สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องจำลองการทำฝน

Rainfall simulator

นายนำโชค ปิ่มแปง
นายนิติพัทธ์ จันทร์แสงสุก
นายสมศักดิ์ แซ่แต้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 103112
วัน,เดือน,ปี 28 ส.ค. 2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องจำลองการทำฝน

Rainfall simulator

โดย

นายนำโชค ปิมแปง

นายนิติพัทธ์ จันทร์แสงสุก

นายสมศักดิ์ แซ่แต้

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องจำลองการทำฝน

Rainfall simulator

ผู้จัดทำ

1. นายนำโชค ปิมแปง รหัสประจำตัว 49015614
2. นายนิติพัทธ์ จันทร์แสงสุก รหัสประจำตัว 49015615
3. นายสมศักดิ์ แซ่แต้ รหัสประจำตัว 49015643

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.ทรงวุฒิ แสงจันทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องจำลองการทำฝน

นายนำโชค ปิมแปง 49015614
นายนิติพัทธ์ จันทร์แสงสุก 49015615
นายสมศักดิ์ แซ่แต้ 49015643
ผศ.ดร. ทรงวุฒิ แสงจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ฝนเป็นปัจจัยต่อการทำการศึกษาวิจัยทางด้านอุทกวิทยา ชลประทานและการอนุรักษ์ดิน เนื่องจากเราไม่สามารถจะกำหนดได้ว่าฝนจะตกเมื่อไร หรือตกแต่ละครั้งมีความเข้มของฝนเท่าใด วัตถุประสงค์ของโครงงานคือการสร้างเครื่องมือจำลองการพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว เครื่องมือจำลองการทำฝนได้ใช้หัวจ่าย 3 ชนิด เพื่อเปรียบเทียบการกระจายของน้ำฝน ผลการทดลองพบว่าที่ความดัน 0.3 - 1 บาร์ ความเข้มของฝนอยู่ระหว่าง 48.42 - 65.57 มิลลิเมตร/ชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสมอ Christiansen Unifgrmity Coefficient (CU) 53.25 - 87.5 เปอร์เซ็นต์ ค่าดักลางของขนาดเม็ดฝนอยู่ระหว่าง 3 – 4 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่า เครื่องจำลองการทำฝน สามารถทำฝนเลียนแบบลักษณะของฝนตามธรรมชาติได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rainfall Simulator

Namchok pimpaeng

Nitipat Jansangsok

Somsak cata

Assist prof.Dr.Songvoot Sangchan Advisor

2008

ABSTRACT

Rain is essential for the research concerning hydrology, irrigation and soil conservation. But it is difficult to predict when the rain will fall. And also intensity is difficult to predict. The objective of the project was to constrnct rainfall simulator to solve the said problems. By using three types of sprikler to compare rainfall distribution. The results shown that, at pressure varied 0.3 – 1 bar the rainfall intensities varied from 48.42 – 65.57 mm. / hr. The variation of the Christiansen Uniformity Coefficient (CU) were from 53.25 – 87.5 percent. The median of raindrops varied from 3 – 4 mm. From the results of testing, the rainfall simulator can make the rainfall similar to the natural one.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆฝ่ายด้วยกันบุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือผศ.ดร. ทรงวุฒิ แสงจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมาซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายนำโชค ปิ่มแปง
นายนิติพัทธ์ จันทร์แสงสุก
นายสมศักดิ์ แซ่แต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การเกิดฝน	3
2.2 ประโยชน์ของฝน	4
2.3 ปริมาณน้ำฝนในประเทศไทย	5
2.4 ทฤษฎีของเครื่องจำลองการทำฝน (Rainfall Simulator)	6
2.5 ประเภทของเครื่องจำลองการทำฝน	6
2.6 การจำลองฝนตก	8
2.7 การพัฒนาของเครื่องจำลองการทำฝน	8
2.8 ลักษณะความสำคัญของการจำลอง	9
บทที่ 3 การออกแบบและการทดลอง	10
3.1 การออกแบบสร้างเรื่องจำลองการทำฝน	10
3.2 การทดลอง	10
บทที่ 4 ผลการทดลอง	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์ 25
5.1 สรุป 25
5.2 ข้อเสนอแนะ 25
ภาคผนวก ก 26
ภาคผนวก ข 32
บรรณานุกรม 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ภาพฝนตก 4

รูปที่ 3.1 เครื่องจำลองการทำฝนด้านหน้า 10
รูปที่ 3.2 เครื่องจำลองฝนในมุมเต็ม 11
รูปที่ 3.3 หัวจ่ายน้ำแบบตรง 12
รูปที่ 3.4 หัวจ่ายแบบเอียง 12
รูปที่ 3.5 หัวจ่ายแบบหมุน 13
รูปที่ 3.6 แสดงแบบการวางกระบอกเก็บตัวอย่างน้ำ 14
รูปที่ 3.7 กล้องถ่ายภาพ Fuji รุ่น FinePix S9600 15
รูปที่ 3.8 แฝงตะแกรงรูขนาน 5 mm. 15
รูปที่ 4.1 การว่างกระบอกตามลักษณะที่ออกแบบ 17
รูปที่ 4.2 ตะแกรงทดลองหยดน้ำฝนขนาด (3 mm.) 20
รูปที่ 4.3 การทำงานของเครื่องทำน้ำฝน ที่หัวจ่ายแบบตรง 22
รูปที่ 4.4 การทำงานของเครื่องทำน้ำฝน ที่หัวจ่ายแบบหมุน 22
รูปที่ 4.5 การทำงานของเครื่องทำน้ำฝน ที่หัวจ่ายแบบเอียง 23
รูปที่ ข.1 การติดตั้งหัวจ่ายน้ำแบบหมุนที่ติดตั้งกับโครงสร้าง 33
รูปที่ ข.2 ลักษณะของหยดน้ำที่ออกจากหัวจ่ายน้ำแบบหมุน 33
รูปที่ ข.3 การติดตั้งหัวจ่ายน้ำแบบเอียงที่ยึดติดกับโครงสร้าง 34
รูปที่ ข.4 ลักษณะของหยดน้ำที่ออกจากหัวจ่ายน้ำแบบเอียง 34
รูปที่ ข.5 ลักษณะการปล่อยน้ำของหัวจ่ายตรง 35
รูปที่ ข.6 ผลการทดลองที่ได้จากการทดลอง 35
รูปที่ ข.7 เก็บค่าการทดลอง 36
รูปที่ ข.8 การปรับหัวจ่ายน้ำ 36
รูปที่ ข.9 รูปของหยดน้ำที่ได้จากการทดลอง 37
รูปที่ ข.10 โครงสร้างรวมทั้งหมดของเครื่องจำลองการทำฝน 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ตารางแสดงปริมาณน้ำฝนในประเทศไทย	5
ตารางที่ 2 แสดงค่าความดัน ความเข้ม และประสิทธิ์ภาพการกระจาย	18
ตารางที่ ก.1 ค่าความดันที่วัดได้จากหัวจ่ายแบบตรงที่ความดันต่าง ๆ	27
ตารางที่ ก.2 ค่าความดันที่วัดได้จากหัวจ่ายแบบหมุนที่ความดันต่าง ๆ	28
ตารางที่ ก.3 ค่าความดันที่วัดได้จากหัวจ่ายแบบเอียงที่ความดันต่าง ๆ	29
ตารางที่ ก.4 เปอร์เซ็นต์น้ำสะสม ที่ความดัน 1 bar	30
ตารางที่ ก.5 เปอร์เซ็นต์น้ำสะสม ที่ความดัน 0.5 bar	30
ตารางที่ ก.6 เปอร์เซ็นต์น้ำสะสม ที่ความดัน 0.3 bar	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ฝนเป็นปัจจัยสำคัญต่อการทำวิจัยทางด้านอุทกวิทยา ชลประทานและการอนุรักษ์ดิน โดยเฉพาะในงานวิจัยเกี่ยวกับเรื่องการกัดเซาะของดิน แต่การรอฝนตามธรรมชาติจะเกิดปัญหาสำคัญต่องานวิจัยที่มีระยะเวลาจำกัด เนื่องจากเราไม่สามารถคาดคะเนฝนได้อย่างแม่นยำว่าฝนจะตกที่ไหนและเมื่อไร หรือการตกแต่ละครั้งมีความเข้มของฝนเท่าใด ดังนั้นงานวิจัยดังกล่าวจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องจำลองน้ำฝน (**Rainfall Simulator**) เพื่อสร้างฝนเทียมขึ้นมา เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว อย่างไรก็ตามเครื่องจำลองน้ำฝนที่ใช้อยู่ในต่างประเทศนั้นมีราคาค่อนข้างแพง งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการสร้างเครื่องจำลองน้ำฝน โดยได้ทำการคัดเลือกหัวจ่ายน้ำที่มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศไทย นำมาเป็นหัวจ่ายน้ำ เพื่อสร้างฝนเทียมที่สามารถเลียนแบบฝนตามธรรมชาติให้ได้มากที่สุด เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายที่จะจัดซื้อเครื่องจำลองน้ำฝนจากต่างประเทศ

จุดประสงค์อันดับแรกของเครื่องจำลองการทำฝน จะเป็นการเรียนแบบการตกของฝนให้คล้ายธรรมชาติ การเลียนแบบฝนตกอย่างเหมาะสมต้องอาศัยหลายกฎเกณฑ์

1.1.1 ขนาดการกระจายของเม็ดฝนต้องใกล้เคียงกับธรรมชาติ

1.1.2 อัตราความเร็วการตกกระทบใกล้เคียงกับความเร็วปลายของฝนตามธรรมชาติ

1.1.3 รูปแบบขนานความหนาแน่นของฝนและการกระจายตัวของฝน

1.1.4 รูปแบบการตกของฝนในพื้นที่ทดลอง

1.1.5 การตั้งมุมของการตกกระทบ

1.1.6 การจำลองรูปแบบการตกของพายุ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1เพื่อศึกษาลักษณะสภาพการตกของฝน

1.2.2เพื่อศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องจำลองการทำฝน

1.2.3เพื่อสามารถทำเครื่องจำลองการทำฝนไปใช้ในการทดลองหรือทำงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตกของฝน

1.3.2 พัฒนาเครื่องจำลองการทำฝน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เครื่องจำลองการทำฝนที่มีสภาพของการตกซึ่งคล้ายกับการตกจริงของฝนตามธรรมชาติ ทั้งปริมาณของฝน ความแรงของฝน มุมตกกระทบ การกระจายของฝน และความหนาแน่นของฝน

