

ชุดทดสอบการเกิดมลพิษในระบบระบายน้ำอัตโนมัติ

EXPERIMENTAL TRAINING SET FOR STUDYING SYSTEM EFFECT IN THE DUCT



ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ราชบัณฑิตยสถาน

ศาสตราจารย์ ดร. วิมลวรรณ ศาสตรา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ชุดทดสอบการเกิดผลกระทบของระบบภายในท่อลม

EXPERIMENTAL TRAINING SET FOR STUDYING SYSTEM EFFECT IN THE DUCT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENTAL TRAINING SET FOR STUDYING SYSTEM EFFECT IN THE DUCT



A THESIS SUBMITTED IN PARTICAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดทดสอบการเกิดผลกระทบของระบบภายในท่อลม

EXPERIMENTAL TRAINING SET FOR STUDYING SYSTEM EFFECT IN THE DUCT

ผู้จัดทำ

1. นาย กิจจา อภิบาลบริรักษ์ รหัสนักศึกษา 53010101
2. นาย ภาณุวัฒน์ ประทีปนำชัย รหัสนักศึกษา 53011241
3. นาย สุเมธ รักแม่ รหัสนักศึกษา 53011770

(ผ.ศ. มณฑล ใจกุลศล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดสอบการเกิดผลกระทบของระบบภายในท่อลม

นาย กิจจา	อภิบาลบริษัท	53010101
นาย ภาณุวัฒน์	ประทีปนำชัย	53011241
นาย สุเมธ	รักแม่	53011770
ผศ. มณฑล	ใจกุศล	อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อระบบลมภายในท่อลม (System Effect) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความยาวท่อทางเข้าทางออกของโบลเวอร์(Blower)ที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาด 3×3 นิ้ว และเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 นิ้วของท่อหน้าตัดเหลี่ยมและหน้าตัดวงกลมตามลำดับ ใน การศึกษานี้ได้ทดลองเปลี่ยนความยาวท่อในขาเข้าช่วง 5 ถึง 15 เซนติเมตร และความยาวท่อขาออก ในช่วง 2 ถึง 32 เซนติเมตรโดยกำหนดความยาวตามค่าประสิทธิภาพความยาวท่อ (Effective Duct Length) ตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 125 รวมไปถึงทำการติดตั้งแดมเปอร์(Damper)เพื่อศึกษาที่อัตราการไหลที่แตกต่างกันซึ่งการทดลองพบว่า ณ ความยาวเท่ากับ 19.6เซนติเมตรที่เป็นความยาวที่มี ประสิทธิภาพความยาวท่อ 100 %ของท่อสี่เหลี่ยม และความยาวเท่ากับ 20.17เซนติเมตรที่เป็นความยาว ที่มีประสิทธิภาพของท่อวงกลม นั้น อัตราการไหลของลมขาออกจะมีค่าเท่ากับลมขาเข้าและใช้พลังงาน น้อยที่สุด โดยหากความยาวท่อมีน้อยกว่าค่านี้อัตราการไหลของลมที่ทางออกจะมีค่าน้อยกว่าที่ ทางเข้าอีกทั้งสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่า แต่อย่างไรก็ดีการสิ้นเปลืองพลังงานอันเนื่องมาจากความยาวท่อ ที่มีประสิทธิภาพความยาวท่อน้อยกว่า 100 % นี้จะมีค่าไม่มากไปกว่าการที่ท่อขาออกเป็นท่ออ 90 องศา ซึ่งจะให้อัตราการไหลลมขาออกมีค่าน้อยที่สุดและสิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุด นอกจากนี้หากความ ยาวท่อมีค่ามากกว่าความยาวที่มีค่าประสิทธิภาพความยาวท่อ 100 % แล้ว อัตราเร็วลมขาออกจะลดลง เนื่องจากเกิดการสูญเสียภายในระบบท่อลม ซึ่งผลทดลองนี้สอดคล้องกับทางทฤษฎีทั้งหมด

EXPERIMENTAL TRAINING SET FOR STUDYING SYSTEM EFFECT IN THE DUCT

Kitcha	Aphibanborirak	53010101
Phanuwat	Pratheepnamchai	53011241
Sumet	Rakmae	53011770
Assis.ProfMontol	Jaikusol	Advisor
Year 2556		

Abstract

This thesis aims to study the impact on air within duct (system effect), which is caused by the change in length inlet outlet bolt River (blower) with cross-sectional area of 3 x 3 inches. Diameter 3.5 inches of the pipe cross sectional shape and a circle, respectively. In this study we tried to change the length of the tubes in the input range of 5 to 15 cm in length and discharge during the 2 to 32 cm by the length along the effective length of the tube (effective duct length) from 10 percent to 125 percent, including the installation of damper to study the different flow rates. At a length of 26.2 cm effective length is the length of the pipeline is 100% flow rate output is equal to the inlet air and minimizes energy consumption. If the tube length is less than this value. Flow rate at the exit to the entrance is less than the total energy consumption over. However, power consumption due to the effective pipe length, pipe length is less than 100%.90 degrees, which is inlet air flow rate is the smallest and most energy wasteful. In addition, if the pipe length is greater than the length of the effective tube length 100% Wind speed output is reduced due to loss in duct. The experimental results are consistent with all theoretical.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในทุกๆด้านเสมอมาจากอาจารย์ที่ปรึกษา จึงขอขอบพระคุณผศ.มณฑล ใจกุลล อาจารย์ที่ปรึกษา เป็นอย่างมาก และขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ช่วยอบรมสั่งสอนความรู้ ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้และขอบคุณพี่กริชชาติ ว่องไวลิขิต ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ ทำให้การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

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

นายกิจจา	อภิบาลบริรักษ์
นายภาณุวัฒน์	ประทีปนำชัย
นายสุเมธ	รักแม่

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.1.1 พัดลม.....	3
2.1.1 โบลเวอร์.....	3
2.1.1 เครื่องอัดอากาศ.....	3
2.2 ประเภทของพัดลม.....	3
2.2.1 พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง.....	3
2.2.1.1 พัดลมแบบใบพัดรัศมีตรง.....	4
2.2.1.2 พัดลมแบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า.....	4
2.2.1.3 พัดลมแบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง.....	5
2.2.2 พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน.....	6

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.2.1 พัฒนาลักษณะที่พัฒมาเป็นเกลียว.....	6
2.2.2.2 พัฒนาลักษณะที่พัฒมาเป็นเส้นตรง	6
2.3 สมการพลังงานของเบอร์นูลลี.....	7
2.4 การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อ.....	8
2.5 ประสิทธิภาพของพัดลม.....	10
2.5.1 เครื่องอัดอากาศ.....	10
2.5.2 การหาประสิทธิภาพของพัดลม.....	12
2.5.3 การคำนวณขนาดต้นกำลังขับพัดลม	13
2.6 คุณลักษณะและสมรรถนะการทำงานของพัดลม.....	13
2.6.1 สมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า	14
2.6.2 สมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหลัง.....	14
2.6.3 สมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดตรง.....	15
2.6.4 สมรรถนะของพัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน.....	15
2.7 กฎความคล้ายของพัดลม.....	16
2.8 ผลกระทบของระบบพัดลม.....	17
บทที่ 3 การออกแบบชุดทดลองและขั้นตอนการทดลอง	20
3.1 ชุดทดลองการเกิดผลกระทบของระบบในท่อ.....	20
3.1.1 ท่อทางเข้าและทางออก	20
3.1.2 โบลเวอร์แบบใบพัดโค้งหน้า	22
3.1.3 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแคลมป์มิเตอร์.....	23
3.1.4 เครื่องมือวัดความเร็วลม	24
3.1.5 พาวเวอร์มิเตอร์บัสเตอร์	24
3.1.6 ลักษณะของชุดทดลองการเกิดผลกระทบของระบบภายในท่อลม.....	25

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	25
3.2.1 การติดตั้งอุปกรณ์และการเตรียมอุปกรณ์	25
3.2.2 วิธีการทดลองการเกิดผลกระทบของระบบภายในท่อลม	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	27
4.1 ผลจากการทดลอง	27
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	27
4.2.1 ผลกระทบจากความยาวท่อทางเข้า ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นสี่เหลี่ยม	27
4.2.2 ผลกระทบจากการต่อข้องอ 90 องศา ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นสี่เหลี่ยม	28
4.2.3 ผลกระทบจากความยาวท่อทางเข้า ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นท่อกลม	29
4.2.4 ผลกระทบจากการต่อข้องอ 90 องศา ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นท่อกลม	30
4.2.5 ผลกระทบของรูปร่างหน้าตัดท่อทางออกต่อการเกิดผลกระทบของระบบ	31
4.2.6 ผลกระทบจากการติดตั้งแอมเปอร์ ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นสี่เหลี่ยม	32
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	33
5.1 สรุปผลการทดลอง	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก ก	35
ภาคผนวก ข	53
ภาคผนวก ค	62

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เส้นผ่านศูนย์กลางเสมือน D_e ของท่อเหลี่ยมขนาดต่างๆ.....	10
2.2 ค่าของ Blast Area/Outlet Area ในการหาเส้นกราฟผลกระทบของระบบ.....	18
3.1 พื้นที่หน้าตัดและความยาวที่เหมาะสมต่อการหลีกเลี่ยงการเกิดผลกระทบของระบบ.....	21
3.2 การกำหนดความยาวรวม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออก.....	21
3.3 คุณสมบัติต่างๆของโบลเวอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	22



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 พัฒนแบบใบพัดรัศมีตรง.....	4
2.2 พัฒนแบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า.....	5
2.3 พัฒนแบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง.....	5
2.4 พัฒนแบบลักษณะที่พัฒนามเป็นเกลียว.....	6
2.5 พัฒนแบบลักษณะที่พัฒนามเป็นเส้นตรง.....	6
2.6 แสดงวิธีการวัดค่าความดันสถิตย์ความดันรวม และความดันจลน์.....	11
2.7 การคำนวณค่าประสิทธิภาพพัดลม.....	12
2.8 การเปลี่ยนรูปของพลังงานของระบบพัดลม.....	13
2.9 กราฟแสดงสมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า.....	14
2.10 กราฟแสดงสมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหลัง.....	14
2.11 กราฟแสดงสมรรถนะของพัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน.....	15
2.12 การติดตั้งท่อลมด้านออก.....	17
2.13 กราฟผลกระทบของระบบ (System Effect Curve).....	19
3.1 แสดงรูปท่อทางเข้าความยาวต่างๆ.....	20
3.2 แสดงรูปแบบทางออกที่ต่างๆ.....	22
3.3 โบล์เวอร์.....	23
3.4 แสดงรูปแคลมป์มิเตอร์(Clamp Meter).....	23
3.5 แสดงรูปVane Anemometer.....	24
3.6 แสดงรูปPower Meter Buster.....	24
3.7 แสดงรูปชุดทดลองจริงที่ได้รับการติดตั้งอุปกรณ์.....	25
4.1 แสดงผลกระทบจากความยาวท่อทางเข้า ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นสี่เหลี่ยม.....	27
4.2 แสดงการทดลองที่ท่อทางเข้าอแบบโค้ง90องศาและห้องอัดตั้งฉาก90องศา โดยลักษณะหน้าตัดท่อทางออกเป็นสี่เหลี่ยม.....	28
4.3 ผลกระทบจากความยาวท่อทางเข้า ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นทอกกลม.....	29
4.4 แสดงผลกระทบจากการต่อข้ออ 90 องศา ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นทอกกลม.....	30
4.5 แสดงผลกระทบของรูปร่างหน้าตัดท่อทางออกต่อการเกิดผลกระทบของระบบ.....	31
4.6 แสดงผลกระทบจากการติดแอมเปอร์ในระบบ.....	32

