.522	.172	-.00404500	.00277788	-.01012546	.00203546
MVD Equal variances assumed	.162	.694	.179	13	.860	1.4944	8.3274	-16.4958	19.4847
Equal variances not assumed			.174	9.742	.865	1.4944	8.5853	-17.7037	20.6926
TC Equal variances assumed	2.895	.113	-1.111	13	.287	-15.8500	14.2653	-46.6682	14.9682
Equal variances not assumed			-1.354	8.967	.209	-15.8500	11.7018	-42.3363	10.6363

โดย $LWC =$ ข้อมูลปริมาณน้ำ (liquid water content; LWC) หน่วยเป็น g/m^3

$MVD =$ ข้อมูลขนาดของเม็ดน้ำ (mean volume diameter; MVD) หน่วยเป็น μm

$TC =$ ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (total concentrate; TC) หน่วยเป็น $\#/cc$

การเปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมมฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารลดความชื้นระหว่างกลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) จากตารางที่ 4.19 ซึ่งเป็นการแสดงสถิติพรรณนาผลปรากฏดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำ (liquid water content; LWC)

กลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีปริมาณน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย $-0.000955 g/m^3$ และกลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) มีปริมาณน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย $0.00309 g/m^3$ ส่วนค่าเฉลี่ยของผลต่างในตารางที่ 4.20 (LWC : Mean Difference) พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำระหว่างกลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) แตกต่างกัน $-0.004045 g/m^3$ โดยหลังการใช้ฟลูสสารลดความชื้นกลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีปริมาณน้ำสูงกว่ากลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂)

2) ค่าเฉลี่ยผลต่างของขนาดเม็ดน้ำ (mean volume diameter; MVD)

กลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีขนาดเม็ดน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย -5.717 ไมครอน และกลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) มีขนาดเม็ดน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย -17.211 ไมครอน ส่วนค่าเฉลี่ยของผลต่างในตารางที่ 4.20 (MVD : Mean Difference) พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างของขนาดเม็ดน้ำระหว่างกลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) แตกต่างกันประมาณ 3.6778 ไมครอน โดยหลังการใช้ฟลูสสารลดความชื้นกลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) มีขนาดเม็ดน้ำใหญ่กว่ากลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

3) ค่าเฉลี่ยผลต่างปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (total concentrate; TC)

กลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย $-2.75 \#/cc$ และกลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) มีปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำแตกต่างกันโดยเฉลี่ย $13.1 \#/cc$ ส่วนค่าเฉลี่ยของผลต่างในตารางที่ 4.20 (TC : Mean Difference) พบว่า ค่าเฉลี่ยของผลต่างปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำระหว่างกลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมมที่ใช้ฟลูสตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) แตกต่างกัน

ประมาณ -15.85 \#cc โดยหลังการใช้พลูสารดูดความชื้นกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ยังมีปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำสูงกว่ากลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยวิธี independent samples t-test ระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) มีการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

เมื่อ σ_1^2 คือ ความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

σ_2^2 คือ ความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

จากตารางที่ 4.20 เมื่อทำการตรวจสอบค่าความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ด้วย Levene's Test ปรากฏว่า ค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำ ขนาดของเม็คน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำ ก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) พบว่า ค่าความแปรปรวนข้อมูลปริมาณน้ำ ขนาดของเม็คน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ดังนั้น การอ่านผลวิเคราะห์ t-test ของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ทั้งปริมาณน้ำ ขนาดของเม็คน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำ ต้องเลือกอ่านในบรรทัด equal variances assumed

ผู้ศึกษาตั้งสมมติฐานในการทดสอบค่าเฉลี่ยของผลต่างของประชากร 2 กลุ่ม โดยใช้วิธี independent samples t-test เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำ ขนาดของเม็คน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

เมื่อ μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยผลต่างของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยผลต่างของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี independent samples t-test เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นของระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) จากตารางที่ 4.20 ปรากฏว่า

1) ค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำ คำนัยสำคัญ = 0.232 (sig. > 0.05)

หมายความว่า ปริมาณน้ำก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) ค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าเฉลี่ยขนาดเม็ดน้ำ คำนัยสำคัญ = 0.86 (sig. > 0.05)

หมายความว่า ขนาดเม็ดน้ำก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3) ค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ คำนัยสำคัญ = 0.287

(sig. > 0.05) หมายความว่า ปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

แสดงว่า ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พลูสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) มีค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือ ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

บทที่ 5

สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษามีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อเปรียบเทียบการใช้ฟลูสารถูดความชื้น สูตรโซเดียมคลอไรด์และสูตรแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อลักษณะเมฆฟิลิคัสที่ระดับฐานเมฆ คิวมูลัส และประยุกต์หรือนำไปใช้ประโยชน์ในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีฝนหลวงต่อไป

ผู้ศึกษามีความมุ่งหมายให้ศูนย์ปฏิบัติการฝนหลวงประจำภาคของกรมฝนหลวงและการบินเกษตรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประกอบการวางแผนขั้นตอนต่าง ๆ ของการทำฝนเมฆอ่อน การคัดเลือกชนิดสาร ขนาดของสาร และนำไปสู่การนำเทคโนโลยีใหม่นี้ไปใช้ทดแทนหรือเสริม การปฏิบัติการฝนหลวงที่ใช้สารฝนหลวงชนิดผง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการทำ ฝนหลวง

1. สรุปการศึกษา

ผลการศึกษา พอสรุปได้ดังนี้

1.1 การเปรียบเทียบข้อมูลเมฆฟิลิคัสก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสารถูดความชื้นชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธี paired-samples t-test พบว่า

1.1.1 **กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสารถูดความชื้น (control)** มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น 0.00316667 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (g/m^3) ค่าเฉลี่ยเม็ดน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น 13.5333 ไมครอน แต่มีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำลดลง 2.6 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ($\#/cc$) เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิลิคัสก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสารถูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสารถูดความชื้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สรุป ข้อมูลเมฆฟิลิคัสก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสารถูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสารถูดความชื้น (control) ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.1.2 **กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)** มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น 0.000955 g/m^3 ค่าเฉลี่ยเม็ดน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น 15.7167 ไมครอน และมีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำเพิ่มขึ้น 2.75 $\#/cc$ เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยข้อมูล

เมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สรุป ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้นสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.1.3 กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำลดลง 0.00309 g/m^3 ค่าเฉลี่ยเม็คน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น 17.2111 ไมครอน และมีค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำลดลง 13.1 #/cc เนื่องจากขนาดเม็คน้ำใหญ่ขึ้นมากกว่ากลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้นหรือเมฆธรรมชาติประมาณ 3.7 ไมครอน และขนาดเม็คน้ำใหญ่ขึ้นมากกว่ากลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้นโซเดียมคลอไรด์ประมาณ 1.5 ไมครอน จึงมีส่วนทำให้ปริมาณความเข้มข้นลดลงมากกว่ากลุ่มเมฆธรรมชาติและกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้นสูตรโซเดียมคลอไรด์ เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) มีปริมาณน้ำและปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ขนาดของเม็คน้ำมีค่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สรุป ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้ฟลูสสารดูดความชื้นของกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้นสูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) มีปริมาณน้ำและปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ขนาดของเม็คน้ำมีค่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมฆฟิสิกส์ที่มีการใช้ฟลูสสารดูดความชื้นชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธี independent samples t-test พบว่า

1.2.1 การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) กับกลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) พบว่า

กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) มีปริมาณน้ำสูงกว่ากลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แต่กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จะมีขนาดเม็คน้ำใหญ่กว่าและมีปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำสูงกว่ากลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control)

เมื่อทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้ฟลูสสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้ฟลูสสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) พบว่า ความแปรปรวนของข้อมูล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ปรากฏว่า ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พุลสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พุลสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.2.2 การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พุลสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) พบว่า

กลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พุลสารดูดความชื้น (control) มีปริมาณน้ำและปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำสูงกว่ากลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) แต่กลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) จะมีขนาดเม็ดน้ำใหญ่กว่ากลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พุลสารดูดความชื้น (control)

เมื่อทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พุลสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) พบว่า ความแปรปรวนของข้อมูล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ปรากฏว่า ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พุลสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พุลสารดูดความชื้น (control) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) มีค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.2.3 การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) พบว่า

กลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีปริมาณน้ำและปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำสูงกว่ากลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) แต่กลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) จะมีขนาดเม็ดน้ำใหญ่กว่ากลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

เมื่อทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลเมฆฟิสิกส์ระหว่างพุลสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) พบว่า ความแปรปรวนของข้อมูล ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ปรากฏว่า ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ก่อนใช้กับหลังใช้พุลสารดูดความชื้นระหว่างกลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับ กลุ่มเมฆที่ใช้พุลสูตรแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) มีค่าเฉลี่ยผลต่างของปริมาณน้ำ ขนาดของเม็ดน้ำ และปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. อภิปรายผล