1.4.2 สามารถนำเครื่องจำลองการทำฝนไปศึกษาในที่ต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเกิดฝน

ฝนตกเกิดจาก น้ำโดนความร้อนของแสงจากดวงอาทิตย์หรือความร้อนอื่นใดที่ใช้ในการต้มน้ำ จนทำให้ระเหยกลายเป็นไอน้ำ ลอยขึ้นไปในอากาศ เมื่อไอน้ำมากขึ้นจะรวมตัวกันเป็นละอองน้ำเล็กๆ ปริมาณของละอองน้ำยิ่งมากขึ้นเรื่อยๆก็จะรวมตัวกันเป็นเมฆฝน พอมากเข้าอากาศไม่สามารถพยุงละอองน้ำเหล่านี้ต่อไปได้ น้ำก็จะหล่นลงมายังผืนโลกให้เราเรียกขานกันว่าฝนตก วัฏจักรของน้ำที่เกิดขึ้น เป็นอย่างนี้มาตลอดตั้งแต่โลกใบกลมของเราเกิดขึ้นมา และคงดำเนินต่อไปเรื่อยๆชั่วกัปกัลป์

ฝนที่ตกลงมานั้นเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของวัฏจักรของอุทกวิทยา ซึ่งน้ำจากผิวน้ำในมหาสมุทรระเหยกลายเป็นไอ ควบแน่นเป็นละอองน้ำในอากาศ ซึ่งรวมตัวกันเป็นเมฆ และในที่สุดตกลงมาเป็นฝน ไหลลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง ไปสู่ทะเล มหาสมุทร และวนเวียนเช่นนี้เป็นวัฏจักรไม่สิ้นสุด

ปริมาณน้ำฝนนั้นวัดโดยใช้ มาตรวัดน้ำฝน โดยเป็นการวัดความลึกของน้ำที่ตกลงมาสะสมบนพื้นผิวเรียบ สามารถวัดได้ละเอียดถึง 0.25 มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว บางครั้งใช้หน่วย ลิตรต่อตารางเมตร (1 L/m? = 1 mm)

เกิดจากอนุภาคของไอน้ำขนาดต่างๆในก้อนเมฆเมื่อมีขนาดใหญ่ขึ้นจนไม่สามารถลอยตัวอยู่ในก้อนเมฆได้ก็จะตกลงมาเป็นฝน ฝนจะตกลงมายังพื้นดินได้นั้นจะต้องมีเมฆเกิดในท้องฟ้าก่อน เมฆมีอยู่หลายชนิด มีเมฆบางชนิดเท่านั้นที่ทำให้มีฝนตก เราทราบแล้วว่าไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นเมฆก็ต่อเมื่อมีอนุภาคกลั่นตัวเล็กๆอยู่เป็นจำนวนมากเพียงพอและไอน้ำจะเกาะตัวบนอนุภาคเหล่านี้รวมกันทำให้เกิด เป็นเมฆ เมฆจะกลั่นตัวเป็นน้ำฝนได้ก็ต้องมีอนุภาคแข็งตัว(Freezing nuclei) หรือเม็ดน้ำขนาดใหญ่ซึ่งจะดึงเม็ดน้ำขนาดเล็กมารวมตัว กันจนเป็นเม็ดฝน สภาวะของน้ำที่ตกลงมาจากท้องฟ้าอาจเป็นลักษณะของฝน,ฝนละอองหิมะหรือลูกเห็บซึ่งเรารวมเรียกว่าน้ำฟ้าจะตกลง มาในลักษณะไหนขึ้นอยู่กับอุณห์ภูมิของอากาศในพื้นที่นั้นๆ น้ำฟ้าต้องเกิดจากเมฆ ไม่มีเมฆไม่มีน้ำฟ้าแต่เมื่อมีเมฆไม่จำเป็นต้องมีน้ำฟ้า เสมอไปเพราะเมฆหลายชนิดที่ลอยอยู่เฉยๆไม่ตกลงมา มีเมฆบางชนิดเท่านั้นที่ทำให้เกิดน้ำฟ้า โดยปกติแล้ว ฝนจะมีค่า pH ต่ำกว่า 6 เล็กน้อย เนื่องมาจากการรับเอาคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเข้ามาซึ่งทำให้ส่งผลเป็นกรดคาร์บอนิก ในพื้นที่ที่เป็นทะเลทรายนั้นฝุ่นในอากาศจะมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูง ซึ่งส่งผลต่อต้านความเป็นกรด ทำให้ฝนนั้นมีค่าเป็นกลาง หรือ แม้กระทั่งเป็นเบส ฝนที่มีค่า pH ต่ำกว่า 5.6 นั้นถือว่าเป็น ฝนกรด (acid rain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 ภาพฝนตก

2.2ประโยชน์ของฝน

ประเทศไทยได้รับประโยชน์จากน้ำฝนมากเพราะมีฤดูฝนยาวนานห้าเดือนครึ่งฤดูฝนเริ่มตั้งแตประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมฤดูฝนนี้เกิดจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดมาจากมหาสมุทรอินเดียเข้าสู่ประเทศไทยลมนี้เป็นลมร้อนและชื้นมีไอน้ำมากทำให้เกิดเมฆและฝนตกสม่ำเสมอตลอดฤดูฝนโดยเฉลี่ยฝนที่ตกมีประมาณ๑,๐๐๐มิลลิเมตรประโยชน์ของน้ำฝนในประเทศไทยมีดังต่อไปนี้ ชาวนาใช้น้ำฝนปลูกข้าวทำนาปี โดยเริ่มต้นการทำนาในตอนต้นฤดูฝน ข้าวเป็นพืชที่ต้องการน้ำมากฝนที่ตกหนักในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายนจะช่วยให้ต้นข้าวในนาออกดอกออกรวงดีเมล็ดข้าวจะ แก่จัดพร้อมให้เก็บเกี่ยวได้ช่วงหมดฤดูฝนซึ่งเป็นเวลาที่เหมาะเพราะอากาศแห้งเมล็ดข้าวจะไม่เปียกเสียหาย ชาวนาส่วนใหญ่ทำนาในฤดูฝน แต่ก็อาจทำนอกฤดูฝนได้เหมือนกัน ถ้าพื้นที่นามีการชลประทานดีและมีแหล่งน้ำอื่น เช่นอ่างเก็บน้ำร่วมด้วย การทำนานอกฤดูฝน เรียกว่า การทำนาปรัง ข้าวเป็นผลิตผลทางเกษตรที่สำคัญที่สุดของไทย นอกจากใช้บริโภคภายในประเทศแล้ว ยังส่งขายเป็นสินค้าออกยังต่างประเทศ ทำรายได้ปีละหลายร้อยล้านบาทอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ปริมาณน้ำฝนในประเทศไทย

ประเทศไทยฤดูฝนจะเริ่มกลางเดือนพฤษภาคมและสิ้นสุดกลางเดือนตุลาคมแต่สำหรับภาคใต้ฤดูฝนจะยาวนานกว่าภาคอื่นๆอาจนานถึงเดือนธันวาคมของทุกปีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั่วประเทศไทยมีประมาณ 1,700 มิลลิเมตรต่อปี

ปริมาณน้ำฝนในประเทศไทย

ภาค	มิลลิเมตร/ปี
เหนือ	1,241
ตะวันออกเฉียงเหนือ	1,406
กลาง	1,266
ใต้ฝั่งตะวันออก	11,761
ใต้ฝั่งตะวันตก	2,733

ตารางที่ 1 ตารางแสดงปริมาณน้ำฝนในประเทศไทย(กรมอุตุนิยมวิทยาปี2551)

จะเห็นว่าภาคกลางมีปริมาณน้ำฝนรายปีน้อยกว่าภาคอื่นๆโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความต้องการใช้น้ำในด้านการเกษตรกรรมอุตสาหกรรมและน้ำกินน้ำใช้สำหรับชุมชนหนาแน่นเป็นจำนวนมากที่สุดแต่มีฝนตกเฉลี่ย115วันต่อปีมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย1,200 มิลลิเมตรต่อปีซึ่งมีค่าค่อนข้างน้อยจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการในด้านต่างๆควบคู่ไปกับมาตรฐานการประหยัดการใช้น้ำเพื่อป้องกันปัญหาการขาดแคลนน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีของเครื่องจำลองการทำฝน (Rainfall Simulator)

คือ เครื่องมือที่จำลองการเกิดของฝน ที่สามารถควบคุมลักษณะของฝนที่ตกลงมา ให้เสมือนกับสภาพที่ฝนตกจริง เช่น ลักษณะการกระจาย ความแรง มุมการตกของฝน ความหนาแน่นของเม็ดฝน และขนาดของเม็ดฝน

2.4.1) Thomas and EI Swaify (1989) ศึกษารูปแบบเครื่องจำลองการทำฝนตก และเครื่องจำลองความดันที่หัวฉีด

2.4.2) Bubemzer and Jones(1991) ศึกษาเครื่องจำลองการทำฝนโดยใช้หัวฉีด Veejet 80100 pressuer 6 psi โดยผลการทดลองจะได้สภาพน้ำฝนที่มีขนาด และความหนาแน่นของฝนใกล้เคียงฝนที่ตกทางธรรมชาติมากที่สุด

2.4.3) Wischmeir and Smith(1998) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของฝนกับการพลังทลายของดิน โดยพบว่า ปริมาณฝนที่มีความหนาแน่นมากกว่า 25 mm/hr จึงจะมีผลต่อการพังทลายของดิน

2.5 ประเภทของเครื่องจำลองการทำฝน

การเลือกใช้ชุดแบบจำลองน้ำฝนนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนั้น ๆ ชุดจำลองน้ำฝนนั้นมีหลายชนิดที่ใช้กันอยู่ทั่วโลก แต่สามารถแบ่งได้สองประเภทคือ1. ใช้แรงดันและ 2.ไม่ใช้แรงดัน (Meyer, 1994)