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้อุปกรณ์พัฒนา-โบลเวอร์ มีค่อนข้างแพร่หลายมาก แต่บางครั้งในการติดตั้งอุปกรณ์ระบบระบายอากาศมักจะทำให้ อัตราการไหลของระบบท่อส่งลม มีค่าน้อยกว่าที่เราต้องการหรือค่าตามที่พัฒนา-โบลเวอร์ได้ออกแบบไว้ ซึ่งสมรรถนะของพัดลมที่หายไปเกิดจากผลกระทบของระบบ(System Effect) ซึ่งเราไม่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือใดๆ แต่มีเหตุมาจากการติดตั้งท่อลมในทางเข้าและทางออกของพัดลมที่ไม่ถูกต้องคือแตกต่างไปจากการต่อท่อลมขณะทำการทดสอบหาสมรรถนะของพัดลม มีผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในบริษัทมากขึ้น ทำให้บริษัทต่างๆ หันมาให้ความสนใจในการศึกษามากขึ้น เพื่อให้ลดต้นทุนในการผลิตและสามารถใช้อุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการเกิดผลกระทบของระบบภายในท่อลม
- 1.2.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโบลเวอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการติดตั้งท่อทางเข้า-ทางออกของโบลเวอร์
- 1.2.3 เพื่อใช้เป็นชุดทดลองศึกษาการเกิดผลกระทบของระบบภายในท่อลม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แสดงถึงการศึกษาและทำการทดลองระบบการไหลของอากาศภายในท่อและการต่อท่อทางเข้าและท่อทางออก ว่าแบบใดที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานของพัดลมให้มีค่ามากที่สุดและสามารถคำนวณการไหลภายในท่อว่าระยะที่เท่าไรที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานของพัดลมที่ดีที่สุด และสามารถนำค่าผลการทดลองในแต่ละครั้ง ไปวิเคราะห์หาการสูญเสียค่าไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

1.4 วิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีของระบบการทำงานของพัดลม
- 1.4.2 ศึกษาการไหลของลมภายในท่อที่มีความยาวในขนาดที่แตกต่างกันไป
- 1.4.3 ศึกษาวิธีการทดลองและออกแบบการสร้างชุดทดลอง
- 1.4.4 เสนอข้อมูลที่ศึกษามาต่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อหาแนวทางการดำเนินงาน
- 1.4.5 ทำการสร้างชุดทดลองและติดตั้งอุปกรณ์
- 1.4.6 เริ่มทำการทดสอบเพื่อทำการบันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ใช้ในการเรียนการสอน
- 1.5.2 ได้รู้เกี่ยวกับพัดลมและการวางท่อทางเข้าและทางออกของพัดลม
- 1.5.3 สามารถออกแบบการติดตั้งพัดลมและท่อทางเข้าทางออกให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดได้
- 1.5.4 สามารถออกแบบการติดตั้งพัดลมและท่อทางเข้าทางออกให้มีความรู้สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าที่อาจจะเกิดขึ้นเกินความจำเป็นในการติดตั้งแบบเดิม

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการบังคับอากาศให้เคลื่อนที่มีอยู่ด้วยกันหลายประเภท กล่าวคือพัดลม โบลเวอร์ และเครื่องอัดอากาศ ในการกำหนดแบ่งประเภทของพัดลม โบลเวอร์ และเครื่องอัดอากาศ ทางสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งญี่ปุ่น (Japanese Society of Mechanical Engineers, JSME) จึงได้กำหนดความแตกต่างของอุปกรณ์ทั้งสามดังนี้

2.1.1 พัดลม (Fan)

ใช้เรียกอุปกรณ์ที่ทำงาน ณ ความดันน้อยกว่า 1 เมตรน้ำ หรือ 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (lb/in^2)

2.1.2 โบลเวอร์ (Blower)

ใช้เรียกอุปกรณ์ที่ทำงาน ณ ความดันที่มากกว่า 1 เมตรน้ำ จนถึง 10 เมตรน้ำ

2.1.3 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

ใช้เรียกอุปกรณ์ที่ทำงาน ณ ความดันที่มากกว่า 1 บาร์หรือ 10 เมตรน้ำ

2.2 ประเภทของพัดลม

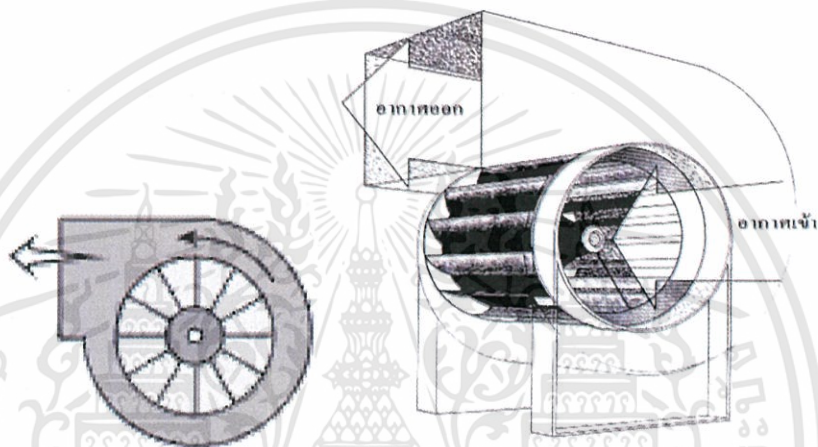
การแบ่งประเภทของพัดลมจะแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Flow Fan) และพัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fan)

2.2.1 พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Flow Fan)

พัดลมหมุนเหวี่ยงนี้ใช้ได้กับงานที่มีความดันทานลมสูงหรือ “เฮดลมสูง” โดยการทำงานของพัดลม จะมีการไหลเข้าของอากาศขนานกับแกนของใบพัด และจะไหลออกในแนวตั้งฉากกับแกนของใบพัดหรือแนวรัศมี โครงสร้างของพัดลมประเภทนี้จะประกอบด้วยใบพัดซึ่งหมุนอยู่ในตัวเรือนของพัดลม โดยชุดใบพัดจะประกอบด้วยแผ่นใบเล็กๆ ประกอบเข้าด้วยกันเป็นลักษณะวงล้อ ความดันของอากาศจะถูกทำให้มีค่าสูงขึ้นภายในตัวเรือนของพัดลม ซึ่งสามารถเพิ่มค่าให้สูงขึ้นด้วยการเพิ่มขนาดความยาวของใบพัด ซึ่งจะทำให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางภายในระบบมากยิ่งขึ้น พัดลมประเภทนี้จำแนกตามลักษณะรูปร่างของใบพัดเป็น 3 แบบคือ แบบใบพัดรัศมีตรง แบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า และแบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง

2.2.1.1 พัดลมแบบใบพัดรัศมีตรง (Straight Blade or Radial Fans)

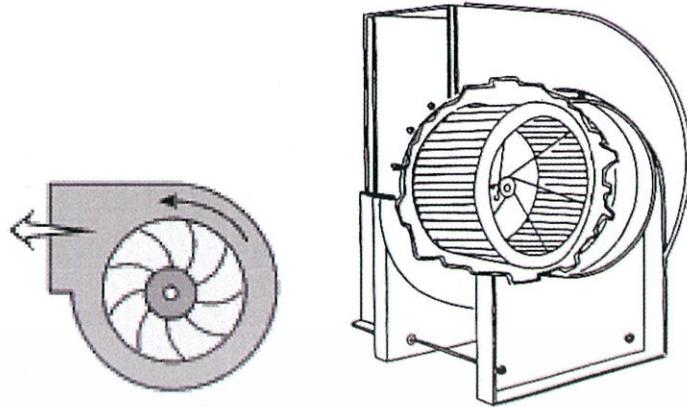
พัดลมชนิดนี้จะมีเพลานาดโต มีจำนวนซี่ใบพัด 5-10 ซี่ ลักษณะการสร้างเป็นใบล้อมหุ้มด้วยความเร็วรอบต่ำ และใบพัดจะอยู่ในแนวตั้งฉากกับเพล ใบพัดหมุนด้วยความเร็วรอบอย่างต่ำประมาณ 500-3,000 รอบต่อนาที จึงเหมาะกับงานที่ต้องการปริมาตรของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนจำนวนน้อยๆ ที่มีค่าความกดดันของอากาศสูง เช่น ใช้เป็นพัดลมระบายอากาศเสียออกไปสู่ภายนอก เหมาะกับอากาศสกปรก หรืองานที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุซึ่งไหลผ่านตัวพัดลม



รูปที่ 2.1 พัดลมแบบใบพัดรัศมีตรง

2.2.1.2 พัดลมแบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า (Forward Curved Blade Fan)

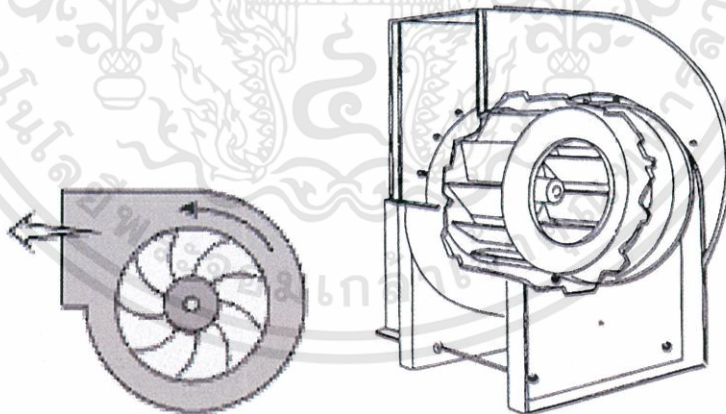
พัดลมชนิดนี้จะมีใบพัดโค้งไปข้างหน้า ในทิศทางเดียวกับการหมุนของชุดใบพัด จะมีจำนวนแผ่นใบพัดประมาณ 20-64 ใบ ชุดใบพัดจะมีลักษณะคล้ายกับกรงกระรอก (Squirrel Cage) เปลาใบพัดจะมีขนาดเล็กหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงกว่าใบพัดชนิดตรง ส่วนความเร็วลมที่เคลื่อนที่จะเร็วกว่าพัดลมใบพัดโค้งไปข้างหลัง การทำงานของพัดลมชนิดนี้มีเสียงเบาที่สุด ดังนั้นจึงไม่ควรใช้กับงาน หรือระบบที่มีอัตราการไหลของอากาศเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา หรือพัดลมนี้จะให้ค่าความดันลมและอัตราการไหลของอากาศสูงสุด



รูปที่ 2.2 พัดลมแบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า

2.2.1.3 พัดลมแบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง (Backward Curved Blade Fans)

พัดลมชนิดนี้จะมีใบพัดเอียงไปข้างหลัง ในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการหมุนของใบพัด จะมีจำนวนใบพัดประมาณ 10-50 ใบ ซึ่งใบพัดจะไม่ถี่ละเอียดเท่ากับพัดลมที่โค้งไปข้างหน้า และเป็นพัดลมที่มีความเร็วรอบสูง ไม่ก่อให้เกิดเสียงดังอันควร ไม่มีลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลังไป และไม่มีช่วงการทำงานที่เสถียร จึงเหมาะที่จะใช้งานระบายอากาศและอากาศที่ใช้ต้องสะอาดด้วย เนื่องจากความสามารถที่จะควบคุมความกดดันและปริมาณลมได้ง่าย พัดลมชนิดนี้จะมีราคาสูงกว่าชนิดอื่นๆ เมื่อเทียบขนาดที่เท่ากัน



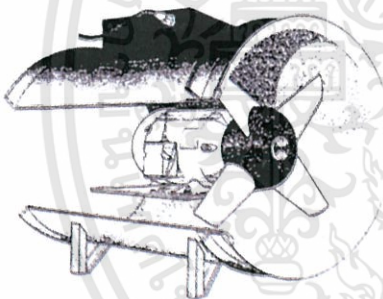
รูปที่ 2.3 พัดลมแบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง

2.2.2 พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fan)

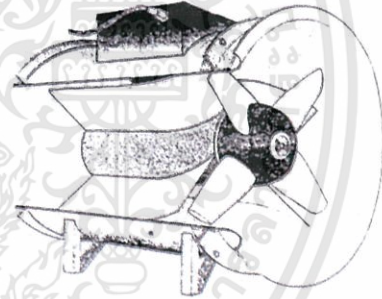
พัดลมแบบนี้จะไหลขนานกับแกนของใบพัดและตั้งฉากกับระนาบการหมุนของใบพัด ชุดใบพัดจะถูกติดตั้งบนแกนเพลลาขับของมอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งอยู่ในตัวพัดลม ทำให้มอเตอร์สามารถระบายความร้อนออกไปกับอากาศที่ถูกขับเคลื่อน พัดลมชนิดนี้มีราคาถูก การทำงานของพัดลมมีเสียงดังเมื่อเปรียบเทียบกับพัดลมแบบหมุนเหวี่ยง และมีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่เสถียร จึงเหมาะกับการระบายอากาศ และงานที่มีความต้านทานลมต่ำ พัดลมแบบนี้ส่วนมากมีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายง่ายสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ ลักษณะที่พัดลมเป็นเกลียว (Tube Axial Fans) และลักษณะที่พัดลมเป็นเส้นตรง (Vane Axial Fans)