จากการศึกษาการใช้พลุสารดูดความชื้นที่มีผลต่อลักษณะเมฆฟิสิกส์ที่ระดับฐานเมฆคิวมูลัส มีกลุ่มเมฆที่ไม่ใช้พลุสารดูดความชื้น หรือ control จำนวน 3 ตัวอย่าง กลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตรโซเดียมคลอไรด์ หรือ seed NaCl จำนวน 6 ตัวอย่าง และกลุ่มเมฆที่ใช้พลุสูตรแคลเซียมคลอไรด์ seed CaCl₂ จำนวน 9 ตัวอย่าง โดยนำข้อมูลเมฆฟิสิกส์ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดอนุภาคเม็ดน้ำ (FSSP) ได้แก่ ปริมาณน้ำ (g/m³) ขนาดของเม็ดน้ำ (μm) และ ปริมาณความเข้มข้นของเม็ดน้ำ (#/cc) เปรียบเทียบข้อมูลเมฆฟิสิกส์ระหว่างก่อนใช้กับหลังใช้พลุสารดูดความชื้นด้วยวิธี paired-samples t-test และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี independent samples t-test สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

2.1 การใช้สารดูดความชื้นในการทำฝน

การทำฝนด้วยสารดูดความชื้นชนิดผงเป็นจุดเริ่มต้นและพัฒนาขนาดของอนุภาคสารดูดความชื้นให้มีขนาดเล็ก เพื่อเร่งและข้ามขั้นตอนการเกิดเม็ดน้ำขนาดใหญ่ในเมฆ จากการค้นพบโดยบังเอิญจากโรงงานทำกระดาษกราฟในประเทศแอฟริกาใต้ นำไปสู่การต่อยอดการทดลองทำฝนด้วยสารดูดความชื้น ในปี ค.ศ. 1997 Mather และคณะทำการทดลองในประเทศแอฟริกาใต้ ปี ค.ศ. 2000 Silverman และ Sukarnjanaset ทำการทดลองในประเทศไทย ส่วน Murty และคณะทำการทดลองในประเทศอินเดีย รวมทั้งในปี ค.ศ. 2001 Brintjes และ Fowler ได้ทำการทดลองในประเทศเม็กซิโก ยังมีการทดลองเพิ่มเติมในรัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา นับเป็นจุดเริ่มต้นการทดลอง วิจัย รวมทั้งการพัฒนากรรมวิธีและเทคโนโลยีด้านการทำฝน การคัดแปรสภาพอากาศโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดผงเป็งจนวนนำไปสู่วิธีการใหม่เกี่ยวข้องกับการทำฝนด้วยพลุสารดูดความชื้นที่ผลิตอนุภาคเกลือขนาดเล็ก เพื่อขยายการกระจายของหยดเมฆ และเร่งกระบวนการรวมตัวกันของเม็ดน้ำ การทดลองของ Cooper และคณะ ในปี ค.ศ. 1997 โดยใช้พลุเผาไหม้ให้อุณหภูมิแกนกลั่นตัวของเมฆขนาดใหญ่ เพื่อให้เมฆมีการเจริญเติบโตและช่วยกระตุ้นให้แกนกลั่นตัวที่มีขนาดใหญ่ยับยั้งแกนกลั่นตัวธรรมชาติที่มีขนาดเล็ก โดยการข้ามขั้นตอนการเกิดเม็ดน้ำขนาดใหญ่ในเมฆให้เกิดขึ้น ซึ่งจะเริ่มต้นจากการชนกันและรวมตัวกันภายใน 15 นาที ถือว่าเร็วกว่าวงจรชีวิตของการเกิดเม็ดน้ำภายในเมฆคิวมูลัสตามธรรมชาติโดยทั่วไปจะใช้ระยะเวลาประมาณ 30 นาที ซึ่งพลุสารดูดความชื้นที่ผลิตหรือใช้ในแต่ละประเทศ จะมีขนาดของอนุภาคแตกต่างกันไป ประเทศแอฟริกาใต้มีขนาดประมาณ 0.3 - 0.5 ไมครอน ประเทศอินโดนีเซียมีขนาดประมาณ 0.7 - 2.1 ไมครอน และประเทศไทยขนาดประมาณ 0.7 ไมครอน ซึ่งมีขนาดแตกต่างจากประเทศแอฟริกาใต้ การทดลองในต่างประเทศมักจะเปรียบเทียบระยะเวลาของวงจรชีวิตของการ

เกิดเม็คน้ำภายในเมฆโดยอาศัยเรดาร์ตรวจอากาศและข้อสังเกตทางเมฆฟิสิกส์แสดงให้เห็นการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงกระบวนการชนกันและรวมตัวกันของเม็คน้ำในเมฆ แต่การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงลักษณะเมฆฟิสิกส์ของเม็คน้ำที่ระดับฐานเมฆคิวมูลัสเท่านั้น ซึ่งผลการใช้พลูตารูดความชื้นทั้งสูตรโซเดียมคลอไรด์และสูตรแคลเซียมคลอไรด์ของประเทศไทยจะคล้ายคลึงกับการทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศแอฟริกาใต้ คือ สามารถเร่งกระบวนการรวมตัวกันของเม็คน้ำ ทำให้มีเม็คน้ำขนาดใหญ่ขึ้น พลูตาทัวใหม่ให้อุณหภูมิแกนกลั่นตัวของเมฆขนาดใหญ่กว่าแกนกลั่นตัวธรรมชาติ ช่วยกระตุ้นให้แกนกลั่นตัวที่มีขนาดใหญ่นี้ข้ามขั้นตอนการเกิดเม็คน้ำขนาดใหญ่ในเมฆ จึงมีความสอดคล้องกัน

2.2 ข้อค้นพบเด่นจากการใช้พลูตารูดความชื้น

แม้ข้อมูลเมฆฟิสิกส์ทั้งปริมาณน้ำ ขนาดและปริมาณความเข้มข้นของเม็คน้ำจะแสดงผลทางสถิติว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างก่อนการใช้กับหลังการใช้พลูตารูดความชื้นทั้งสองชนิด แต่พบว่ามีเปลี่ยนแปลงลักษณะเมฆฟิสิกส์ที่ระดับฐานเมฆคิวมูลัสหลังจากใช้พลูตารูดความชื้นทั้งสองสูตร ช่วยให้เม็คน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นได้ดีกว่ากลุ่มเมฆที่เติบโตตามธรรมชาติ ขนาดของเม็คน้ำเมื่อใช้พลูตารูดความชื้นสูตรแคลเซียมคลอไรด์เป็นสิ่งที่น่าสนใจเพราะมีขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า ขนาดเม็คน้ำโตขึ้นเกิดการรวมตัวกัน และข้ามขั้นตอนมีการเกิดเม็คน้ำขนาดใหญ่ในเมฆเร็วขึ้น

2.3 ความแตกต่างหรือความสอดคล้องเมื่อเทียบกับสภาพปกติทั่วไป

สารดูดความชื้นที่ได้จากการเผาไหม้พลูทั้งสองสูตรนั้น มีประสิทธิภาพในการเป็นแกนกลั่นตัวของเมฆ ทำให้เกิดการรวมตัวกันของเม็คน้ำ และข้ามขั้นตอนการเกิดเม็คน้ำขนาดใหญ่ในเมฆได้จริง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มเมฆธรรมชาติ

2.4 ความแตกต่างหรือสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ

สารดูดความชื้นที่ได้จากการเผาไหม้พลูทั้งสองสูตรนั้น แม้จะมีขนาดอนุภาคประมาณ 0.7 ไมครอน ไม่แตกต่างจากแกนกลั่นตัวธรรมชาติที่มีขนาดประมาณ 0.1 – 1 ไมครอน แต่มีประสิทธิภาพในการเป็นแกนกลั่นตัวเช่นเดียวกับแกนกลั่นตัวธรรมชาติ และมีประสิทธิภาพช่วยให้เกิดการรวมตัวกันของเม็คน้ำ และข้ามขั้นตอนการเกิดเม็คน้ำขนาดใหญ่ในเมฆได้จริง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มเมฆธรรมชาติ ซึ่งมีความสอดคล้องกันกับผลการทดลองในต่างประเทศที่กล่าวไว้ในข้อ 2.1 และการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโดย Medina et al. (1989) พบว่า แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารดูดความชื้นที่มีประสิทธิภาพที่สุด จึงใช้ในการทดลองเมฆอุ่นในโครงการวิจัยทรัพยากรบรรยากาศประยุกต์ (Applied Atmospheric Resources Research Program; AARRP)

2.5 จุดดี จุดอ่อน ปัญหา และอุปสรรคของการศึกษาค้างนี้

การศึกษาค้างนี้พบว่า มีทั้งจุดดี จุดอ่อน ปัญหา และอุปสรรค ตั้งแต่การได้มาของ ข้อมูลปฐมภูมิ จนกระทั่งการนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลทางสถิติดังนี้

