

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ศึกษาและพัฒนาเครื่องพ่นหมอกตามแนวรัศมี

(STUDY AND DEVELOPMENT OF RADIAL TYPE FOGGING GENERATOR)



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาและพัฒนาเครื่องพ่นหมอกตามแนวรัศมี
(STUDY AND DEVELOPMENT OF RADIAL TYPE FOGGING GENERATOR)



ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

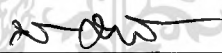
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ศึกษาและพัฒนาเครื่องพ่นหมอกตามแนวรัศมี

(STUDY AND DEVELOPMENT OF RADIAL TYPE FOGGING
GENERATOR)

คณะผู้จัดทำ

1. นาย ฉัตรชัย นยโกวิทย์ รหัสประจำตัว 48015372
2. นาย เซวตลักษณ์ เถาหมอ รหัสประจำตัว 48015373
3. นาย สุภชัย สนกลัด รหัสประจำตัว 48015397



อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาและพัฒนาเครื่องพ่นหมอกตามแนวรัศมี

นาย	ฉัตรชัย	นยโกวิทช์	48015372
นาย	เชาวลักษณ์	เถาหมอ	48015373
นาย	ศุภชัย	สนกถิต	48015397
รศ.ดร.	พงษ์เจต	พรหมวงค์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550			

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องพ่นหมอกตามแนวรัศมี โดยใช้หลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อให้เกิดการระเหยตัวอย่างรวดเร็วทำให้อากาศโดยรอบเย็นและชื้นขึ้น ทดแทนระบบที่ใช้ความดันสูง ซึ่งการทำงานของระบบความดันต้องใช้ปั๊มแรงดันสูงสร้างความดันของน้ำผ่านหัวฉีดทำให้ละอองน้ำกระจายไปยังบริเวณรอบๆ ซึ่งระบบความดันนี้มีราคาสูง จึงได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องพ่นหมอกนี้ ให้ลดต้นทุนการผลิตและสามารถนำไปใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมการเกษตรต่างๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study and Development of Radial Type fogging generator



Abstract

This paper presents the development of a radial water spraying system for cooling atmospheric air, using centrifugal force instead of high pressure system that is very expensive. The radial water spraying machine with centrifugal force in this development is cheaper and can be use in industrial or agriculture applications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือและร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกันบุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึง เพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ก็คือ รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือเอาใจใส่แนะนำและให้กำลังใจให้นักศึกษาเสมอมา ซึ่งผมได้ซาบซึ้งและขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

และยังมีอีกหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ไม่ว่าจะเป็นท่านอาจารย์ และเพื่อนนักศึกษาภายในภาคเครื่องกลและสุดท้ายที่ลืมไม่ได้ ต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังคอยให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ฉัตรชัย นยโกวิทช์
เชาวลัทภษณ์ เกาหมอ
ศุภชัย สนกลัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
สัญลักษณ์.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานการแตกตัวของหยด.....	2
2.1 พื้นฐานการแตกกระจายของของเหลว.....	2
2.1.1 การแตกออกของหยดในกระแสอากาศไหล.....	2
2.1.2 การแตกกระจายของกระแสน้ำเป็นลำของของเหลว.....	3
2.1.3 การกระจายของแผ่นของเหลว.....	5
2.2 ขนาดของหยด.....	8
บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานกลศาสตร์ของไหล.....	9
3.1 ค่าแรงตึงผิว.....	9
3.2 การวัดการไหลในท่อ.....	9
3.2.1 อุปกรณ์การวัดที่ใช้หลักการของการวัดการไหลโดยตรง.....	9
3.2.2 มาตรฐานวัดที่ใช้หลักการที่ก่อให้เกิดความดันลดในท่อ.....	10
3.2.3 มาตรฐานวัดการไหลที่ใช้หลักการของการแปรแบบเชิงเส้น.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 มาตรการไหลที่ใช้วิธีวัดแบบตามขวาง.....	10
บทที่ 4 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบงานหมุน.....	12
4.1 เครื่องจักรกลแบบการจัดเป็นบวค.....	12
4.2 เครื่องจักรกลแบบพลวัต.....	12
4.3 การวิเคราะห์การไหลแบบอุดมคติของเครื่องจักรกลแบบใบพัด.....	14
4.3.1 หลักการของ โมเมนตัมเชิงมุม.....	14
4.3.2 แผนภาพความเร็ว.....	17
4.4 ผลของมุมใบพัดที่มีต่อเครื่องจักรกลแบบไหลตามรัศมี.....	19
บทที่ 5 การคำนวณและสร้าง.....	22
5.1 การสร้างชุดทดลอง.....	22
5.2 ข้อสมมติฐานของการออกแบบใบงานหมุน.....	24
5.3 การคำนวณหาแรงบิดและกำลังงานโดยใช้ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลัง.....	25
5.4 การคำนวณหาขนาดหอคิวกฤตโดยใช้ใบที่ 2 แบบโค้งงอด้านหลัง.....	27
บทที่ 6 การทดสอบสมรรถนะ.....	31
6.1 อุปกรณ์.....	31
6.2 วิธีการทดลอง.....	31
6.3 ผลการทดลอง.....	34
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง.....	50
บรรณานุกรม.....	53
ภาคผนวก.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.....	55
ภาคผนวก ข.....	67
ภาคผนวก ค.....	68
ภาคผนวก ง.....	70
ภาคผนวก จ.....	72
ภาคผนวก ฉ.....	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 6 การทดสอบสมรรถนะ.....	31
ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบอัตราการเกิดละอองขนาดกึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางหยด ของใบที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่ระยะ 1, 2 และ 3 เมตร.....	49
ภาคผนวก ก.....	55
ตารางที่ ก.1 - ก.12 แสดงผลการทดลองปริมาณการเกิดละอองที่ อัตราการไหลของน้ำ 605 มิลลิลิตรต่อนาที.....	55
ตารางที่ ก.13- ก.24 แสดงผลการทดลองปริมาณการเกิดละอองที่ อัตราการไหลของน้ำ 430 มิลลิลิตรต่อนาที.....	59
ตารางที่ ก.25- ก.36 แสดงผลการทดลองปริมาณการเกิดละอองที่ อัตราการไหลของน้ำ 403 มิลลิลิตรต่อนาที.....	63
ภาคผนวก ข.....	67
ตารางที่ ข.1 ตารางแสดง Typical drag coefficients for regular three dimensional Objects.....	67
ภาคผนวก ค.....	68
ตารางแสดงผลของขนาดหยด กับจำนวนหยดที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในหนึ่งตารางเซนติเมตร ที่ระยะทาง 1, 2 และ3 เมตร ของใบที่ 1, 2, 3 และ4 ตามลำดับ.....	68

สารบัญรูปภาพ

หน้า

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานการแตกตัวของหยด.....	2
รูปที่ 2.1 กลไกการเกิดหยดที่อัตราเร็วของอากาศต่างๆ.....	4
รูปที่ 2.2 ความเสถียรของกระแสน.....	5
รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการพ่นฉีดเป็นละอองรูปแบบที่ 1 เกิดที่ขอบ.....	6
รูปที่ 2.4 ภาพถ่ายแสดงการพ่นฉีดเป็นละอองรูปแบบที่ 2 เกิดเป็นคลื่น.....	6
รูปที่ 2.5 ภาพถ่ายแสดงการพ่นฉีดเป็นละอองรูปแบบที่ 3 เกิดเป็นแผ่นพ่น.....	7
รูปที่ 2.6 สเปกตรัมของขนาดของหยด.....	8
บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานกลศาสตร์ของไหล.....	9
รูปที่ 3.1 แสดงรูปของ โรตามิเตอร์.....	10
บทที่ 4 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบจานหมุน.....	12
รูปที่ 4.1 แสดงถึงเครื่องจักรกลแบบใบพัด.....	13
รูปที่ 4.2 แสดงถึงการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องจักรกล	
แบบการจัดเป็นบวกับกับเครื่องจักรกลแบบใบพัด.....	14
รูปที่ 4.3 แสดงถึงปริมาตรควบคุมและความเร็วสัมบูรณ์ของของไหล	
ที่ไหลเข้าออกชุดใบพัด.....	16
รูปที่ 4.4 แสดงถึงค่าความเร็วต่างๆ ที่ตำแหน่งขาเข้าและขาออก	
ของเครื่องจักรกลของไหล.....	17
รูปที่ 4.5 แสดงถึงแผนภาพความเร็วที่ตำแหน่งขาเข้าของใบพัด	
และขาออกของใบพัด.....	18
รูปที่ 4.6 แสดงถึงรูปภาคตัดขวางของเครื่องสูบแรงเหวี่ยง.....	19
รูปที่ 4.7 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าหัวกับค่าอัตราการไหลอุดมคติของเครื่องสูบแรง	
เหวี่ยงที่มีใบพัดแบบใบตรง แบบใบโค้งงอไปทางด้านหลัง และแบบใบโค้งงอไปทางด้านหน้า.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 การคำนวณและสร้าง.....	22
รูปที่ 5.1 ภาพถ่ายด้านข้างเครื่องทำหมอก.....	22
รูปที่ 5.2 ภาพถ่ายภายใน ถ่ายจากด้านหลังเครื่อง.....	23
รูปที่ 5.3 ภาพถ่ายด้านข้างส่วนมานอิมิตอร์.....	23
รูปที่ 5.4 ภาพถ่าย อินเวอร์เตอร์ และ สวิตช์	23
รูปที่ 5.5 ภาพถ่าย เครื่องวัดความเร็วลม (anemometer).....	23
รูปที่ 5.6 แสดงภาพถ่ายจานหมุนทั้ง 4 ชนิดที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ตัดใบพรุนขนาดของรูเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1.5 มิลลิเมตร.....	24
รูปที่ 5.7 ภาพแสดงตัวอย่างการเกิดละอองที่ความเร็วรอบของจานหมุน ที่ 5000 รอบต่อนาที ของใบที่ 2 และ 3.....	29
รูปที่ 5.8 แสดงการเกิดละอองหมอก.....	30
รูปที่ 5.9 แสดงการพ่นละอองน้ำออกที่ด้านหน้าเครื่อง.....	30
บทที่ 6 การทดสอบสมรรถนะ.....	31
รูปที่ 6.1 ภาพถ่ายแสดงขั้นตอนวัดจากด้านหลังเครื่อง ใช้ฉากรองรับ ก่อนที่จะนำไปวัดขนาดหยด.....	32
รูปที่ 6.2 ภาพถ่ายแสดงขั้นตอนวัดจากด้านหน้าเครื่อง ใช้ฉากรองรับ ก่อนที่จะนำไปวัดขนาดหยด.....	33
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณการเกิดละอองกับความเร็วยรอบ ที่อัตราป้อนน้ำเข้า 605 มิลลิลิตรต่อนาที	36
รูปที่ 6.4 ถึง 6.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนหยด (เปอร์เซ็นต์)กับขนาดหยด (ไมโครเมตร).....	37

สัญลักษณ์

A	พื้นที่หน้าตัดของหยด
C_D	Drag coefficient
D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางหยด (μm)
D_{crit}	ขนาดหยดวิกฤติที่เริ่มแตกตัว (μm)
n	จำนวนหยดละออง
N	ความเร็วรอบ (rpm)
Q_1	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำป้อนเข้า (ml/min)
Q_2	ปริมาณที่ไหลลงอ่างเก็บ (ml/min)
Q_3	ปริมาณน้ำที่เกิดละออง (ml/min)
U_R	ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างหยด (m/s) ของของเหลวและอากาศ
ν_r	Kinematics Viscosity (m^2/s)
V	ความเร็วที่ปลายทางออกของใบจานหมุน (m/s)
\bar{V}	ความเร็วของอากาศที่ทางเข้าและทางออก (m/s)
W_e	เลขวีเบอร์ (Weber number)
γ_w	น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (KN/m^3)
μ_w	ค่าความหนืดของน้ำ ($N \cdot s/m^2$)
σ_w	ค่าความตึงผิวของน้ำ (N/m)

บทที่ 1

บทนำ

จากการศึกษาเบื้องต้นของการเกิดละอองหมอกนั้นนอกจากระบบของความดันที่น้ำไหลผ่านหัวฉีด ยังมีวิธีที่ใช้ระบบของความเร็วด้วยเทคนิคแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางก็ทำให้เกิดละอองหมอกได้เช่นกัน

แต่เนื่องด้วยระบบเทคนิคแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำให้เกิดละอองหมอกนั้นมีตัวแปรต่างๆอยู่หลายตัวแปรที่มีผลต่อการแตกตัวของหยด เช่น ความเร็วรอบของจานหมุน อัตราการไหลของน้ำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจานหมุน ขนาดแผ่นพรมที่ติดกับจานหมุน เป็นต้น ล้วนแล้วแต่มีผลของการเกิดละอองทั้งสิ้น ซึ่งจะหาสมการที่คำนวณเพื่อจะได้ขนาดหยดตามที่ต้องการนั้น ไม่มี แต่มีเพียงสมการที่พอจะประมาณค่าได้เท่านั้น โดยค่าส่วนใหญ่ที่ได้นั้นจะได้จากการทดลองเป็นหลัก

โครงการนี้จะศึกษาการออกแบบใบลักษณะต่างๆ มีผลต่อการแตกตัวของหยดอย่างไรและตัวแปรอะไรบ้างที่มีผลต่อขนาดหยด เมื่อทดลองได้ลักษณะของใบที่เหมาะสมที่สุดที่จะสามารถนำไปนั้นๆ พัฒนาต่อไปเพื่อที่จะนำไปใช้งานได้จริง

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีพื้นฐานการแตกตัวของหยด

2.1 พื้นฐานการแตกกระจายของของเหลว แบ่งออกได้ 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.1.1 การแตกออกของหยดในกระแสอากาศไหล

การแตกออกของหยดที่เคลื่อนที่บนอากาศ ขึ้นอยู่กับสมบัติของของเหลวและแก๊ส ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด แรงเค้นระหว่างพื้นผิว และขึ้นอยู่กับรูปแบบการไหลเวียนของแก๊สรอบๆ หยคน้ำ โดยทั่วไปควบคุมโดยแรงกล แรงตึงผิว และแรงต้านจากความหนืด

สำหรับของเหลวที่มีความหนืดต่ำ ของเหลวจะมีแรงกระทำทั้งจากอากาศพลศาสตร์ แทนโดย $0.5 \rho_A U_R^2$ และแรงตึงผิว แทนโดย σ_L / D และมีผู้สร้างความสัมพันธ์เป็นเลขไร้นาม คือเลขวีเบอร์ (Weber no.) ดังสมการ

$$W_e = \frac{\rho_A U_R^2 D}{\sigma_L} \quad (2.1)$$

เมื่อ U_R คือความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างหยดของเหลวและอากาศ

โดยเมื่อค่า W_e สูง ต้องใช้แรงภายนอกสูง สำหรับของเหลวทั่วไป จุดเริ่มต้นที่หยดแตกออกเกิดขึ้นเมื่อแรงต้านอากาศพลศาสตร์คือแรงต้านที่ผิว (aerodynamic drag) เท่ากับแรงตึงผิวพอดี นั่นคือ

$$C_D \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) 0.5 \rho_A U_R^2 = \pi D \sigma_L \quad (2.2)$$

จัดเทอมใหม่ได้

$$\left(\frac{\rho_A U_R^2 D}{\sigma_L} \right)_{crit} = \frac{8}{C_D} \quad (2.3)$$

ซึ่งเทอมแรกของสมการที่ (2.1) คือ ค่า W_e นั้นเอง

จากสมการ (2.1) สามารถค่าความเร็ววิกฤตที่ทำให้หยดแตกออกและขนาดสูงสุดของหยดได้ด้วย

จากผลการศึกษาพบว่า วิธีที่ทำให้หยดแตกออกมี 2 วิธี คือ ได้รับแรงกระทำอย่างต่อเนื่อง หรือหยดถูกแรงกระทำโดยทันที ในวิธีแรก หยดใหญ่จะแบนออกและที่ความเร็ววิกฤตจะถูกเป่าออกเป็นลูกกลวง จากลูกกลวงจะแตกออกเป็นหยดเล็กๆ ในขณะที่ขบๆ กลายเป็นหยดใหญ่ ในวิธีหลัง เช่นหยดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปในกระแสน้ำปั่นป่วนของแก๊สซึ่งมีแรงอากาศพลศาสตร์สูงมาก เนื่องจากพลังงานจลน์ของกระแสน้ำปั่นป่วนเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น ถ้าความแตกต่างนี้ที่มีผลต่อการแตกออกของหยด จะได้เลขวีเบอร์วิกฤตดังสมการ

$$W_{e_{crit}} = \frac{\rho_A U_R^2 D_{MAX}}{\sigma_L} \quad (2.4)$$

จากสมการที่ (2.4) สามารถแสดงได้ว่า สำหรับของเหลวที่มีความหนืดต่ำ ในกระแสน้ำปั่นป่วน

$$W_{e_{crit}} = 1.18 \quad (2.5)$$

2.1.2 การแตกกระจายของกระแสน้ำเป็นลำของของเหลว (disintegration of liquid jets)

เมื่อกระแสน้ำของเหลวพุ่งออกมาจากหัวฉีดเป็นลำ (jet) ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกต่อเนื่อง บนพื้นผิวมีแรงทั้งยืดและฉีกออกทำให้เกิดทั้ง การแกว่งกวัด (oscillations) และการส่าย (perturbations) การแกว่งกวัดที่เกิดที่ผิวนี้เองเมื่อขยายขึ้นมีผลทำให้มวลของของเหลวแตกกระจายออกเป็นหยด ขั้นตอนนี้เรียกว่าการฉีดพ่นเป็นละอองขั้นต้น (primary atomization) ถ้าหยดที่เกิดขึ้นในขั้นนี้มีขนาดใหญ่กว่าขนาดวิกฤต จะแตกออกไปเป็นขนาดเล็กลงในขั้นตอนที่สอง เรียกว่า การฉีดพ่นเป็นละอองขั้นที่สอง (secondary atomization) กระแสน้ำเป็นลำของเหลวและการแตกกระจายมีสมบัติที่สำคัญได้แก่ รูปร่างของสเปรย์ทั้งมุมและความยาว ขนาดและการกระจายขนาดของหยด เป็นต้น เมื่อพิจารณาสมบัติเบื้องต้นของกระแสน้ำเป็นลำในอากาศหนึ่ง พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางกับความยาวของกระแสน้ำ คือ ความยาวของกระแสน้ำจะไม่เกินเส้นรอบวงมีฉะนั้นจะแตกออกเป็นสองหยด กระแสน้ำเป็นลำนี้แตกออกเป็นหยด (breakup) เนื่องจากมีพลังงานรบกวนและการแตกออกขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น เรียกว่าความยาวคลื่นของการรบกวน (wavelength of the disturbance) สำหรับกระแสน้ำของเหลวที่มีความหนืดต่ำและที่ความเร็วต่ำพบว่า ที่ความยาวคลื่นของการรบกวนที่เหมาะสม จะเกิดการแตกเป็นหยด ขนาดของหยดมีค่าเกือบสองเท่าของขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของกระแสน้ำเป็นลำ ดังสมการ

$$D = 1.89d \quad (2.6)$$

ดังนั้นความเร็วของกระแสอากาศที่อยู่ล้อมรอบกระแสพ่นเป็นลำของของเหลวมีอิทธิพลต่อการแตกออกเป็นหยดอย่างยิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.1

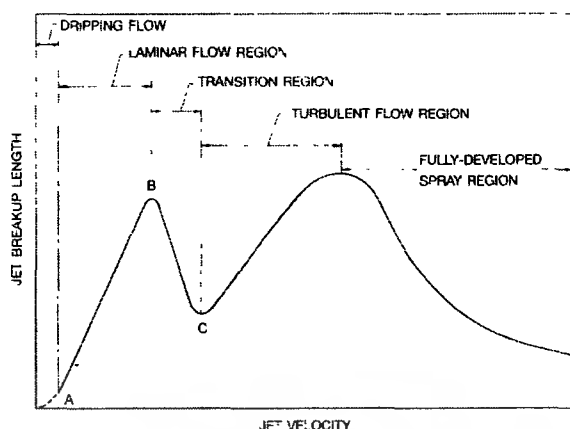
- ก) ที่ความเร็วต่ำ (เลขเรย์โนลด์ต่ำ) กระแสพ่นเป็นลำเกิดการแกว่งแล้วแตกออกเป็นหยดใหญ่ขนาดสม่ำเสมอคือ การแตกเป็นหยดแบบเรย์เลห์ (Rayleigh breakup)
- ข) ที่ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น (เลขเรย์โนลด์ปานกลาง) ความฝืดของอากาศมีผลให้เกิดการแกว่งของกระแสพ่นเป็นลำกับแนวแกนของกระแส อัตราการแกว่งเพิ่มขึ้นเมื่อแรงต้านจากอากาศเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการแตกเป็นหยด กรณีนี้ได้หยดเล็กที่ขนาดต่างกัน คือ การแตกเป็นหยดด้วยแรงลม (first wing and second wing induced breakup)
- ค) ที่ความเร็วสูงมากขึ้นอีก (เลขเรย์โนลด์สูง) ทำให้เกิดการแตกกระจายโดยการเกิดคลื่นของกระแสพ่นทันทีที่ออกจากหัวฉีด ได้หยดขนาดเล็กมากคือ การแตกเป็นหยดด้วยคลื่น นั่นคือการฉีดพ่นเป็นละอองขึ้น (atomization)



รูปที่ 2.1 กลไกการเกิดหยดที่อัตราเร็วของอากาศต่างๆ

รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและกระแสพ่นเป็นลำและความเร็ว ตลอดช่วงความเร็วของกระแส ตั้งแต่การไหลเป็นหยด การไหลแบบราบเรียบ และการไหลแบบปั่นป่วน สำหรับหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ความเร็วอยู่ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนและพ่นเข้าไปในกระแสอากาศที่มีความเร็วสูงและปั่นป่วนเช่นกันเพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของกระแสพ่นเป็นลำและความเร็วจึงอยู่ในช่วงหลังจุด c ในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ความเสถียรของกระแส

มีผู้สร้างความสัมพันธ์เป็นสมการเอมไพริกัลเพื่อคำนวณความยาวของกระแสน้ำเป็นลำที่ไหลแบบปั่นป่วนในบรรยากาศปกติจากเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหลายสมการ [3]

2.1.3 การกระจายของแผ่นของเหลว (disintegration of liquid sheets)

ในหัวข้อที่ผ่านมา กล่าวถึงการแตกออกของกระแสน้ำเป็นลำเป็นหยดของเหลวขนาดเล็ก โดยเกิดการฉีดพ่นของเหลวเป็นละออง ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กัน เช่น กระป๋องสเปรย์ หัวฉีดยาฆ่าแมลง และอื่นๆ อย่างไรก็ตามหัวฉีดหลายแบบ โดยเฉพาะหัวฉีดน้ำมันเตาในหม้อไอน้ำอุตสาหกรรมและเตาเผาไม่ฉีดพ่นออกมาเป็นกระแสน้ำเป็นลำ แต่ฉีดพ่นของเหลวออกมาให้พุ่งแผ่เป็นแผ่นแบบรูปคล้ายพัด หรือแผ่นรูปกรวย ซึ่งจะกลายเป็นหยดขนาดเล็ก หรือ ละอองในที่สุด ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงรูปแบบการเกิดละอองและความสัมพันธ์บางแบบ

รูปแบบการแตกกระจายของแผ่นของเหลว

แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ เกิดที่ขอบ เกิดเป็นคลื่น และเกิดเป็นแผ่นพ่น

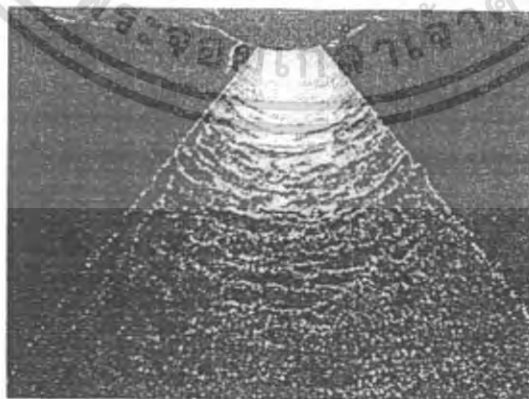
รูปแบบที่ 1 เกิดที่ขอบ แรงตึงผิวมีอิทธิพลมากในกรณีนี้ โดยของเหลวที่มีความหนืดและแรงตึงผิวสูงจะเกาะอยู่ที่ขอบหัวฉีดเป็นขอบหนา และถูกดึงออกเป็นสายยาวๆ และกลายเป็นหยดเรียงกันในแนวแกนของหัวฉีด หยดที่ได้มีขนาดใหญ่รวมทั้งหยดเล็กเกาะติดกับหยดใหญ่ เช่นที่แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการพ่นฉีดเป็นสะเก็ดของรูปแบบที่ 1 เกิดที่ขอบ