2.5.1 ประเภทที่ใช้แรงดัน (Pressurized waterrainfall simulation) การใช้เครื่องจำลองการทำฝนนั้นได้เริ่มใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเครื่องมือทางด้านชลประทาน เช่น เครื่องมือวัดอัตราการซึมของดินในสหรัฐอเมริกา (USDA, 1979) การพัฒนาเริ่มต้นจากการใช้หัวสเปรย์ฉีดน้ำภายใต้แรงดัน โดยกำหนดอัตราการจ่ายน้ำของหัวฉีดภายใต้ความดันต่าง ๆ หัวจ่ายน้ำแต่ละชนิดจะใช้ความดันที่แตกต่างกันออกไป ชุดจำลองน้ำฝนส่วนใหญ่จะให้ความสม่ำเสมอของการตกที่ความดันสูง ๆ แต่ความเข้มฝนจะมากเกินความต้องการ ซึ่งเหมาะสำหรับการจำลองฝนตกที่มีความเข้มฝนมาก ๆ ส่วนที่ความดันต่ำ ๆ ความสม่ำเสมอของการตกจะมีน้อยลง และขนาดเม็ดฝนที่ได้จะขนาดใหญ่เกินความต้องการ แต่มีข้อดีในกรณีที่ต้องการความเข้มฝนน้อย ดังนั้นหัวจ่ายน้ำและเครื่องสูบน้ำเพื่อกำหนดแรงดันจึงเป็นอุปกรณ์หลักในการเลือกใช้สำหรับงานวิจัยที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ประเภทที่ไม่ใช้แรงดัน (Non-pressurizedwater rainfall simulation) เครื่องจำลองการทำฝนแบบไม่ใช้แรงดันอาศัยแรงจากโน้มถ่วงของโลกเพื่อสร้างฝน โดยมีหลักการที่ว่าความเร็วสุดท้ายของฝนที่ตกต้องเป็นไปตามฝนที่เกิดตามธรรมชาติ ดังนั้นปัญหาหลักคือต้องการความสูงที่มากพอเพื่อให้ได้ความเร็วสุดท้ายที่ต้องการ Epemaand Riezebos (1983) ได้หความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและความเร็วที่ตก เช่น ขนาดเม็ดฝน 5มิลลิเมตรต้องการความสูงที่จะใช้ในการตกอย่างน้อย 12 เมตร เพื่อที่จะได้ค่าความเร็วท้ายสุดเท่ากับฝนตามธรรมชาติ Morgan (1995) พบว่าเม็ดฝนที่ตกลงมาจากความสูงที่ 7.5 เมตร จะให้ความเร็วท้ายสุดเท่ากับหรือมากกว่า 95% ของความเร็วท้ายสุดที่เกิดฝนตามธรรมชาติ ห้องปฏิบัติการเพื่อการทดลองทางด้านวิชาที่เกี่ยวกับลักษณะการกำเนิดและการเปลี่ยนแปลงของธรณี ของ Leuven ณ ประเทศเบลเยี่ยม ได้ใช้ความสูงที่ 7.1 เมตร ในการปล่อยให้เม็ดฝนตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้ฝนมีความเร็วท้ายสุดเท่ากับความเร็วท้ายสุดที่เกิดจากฝนตามธรรมชาติ (Bryan & De Ploey, 1983)

จากการเปรียบเทียบเครื่องจำลองการทำฝนทั้งแบบภายใต้แรงดันและแบบที่ไม่ใช้แรงดัน พบว่า แบบภายใต้แรงดันมีความเหมาะสมและง่ายต่อการประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้ดีกว่า เนื่องจากมีขนาดเครื่องจำลองการทำฝนแบบ ไม่ใช้แรงดันต้องการถังเก็บน้ำขนาดใหญ่และต้องติดตั้งที่ความสูงที่ต้องการ (อย่างน้อย7.1 เมตร, (Bryan & De Ploey, 1983) ทำให้เคลื่อนย้ายลำบากในขณะที่แบบใช้จ่ายแรงดันแทนการใช้ถังเก็บน้ำและสามารถติดตั้งได้ในตำแหน่งที่ต้องการ โดยการควบคุมการจ่ายน้ำได้จากวาล์ว ทำให้สามารถควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ได้ง่ายเช่นความเข้มฝนเป็นต้น ดังนั้นการศึกษาและประดิษฐ์ชุดจำลองน้ำฝนครั้งนี้ ได้มุ่งเน้นและทำการออกแบบเพื่อจะประดิษฐ์เครื่องจำลองการทำฝนภายใต้แรงดันซึ่งเป็นเครื่องมือสร้างน้ำฝนสำหรับใช้ในงานวิจัยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การจำลองฝนตก

จุดประสงค์อันดับแรกของตัวจำลองฝนตกจะเลียนแบบฝนตก โดยให้เหมือนกับธรรมชาติ ถูกต้องและแม่นยำส่วนประกอบของฝนตก คือ การทำปฏิกิริยากับท่ามกลางคุณสมบัติ (ขนาด ความเร็ว อัตราการระเหย) ความกว้างอากาศตามฤดูกาล การเคลื่อนตัวตามแผนที่และอิทธิพลเกี่ยวกับทะเล การเลียนแบบอย่างเหมาะสมต้องอาศัยหลายกฎเกณฑ์

2.6.1 ขนาดของการกระจายของเม็ดฝนต้องใกล้เคียงกับฝนธรรมชาติ(Bubenzer, 1979a)

2.6.2 อัตราความเร็วการกระทบใกล้เคียงกับความเร็วปลายทางฝนตดโดยธรรมชาติ (กฎหมาย, 1941) (Gunn และ Kinzer ,1949)

2.6.3 รูปแบบขนาดความหนาแน่นของฝนและการกระจายตัวของฝน(Laws and Parsons, 1943)

2.6.4 ขนาดของเม็ดฝน

2.6.5 การจำลองรูปแบบการตกของพายุ เป็นสิ่งสำคัญต่อการออกแบบช่วงระยะเวลา และความหนาแน่น(Moor et al.,1983) (Meyer และ Harmon, 1979)

2.7 การพัฒนาของเครื่องจำลองการทำฝน

เครื่องจำลองการทำฝนรูปแบบการตกสามารถแยกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ (รูปแบบเครื่องจำลองการทำฝน และ เครื่องจำลองความดันที่หัวฉีด) (Thomas และ El Swaify, 1989) เครื่องจำลองการทำฝนทำไม่ได้สำหรับส่วนพื้นที่ใช้ เพราะความต้องการ เช่น ระยะใหญ่โต (10 มิเตอร์) รวมถึงความเร็วปลาย (Grierson และ Oades, 1977) เครื่องจำลองการทำฝนไม่สามารถผลิตออกมาเป็นสินค้าได้ ถ้าไม่ใช่ความหลากหลายของรูปแบบการตกของท่อหลายขนาดถูกนำมาใช้ หลายจุดของการพลิตหยดน้ำฝนจำเป็นต้องถูกจัดเก็บอย่างใกล้ชิดเพื่อสร้างความหนาแน่นของฝนที่เทลงมาอย่างมาก และกะทันหัน การทดสอบการตกของฝนใช้เส้นใยสังเคราะห์ที่เป็นแผ่นขนาดเล็ก ท่อ หลอดแก้ว วัสดุที่ใช้ทำท่อ พลาสติกสังเคราะห์หรือวัสดุที่ใช้ทำหลอดหรือท่อโลหะให้สำหรับฝนตก การจำลองการเพิ่มแรงดันของหัวฉีดเพื่อให้เหมาะสมโดยการใช้หัวฉีดลักษณะต่างๆ และสามารถเลือกใช้ความหนาแน่นในรูปแบบต่างๆในพื้นที่การทดลองได้ เพราะตั้งแต่น้ำเริ่มออกจากหัวฉีดมีความเร็วเริ่มต้นที่ใหญ่กว่าเนื่องจากแรงดันที่กำลังขับออก ระยะการตกสั้นกว่า เมื่อไปถึงความเร็วปลายทางหัวฉีดมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นที่หลากหลาย ด้วยเส้นผ่าศูนย์กลาง หัวฉีดที่ใช้น้ำในการอัดความดันระยะห่างระหว่างหัวฉีดและลักษณะการเคลื่อนไหวของหัวฉีด(Meyer, 1979) การเพิ่มแรงดันที่หัวฉีดสามารถสร้างความหนาแน่นของพายุซึ่งเป็นตัวแปร ได้ละอองน้ำที่ไหลออกมาอย่างต่อเนื่องออกจากหัวฉีดที่ถูกสร้างมาเพื่อให้ความหนาแน่นของพายุออกมาอย่างเป็นธรรมชาติ หรือการหยุดละอองน้ำ การหมุนกระจายการจำลองของตัวควบคุมโซลินอย์ (Miller, 1987)และระบบ Sprinker ให้น้ำแบบละเอียดทำได้โยการทำให้หมุนหรือการทำให้แกว่ง หัวฉีดที่ได้รับความนิยมส่วนมากคือ Veejet 80100 หัวฉีดให้แรงดันได้ 41 กิโลปาสคาล (6 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) หัวฉีดชนิดนี้ถูกเลือกเพราะว่ามีความเหมือนที่ใกล้เคียงกับการกระจายตัว การทดสอบความแม่นยำของหัวฉีดจำเป็นต้องทำเพื่อให้ความแน่ใจเพื่อที่ละอองน้ำออกมาจะได้เหมาะสม และความเหมือนกันในพื้นที่ที่ทำการทดลอง

2.8 ลักษณะความสำคัญของการจำลอง

อาศัยพื้นฐานและศึกษารูปแบบขั้นตอนการทำงานของเครื่องจำลองการทำฝน เป้าหมายในการออกแบบและตัวแปรถูกคิดว่าอันดับแรกคือ เครื่องจำลองการทำฝนจำเป็นต้องมีความแม่นยำและต้องมีมาตรฐานกฎเกณฑ์ 6 อย่างที่เหมาะสมกับเครื่องจำลองการทำฝน กฎเกณฑ์อื่นๆแล้วแต่ความสะดวกสำหรับผู้นำไปใช้ รวมถึงน้ำหนัก ความสะดวกในการใช้งาน ความน่าเชื่อถือ ความแม่นยำและเศรษฐกิจ เครื่องจำลองการทำฝน และการเสริมของโครงสร้างควรจะเป็นแบบมีแนวทางที่เป็นไปได้ เพราะว่าส่วนมากต้องใช้เครื่องจำลองการทำฝนอยู่ในพื้นที่ที่ทำการทดลอง การเปลี่ยนตำแหน่งที่ตั้งควรจะเคลื่อนที่ได้โดยง่าย สภาวะในส่วนของพื้นที่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่แข็งแรงและเบา นอกจากให้ตัวเครื่องจำลองการทำฝนให้เบาแล้วควรจะใช้และติดตั้งได้ง่ายและโครงสร้างควรจะมีความแข็งแรงที่เหมาะสมที่จะทนต่อลม การใช้งานที่สะดวกยังรวมถึงการใช้เครื่องมือและระบบควบคุมที่อ่านได้ง่าย เกจวัดการไหลเวียนนิยมนำมาใช้ในตัวเครื่องการทำฝน เนื่องจากความแตกต่างของระดับความสูงระหว่างตำแหน่งและเป็นอุปสรรค์ต่อความสัมพันธ์ที่มีผลต่ออัตราการไหลเวียนและแรงดัน ความเชื่อถือได้ผ่านมาเกิดจากความสามารถในการทดลองการทำฝนอย่างซ้ำๆ เมื่อมีการใช้เครื่องมือที่ถูกต้องอย่างเหมาะสม ความน่าเชื่อถือได้จะเพิ่มมากขึ้นหรือมีความเป็นไปได้สูง การทดสอบหัวฉีดกับรูปแบบขนาดการกระจายตัวสำหรับฝนที่ถูกเลือกและเลือกรุ่นหัวฉีดที่มีความเหมาะสมด้วยความสามารถที่ปรับระยะได้รวมถึงความสามารถสูงสุดของรูปแบบการไหลคือผลที่จะได้รับ เมื่อรูปแบบการไหลกระจายตัวกลับไปกลับมา ระอองน้ำจะทำให้เกิดเป็นรูปแบบการออกแบบอย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการทดลอง

3.1 การออกแบบสร้างเรื่องจำลองการทำฝน

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1.1 อลูมิเนียม

- เฟรมด้านบน ตัวซีขนาด 1.6 inch
- เสาสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1.6 inch

3.1.1.2 หัวฉีด (Nozzle)

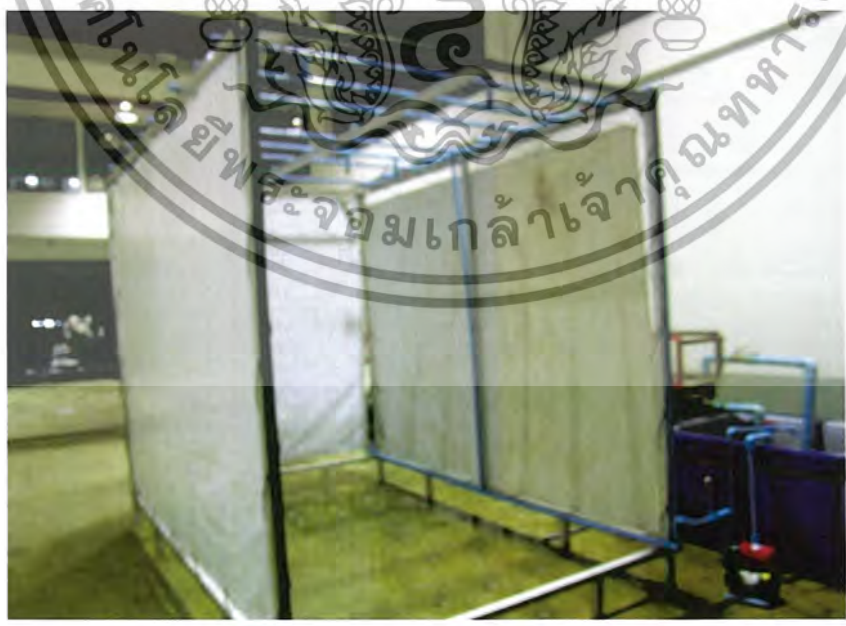
3.1.1.3 ท่อ PVC พร้อมข้อต่อ ขนาด ½ inch

3.1.1.4 ปั๊มน้ำ (Water Pump) ขนาด 0.5 hp

3.1.1.5 Control Valv

3.1.1.6 พลาสติกป้องกันลม (Wind Shield)

3.1.2 การสร้าง ได้ออกแบบเครื่องจำลองการทำฝน(Rainfall Simulator) โดยใช้อลูมิเนียมประกอบ และยึดติดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 3.0 m. × 2.0 m. × 2.5 m. โดยจะทำการยึดติดหัวฉีดน้ำ (Nozzle) ในลักษณะต่างๆ ไว้ด้านบน ยึดติดท่อน้ำจากถังเก็บน้ำผ่าน เข้ากับ Pump เพื่อส่งน้ำผ่าน Gate Valve , Pressure Gauge เพื่อควบคุมแรงดันให้กับหัวจ่ายน้ำและยึดติดพลาสติกป้องกันลมทางด้านต่างๆ



รูปที่ 3.1 เครื่องจำลองการทำฝนด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 เครื่องจำลองฝนในมุมเต็ม

รายละเอียดเกี่ยวกับหัวจ่าย

การออกแบบสร้างเครื่องจำลองการทำฝน ได้ใช้หัวจ่ายน้ำ 3 แบบ ได้แก่

1. หัวจ่ายน้ำชนิดตรง

อัตราการจ่ายน้ำ	= 30 ลบ.ม/ชม.
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวจ่าย	= 4 มม.
รัศมีการจ่ายน้ำ	= 0.2 ม.
ความดันที่ใช้	= 1 บาร์

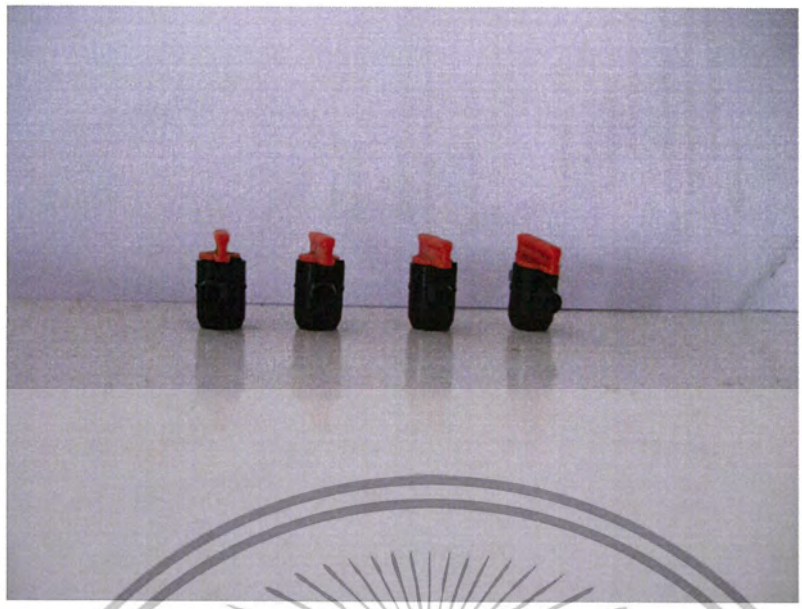
2. หัวจ่ายน้ำชนิดเฉียง

อัตราการจ่ายน้ำ	= 20 ลบ.ม/ชม.
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวจ่าย	= 3.5 มม.
รัศมีการจ่ายน้ำ	= 0.3 ม.
ความดันที่ใช้	= 1 บาร์

3. หัวจ่ายน้ำชนิดหมุน

อัตราการจ่ายน้ำ	= 25 ลบ.ม/ชม.
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัวจ่าย	= 4 มม.
รัศมีการจ่ายน้ำ	= 2 ม.
ความดันที่ใช้	= 0.5 บาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 หัวจ่ายน้ำแบบตรง

รูปที่ 3.4 หัวจ่ายแบบเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

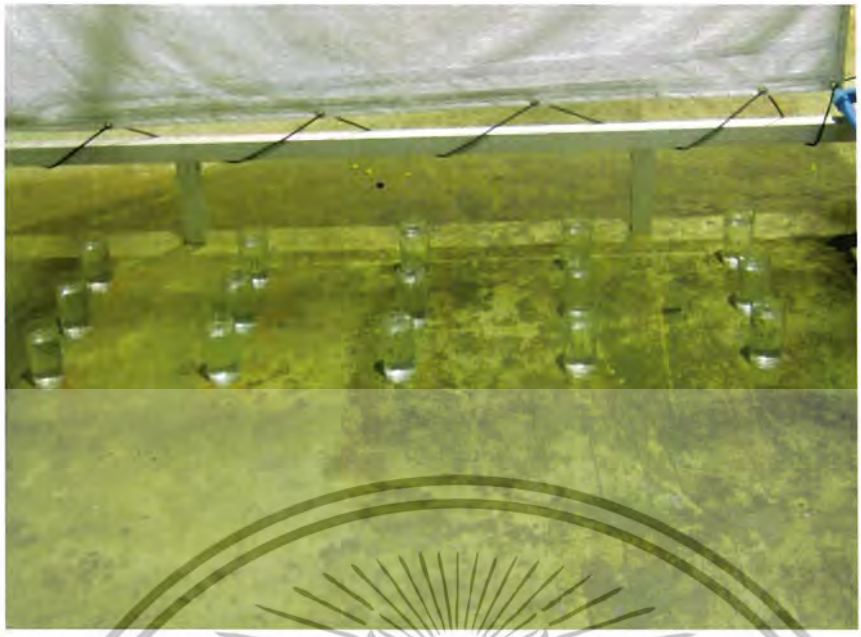
รูปที่ 3.5 หัวจ่ายแบบหมุน

3.2 การทดลอง

ในการออกแบบสร้างเครื่องจำลองการทำฝน เพื่อให้มีสภาพการตกของฝนใกล้เคียงกับธรรมชาติมากที่สุด ได้แก่ ขนาดเม็ดฝน การกระจายของฝน และความหนาแน่นของฝน

3.2.1 ความเข้มของฝน (Rainfall Intensity) ทำการวัดปริมาณน้ำฝนและการกระจ่ายของน้ำฝน โดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มม. สูง 12 มม.จำนวน 15 กระบอก จะเรียงกันระยะห่าง 0.205 x 0.330 เมตร บนพื้นที่ 1.23 x 1.32 ตารางเมตร รูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงแบบการวางกระบอกเก็บตัวอย่างน้ำ

คำนวณหาค่าเฉลี่อปริมาณน้ำฝน และการกระจ่ายของน้ำฝนโดยคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสมอ (Chnstiansen Unifgrmity Ceefficient ,CU) จากสูตร

$$CU = 100\left[1.0 - \frac{\sum x}{M.n}\right] \quad \text{..... (1)}$$

กำหนดให้ CU = สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอในการจ่ายน้ำ

$\sum X$ = ผลรวมของผลต่างระหว่างความลึกของน้ำในชุดตรวจสอบปริมาณน้ำฝน กับค่าเฉลี่ย M โดยไม่คิดเครื่องหมาย