จุดดี	จุดอ่อน
<ol style="list-style-type: none"> 1. มีความพร้อมของเครื่องมือวิจัยเมฆฟิสิกส์ สามารถตรวจวัดข้อมูลตั้งแต่หยดเมฆ (cloud droplet) ไปจนถึงเม็ดฝน (raindrop) 2. สามารถตรวจวัดลักษณะเมฆฟิสิกส์ของ หยดน้ำ (cloud droplet) ได้โดยตรง จาก เครื่องมือตรวจวัดเมฆฟิสิกส์ 3. สามารถเลือกประเด็นที่สนใจ เลือกใช้ ข้อมูลจากเครื่องมือที่สนใจ ประมวลผล ด้วยโปรแกรมเฉพาะด้านเมฆฟิสิกส์ ก่อน นำมาใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่าง ทางสถิติได้โดยตรง 	<ol style="list-style-type: none"> 1. การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากโครงการ ทดสอบประสิทธิภาพพลุสารดูดความชื้น เสริมการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอ่อน จึง ขาดการวางแผนการทดลอง เพื่อให้ได้ จำนวนกลุ่มเมฆตัวอย่างที่เท่า ๆ กัน สำหรับการเปรียบเทียบทางสถิติ 2. ไม่สามารถกำหนดจำนวนหน่วยทดลองได้ ตามหลักทางสถิติ เนื่องจากต้นทุนการบิน วิจัยสูงมาก การคัดเลือกเมฆให้ได้ตาม เกณฑ์ที่กำหนดไว้ทำได้ยาก จึงทำให้มี หน่วยทดลองไม่มากนัก
ปัญหา	อุปสรรค
<ol style="list-style-type: none"> 1. ต้นทุนการบินวิจัยสูงมาก 2. ปัญหาด้านนิรภัยการบิน เมื่อจำเป็นต้องใช้ เครื่องบินความเร็วต่างกันปฏิบัติการกับ กลุ่มเมฆกลุ่มเดียวกัน ต้องวางแผนการบิน ให้รอบคอบ รัดกุม มีความเข้าใจตรงกัน เพื่อความปลอดภัย 3. การเลือกแผนการทดลอง และการวางแผน การทดลองต้องสอดคล้องตรงประเด็น ปัญหา หากขาดการวางแผนที่ดี จะทำให้ การวิเคราะห์ผลการทดลองขาดความ น่าเชื่อถือได้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. การทดลองกับห้องทดลองระบบเปิดบน ท้องฟ้า ตัวแปรในธรรมชาติมีจำนวนมาก 2. เมฆก้อนหรือเมฆคิวมูลัสเป็น ทรัพยากรธรรมชาติ กำหนดไม่ได้ ต้อง กำหนดเงื่อนไขการคัดเลือกขึ้นมา เพื่อให้ ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้เพื่อให้หน่วย ทดลองเหมือน ๆ กัน ต้องใช้ความพยายาม อย่างสูงในการคัดเลือกกลุ่มเมฆตัวอย่าง 3. เครื่องบินที่ใช้ในการทดลองมีความเร็ว ต่างกัน

3. ข้อเสนอแนะ

ผู้ศึกษาขอเสนอแนะให้นำผลการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในการทำฝนหลวงเมฆอ่อนด้วยเทคนิคใหม่หรือ pyrotechnic flare นี้ พลุสารดูคความชื้นช่วยลดน้ำหนักบรรทุกของอากาศยาน ช่วยประหยัดพลังงานด้านเชื้อเพลิง และยังให้สารที่มีขนาดเหมาะสมอยู่ในช่วงที่สามารถเร่งให้เกิดหยดเมฆ (cloud droplet) ขนาดเล็กมากได้ดีในสภาพอากาศที่เหมาะสม อีกทั้งยังเป็นการลดปัญหาผลกระทบทางลบที่เกิดจากการใช้สารชนิดผงที่มีขนาดใหญ่ในสภาวะอากาศที่มีความชื้นต่ำสามารถนำผลศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้

3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการศึกษาไปใช้

3.1.1 พลุสารดูคความชื้นสูตรโซเดียมคลอไรด์ มีความเหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการทำฝนในขั้นตอนที่ 1 ก่อทวนหรือก่อเมฆ เนื่องจากขนาดอนุภาคที่ได้มีขนาดไม่เกิน 1 ไมครอนนั้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเร่งกระบวนการเกิดเมฆขึ้นต้น

3.1.2 พลุสารดูคความชื้นสูตรแคลเซียมคลอไรด์ มีความเหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการทำฝนในขั้นตอนที่ 1 ก่อทวนหรือก่อเมฆ และขั้นตอนที่ 2 เลี้ยงให้อ้วน เนื่องจากช่วยเร่งการเจริญเติบโตของเม็ดน้ำและก้อนเมฆได้ดีกว่ารอให้เม็ดน้ำโตขึ้นเองตามธรรมชาติ และยังมีประสิทธิภาพเร่งการเจริญเติบโตของเม็ดน้ำสูงกว่าพลุสารดูคความชื้นสูตรโซเดียมคลอไรด์

3.1.3 สามารถทำการบินเข้าไปปล่อยควันพลุสารดูคความชื้นภายในก้อนเมฆที่ระดับฐานเมฆคิวมูลัสที่กำลังเจริญเติบโตได้ โดยไม่มีปัญหาการฟุ้งกระจายขณะโปรยสารในเมฆแบบสารชนิดผง

3.1.4 นักวิชาการฝนหลวงสามารถเลือกสูตรของพลุสารดูคความชื้นให้เหมาะสมต่อขั้นตอนการทำฝนตามตำราฝนหลวงพระราชทาน

3.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

3.2.1 รูปแบบการบินปฏิบัติการทำฝนด้วยพลุสารดูคความชื้น อาจจะทดลองเข้าไปปล่อยควันในระดับฐานเมฆคิวมูลัสที่กำลังเจริญเติบโต

3.2.2 การพัฒนาและปรับปรุงพลุสารดูคความชื้นให้มีผลผลิตขนาดอนุภาคของเนื้อสารที่ได้จากการเผาไหม้ออกมาหลากหลายขนาด เพื่อให้สามารถเลือกใช้งานได้เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ในแต่ละขั้นตอนของการทำฝน

3.2.3 การนำไปใช้ปรับปรุงพลุสารดูคความชื้นสูตรใหม่

นักวิทยาศาสตร์หรือนักวิจัยหรือนักวิชาการทำฝนหลวงสามารถต่อยอดการศึกษานี้ให้เหมาะสมต่อการปฏิบัติการจริงในแต่ละภูมิภาคเพื่อทดแทนหรือเสริมการปฏิบัติการทำฝนเมฆอ่อนที่ใช้สารชนิดผงได้ในบางขั้นตอน แต่จะต้องมีการวางแผนการทดลองที่เหมาะสม ความปลอดภัยด้านการบินที่ต้องปฏิบัติการได้ฐานเมฆที่เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ รวมทั้งกำหนดจำนวนหน่วยทดลองหรือจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เนื่องจากการทดลองในอากาศหรือการใช้งานจริงจะมีค่าใช้จ่ายทั้งทางด้านการบินและสารฝนหลวงที่ค่อนข้างสูง หรืออาจจะนำไปสู่การค้นคว้าศึกษาสารลดความชื้นชนิดใหม่ ๆ สำหรับการทำฝนหลวงในอนาคต โดยใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการศึกษาวิจัยให้ก้าวหน้าและกว้างขวางยิ่งขึ้น



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- แทนไทร์ พลหาญ และทรง กลิ่นประทุม (2551) *การจัดการความรู้ เรื่อง สารฝนหลวง*
Hygroscopic Materials for Rain Enhancement กรุงเทพมหานคร สำนักฝนหลวงและ
การบินเกษตร
- กรมอุตุนิยมวิทยา (2556) “เมฆคิวมูลัส” ค้นคืนวันที่ 25 กันยายน 2556 จาก
http://www.tmd.go.th/met_dict.php
- ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์ (2548) “การใช้ SPSS เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล” ค้นคืน 25 กันยายน 2555
จาก <http://www.watpon.com/spss>
- ประเสริฐ อังสุรัตน์ และทรง กลิ่นประทุม (2539) *สถานภาพการใช้ คุณสมบัติของสารเคมีใน
ขณะปฏิบัติการ และความรู้ ที่สนใจในการปฏิบัติการของนักวิชาการฝนหลวง*
กรุงเทพมหานคร สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2556) “การโปรยสารฝนหลวง” ค้นคืนวันที่ 25 สิงหาคม 2556 จาก
http://pirun.ku.ac.th/~b5310102698/index_raining.html
- รัชนีวรรณ ตาพุมาศสวัสดิ์ (2551) *การจัดการความรู้ เรื่อง พลุสารดูดความชื้น สูตร “แคลเซียม
คลอไรด์” Calcium Chloride Hygroscopic Flare* กรุงเทพมหานคร สำนักฝนหลวง
และการบินเกษตร
- ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ (LESA) (2556) “เมฆคิวมูลัส” ค้นคืนวันที่
25 กันยายน 2556 จาก <http://www.ku.ac.th/research/research-good20.html>
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบอาวุธกองทัพอากาศ (2555) “โครงการความร่วมมือด้านการวิจัยและ
พัฒนาเทคโนโลยีฝนหลวง สำนักฝนหลวงและการบินเกษตรกับกองทัพอากาศไทย”
(สไลด์) กรุงเทพมหานคร กองทัพอากาศไทย
- หนึ่งหทัย ดันดิพลับทอง (2554) “Cloud Physics Instrument on Cloud Physics Aircraft Super
King Air” (สไลด์) กรุงเทพมหานคร สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร
- หนึ่งหทัย ดันดิพลับทอง (2553) *สรุปการปฏิบัติการเมฆฟิสิกส์โครงการวิจัยและพัฒนาพลุสารดูด
ความชื้นเสริมการปฏิบัติการฝนหลวงเมฆอุ่น ปี 2553* กรุงเทพมหานคร สำนัก
ฝนหลวงและการบินเกษตร
- หนึ่งหทัย ดันดิพลับทอง (2551) *ลักษณะบางประการของยอดเมฆคิวมูลัสที่กำลังเจริญเติบโตใน
ระดับเมฆเย็น* กรุงเทพมหานคร สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร

- หนึ่งหทัย ดันติพลับทอง (2550) *การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเมฆฟิสิกส์ของเมฆคิวมูลัสที่ใช้สาร
ฝนหลวงโซเดียมคลอไรด์เข้าไปภายในก้อนเมฆ กรุงเทพมหานคร สำนักฝนหลวง
และการบินเกษตร*
- หนึ่งหทัย ดันติพลับทอง (2550) *รูปแบบการบินเพื่อทำการสอบเทียบเครื่องมือวิทยาศาสตร์
การบินเพื่อศึกษาวิจัยเมฆฟิสิกส์ และการบินปฏิบัติการทำฝนจากเมฆเย็น
กรุงเทพมหานคร สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร*
- หนึ่งหทัย ดันติพลับทอง และนายภักดี จันทร์เกษ (2553) *การจัดการความรู้ เรื่อง เครื่องมือ
ตรวจวัดเมฆฟิสิกส์ กรุงเทพมหานคร สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร*
- Berthoumieu Jean-François (2003) “The concept of cloud base seeding with hygroscopic salts
flares for hail prevention and rain precipitation. An actualisation” Retrieved January
9, 2013, from http://www.acmg.asso.fr/pdf/new_concept...flares.pdf
- Bruintjes R. T. (1999) “A Review of Cloud Seeding Experiments to Enhance Precipitation and
Some New Prospects” Retrieved January 9, 2013, from [http://caos.iisc.ernet.in/
cloudseed.pdf](http://caos.iisc.ernet.in/cloudseed.pdf)
- Haryanto, U., Goenawan R. D. and Harsanti D. (2013) “The Development of Hygroscopic Cloud
Seeding Flare In Indonesia: Evaluation and Measurement of Distribution Particles.
An actualisation” Retrieved January 9, 2013, from [http://www.wmo.int/pages/prog/
arep/wwrp/new/documents/OBS.Haryanto_Indonesia_paper_1.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/OBS.Haryanto_Indonesia_paper_1.pdf)
- KITA (KOREA INTERNATIONAL TRADE ASSOCIATION) (2003) “Calcium Chloride
Anhydrous” Retrieved January 9, 2013, from [http://www.tradekorea.com/sell-leads-
detail/S00022394/Calcium%20Chloride%20Anhydrous.html#.Ujsj1canpYk](http://www.tradekorea.com/sell-leads-detail/S00022394/Calcium%20Chloride%20Anhydrous.html#.Ujsj1canpYk)
- Medina J. G., Rasmussen R. M., Dennis A. S. and Silverman, B. A. (1989) *Applied Atmospheric
Resources Research Program in Thailand*. Interim Scientific Report Submitted to the
U.S. Agency for International Development Under Participating Agency Service
Agreement No. ANE-0337-P-12-0821-00, 134pp. Denver: Bureau of Reclamation.
- Seeding Operations & Atmospheric Research (SOAR) (2005) “Hygroscopic Cloud Seeding”
Retrieved January 9, 2013, from [http://www.just-clouds.com/hygroscopic_cloud_
seeding.asp](http://www.just-clouds.com/hygroscopic_cloud_seeding.asp)

TradeKorea.com (2013) “Calcium Chloride” Retrieved January 9, 2013, from

http://web.tradekorea.com/upload_file2/sell/94/S00022394/Calcium_Chloride_Anhydrous.jpg

Vasudev Water Solution (2010) “Sodium Chloride” Retrieved January 9, 2013, from

<http://www.vasudevwatersolution.com/sodium-chloride.htm>

Yan Yin et al. (1999) “Seeding Convective Clouds with Hygroscopic Flares: Numerical

Simulations Using a Cloud Model with Detailed Microphysics” Retrieved January 9, 2013, from [http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0450\(2000\)039%3C1460%3ASCCWHF%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0450(2000)039%3C1460%3ASCCWHF%3E2.0.CO%3B2)





ภาคผนวก

มหาวิทยาลัย

สกลนครราชภัฏ



ภาคผนวก ก
อธิบายตารางข้อมูลเมทริกซ์

1 Cloud Profile Table

Date: 18-Sep-04 **2**
 Flight ID: 040918.201 **3**
 Cloud base 2,227 ft, 22.1 C, 105 % **4**

The flight director: Nurengizai **5**

The flight operator: Chant **6**

Remark - **7**

Cloud ID	9 Before in cloud				10 Maximum in cloud		11 Entry Time		12 Type of Hydrometeor				13 Exit Time		14 Time in Max Draft (ft/min)		16 Max			17 FSP			18 2-DC			19 2-DP										
	Altitude (ft)	Temp (°C)	RH (%)	Max RH	H	A	Temp (°C)	RH (%)	(LT)	D	R	F	G	C	P	D	A	J	Cloud	Updraft	Down draft	KLWC (gm/m ³)	LWC (gm/m ³)	Max (um)	Max-MTD (um)	Total Conc. (#/cc)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Invalid data check	
2-1 Cold Cloud Operation 9-2	20,250	-10.6	94	93	0.3	H	-9.0	178	11:11:51	✓	1-2-3	✓	1-2-3	✓	1-2-3	✓	1-2-3	✓	21	1,748	-629	2.07	0.107	24.6	77.7	24.6	1000.0	6300	339	1937	1000.0	-	-	-	-	-
C1P1	21,755	-14.0	105	94	H	-13.1	136	11:26:08	✓	1-2-5	✓	1-2-5	✓	1-2-5	✓	1-2-5	✓	14	959	-208	1.36	0.044	23.3	60.0	23.3	1000.0	4500	353	307	1984	-	-	-	-	-	
C2P2	20,807	-11.9	101	0	9-5	-10.2	208	11:34:14	✓	✓	1-2-7	✓	1-2-7	✓	1-2-7	✓	1-2-7	✓	21	2,497	-64	1.33	0.053	23.6	61.1	23.6	1000.0	6300	404	290	1000.0	19-5	-	-	-	-
C3P1	20,018	-10.7	98	0	0.1	H	-7.7	108	11:42:59	✓	✓	1-2-8	✓	1-2-8	✓	1-2-8	✓	6	524	-170	1.06	0.038	23.2	37.0	23.2	1000.0	500	143	0	2.3	-	-	-	-	-	

Max RH = Max contour level on aircraft radar [0°C Echo], (Green), (Yellow), (Red), (Purple) H = Height of Cloud top above aircraft (#1000 ft) A = Appearance of Cloud [H for hard, M for Median, S for soft and G for graupel]

20

D = Drizzle E = Rain F = Frozen drop G = Graupel C = Column P = Plate D = Decidua A = Aggregate J = Junk

คำอธิบายตาราง Cloud Profile Table

หมายเลข ตารางที่แนบข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของภาคจากเครื่องมือตรวจวัดของเมฆ (FSSP), เครื่องมือตรวจวัดของเมฆ (2-DC probe) และ เครื่องมือตรวจวัดเนเป้ (2-DP probe) เป็นหลัก

- 1 Cloud Profile Table
- 2 Date:
- 3 Flight ID:
- 4 Cloud base:
- 5 The flight director:
- 6 The flight operator:
- 7 Remark:
- 8 Cloud ID
- 9 Before in cloud
 - 9.1 Altimde (ft)
 - 9.2 Temp (°C)
 - 9.3 RH (%)
 - 9.4 Max Rdr
 - 9.5 H
 - 9.6 A