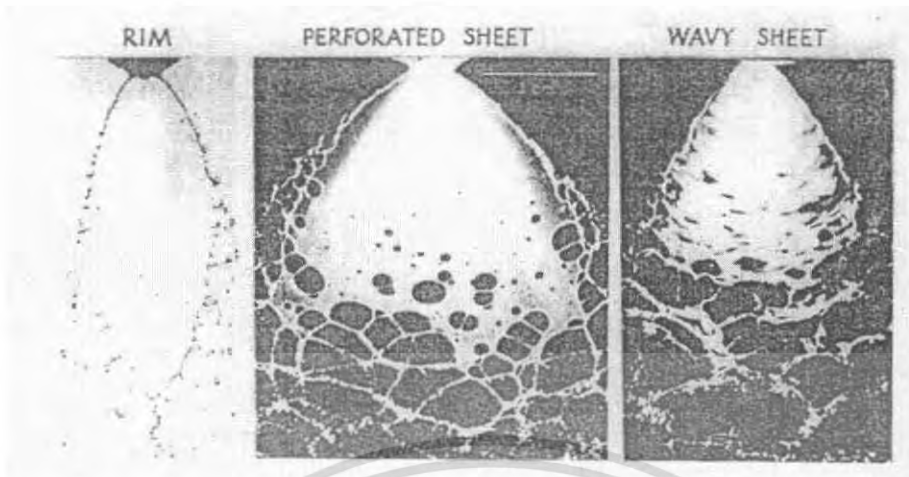
รูปแบบที่ 2 เกิดเป็นคลื่น ของเหลวแผ่เป็นออกจากหัวฉีดด้วยความยาวคลื่นเท่ากับครึ่งหนึ่ง หรือ เท่ากับความยาวคลื่นของการกวัดแกว่ง แผ่นของเหลวหดตัวเล็กน้อยด้วยแรงดึงผิวแล้วถูกทำให้แตกกระจายออกด้วยแรงอากาศพลศาสตร์ หรือการปั่นป่วนที่ผิวของเหลว ก่อนที่จะถูกดึงออกเป็นเส้นขาว ลักษณะการแผ่ออกเป็นแผ่นที่เป็นคลื่นแล้วแตกออกเป็นหยดเห็นชัดเจนจากภาพถ่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.4

รูปแบบที่ 3 เกิดเป็นแผ่นพรุน แผ่นของเหลวแผ่ออกจนบางแล้วเกิดรูพรุนขึ้นทั่วไป รูพรุนจะขยายออกจนจรดกัน จนขอบของรูพรุนที่อยู่ติดกันรวมกันกลายเป็นแผ่นเยื่อ (ligaments) ของของเหลวบางๆ ซึ่งจะขาดออกจากกันเป็นหยดเล็กขนาดต่างๆ กัน ดังแสดงด้วยภาพถ่ายในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 ภาพถ่ายแสดงการพ่นฉีดเป็นสะเก็ดของรูปแบบที่ 2 เกิดเป็นคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ภาพถ่ายแสดงการพ่นฝอยเป็นละอองรูปแบบที่ 3 เกิดเป็นแผ่นพรุน

โดยสรุป ยังไม่สามารถใช้สมการต่างๆ ออกแบบและทำนายหัวฉีดที่ใช้งานกันอยู่ได้แต่ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีการถ่ายภาพที่ความเร็วสูง ช่วยให้เกิดความเข้าใจ เกี่ยวกับการเกิดหยดมากขึ้นอันอาจจะนำไปสู่การสร้างเลขไร้นัยที่นำมาใช้งาน ได้มากขึ้น

สรุปประเด็นในหัวข้อนี้ คือ

การแตกออกเป็นหยดเริ่มจากการเพิ่มพื้นที่ผิวในรูปกระแสเป็นลำหรือแผ่น จนเกิดสภาวะไม่อยู่ตัว แล้วแตกออกเป็นหยด ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราเร็ว

ก) ถ้าการไหลเป็นแบบราบเรียบกลไกเกิดแบบเรย์เลห์ (Rayleigh)

ข) ถ้าการไหลเป็นแบบปั่นป่วนกลไกการเกิดเสริม โดยความเร็วสัมพัทธ์ของของเหลวแรงต้านของอากาศ ด้าน โดย ความหนืดของของเหลว

การมีแรงต้านจากอากาศ มีผลดังนี้

- ช่วยการแตกกระจายเป็นหยด โดยมีแรงอากาศพลศาสตร์ต้านกับแรงที่ผิว
- ทำให้เกิดการแกว่งกวัดและการส่ายของกระแสและที่พื้นผิว
- ทำให้การแกว่งกวัดขยายขนาดในสภาวะที่เหมาะสม มีผลให้

* กระแสพ่นของเหลวแตกออกเป็นหยด

* แผ่นของเหลวขาดเป็นเยื่อบางและหยด

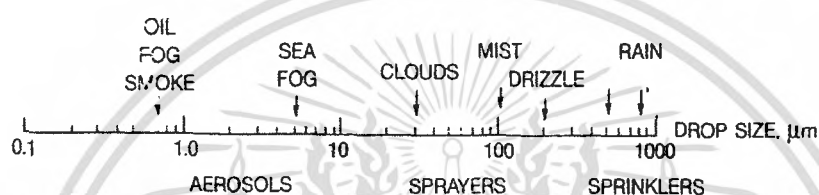
หยดที่ใหญ่กว่าขนาดวิกฤตจะแตกออกไปกลายเป็นหยดเล็กกว่าขนาดวิกฤต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การฉีดพ่นของเหลวให้เป็นหยดเล็ก ๆ หรือละอองไม่ว่าจะเกิดจากกระแสน้ำเป็นลำ หรือของเหลวที่แผ่เป็นแผ่น ให้หยดที่มีขนาดและช่วงขนาดต่างกันหลายขนาด ความเข้าใจเกี่ยวกับขนาดและช่วงขนาดของหยดจะแสดงในรายละเอียดในหัวข้อ ถัดไป

2.2 ขนาดของหยด (drop sizes)

การฉีดพ่นของเหลวเป็นหยดเล็ก ๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของเหลวโดยใช้หัวฉีด ได้สเปกตรัมของของเหลว ที่ประกอบด้วยมวลของหยดของเหลวที่มีขนาดต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดหัวฉีด แต่มักอยู่ในช่วง 1 ถึง 500 ไมโครเมตร (ยกเว้นหัวฉีดที่ใช้ในงานวิจัย) รูปที่ 2.6 แสดงช่วงขนาดของหยดและละอองของเหลวที่เกิดตามธรรมชาติเปรียบเทียบกับที่เกิดจากหัวฉีดต่างๆ



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมของขนาดของหยด

ภายในสเปกตรัมประกอบด้วยหยดของเหลวขนาดต่างๆ กัน และจำนวนหยดที่มีขนาดเดียวกันในแต่ละช่วงขนาดก็มีไม่เท่ากัน ความรู้เกี่ยวกับหยดสำคัญมาก เพราะเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการเผาไหม้และความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาด้วย การแสดงขนาดและการกระจายขนาดด้วยกราฟที่เป็นวิธีที่นิยมเพราะแสงได้ชัดเจนที่สุด โดยอาจแสดงได้หลายรูปแบบ [3]

บทที่ 3

ทฤษฎีพื้นฐานกลศาสตร์ของไหล

3.1 ค่าแรงตึงผิว (Surface tension)

ปรากฏการณ์ของของไหลอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นกับของไหลหรือของแข็งก็คือ การที่เกิดแรงตึงผิวขึ้นบนของเหลว ตัวอย่างของปรากฏการณ์ดังกล่าวได้แก่ การที่เอาเข็มเหล็ก ค่อยๆ วางบนผิวของของเหลวและเข็มสามารถลอยอยู่บนผิวของเหลวได้ อันเนื่องมาจากแรงตึงผิวของของเหลวนี้ ก่อให้เกิดเป็นเหมือนแผ่นเยื่อบางรองรับเข็มอยู่ หรือการที่หยดน้ำเกาะตัวเป็นหยดอยู่บนผิวโลหะที่มีผิวเป็นมันวาว ก็เกิดขึ้นมาจากการเกิดแรงตึงผิวขึ้นของหยดน้ำ หรือการที่ของเหลวภายในหลอดขนาดเล็กที่จุ่มอยู่ในอ่างของเหลวนี้มีระดับสูงกว่าผิวของของเหลวที่อยู่ด้านนอกหลอด ก็เนื่องจากการเกิดแรงตึงผิวของของเหลวที่อยู่ด้านในหลอดกับผนังหลอดด้านใน [6]

3.2 การวัดการไหลในท่อ

ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมในระหว่างเรียน จะเป็นการแก้ปัญหาจากโจทย์ในแบบฝึกหัดของตำราเรียนเป็นส่วนใหญ่ การแก้ปัญหาจากโจทย์มักจะเป็นการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจำเป็นต้องหาสมการคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องให้มีจำนวนเท่ากับตัวไม่รู้ค่า เพื่อจะแก้สมการหาตัวไม่รู้ค่าได้ ดังนั้นในปัญหาที่จะทำการแก้ไขจากแบบฝึกหัดแต่ละข้อนั้นจะมีการให้ข้อมูลพื้นฐานจำนวนมากจนเหลือตัวไม่รู้ค่าเท่ากับจำนวนสมการที่มีในการแก้ปัญหา ข้อมูลพื้นฐานที่ให้มาโดยทั่วไปมักจะมี ค่าความดัน ค่าความเร็ว ค่าอัตราการไหล ค่าอัตราการไหลของมวล และค่าแรง เป็นต้น แต่ในทางปฏิบัติหรือเวลาทำงานจริงในงานวิชาชีพ การแก้ปัญหาทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับการไหลนั้นจำเป็นต้องรู้ค่าข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ ซึ่งไม่มีใครบอกเหมือนในแบบฝึกหัดที่ทำในระหว่างเรียนหนังสือ ดังนั้นการที่จะรู้ค่าข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้ จำเป็นจะต้องเข้าใจเรื่องเกี่ยวกับการวัด และเครื่องมือวัดต่าง ๆ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์การวัดที่ขึ้นกับหลักการวัดแบบต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 อุปกรณ์การวัดที่ใช้หลักการของการวัดการไหลโดยตรง

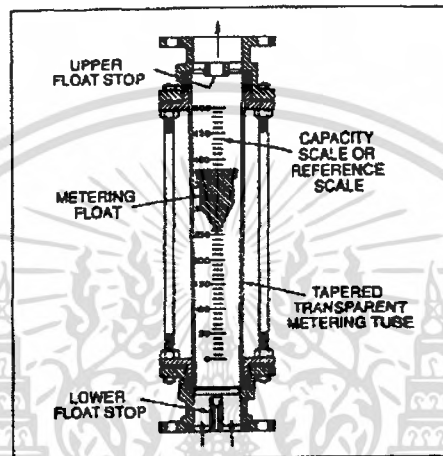
วิธีที่ใช้วัดค่าอัตราการไหลของของไหลในท่อแบบที่เรียบง่ายตรงไปตรงมามากที่สุดก็คือ วิธีที่ใช้หลักการของการวัดการไหลโดยตรง ซึ่งได้แก่ การวัดปริมาตรของของไหลผ่านท่อลงในภาชนะในช่วงเวลาที่กำหนด ภาชนะดังกล่าวอาจเป็นถังขนาดใหญ่ที่สามารถทำการวัดปริมาตร หรืออาจเป็นภาชนะที่บรรจุของไหลที่สามารถทำการชั่งเพื่อหาค่าเป็นค่าอัตราการไหลของมวลก็ได้ ถ้าหากช่วงเวลาที่ใช้ในการวัดมีค่ามากพอและลักษณะการไหลมีสภาพใกล้เคียงกับสภาวะการไหลแบบคงตัว ค่าที่ได้ก็จะแม่นยำ ในกรณีของไหลที่จะทำการวัดเป็นก๊าซ เวลาวัดโดยวิธีที่ใช้หลักการการวัดโดยตรง จะต้องระมัดระวังในเรื่องผลของการอัดตัวของตัวของไหลที่จะมีผลต่อค่าที่ทำการวัดด้วย

3.2.2 มาตรวัดที่ใช้หลักการที่ก่อให้เกิดความดันลดในท่อ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 มาตรการวัดการไหลที่ใช้หลักการของการแปรแบบเชิงเส้น

เครื่องมือวัดตัวแรก คือ โรตاميเตอร์ ซึ่งมีลักษณะเป็นหลอดแก้วหรือหลอดพลาสติกใสติดตั้งในแนวตั้งกับท่อ และปล่อยให้ของไหลไหลผ่านหลอดใส และในหลอดใสจะมีลูกลอยซึ่งถูกปรับเทียบน้ำหนักบรรจุอยู่ ของไหลจะยกลูกลอยนี้ให้ลอยขึ้น โดยใช้หลักการที่ทำให้ค่าแรงหน่วงจากการไหลมีค่าเท่ากับน้ำหนักของลูกลอยตำแหน่งของลูกลอยจะบอกถึงอัตราการไหล ตัว โรตاميเตอร์ จะมีหลายขนาด ซึ่งจะถูกรอกแบบและปรับเทียบให้ใช้งานกับของไหลหลายชนิดและออกแบบมาแต่ละช่วงของอัตราการไหลใช้งาน



รูปที่ 3.1 แสดงรูปของโรตاميเตอร์

เครื่องมือวัดอีกแบบจะถูกเรียกว่า มาตรการแบบกังหัน (Turbine flow) มาตรการดังกล่าวจะถูกนำไปต่อกับท่อและปล่อยให้ของไหลไหลผ่านตัวกังหันที่ถูกติดตั้งไว้ในมาตรการ กังหันจะถูกทำให้หมุนก่อให้เกิดความเร็วเชิงมุมขึ้น ซึ่งความเร็วดังกล่าวจะแปรผันเป็นเชิงเส้นกับความเร็วเฉลี่ยของการไหลของของไหลในท่อ และที่ตัวมาตรการจะมีตัวตรวจรู้ (sensor) ติดตั้งอยู่ ทำการวัดสัญญาณการหมุนไปแปลงเป็นค่าอัตราการไหลของของไหล [6]

เครื่องมือวัดแบบที่สาม คือ มาตรการไหลแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic flow meter) [5]

3.2.4 มาตรการวัดการไหลที่ใช้วิธีวัดแบบตามขวาง [6]

การวัดของของไหลในงานทางวิศวกรรมจริง ในบางครั้งอาจต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่าย ความยุ่งยากในการตรวจวัด และความแม่นยำที่จะยอมรับได้ในแต่ละงาน

เรื่องการวัดการไหลของของไหลเป็นเรื่องซับซ้อน และละเอียดอ่อน การที่จะได้ข้อมูลของการไหลที่แม่นยำ ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญที่นำไปวิเคราะห์แก้ปัญหาทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับการไหลนั้น จำเป็นต้องใช้ความทุ่มเทในการทำความเข้าใจในเครื่องมือวัดแต่ละแบบ ที่มีทั้งข้อเด่นและข้อด้อย ราคา ค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการวัด และขอบเขตความแม่นยำของข้อมูลที่จะทำการวัดที่ยอมรับได้ ต่างเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยประกอบต่อการเลือกเครื่องมือและวิธีการวัดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด ในหัวข้อนี้ได้กล่าวถึง เครื่องมือวัดแบบต่าง ๆ และหลักการวิธีวัดแบบต่าง ๆ พอสังเขป ยังมีเครื่องมือวัดและวิธีการวัดอีกมากมายหลายแบบ ขอให้ผู้อ่านทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อในตำราที่เกี่ยวข้องกับการวัดโดยตรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

หลักการและทฤษฎีพื้นฐานการออกแบบงานหมุน

การแบ่งชนิดของเครื่องจักรกลของไหลถูกแบ่งออกอย่างกว้างๆตามลักษณะการทำงานของเครื่องจักรกลเป็นเครื่องจักรกลแบบการขจัดเป็นบวก (positive displacement machine) และเครื่องจักรกลแบบพลวัต (dynamic machine)

4.1 เครื่องจักรกลแบบการขจัดเป็นบวก

เครื่องจักรกลของไหลแบบการขจัดเป็นบวกจะทำงานส่งผ่านพลังงานให้กับของไหลโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงขนาดของปริมาตรที่เก็บกักของไหล ซึ่งเกิดจากการขยับเคลื่อนของผนังของส่วนที่เก็บกักของเหลวไว้ โดยหลักการของการทำงานจะมีการเปิดช่องว่างที่ใช้เก็บกักของเหลวและปล่อยให้ของไหลไหลเข้าจนเต็มช่องว่าง จากนั้นช่องว่างดังกล่าวจะถูกปิด ของไหลจะถูกบีบอัดโดยการลดปริมาตรของช่องว่างดังกล่าวลง และของไหลภายใต้ความดันก็จะถูกส่งไปยังทางด้านช่องออก หัวใจของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมก็ทำงานสูบน้ำโลหิตในลักษณะเดียวกับเครื่องจักรกลแบบการขจัดเป็นบวกนี้

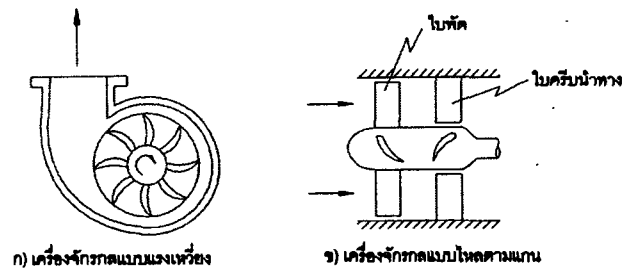
ละเครื่องจักรกลการไหลแบบการขจัดเป็นบวก สามารถแบ่งตามลักษณะการออกแบบเป็น 2 ชนิดหลัก [6]

4.2 เครื่องจักรกลแบบพลวัต (dynamic machine)

จะทำงานโดยอาศัยหลักการของการนำของไหลให้ไหลผ่านใบพัดหรือใบครีปที่ติดอยู่กับชิ้นส่วนหมุนซึ่งมักจะเป็นแกนหมุน ดังนั้นเราจึงมักเรียกเครื่องจักรกลหมุนแบบพลวัตอีกชื่อหนึ่งว่าเครื่องจักรกลแบบใบพัด (turbo machine) ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องจักรกลชนิดนี้จะต่างกับเครื่องจักรกลแบบการขจัดเป็นบวกตรงที่ว่า จะไม่มีช่องว่างที่ปิดมิดอยู่ในเครื่องจักรกลแบบใบพัด การเพิ่มพลังงานให้กับของไหลหรือการดึงพลังงานออกจากของไหลเกิดจากผลของการหมุนของใบพัดที่กระทำต่อของไหล ของไหลจะถูกเพิ่มหรือลดโมเมนตัมในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านใบพัดออกไปยังช่องออก จากนั้นจะทำการเปลี่ยนค่าความเร็วของของไหลให้มาเป็นค่าความดันด้วยส่วนของเครื่องจักรกลที่บริเวณช่องออก

เครื่องจักรกลแบบพลวัตจะสามารถแบ่งตามเป็นชนิดตามลักษณะการไหลเป็น 3 ลักษณะ คือ

- 1 เครื่องจักรกลแบบการไหลตามแนวรัศมี (radial flow machine) หรือเครื่องจักรกลแบบแรงเหวี่ยง (centrifugal machine)
- 2 เครื่องจักรกลแบบการไหลตามแนวแกน (axial flow machine) [6]
- 3 เครื่องจักรกลแบบการไหลชนิดผสม (mixed flow machine) [6]



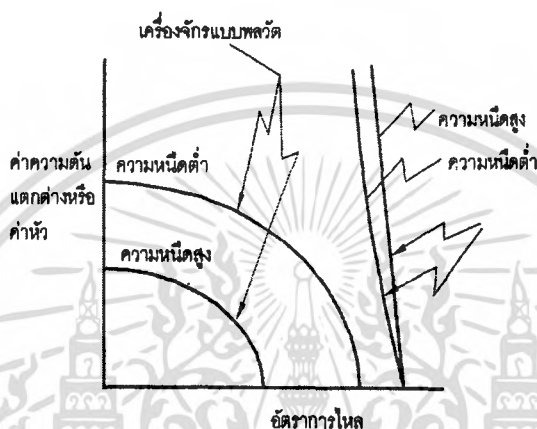
รูปที่ 4.1 แสดงถึงเครื่องจักรกลแบบใบพัด

เครื่องจักรกลแบบพลวัตหรือเครื่องจักรกลแบบใบพัดนี้ มักจะมีลักษณะที่สามารถให้อัตราการไหลของของไหลได้สูง และจะให้ของไหลที่มีลักษณะการไหลออกจากเครื่องจักรกลได้คงตัวมากกว่าการไหลที่ออกจากเครื่องจักรกลแบบการขจัดเป็นบวมมาก แต่เครื่องจักรกลแบบใบพัดจะทำงานไม่มีประสิทธิภาพดีนักเมื่อนำไปใช้งานกับของไหลที่มีความหนืดสูง เครื่องจักรกลแบบใบพัดโดยทั่วไปมักจะต้องมีการเติมของเหลว (priming) ก่อนเวลาเริ่มเดินเครื่อง ในขณะที่เครื่องสูบบแบบการขจัดเป็นบวมไม่จำเป็นต้องมีการเติมของเหลวก่อน ทำให้เครื่องสูบบแบบการขจัดเป็นบวมนี้จะสูบของไหลได้ดีภายใต้สภาวะต่างๆ เครื่องจักรกลแบบใบพัดอาจสามารถทำงานให้อัตราการไหลสูงมาก (อาจถึง 300,000 แกลลอนต่อนาที) แต่จะทำความดันได้เพียงค่าปานกลาง (ไม่กี่บรรยากาศ) แต่ในทางตรงกันข้ามเครื่องจักรกลแบบการขจัดเป็นบวมอาจทำงานให้ค่าความดันสูงมาก (อาจถึง 300 บรรยากาศ) ในขณะที่มักให้อัตราการไหลที่ต่ำ (อาจจะมีค่าเพียง 100 แกลลอนต่อนาที)

หากนำคุณลักษณะทางสมรรถนะของเครื่องจักรกลทั้งสองแบบมาเปรียบเทียบกัน จะพบข้อแตกต่างที่ชัดเจนที่สามารถนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกเครื่องจักรกลไปใช้งานที่เหมาะสมได้ รูปที่ 4.2 แสดงถึงลักษณะสมรรถนะทั่วไปของเครื่องสูบทั้งสองแบบ โดยแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความดันแตกต่างหรือค่าหัวเทียบกับค่าอัตราการไหล สำหรับกราฟสมรรถนะของเครื่องสูบบแบบการขจัดเป็นบวมที่ทำงานอัตราความเร็วของการหมุนของเพลาคงที่นั้น จะเห็นได้ว่าเครื่องจักรกลแบบการขจัดเป็นบวมให้ค่าอัตราการไหลเกือบคงที่ และสามารถสร้างความดันได้สูงขึ้นไปเรื่อย ๆ โดยความหนืดของของไหลที่ใช้งานจะมีผลต่อค่าสมรรถนะนี้น้อยมาก จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของของไหลที่ได้จากเครื่องจักรกลแบบการขจัดเป็นบวมนั้นแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงนอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของการหมุนของเครื่องสูบ หรือเปลี่ยนขนาดของการขจัดในช่องว่างที่ใช้เก็บกักของไหลในเครื่องสูบ

สำหรับสมรรถนะของของไหลที่ได้จากเครื่องจักรกลแบบใบพัดนั้นจะมีลักษณะแตกต่างจากของเครื่องจักรกลแบบการขจัดเป็นบวมมาก จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า ค่าสมรรถนะของเครื่องกลที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานที่ความเร็วคงที่จะแปรเปลี่ยนไปอย่างค่อนเนื่อง โดยที่เครื่องจักรกลนี้จะให้ค่าความดันสูงสุดที่อัตราการไหลเท่ากับศูนย์ เงื่อนไขการปิดการไหล (Shut off condition) และจากนั้นค่าความดันก็จะลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นเส้นโค้ง เมื่อเพิ่มค่าอัตราการไหล จนกระทั่งจะได้ค่าอัตราการไหลสูงสุดเมื่อค่าความดันลดมีค่าเป็นศูนย์และเมื่อนำเครื่องจักรกลดังกล่าวซึ่งทำงานที่ความเร็วรอบเท่าเดิมมาใช้กับของไหลที่มีความหนืดสูงขึ้น จะเห็นว่าสมรรถนะจะลดลงอย่างมากแต่ลักษณะของสมรรถนะจะคล้ายคลึงกัน



รูปที่ 4.2 แสดงถึงการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องจักรกลแบบการขจัดเป็นบวกกับเครื่องจักรกลแบบใบพัด

4.3 การวิเคราะห์การไหลแบบอุดมคติของเครื่องจักรกลแบบใบพัด

การไหลจริงที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรกลแบบใบพัดนั้นจะซับซ้อนมาก ด้วยสาเหตุของความปั่นป่วนของการไหลและการไหลหมุนวนของการไหลในเครื่องจักร แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นของการไหลกับใบพัด และแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นของการไหลกับ โครงสร้างภายในตัวเรือน และอื่นๆ ทำให้การนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้วิเคราะห์การไหลจริงในเครื่องจักรกลของไหลนั้นเกือบเป็นไปไม่ได้ แต่อย่างไรก็ตามภายใต้เงื่อนไขอุดมคติ และข้อสมมุติฐานหลายอย่าง การวิเคราะห์หาสมรรถนะของเครื่องจักรกลแบบใบพัดในเชิงอุดมคติ อาจสามารถกระทำได้โดยใช้ปริมาตรควบคุมและหลักการของโมเมนตัมเชิงมุมมาดำเนินการ โดยค่าสมรรถนะที่หาได้จะเป็นค่าทางอุดมคติ