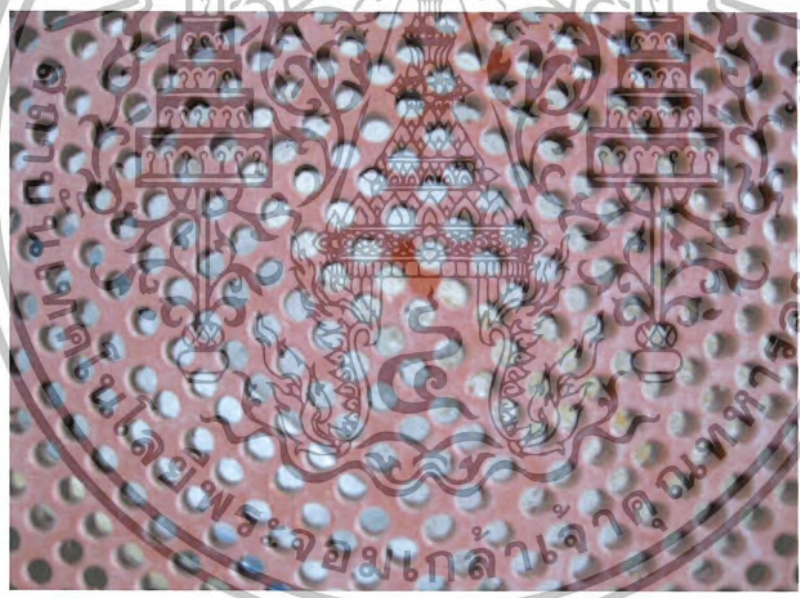
n = จำนวนชุดตรวจสอบปริมาณน้ำฝนทั้งหมด

M = ความลึกเฉลี่ยของน้ำในชุดตรวจสอบปริมาณน้ำฝนทั้งหมด

3.2.2 ขนาดของเม็ดฝน (Drop size)ใช้เทคนิคการถ่ายภาพ โดยใช้กล้อง Fuji รุ่น FinePix S9600 (รูปที่ 3.7) โดยทำการถ่ายภาพเม็ดฝนที่ตกผ่านตะแกรงที่เจาะรูขนาด 1.0 – 6.0 mm. อาศัยความเร็วของชัดเตอร์จับภาพเม็ดฝนขนาดต่าง ๆ ตามขนาดแรงดันที่ควบคุมโดยผ่าน Gate Valve ทำการจดบันทึกค่าตัวกลางของเม็ดฝน (Median drop size, d_{50})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 กล้องถ่ายภาพ Fuji รุ่น FinePix S9600



รูปที่ 3.8 แฝงตะแกรงรูขนาน 5 mm.

3.2.3 ความเร็วสุดท้ายของเม็ดฝน

เม็ดฝนที่ตกลงมาทุกเม็ดจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งถึงความเร็วสุดท้ายเมื่อแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงต้านทานของอากาศที่กระทำกับเม็ดฝนมีค่าเท่ากันเม็ดฝนจะมีความเร็วคงที่จนกระทั่งกระทบผิวดินความเร็ว ณ จุดที่กระทบผิวดินเรียกว่าความเร็วสุดท้ายของเม็ดฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการของ Chow (1988) ได้อาศัยการสมดุลของแรงที่กระทบกับเม็ดฝน หาความเร็วสุดท้ายของเม็ดฝนคือ

$$V_t = \left[\frac{4gD}{3C_d}\left(\frac{\rho_w}{\rho_a} - 1\right)\right]^{\frac{1}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

เมื่อ V_t = ความเร็วสุดท้าย (m/s)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝน (mm.)

C_d = ประสิทธิ์แรงเสียดทาน

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการทดลอง

จากการที่ได้ออกแบบสร้างเครื่องจำลองการทำฝนเพื่อสามารถเรียนแบบพฤติกรรมจริงของฝน ตัวแปรที่เกี่ยวของที่สำคัญ ได้แก่ ขนาดเม็ดฝน การกระจายตัวเม็ดฝน ความเร็วสุดท้ายที่ตกกระทบ ความสม่ำเสมอของฝนตลอดแปลงการทดลอง รูปแบบการตก ช่วงเวลา และความเข้มฝน ผลการทดลองมีรายละเอียดต่อไปนี้

ความเข้มฝน (Rainfall Intensity)

ทำการวัดปริมาณน้ำฝนและการกระจายของน้ำฝนโดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างที่ได้ออกแบบไว้ในรูปที่ 3.6 จากการที่ออกแบบให้ใช้หัวจ่ายน้ำ 3 แบบพบว่ามีประสิทธิภาพการกระจายตัวตามค่า CU ของ Chinstiansen ดังตารางที่ 2

รูปที่ 4.1 การวางกระบอกตามลักษณะที่ออกแบบ

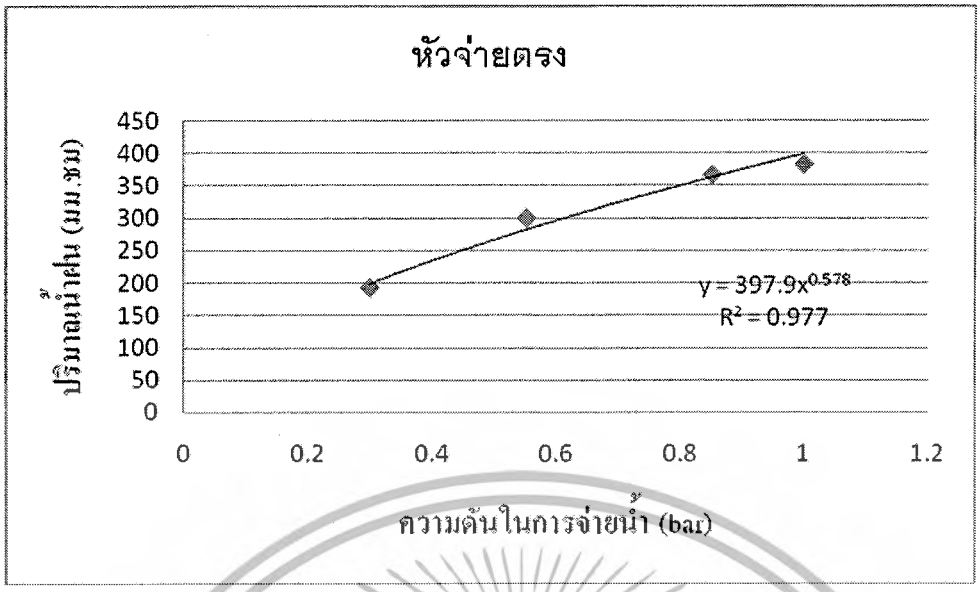
103112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

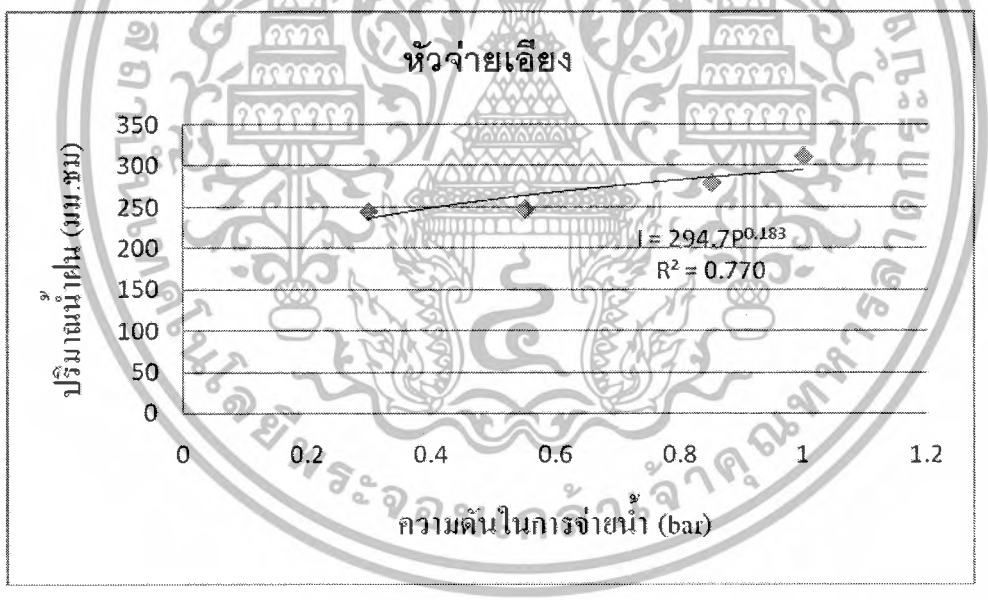
ตารางที่ 2 แสดงค่าความดัน ความเข้ม และประสิทธิ์ภาพการกระจาย

ชนิดของหัวจ่าย	ความดัน (bar)	ความเข้มฝน (มม./ชม.)	ประสิทธิ์ภาพการกระจาย (CU)
หัวจ่ายตรง	0.30	29.13	85
	0.55	65.8	87
	0.85	73.66	88
	1.00	93.7	90
หัวจ่ายเอียง	0.30	32.2	92.96
	0.55	41.7	95.28
	0.85	50.5	94.75
	1.00	69.3	97.56
หัวจ่ายหมุน	0.15	18.73	56
	0.17	16	54
	0.20	14	52
	0.23	7.5	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

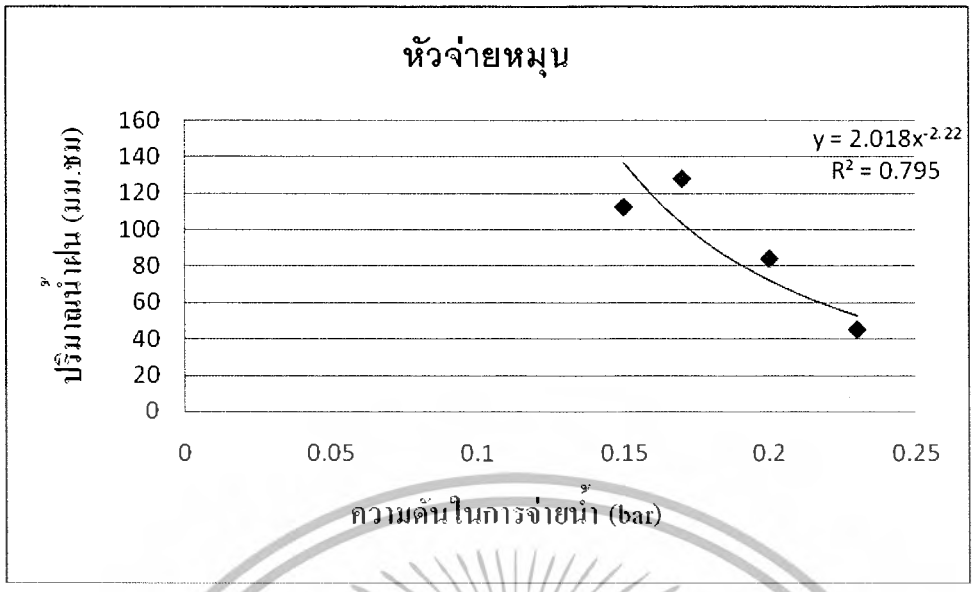


กราฟที่ 1 แสดงถึงปริมาณน้ำฝนกับความดันในการจ่ายน้ำ ที่หัวจ่ายตรง



กราฟที่ 2 แสดงถึงปริมาณน้ำฝนกับความดันในการจ่ายน้ำ ที่หัวจ่ายเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