แสดงชื่อไฟล์ข้อมูลเดิม YYMMDD.X.Ox โดย X₁ = หมายเลขเครื่องขึ้น 1 คือ 2011 และ 2 คือ 2012 0=ป็นค่าอื่น X₂ = ลำดับเที่ยวบิน 1,2,3,...,n คือ ระดับความสูง หน่วยเป็น ฟุต (ft), อุณหภูมิ หน่วยเป็น องศาเซลเซียส (C) และความชื้นสัมพัทธ์ หน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ (%) คือ ผู้ที่ทำการกำหนดแผนการปฏิบัติการประจำวัน และตัดสินใจดำเนินการปฏิบัติการที่เลือกและการกำหนดเที่ยวบินอากาศยาน คือ ผู้ที่ทำการควบคุมเครื่องมือวิทยาศาสตร์และระบบคอมพิวเตอร์และจุดเริ่มต้นของการปฏิบัติการอากาศยาน และช่าง The flight technician: จะเป็นผู้ดูแลระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวิทยาศาสตร์และระบบคอมพิวเตอร์ของอากาศยาน คือ หมายเลขที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเมฆที่เลือก

แสดงลำดับการรายงาน เช่น CIP11I หมายถึง เมฆก้อนที่ 1 ผ่านเข้ามาครั้งที่ 1 เมฆที่ 1 หรือ C3P2 OT หมายถึง เมฆก้อนที่ 3 ผ่านเข้ามาครั้งที่ 2 ระดับเนเป้ของเมฆ เป็นต้น

ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจำนวน 30 วินาทีที่ระดับบินปฏิบัติการก่อนเข้าไปในเมฆ ได้แก่

ความสูง หน่วยเป็น ฟุต
 อุณหภูมิ หน่วยเป็น องศาเซลเซียส
 ความชื้นสัมพัทธ์ หน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์
 มลภาวะ Max contour level on Aircraft radar หมายถึง ระดับความเข้สูงตรวจวัดด้วย Weather radar ของเครื่องบิน แบ่งเป็น 4 ระดับคือเข้าเมฆ ใต้เมฆ 0=No Echo, 1=Green, 2=yellow, 3=Red, 4=Purple

มาจาก Height of Cloud top above Aircraft หมายถึง ความสูงของเมฆที่สังเกตระดับบินปฏิบัติการ เมื่อลดด้วย 1,000 จะให้หน่วยเป็น ฟุต
 มลภาวะ Appearance of Cloud หมายถึง เกณฑ์แบ่งลักษณะทางภาษาของเมฆตาม มี 4 ระดับ ได้แก่ H for hard, M for Medium, S for soft and G for glaciated

ค่าสูงสุดจากการตรวจวัดเนเป้ภายในเมฆ

อุณหภูมิ หน่วยเป็น องศาเซลเซียส
 ความชื้นสัมพัทธ์ หน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์
 เวลาเริ่มต้นที่อยู่ในเมฆ LI หมายถึง Local Time

หมายเลข ชนิดของเมฆที่ใช้จำนวนตามรูปร่างจากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดของภาคเมฆ (2-DC probe)
 หมายถึง อนุภาคที่มีรูปร่างเป็นจุดเล็ก ขนาดตั้งแต่ 25-50 ไมครอน เรียกว่า Dizzle
 หมายถึง อนุภาคที่มีรูปร่างเป็นทรงกลม ขนาดรอบข้างกลม ขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอนขึ้นไป เรียกว่า Ram
 หมายถึง เม็ดน้ำแข็งขนาดเล็กถึงปานกลางเป็นเม็ดน้ำแข็ง มีรูปร่างไม่แน่นอน ลักษณะกว้างไม่เหมือน Rain และหลักร้านแข็ง เรียกว่า Frozen drop
 หมายถึง เม็ดน้ำแข็งที่มีลักษณะเป็นเงา เรียกว่า Column
 หมายถึง เม็ดน้ำแข็งที่มีลักษณะเป็นแผ่นทรงหกเหลี่ยม เรียกว่า Plate
 หมายถึง เม็ดน้ำแข็งที่มีลักษณะคล้ายใบที่ขึ้นหรือทากเหมือน เรียกว่า Dendrite
 หมายถึง เม็ดน้ำแข็งที่เกิดจากเม็ดน้ำแข็งชนิดต่าง มาจับเกาะรวมกัน เรียกว่า Aggregate

หมายถึง อนุภาคที่เกิดจากการแตกกระจายของเม็ดน้ำแข็งหรือขนาดที่ไม่ใช่ขนาดที่ฟ้า จัดเป็นพวกเมฆ เรียกว่า Junk

เวลาที่อยู่ที่อยู่ในเมฆ LI หมายถึง Local Time
 ระยะเวลาทั้งหมดที่ตรวจวัด หน่วยเป็น วินาที

ค่าสูงสุดของกระแสอากาศที่ตรวจวัดได้
 ค่ากระแสอากาศไหลขึ้น
 ค่ากระแสอากาศไหลลง

เครื่องมือตรวจวัดของเมฆ (FSSP) ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 2 - 47 ไมครอน
 เครื่องมือตรวจวัดปริมาณน้ำหรือน้ำแข็งขนาดที่ตรวจวัดได้ King Liquid Water Content (KLWC) หน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ค่าสูงสุดของปริมาณน้ำหรือน้ำแข็งขนาด Liquid Water Content (LWC) ที่ตรวจวัดได้ หน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 ค่าสูงสุดของขนาดอนุภาค (Mean Volume Diameter; MVD) ที่ตรวจวัดได้ หน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ปริมาณความหนาแน่น หรือ ความจุ ปริมาตรของอนุภาค หน่วยเป็น จำนวนต่อคิวบิก
เครื่องมือตรวจวัดของภาคเมฆ (2-DC probe) ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 25 - 800 ไมครอน

ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค หน่วยเป็น ไมครอน
 ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค หน่วยเป็น ไมครอน
 ค่ามัธยฐานของขนาดอนุภาค หน่วยเป็น ไมครอน

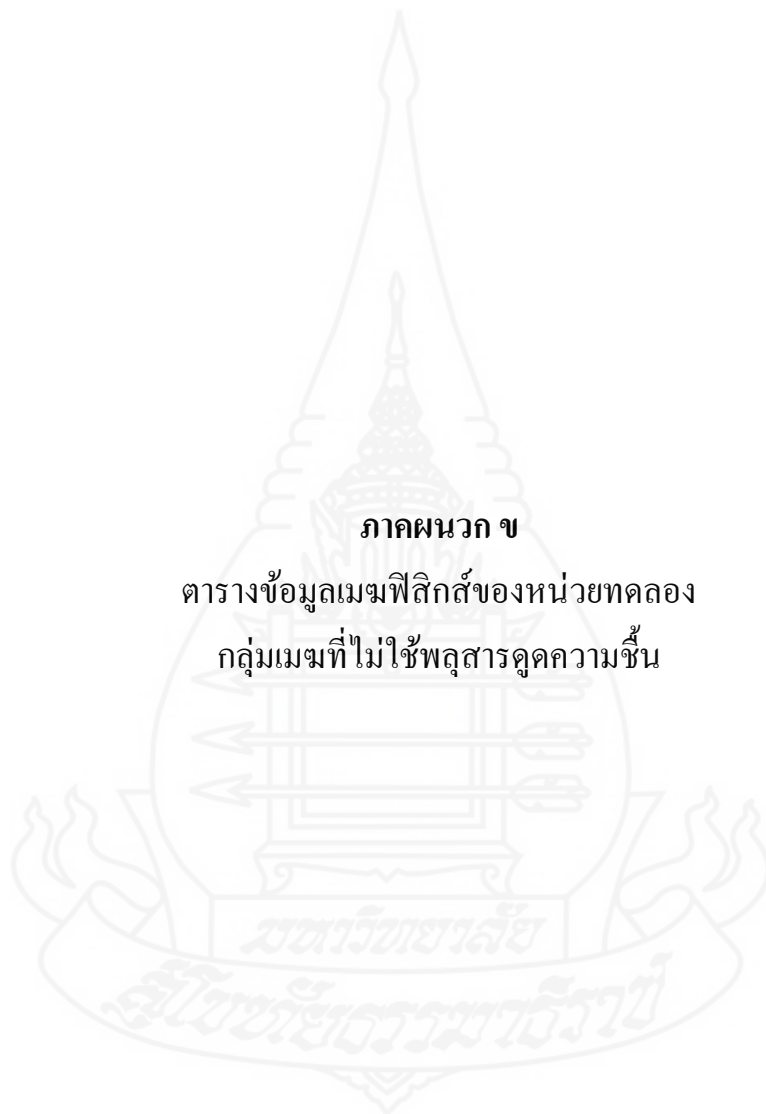
ปริมาณความหนาแน่น หรือ ความจุ ปริมาตรของอนุภาค หน่วยเป็น จำนวนต่อลิตร
เครื่องมือตรวจวัดเนเป้ (2-DP probe) ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 200 - 6,400 ไมครอน

ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค หน่วยเป็น ไมครอน
 ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค หน่วยเป็น ไมครอน
 ค่ามัธยฐานของขนาดอนุภาค หน่วยเป็น ไมครอน