4.3.1 หลักการของโมเมนตัมเชิงมุม

จากการใช้หลักการ โมเมนตัมเชิงมุมกับปริมาตรควบคุมและสมการของการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุมจะเขียนได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\vec{r} \times \vec{F}_s + \int_{cv} \vec{r} \times \vec{g} \rho dV + \vec{T}_{shaft} = \frac{d}{dt} \int_{cv} \vec{r} \times \vec{V} \rho dV + \int_{cs} \vec{r} \times \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (4.1)$$

และสำหรับการวิเคราะห์การไหลผ่านเครื่องจักรกลแบบใบพัดนั้น เรานิยมใช้ปริมาตรควบคุมมาล้อมรอบตัวใบพัดเพื่อจะวิเคราะห์หาค่าแรงบิดจากเพลารูปที่ 4.3 จะแสดงถึงปริมาตรควบคุมที่ถูกเขียนล้อมรอบตัวใบพัดทั้งชุดของเครื่องจักรกลของไหลและถูกตรึงอยู่กับที่ โดยแกนพิกัดที่ตรึงแน่นและมีแกน z อยู่ในแนวเดียวกับแกนการหมุนของเครื่องจักรกล ภายใต้สมมุติฐานของเงื่อนไขอุดมคติ ของไหลจะไหลเข้าสู่ใบพัดด้วยความเร็วเฉลี่ยสัมบูรณ์ \vec{V}_1 ที่ตำแหน่งตามแนวรัศมีที่ r_1 และของไหลจะไหลออกจากรูใบพัดที่ตำแหน่ง r_2 โดยมีความเร็วเฉลี่ยสัมบูรณ์เท่ากับ \vec{V}_2 และจากข้อสมมุติฐานของการละทิ้ง

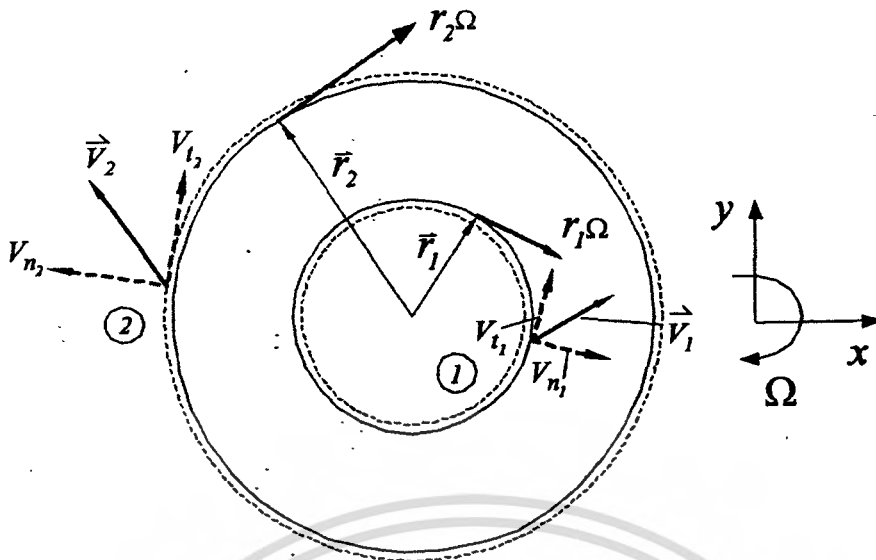
แรงบิดที่เกิดจากแรงผิว ละทิ้งแรงบิดเนื่องจากแรงจากน้ำหนักด้วยสาเหตุของความสมมาตร และหากการไหลเป็นสถานะคงที่ สมการที่ 4.1 จะสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\vec{T}_{shaft} = \int_{cs} \vec{r} \times \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (4.2)$$

และเมื่อนำสมการที่ 4.2 มาใช้กับปริมาตรควบคุมที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 สมการที่ 4.2 จะสามารถเขียนได้ใหม่โดยพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบที่อยู่ในทิศของการหมุน z ได้เป็น

$$T_{shaft} = m(r_2 V_{t_2} - r_1 V_{t_1}) \quad (4.3)$$

โดยที่ m คืออัตราการไหลของมวลที่ไหลผ่านปริมาตรควบคุม และ V_{t_1} และ V_{t_2} คือ องค์ประกอบของความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลที่อยู่ในแนวสัมผัสกับปริมาตรควบคุม (ตั้งฉากกับเส้นรัศมี) ที่ตำแหน่งรัศมีที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 ตามลำดับ สมการที่ 4.3 จะถูกเรียกว่า สมการเครื่องจักรกลแบบใบพัดของออยเลอร์ (Euler turbo machine equation)



รูปที่ 4.3 แสดงถึงปริมาณความเร็วและความเร็วสัมผัสของของไหลที่ไหลเข้าออกชุดใบพัด

และจากรูปที่ 4.3 ความเร็วของตัวใบพัด (ที่เกิดขึ้นจากการหมุน) จะมีค่าเท่ากับ $r_i\Omega$ เมื่อ r_i คือ ค่ารัศมีของใบพัดวัดจากจุดศูนย์กลางของการหมุนถึงตำแหน่ง i และ Ω คือ ค่าความเร็วเชิงมุมของใบพัด เราจะกำหนดให้ค่าความเร็วแนวสัมผัสของของไหล V_i มีเครื่องหมายเป็นบวก หากทิศของความเร็วมัธมีทิศเดียวกับทิศของความเร็วใบพัด $r_i\Omega$ และ ด้วยการกำหนดสัญนิยมเครื่องหมายดังกล่าว หากค่าแรงบิดจากเพลา T_{shaft} มีค่าเป็นบวก จะหมายถึงเครื่องจักรกลดังกล่าวจะเป็นเครื่องสูบล ในขณะที่หากค่าแรงบิดจากเพลา T_{shaft} มีค่าเป็นลบ จะหมายถึงเครื่องจักรกลดังกล่าวจะเป็นกังหัน

และเมื่อนำเอาความเร็วเชิงมุมของใบพัด Ω ไปดำเนินการผลคูณจุด (dot product) กับแรงบิดจากเพลา จะได้ค่ากำลังงานกลของเครื่องจักรกลแบบใบพัด P_m ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$P_m = \vec{\Omega} \cdot \vec{T}_{shaft}$$

$$P_m = \dot{m}(r_2\Omega V_{t_2} - r_1\Omega V_{t_1}) \quad (4.4)$$

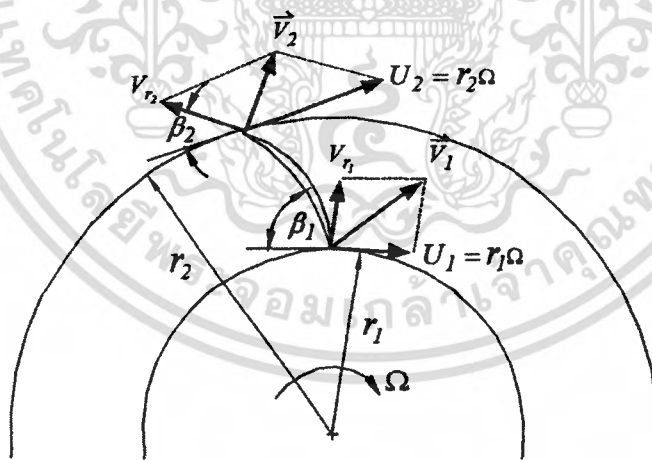
จะเห็นได้ว่าจากสัญนิยมเครื่องหมายที่กำหนดให้กับความเร็วสัมผัสของของไหล ค่ากำลังงานกลของเครื่องสูบลในสมการที่ 4.4 จะมีค่าเป็นบวก เนื่องจากเครื่องสูบลจะเพิ่มพลังงานหรือโมเมนตัมเชิงมุมให้กับของไหล ส่งผลให้ค่าความเร็วสัมผัสที่ตำแหน่งขาออกจากใบพัดของเครื่องสูบล (ตำแหน่งที่ 2) จะมีค่ามากกว่าค่าความเร็วสัมผัสของของไหลที่ตำแหน่งขาเข้าของใบพัดของเครื่องสูบล (ตำแหน่งที่ 1) หากเครื่องจักรกลของไหลเป็นกังหัน ของไหลจะไหลเข้าสู่ใบพัดจากด้านนอกและไหลออกที่ด้านในสวนทางกับการไหลในกรณีของเครื่องสูบล กำลังงานกลในสมการที่ 4.4 จะมีค่าเป็นลบ เนื่องจากกังหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะดึงพลังงานหรือโมเมนตัมเชิงมุมออกจากการของไหลส่งผลให้ค่าความเร็วสัมผัสที่ตำแหน่งขาออก จากใบพัดของกังหันจะมีค่าน้อยกว่าค่าความเร็วสัมผัสของของไหลที่ตำแหน่งขาเข้าของใบพัดของ กังหัน

4.3.2 แผนภาพความเร็ว

จะเห็นว่าค่าสมรรถนะเชิงอุณหพลของเครื่องจักรกลของไหลจะขึ้นอยู่กับค่าความเร็วสัมผัสของ ของไหลที่ตำแหน่งขาเข้าและขาออกของใบพัด ดังนั้นในการวิเคราะห์สมรรถนะดังกล่าวจึงจำเป็นต้องรู้ ค่าความเร็วของของไหลดังกล่าว ซึ่งหากพิจารณาอย่างถี่ถ้วนแล้ว จะเห็นได้ว่าแต่ละตำแหน่งที่อยู่ใน เครื่องจักรกลของไหล จะมีความเร็วจริงที่เกี่ยวข้องอยู่แค่ 2 ค่า คือ ค่าความเร็วสัมผัสของของไหล และค่าความเร็วของใบพัดที่ตำแหน่งดังกล่าวเท่านั้นแต่เพื่อช่วยให้การหาค่าความเร็วของของไหล สามารถกระทำได้ในเงื่อนไขของเครื่องจักรกลทำงานที่จุดออกแบบที่เป็นอุณหพล เราจะใช้สมมุติฐาน ที่ว่า ความเร็วสัมผัสที่เกิดขึ้นเมื่อผู้สังเกตการณ์ยืนพิจารณาอยู่บนใบพัดที่หมุนนั้น จะไหลเข้าและไหล ออกสัมผัสกับรูปร่างของใบพัดในแต่ละตำแหน่ง(ซึ่งบางครั้งจะเรียกสมมุติฐานนี้ว่าการไหลแบบไม่เกิด ช็อก) และจะกำหนดให้มุม β เป็นมุมของใบพัดที่วัดเทียบกับเส้นวงของใบพัด ดังนั้นในแต่ละตำแหน่ง (ที่ขาเข้าและขาออกของใบพัด) จะสามารถเขียนรูปแผนภาพความเร็วที่ประกอบด้วยความเร็วของใบพัด $r_1\Omega$ และ ความเร็วสัมผัส V_r และค่าความเร็วสัมผัสของของไหล V_t จะเป็นผลรวมของความเร็ว สัมพัทธ์กับความเร็วของใบพัดดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.4

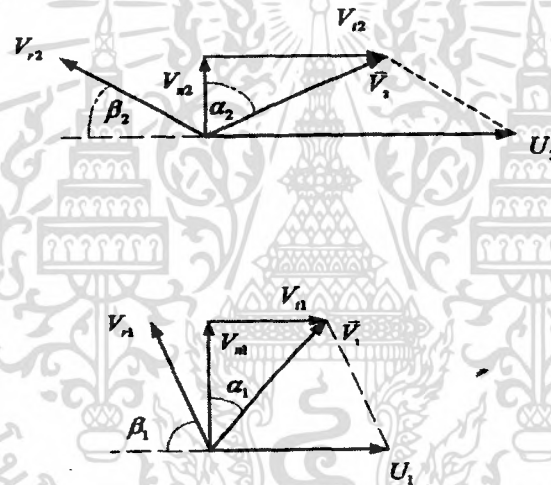


รูปที่ 4.4 แสดงถึงค่าความเร็วต่างๆ ที่ตำแหน่งขาเข้าและขาออกของเครื่องจักรกลของไหล

และเมื่อนำเอาแผนภาพความเร็วที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 จากรูปที่ 4.4 มาเขียน ใหม่ (หมายเหตุ: โดยความเป็นจริงที่แต่ละตำแหน่งจะมีเฉพาะความเร็วสัมผัสของของไหลและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของใบพัดเท่านั้น แต่ความเร็วสัมพัทธ์จะเป็นความเร็วที่ผู้สังเกตการณ์ยืนบนใบพัดเห็น และ เป็นสิ่งที่สร้างขึ้นเพื่อช่วยในการเขียนแผนภาพความเร็ว เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเร็วของไหลได้ง่ายขึ้น) จะได้แผนภาพความเร็วดังรูปที่แสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งนอกจากมุมของใบพัด β_1 และ β_2 แล้ว จะมีมุม α_1 และ α_2 เป็นมุมความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลที่กระทำกับเส้นตั้งฉากกับพื้นที่การไหลดัง แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 และค่าองค์ประกอบของความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลในแนวสัมผัสจะเขียนเป็น V_t ในขณะที่องค์ประกอบของความเร็วในทิศที่ตั้งฉากกับพื้นที่การไหลจะเขียนเป็น V_n หากการไหลเข้าสู่เครื่องจักรกลของไหลเป็นการไหลแบบไม่มีการหมุนวน (swirl free) ความเร็วสัมบูรณ์ของของไหล จะไหลเข้าหาใบพัดตามแนวรัศมี แต่โดยทั่วไปของไหลจะไหลเข้าสู่ใบพัดในลักษณะมีการไหลหมุนวน หรือบางครั้งอาจมีการเปลี่ยนทิศทางการไหลผ่านใบครีบนำทาง (inlet guide vane) ดังนั้นทิศของ ความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลที่เข้าเข้ามักจะไม่ได้อยู่ในแนวรัศมี



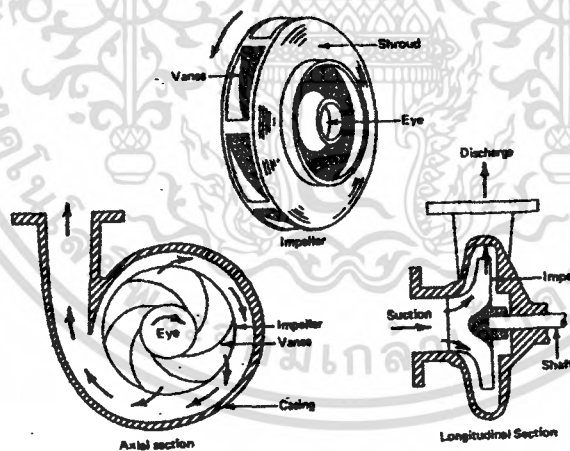
รูปที่ 4.5 แสดงถึงแผนภาพความเร็วที่ตำแหน่งขาเข้าของใบพัด และขาออกของใบพัด

โดยทั่วไปข้อมูลเกี่ยวกับรูปร่างของใบพัด อันได้แก่ พื้นที่ขาเข้าของการไหลเข้าสู่ตัวใบพัด พื้นที่ขาออกของการไหลออกจากตัวใบพัด และมุมใบพัด β ที่ขาเข้าและขาออก และความยาวรัศมีที่ ตำแหน่งขาเข้าและที่ตำแหน่งขาออกของใบพัด มักจะเป็นข้อมูลที่รู้รวมทั้งความเร็วรอบของใบพัดที่ มักจะถูกกำหนด และหากรู้ค่ามุมของความเร็วขาเข้าของของไหล α ด้วย เรามักจะสามารถหาค่า ความเร็วสัมบูรณ์ขาเข้าได้ด้วยการใช้แผนภาพความเร็ว โดยเขียนค่าความเร็วใบพัดที่ตำแหน่งที่ 1 $r_1\Omega$ และจากการรู้ทิศทางของความเร็วสัมพัทธ์ β_1 ประกอบกับมุม α_1 ก็จะสามารถสร้างแผนภาพความเร็ว และหาค่าความเร็ว V_1 ได้ และจากนั้นก็จะสามารถแตกองค์ประกอบเป็นค่าความเร็วสัมผัส V_t และ ความเร็วตั้งฉาก V_n และที่ตำแหน่งที่ 2 ซึ่งจะรู้ค่าความเร็วของใบพัดที่ตำแหน่งที่ 2 เป็น $r_2\Omega$ และรู้มุม β_2 และจากเงื่อนไขการไหลแบบคงตัวและการไหลแบบอัดไม่ได้ จะได้ว่าค่าอัตราการไหลของของ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลที่ตำแหน่งที่ 1 จะมีค่าเท่ากับอัตราการไหลที่ตำแหน่งที่ 2 ดังนั้น $V_1 A_1$ จะมีค่าเท่ากับ $V_2 A_2$ ซึ่งก็จะทำให้สามารถหาค่าความเร็วตั้งฉากที่ตำแหน่งที่ 2 V_2 ได้ จากนั้นก็จะสามารถเขียนแผนภาพความเร็วที่ตำแหน่งที่ 2 ได้ และทำการหาค่าความเร็วสัมบูรณ์ V_2 และความเร็วสัมผัสของของไหล V_{t2} ได้

4.4 ผลของมุมใบพัดที่มีต่อเครื่องจักรกลแบบไหลตามรัศมี

เครื่องจักรกลของไหลแบบใบพัดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายจะเป็นเครื่องจักรกลแบบไหลตามแนวรัศมี ซึ่งเรามักเรียกเครื่องจักรกลชนิดนี้อีกชื่อหนึ่งว่า เครื่องจักรกลแบบแรงเหวี่ยง (centrifugal machine) ในหัวข้อย่อยนี้จะกล่าวถึงลักษณะของเครื่องจักรกลชนิดนี้ในรายละเอียดจะพิจารณาผลของมุมใบพัดที่มีต่อสมรรถนะในเชิงอุคมคติ และเพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายจะใช้เครื่องสูบลแรงเหวี่ยง (centrifugal pump) เป็นกรณีตัวอย่างของเครื่องจักรกลแบบแรงเหวี่ยง รูปที่ 4.6 จะแสดงถึงภาพตัดของตัวเครื่องสูบลแรงเหวี่ยงทางด้านหน้าและด้านข้าง รวมทั้งแสดงถึงตัวใบพัด (impeller) โดยที่ของไหลจะเคลื่อนเข้าหาตัวเครื่องสูบลที่ส่วนด้านหน้าตรงกลางเครื่องสูบลซึ่งจะมักเรียกส่วนดังกล่าวว่า ตา (eye) จากนั้นของไหลจะเคลื่อนเข้าสู่ตัวใบพัดและหมุนเหวี่ยงออกตามแนวรัศมีจากใบพัดเข้าสู่ส่วนของเรือนเครื่องสูบลที่เป็นคิฟิวเซอร์ (diffuser) ซึ่งส่วนของคิฟิวเซอร์จะชะลอให้ของไหลมีความเร็วลดลงโดยจะเปลี่ยนความเร็วไปอยู่ในรูปของความดัน ผลก็คือความดันของของไหลจะถูกทำให้เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.6 แสดงถึงรูปภาคตัดขวางของเครื่องสูบลแรงเหวี่ยง

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าใบพัดจะมีลักษณะ โค้งไปด้านหลัง (backward-curved) (พิจารณาเทียบกับทิศทางการหมุนของใบพัด) คำถามที่อาจเกิดขึ้นก็คือ อะไรจะเกิดขึ้นหากใบพัดมีใบเป็นใบตรงหรือใบเอียงโค้งไปด้านหน้าหากสมมุติว่าของไหลซึ่งไหลเข้าสู่ใบพัดที่ด้านขาเข้าของใบพัดตามแนวที่แสดงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 นั้นอยู่ในแนวรัศมีพอดี ซึ่งในกรณีดังกล่าวนี้จะทำให้ค่าองค์ประกอบของความเร็วสัมบูรณ์ที่ด้านขาเข้าของใบพัดตามแนวสัมผัสมีค่าเป็นศูนย์ [$V_{t_1} = 0$]

และจากแผนภาพความเร็วที่ด้านขาออกของใบพัด จะเขียนได้เป็น

$$V_{t_2} = r_2 \Omega - V_{n_2} \cos \beta_2$$

$$= r_2 \Omega - \frac{V_{n_2}}{\sin \beta_2} \cos \beta_2$$

$$V_{t_2} = r_2 \Omega - V_{n_2} \cot \beta_2 \quad (4.5)$$

และจากที่ความกว้างของตัวใบพัดมีค่าเท่ากับ ค่าอัตราการไหลจะสามารถเขียนได้เป็น

$$Q = \pi D_2 b V_{m_2} \quad (4.6)$$

โดยที่ค่าคงที่ A และ B จะเป็นค่าที่ขึ้นกับรูปร่างทางเรขาคณิตของเครื่องสูบลม และความเร็วรอบที่ทำงาน โดยที่

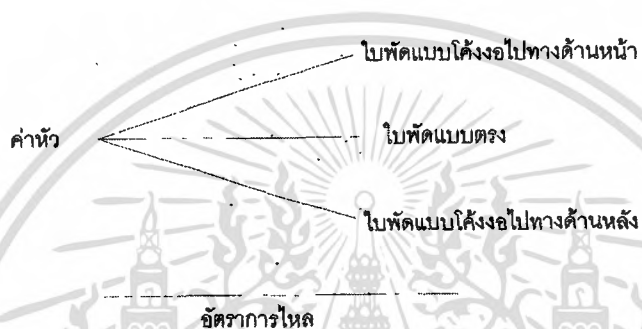
$$A = \frac{(r_2 \Omega)^2}{g}$$

$$B = \frac{r_2 \Omega \cot \beta_2}{g \pi D_2 b}$$

จะเห็นได้ว่าค่า A จะเป็นค่าหัวที่ค่าอัตราการไหลเท่ากับศูนย์ ($Q = 0$) นั่นคือ หัวที่ปิดการไหล (shut off head) และค่า B นั้นจะมีเครื่องหมายแปรตามมุม

ในกรณีที่ไบพัตเป็นไบตรง $\beta_2 = 90^\circ$ จะให้ค่า $B = 0$ ซึ่งจะให้ค่าหัวตามสมการที่ 4.12 มีค่าคงที่ นั่นคือ ในกรณีไบพัตเป็นไบตรง ค่าเชิงอุดมคติจะไม่ขึ้นกับอัตราการใช้ของไหล ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.7

ในกรณีที่ไบพัตโค้งงอไปทางด้านหลัง (backward curved) ค่า $\beta_2 < 90^\circ$ เมื่อแทนค่ามุม β_2 ในค่า B จะพบว่า B มีค่าเป็นบวก ดังนั้นค่าหัวในสมการที่ 9.10 จะแปรเป็นเส้นตรงโดยมีความชันเป็นลบ นั่นคือ ค่าหัวจะลดลงเมื่อค่าอัตราการใช้ของไหลเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าหัวกับค่าอัตราการใช้ของเครื่องสูบลมเหวี่ยงที่มีไบพัตแบบไบตรง แบบไบโค้งงอไปทางด้านหลัง และแบบไบโค้งงอไปทางด้านหน้า

ในกรณีที่ไบพัตโค้งงอทางด้านหน้า (forward curved) ค่า $\beta_2 > 90^\circ$ เมื่อแทนค่า β_2 ลงในค่า B จะพบว่า B มีค่าเป็นลบ ดังนั้นค่าหัวในสมการที่ 4.11 จะแปรเป็นเส้นตรงโดยที่มีค่าความชันเป็นบวก นั่นคือ ค่าหัวจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอัตราการใช้ของไหลเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.7

ดังนั้นจากการพิจารณากราฟในรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าค่าสมรรถนะของเครื่องสูบลมเหวี่ยงสามารถแปรเปลี่ยนอย่างชัดเจนโดยขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงมุมของไบพัต แต่อย่างไรก็ตามค่าที่แสดงในรูปที่ 4.7 นั้นเป็นเพียง ค่าทางอุดมคติที่ยังไม่ได้รวมถึงค่าความสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นในตัวเรือนเครื่องสูบลมและการไหลวนต่างๆ และในกรณีของเครื่องสูบลมเหวี่ยงที่ใช้สูบของเหลวจะไม่นิยมใช้ไบพัตที่เอียงไปด้านหน้าเลย เพราะมันจะทำงานไม่เสถียร ดังนั้นไบพัตของเครื่องสูบลมเหวี่ยงที่ใช้กับของเหลวจะเป็นไบพัตโค้งงอไปทางด้านหลังเท่านั้น ไบพัตตรงกับไบพัตโค้งไปทางด้านหน้าอาจมีการใช้บ้างแต่มักจะเป็นไบพัตของพัดลม (เครื่องสูบลมที่ใช้กับของเหลวที่เป็นก๊าซ) เท่านั้น

บทที่ 5

การคำนวณและสร้าง

5.1 การสร้างชุดทดลอง

- การสร้างชุดทดลองจะแสดงดังรูปที่ 5.1 และ 5.2 ส่วนการให้ขนาดของโครงสร้างจะแสดงในภาคผนวก ง

- ไบที่ใช้ทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5" ติดไบพรูขนาดรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร สูง 20 มิลลิเมตร หน้า 1 มิลลิเมตร ทั้งหมดจำนวน 4 ไบ ดังแสดงในรูป 5.5