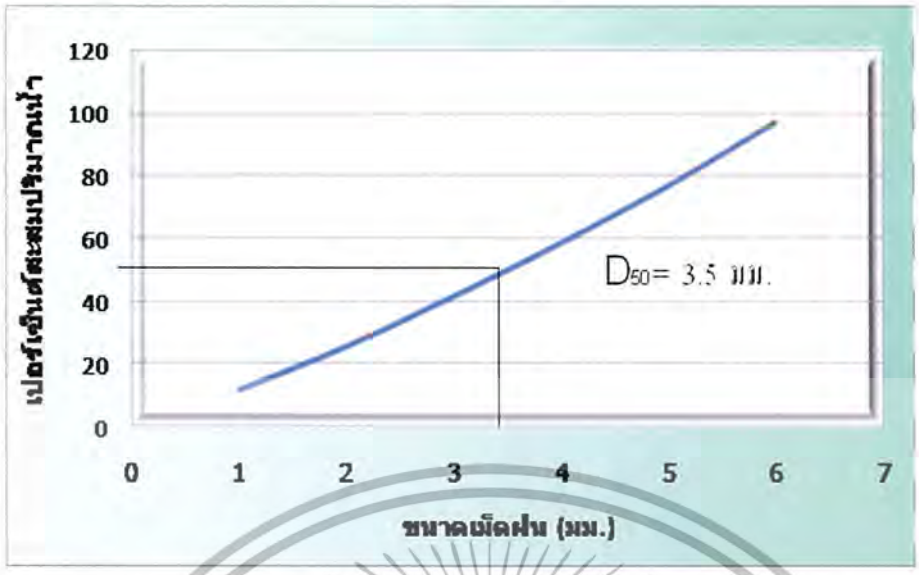
กราฟที่ 3 แสดงถึงปริมาณน้ำฝนกับความดันในการจ่ายน้ำ ที่หัวจ่ายหมุน

ขนาดของเม็ดฝน

ขนาดของเม็ดฝนได้ใช้เทคนิคการถ่ายภาพใช้กล้องยี่ห้อ Fuij รุ่น FinePix S9600 ผลการทดลองพบว่าขนาดของเม็ดฝนค่าอยู่ระหว่าง 3 ถึง 4 มิลิเมตร ที่ความดัน ณ. หัวจ่ายน้ำเท่ากับ 0.85 ถึง 1 bar โดยมีค่าตัวแปรผกผันกับแรงดันที่หัวจ่ายโดยเมื่อแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้นขนาดของเม็ดฝนจะมีค่าลดลงเล็กน้อย

รูปที่ 4.2 ตะแกรงทดลองหยดน้ำฝนขนาด (3 mm.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4 แสดงค่ากลางของขนาดเม็ดฝน (D_{50})

ความเร็วสุดท้ายของเม็ดฝน

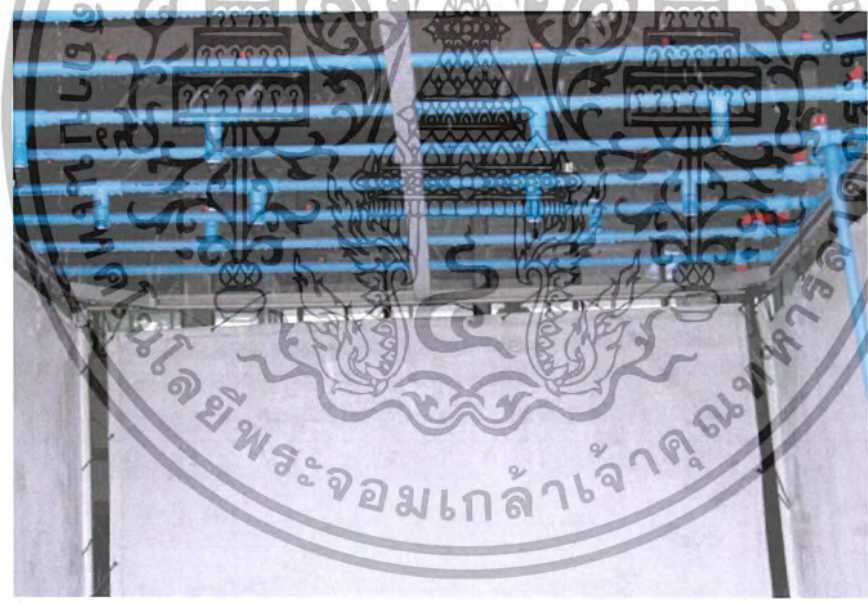
ความเร็วสุดท้ายของเม็ดฝนนั้น ไม่สามารถวัดได้โดยตรงด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือ เครื่องจำลองฝนมีระดับความสูง 2.54 เมตร จากระดับพื้นดิน โดยให้ความสูงในการตก ของเม็ดฝนมีระยะการตกเฉลี่ยประมาณ 5.29 เมตร สำหรับหัวจ่ายน้ำแบบตรง สมดุลของแรงที่กระทำกับเม็ดฝน จากการทดลอง กำหนดให้ค่าขนาดของเม็ดฝน(D_{50})เท่ากับ 3.5 มม. ค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกเท่ากับ 9.81 เมตร/วินาที ^{2} สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเท่ากับ 0.1 ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1000 กก/ลบ.ม และความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ 1.3 กก/ลบ.ม จากสมการของ Chow (1988) โดยอาศัยสมดุลแรงที่กระทำกับเม็ดฝน คำนวณหาค่าความเร็วสุดท้ายของเม็ดฝนได้เท่ากับ 10.27 เมตร/วินาที

ความสม่ำเสมอของฝน

ทำการวัดความสม่ำเสมอโดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างน้ำที่มีขนาดเท่ากัน วางเรื่องกันระยะห่าง 0.205 x 0.330 เมตรบนพื้นที่ 1.23 x 1.98 ตารางเมตร เพื่อวัดความสม่ำเสมอของฝน และแสดงผลออกมาในค่าความสม่ำเสมอ ของ Chnstiansen Unifgrmity Ceefficient (CU) จากตารางผลการทดลองพบว่าค่า CU เฉลี่ยพบว่าสำหรับหัวจ่ายตรง 87.5 เปอร์เซ็นต์ หัวจ่ายเฉียง 95.14 เปอร์เซ็นต์ และ หัวจ่ายชนิดหมุน 53.25 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 การทำงานของเครื่องทำน้ำฝน ที่หัวจ่ายแบบตรง



รูปที่ 4.4 การทำงานของเครื่องทำน้ำฝน ที่หัวจ่ายแบบหมุน

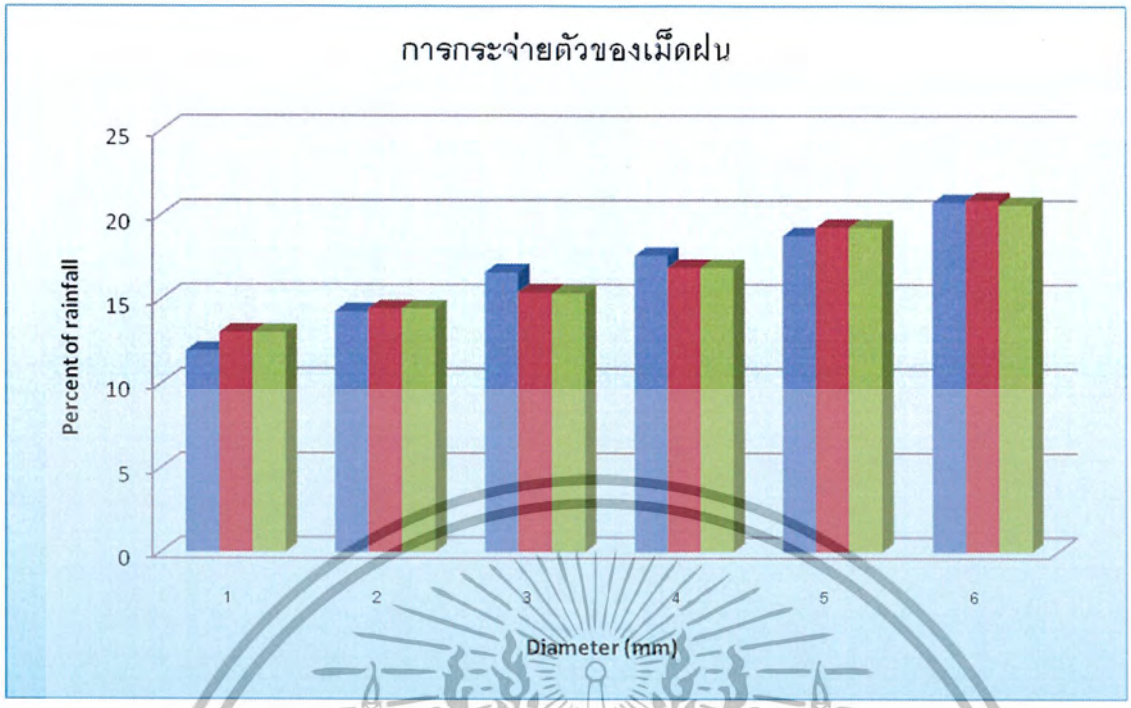
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 การทำงานของเครื่องจำลองการทำฝน ที่หัวจ่ายแบบเอียง

การกระจายตัวของเม็ดฝน

การตกของฝนแต่ละครั้ง เม็ดฝนที่ตกลงมาจะไม่มีขนานเดียวกันตลอด จากเทคนิคการถ่ายภาพทำให้เราทราบว่าฝนที่ตกลงมาแต่ละครั้งมีขนานเม็ดเท่าใด และจำนวนเท่าใด ในการทดลองครั้งนี้พบว่ามีค่าแรงดัน 1 บาร์ มีการกระจายตัวของเม็ดฝน 90 เปอร์เซ็นต์ ที่แรงแรงดัน 0.5 บาร์ 87 เปอร์เซ็นต์ และที่ความดัน 0.3 บาร์ 85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใช้ค่าตัวกลางของขนาดเม็ดฝน (Median drop singe , d_{50}) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ดีที่สุดถึงลักษณะการกระจายของเม็ดฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5 การกระจายตัวของเม็ดฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5