ปริมาณความหนาแน่น หรือ ความจุ ปริมาตรของอนุภาค หน่วยเป็น จำนวนต่อลิตร
 ปริมาณความหนาแน่น หรือ ความจุ ปริมาตรของอนุภาค หน่วยเป็น จำนวนต่อลิตร
 ระบุ เมื่อมีแถบกำกับด้วย (Spread) ทำให้ต้องถือเอาค่าสูงสุดของขนาดอนุภาคที่ผิดพลาด

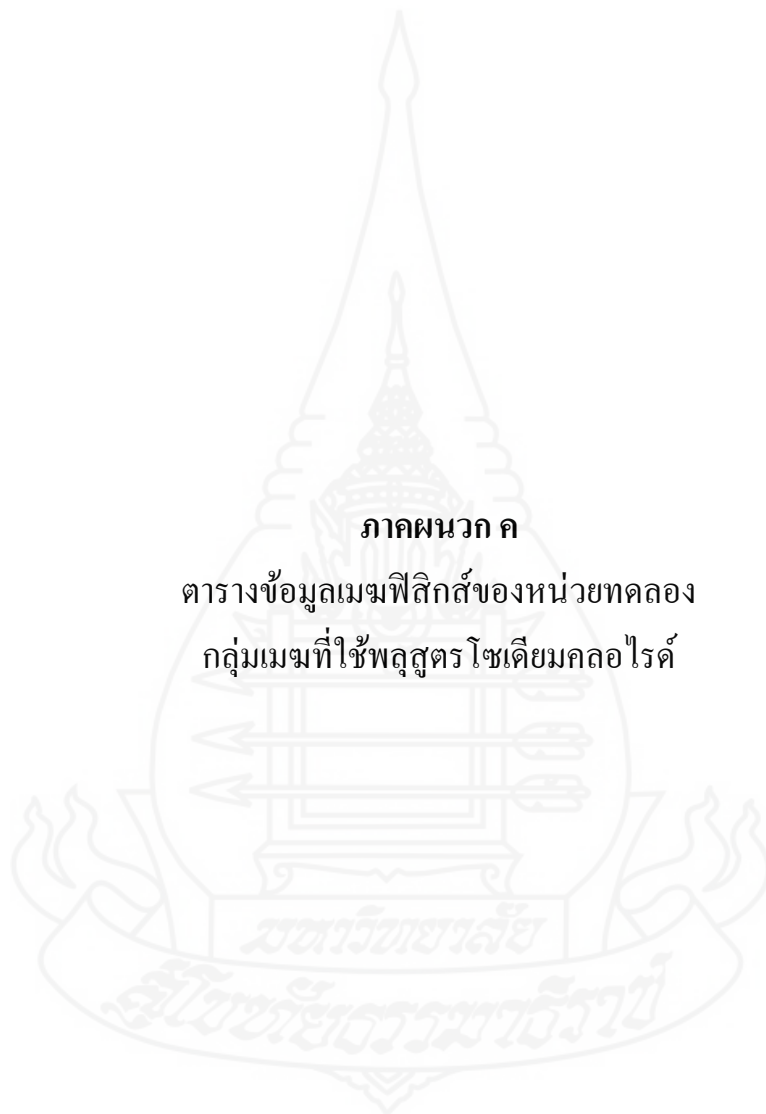
20 เป็นค่าอื่นนอกเหนือจากตาราง

21 คือชื่อของการปฏิบัติงาน



ภาคผนวก ข

ตารางข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของหน่วยทดลอง
กลุ่มเมฆที่ไม่ใช่พายุฝนฟ้าคะนอง



ภาคผนวก ค

ตารางข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของหน่วยทดลอง
กลุ่มเมฆที่ใช้พลูสูตรโซเดียมคลอไรด์

Cloud Profile Table

The flight director: Nueghatai
The flight operator: Thinkorn C

Date: 16-Aug-10
Flight ID: 100816.101
Cloud base: 3,265 ft, 23.2 C, 86 %

Cloud ID	Before in cloud						Maximum in cloud		Entry Time		Type of Hydrometeor						Exit Time		Time in Max Draft (ft/min)		FSSP				2-DC				2-DP						
	Altitude (ft)	Temp (°C)	RH (%)	Max RH (%)	Max H	Max Rdr	Temp (°C)	RH (%)	LT	Type of Hydrometeor						Cloud (s)	Up-draft	Down-draft	Max KLWC (gm/m ³)	LWC (gm/m ³)	Max MVD (um)	Total Conc. (#/cc)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Invalid data check
										D	R	F	G	C	P																				
Warm cloud Hygroscopic flare	3,995	21.4	89	0	5	M	21.6	106	16:08:26	-	-	-	-	-	-	-	18	411	-310	0.32	0.004	5.8	91.5	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
CIP1	4,001	21.4	87	0	6	M	21.5	112	16:09:39	-	-	-	-	-	-	-	71	629	-682	0.62	0.007	6.7	100.7	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
CIP2	3,981	21.5	92	2	4	M	21.4	109	16:36:28	✓	✓	-	-	-	-	-	87	545	-646	0.51	0.011	45.0	115.7	800	528	638	1000.0	124	0	0	0	0	0	0.0	

Max Rdr = Max contour level on Aircraft radar [(0)(No Echo), 1(Green), 2(Yellow), 3(Std), 4(Purple)] H = Height of Cloud top above Aircraft [*1000 ft] A = Appearance of Cloud [H for hard, M for Medium, S for soft and G for glaciated]
D = Drizzle R = Rain F = Frozen drop G = Graupel P = Plate C = Column J = Junk
P = Plate D = Dandruff A = Aggregate

Cloud Profile Table

The flight director: Thinkorn C
The flight operator: Suthipong

Date: 19-Aug-10
Flight ID: 100819.102
Cloud base: 3,416 ft, 23 C, 86 %

Cloud ID	Before in cloud						Maximum in cloud		Entry Time		Type of Hydrometeor						Exit Time		Time in Max Draft (ft/min)		FSSP				2-DC				2-DP						
	Altitude (ft)	Temp (°C)	RH (%)	Max RH (%)	Max H	Max Rdr	Temp (°C)	RH (%)	LT	Type of Hydrometeor						Cloud (s)	Up-draft	Down-draft	Max KLWC (gm/m ³)	LWC (gm/m ³)	Max MVD (um)	Total Conc. (#/cc)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Invalid data check
										D	R	F	G	C	P																				
Warm cloud Hygroscopic flare	3,967	21.6	88	0	7	M	21.2	110	15:47:50	-	-	-	-	-	-	-	20	288	-344	0.80	0.013	7.1	118.2	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
CIP1	3,975	21.3	92	0	6	M	21.5	105	16:30:13	-	-	-	-	-	-	-	33	483	-244	0.80	0.014	7.0	113.3	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0

Max Rdr = Max contour level on Aircraft radar [(0)(No Echo), 1(Green), 2(Yellow), 3(Std), 4(Purple)] H = Height of Cloud top above Aircraft [*1000 ft] A = Appearance of Cloud [H for hard, M for Medium, S for soft and G for glaciated]
D = Drizzle R = Rain F = Frozen drop G = Graupel P = Plate C = Column J = Junk
P = Plate D = Dandruff A = Aggregate

Cloud Profile Table

The flight director: Thinkorn C
The flight operator: Suthipong

Date: 27-Aug-10
Flight ID: 100827.101
Cloud base: 3,518 ft, 23 C, 90 %

Cloud ID	Before in cloud						Maximum in cloud		Entry Time		Type of Hydrometeor						Exit Time		Time in Max Draft (ft/min)		FSSP				2-DC				2-DP						
	Altitude (ft)	Temp (°C)	RH (%)	Max RH (%)	Max H	Max Rdr	Temp (°C)	RH (%)	LT	Type of Hydrometeor						Cloud (s)	Up-draft	Down-draft	Max KLWC (gm/m ³)	LWC (gm/m ³)	Max MVD (um)	Total Conc. (#/cc)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Invalid data check
										D	R	F	G	C	P																				
Warm cloud Hygroscopic flare	4,038	21.3	95	0	7	H	21.4	107	15:30:38	-	-	-	-	-	-	-	54	479	-519	0.38	0.005	6.3	116.5	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
CIP1	4,033	21.5	95	4	11	M	21.7	115	15:57:02	✓	✓	-	-	-	-	-	55	372	-390	0.68	0.009	27.3	114.5	800	460	450	1000.0	6300	1044	825	859.3	-			

Max Rdr = Max contour level on Aircraft radar [(0)(No Echo), 1(Green), 2(Yellow), 3(Std), 4(Purple)] H = Height of Cloud top above Aircraft [*1000 ft] A = Appearance of Cloud [H for hard, M for Medium, S for soft and G for glaciated]
D = Drizzle R = Rain F = Frozen drop G = Graupel P = Plate C = Column J = Junk
P = Plate D = Dandruff A = Aggregate

Cloud Profile Table

Date: 28-May-11
Flight ID: 110528.201
Cloud base: 2,909 ft, 24.2 C, 80 %

The flight director: Nuenghatari
The flight operator: Sutthipong
Remark: 2-DP, 2-DC Error

Table with columns: Cloud ID, Before in cloud (Altitude, Temp, RH, Max H, Max A, Max Rdr), Maximum in cloud (Temp, RH), Entry Time, Type of Hydrometeor, Exit Time, Time in Max Draft (Updraft, Down draft), Max KLWC, FSSP (LWC, Max MVD, Total Conc), 2-DC (Max, Mean, Median, Total Conc), 2-DP (Max, Mean, Median, Total Conc), Invalid data check.