- อุปกรณ์ทั้งหมดจะแสดงไว้ในบทที่ 6

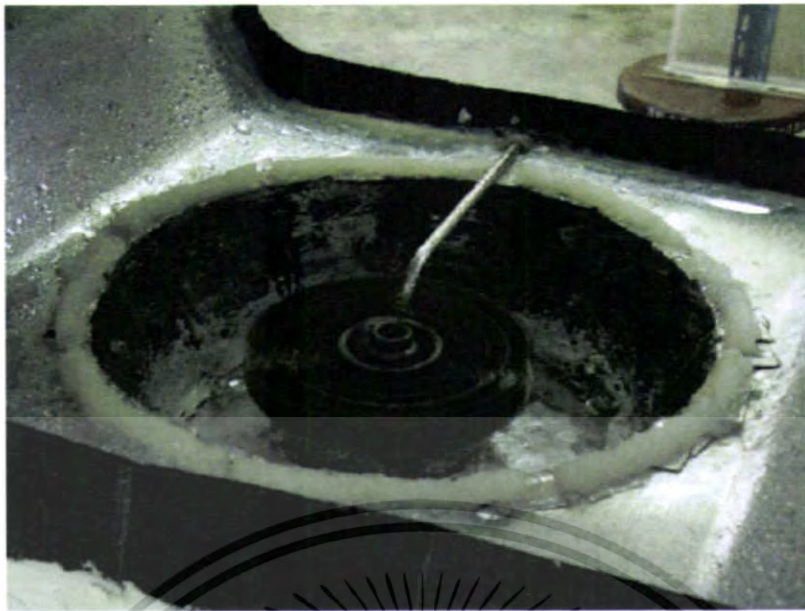
- การคำนวณ โดยจะคำนวณหาแรงบิด และกำลังงาน โดยใช้ไบที่ 2 เพราะมีลักษณะคล้ายกับ ทฤษฎีที่นำมาออกแบบจานหมุนและการคำนวณขนาดหยดวิกฤตโดยใช้สมการ 2.3 โดยจะแสดงในหัวข้อ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ

- รูปการทดลอง



รูปที่ 5.1 ภาพถ่ายด้านข้าง

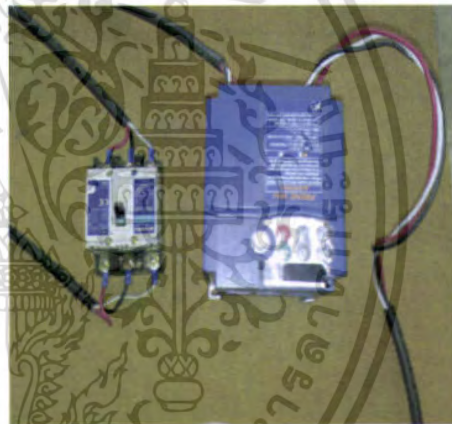
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ภาพถ่ายภายในถ่ายจากด้านล่างเครื่องของใบที่ 1 แบบกันหอย



รูปที่ 5.3 ภาพถ่ายด้านข้างส่วนมานอมิเตอร์



รูปที่ 5.4 ภาพถ่ายอินเวอร์เตอร์ และ สวิตช์



รูปที่ 5.5 ภาพถ่ายเครื่องวัดความเร็วลม (annimo meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. ใบที่ 1 แบบก้นหอย

ข. ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลัง
ติดใบพรุน 16 ใบค. ใบที่ 3 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ติดใบพรุน
16 ใบปิดด้านบนช. ใบที่ 4 แบบโค้งงอไปด้านหลัง
ติดใบพรุน 28 ใบ

รูปที่ 5.6 แสดงภาพถ่ายจานหมุนทั้ง 4 ชนิดที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 5" ติดใบพรุน
ลักษณะต่าง ๆ ขนาดของรูเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.5 มิลลิเมตร

5.2 ข้อสมมติฐานของการออกแบบใบจานหมุน

ใบที่ 1 แบบก้นหอย ใช้หลักการออกแบบให้น้ำถูกเหวี่ยงออกที่จุดศูนย์กลางของจานหมุน
ลักษณะเหมือนเกลียว ผ่านรูพรุนทำให้น้ำเกิดการแตกตัว

ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบ ใช้หลักการออกแบบตามลักษณะของใบพัด
ของปั๊ม แต่แตกต่างที่ลักษณะของแผ่นครีป ที่ใบที่ 2 นี้ติดเป็นรูพรุน และน้ำถูกเหวี่ยงออกโดยรอบตาม
แนวรัศมีผ่านรูพรุนทำให้น้ำเกิดการแตกตัว

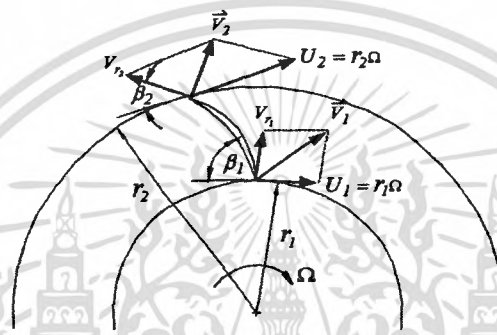
ใบที่ 3 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบปิดด้านบน โดยใบนี้ได้พัฒนาต่อ มาจากใบที่
2 โดยทำการปิดด้านบนเพื่อที่จะทำให้น้ำถูกรีดออกมาจากด้านข้างผ่านรูพรุนเพียงอย่างเดียว และจะทำให้
ขนาดหยดละเอียดขึ้น

ใบที่ 4 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 28 ใบ โดยใบนี้เราได้พัฒนามาจากใบที่ 2 โดยทำ
การเพิ่มใบพรุนเพื่อที่จะทำให้น้ำขนาดหยดละเอียดและมีอัตราการกินน้ำเพิ่มขึ้น
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การคำนวณหาแรงบิด และกำลังงานโดยใช้ใบที่ 2

โดยใช้ ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบ หากค่าทางอุดมคติของ แรงบิด และกำลังงาน

เครื่องพ่นหมอกทำงานอยู่ที่อัตราเร็วรอบเท่ากับ 5000 รอบต่อนาที อัตราการไหลของน้ำไหลเข้าเท่ากับ 605 มิลลิลิตรต่อนาที ตัวใบพัดมีความหนาของใบพัดที่ตำแหน่งขาเข้าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร รัศมีขาเข้ามีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และความหนาของใบพัดที่ตำแหน่งขาออกเท่ากับ 20 มิลลิเมตร รัศมีใบพัดที่ตำแหน่งขาออกเท่ากับ 63.5 มิลลิเมตร มุมของใบพัดที่ตำแหน่งขาเข้า β_1 เท่ากับ 60° และมุมของใบพัดที่ตำแหน่งขาออกเท่ากับ 45° และกำหนดมุมของน้ำที่เข้าสู่ใบพัด α_1 เท่ากับ 15° กำหนดให้



$$\beta_1 = 60^\circ, \beta_2 = 45^\circ, \alpha_1 = 15^\circ, \gamma_1 = 0.02 \text{ เมตร}, \gamma_2 = 0.0635 \text{ เมตร}, b_1 = 0.02 \text{ เมตร}, b_2 = 0.02 \text{ เมตร}$$

$$, \Omega = 5000 \text{ รอบต่อนาที} = 5000 \times \frac{2\pi}{60} = 523.6 \text{ เรเดียนต่อวินาที}$$

จงหา T_{shaft}, P_m

สมการพื้นฐาน $T_{shaft} = \dot{m}(r_2 v_{t2} - r_1 v_{t1}), P_m = \Omega \cdot T_{shaft}$

ข้อสมมุติฐาน 1. เป็นการไหลอัดไม่ได้ และการไหลแบบคงตัว

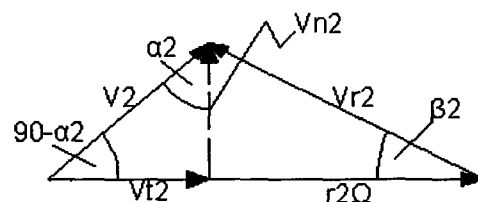
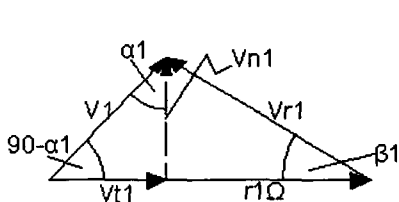
2. การไหลที่ขาเข้า และขาออกของใบพัดมีค่าสม่ำเสมอ

ความเร็วของใบพัดที่ตำแหน่งขาเข้า

$$r_1 \Omega = 0.02 \times 523.6 = 10.47 \text{ เมตร/วินาที}$$

ความเร็วของใบพัดที่ตำแหน่งขาออก

$$r_2 \Omega = 0.0635 \times 523.6 = 33.25 \text{ เมตร/วินาที}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปแผนภาพเหลี่ยมความเร็วที่ตำแหน่งขาเข้าของใบพัด

$$\frac{V_1}{\sin 60^\circ} = \frac{V_{n_1}}{\sin(90^\circ - 15^\circ)} = \frac{r_1 \Omega}{\sin 45^\circ}$$

$$V_1 = \frac{r_1 \Omega \sin 60^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{10.47 \sin 60^\circ}{\sin 45^\circ} = 12.82 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$V_{n_1} = \frac{r_1 \Omega \sin 75^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{10.47 \sin 75^\circ}{\sin 45^\circ} = 14.30 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$V_{n_1} = V_1 \cos \alpha_1 = 12.82 \cos 15^\circ = 12.38 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$V_{t_1} = V_1 \sin \alpha_1 = 12.82 \sin 15^\circ = 3.32 \text{ เมตร/วินาที}$$

จาก $Q = 605$ มิลลิเมตร/วินาที $= 10 \times (10^{-6})$ เมตร³/วินาที

จากสมการของการอนุรักษ์ และ การไหลอัดไม่ได้ แบบคงตัว

$$\int_{cs} \vec{V} \cdot d\vec{A} = 0, \quad Q = V_{n_1} A_1 = V_{n_2} A_2$$

$$V_{n_2} = \frac{Q}{A_2} = \frac{10 \times 10^{-6}}{2\pi \times 0.0635 \times 0.02} = 0.013 \text{ เมตร/วินาที}$$

จากรูปแผนภาพสามเหลี่ยมความเร็วที่ตำแหน่งขาออกของใบพัด

$$V_{t_2} = r_2 \Omega - V_{n_2} \cot \beta_2$$

$$= 33.25 - 3.9 \cot 45^\circ = 29.35 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \frac{V_{t_2}}{V_{n_2}} = \tan^{-1} \frac{29.35}{3.9} = 82.43^\circ$$

$$V_2 = \frac{V_{n_2}}{\cos \alpha_2} = \frac{0.013}{\cos 82.43} = 0.10 \text{ เมตร/วินาที}$$

ค่าแรงบิดเชิงอุดมคติจะหาได้จาก

$$T_{shaft} = \dot{m}(r_2 V_{t_2} - r_1 V_{t_1})$$

$$T_{shaft} = 10^3 \times 10 \times 10^{-6} \times (0.0635 \times 29.35 - 0.02 \times 3.32)$$

$$= 0.02 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

Ans

ค่ากำลังงานเชิงอุดมคติหาได้จาก

$$P_m = \Omega \cdot T_{shaft}$$

$$= 523.6 \times 0.02 = 10.46 \text{ วัตต์} = 0.014 \text{ แรงม้า}$$

Ans

แรงบิดที่ใช้จริงของมอเตอร์ 3 เฟส ; ใช้สมการ $(T) = \frac{P}{1.04 \times N}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P = 0.37kw$ และ $N = 2740rpm$ แต่เป็นมอเตอร์ 2 โพล จะได้ N จริงเท่ากับ

$$2 \times 2740 = 5480rpm$$

แทนค่าจะได้ว่า

$$T = \frac{0.37 \times 10^3}{1.04 \times 5480} = 0.06 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

5.4 การคำนวณ หาขนาดของหยดโดยใช้ใบที่ 8 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ติดใบพรุน 16 ใบ ปิดด้านบน แสดงในตัวอย่างที่ 2

ของเหลวที่มีความหนืดต่ำของเหลวจะมีแรงกระทำจากอากาศพลศาสตร์ $\frac{1}{2} \rho_A U_R^2$ กับแรงตึงผิว σ_L/D

Air $15^\circ C$; $\rho_A = 1.23 kg/m^3$

Water $25^\circ C$; Density; $\rho_w = 999 kg/m^3$

Specific weight ; $\gamma_w = 1.12 \times 10^{-3} KN/m^3$

Dynamic Viscosity ; $\mu_w = 1.12 \times 10^{-3} N.s/m^2$

Kinematic Viscosity ; $\nu_r = 1.12 \times 10^{-6} m^2/s$

Surface Tention ; $\sigma_w = 7.34 \times 10^{-2} N/m$

ขนาดสูงสุดของหยดจะคำนวณ จากสมการ(2.3)

$$\left(\frac{\rho_A U_R^2 D}{\sigma_L} \right)_{crit} = \frac{8}{C_D}$$

$$\rho_A = 1.23 kg/m^3 , \quad \sigma_L = \sigma_w = 7.34 \times 10^{-2} N/m ,$$

C_D จาก ภาคผนวก ข. เลือกค่า solid hemisphere ประมาณ 1.2

U_R คือความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างหยดของของเหลวและอากาศ (m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของหยดสมมติให้มีค่าเท่ากับความเร็วที่ขอบของจานหมุน คือ

$$V = \frac{\pi DN}{60}$$

N ทดสอบที่ 5000 rpm, D ของจานหมุน $5'' = 0.127 \text{ m}$

$$\therefore V = \frac{\pi(0.127)(5000)}{60} = 33.25 \text{ m/s}$$

ความเร็วของอากาศสมมติให้เป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง ความเร็วลมที่ทางเข้าอุโมงค์ และทางออกอุโมงค์จากการใช้เครื่องมือวัด

ทางเข้า = 7.62 m/s , ออก = 6.70 m/s

$$\therefore \bar{V} = \frac{7.62 + 6.70}{2} = 7.16 \text{ m/s}$$

$$\therefore U_R = (V - \bar{V}) = (33.25 - 7.16) = 26.09 \text{ m/s}$$

จะได้ว่า

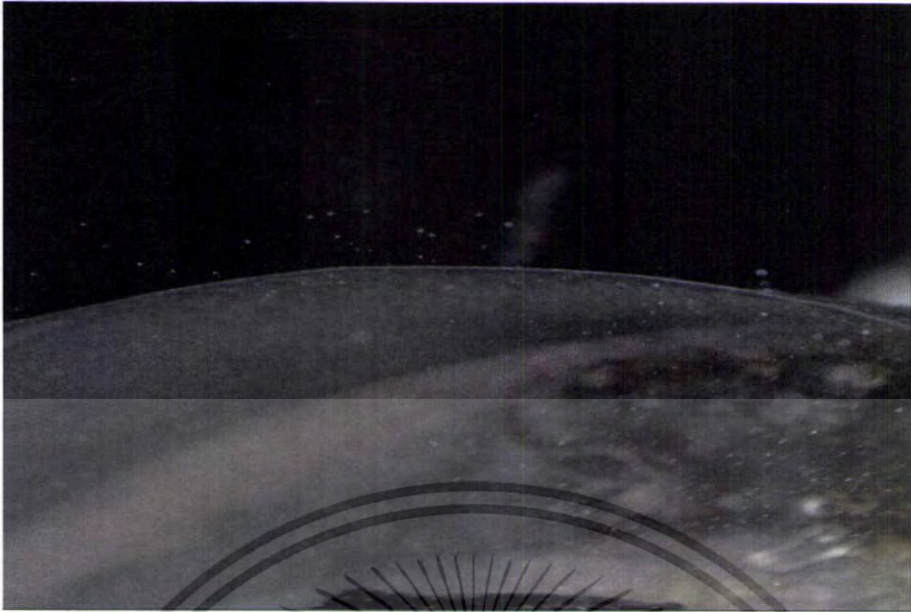
$$\begin{aligned} D_{crit} &= \frac{8 \times \sigma_L}{C_D \rho_A U_R^2} \\ &= \frac{8 \times 7.34(10^{-2})(\text{N/m})}{(1.2)(1.23 \text{ kg/m}^3)(26.09 \text{ m/s})^2} \\ &= 5.84 \times 10^{-4} \text{ m} \end{aligned}$$

$$D_{crit} = 584 \quad \mu\text{m}$$

Ans

หมายเหตุ : ขนาดหยดวิกฤติ (D_{crit}) คือ ขนาดโตที่สุดของหยดเริ่มแตกตัวในกระแสอากาศเนื่องจากแรงต้านอากาศเท่ากับแรงตึงผิวของหยดน้ำพอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



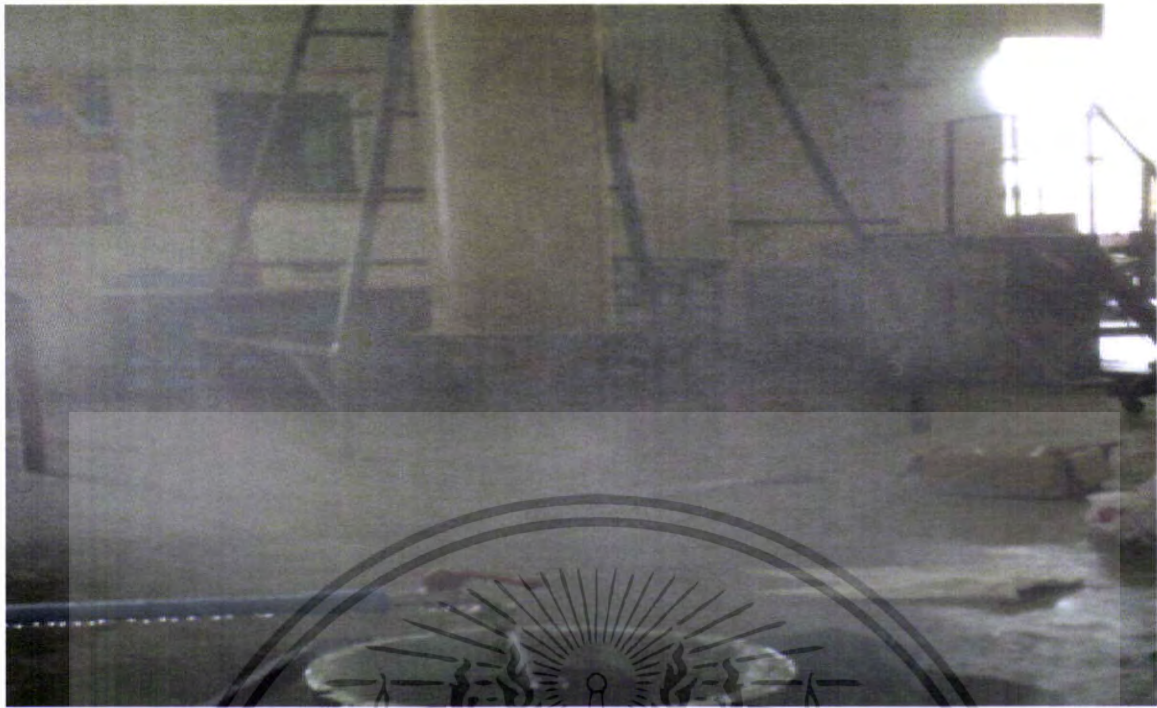
ก. ไบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดไบพรุณ 16 ไบ



ข. ไบที่ 3 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดไบพรุณ 16 ไบปิดด้านบน

รูปที่ 5.7 แสดงตัวอย่างการเกิดละอองที่ความเร็วรอบของจานหมุน 5000 รอบต่อนาที ของไบที่ 2 และ 3 ที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ติดไบพรุณลักษณะต่างๆขนาดของรูเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงการเกิดละอองหมอก



รูปที่ 5.9 แสดงการพ่นละอองน้ำออกที่ด้านหน้าเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดสอบสมรรถนะ

6.1 อุปกรณ์

6.1.1 งานหมุนเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ดัดแผ่นรูปทรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตรสูง 20 มิลลิเมตร จำนวน 8 ใบ

6.1.2 มอเตอร์ 50 Hz 230/400 0.37kw

6.1.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) 3PH 380-480 Volt 50/60 Hz 5.9

6.1.4 อุปกรณ์วัดการไหล

- เกจความดัน 0 ถึง 11 บาร์
- บีกเกอร์
- นาฬิกาจับเวลา
- วาล์วน้ำ (ball valve) ½"

6.1.5 สเกลขนาด 2 ตารางเซนติเมตรและกล้องถ่ายรูปสำหรับจับขนาดของหยด

6.1.6 เฟรมควบคุมการไหลของละออง

6.1.7 พัดลมขนาด 24" Model 107 Volt 200v Amp 1.86 Watt 350w Cycle 50Hz Class E

6.1.8 เครื่องวัดความเร็วลม (annimo meter)

6.2 วิธีการทดลอง

6.2.1 วางชุดทดลองสูง 1 เมตร วัดอ้างอิงจากระดับพื้นถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟรม เปิดวาล์วน้ำใส่งานหมุนที่จุดกึ่งกลางโดยที่งานหมุนยังคงหยุดนิ่ง เมื่อเวลาผ่านไป 3-5 นาที แล้วจับเวลาน้ำที่ไหลด้านล่าง ของกรวยเพื่อวัดปริมาณการไหลของน้ำโดยที่ปริมาตรการวัดคือ 500 มิลลิลิตร

6.2.2 ระหว่างทดลองอ่านค่าความแตกต่างของเกจความดันและมานอมิเตอร์ด้วย

6.2.3 ในการทดสอบจะหาค่าอัตราการไหลเฉลี่ยของงานหมุนทั้ง 4 ใบมา 3 ค่าและค่าที่ได้คือ 605,430,402 มิลลิลิตรต่อนาที โดยที่อัตราการไหลที่มากกว่า 605 มิลลิลิตรต่อนาที ขนาดหยดมีขนาดใหญ่และถ้าต่ำกว่า 402 มิลลิลิตรต่อนาที เกิดละอองขึ้นปริมาณน้อยและขนาดหยดใหญ่ ส่วนอัตราการไหลของช่วงที่เหมาะสมนำมาทดลองคือ 402 ถึง 605 มิลลิลิตรต่อนาที และช่วงของความดันที่อ่านได้จากเกจ 2.0 ถึง 2.1 บาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.3 เปิดสวิตช์ และเปิดอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ไปที่ “ on “ มอเตอร์ พร้อมที่จะทำงาน

6.2.4 เปิดพัดลม 24” โดยวางห่างจากเฟรมด้านหลัง 50 เซนติเมตร

6.2.5 ปรับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ให้มอเตอร์หมุนที่ 5000 รอบต่อนาที เมื่อเวลาผ่านไป 3-5 นาที จับเวลาน้ำไหลออกจากด้านล่างของกรวยที่ใส่ บีกเกอร์ ที่ 500 มิลลิลิตร

6.2.6 หลังจากนั้น นำค่าปริมาณการไหลของน้ำที่ยังไม่เปิดมอเตอร์ ลบ ออกจากค่าที่เปิดมอเตอร์แล้วจะได้ปริมาณการเกิดละออง

6.2.7 ปรับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ให้มอเตอร์หมุนที่ 4000 และ 3000 รอบต่อนาที ตามลำดับและทำตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 7 การทดสอบแต่ละความเร็วรอบจะทดสอบ จำนวน 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

6.2.8 ใบที่เหลือทั้งหมดทำตามขั้นตอนที่ 1-5

6.2.9 การวัดขนาดของหยดจะวัดทั้งหมดจำนวน 4 ใบเพื่อเปรียบเทียบกัน โดยจะวัดจากจะวัดจากฉากรองรับ ที่มีสเกล 2 ตารางเซนติเมตร โดยเลือกวัดที่จุดกึ่งกลางหนึ่งตารางเซนติเมตร ติดกับพลาสติกเรียบใส จากนั้นจะนำฉากวางที่จุดกึ่งกลางห่างจากชุดทดลองเป็นระยะ 1 เมตร, 2 เมตรและ 3 เมตร ตามลำดับโดยแต่ละระยะจะวัด 3 ครั้ง การสอดฉากรับละอองที่ระยะต่างๆ ใช้เวลาประมาณ 3 วินาที โดยที่ 1 คือ สอดฉากเข้าไป และ 3 ชั่วครู่ออกมา จากจะวางตั้งฉากกับละอองที่ถูกพ่นออกมาและสูง 1 เมตร จากระดับพื้นดินจะจับภาพภายในแต่ละระยะทางแสดงขั้นตอนดังภาพด้านล่างนี้



ขั้นตอนที่ 1 แผ่นที่ปิดฉากรองรับวางใสที่ระยะ 1, 2 และ 3 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ขั้นตอนที่ 2 นำแผ่นที่บออกจากฉากเป็นเวลา 3 วินาที



ขั้นตอนที่ 3 นำแผ่นที่บมาปิดที่ฉากแล้วนำไปถ่ายรูปวัดขนาดหยดจริง

รูปที่ 6.1 ภาพถ่ายแสดงขั้นตอน วัดจากด้านหลังเครื่อง ใช้ฉากรองรับก่อนที่จะนำไปวัดขนาดหยดจริง



รูปที่ 6.2 ภาพถ่ายแสดงขั้นตอน วัดจากด้านหน้าเครื่อง ใช้ฉากรองรับก่อนที่จะนำไปวัดขนาดหยด
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.10 นำรูปที่ถ่ายภายในแต่ละระยะไปขยายในคอมพิวเตอร์ (computer) เพื่อประมาณค่าของหยดจะแสดงไว้โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของหยดในหนึ่งตารางเซนติเมตรใน ภาคผนวก ก

6.2.11 วัดความเร็วลมที่ทางเข้าอุโมงค์และทางออกของอุโมงค์เพื่อจะนำไปคำนวณขนาดของหยดวิกฤติ

6.2.12 นำค่าที่ได้จากการทดลองพล็อตกราฟระหว่างอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยแกนตั้งและความเร็วรอบแกนนอน