2.2.2.1 พัดลมลักษณะที่พัดลมเป็นเกลียว (Tube Axial Fans)

พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกนชนิดนี้ จะมีโครงสร้างประกอบด้วยชุดใบพัดซึ่งหมุนอยู่ภายในท่อรูปทรงกระบอก ลมที่ถูกขับเคลื่อนให้ผ่านชุดใบพัดจะหมุนเป็นเกลียว มีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน พัดลมชนิดนี้ให้ค่าความกดดันของลมปานกลาง



รูปที่ 2.4 พัดลมแบบลักษณะที่พัดลมเป็นเกลียว



รูปที่ 2.5 พัดลมแบบลักษณะที่พัดลมเป็นเส้นตรง

2.2.2.2 พัดลมลักษณะที่พัดลมเป็นเส้นตรง (Tube Axial Fans)

พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกนชนิดนี้ จะมีแผ่นครีบเพื่อใช้ในการบังคับการไหลของอากาศที่ถูกขับเคลื่อน ติดตั้งอยู่ภายในตัวเรือนของพัดลมบริเวณท่อทางออกบริเวณด้านหลังชุดใบพัด เพื่อช่วยในการไหลของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนให้มีการไหลเป็นเส้นตรงมากที่สุด ซึ่งจะช่วยลดลักษณะการไหลของอากาศปั่นป่วนให้ลดลง และลดพลังงานสูญเสียเนื่องจากการไหลของอากาศปั่นป่วนภายในระบบให้น้อยลงด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานและราคาสูงกว่าพัดลมชนิด พัดลมลักษณะที่พัดลมเป็นเกลียว

2.3 สมการพลังงานของเบอร์นูลลี

พื้นฐานของระบบระบายอากาศ คือเรื่องการไหลของลมภายในท่อ อากาศซึ่งถูกขับจากใบพัดของพัดลม จะทำให้อากาศมีค่าความกดดันสูงขึ้น เมื่อถูกส่งเข้าสู่ระบบท่อ จะพบกับความต้านทานต่อการไหลของอากาศ ซึ่งเรียกว่า การลดลงของความดัน (Pressure Drop) ซึ่งเป็นผลจากการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากความเสียดทานภายในของระบบท่ออื่นๆ ดังนั้นพัดลมจึงต้องสร้างความแตกต่างของความดันรวม ทั้งทางดูดและทางจ่ายของระบบท่อ เพื่อให้อากาศไหลเข้าสู่ระบบท่อได้ตามปริมาณที่ต้องการและมีอัตราการไหลอย่างต่อเนื่อง

พลังงานหรือเฮดในระหว่างการไหลของของไหล ณ เวลาหนึ่งประกอบด้วยสามส่วนคือ เฮดความดัน เฮดความเร็วและเฮดความสูง

$$H = Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \quad (2.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

V คือ ความเร็วของการไหล

Z คือ ความสูงเหนือระดับอ้างอิง

สำหรับของไหลที่ใช้สมการข้างต้น ถ้าเป็นอากาศ (ลม) นั้นจะมีความหนาแน่น (ρ) น้อยมาก ทำให้เทอม Z ในสมการข้างต้นนั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับสองเทอมที่เหลือ ดังนั้นจึงตัดเทอม Z ทิ้งไปได้ ดังนั้นสมการที่ได้ คือ

$$H = \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \quad (2.2)$$

เมื่อพิจารณาการไหลระหว่างจุดสองจุดในท่อดม เฮดทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลประกอบด้วย เฮดความดัน (Pressure Head) และเฮดความเร็ว (Velocity Head) จากสมการ 2.2 เฮดที่พัดลมเพิ่มให้กับอัตราการไหล และเฮดการสูญเสียรวม (Total Head loss) ที่เกิดขึ้นในระหว่างการไหลของจุดสองจุด

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + H_F + H_L = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (2.3)$$

โดยที่ H_F คือเฮดของพัดลม H_L คือเฮดการสูญเสียรวม

$$H_L = H_{Lf} + H_{Le} \quad (2.4)$$

2.4 การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อลม

การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อลม เป็นส่วนสำคัญหนึ่งของการวิเคราะห์พลังงานในระบบใบพัดลม จาสมการที่ (2.4) ในรูปของเฮดความสูญเสียรวม ซึ่งจะประกอบด้วยเฮดสูญเสียเนื่องจากความฝืดในท่อลม (Friction Head Loss) H_{Lf} และเฮดสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์ (Equipment Head Loss) H_{Le}

2.4.1 เฮดความฝืดในท่อลม

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทานหรือเฮดความฝืดภายในท่อลม สามารถประมาณค่าได้ด้วยวิธีเดียวกันกับการสูญเสียเนื่องจากเฮดความฝืดของเหลว โดยใช้สมการของ Darcy-Weisbach ควบคู่กับการใช้ Moody's Diagram

$$H_{Lf} = f \times \frac{L}{D} \times H_V \quad (2.5)$$

เมื่อ f คือ สัมประสิทธิ์ความฝืด ประมาณค่าได้จาก Moody's Diagram

L คือ ความยาวของท่อ

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

H_V คือ เฮดความเร็ว

ในหน่วยเมตริก เฮดความเร็วอาจแสดงในหน่วยของ Pa เมื่อคิดที่สภาวะมาตรฐานที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 15 °C และความเร็ว V ในหน่วย m/s ค่า H_V จะคำนวณได้ดังสมการ

$$H_V = \left(\frac{\gamma_a V^2}{2g} \right) \quad (\text{Pa})$$

$$H_V = \left(\frac{V^2}{1.289} \right) \quad (\text{Pa}) \quad (2.6)$$

โดยที่ γ_a คือค่าน้ำหนักจำเพาะของอากาศ นอกจากนั้นการใช้งานในทางปฏิบัติ เหน็ดความเร็ว อาจแสดงในหน่วย เมตรน้ำ หรือมิลลิเมตรน้ำ ดังสมการข้างล่าง โดยที่ V มีหน่วยเป็น m/s

$$H_V = \left(\frac{V^2}{2g} \cdot \frac{\gamma_a}{\gamma_w} \right)$$

$$H_V = \left(\frac{V}{128} \right)^2 \quad (\text{เมตรน้ำ}) \quad (2.7)$$

$$H_V = \left(\frac{V}{4.04} \right)^2 \quad (\text{มิลลิเมตรน้ำ}) \quad (2.8)$$

เหน็ดความเร็วในท่อกลม H_{L_f} ที่คำนวณได้จากสมการ (2.5) จะมีหน่วยเดียวกันกับหน่วยของเหน็ดความเร็ว H_V ที่เลือกใช้

สำหรับในหน่วยอังกฤษนั้น เหน็ดความเร็วมักจะคำนวณให้มีหน่วยเป็นนิ้วน้ำ ในกรณีที่ความเร็ว V มีหน่วยเป็นฟุตต่อนาที และค่าน้ำหนักจำเพาะของอากาศและน้ำ (γ_a และ γ_w) คิดที่สภาวะมาตรฐานที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 15 °C เหน็ดความเร็วคำนวณได้จาก

$$H_V = \left(\frac{V}{4005} \right)^2 \quad (\text{นิ้วน้ำ}) \quad (2.9)$$

นอกจากการใช้สมการ Darcy-Weisbach ควบคู่กับการใช้ Moody's Diagram จากการประมาณค่าการสูญเสียเหน็ดเนื่องจากความเสียดทานในท่อกลม ยังสามารถประมาณได้จากการใช้กราฟการสูญเสียความดัน ซึ่งเป็นไปตามข้อแนะนำของสมาคมวิศวกรการทำความร้อน ความเย็น และการปรับอากาศแห่งประเทศไทย American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)

ในกรณีที่ท่อลมมีพื้นที่หน้าตัดของท่อเป็นรูปสี่เหลี่ยม สามารถใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเสมือนของท่อ (Equivalent Diameter, D_e) ในการประมาณค่าการสูญเสียเฮดความฝืด โดยประมาณค่าจากขนาดความกว้าง (a) และยาว (b) ของพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมของท่อ

$$D_e = \frac{1.3(ab)^{5/8}}{(a+b)^{1/4}} \quad (2.10)$$

ตารางที่ 2.1 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางเสมือนของ D_e ของท่อเหลี่ยมขนาดต่างๆ ที่คำนวณจากสมการข้างต้น

ตารางที่ 2.1 เส้นผ่านศูนย์กลางเสมือน D_e ของท่อเหลี่ยมขนาดต่างๆ

Side a (in)	Side b (in)													
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
6	6.6													
8	7.6	8.7												
10	8.4	9.8	10.9											
12	9.1	10.7	12.0	13.1										
14	9.8	11.5	12.9	14.2	15.3									
16	10.4	12.2	13.7	15.1	16.4	17.5								
18	11.0	12.9	14.5	16.0	17.3	18.5	19.7							
20	11.5	13.5	15.2	16.8	18.2	19.5	20.7	21.9						
22	12.0	14.1	15.9	17.6	19.1	20.4	21.7	22.9	24.0					
24	12.4	14.6	16.5	18.3	19.9	21.3	22.7	23.9	25.1	26.2				
26	12.8	15.1	17.1	19.0	20.6	22.1	23.5	24.9	26.1	27.3	28.4			
28	13.2	15.6	17.7	19.6	21.3	22.9	24.4	25.8	27.1	28.3	29.5	30.6		
30	13.6	16.1	18.3	20.7	22.0	23.7	25.2	26.6	28.0	29.3	30.5	31.7	32.8	

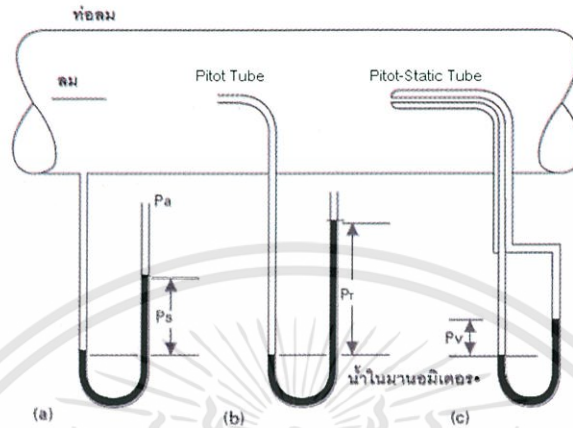
2.5 ประสิทธิภาพของพัดลม

2.5.1 กำลังลม

กำลังลม (Air Power, P_A) หมายถึงกำลังที่จ่ายให้ลมโดยผ่านใบพัดหมุน มีหน่วยเป็น kW ในหน่วยเมตริก สามารถคำนวณหาได้จากสมการข้างล่าง

ความดันลมที่ตำแหน่งต่างๆ ในท่อลม ประกอบด้วยความดันสถิตย์ (Static Pressure, P_s) ความดันจลน์ (Velocity Pressure, P_v) และความดันรวม (Total Pressure, P_T) ซึ่งเป็นผลรวมของความดันสองค่าแรก รูปที่ 6 แสดงการวัดค่าความดันทั้งสาม ค่าความดันสถิตย์สามารถวัดได้ด้วยmano

มิเตอร์ (รูปที่ 6a) ความดันรวมสามารถวัดได้ด้วยท่อพิทอต์แบบธรรมดา (รูปที่ 6b) และค่าความดันจลน์วัดได้ด้วย Pitot-Static Tube ซึ่งต้องใช้ร่วมกับมานอมิเตอร์ (รูปที่ 6c)



รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการวัดค่าความดันสถิตย์ (a) ความดันรวม (b) และความดันจลน์ (c)

$$P_T = P_S + P_V \quad (2.11)$$

สำหรับค่าความดันจลน์ (P_V) นั้นจะมีค่าเป็นบวกเสมอ ทั้งนี้เนื่องจากความดันทั้งหมด (P_T) มีค่ามากกว่าความดันสถิตย์ (P_S) เสมอ ส่วนความดันทั้งหมดอาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ ในการคำนวณหาอัตราการไหลของลม สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = A \times V \quad (2.12)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของลมในท่อ (m^3/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อลม (m^2)