บทสรุปและวิจารณ์

5.1 สรุป

5.1.1 จากการศึกษาและทำการทดลองหัวจ่ายทั้ง 3 แบบเราจะเห็นได้จากกราฟที่ 1 ถึง 3 ความเข้มของเม็ดฝนจะมากขึ้นตามความดันที่เพิ่มขึ้น โดยจะมีหัวจ่ายแบบหมุน ที่ความดันเพิ่มขึ้นจะมีค่าความเข้มของเม็ดฝนลดน้อยลงเพราะจะมีการเหวี่ยงของหัวจ่ายแบบหมุนมากขึ้นตามแรงดัน

5.1.2 ขนาดของเม็ดฝนได้ใช้เทคนิคการถ่ายภาพใช้กล้องยี่ห้อ Fuij รุ่น FinePix S9600 ผลการทดลองพบว่าขนาดของเม็ดฝนค่าอยู่ระหว่าง 3 ถึง 4 มิลลิเมตร ที่ความดัน ณ. หัวจ่ายน้ำเท่ากับ 0.85 ถึง 1 bar โดยมีค่าตัวแปรผกผันกับแรงดันที่หัวจ่ายโดยเมื่อแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้นขนาดของเม็ดฝนจะมีค่าลดลงเล็กน้อย ความดัน 0.3 - 1 บาร์ ความเข้มของฝนอยู่ระหว่าง 48.42 - 65.57 มิลลิเมตร/ชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสมอ Christiansen Unifgrmity Coefficient (CU) 53.25 - 87.5 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการทดลองมีข้อจำจัดทางด้านหัวจ่ายน้ำแบบต่าง ๆ เพราะหัวจ่ายน้ำที่จำหน่ายภายในประเทศมีแบบให้เลือกน้อยมาก และแบบที่มีก็ซ้ำ ๆ กันมากจึงทำให้หาค่าการกระจายได้น้อย

5.2.2 ปั๊มที่เราใช้นั้นเราสามารถทำความดันได้น้อยเมื่อเมื่อเทียบกับหัวที่เราเปิดพร้อมกันหมดทุกหัวจ่าย

5.2.3 Pressure Gauge ที่เราใช้บอกค่าความดันได้ไม่ละเอียดพอในการบอกค่าที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ปริมาณน้ำที่วัดจากกระบอกเก็บตัวอย่างที่หัวจ่ายตรง (มม.)

กระบอกเก็บตัวอย่างน้ำ	ความดัน (บาร์)			
	0.30 bar	0.55 bar	0.85 bar	1 bar
1	25	39	78	69
2	24	66	70	75
3	34	45	75	78
4	32	31	70	70
5	30	78	68	71
6	47	68	69	68
7	35	81	57	59
8	32	32	76	65
9	31	31	75	76
10	35	31	84	80
11	38	34	80	81
12	30	50	91	93
13	31	55	77	75
14	35	69	80	75
15	32	39	80	79
ค่าเฉลี่ย	29.13	65.8	73.66	93.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ปริมาณน้ำที่วัดจากกระบอกเก็บตัวอย่างที่หัวจ่ายหมุน (มม.)

ความดันและกระบอกที่	ความดัน (บาร์)			
	0.15 bar	0.17 bar	0.20 bar	0.23 bar
1	25	9	10	16
2	22	12	10	5
3	8	12	10	5
4	11	11	9	5
5	34	9	12	16
6	6	17	13	7
7	35	33	20	7
8	23	50	48	9
9	10	23	18	8
10	14	22	8	4
11	15	52	8	4
12	27	18	8	4
13	26	19	12	8
14	15	18	24	8
15	10	19	8	7
ค่าเฉลี่ย	56	54	52	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ปริมาณน้ำที่วัดจากกระบอกเก็บตัวอย่างที่หัวจ่ายเอียง (มม.)

ความดันและกระบอกที่	ความดัน (บาร์)			
	0.30 bar	0.55 bar	0.85 bar	1 bar
1	30	31	36.5	60.1
2	35	40	45.5	60.1
3	34	42	47	55.1
4	36	46	51	60.1
5	36	40	50	55.1
6	40	39.5	40	53.1
7	32	41	57	61.4
8	35	45.5	67.5	60.1
9	32	50	68.5	55.1
10	35	40	57	61.4
11	40	43.5	54.5	63.9
12	31.5	43.5	57.5	63.4
13	31.5	35	40	62.3
14	36	42	54.5	52.5
15	33.5	41	51	51.4
ค่าเฉลี่ย	34.5	41.30	51.8	58.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 เปอร์เซ็นต์น้ำสะสม ที่ความดัน 1 bar

ขนาดรู (มม.)	เปอร์เซ็นต์น้ำสะสม (%)
1	11.96
2	14.28
3	16.62
4	17.61
5	18.77
6	20.76

ตารางที่ ก.5 เปอร์เซ็นต์น้ำสะสม ที่ความดัน 0.5 bar

ขนาดรู (มม.)	เปอร์เซ็นต์น้ำสะสม (%)
1	13.05
2	14.47
3	15.44
4	16.89
5	19.28
6	20.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

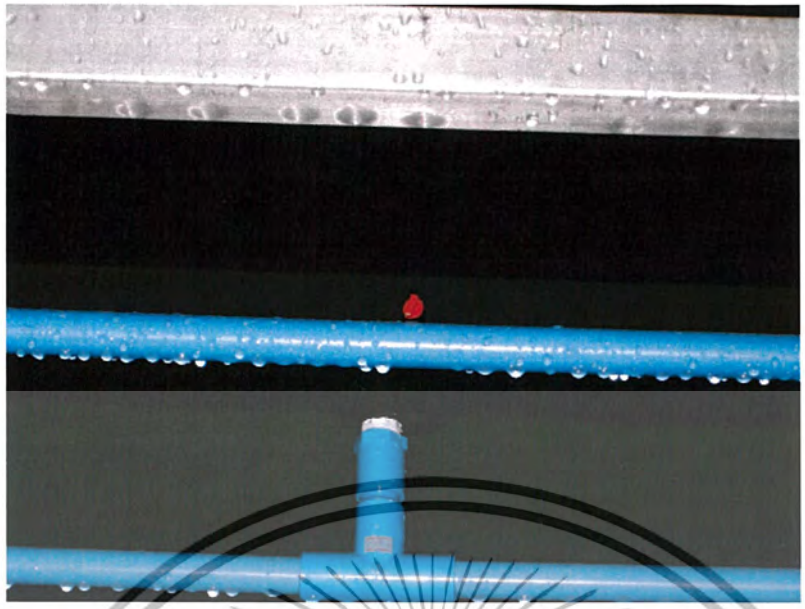
ตารางที่ ก.6 เปอร์เซ็นต์น้ำสะสม ที่ความดัน 0.3 bar

ขนาดรู (มม.)	เปอร์เซ็นต์น้ำสะสม (%)
1	13.04
2	14.46
3	15.34
4	16.87
5	19.26
6	20.60

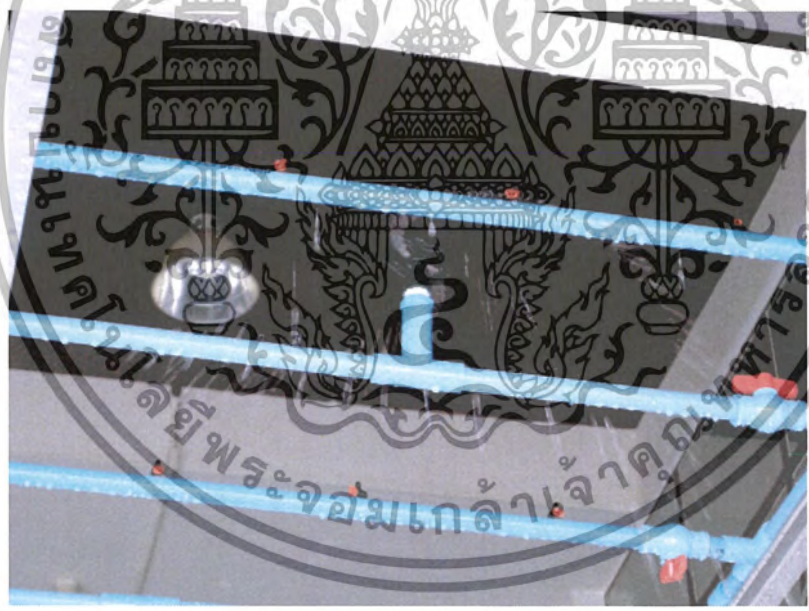
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