6.2.13 จำนวนหยดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) แกนตั้งกับขนาดหยด (μm) แกนนอน

6.2.14 เมื่อเลิกทดลองกดปุ่ม off ของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) และพัลลวม 24" สูดท้ายปิดสวิทช์ตัดไฟ

หมายเหตุ 1. เกจที่ใช้ความดันมีค่าหายากเกินไปควรเปลี่ยนเกจที่อ่านค่าได้ละเอียดกว่านี้หรือไม่ที่ใช้โรตاميเตอร์ในการวัด

2. มาณอมิเตอร์ที่ใช้วัดคือระดับน้ำที่อัตราการไหลต่ำกว่า 600 มิลลิลิตรต่อนาที จะไม่มีน้ำพื้นหลอดแก้วขึ้นมาทำให้อ่านค่าความแตกต่างเมื่อปรับอัตราการไหลที่ต่ำกว่า 600 มิลลิลิตรต่อนาที ลงมา ค่าที่ต่ำลงมานั้นจะจับเวลาของน้ำที่บีกเกอร์ที่ 500 มิลลิลิตร

3. เราคิดเกจและมาณอมิเตอร์พร้อมกัน 2 อย่างเพื่อเปรียบเทียบการอ่านค่าเพื่อจะวัดอัตราการไหล

4. ในการทดลองไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่(แต่การทดลองทั้งหมดอุณหภูมิกระเปราะเปียกจะอยู่ในช่วง 26-27 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิกระเปราะแห้งอยู่ในช่วง 29-30 องศาเซลเซียส โดยอ่านจากเทอร์โมมิเตอร์)

6.3 ผลการทดลอง

ผลการทดลองจะนำเสนอในรูปแบบของตารางใน ภาคผนวก ก จากนั้นได้นำข้อมูลจากตารางมาพล็อตกราฟระหว่าง

1. อัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยแกนตั้งกับความเร็วรอบแกนนอน

2. จำนวนหยดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) แกนตั้งกับขนาดหยด (μm) แกนนอน

จากการเกิดละอองของ ไบที่ 1, 2, 3 และ 4 ถ่ายรูปขนาดหยดที่ระยะต่างๆ แล้วนำภาพไปขยายใน computer Program: Adobe photoshop cs2 เพื่อวัดขนาดของหยดจริงโดยหยดที่ได้จากการถ่ายภาพและขนาดของการถ่ายภาพจะมองเห็นหยดได้ไกลสุดเพียงระยะ 3 เมตร โดยขนาดของหยดที่ไกลกว่าระยะนี้จะมองไม่เห็นซึ่งเราจะถ่ายภาพของหยดที่ระยะไกลสุด คือ 3 เมตร

3. การหาขนาดของหยด จากการถ่ายภาพใน 2 ตารางเซนติเมตรของไบที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่ระยะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาขนาดของหยด เราจะใช้รูปที่ถ่ายทั้ง 4 ใบไปขยายในโปรแกรม adobe photoshop cs2 (ที่อัตราขยาย 5-10 เท่า) โดยเราจะวัดขนาดทั้งหมดโดยวัดที่จุดกึ่งกลางของฉาก 1 ตาราง เซนติเมตร จาก 2 ตารางเซนติเมตร เช่น เทียบมาตราส่วนระหว่างสเกลในภาพกับสเกลในโปรแกรม มาตราส่วน คือ 1:2 นั่นหมายถึง 1 ช่องสเกลในภาพ เท่ากับ 1 มิลลิเมตร ต่อ 2 ช่องของสเกลในโปรแกรม adobe photoshop cs2 โดยเราจะใช้การเทียบ บรรทัดใดตรงกึ่ง วัดขนาดของหยดในโปรแกรม adobe photoshop cs2 ได้ 1.34

1 ช่องของสเกลในภาพถ่ายเท่ากับ 0.001 เมตร

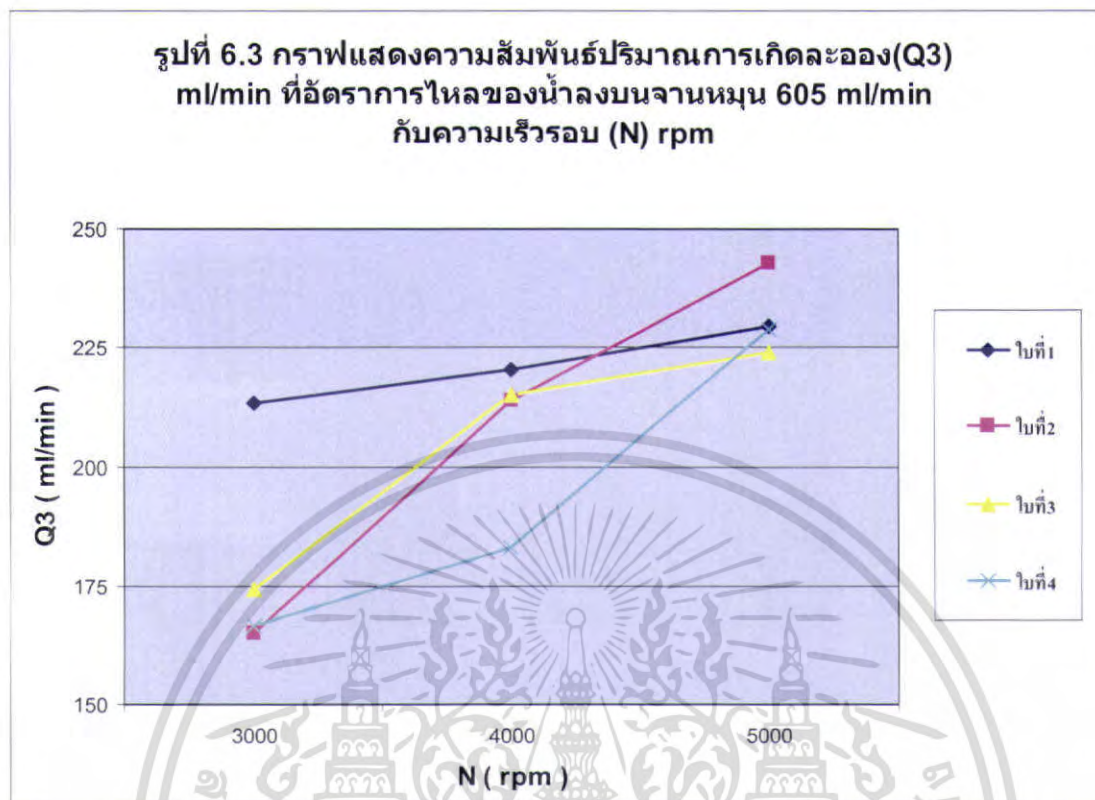
จะได้ว่าขนาดของหยดมีค่าคือ

$$\frac{1.34 \times 0.001}{2} = 670 \text{ } \mu\text{m}$$



หมายเหตุ ในการวัดขนาดหยดที่ตกกระทบกับฉากรองรับนั้นหยดอาจรวมกันก่อนตกหรือไม่เมื่อตกลงมาจะแบนเรียบซึ่งจะมีขนาดใหญ่กว่าปกติ จึงทำให้วัดขนาดหยดผิดพลาดได้แต่เราสมมุติให้เป็นทรงกลมเพื่อง่ายต่อการวัดขนาดหยดที่มีจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบที่ 1 แบบก้นหอย



ใบที่ 2 แบบโค้งด้านหลัง



ใบที่ 3 แบบโค้งด้านหลัง



ใบที่ 4 แบบโค้ง

ติดใบพรุณ 16 ใบ

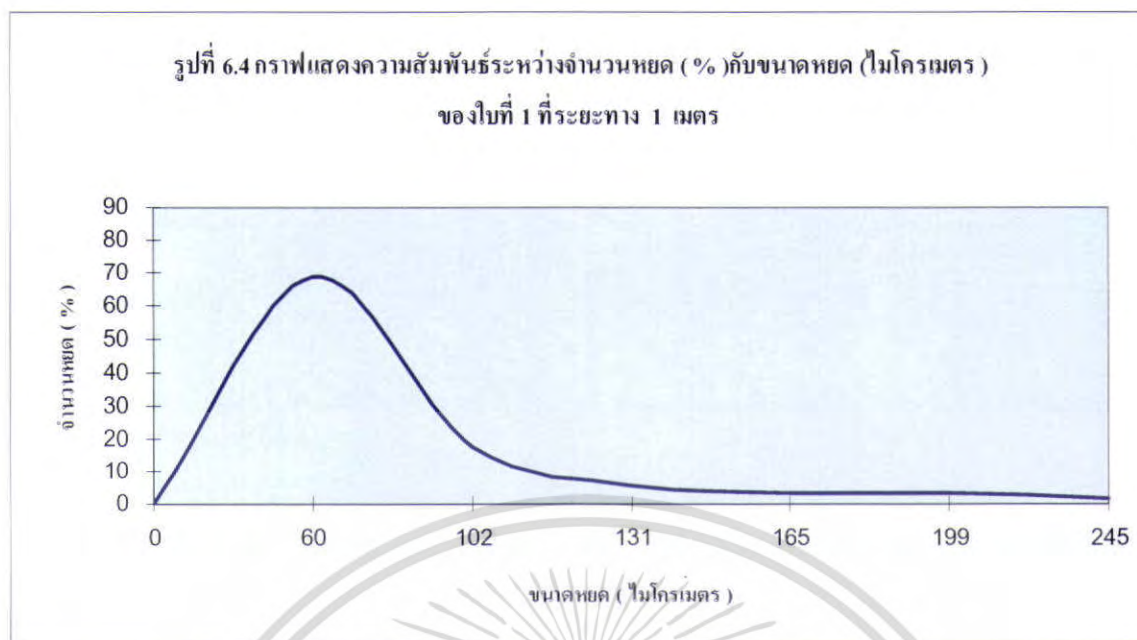
ติดใบพรุณ 16 ใบ

ปิดด้านบน

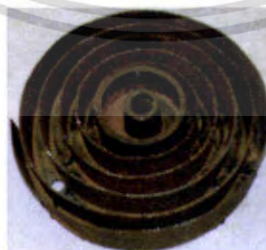
ติดใบพรุณ 28 ใบ

หมายเหตุ กราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณการเกิดละออง(Q3) มิลลิตรต่อนาทีที่อัตราการไหลของน้ำลงบนจานหมุน 430 และ 402 มิลลิตรต่อนาที กับความเร็วรอบแสดงไว้ใน ภาคผนวก จ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

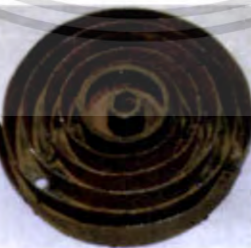
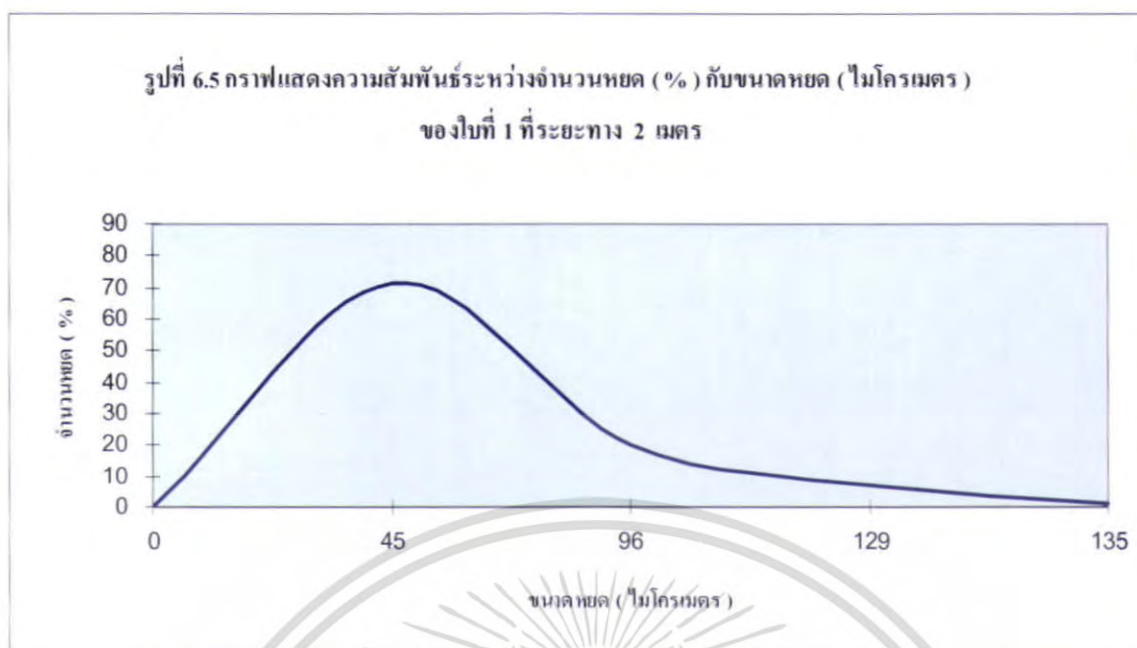


แสดงภาพถ่ายที่ระยะ 1 เมตร



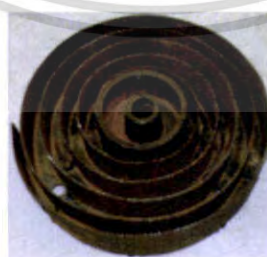
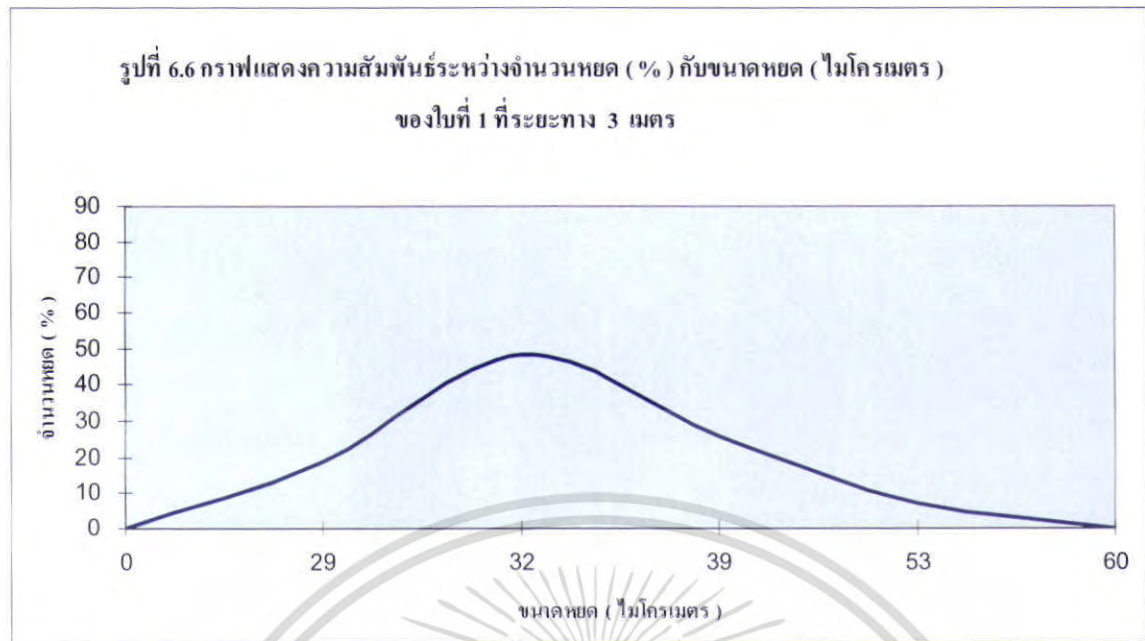
ใบที่ 1 แบบก้นหอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



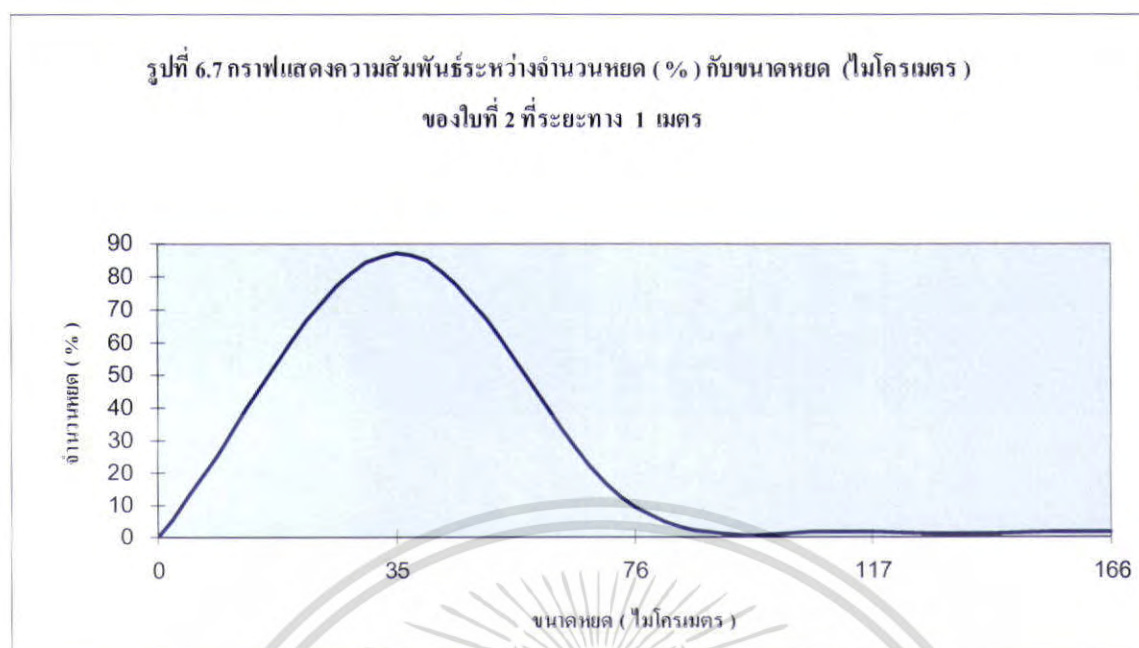
ใบที่ 1 แบบก้นหอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



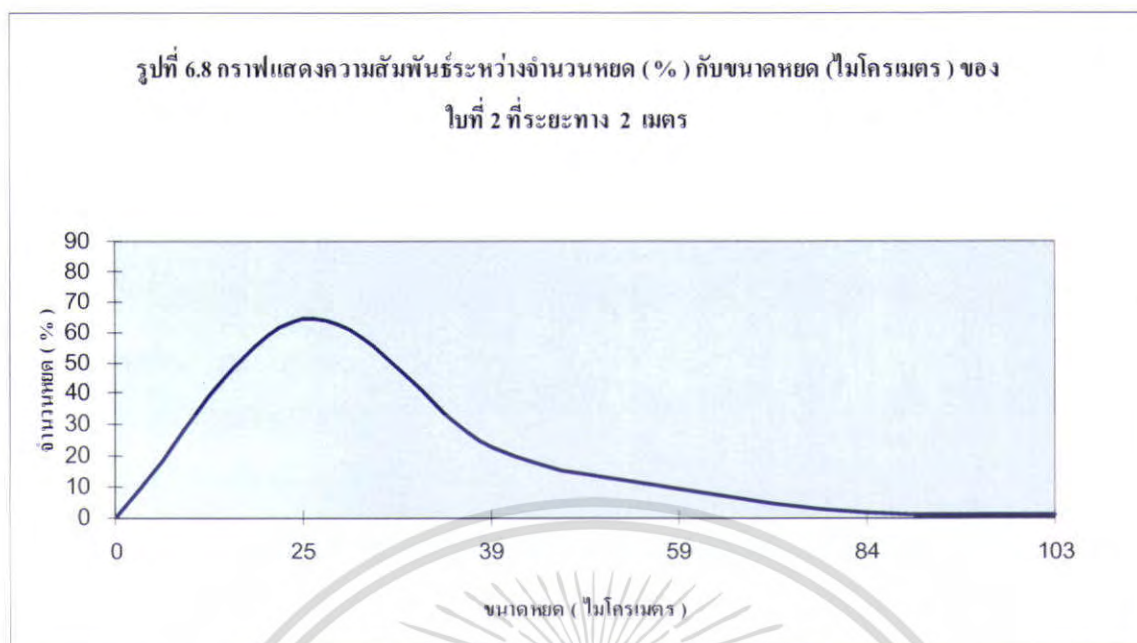
ใบที่ 1 แบบก้นหอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จ. ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ติดใบพurun 16 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ครั้งที่ 1

ครั้งที่ 2

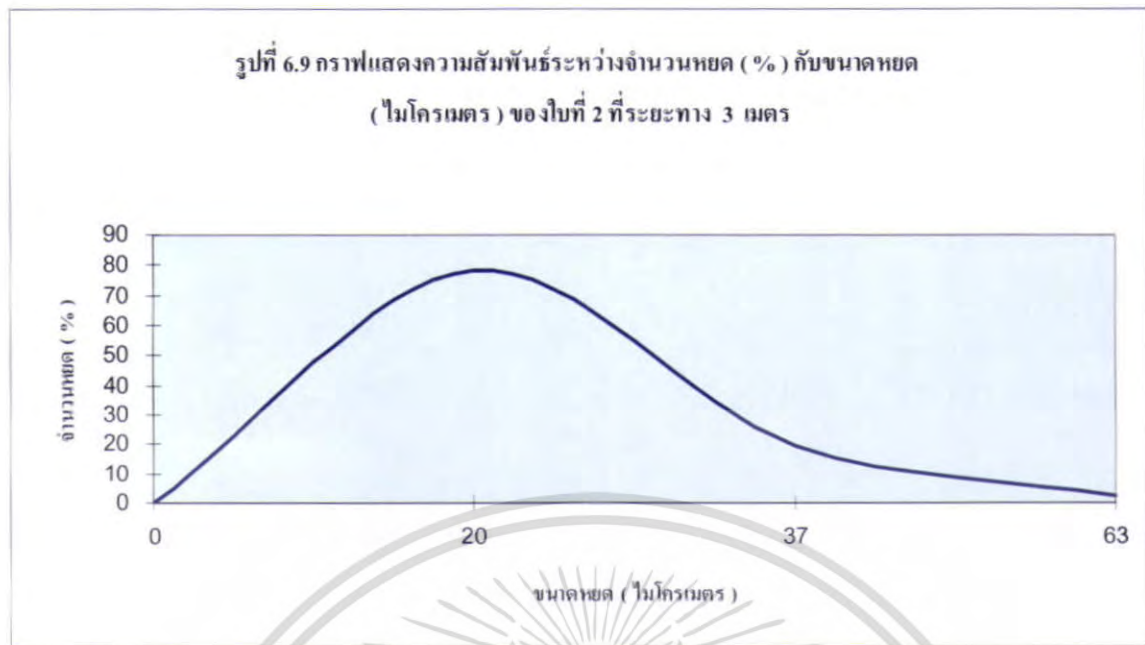
ครั้งที่ 3

แสดงภาพถ่ายที่ระยะ 2 เมตร



ข. ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ติดใบพรุณ 16 ใบ

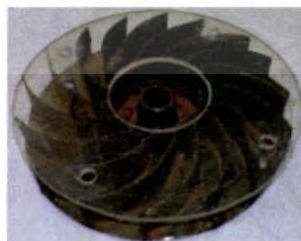
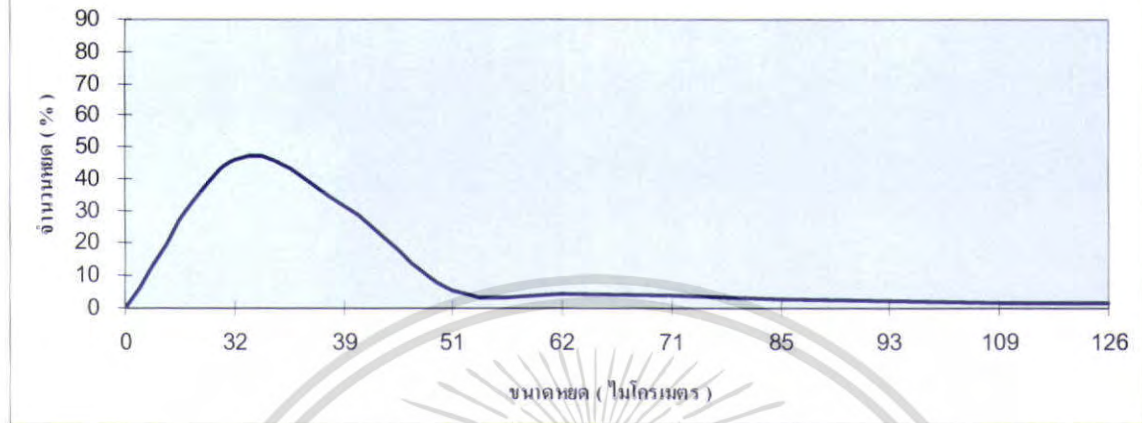
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข. ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ติดใบพวน 16 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