Max Rdr = Max contour level on Aircraft radar (00No Echo), (Green), 2(yellow), 3(Red), 4(Purple) H = Height of Cloud top above Aircraft (#1000 ft) A = Appearance of Cloud (H for hard, M for Medium, S for soft and G for glaciated) D = Ditzels R = Rain F = Frozen drop G = Graupel P = Plate C = Column J = Junk A = Aggregate

Cloud Profile Table

Date: 31-May-11
Flight ID: 110531.201
Cloud base: 3,105 ft, 23.8 C, 85 %

The flight director: Nuenghatari
The flight operator: Aroon
Remark: Weather Radar and 2-DP Probe error

Table with columns: Cloud ID, Before in cloud (Altitude, Temp, RH, Max H, Max A, Max Rdr), Maximum in cloud (Temp, RH), Entry Time, Type of Hydrometeor, Exit Time, Time in Max Draft (Updraft, Down draft), Max KLWC, FSSP (LWC, Max MVD, Total Conc), 2-DC (Max, Mean, Median, Total Conc), 2-DP (Max, Mean, Median, Total Conc), Invalid data check.

Max Rdr = Max contour level on Aircraft radar (00No Echo), (Green), 2(yellow), 3(Red), 4(Purple) H = Height of Cloud top above Aircraft (#1000 ft) A = Appearance of Cloud (H for hard, M for Medium, S for soft and G for glaciated) D = Ditzels R = Rain F = Frozen drop G = Graupel P = Plate C = Column J = Junk A = Aggregate

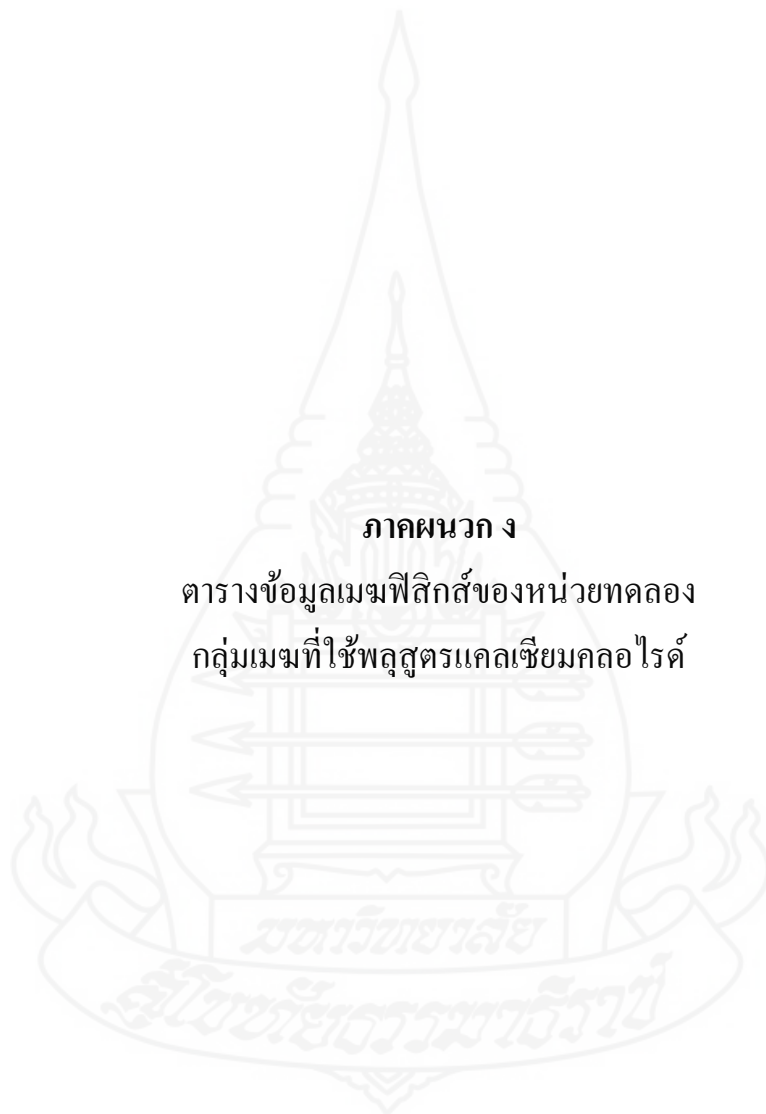
Cloud Profile Table

Date: 26-Jul-11
Flight ID: 110726.201
Cloud base: 2,339 ft, 23.1 C, 97 %

The flight director: Nuenghatari
The flight operator: Sutthipong
Remark:

Table with columns: Cloud ID, Before in cloud (Altitude, Temp, RH, Max H, Max A, Max Rdr), Maximum in cloud (Temp, RH), Entry Time, Type of Hydrometeor, Exit Time, Time in Max Draft (Updraft, Down draft), Max KLWC, FSSP (LWC, Max MVD, Total Conc), 2-DC (Max, Mean, Median, Total Conc), 2-DP (Max, Mean, Median, Total Conc), Invalid data check.

Max Rdr = Max contour level on Aircraft radar (00No Echo), (Green), 2(yellow), 3(Red), 4(Purple) H = Height of Cloud top above Aircraft (#1000 ft) A = Appearance of Cloud (H for hard, M for Medium, S for soft and G for glaciated) D = Ditzels R = Rain F = Frozen drop G = Graupel P = Plate C = Column J = Junk A = Aggregate



ภาคผนวก ง

ตารางข้อมูลเมฆฟิสิกส์ของหน่วยทดลอง
กลุ่มเมฆที่ใช้พลศาสตร์แคลเซียมคลอไรด์

Cloud Profile Table

Date: 27-Jul-10 The flight director: Nuengthatai
Flight ID: 100727.101 The flight operator: Thanapon
Cloud base: 3,026 ft, 22.4 C, 86 %

Table with columns: Cloud ID, Before in cloud, Maximum in cloud, Entry Time, Type of Hydrometeor, Exit Time, Time in Max Draft, Max, FSSP, 2-DC, 2-DP.

Remark: -
D = Drizzle R = Rain
F = Frozen drop
G = Graupel

Cloud Profile Table

Date: 28-Jul-10 The flight director: Thinkorn C
Flight ID: 100728.102 The flight operator: Sunaipong
Cloud base: 3,009 ft, 23.7 C, 82 %

Table with columns: Cloud ID, Before in cloud, Maximum in cloud, Entry Time, Type of Hydrometeor, Exit Time, Time in Max Draft, Max, FSSP, 2-DC, 2-DP.

Remark: -
D = Drizzle R = Rain
F = Frozen drop
G = Graupel

Max Rdr = Max contour level on Aircraft radar (0 (No Echo), 1 (Green), 2 (Yellow), 3 (Red), 4 (Purple)) H = Height of Cloud top above Altcraft (*1000 ft) A = Apperances of Cloud
D = Drizzle F = Frozen drop G = Graupel P = Plate

Cloud Profile Table

Date: 11-Aug-10
 Flight ID: 1100811.101
 Cloud base: 3,013 ft, 23.1 C, 89 %
 The flight director: Nuenghaiait
 The flight operator: Thamphon

Remark: -

Cloud ID	Before in cloud				Maximum in cloud				Entry Time		Type of Hydrometeor							Exit Time		Time in Max Draft (ft/min)		FSSP			2-DC			2-DP													
	Altmde (ft)	Temp (°C)	RH (%)	Max H A Rdr	Temp (°C)	RH (%)	Max H A Rdr	RH (%)	(LT)	(LT)	D	R	F	G	C	P	D	A	J	Cloud (s)	Up/draft	Down draft	Max (gm/m ³)	KLWC (gm/m ³)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Invalid data check
Warm cloud Hygroscopic flare																																									
CIP1 SEED CaCl ₂	4,443	20.7	88	0	6	20.6	109	14:56:12	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14:56:47	36	338	-323	0.40	0.012	6.8	128.3	800	0	0	0.0	0	0	0	0.0	0	0	0.0	-		
CIP2 SEED CaCl ₂	4,531	20.7	87	0	5.5	20.7	103	15:15:44	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15:16:14	31	314	-457	0.41	0.013	33.1	112.8	800	0	0	0.0	0	0	0	0.0	0	0	0.0	-		
C2P1	4,519	21.0	83	0	6.5	21.2	106	15:22:09	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15:22:48	40	414	-595	0.63	0.014	7.3	130.2	800	355	249	1.6	0	0	0	0.0	0	0	0.0	-		
C3P1	4,519	20.4	92	2	7.5	20.3	109	15:38:11	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15:39:06	56	346	-496	0.43	0.009	11.4	125.1	800	371	302	415.5	6300	3674	4500	534.0	-	-	-	-		