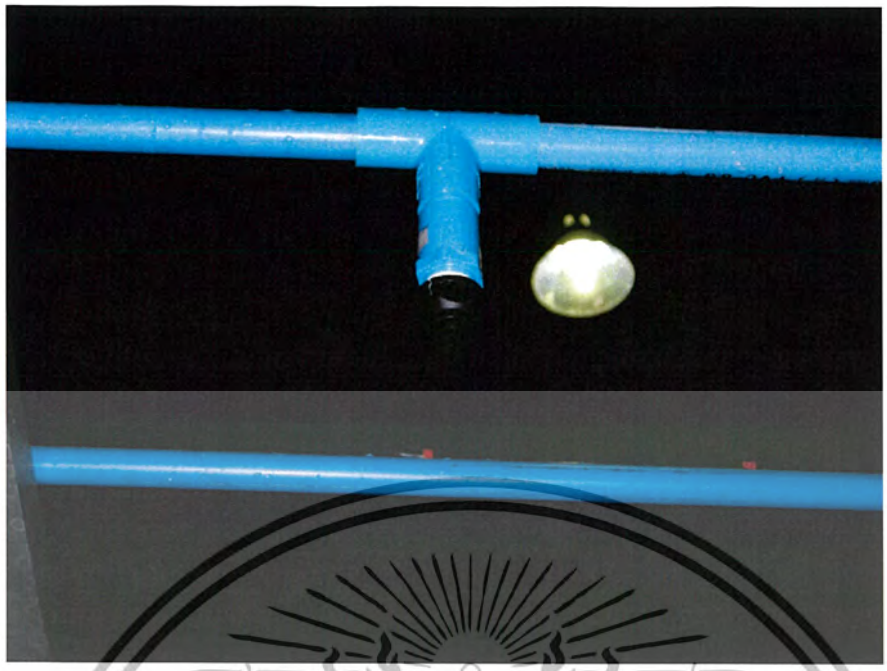


รูปที่ ข.1 การติดตั้งหัวจ่ายน้ำแบบหมุนที่ติดตั้งกับโครงสร้าง

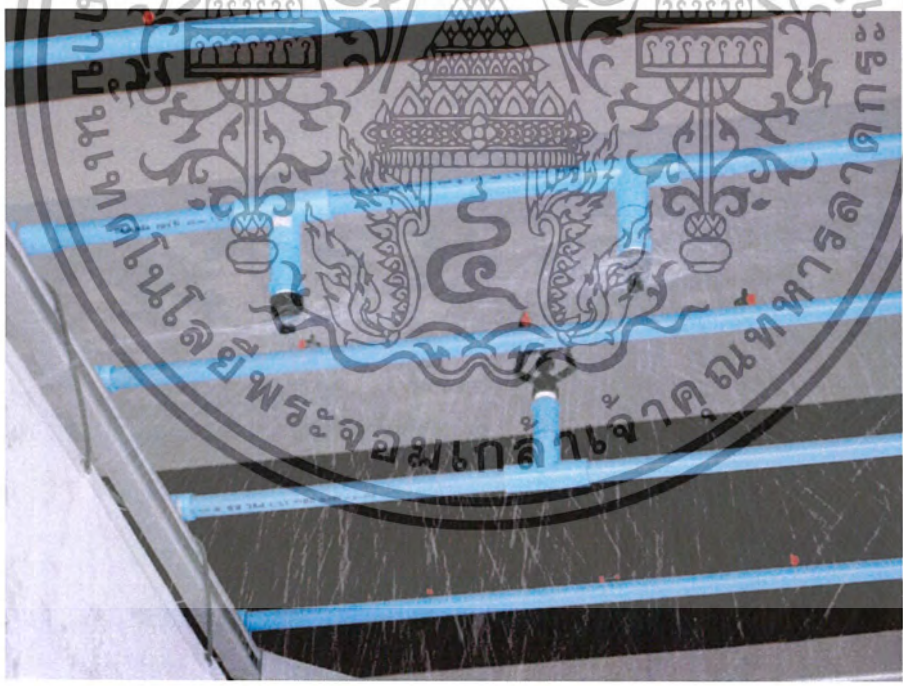


รูปที่ ข.2 ลักษณะของหยดน้ำที่ออกจากหัวจ่ายน้ำแบบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

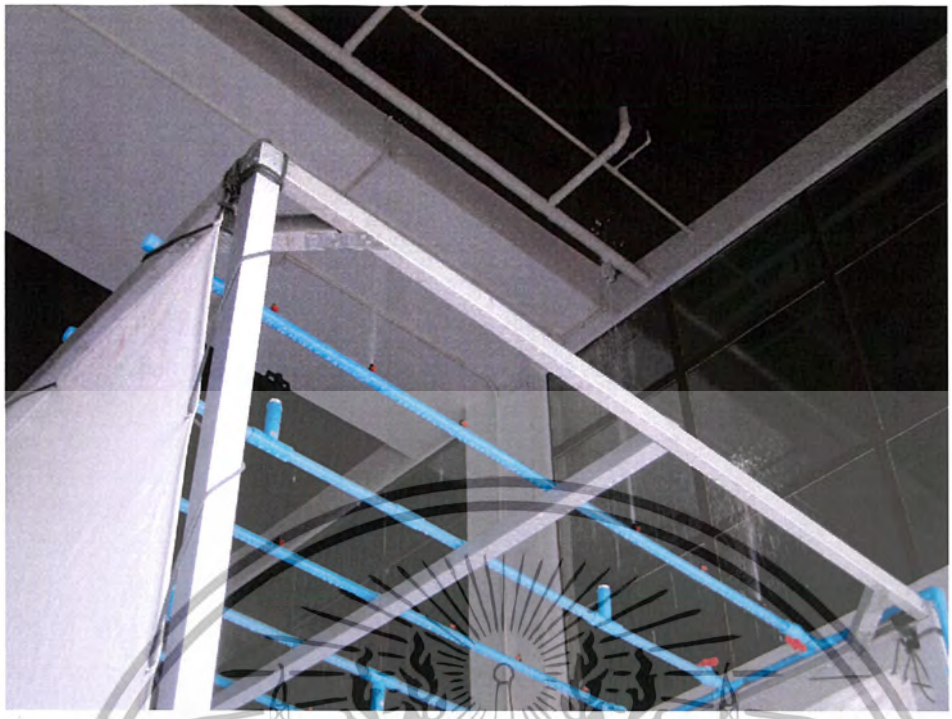


รูปที่ ข.3 การติดตั้งหัวจ่ายน้ำแบบเอียงที่ยึดติดกับโครงสร้าง



รูปที่ ข.4 ลักษณะของหยดน้ำที่ออกจากหัวจ่ายน้ำแบบเอียง

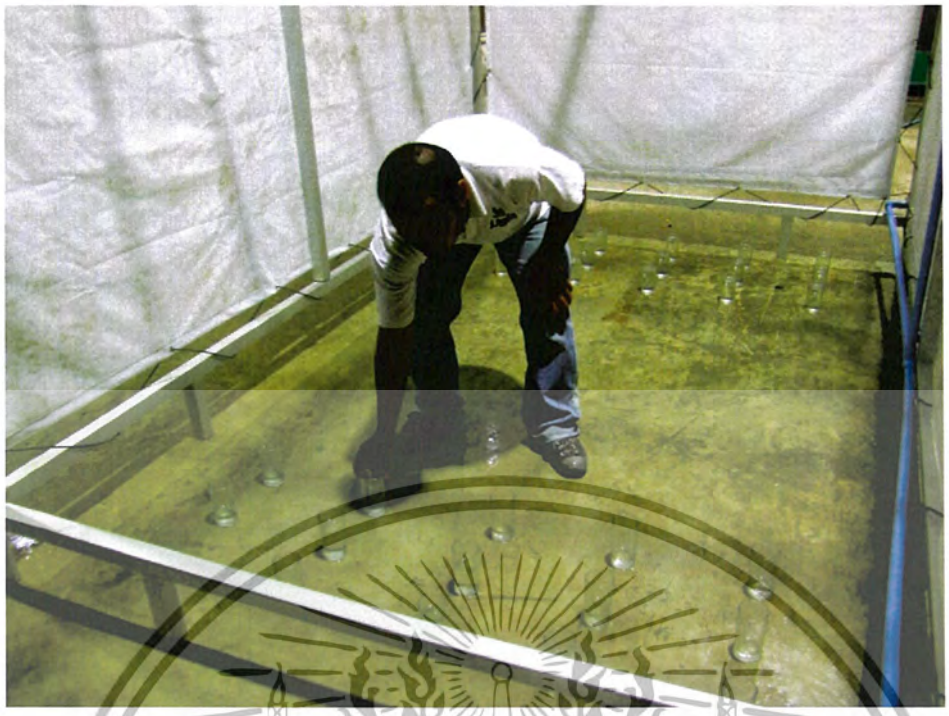
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 ลักษณะการปล่อยน้ำของหัวจ่ายตรง

รูปที่ ข.6 ผลการทดลองที่ได้จากการทดลอง

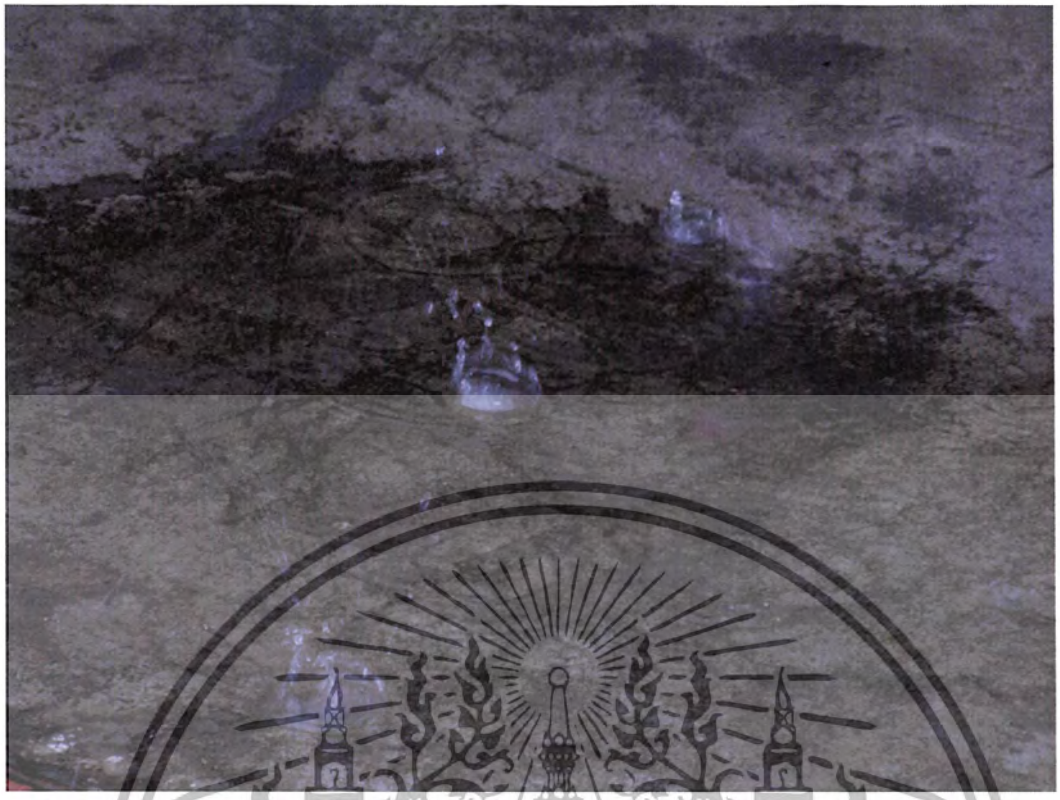
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.7 เก็บค่าการทดลอง

รูปที่ ข.8 การปรับหัวจ่ายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.9 รูปของหยดน้ำที่ได้จากการทดลอง

รูปที่ ข.10 โครงสร้างรวมทั้งหมดของเครื่องจำลองการทำฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

วิบูลย์ บุญยธโรธรม,2526, "หลักการชลประทาน"ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สันติ ทองพำนัก,นิมิต เฉิดฉันท์พิพัฒน์,และระวี อยู่สำราญ, 2551 "การพัฒนาชุดจำลองการทำฝน"ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม

Bryan, R.B. (1981).Soil erosion undersimulated rainfall in the field and in the laboratory : variability of erosionunder controlled conditions. Erosion and sediment transport measurement.

Chow, V. T., Maidment, D. R.,& Mays, L. W. (1988). Applied hydrology. Singapore :McGraw-will,lnc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้