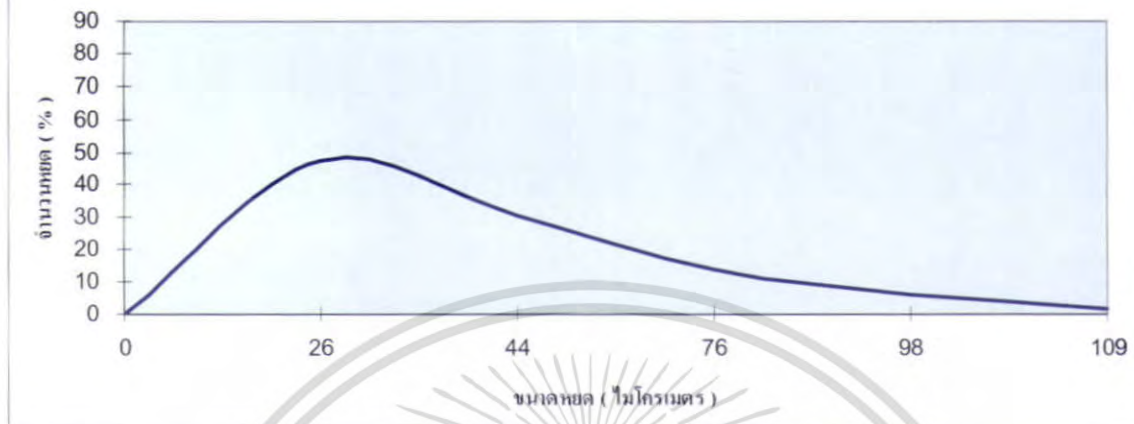
รูปที่ 6.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนหยด (%) กับขนาดหยด (ไมโครเมตร) ของใบที่ 3 ที่ระยะทาง 1 เมตร



ค.ใบที่ 3 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ติดใบพรุน 16 ใบ ปิดด้านบน

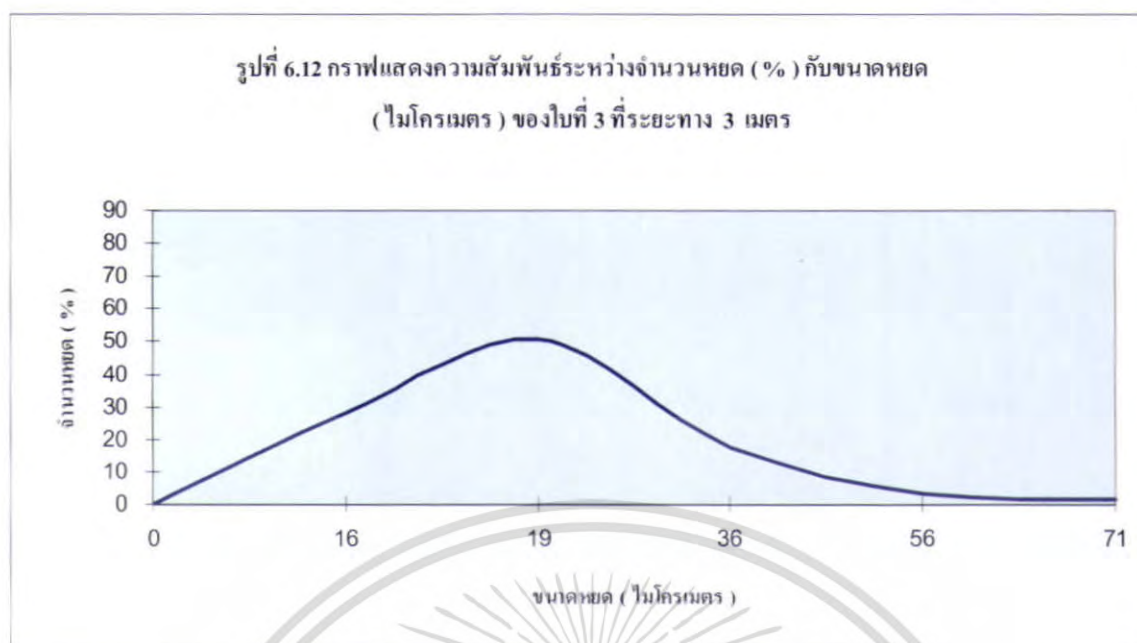
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนหยด (%) กับขนาดหยด (ไมโครเมตร) ของใบที่ 3 ที่ระยะทาง 2 เมตร



ค. ใบที่ 3 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ติดใบพรุน 16 ใบ ปิดด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ครั้งที่ 1

ครั้งที่ 2

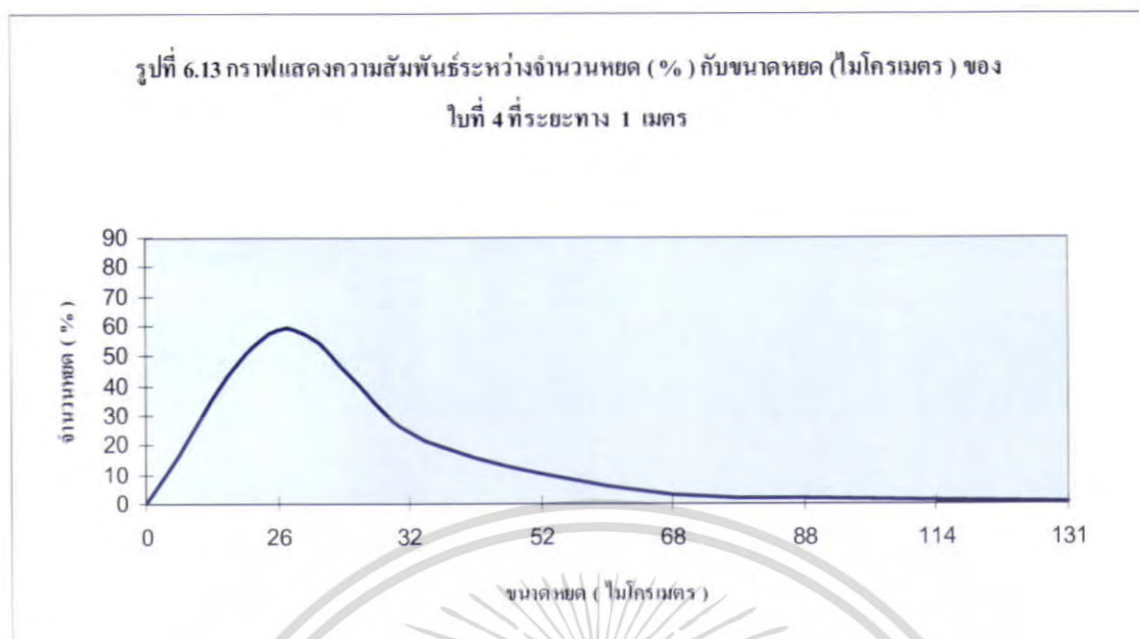
ครั้งที่ 3

แสดงภาพถ่ายที่ระยะ 3 เมตร



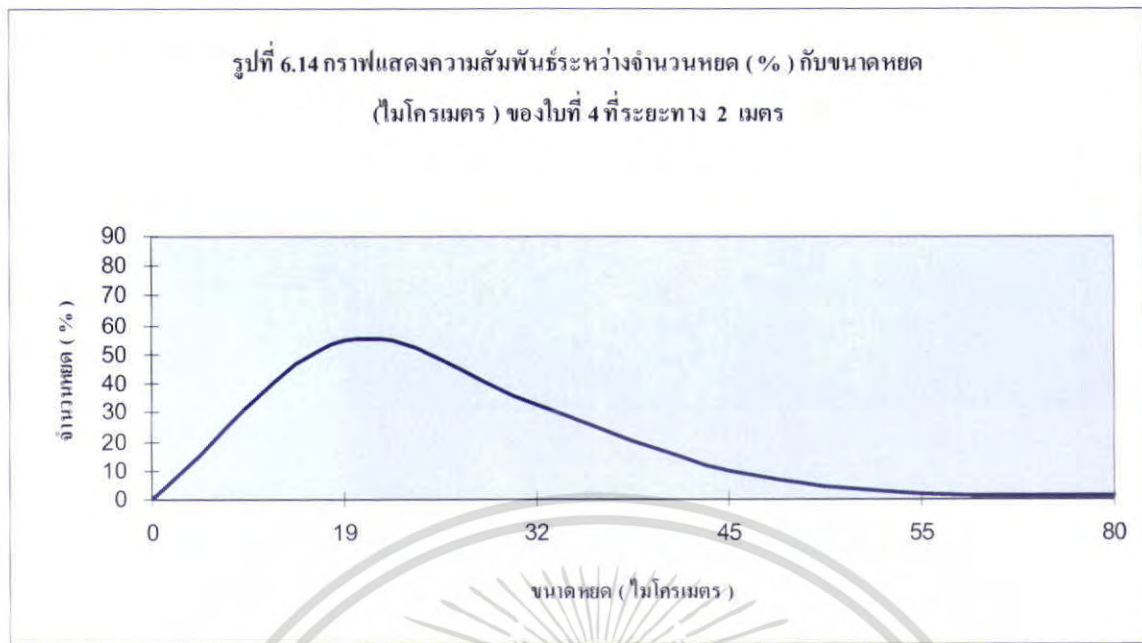
ค.ใบที่ 3 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ติดใบพรุน 16 ใบ ปิดด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ช. ใบที่ 4 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ติดใบพวน 28 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ครั้งที่ 1

ครั้งที่ 2

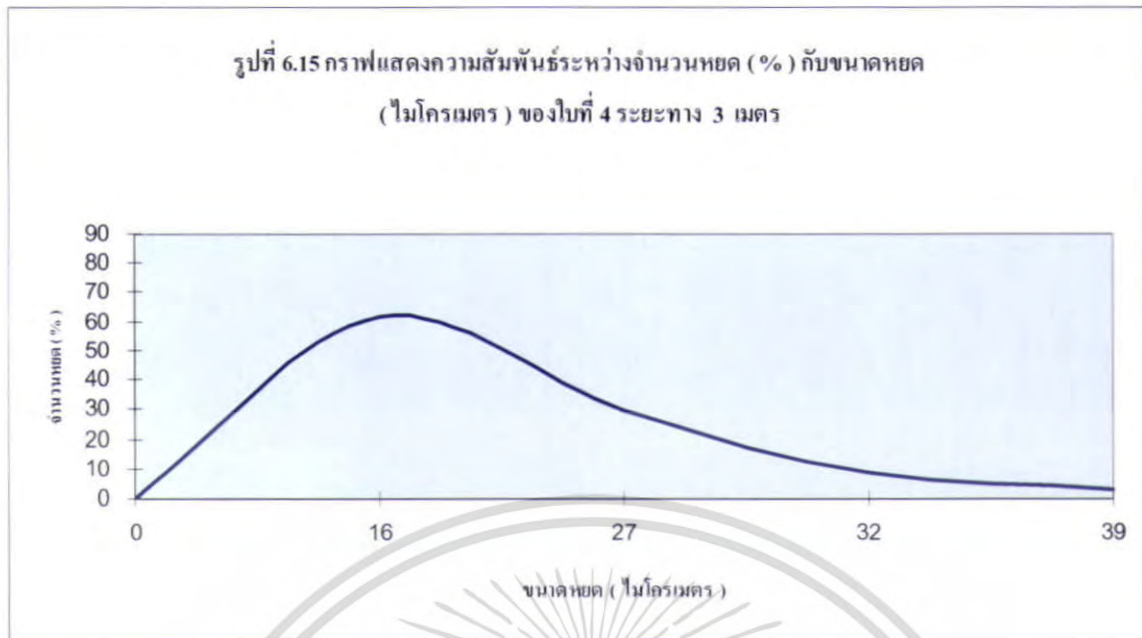
ครั้งที่ 3

แสดงภาพถ่ายที่ระยะ 2 เมตร



ช. ใบที่ 4 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ดัดใบพูน 28 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ครั้งที่ 1

ครั้งที่ 2

ครั้งที่ 3

แสดงภาพถ่ายที่ระยะ 3 เมตร



ช. ใบที่ 4 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ติดใบพรุน 28 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบที่	อัตราการเกิด ละออง (ml/min)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของ หยด (μm)		
		ระยะ 1 m	ระยะ 2 m	ระยะ 3 m
1	229.5	60	45	32
2	242.82	35	25	20
3	223.76	34	27	19
4	228.98	27	20	17

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบการเกิดละอองกับเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดของใบที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่
ระยะ 1, 2 และ 3 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อขนาดหยดซึ่งได้แก่ ความเร็วรอบของมอเตอร์ ขนาดรูของแผ่นพรุน อัตราการไหลของน้ำป้อนเข้า อัตราการเกิดละอองน้ำ ส่วนตัวแปรอื่น ๆ นั้นก็คือ เส้นผ่านศูนย์กลางจานหมุน ลักษณะการติดใบพรุนบนจานหมุน ขนาดของโคนที่รองรับเฟรมที่ห่างจาก จานหมุนตามแนวอนแนวตั้งที่เหมาะสมของน้ำวิ่งไปปะทะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของใบพรุนที่ ติดบนจานหมุน ความเร็วของกระแสลมวิ่งปะทะ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นของของไหลกับจานหมุน การ ถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศที่ร้อนกับผิวที่เย็นของหยดการสั่นสะเทือนและตัวแปรอื่น ๆ ที่เราไม่ ทราบค่า ส่วนแล้วแต่มีผลต่อการเกิดละอองทั้งสิ้น

ในการทดลองความเร็วรอบที่ใช้ คือ 5000 ถึง 5500 รอบต่อนาทีเพราะความเร็วรอบมากกว่านี้ จะมีการสั่นสะเทือนสูงและเกิดอันตรายได้ จานหมุนที่ทำการทดลองทั้ง 4 ชนิดจะให้ปริมาณการเกิด ละออง ขนาดหยดที่ไม่เท่ากัน จากกราฟรูปที่ 6.3 จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนน้ำไหลเข้าที่ 605 มิลลิลิตรต่อนาที จะมีปริมาณการเกิดละอองมากที่สุดเหมาะสมที่จะ นำไปใช้งานมากที่สุด

มีปริมาณการเกิดละอองของแต่ละใบที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนน้ำไหลเข้าที่ 605 มิลลิลิตรต่อนาที มีดังนี้

ใบที่ 1 แบบก้นหอย มีอัตราการเกิดละออง 229.50 มิลลิลิตรต่อนาที

ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบ มีอัตราการเกิดละออง 242.82 มิลลิลิตรต่อ นาที ซึ่งมากที่สุด

ใบที่ 3 แบบ โค้งด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบปิดด้านบน มีอัตราการเกิดละออง 223.76 มิลลิลิตร ต่อนาที

ใบที่ 4 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 28 ใบ มีอัตราการเกิดละออง 228.98 มิลลิลิตรต่อ นาที

ขนาดของละอองจะสรุปจากกราฟข้อมูลสถิติ รูปที่ 6.4 ถึง 6.15 สรุปได้ดังต่อไปนี้

จากรูปที่ 6.4 ถึง 6.6 ใบที่ 1 แบบก้นหอย จำนวนละอองน้ำที่ระยะ 1 เมตร จำนวนละอองน้ำ สูงสุดที่ 68.97 เปอร์เซ็นต์ของหยดที่นับได้ 261 หยด ได้ขนาดของละออง 60.0 ไมโครเมตร ที่ระยะ 2 เมตร จำนวนละอองน้ำสูงสุดที่ 71.43 เปอร์เซ็นต์ของหยดที่นับได้ 70 หยด ได้ขนาดของละออง 45.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครเมตร ที่ระยะ 3 เมตร จำนวนละอองน้ำสูงสุดที่ 48.28 เปอร์เซ็นต์ของหยดที่นับได้ 58 หยด ได้ขนาดของละออง 32.0 ไมโครเมตร

จากรูปที่ 6.7 ถึง 6.9 ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบ จำนวนละอองน้ำที่ระยะ 1 เมตร จำนวนละอองน้ำสูงสุดที่ 87.2 เปอร์เซ็นต์ของหยดที่นับได้ 211 หยด ได้ขนาดของละออง 35.0 ไมโครเมตร ที่ระยะ 2 เมตร จำนวนละอองน้ำสูงสุดที่ 64.38 เปอร์เซ็นต์ของหยดที่นับได้ 160 หยด ได้ขนาดของละออง 25.2 ไมโครเมตร ที่ระยะ 3 เมตร จำนวนละอองน้ำสูงสุดที่ 78.26 เปอร์เซ็นต์ของหยดที่นับได้ 46 หยด ได้ขนาดของละออง 19.5 ไมโครเมตร

จากรูปที่ 6.10 ถึง 6.12 ใบที่ 3 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบ ปิดด้านบน จำนวนละอองน้ำที่ระยะ 1 เมตร จำนวนละอองน้ำสูงสุดที่ 46.37 เปอร์เซ็นต์ของหยดที่นับได้ 179 หยด ได้ขนาดของละออง 32.4 ไมโครเมตร ที่ระยะ 2 เมตร จำนวนละอองน้ำสูงสุดที่ 47.52 เปอร์เซ็นต์ของหยดที่นับได้ 141 หยด ได้ขนาดของละออง 26.2 ไมโครเมตร ที่ระยะ 3 เมตร จำนวนละอองน้ำสูงสุดที่ 50.88 เปอร์เซ็นต์ของหยดที่นับได้ 57 หยด ได้ขนาดของละออง 19.0 ไมโครเมตร

จากรูปที่ 6.13 ถึง 6.15 ใบที่ 4 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 28 ใบ จำนวนละอองน้ำที่ระยะ 1 เมตร จำนวนละอองน้ำสูงสุดที่ 58.71 เปอร์เซ็นต์ของหยดที่นับได้ 356 หยด ได้ขนาดของละออง 26.0 ไมโครเมตร ที่ระยะ 2 เมตร จำนวนละอองน้ำสูงสุดที่ 54.63 เปอร์เซ็นต์ของหยดที่นับได้ 216 หยด ได้ขนาดของละออง 18.7 ไมโครเมตร ที่ระยะ 3 เมตร จำนวนละอองน้ำสูงสุดที่ 61.76 เปอร์เซ็นต์ของหยดที่นับได้ 35 หยด ได้ขนาดของละออง 16.0 ไมโครเมตร

สรุปจะเห็นได้ว่า ใบทั้ง 4 ชนิด เมื่อระยะทาง $L_3 > L_2 > L_1$ จะได้ขนาดหยดละออง $D_3 < D_2 < D_1$ และจำนวนละอองที่นับได้ทั้งหมดใน 1 ตารางเซนติเมตร $n_3 < n_2 < n_1$ เพราะเมื่อระยะทางที่เราสู่วัด (L) ไกลขึ้น จะทำให้ปริมาณความหนาแน่นของหยดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ลดลง (n) และขนาดเฉลี่ยของหยด (D) ก็เล็กลง สาเหตุอาจเกิดจากหยดที่มีขนาดใหญ่แตกออกในกระแสอากาศเพราะแรงต้านอากาศเมื่อเคลื่อนที่ไกลทำให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหยดเล็กลง และมีหยดที่มีขนาดเล็กมาก ๆ บางส่วนระเหยไปเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าน้อย เมื่อละอองเคลื่อนที่ในระยะเวลาช่วงหนึ่งและมีความเร็วในการเคลื่อนที่เสียดสีกับอากาศและเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับละอองน้ำทำให้ละอองน้ำจึงระเหยตัวอย่างฉับพลัน ทำให้ปริมาณความหนาแน่นของหยดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (n) ลดลง

เมื่อทำการเปรียบเทียบทั้ง 4 ใบ ใบที่เกิดละอองมากที่สุดคือใบที่ 2, 1, 4 และ 3 ตามลำดับและใบที่ 4 ซึ่งติดใบลักษณะเดียวกับใบที่ 2 โดยที่ใบที่ 2 ติดใบพรุน 16 ใบ ส่วนใบที่ 4 จำนวน 28 ใบ แต่ใบที่ 4 จะได้อัตราการเกิดละอองลดลงแต่ขนาดหยดเล็กลง เพราะแผ่นพรุนมากขึ้นพื้นที่ ที่น้ำไหลผ่านรูแผ่นพรุนเพิ่มขึ้นหลายชั้นทำให้ขนาดหยดเล็กลงและทำให้อัตราการเกิดละอองน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนใบที่ 3 คือ นำใบที่ 2 มาปิดด้านบนเพื่อป้องกันละอองน้ำเม็ดใหญ่กระเด็นออกไปด้านบน ผลที่ได้คือละอองที่ออกมา มีขนาดเล็กกว่าใบที่ 2 แต่ปริมาณการเกิดละอองลดลงเพราะละอองน้ำถูกรีดออกด้านข้างเพียงด้านเดียว

และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติที่คือเกิดละอองมากและขนาดหยดละอองเล็ก ของทุกใบเราจึงเลือกใช้ใบตามคุณสมบัติและลักษณะงานที่จะนำไปใช้ เช่น ถ้าต้องการความละเอียดของละอองมาก ควรเลือกใช้ใบที่ 4 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 28 ใบ ถ้าต้องการปริมาณละอองมากควรเลือกใช้ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบ

การทดลองในการจับภาพของหยดในสองตารางเซนติเมตร ขนาดหยดที่ได้นั้นจะไม่สม่ำเสมอ คือมีทั้งขนาดเล็กและใหญ่ และมีปริมาณน้ำที่เหลือทิ้งลงอ่างเก็บซึ่งยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง จึงต้องมีการศึกษาและพัฒนาต่อเพื่อให้ขนาดหยดนั้นมีค่าสม่ำเสมอใกล้เคียงกันและปริมาณน้ำเหลือทิ้งน้อยสุดหรือไม่มีปริมาณน้ำเหลือทิ้งเลย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] YUNUS A. CENGEL MICHAEL A. BOLES THERMODYNAMICS AN ENGINEERING APPROACH (FOURTH EDITION)

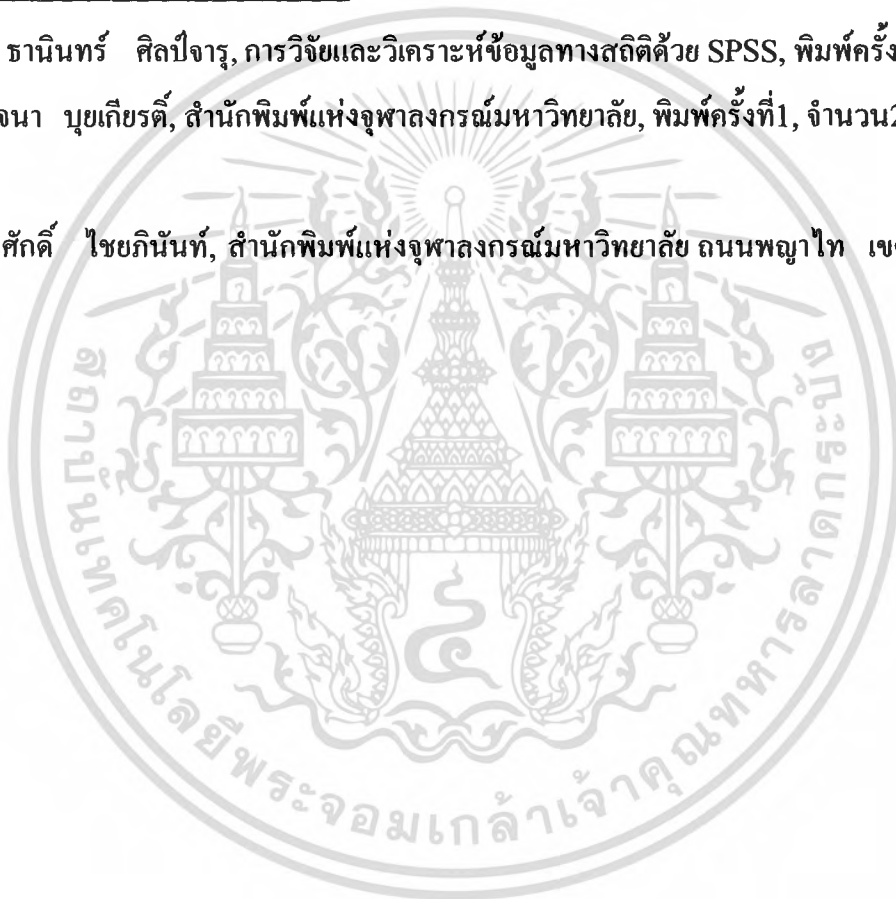
[2] BRUCE R. MUNSON, DONALD F. YOUNG, THEODORE H, OKIISHI
FUNDAMENTALS OF FLUID
MECHANICS (5TH EDITION)

[3] WWW.MASTERKOOL.COM

[4] ผศ. ชานินทร์ ศิลป์จารุ, การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS, พิมพ์ครั้งที่ 7

[5] กัญจนา นุชเกียรติ, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 1, จำนวน 2000 เล่ม,
พ.ศ. 2544.

[6] สมศักดิ์ ไชยภินันท์, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน
กทม. 10330



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลองของใบทั้งหมดจำนวน 4 ใบ ซึ่งแสดงถึงปริมาณการเกิดละออง (Q3) ที่ความเร็วรอบ 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที ที่ความเร็วลมเข้า 7.62 และออก 6.70 m/s

โดยที่ ตาราง ก.1-ก.12 อัตราการไหลที่ 605 มิลลิเมตรต่อนาที

ตาราง ก.13-ก.24 อัตราการไหลที่ 430 มิลลิเมตรต่อนาที

ตาราง ก.25-ก.36 อัตราการไหลที่ 403 มิลลิเมตรต่อนาที

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลจากการทดสอบจานหมุนใบที่ 1 แบบก้นหอย ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง Q3 (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.0	10	49.53	605.69	79.90	375.47	230.22
2	2.0	10	49.49	606.18	79.40	377.83	228.35
3	2.0	10	49.64	604.35	80.12	374.43	229.92
Mean	2.0	10	49.55	605.41	79.81	375.91	229.50

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลจากการทดสอบจานหมุนใบที่ 1 แบบก้นหอย ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง Q3 (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.0	10	49.40	607.28	77.52	387.00	220.28
2	2.0	10	49.21	609.63	76.98	387.81	221.82
3	2.0	10	49.55	605.45	77.55	386.84	218.61
Mean	2.0	10	49.39	607.45	77.35	387.22	220.24

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลจากการทดสอบจานหมุนใบที่ 1 แบบก้นหอย ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง Q3 (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.0	10	49.50	606.06	76.53	392.00	214.06
2	2.0	10	49.72	603.38	76.55	391.90	211.47
3	2.0	10	49.51	605.93	76.53	392.00	213.93
Mean	2.0	10	49.58	605.12	76.54	391.97	213.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ดัดใบพรุณ 16 ใบ ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.0	10	49.88	601.44	82.34	364.34	237.10
2	2.0	10	49.12	610.75	83.62	358.77	251.98
3	2.0	10	49.75	603.02	82.50	363.64	239.38
Mean	2.0	10	49.58	605.07	82.82	362.25	242.82

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ดัดใบพรุณ 16 ใบ ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.0	10	49.51	605.93	76.68	391.23	214.70
2	2.0	10	49.30	608.52	76.28	393.29	215.23
3	2.0	10	49.75	603.02	76.54	391.95	211.07
Mean	2.0	10	49.52	605.82	76.50	392.16	213.67

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ดัดใบพรุณ 16 ใบ ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.0	10	49.66	604.11	68.09	440.59	163.52
2	2.0	10	49.83	602.04	67.75	442.80	159.24
3	2.0	10	49.12	610.75	68.53	437.76	172.99
Mean	2.0	10	49.54	605.63	68.12	440.38	165.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 3 แบบโค้งงอ ไปด้วยด้านหลัง ปิดด้านบน ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง Q3 (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.0	10	49.89	601.32	78.40	382.65	218.67
2	2.0	10	49.24	609.26	77.92	385.01	228.25
3	2.0	10	49.32	608.27	78.14	383.92	224.35
Mean	2.0	10	49.48	606.28	78.15	383.86	223.76

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 3 แบบโค้งงอ ไปด้วยด้านหลัง ปิดด้านบน ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง Q3 (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.0	10	49.83	602.04	77.54	386.89	215.15
2	2.0	10	49.51	605.94	76.94	389.91	216.03
3	2.0	10	49.77	602.77	77.11	389.05	213.72
Mean	2.0	10	49.70	603.58	77.20	388.62	214.97

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 3 แบบโค้งงอ ไปด้วยด้านหลัง ปิดด้านบน ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง Q3 (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.0	10	49.82	602.16	69.64	430.78	171.38
2	2.0	10	49.55	605.45	69.52	431.53	173.92
3	2.0	10	49.18	610.00	69.42	432.15	177.85
Mean	2.0	10	49.52	605.87	69.53	431.49	174.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 4 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ดัดใบพรุน 28 ใบ ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.0	10	49.21	609.63	78.95	379.98	229.65
2	2.0	10	49.34	608.02	79.12	379.17	228.85
3	2.0	10	49.53	605.69	79.52	377.26	228.43
Mean	2.0	10	49.36	607.78	79.20	378.80	228.98

ตารางที่ ก.11 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 4 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ดัดใบพรุน 28 ใบ ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.0	10	49.52	605.81	70.72	424.21	181.60
2	2.0	10	49.11	610.87	70.62	424.81	186.06
3	2.0	10	49.38	607.53	70.54	425.29	182.24
Mean	2.0	10	49.34	608.07	70.63	424.77	183.30

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 4 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ดัดใบพรุน 28 ใบ ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.0	10	49.83	602.04	68.85	435.73	166.31
2	2.0	10	49.75	603.01	68.40	438.59	164.42
3	2.0	10	49.15	610.37	68.00	441.17	169.20
Mean	2.0	10	49.58	605.14	68.42	438.50	166.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 1 แบบกั้นหอย ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.05	-	69.42	432.15	118.65	253.48	178.67
2	2.05	-	69.54	431.41	120.22	249.54	181.87
3	2.05	-	69.32	432.77	118.11	254.00	178.77
Mean	2.05	-	69.43	432.11	118.99	252.34	179.77

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 1 แบบกั้นหอย ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.05	-	69.44	432.03	99.53	301.42	130.61
2	2.05	-	69.48	431.78	99.84	300.48	131.30
3	2.05	-	69.52	431.53	101.20	295.51	136.02
Mean	2.05	-	69.48	431.78	100.19	299.14	132.64

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 1 แบบกั้นหอย ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.05	-	69.43	432.09	90.40	331.86	100.23
2	2.05	-	69.72	430.30	90.42	331.78	98.52
3	2.05	-	69.30	432.90	90.36	332.01	100.89
Mean	2.05	-	69.48	431.76	90.39	331.88	99.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.16 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ตัดใบพรุณ 16 ใบ ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	Q3 (ml/min)
1	2.05	-	69.00	434.78	130.22	230.38	204.40
2	2.05	-	69.72	430.29	128.73	233.05	197.24
3	2.05	-	69.18	433.65	128.54	233.39	200.26
Mean	2.05	-	69.30	432.91	129.16	232.27	200.63

ตารางที่ ก.17 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ตัดใบพรุณ 16 ใบ ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	Q3 (ml/min)
1	2.05	-	69.55	431.34	120.35	249.27	182.07
2	2.05	-	69.43	432.09	122.26	245.38	186.71
3	2.05	-	69.83	429.62	122.00	245.90	183.72
Mean	2.05	-	69.60	431.02	121.54	246.85	184.17

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ตัดใบพรุณ 16 ใบ ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	Q3 (ml/min)
1	2.05	-	69.40	432.28	95.27	314.89	117.39
2	2.05	-	69.82	429.68	94.72	316.12	113.56
3	2.05	-	69.73	430.23	95.84	313.02	117.21
Mean	2.05	-	69.65	430.73	95.28	314.68	116.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.19 ข้อมูลจากการทดสอบจานหมุนใบที่ 3 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ปิดด้านบนที่ความเร็วรอบ 5000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	Q3 (ml/min)
1	2.05	-	69.52	431.53	116.00	258.62	172.91
2	2.05	-	69.84	429.55	116.32	257.91	171.64
3	2.05	-	69.77	429.98	116.29	257.97	172.01
Mean	2.05	-	69.71	430.35	116.20	258.17	172.19

ตารางที่ ก.20 ข้อมูลจากการทดสอบจานหมุนใบที่ 3 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ปิดด้านบน ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	Q3 (ml/min)
1	2.05	-	69.73	430.23	107.26	279.69	150.54
2	2.05	-	69.51	431.59	106.13	282.67	148.92
3	2.05	-	69.43	432.08	105.96	283.12	148.96
Mean	2.05	-	69.56	431.30	106.45	281.83	149.47

ตารางที่ ก.21 ข้อมูลจากการทดสอบจานหมุนใบที่ 3 แบบโค้งงอไปด้านหลัง ปิดด้านบน ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	Q3 (ml/min)
1	2.05	-	69.20	433.52	102.94	294.29	139.23
2	2.05	-	69.18	433.65	101.53	295.48	138.17
3	2.05	-	69.54	431.40	102.00	294.11	137.29
Mean	2.05	-	69.31	432.86	102.16	294.63	138.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.22 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 4 แบบ โค้งงอ ไปด้วยด้านหลัง ดัดใบพรุณ 28 ใบ ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง Q3 (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.05	-	69.83	429.61	89.18	336.39	93.22
2	2.05	-	69.75	430.11	89.00	337.07	93.04
3	2.05	-	69.69	430.47	88.98	337.15	93.32
Mean	2.05	-	69.76	430.06	89.05	336.87	93.19

ตารางที่ ก.23 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 4 แบบ โค้งงอ ไปด้วยด้านหลัง ดัดใบพรุณ 28 ใบ ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง Q3 (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.05	-	69.00	434.78	79.93	375.33	59.45
2	2.05	-	69.53	431.46	80.21	374.01	57.45
3	2.05	-	69.59	431.09	80.39	373.18	57.91
Mean	2.05	-	69.37	432.44	80.18	374.17	58.27

ตารางที่ ก.24 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 4 แบบ โค้งงอ ไปด้วยด้านหลัง ดัดใบพรุณ 28 ใบ ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง Q3 (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.05	-	69.00	434.78	81.15	369.68	65.10
2	2.05	-	69.32	432.77	82.00	365.85	66.92
3	2.05	-	69.74	430.17	82.34	364.34	65.83
Mean	2.05	-	69.35	432.57	81.83	366.62	65.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.25 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 1 แบบก้นหอย ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.1	-	74.58	402.25	146.31	205.04	197.21
2	2.1	-	74.40	403.22	145.98	205.51	197.71
3	2.1	-	74.68	401.71	147.73	203.07	198.64
Mean	2.1	-	74.55	402.39	146.67	204.54	197.85

ตารางที่ ก.26 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 1 แบบก้นหอย ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.1	-	74.32	403.66	138.74	216.23	187.43
2	2.1	-	74.35	403.50	138.93	215.94	187.56
3	2.1	-	74.42	403.11	138.25	217.00	186.11
Mean	2.1	-	74.36	403.42	138.64	216.39	187.03

ตารางที่ ก.27 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 1 แบบก้นหอย ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.1	-	74.22	404.20	135.54	221.33	182.87
2	2.1	-	74.54	402.46	135.58	221.27	181.19
3	2.1	-	74.30	403.77	135.52	221.37	182.40
Mean	2.1	-	74.35	403.48	135.55	221.32	182.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.28 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 2 แบบ โค้งงอ ไปด้านหลัง ตัดใบพรุณ 16 ใบ ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.1	-	74.85	400.80	158.32	189.48	211.32
2	2.1	-	74.29	403.82	160.37	187.07	216.75
3	2.1	-	74.40	403.23	158.00	189.87	213.36
Mean	2.1	-	74.51	402.62	158.90	188.81	213.81

ตารางที่ ก.29 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 2 แบบ โค้งงอ ไปด้านหลัง ตัดใบพรุณ 16 ใบ ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.1	-	74.19	404.36	146.38	204.94	199.42
2	2.1	-	74.72	401.50	147.21	203.79	197.71
3	2.1	-	74.46	402.90	146.53	204.74	198.16
Mean	2.1	-	74.46	402.92	146.71	204.49	198.43

ตารางที่ ก.30 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 2 แบบ โค้งงอ ไปด้านหลัง ตัดใบพรุณ 16 ใบ ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.1	-	74.43	403.06	135.73	221.02	182.04
2	2.1	-	74.22	404.20	134.92	222.35	181.85
3	2.1	-	74.58	402.25	135.00	222.22	180.03
Mean	2.1	-	74.41	403.17	135.22	221.86	181.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.31 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 3 แบบ โต้้งงอไปด้านหลัง ปิดด้านบน ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง Q3 (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.1	-	74.15	404.58	142.51	210.51	194.07
2	2.1	-	74.28	403.87	143.00	209.79	194.08
3	2.1	-	74.92	400.43	143.11	209.69	190.80
Mean	2.1	-	74.45	402.96	142.87	210.00	192.98

ตารางที่ ก.32 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 3 แบบ โต้้งงอไปด้านหลัง ปิดด้านบน ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง Q3 (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.1	-	74.22	404.20	130.57	229.76	174.44
2	2.1	-	74.40	403.22	130.69	229.55	173.67
3	2.1	-	74.78	401.17	130.87	229.23	171.94
Mean	2.1	-	74.47	402.86	130.71	229.51	173.35

ตารางที่ ก.33 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 3 แบบ โต้้งงอไปด้านหลัง ปิดด้านบน ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง Q3 (ml/min)
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.1	-	74.69	401.66	121.00	247.93	153.73
2	2.1	-	74.42	403.11	120.74	248.46	154.65
3	2.1	-	74.55	402.41	120.95	248.03	154.38
Mean	2.1	-	74.55	402.39	120.90	248.14	154.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.34 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 4 แบบ โด้งงอไปด้านหลัง ตัดใบพรุน 28 ใบ ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.1	-	74.88	400.64	113.77	263.69	136.95
2	2.1	-	74.62	402.03	113.00	265.48	136.55
3	2.1	-	74.78	401.17	113.34	264.69	136.48
Mean	2.1	-	74.76	401.28	113.37	264.62	136.66

ตารางที่ ก.35 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 4 แบบ โด้งงอไปด้านหลัง ตัดใบพรุน 28 ใบ ที่ความเร็วรอบ 4000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.1	-	74.00	405.40	105.40	284.63	120.77
2	2.1	-	74.36	402.36	106.10	282.75	119.61
3	2.1	-	74.42	403.12	105.34	284.79	118.32
Mean	2.1	-	74.26	403.63	105.61	284.06	119.57



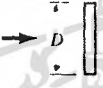



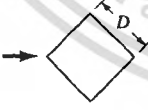
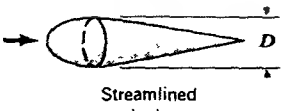
ตารางที่ ก.36 ข้อมูลจากการทดสอบงานหมุนใบที่ 4 แบบ โด้งงอไปด้านหลัง ตัดใบพรุน 28 ใบ ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

Test No.	P1 (bar)	H (mm)	ปริมาณการวัดการไหลของน้ำ		ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บ		ปริมาณน้ำเกิดละออง
			t1 (s)	Q1 (ml/min)	t2 (s)	Q2 (ml/min)	
1	2.1	-	74.55	402.41	98.79	303.67	98.74
2	2.1	-	74.59	402.19	98.82	303.58	98.61
3	2.1	-	74.21	404.26	98.80	303.64	100.62
Mean	2.1	-	74.45	402.95	98.80	303.63	99.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงค่า drag coefficient ของรูปทรงต่างๆ

Shape	Reference area A	Drag coefficient C_D	Reynolds number $Re = \rho U D \mu$										
 Solid hemisphere	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	$\begin{matrix} \rightarrow & 1.17 \\ \leftarrow & 0.42 \end{matrix}$	$Re > 10^4$										
 Hollow hemisphere	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	$\begin{matrix} \rightarrow & 1.42 \\ \leftarrow & 0.38 \end{matrix}$	$Re > 10^4$										
 Thin disk	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	1.1	$Re > 10^3$										
 Circular rod parallel to flow	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>t/D</th> <th>C_D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5</td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>0.93</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>0.83</td> </tr> <tr> <td>4.0</td> <td>0.85</td> </tr> </tbody> </table>	t/D	C_D	0.5	1.1	1.0	0.93	2.0	0.83	4.0	0.85	$Re > 10^5$
t/D	C_D												
0.5	1.1												
1.0	0.93												
2.0	0.83												
4.0	0.85												
 Cone	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>θ, degrees</th> <th>C_D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>0.30</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>0.80</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>1.15</td> </tr> </tbody> </table>	θ , degrees	C_D	10	0.30	30	0.55	60	0.80	90	1.15	$Re > 10^4$
θ , degrees	C_D												
10	0.30												
30	0.55												
60	0.80												
90	1.15												
 Cube	$A = D^2$	1.05	$Re > 10^4$										
 Cube	$A = D^2$	0.80	$Re > 10^4$										
 Streamlined body	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	0.04	$Re > 10^5$										

ตารางที่ ข.1 ตารางแสดง Typical drag coefficients for regular three dimensional Objects [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงผลของขนาดหยด กับจำนวนหยดที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในหนึ่งตารางเซนติเมตร ที่ระยะทาง 1, 2 และ 3 เมตร ของใบที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

ใบที่ 1

ระยะทาง 1 เมตร			ระยะทาง 2 เมตร			ระยะทาง 3 เมตร		
D	จำนวน	คิดเป็น %	D	จำนวน	คิดเป็น %	D	จำนวน	คิดเป็น %
0.0	0	0.00	0.0	0	0.00	0.0	0	0.00
60.0	180	68.97	45.0	50	71.43	29.0	11	18.97
102.0	47	18.01	96.2	14	20.00	32.0	28	48.28
130.5	14	5.36	129.0	5	7.14	39.0	15	25.86
165.0	8	3.07	135.0	1	1.43	53.0	4	6.90
199.2	8	3.07	รวม	70	100.00	60.0	0	0.00
245.0	4	1.53				รวม	58	100.00
รวม	261	100						

ใบที่ 2

ระยะทาง 1 เมตร			ระยะทาง 2 เมตร			ระยะทาง 3 เมตร		
D	จำนวน	คิดเป็น %	D	จำนวน	คิดเป็น %	D	จำนวน	คิดเป็น %
0.0	0	0.00	0.0	0	0.00	0.0	0	0.00
35.0	184	87.20	25.2	103	64.38	19.5	36	78.26
76.2	20	9.48	39.4	37	23.13	37.0	9	19.57
117.0	4	1.90	59.3	15	9.38	62.5	1	2.17
166.0	3	1.42	84.2	3	1.88	รวม	46	100
รวม	211	100	102.5	2	1.25			
			รวม	160	100			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบที่ 3

ระยะทาง 1 เมตร		
D	จำนวน	คิดเป็น %
0.0	0	0.00
32.4	83	46.37
39.0	56	31.28
51.0	10	5.59
62.0	8	4.47
71.1	7	3.91
85.2	5	2.79
93.2	4	2.23
109.0	3	1.68
126.0	3	1.68
รวม	179	100

ระยะทาง 2 เมตร		
D	จำนวน	คิดเป็น %
0.0	0	0.00
26.2	67	47.52
44.2	43	30.50
76.0	20	14.18
97.5	9	6.38
109.0	2	1.42
รวม	141	100

ระยะทาง 3 เมตร		
D	จำนวน	คิดเป็น %
0.0	0	0.00
16.0	16	28.07
19.0	29	50.88
35.7	10	17.54
55.7	2	3.51
71.4	1	1.75
รวม	57	100

ใบที่ 4

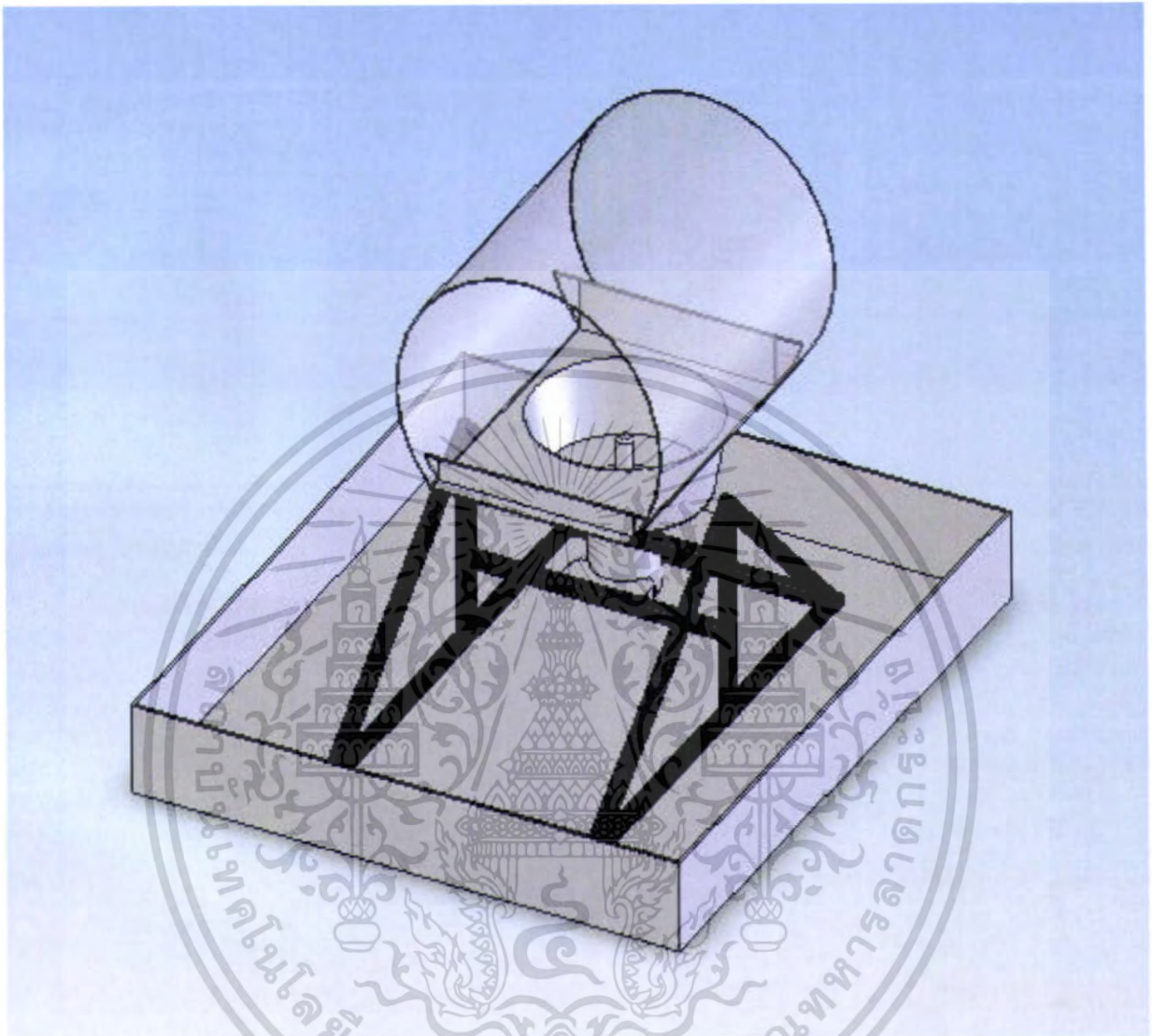
ระยะทาง 1 เมตร		
D	จำนวน	คิดเป็น %
0.0	0	0.00
26.0	209	58.71
32.0	87	24.44
52.0	36	10.11
68.4	10	2.81
88.2	7	1.97
113.8	4	1.12
131.1	3	0.84
รวม	356	100

ระยะทาง 2 เมตร		
D	จำนวน	คิดเป็น %
0.0	0	0.00
18.7	118	54.63
32.3	70	32.41
44.8	21	9.72
54.5	4	1.85
80.0	3	1.39
รวม	216	100

ระยะทาง 3 เมตร		
D	จำนวน	คิดเป็น %
0.0	0	0.00
16.0	21	61.76
27.5	10	29.41
32.0	3	8.82
39.0	1	2.94
รวม	35	100

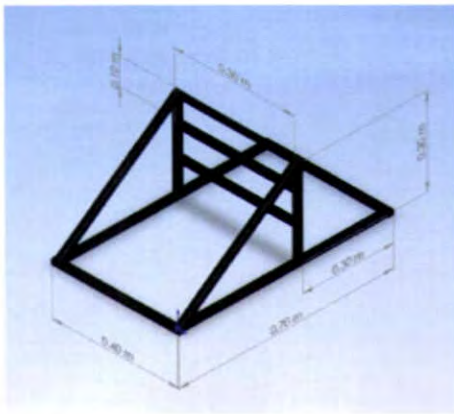
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

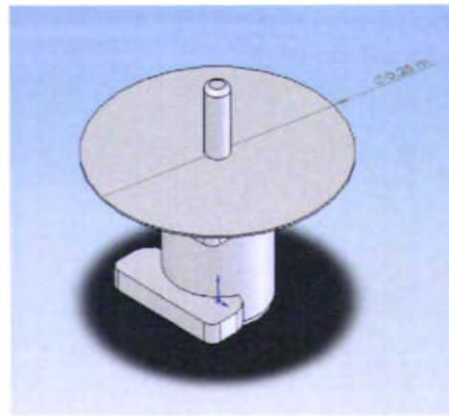


รูปที่ ง.1 แสดงภาพวาดเหมือนจริงของชุดทดลอง

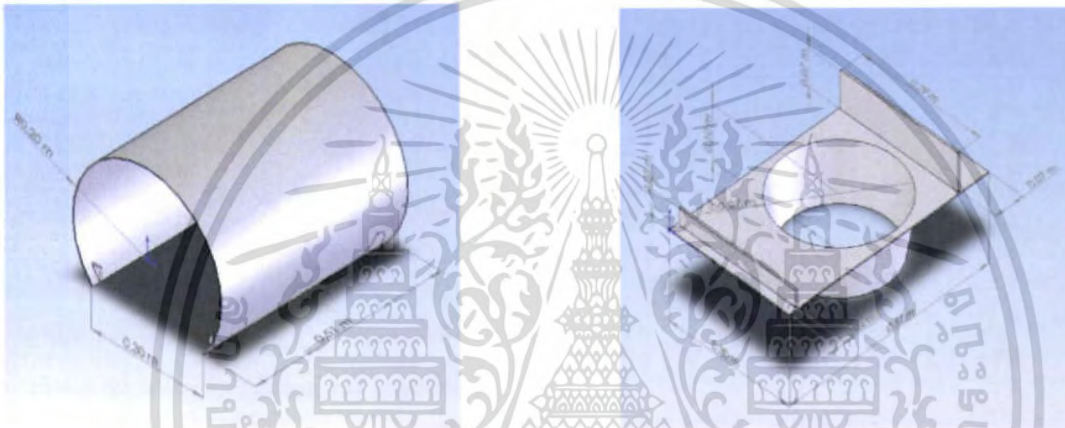
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A. ฐาน