Max Rd = Max contour level on Aircraft radar [0(Geo Echo), 1(Green), 2(yellow), 3(Red), 4(Purple)] H = Height of Cloud top above Aircraft (+1000 ft) A = Appearance of Cloud [H for hard, M for Medium, S for soft and G for glaciated]
 D = Drizzle R = Rain F = Frozen drop G = Graupel P = Plate C = Column J = Junk
 A = Aggregate D = Dandrife

Cloud Profile Table

Date: 12-May-11
 Flight ID: 110512.101
 Cloud base: 3,507 ft, 24 C, 84 %
 The flight director: Nuenghaiait
 The flight operator: Suttipong

Remark: -

Cloud ID	Before in cloud				Maximum in cloud				Entry Time		Type of Hydrometeor							Exit Time		Time in Max Draft (ft/min)		FSSP			2-DC			2-DP													
	Altmde (ft)	Temp (°C)	RH (%)	Max H A Rdr	Temp (°C)	RH (%)	Max H A Rdr	RH (%)	(LT)	(LT)	D	R	F	G	C	P	D	A	J	Cloud (s)	Up/draft	Down draft	Max (gm/m ³)	KLWC (gm/m ³)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Max (um)	Mean (um)	Median (um)	Total Conc. (#/l)	Invalid data check
Warm cloud Hygroscopic flare																																									
CIP1 SEED CaCl ₂	5,666	19.3	75	0	6.4	19.5	117	14:28:23	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14:30:05	103	572	-508	0.52	0.007	12.5	109.1	800	65	36	7.6	6300	1053	438	10.6	-					
CIP2 SEED CaCl ₂	5,657	19.6	69	1	6.4	19.5	116	15:05:22	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15:06:47	86	714	-715	0.72	0.008	38.0	113.1	800	207	66	1000.0	6300	1347	825	583.2	-					

Max Rd = Max contour level on Aircraft radar [0(Geo Echo), 1(Green), 2(yellow), 3(Red), 4(Purple)] H = Height of Cloud top above Aircraft (+1000 ft) A = Appearance of Cloud [H for hard, M for Medium, S for soft and G for glaciated]
 D = Drizzle R = Rain F = Frozen drop G = Graupel P = Plate C = Column J = Junk
 A = Aggregate D = Dandrife

Cloud Profile Table

Date: 16-May-11
 The flight director: Nuenghatai
 Flight ID: 110516.101
 The flight operator: Sutthipong
 Cloud base: 3,507 ft, 23.7 C, 81 %

Remark: -

Cloud ID	Before in cloud											2-DC						2-DP																	
	Maximum in cloud					Type of Hydrometeor						Exit Time			Time in Max Draft (ft/min)			FSSP			Total Conc. (#/l)			Invalid											
	Altitude (ft)	Temp (°C)	RH (%)	Max H A Rdr	Temp (°C)	RH (%)	D	R	F	G	C	P	A	J	Cloud (s)	Updraft	Down draft	Max KLWC (gm/m³)	Max MVD (µm)	Total Conc. (#/cc)	Max (µm)	Mean (µm)	Median (µm)	Total Conc. (#/l)	Max (µm)	Mean (µm)	Median (µm)	Total Conc. (#/l)	Max (µm)	Mean (µm)	Median (µm)	Total Conc. (#/l)	data check		
Warm cloud Hygroscopic flare																																			
CIP1	4,494	20.3	87	0	6	M								-	408	-759		0.71	106.8	7.2	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
C2P1 SEED CaCl ₂	4,485	20.9	77	0	6	M								-	718	-513		0.77	110.7	6.8	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
C2P2 SEED CaCl ₂	4,504	20.7	81	0	6	M								-	646	-378		0.60	107.7	6.5	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	

Max Rd = Max contour level on Alcraft radar [(0% Echo), 1(Green), 2(yellow), 3(Red), 4(Purple)] H = Height of Cloud top above Aircraft; (#1000 Ft) A = Appearance of Cloud [H for hard, M for Medium, S for soft and G for glaciated]
 D = Drizzle R = Rain
 F = Frozen drop
 G = Graupel C = Column P = Plate
 J = Junk
 A = Aggregate
 D = Dandrite

Cloud Profile Table

Date: 25-May-11
 The flight director: Nuenghatai
 Flight ID: 110525.101
 The flight operator: Pakdee
 Cloud base: 3,201 ft, 23.9 C, 74 %

Remark: C2P1 2DP Error

Cloud ID	Before in cloud											2-DC						2-DP																	
	Maximum in cloud					Type of Hydrometeor						Exit Time			Time in Max Draft (ft/min)			FSSP			Total Conc. (#/l)			Invalid											
	Altitude (ft)	Temp (°C)	RH (%)	Max H A Rdr	Temp (°C)	RH (%)	D	R	F	G	C	P	A	J	Cloud (s)	Updraft	Down draft	Max KLWC (gm/m³)	Max MVD (µm)	Total Conc. (#/cc)	Max (µm)	Mean (µm)	Median (µm)	Total Conc. (#/l)	Max (µm)	Mean (µm)	Median (µm)	Total Conc. (#/l)	Max (µm)	Mean (µm)	Median (µm)	Total Conc. (#/l)	data check		
Warm cloud Hygroscopic flare																																			
CIP1 SEED CaCl ₂	5,282	19.9	86	0	5	M								-	536	-763		0.88	106.6	12.4	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
CIP2 SEED CaCl ₂	5,192	20.3	84	3	7	M								✓	676	-625		0.87	110.9	41.4	800	313	275	1000.0	6300	1553	1156	1000.0	0	0	0	0	0	-	
C2P1 NO SEED	4,894	20.8	84	0	5.5	M								-	810	-194		0.72	122.8	7.3	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	splash
C2P2 NO SEED	4,702	21.3	85	3	7.5	M								✓	1,322	-512		0.72	8.8	33.4	800	257	154	1000.0	6300	1727	1237	1000.0	0	0	0	0	0	-	

Max Rd = Max contour level on Alcraft radar [(0% Echo), 1(Green), 2(yellow), 3(Red), 4(Purple)] H = Height of Cloud top above Aircraft; (#1000 Ft) A = Appearance of Cloud [H for hard, M for Medium, S for soft and G for glaciated]
 D = Drizzle R = Rain
 F = Frozen drop
 G = Graupel C = Column P = Plate
 J = Junk
 A = Aggregate
 D = Dandrite

Cloud Profile Table

Date: 01-Jun-11
 The flight director: Nuenghatai
 Flight ID: 110601.201
 The flight operator: Aroon
 Cloud base: 3,231 ft, 23.6 C, 91 %

Remark: 2-DP error

Cloud ID	Before in cloud											2-DC						2-DP																	
	Maximum in cloud					Type of Hydrometeor						Exit Time			Time in Max Draft (ft/min)			FSSP			Total Conc. (#/l)			Invalid											
	Altitude (ft)	Temp (°C)	RH (%)	Max H A Rdr	Temp (°C)	RH (%)	D	R	F	G	C	P	A	J	Cloud (s)	Updraft	Down draft	Max KLWC (gm/m³)	Max MVD (µm)	Total Conc. (#/cc)	Max (µm)	Mean (µm)	Median (µm)	Total Conc. (#/l)	Max (µm)	Mean (µm)	Median (µm)	Total Conc. (#/l)	Max (µm)	Mean (µm)	Median (µm)	Total Conc. (#/l)	data check		
Warm cloud Hygroscopic flare																																			
CIP1 SEED CaCl ₂	4,323	21.6	88	0	5.5	M								-	385	-59		0.44	104.4	14.3	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
CIP2 SEED CaCl ₂	4,668	20.9	88	3	7.5	M								✓	549	-711		0.74	117.4	42.3	800	407	463	1000.0	251	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
C2P1 SEED CaCl ₂	5,137	20.2	87	0	4	M								-	630	-269		1.24	97.3	7.3	800	96	60	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
C2P2 SEED CaCl ₂	5,115	20.5	82	1	5	S								✓	391	-235		0.24	70.4	45.1	800	437	513	67.6	16	0	0	0	0	0	0	0	-		

Max Rd = Max contour level on Alcraft radar [(0% Echo), 1(Green), 2(yellow), 3(Red), 4(Purple)] H = Height of Cloud top above Aircraft; (#1000 Ft) A = Appearance of Cloud [H for hard, M for Medium, S for soft and G for glaciated]
 D = Drizzle R = Rain
 F = Frozen drop
 G = Graupel C = Column P = Plate
 J = Junk
 A = Aggregate
 D = Dandrite

ประวัติผู้ศึกษา

ชื่อ	นางสาวหนึ่งหทัย ตันดิปลับทอง
วัน เดือน ปีเกิด	22 ธันวาคม 2513
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต วิทยาลัยครูบ้านสมเด็จเจ้าพระยา 2535
สถานที่ทำงาน	กรมฝนหลวงและการบินเกษตร กรุงเทพมหานคร
ตำแหน่ง	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ