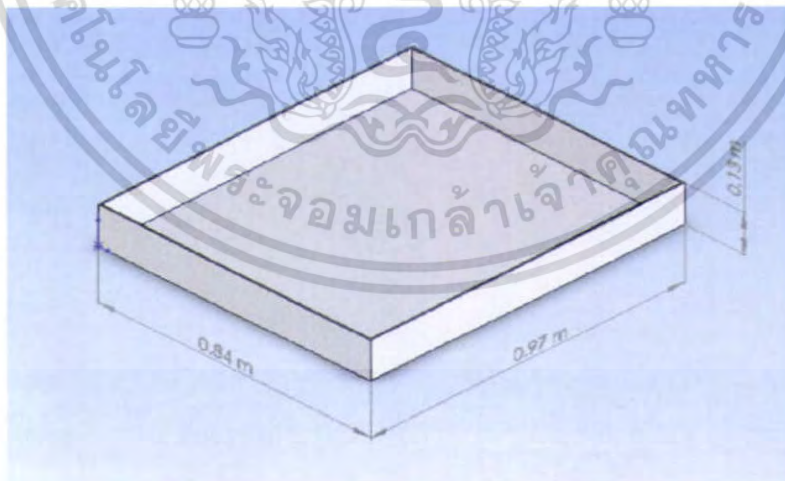
B. มอเตอร์



C. เฟรมส่วนบน



D. เฟรมส่วนล่าง



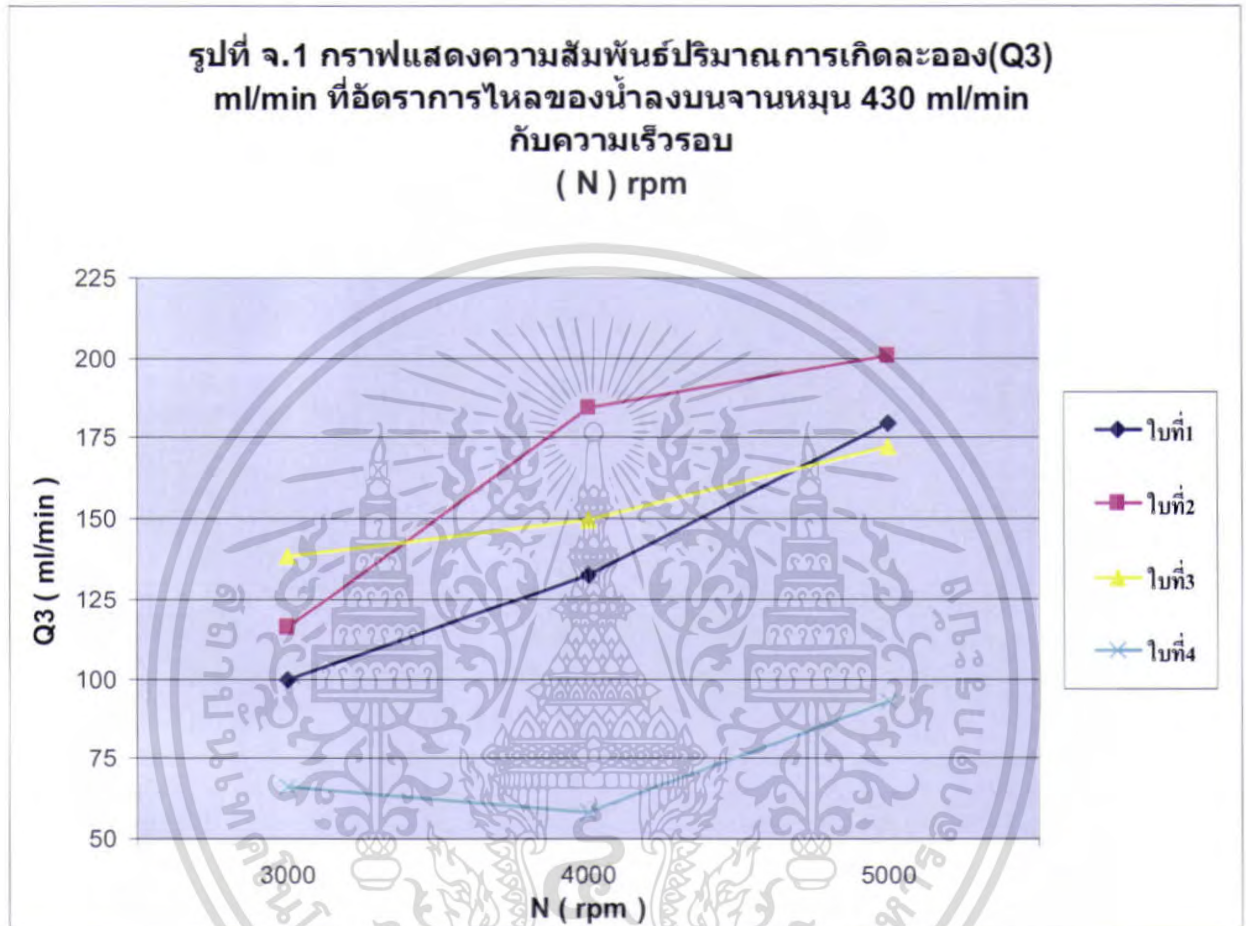
E. ถาดรองน้ำ

รูปที่ ง.2 รูปส่วนประกอบเครื่องทำหมอกและการให้ขนาดเท่าของจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดละอองกับความเร็วยรอบของจานหมุน



ใบที่ 1 แบบก้นหอย



ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้าน
ติดใบพรุน 16 ใบ



ใบที่ 3 แบบโค้งงอไป
ติดใบพรุน 16 ใบ

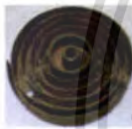
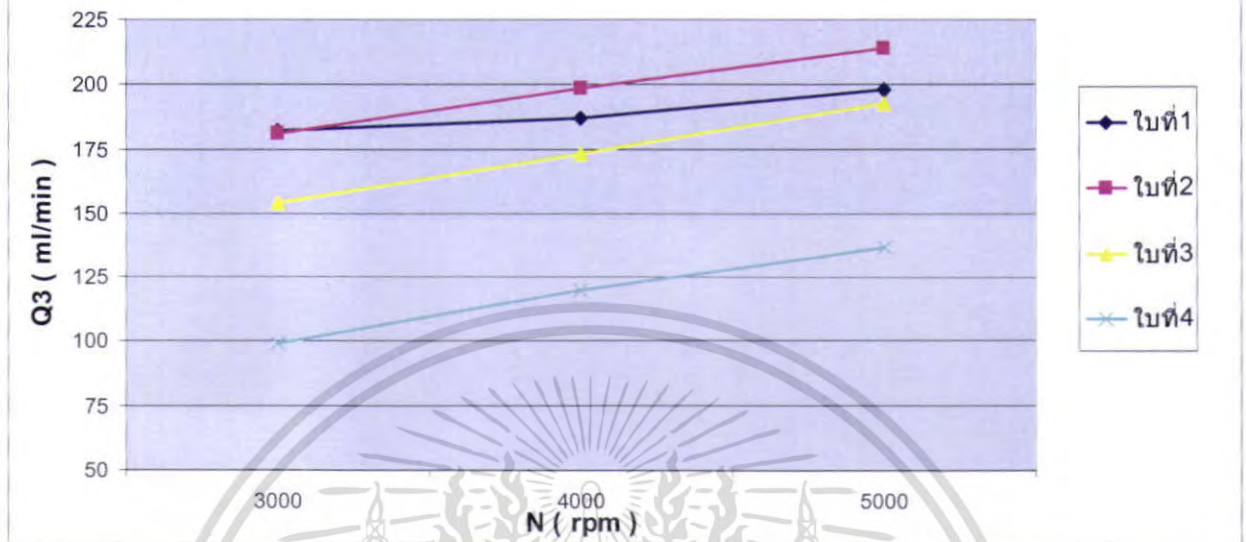


ใบที่ 4 แบบโค้งงอไป
ติดใบพรุน 28 ใบ

ปิดด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณการเกิดละออง (Q3)
ml/min ที่อัตราการไหลของน้ำลงบนจานหมุน 403 ml/min กับ
ความเร็วรอบ (N) rpm



ใบที่ 1 แบบก้นหอย



ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้าน



ใบที่ 3 แบบโค้งงอไป



ใบที่ 4 แบบโค้งงอไป

ติลใบพรม 16 ใบ

ติลใบพรม 16 ใบ

ติลใบพรม 28 ใบ

ปิดด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สืบค้นข้อมูลออนไลน์ของบทความและปริญญาานิพนธ์ได้ที่

www.kmitl.info

P202.2550

บทความประกอบวิชา 01054025 Project 2 ภาคเรียนที่ 2/2550 วันอังคารที่ 14 มีนาคม 2551

ศึกษาและพัฒนาเครื่องพ่นหมอกตามแนวรัศมี¹

(study and development of radial-type fogging generator)

ฉัตรชัย นยโกวิท², เซาวลักษณ์ เกาหมอ², ศุภชัย สนกลัด², อ.พงษ์เจต พรหมวงศ์³

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องพ่นหมอกตามแนวรัศมี โดยใช้หลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อให้เกิดการระเหยตัวอย่างรวดเร็วทำให้อากาศโดยรอบเย็นและชื้นขึ้น ทดแทนระบบที่ใช้ความดันสูง ซึ่งการทำงานของระบบความดันต้องใช้ปั๊มแรงดันสูงสร้างความดันของน้ำผ่านหัวฉีดทำให้ละอองน้ำกระจายไปยังบริเวณรอบๆ ซึ่งระบบความดันนี้มีราคาสูง จึงได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องพ่นหมอกนี้ ให้ลดต้นทุนการผลิตและสามารถนำไปใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมการเกษตรต่างๆ ได้

Abstract

This paper presents the development of a radial water spraying system for cooling atmospheric air, using centrifugal force instead of high pressure system that is very expensive. The radial water spraying machine with centrifugal force in this development is cheaper and can be use in industrial or agriculture applications

© 2006 Department of Mechanical Engineering, KMITL. All rights reserved

1. บทนำ

โครงการนี้จะศึกษาการออกแบบใบลักษณะต่างๆ มีผลต่อการแตกตัวของหยดอย่างไรและตัวแปรอะไรบ้างที่มีผลต่อขนาดหยด เมื่อทดลองได้ลักษณะของใบที่เหมาะสมที่สุดที่จะสามารถนำไปนั้นๆ พัฒนาต่อไป เพื่อที่จะนำไปใช้งานได้จริง

¹ ชื่ออังกฤษ "study and development of a radial-type fogging generator"

² นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 3Q/1 รหัส 48015372, 48015373 และ 48015397 ตามลำดับ

³ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล., โทร. 0816332856, อีเมล kkppongje@kmitl.ac.th

วัตถุประสงค์ของโครงการ

- ศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องพ่นหมอกด้วยเทคนิคแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Flow Fan) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่สำหรับการสร้างหมอก

- สามารถพัฒนาเครื่องพ่นหมอกชนิดนี้ได้ต่อไปในอนาคต

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- สามารถสร้างให้เกิดละอองหมอกที่สามารถดูดซับความร้อนและระเหยตัวไปได้อย่างรวดเร็ว ปราศจากความเปียกชื้น

- ใบที่สร้างขึ้นมาในแต่ละแบบ สามารถนำไปใช้งานให้เหมาะสมกับงานในได้แต่ละประเภท

1. พื้นฐานการแตกกระจายของของเหลว แบ่งออกได้ 3

ประเภทใหญ่ๆคือ

1.1 การแตกออกของหยดในกระแสอากาศไหล

การแตกออกของหยดที่เคลื่อนที่ผ่านอากาศขึ้นอยู่กับสมบัติของของเหลวและแก๊ส ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด แรงเค้นระหว่างพื้นผิว และขึ้นอยู่กับรูปแบบการไหลเวียนของแก๊สรอบๆ หยดน้ำ โดยทั่วไปควบคุมโดยแรงกล แรงตึงผิว และแรงต้านจากความหนืด

สำหรับของเหลวที่มีความหนืดต่ำ ของเหลวจะมีแรงกระทำทั้งจากอากาศพลศาสตร์ แทนโดย $0.5 \rho_A U_R^2$ และแรงตึงผิว แทนโดย σ_L / D และมีผู้สร้างความสัมพันธ์เป็นเลขไรต์นอย คือเลข วีเบอร์

(Weber no.) ดังสมการ

$$W_e = \frac{\rho_A U_R^2 D}{\sigma_L} \quad (1.1)$$

เมื่อ U_R คือความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างหยดของเหลวและอากาศ

โดยเมื่อค่า W_e สูง ต้องใช้แรงภายนอกสูงสำหรับของเหลวทั่วไป จุดเริ่มต้นที่หยดแตกออกเกิดขึ้นเมื่อแรงต้านอากาศพลศาสตร์คือแรงต้านที่ผิว (aerodynamic drag) เท่ากับแรงตึงผิวพอดี นั่นคือ

$$C_D \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) 0.5 \rho_A U_R^2 D = \frac{\pi D \sigma_L}{g} \quad (1.2)$$

จัดเทอมใหม่ได้

$$\left(\frac{\rho_A U_R^2 D}{\sigma_L} \right)_{crit} = \frac{8}{C_D} \quad (1.3)$$

1.3 การแตกกระจายของแผ่นของเหลว [3]

2. ขนาดของหยด (drop sizes)

การฉีดพ่นของเหลวเป็นหยดเล็กๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของเหลวโดยใช้หัวฉีด ได้สเปรย์ของของเหลว ที่ประกอบด้วยมวลของหยดของเหลวที่มีขนาดต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดหัวฉีด แต่มักอยู่ในช่วง 1 ถึง 500 ไมโครเมตร



รูปที่ 1 สเปกตรัมของขนาดของหยด

3. ลักษณะงานหมุนทั้ง 4 ประเภทที่นำมาทดลอง งานหมุนทั้ง 4 ประเภทที่นำมาทดลองมีขนาดดังนี้ เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ติดใบพุนหนา 1 มม. สูง 20 มม. และขนาดรู 1.5 มม.



ใบที่ 1 แบบก้นเหยย



ใบที่ 2 แบบโค้งงอใบด้าน หลังติดใบพุน 16 ใบ



ใบที่ 3 แบบโค้งงอใบด้าน หลังติดใบพุน 16 ใบ ติดด้านบน



ใบที่ 4 แบบโค้งไป หลังติดใบพุน 28 ใบ

รูปที่ 2 ลักษณะใบต่างๆ ที่นำมาทดลอง

1.2 การแตกกระจายของกระแสเป็นลำของของเหลว[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสมมติฐานของการออกแบบใบจานหมุน

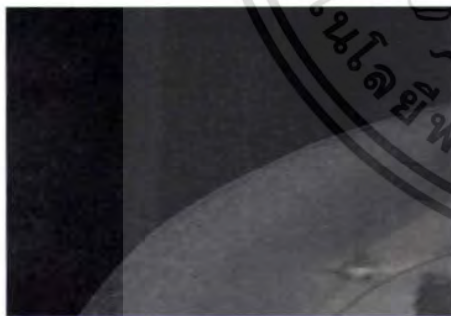
ใบที่ 1 แบบก้นหอย ใช้หลักการออกแบบให้น้ำถูกเหวี่ยงออกที่จุดศูนย์กลางของจานหมุนลักษณะเหมือนเกลียว ผ่านรูพรุนทำให้น้ำเกิดการแตกตัว

ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบ ใช้หลักการออกแบบตามลักษณะของใบพัดของปั๊ม แต่แตกต่างที่ลักษณะของแผ่นครีป ที่ใบที่ 2 นี้ติดเป็นรูพรุน และน้ำถูกเหวี่ยงออกโดยรอบตามแนวรัศมีผ่านรูพรุนทำให้น้ำเกิดการแตกตัว

ใบที่ 3 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบปิดด้านบน โดยใบนี้ได้พัฒนาต่อมาจากใบที่ 2 โดยทำการปิดด้านบนเพื่อที่จะทำให้น้ำถูกรีดออกมาจากด้านข้างผ่านรูพรุนเพียงอย่างเดียว และจะทำให้ขนาดหยดละเอียดขึ้น



ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบ



ใบที่ 3 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบปิดด้านบน

รูปที่ 3 แสดงลักษณะการเหวี่ยงออกจากใบจานหมุนของละออง

ใบที่ 4 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 28 ใบ โดยใบนี้เราได้พัฒนามาจากใบที่ 2 โดยทำการเพิ่มใบพรุนเพื่อที่จะทำให้ขนาดหยดละเอียดและมีอัตราการกินน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4 การทดสอบขั้นแรกโดยไม้ใส่เฟรม

4 การวัดขนาดของหยด



ขั้นตอนที่ 1 แผ่นที่ปิดฉากกรองวงสี่ที่ระยะ 1, 2 และ 3 เมตร

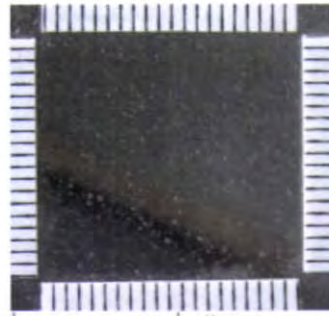


ขั้นตอนที่ 2 นำแผ่นที่บอกจากฉากเป็นเวลา 3 วินาที

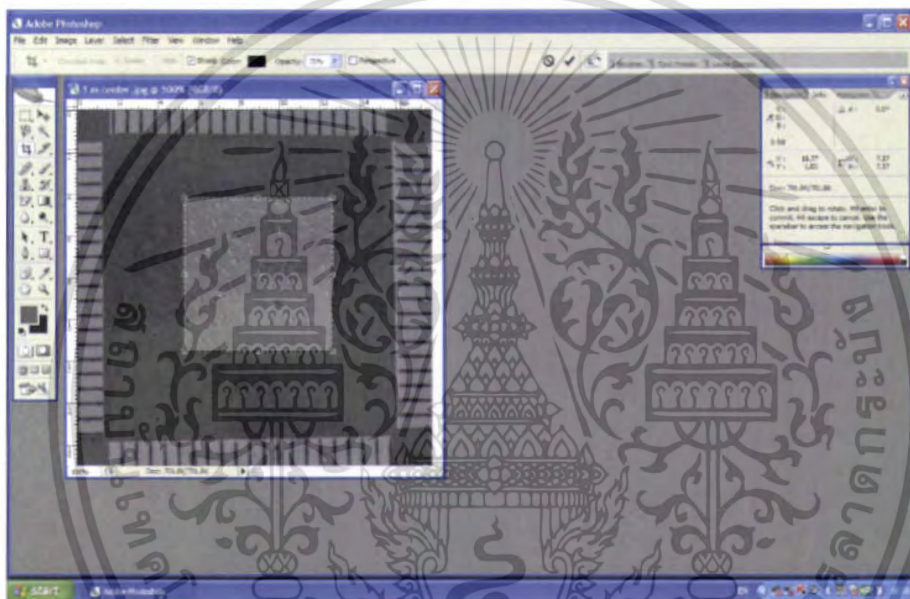
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ขั้นตอนที่ 3 นำแผ่นที่มามีปิดที่ฉากแล้วนำไปถ่ายรูปวัดขนาดหยด

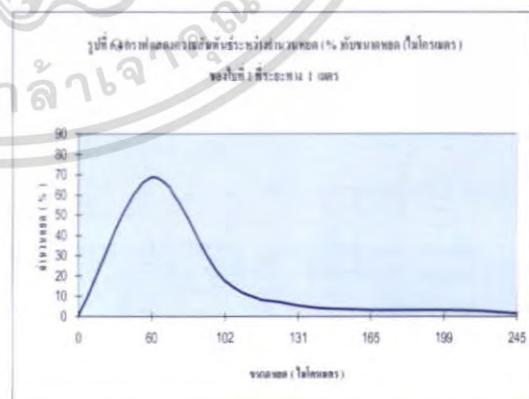


รูปที่ 4.1 หยดละอองที่วัดได้จากการทดลอง



รูปที่ 4.2 การวัดขนาดหยดในโปรแกรม Adobe Photoshop

ในการหาขนาดของหยด เราจะใช้รูปที่ถ่ายทั้ง 4 ไปขยายในโปรแกรม Adobe Photoshop Cs2 (ที่อัตราการขยาย 6-10 เท่า) โดยเราจะวัดขนาดทั้งหมดโดยวัดที่จุดกึ่งกลางของฉาก 1 ตารางเซนติเมตร จาก 2 ตารางเซนติเมตร เช่น เทียบมาตราส่วนระหว่างสเกลในภาพกับสเกลในโปรแกรมมาตราส่วน คือ 1:2 นั้นหมายถึง 1 ช่องสเกลในภาพ เท่ากับ 1 มิลลิเมตร ต่อ 2 ช่องของสเกลในโปรแกรม Adobe Photoshop Cs2 โดยเราจะใช้การเทียบบรรทัดไทรยางค์ วัดขนาดของหยดในโปรแกรม Adobe Photoshop Cs2 ได้



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนหยด(%) กับขนาดหยด (ไมโครเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบที่	อัตราการเกิดละออง (ml/min)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยด (μm)		
		ระยะ 1 m	ระยะ 2 m	ระยะ 3 m
1	229.5	60	45	32
2	242.82	35	25	20
3	223.76	34	27	19
4	228.98	27	20	17

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการเกิดละอองกับเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดของใบที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่ระยะ 1, 2 และ 3 เมตร

5.สรุป

มีปริมาณการเกิดละอองของแต่ละใบที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนน้ำไหลเข้าที่ 605 มิลลิเมตรต่อนาที มีดังนี้

ใบที่ 1 แบบกันหอย มีอัตราการเกิดละออง 229.50 มิลลิเมตรต่อนาที

ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบ มีอัตราการเกิดละออง 242.82 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งมากที่สุด

ใบที่ 3 แบบโค้งด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบปิดด้านบน มีอัตราการเกิดละออง 223.76 มิลลิเมตรต่อนาที

ใบที่ 4 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 28 ใบ มีอัตราการเกิดละออง 228.98 มิลลิเมตรต่อนาที

สรุปจะเห็นได้ว่า ใบทั้ง 4 ชนิด เมื่อระยะทาง $L3 > L2 > L1$ จะได้ขนาดหยดละออง $D3 < D2 < D1$ และจำนวนละอองที่นับได้ทั้งหมดใน 1 ตารางเซนติเมตร $n3 < n2 < n1$ เพราะเมื่อระยะทางที่เราสู่วัด (L) ไกลขึ้น จะทำให้ปริมาณความหนาแน่นของหยดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ลดลง (n) และขนาดเฉลี่ยของหยด (D) ก็เล็กลง สาเหตุอาจจะเกิดจากหยดที่มีขนาดใหญ่แตกออกในกระแสอากาศเพราะแรงต้านอากาศเมื่อเคลื่อนที่ไกลทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหยดเล็กลง และมีหยดที่มีขนาดเล็กมาก ๆ บางส่วนระเหยไปเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าน้อย เมื่อละอองเคลื่อนที่ในระยะเวลาช่วงหนึ่งและมีความเร็วในการเคลื่อนที่เสียดสีกับอากาศและเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับละอองน้ำทำให้ละอองน้ำจึงระเหยตัวอย่าง

ฉับพลัน ทำให้ปริมาณความหนาแน่นของหยดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (n) ลดลง

เมื่อทำการเปรียบเทียบทั้ง 4 ใบ ใบที่เกิดละอองมากที่สุดคือใบที่ 2, 1, 4 และ 3 ตามลำดับและใบที่ 4 ซึ่งติดใบลักษณะเดียวกันกับใบที่ 2 โดยที่ใบที่ 2 ติดใบพรุน 16 ใบ ส่วนใบที่ 4 จำนวน 28 ใบ แต่ใบที่ 4 จะได้อัตราการเกิดละอองลดลงแต่ขนาดหยดเล็กลง เพราะแผ่นพรุนมากขึ้นพื้นที่ ที่น้ำไหลผ่านรูแผ่นพรุนเพิ่มขึ้นหลายชั้นทำให้ขนาดหยดเล็กลงและทำให้อัตราการเกิดละอองน้อยลง

ส่วนใบที่ 3 คือ นำใบที่ 2 มาปิดด้านบนเพื่อป้องกันละอองน้ำเม็ดใหญ่กระเด็นออกไปด้านบน ผลที่ได้คือละอองที่ออกมามีขนาดเล็กกว่าใบที่ 2 แต่ปริมาณการเกิดละอองลดลงเพราะละอองน้ำถูกรีดออกด้านข้างเพียงด้านเดียว

และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติที่ดีคือเกิดละอองมากและขนาดหยดละอองเล็ก ของทุกใบเราจึงเลือกใช้ใบตามคุณสมบัติและลักษณะงานที่จะนำไปใช้ เช่น ถ้าต้องการความละเอียดของละอองมากควรเลือกใช้ใบที่ 4 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 28 ใบ ถ้าต้องการปริมาณละอองมากควรเลือกใช้ใบที่ 2 แบบโค้งงอไปด้านหลังติดใบพรุน 16 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● เอกสารอ้างอิง

- [1] YUNUS A. CENGEL MICHAEL A. BOLES
THERMODYNAMICS AN ENGINEERING
APPROACH (FOURTH EDITION)
- [2] BRUCE R. MUNSON, DONALD F. YOUNG,
THEODORE H. OKIISHI FUNDAMENTALS OF
FLUID
MECHANICS (5TH EDITION)

- [3] กัญจนา บุญเกียรติ , สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่1, จำนวน2000เล่ม, พ.ศ. 2544.
- [4] บริษัท มาสเตอร์ทูล อินเทอร์เน็ตแลค จำกัด,
เลขที่ 2 ถนนเทศบาลรังสรรค์เหนือ แขวงลาดยาว เขต
จตุจักร กทม.
- [5] สมศักดิ์ ไชยภินันท์, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กทม.10330



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้