V คือ ความเร็วลม (m/s)

ในการวัดค่าความเร็วลม สามารถใช้เครื่องมือวัดค่าของอัตราการไหลได้โดยตรงเช่น Vane Anemometer แต่มีข้อจำกัดในกรณีเป็นการวัดสำหรับท่อปิด หรือวัดโดยอ้อม การจะหาค่าความเร็วของอากาศจะต้องใช้พิทอต์ทิวป์ (Pitot Tube) จะเป็นการเหมาะสมกว่าในภาคสนาม การคำนวณค่าความเร็วลมโดยใช้พิทอต์ทิวป์ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V = \frac{C_p \times \sqrt{2 \times 9.81 \times P_v \times \gamma}}{\gamma} \quad (2.13)$$

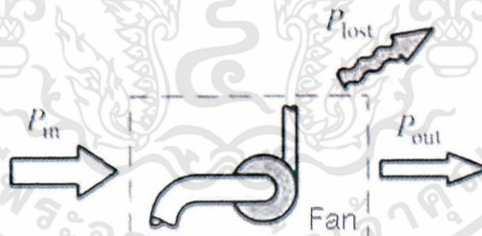
- เมื่อ V คือ ความเร็วลมในท่อ (m/s)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อลม (m^2)
 C_p คือ สัมประสิทธิ์ของฟิตอดทิวป์
 γ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
 P_v คือ ความดันจลน์ (mmH_2O)

สำหรับค่าของกำลังลม (P_A) คำนวณในระบบ SI มีหน่วยเป็น kW สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_A = \frac{Q \times P_T}{102} \quad (2.14)$$

2.5.2 การหาประสิทธิภาพของพัดลม

ประสิทธิภาพของพัดลมหมายถึง ร้อยละของกำลังที่พัดลมผลิตได้ ซึ่งหมายถึงกำลังลม เทียบกับกำลังขับพัดลม ซึ่งเป็นกำลังที่พัดลมรับมาจากต้นกำลังผ่านเพลาชับ



รูปที่ 2.7 การคำนวณค่าประสิทธิภาพพัดลม

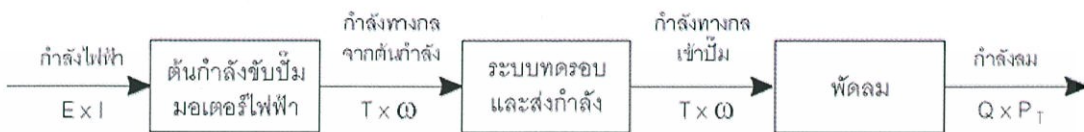
$$\eta_F = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.15)$$

- เมื่อ P_{out} คือ กำลังที่พัดลมผลิตได้ซึ่งหมายถึงกำลังลม (kW)
 P_{in} คือ กำลังที่เพลาชับของพัดลม (kW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การคำนวณขนาดต้นกำลังขับพัลลม

ในกรณีที่ต้นกำลังขับของพัลลมเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าเข้ามาจะถูกเปลี่ยนรูปเป็น พลังงานกลเพื่อไปขับพัลลม และพัลลมจะเปลี่ยนพลังงานทางกลที่รับเข้ามาให้เป็นกำลังไฮดรอลิก ในการคำนวณขนาดของต้นกำลังขับนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของต้นกำลังด้วย



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนรูปของพลังงานของระบบพัลลม

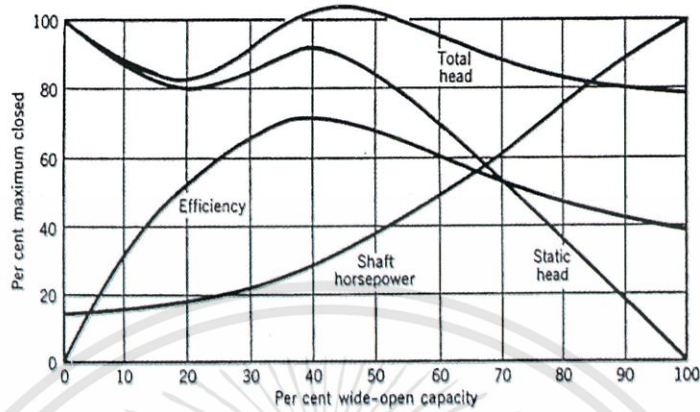
ประสิทธิภาพของระบบทศรอบและส่งกำลังมีค่าประมาณดังนี้

1. ส่งกำลังโดยตรง (ขับตรง) มีค่า 100%
2. ระบบส่งกำลังแบบเฟืองทดมีค่าประมาณ 98% สำหรับการทศรอบแต่ละครั้ง
3. ระบบส่งกำลังด้วยสายพานแบนมีค่าประมาณ 97%
4. ระบบส่งกำลังด้วยสายพานตัววี มีค่าประมาณ 95%

2.6 คุณลักษณะและสมรรถนะการทำงานของพัลลม

เนื่องจากปริมาณของอากาศที่ได้จากพัลลมตามที่กำหนดจากผู้ผลิตจะทำการทดสอบ ณ สภาวะสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐาน เช่น ที่อุณหภูมิ 15°C มีความความดันบรรยากาศเท่ากับ 1 บาร์ และความสูงเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลางเป็นต้น ซึ่งสภาวะดังกล่าวอาจจะแตกต่างจากสภาวะจริงที่ติดตั้งการใช้งานจึงทำให้สภาวะการใช้งานไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ดังนั้นสมรรถนะของพัลลมจะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมต่างๆ อาทิเช่น อุณหภูมิ ความเร็วรอบ และความหนาแน่นของอากาศ

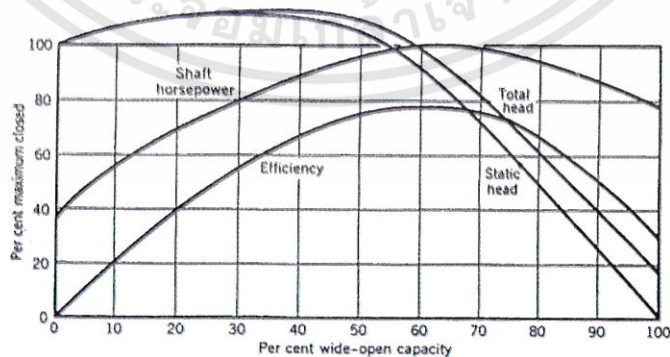
2.6.1 สมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงสมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า

จากรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ค่ากำลังงานที่ป้อนให้เพลลาของพัดลมมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งมีผลทำให้มอเตอร์ของพัดลมทำงานเกินกำลัง ในขณะที่ความต้านทานของระบบมีค่าลดลง ดังนั้น จึงไม่ควรใช้พัดลมชนิดนี้กับระบบที่มีอัตราการไหลของอากาศเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของพัดลมชนิดนี้ คือ ช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างประมาณ 30 - 50% ซึ่งจะทำให้การทำงานของพัดลมมีค่าประสิทธิภาพสูงสุด เส้นกราฟค่าความดันสถิต จะมีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่มีความเสถียรภาพคือช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างในช่วงไม่เกิน 40% ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ปริมาตรที่เปิดกว้างให้อากาศเข้าสู่ตัวเรือนของพัดลมในช่วงนี้

2.6.2 สมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหลัง



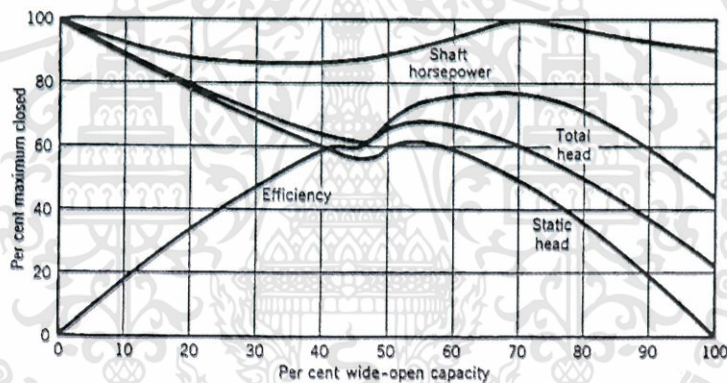
รูปที่ 2.10 กราฟแสดงสมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหลัง

จากรูป 2.10 จะเห็นได้ว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของพัดลมชนิดนี้คือช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างให้อากาศเข้าสู่ตัวเรือนของพัดลม มีค่าประมาณ 50 – 65% ซึ่งจะทำให้การทำงานของพัดลมชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด ค่าประสิทธิภาพของพัดลมจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้กำลังงานในการขับเพลลาของพัดลมสูงด้วยเช่นกัน พัดลมชนิดนี้จะไม่มีลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลังและไม่มีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่มีเสถียรภาพ

2.6.3 สมรรถนะของพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดตรง

กราฟสมรรถนะของพัดลมชนิดนี้ จะเหมือนกับกราฟสมรรถนะของพัดลมชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้ากล่าวคือเส้นกราฟกำลังงานของพัดลมจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ แม้ว่าค่าความกดดันของระบบจะลดลงก็ตาม แต่ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านตัวเรือนพัดลมชนิดนี้จะมีค่าต่ำกว่าพัดลมชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้า

2.6.4 สมรรถนะของพัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fans)



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงสมรรถนะของพัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน

ในรูปที่ 2.11 จะเห็นว่าเส้นกราฟของเฮดสถิตและเฮดรวมของระบบจะลดลงและเพิ่มขึ้น ในช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรเปิดให้อากาศเข้าสู่ตัวเรือนพัดลมมีค่าอยู่ประมาณ 30 – 50% ถ้าพัดลมชนิดนี้ทำงานอยู่ในช่วงดังกล่าวจะก่อให้เกิดความไม่เสถียรภาพขึ้นภายในระบบ และช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของพัดลมก็คือช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างประมาณ 55 – 75% ซึ่งจะทำให้การทำงานของพัดลมมีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถขับเคลื่อนอากาศได้ปริมาณที่มาก และใช้กำลังงานในการขับเคลื่อนไม่มากนักเกินไป เส้นกราฟการทำงานของพัดลมจะค่อนข้างแบนราบโดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในช่วงการทำงานที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรเปิดกว้างประมาณ 40% นั่นคือกำลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนพัดลมภายในช่วงดังกล่าวจะมีค่าค่อนข้างคงที่

2.7 กฎความคล้ายของพัดลม

เช่นเดียวกันกับการทำงานของปั๊ม สมรรถนะของพัดลมที่นำมาใช้งานกับระบบระบายอากาศ ถูกกำหนดด้วยกฎของพัดลม (Fan Laws) โดยอยู่ภายใต้ความหนาแน่นของอากาศคงที่ เนื่องจากพัดลมทุกชนิดทำงานตามหลักการของปั๊มชนิดโคเนตริกส์ กฎของพัดลมจึงสามารถใช้ได้กับพัดลมทุกชนิด

2.7.1 เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดมีค่าคงที่แต่มีการเปลี่ยนแปลงรอบความเร็ว

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.16)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (2.17)$$

$$\frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad (2.18)$$

$$SPL_1 - SPL_2 = 50 \log_{10} \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \quad (2.19)$$

เมื่อ Q_1, H_1, Bhp_1 และ SPL_1 เป็นอัตราการสูบ เฮด กำลังขับที่พัดลมต้องการ (Brake Horsepower) และระดับความดังของเสียง (Sound Pressure Level) ในหน่วย dB เมื่อใบพัดหมุนด้วยอัตราเร็ว N_1 ตามลำดับ และ Q_2, H_2, Bhp_2 และ SPL_2 เป็นอัตราการสูบ เฮด กำลังขับที่พัดลมต้องการ และระดับความดังของเสียง เมื่อความเร็วการหมุนของใบพัดเปลี่ยนไปเป็น N_2

2.7.2 เมื่อรอบความเร็วมีค่าคงที่ แต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไป

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad (2.20)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \quad (2.21)$$

$$\frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \quad (2.22)$$

$$SPL_1 - SPL_2 = 50 \log_{10} \left(\frac{D_1}{D_2}\right) \quad (2.23)$$

เมื่อ Q_1, H_1, Bhp_1 และ SPL_1 เป็นอัตราการสูบลม เฮด กำลังขับที่พัดลมต้องการ (Brake Horsepower) และระดับความดังของเสียง (Sound Pressure Level) ในหน่วย dB เมื่อใบพัดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง D_1 ตามลำดับและ Q_2, H_2, Bhp_2 และ SPL_2 เป็นอัตราการสูบลม เฮด กำลังขับที่พัดลมต้องการ และระดับความดังของเสียง เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไปเป็น D_2 ตามลำดับ

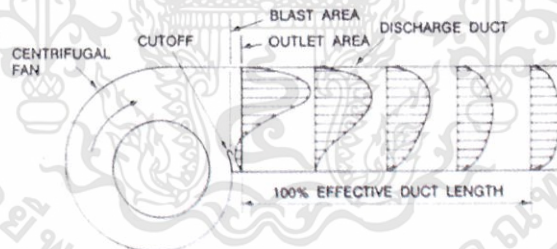
2.8 ผลกระทบของระบบพัดลม

2.8.1 ตัวแปรผลระบบ (System Effect Factors)

ในปี 1973 คู่มือ Fans and Systems ของสมาคม AMCA (Air Movement and Control Association, Inc) ประเทศสหรัฐอเมริกาได้เสนอแนวคิดเรื่องตัวแปรผลระบบ (System Effect Factors) ต่อระบบส่งลมเป็นครั้งแรก และได้รับการยอมรับจากวงการปรับอากาศและระบายอากาศ (HVAC) อย่างกว้างขวาง ในปี 1977

ผลระบบ (System Effect) มีผลทำให้อัตราการไหลของลมลดลง อันเนื่องมาจากความสัมพันธ์ที่มีผลซึ่งกันและกันของสมรรถนะของพัดลม และระบบท่อส่งลมที่ต่ออยู่กับพัดลมนั้นๆ ในขณะที่ตัวแปรผลระบบใช้สำหรับชดเชยคุณสมบัติด้านอัตราการไหลที่ลดลงของพัดลม โดยทั่วไป

2.8.2 ความเร็วลมด้านลมออก (Fan Outlet Velocity)



รูปที่ 2.12 การติดตั้งท่อลมด้านออก

ในการหาความยาวของท่อลมในด้านออกที่ความยาวในการส่งลมมีประสิทธิภาพ (Effective Duct Length) 100% สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{Effective Duct Length} &= 2.5(\text{Duct diameters for 2,500 FPM or less}) \\ &\text{Add 1 Duct diameter for each additional 1,000 FPM} \end{aligned} \quad (2.24)$$

สำหรับท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดภายในท่อเป็นรูปสี่เหลี่ยม ต้องทำการแปลงค่าในการคำนวณให้มีค่าเป็นค่าความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางท่อกลม (Equivalent Duct Diameter)

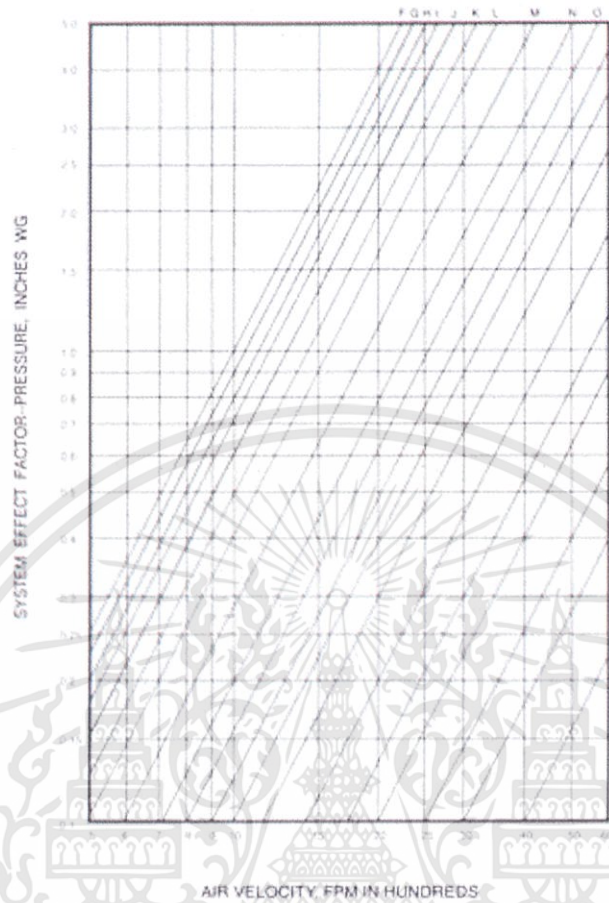
$$\text{Equivalent Duct Diameter} = \sqrt{\frac{4 \times \text{width} \times \text{height}}{\pi}} \quad (2.25)$$

จากรูปที่ 2.12 จะพบว่าความเร็วลมที่บริเวณ Blast Area ของพัดลมหอยโข่ง (Centrifugal Fan) ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับ Cutoff ของพัดลม มีค่าสูงกว่าความเร็วลมในท่อลมด้านลมออกที่มีขนาดเท่ากับปากพัดลม สำหรับการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่าง Blast Area กับ พื้นที่ทางออกของท่อลม (Outlet Area) เพื่อนำไปหาเส้นกราฟผลกระทบของระบบ (System Effect) สามารถหาได้ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าของ Blast Area/Outlet Area ในการหาเส้นกราฟผลกระทบของระบบ

	No Duct	12% Effective Duct	25% Effective Duct	50% Effective Duct	100% Effective Duct
<i>Blast Area</i> <i>Outlet Area</i>	System Effect Curve				
0.4	P	R-S	U	W	-
0.5	P	R-S	U	W	-
0.6	R-S	S-T	U-V	W-x	-
0.7	S	U	W-X	-	-
0.8	T-Y	V-W	X	-	-
0.9	V-W	W-x	-	-	-
1.0	-	-	-	-	-

เมื่อสามารถหากราฟผลกระทบของระบบ จากการคำนวณแล้วเราสามารถที่จะหา System Effect Factor จากรูปที่ 2.13 ได้



รูปที่ 2.13 กราฟผลกระทบของระบบ (System Effect Curve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบชุดทดลองและขั้นตอนการทดลอง

3.1 ชุดทดลองการเกิดผลกระทบของระบบในท่อลม (System Effect)

งานวิจัยนี้ได้จัดทำชุดทดลองการเกิดผลกระทบ (System effect) ในท่อลม โดยสังเกตการณ์การเกิดผลกระทบของระบบจากการเปลี่ยนแปลงความยาวของท่อทางเข้าและทางออกของระบบ ทั้งนี้ อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการสร้างชุดทดลองนั้นมีดังนี้ โบลเวอร์แบบใบพัดโค้งหน้า เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า แคลมป์มิเตอร์ (Clamp Meter) พาวเวอร์มิเตอร์บัสเตอร์ (Power Meter Buster) ท่อเหล็ก เหล็กโครงสร้าง เครื่องมือวัดความเร็วลม (Anemometer)

3.1.1 ท่อทางเข้าและท่อทางออก

ท่อทางเข้าของชุดทดลองการเกิดผลกระทบของระบบ มีลักษณะเป็นท่อตรงหน้าตัดกลม 3 ความยาวคือ 5 10 และ 15 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1 นอกจากนี้ยังมีท่อทางเข้าโค้ง 90 องศา และ ท่อทางเข้าตั้งฉาก 90 องศาอีกด้วย



รูปที่ 3.1 แสดงรูปท่อทางเข้าความยาวต่างๆ

สำหรับท่อทางออก ก่อนที่จะมีการกำหนดความยาวท่อขนาดต่างๆนั้น ได้มีการคำนวณความยาวท่อที่เหมาะสมที่ไม่เกิดผลกระทบของระบบจากทฤษฎี (กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2) ซึ่งผลการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พื้นที่หน้าตัดและความยาวที่เหมาะสมต่อการหลีกเลี่ยงการเกิดผลกระทบของระบบ

ลักษณะท่อ	พื้นที่หน้าตัด	ความยาวที่ไม่เกิดผลกระทบของระบบ
ท่อทางออกแบบสี่เหลี่ยม	3 นิ้ว	19.70 เซนติเมตร
ท่อทางออกแบบวงกลม	3.5 นิ้ว	20.17 เซนติเมตร

นอกจากนี้ยังได้มีการทดลองการคำนวณเกิดเกิดผลกระทบของระบบที่จุดต่างๆ เพื่อนำมาคำนวณเป็นความยาวท่อขนาดต่างๆกัน ทั้งนี้ความยาวท่อที่คำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 และแสดงในรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การกำหนดความยาวรวม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางออก

ลำดับที่	ความยาวท่อทางออกสี่เหลี่ยม	ความยาวท่อทางออกวงกลม
1	3.4 เซนติเมตร	3.8 เซนติเมตร
2	7.8 เซนติเมตร	7.7 เซนติเมตร
3	12.8 เซนติเมตร	12.5 เซนติเมตร
4	14.8 เซนติเมตร	17.8 เซนติเมตร
5	18.3 เซนติเมตร	25.7 เซนติเมตร
6	26.7 เซนติเมตร	32.4 เซนติเมตร
7	32.4 เซนติเมตร	ห้องอโศก
8	ท่อแบบปล่อง	ห้องอเหลี่ยม 90 องศา
9	ห้องอเหลี่ยม 90 องศา	



รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบทางออกท่อต่างๆ
(บน) ท่อเหลี่ยม (ล่าง) ท่อกลม

3.1.2 โบลเวอร์แบบใบพัดโค้งหน้า

โบลเวอร์นำมาใช้ในการทดลองเพื่อเป็นตัวแทนของอุปกรณ์ระบายอากาศต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งแสดงรูปของโบลเวอร์ที่นำมาเป็นตัวแทนได้แสดงในรูปที่ 3.1 พร้อมทั้งบอกคุณสมบัติในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติต่างๆของโบลเวอร์ที่ใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติ	ค่าของโบลเวอร์
VENZ Type	Forward Curved Blade
Model	SC-114
Volt	220 kW
RPM	2950
Volume	4 CMM
Pressure	20 mm.Aq
Blast Area	0.0044124 m ²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 โบลเวอร์

3.1.3 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแคลมป์มิเตอร์ (Clamp Meter)



รูปที่ 3.4 แสดงรูปแคลมป์มิเตอร์(Clamp Meter)

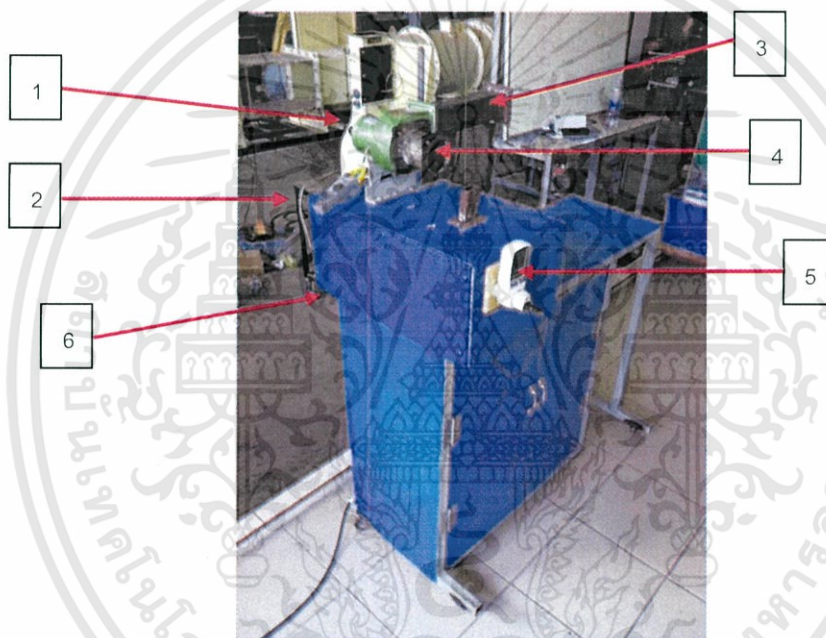
แคลมป์มิเตอร์(Clamp Meter) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดกระแสไฟ โดยจะวัด Amp ของBlower ซึ่งทำการวัดเพื่อที่จะดูความเสถียรของPower Meter Buster อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พาวเวอร์มิเตอร์บัสเตอร์ (Power Meter Buster) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดกระแสไฟ โดยจะแสดงผลต่างๆดังต่อไปนี้ ค่ากระแสไฟฟ้า(Amp) โวลต์ (Volt) และวัตต์ (Watt) โดยที่เครื่องพาวเวอร์มิเตอร์บัสเตอร์ให้ความละเอียด 3 ตำแหน่ง

3.1.6 ลักษณะของชุดทดลองการเกิดผลกระทบของระบบภายในท่อลม

หลังจากที่เราได้ทำการคำนวณการเกิดผลกระทบของระบบภายในท่อลมแล้ว เราจึงได้ข้อมูลความยาวของท่อในช่วงต่างๆ และนำข้อมูลที่มาสร้างชุดทดลองการเกิดผลกระทบของระบบภายในท่อลม ซึ่งได้ส่วนประกอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.7 แสดงรูปชุดทดลองจริงที่ได้รับการติดตั้งอุปกรณ์

(1) โบลเวอร์ (2) แคลป์มิเตอร์ (3) ท่อทางออก (4) ท่อทางเข้า (5) พาวเวอร์มิเตอร์บัสเตอร์ (6) สวิตช์เปิด-ปิด

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การติดตั้งอุปกรณ์และการเตรียมอุปกรณ์

3.2.1.1 ติดตั้งตัววัดกระแสไว้บริเวณใกล้มอเตอร์พัดลม

3.2.1.2 ติดตั้งเครื่องวัดพาวเวอร์มิเตอร์บัสเตอร์ ไว้บริเวณปลั๊กหน้าชุดทดลองที่ได้เตรียมไว้และนำสายไฟจากชุดพัดลมต่อที่หน้าเครื่องวัด

3.2.1.3 ติดตั้งท่อทางเข้าที่จะทำการเก็บข้อมูล

3.2.1.4 ติดตั้งท่อทางออกที่จะทำการเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.5 นำปลั๊กที่ได้เตรียมไว้ต่อเข้ากับปลั๊กไฟบริเวณห้องทดลอง

3.2.2.6 ทำการเปิดสวิตช์เพื่อทำการทดลอง

3.2.2 วิธีการทดลองการเกิดผลกระทบของระบบภายในท่อลม

3.2.2.1 ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ

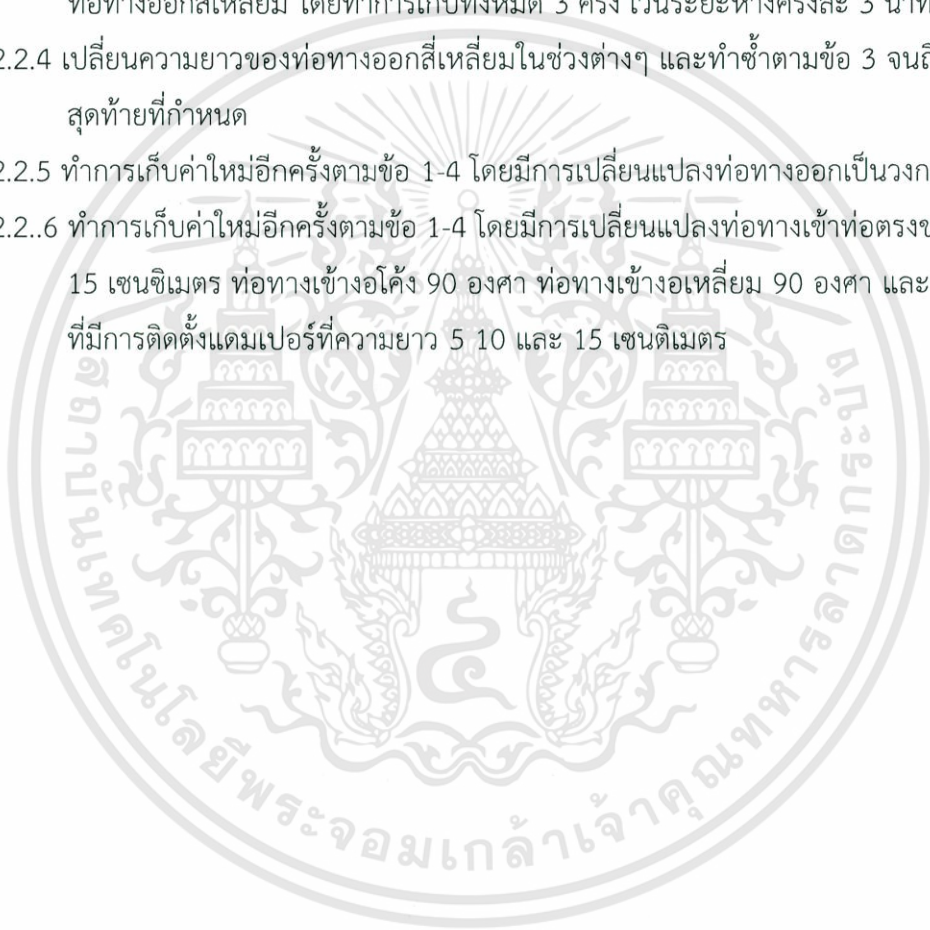
3.2.2.2 ทำการเปิดสวิตช์เครื่องโบลเวอร์ทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที

3.2.2.3 ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วลม (Anemometer) จ่อบริเวณทางออกของท่อทางออกสี่เหลี่ยม โดยทำการเก็บทั้งหมด 3 ครั้ง เว้นระยะห่างครั้งละ 3 นาที

3.2.2.4 เปลี่ยนความยาวของท่อทางออกสี่เหลี่ยมในช่วงต่างๆ และทำซ้ำตามข้อ 3 จนถึงขนาดท่อสุดท้ายที่กำหนด

3.2.2.5 ทำการเก็บค่าใหม่อีกครั้งตามข้อ 1-4 โดยมีการเปลี่ยนแปลงท่อทางออกเป็นวงกลม

3.2.2.6 ทำการเก็บค่าใหม่อีกครั้งตามข้อ 1-4 โดยมีการเปลี่ยนแปลงท่อทางเข้าท่อตรงขนาด 5 10 15 เซนติเมตร ท่อทางเข้าอโค้ง 90 องศา ท่อทางเข้าอเหลี่ยม 90 องศา และท่อทางเข้าที่มีการติดตั้งแดมเปอร์ที่ความยาว 5 10 และ 15 เซนติเมตร



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

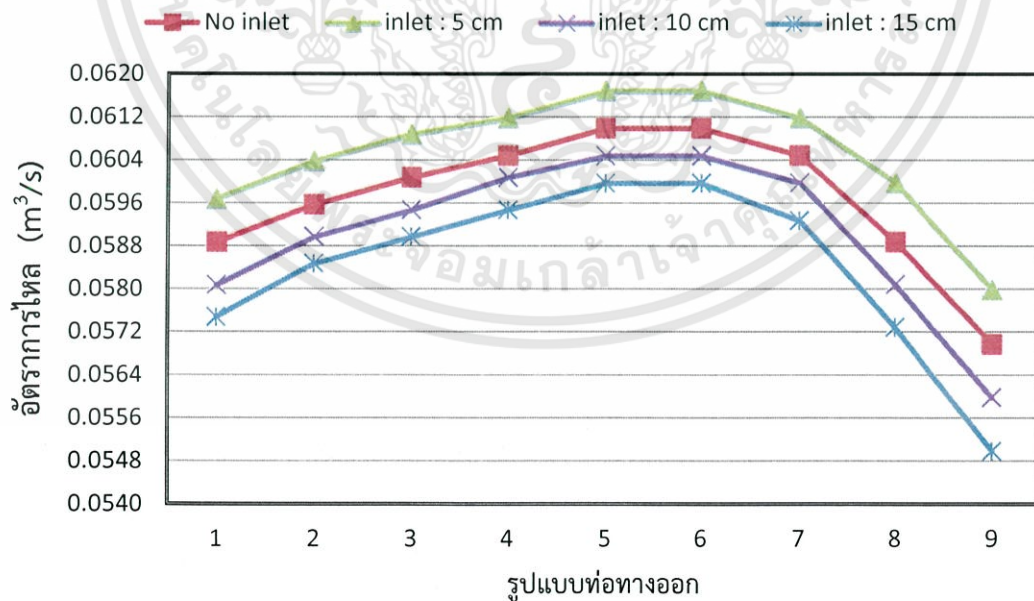
4.1 ผลการทดลอง

จากการทดลอง ผลการทดลองที่เก็บค่าได้ คือค่าอัตราการไหลของลมภายในระบบ โดยก่อนทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ต้องนำความเร็วลมที่วัดได้ มาคำนวณตามสมการที่กล่าวไปในบทขั้นต้น โดยพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมเท่ากับ 4.83×10^{-3} ตารางเมตรและพื้นที่หน้าตัดวงกลมเท่ากับ 5.12×10^{-3} ตารางเมตร ทั้งนี้ผลการทดลองทั้งหมดได้แสดงไว้ใน ภาคผนวก ข

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองข้อมูลอัตราการไหลของลมภายในระบบ จะนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาเปรียบเทียบสัมพันธ์เปรียบเทียบการเกิดผลกระทบของระบบ (System Effect) จากปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

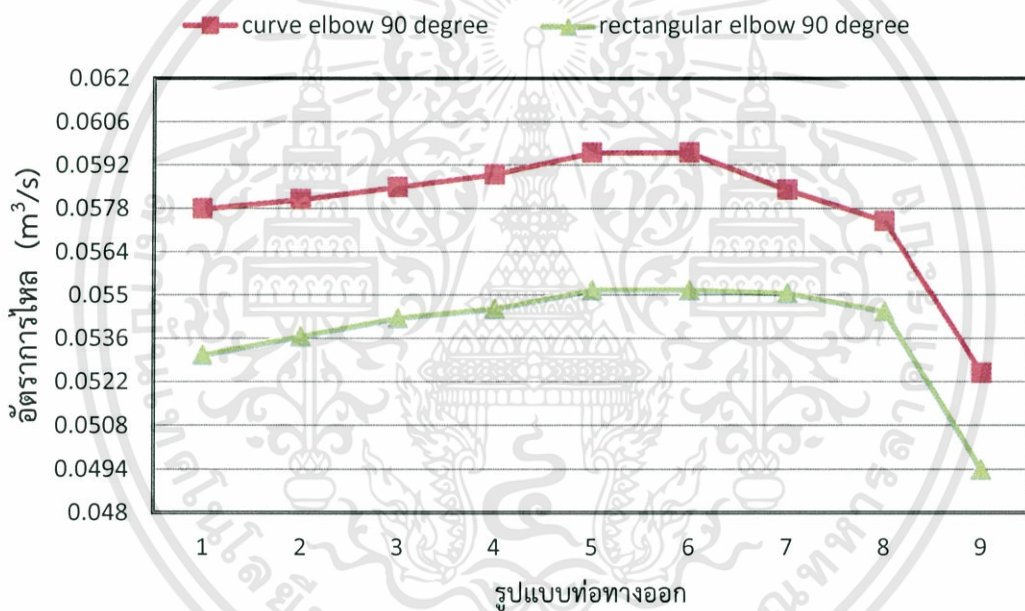
4.2.1 ผลกระทบจากความยาวท่อทางเข้า ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.1 แสดงผลกระทบจากความยาวท่อทางเข้า ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นสี่เหลี่ยม

รูปที่ 4.1 ทำการเปรียบเทียบอัตราการไหลของท่อทางออกสี่เหลี่ยมที่ท่อทางเข้า 4 ค่า จากการทดลองพบว่าท่อที่มีอัตราการไหลของลมมากที่สุดคือทางเข้า 5 เซนติเมตร และจะพบว่าที่อัตราการไหลที่ท่อทางเข้า 15 เซนติเมตร มีอัตราการไหลน้อยที่สุดเนื่องมาจากมีการสูญเสียลมภายในท่อ โดยท่อช่วงที่ 1-5 จะมีการเกิดผลกระทบของระบบ ทำให้อัตราการไหลค่อยๆเพิ่มขึ้น ในช่วงที่ 5-6 มีอัตราการไหลคงที่ ซึ่งจากการคำนวณจะได้อยู่ที่ 19.7 เซนติเมตรคือช่วงที่ไม่มีการเกิดผลกระทบของระบบเมื่อเลยช่วงที่ 6 ไปนั้น ยังมีการเกิดผลกระทบของระบบอยู่ แต่เนื่องจากการสูญเสียลมภายในระบบจึงทำให้ค่าอัตราการไหลของลมลดลง

4.2.2 ผลกระทบจากการต่อข้องอ 90 องศา ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นสี่เหลี่ยม

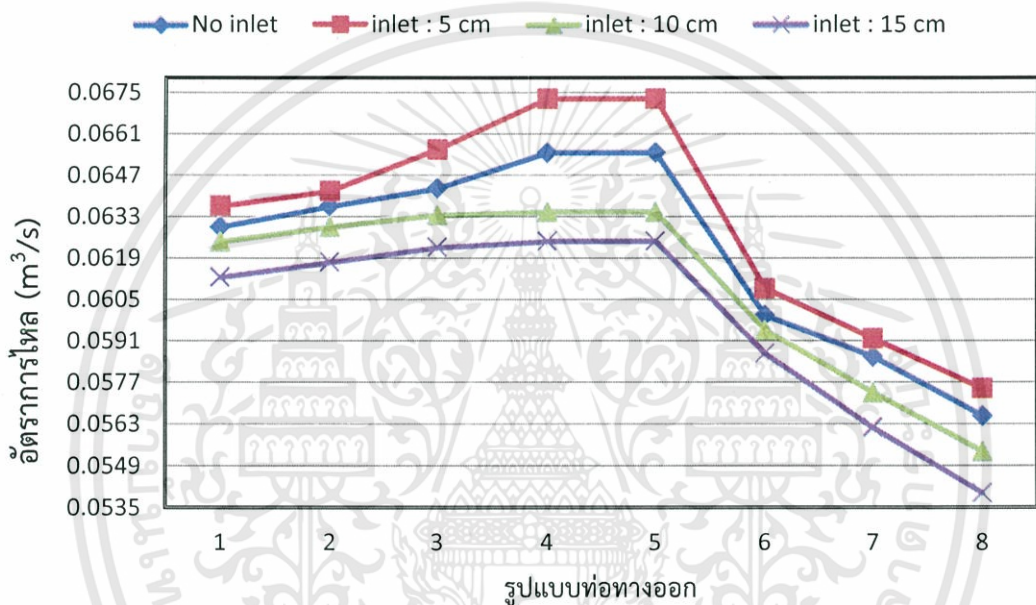


รูปที่ 4.2 แสดงการทดลองที่ท่อทางเข้าอแบบโค้ง 90 องศาและท่อตั้งฉาก 90 องศา โดยลักษณะหน้าตัดท่อทางออกเป็นสี่เหลี่ยม

รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของท่อทางออกสี่เหลี่ยม ที่ท่อทางเข้า 2 ค่า โดยเป็นแบบ curve elbow และ rectangular elbow จากการทดลองทำให้พบว่า อัตราการไหลภายในท่อ curve elbow มีค่ามากกว่า rectangular elbow แต่ยังมีค่าน้อยกว่าการติดตั้งแบบท่อตรง และพบว่ามี การเกิด system effect ช่วงท่อทางออกจะเกิดเช่นเดียวกับการต่อแบบท่อตรง โดยช่วงที่ 1-5 จะมีการเกิด system effect ทำให้อัตราการไหลค่อยๆเพิ่มขึ้น ในช่วงที่ 5-6 มีอัตราการไหลคงที่ เช่นเดียวกับกราฟที่ 2

เมื่อเลยช่วงที่ 6 ไปนั้น ยังมีการเกิด system effect อยู่ แต่เนื่องจากการสูญเสียลมภายในระบบจึงทำให้ค่าอัตราการไหลของลมลดลงและจากข้อมูลนั้นทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมจะพบว่า ท่อ rectangular elbow มีการสูญเสียลมภายในท่อเช่นเดียวกัน

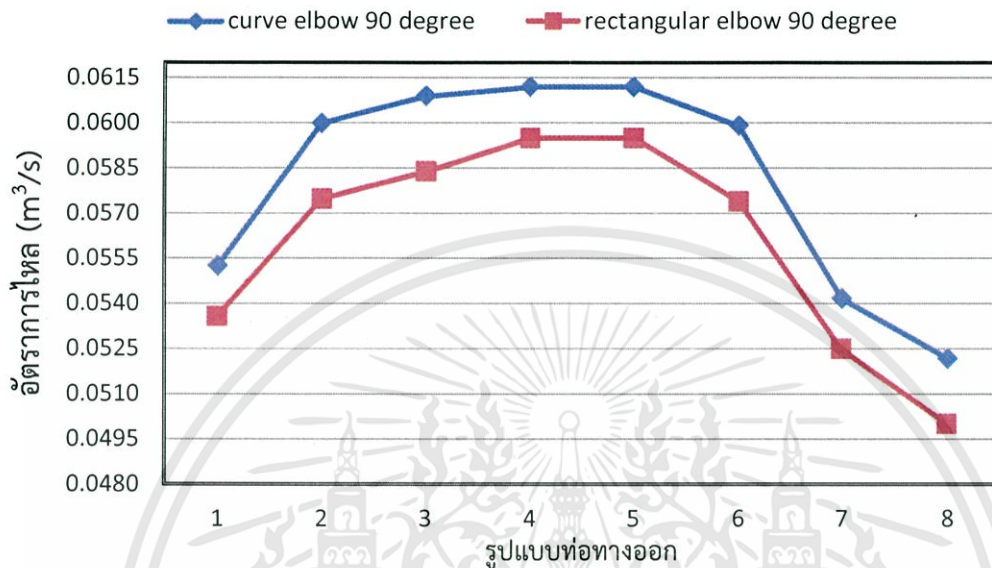
4.2.3 ผลกระทบจากความยาวท่อทางเข้า ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นท่อกลม



รูปที่ 4.3 ผลกระทบจากความยาวท่อทางเข้า ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นท่อกลม

รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของท่อทางออกวงกลม ที่ท่อทางเข้า 4 ค่า จากการทดลองพบว่าท่อที่มีอัตราการไหลมากที่สุดคือทางเข้า 5 เซนติเมตรเช่นเดียวกับกับท่อทางออกสี่เหลี่ยม แต่อัตราการไหลของลมทางออกมีการเปลี่ยนแปลงความยาว โดยช่วงที่ 1-4 จะมีการเกิด system effect ทำให้อัตราการไหลค่อยๆเพิ่มขึ้น ในช่วงที่ 4-5 มีอัตราการไหลคงที่ ซึ่งจากการคำนวณจะได้อยู่ที่ 20.17 เซนติเมตรคือช่วงที่ไม่มีการเกิด system effect เมื่อเลยช่วงที่ 5 ไปนั้น ยังมีการเกิด system effect อยู่ แต่เนื่องจากการสูญเสียลมภายในระบบจึงทำให้ค่าอัตราการไหลของลมลดลง และจากการทดลองพบว่าที่ท่อทางเข้า 15 เซนติเมตร มีอัตราการไหลของลมต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับขนาดท่ออื่นๆ จากการวิเคราะห์พบว่าท่อที่ทางเข้า 15 เซนติเมตร เกิดการสูญเสียของลมภายในท่อมากทำให้อัตราการไหลต่ำที่สุด

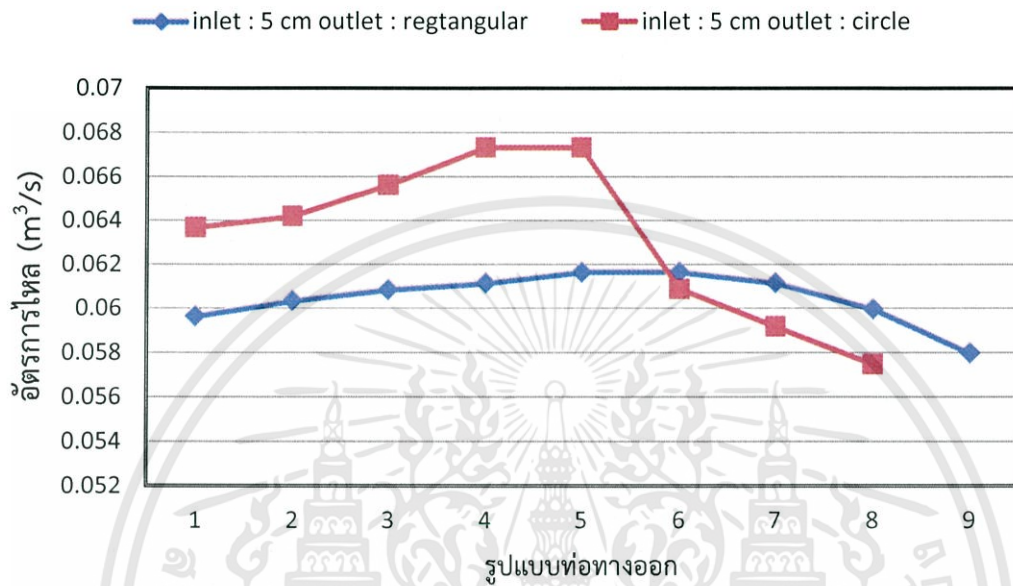
4.2.4 ผลกระทบจากการต่อข้องอ 90 องศา ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นท่อกลม



รูปที่ 4.4 แสดงผลกระทบจากการต่อข้องอ 90 องศา ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นท่อกลม

รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของท่อทางออกวงกลม ที่ท่อทางเข้า 2 ค่า โดยเป็นแบบ curve elbow และ rectangular elbow จากการทดลองทำให้พบว่า อัตราการไหลภายในท่อ curve elbow มีค่ามากกว่า rectangular elbow เช่นเดียวกับทางออกสี่เหลี่ยม แต่ยังมีค่าน้อยกว่าการติดตั้งท่อแบบท่อตรง และจะพบว่ามีการเกิด system effect ช่วงท่อทางออกเช่นเดียวกับการต่อแบบท่อตรง โดยช่วงที่ 1-4 จะมีการเกิด system effect ทำให้อัตราการไหลค่อยๆเพิ่มขึ้น ในช่วงที่ 4-5 มีอัตราการไหลคงที่ ซึ่งจากการคำนวณจะได้อยู่ที่ 20.17 เซนติเมตรคือช่วงที่ไม่มีการเกิด system effect เมื่อเลยช่วงที่ 5 ไปยังมีการเกิด system effect อยู่ แต่เนื่องจากมีการสูญเสียลมภายในระบบจึงทำให้ค่าอัตราการไหลของลมลดลง เช่นเดียวกับท่อสี่เหลี่ยมและจากข้อมูลนั้นทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมจะพบว่า ท่อ rectangular elbow มีการสูญเสียลมภายในท่อลมเช่นกัน

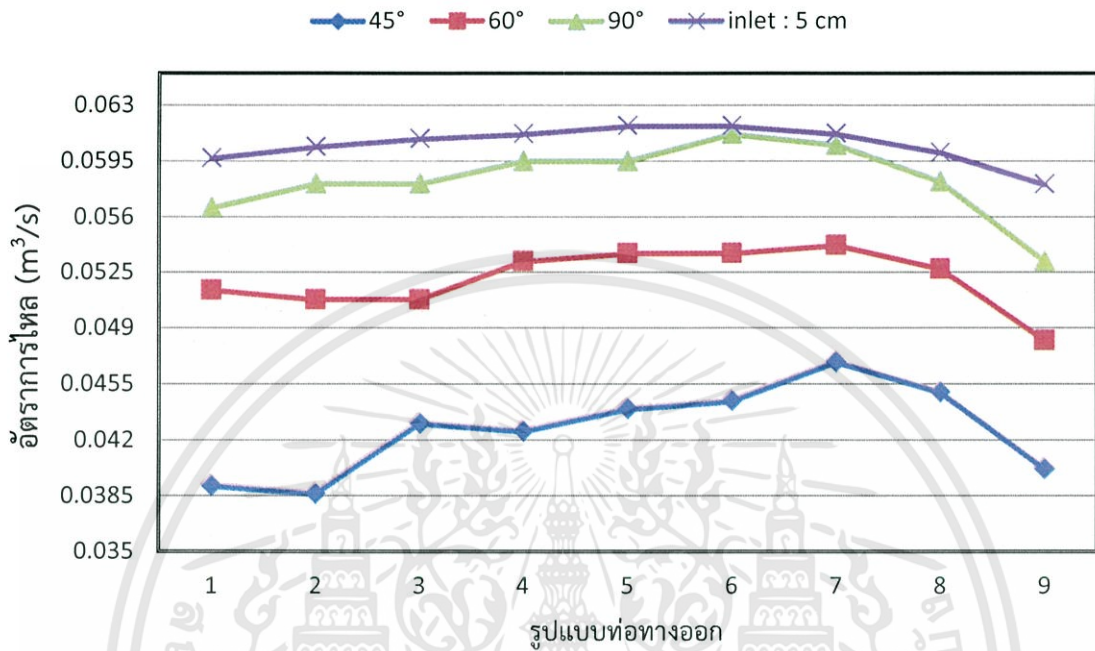
4.2.5 ผลกระทบของรูปร่างหน้าตัดท่อทางออกต่อการเกิดผลกระทบของระบบ



รูปที่ 4.5 แสดงผลกระทบของรูปร่างหน้าตัดท่อทางออกต่อการเกิดผลกระทบของระบบ

จากรูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของท่อทางออกทั้งสองแบบ ที่ท่อทางเข้า 5 เซนติเมตรเท่ากัน จากการทดลองทำให้พบว่า อัตราการไหลภายในท่อทางออกวงกลมมีอัตราการไหลที่ดีกว่าในท่อทางออกสี่เหลี่ยมในช่วงแรก โดยการเกิด system effect ในช่วงท่อทางออกวงกลมจะเกิดในช่วงที่ 1-4 ทำให้อัตราการไหลค่อยๆเพิ่มขึ้น ในช่วงที่ 4-5 มีอัตราการไหลคงที่ เมื่อเลยช่วงที่ 5 ไปยังมีการเกิด system effect ขึ้น แต่เนื่องจากการสูญเสียลมภายในระบบมากจึงทำให้ค่าอัตราการไหลของลมลดลงอย่างรวดเร็วมากกว่าท่อสี่เหลี่ยม และจะพบว่าการเกิด system effect ช่วงท่อทางออกสี่เหลี่ยมจะเกิดในช่วงที่ 1-5 ทำให้อัตราการไหลค่อยๆเพิ่มขึ้น ในช่วงที่ 5-6 มีอัตราการไหลคงที่ พอเลยช่วงที่ 6 ไปยังมีการเกิด system effect แต่เนื่องจากการสูญเสียลมภายในระบบจึงทำให้ค่าอัตราการไหลของลมลดลงเช่นกัน

4.2.6 ผลกระทบจากการติดตั้งแฉกเปอร์ ในกรณีหน้าตัดท่อทางออกเป็นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.6 แสดงผลกระทบจากการติดตั้งแฉกเปอร์ในระบบ

รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลของท่อทางออกสี่เหลี่ยม ที่ท่อทางเข้าติดตั้งท่อขนาด 5 ซม. และท่อ 5 ซม. ที่ติดตั้งแฉกเปอร์ จากการทดลองทำให้พบว่า อัตราการไหลภายในท่อที่ขนาด 5 ซม. มีค่ามากกว่าท่อที่มีการติดตั้งแฉกเปอร์ และจากการทดลองพบว่าการเปิดองศาของแฉกเปอร์เข้ามีผลต่ออัตราการไหลของลมในระบบท่อ โดยการเปิดกว้าง 90 องศาจะมีอัตราการไหลที่มากที่สุด และจะลดลงตามลำดับเมื่อทำห้แฉกเปอร์ลง ทำให้พบว่าการติดตั้งแฉกเปอร์มีผลกระทบมากกว่า การเกิด system effect ภายในท่อลม

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

- 5.1.1 ชุดทดลองการเกิดผลกระทบของระบบ (System Effect) ในท่อลมที่สร้างขึ้น สามารถจำลองการเกิดกระทบของระบบได้เป็นอย่างดี เนื่องจากผลการทดลองมีค่าสอดคล้องกับทางทฤษฎี
- 5.1.2 อัตราการไหลจะมีค่าสูงสุดเมื่อความยาวของท่อขาออกมีความยาวที่มีประสิทธิภาพเท่ากับ 100 % (100% Effective Duct Length)
- 5.1.3 ช่วงที่ความยาวท่อต่ำกว่าจะมีค่าอัตราการไหลจะต่ำกว่า เนื่องจากผลของกระทบของระบบ ส่วนช่วงความยาวท่อมากกว่า 100% ของความยาวประสิทธิภาพ อัตราการไหลของลมก็จะมีค่าลดลงเช่นเดียวกับช่วงที่ความยาวท่อต่ำกว่า แต่มีสาเหตุแตกต่างกัน คือเกิดจากการสูญเสียภายในท่อลม
- 5.1.4 การติดตั้งแดมเปอร์ส่งผลกระทบมากกว่าการเกิด system effect ภายในท่อลม

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลมในงานวิจัยนี้คือ เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบอานีโมมิเตอร์ (Anemometer) ซึ่งมีความแม่นยำในการวัดในท่อพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมไม่สูงนัก ดังนั้นเพื่อความแม่นยำในการวัดที่มากขึ้น จึงควรทำการใช้เครื่องมือวัดประเภทฮอตไวร์ (Hot Wire) ที่สามารถวัดความเร็วลมในท่อได้ละเอียดมากขึ้น กล่าวคือ สามารถวัดความเร็วลมภายในท่อที่เกิดขึ้นได้ทั้งความเร็วในแนวเดียวกับการไหล และในแนวตั้งฉากกับการไหล ซึ่งจะทำให้การทำลองมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] เครื่องมือที่ใช้พลังงานไฟฟ้าพัฒนาและเครื่องเป่าลม, www.energyefficiencyasia.org © UNEP 2006
- [2] Greenheck Fan Corp. (1999), Greenheck Product Application Guide.
- [3] JOURNAL ARTICLE published 2006 by ASHRAE, Bernard Ratledge, System Effect Factor: How it Affects Operating Cost
- [4] AMCA 1975, 1990 Fans and Systems. Publication 201. Arlington Height Illinois, Air Movement and Control Association Inc.
- [5] สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศ ปีที่ 3 เล่มที่ 5 พฤศจิกายน 2543, ผลระบบ (System Effect) กับ อัตราการไหลที่หายไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ก1 ตารางแสดงผลการทดลองที่ไม่มีท่อทางเข้าและท่อทางออกสี่เหลี่ยม

Duct inlet	Duct outlet	Cos Θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	v (m/s)	Q (m ³ /s)	Q เฉลี่ย
-	1	0.89	0.375	228.8	76.36	12.17	0.0589	0.0589
-		0.89	0.374	228.8	76.16	12.21	0.0591	
-		0.89	0.374	228.6	76.09	12.13	0.0587	
-	2	0.89	0.378	228.4	76.84	12.37	0.0599	0.0596
-		0.9	0.375	227.5	76.78	12.5	0.0594	
-		0.89	0.378	228.6	76.91	12.5	0.0595	
-	3	0.89	0.378	228.3	76.80	12.8	0.0598	0.0601
-		0.89	0.379	228.4	77.04	12.7	0.0603	
-		0.89	0.378	228.8	76.97	12.7	0.0602	
-	4	0.89	0.378	228.9	77.01	12.6	0.0609	0.0605
-		0.89	0.379	228.7	77.14	12.5	0.0604	
-		0.89	0.380	228.6	77.31	12.6	0.0609	
-	5	0.92	0.379	229.0	79.85	12.7	0.0613	0.0613
-		0.91	0.380	229.1	79.22	12.7	0.0613	
-		0.89	0.380	229.0	77.45	12.7	0.0613	
-	6	0.89	0.378	229.0	77.04	12.8	0.0618	0.0613
-		0.89	0.379	229.1	77.28	12.8	0.0618	
-		0.89	0.380	229.0	77.45	12.8	0.0618	
-	7	0.89	0.378	229.0	77.04	13	0.0628	0.0605
-		0.9	0.376	227.7	77.05	12.9	0.0623	
-		0.89	0.375	227.7	75.99	13.0	0.0628	
-	8	0.87	0.372	227.8	73.73	12.8	0.0618	0.0589
-		0.87	0.371	228.6	73.79	12.8	0.0618	
-		0.87	0.371	228.5	73.75	12.9	0.0623	
-	9	0.88	0.366	227.0	73.11	12.1	0.0584	0.057
		0.88	0.365	226.7	72.82	12.2	0.0589	
		0.88	0.365	226.7	72.82	12.2	0.0589	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก2 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้า 5 เซนติเมตร และท่อทางออกสี่เหลี่ยม

Duct inlet	Duct outlet	Cos Θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	v (m/s)	Q(m ³ /s)	Q เฉลี่ย
5	1	0.88	0.365	226.2	72.66	12.3	0.0594	0.0597
5		0.88	0.367	226.9	73.28	12.36	0.0598	
5		0.88	0.368	226.9	73.48	12.4	0.0599	
5	2	0.88	0.37	227.4	74.04	12.42	0.0601	0.0604
5		0.88	0.371	227.5	74.27	12.5	0.0605	
5		0.88	0.371	227.2	74.18	12.52	0.0606	
5	3	0.88	0.372	227.4	74.44	12.6	0.0609	0.0609
5		0.88	0.373	227.1	74.54	12.54	0.0607	
5		0.88	0.371	227.5	74.27	12.63	0.0611	
5	4	0.88	0.371	227.0	74.11	12.63	0.0611	0.0612
5		0.88	0.371	227.2	74.18	12.69	0.0611	
5		0.88	0.370	227.2	73.98	12.69	0.0614	
5	5	0.88	0.373	227.6	74.71	12.77	0.0614	0.0617
5		0.89	0.375	228.0	76.10	12.79	0.0618	
5		0.89	0.374	228.3	75.99	12.77	0.0619	
5	6	0.89	0.374	228.4	76.03	12.73	0.0616	0.0617
5		0.89	0.373	228.0	75.69	12.75	0.0618	
5		0.89	0.374	228.1	75.93	12.67	0.0617	
5	7	0.89	0.375	228.7	76.33	12.60	0.0613	0.0612
5		0.89	0.375	228.4	76.23	12.70	0.0609	
5		0.87	0.374	228.3	74.28	12.44	0.0613	
5	8	0.87	0.370	228.3	73.49	12.4	0.0602	0.06
5		0.87	0.370	228.6	73.59	12.4	0.06	
5		0.87	0.370	228.1	73.43	12.36	0.0598	
5	9	0.87	0.369	228.8	73.45	12.20	0.0589	0.058
5		0.89	0.368	228.5	74.84	12.20	0.0589	
5		0.89	0.368	228.5	74.84	12.20	0.0589	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก3 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้า 10 เซนติเมตร และท่อทางออกสี่เหลี่ยม

Duct inlet	Duct outlet	Cos Θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	v (m/s)	Q (m ³ /s)	Q เฉลี่ย
10	1	0.88	0.367	227.0	73.31	12.7	0.0613	0.0615
10		0.88	0.368	224.5	72.70	12.8	0.0618	
10		0.87	0.361	224.5	70.51	12.7	0.0613	
10	2	0.89	0.363	223.9	72.34	12.5	0.0604	0.0604
10		0.89	0.363	223.8	72.30	12.5	0.0604	
10		0.89	0.365	224.4	72.90	12.5	0.0604	
10	3	0.89	0.366	225.0	73.29	12.3	0.0594	0.0594
10		0.91	0.367	225.8	75.41	12.3	0.0594	
10		0.91	0.369	225.9	75.85	12.3	0.0594	
10	4	0.88	0.370	225.5	73.42	12.5	0.0604	0.0604
10		0.88	0.370	226.3	73.68	12.5	0.0604	
10		0.88	0.371	225.0	73.46	12.5	0.0604	
10	5	0.88	0.366	225.4	72.60	12.4	0.0599	0.0605
10		0.91	0.369	225.9	75.85	12.4	0.0599	
10		0.89	0.363	225.7	72.92	12.8	0.0618	
10	6	0.89	0.365	223.4	72.57	12.7	0.0613	0.0613
10		0.89	0.365	224.5	72.93	12.7	0.0613	
10		0.89	0.365	224.8	73.03	12.7	0.0613	
10	7	0.89	0.365	224.8	73.03	12.9	0.0623	0.0623
10		0.89	0.365	224.5	72.93	12.9	0.0623	
10		0.88	0.366	225.0	72.47	12.9	0.0623	
10	8	0.88	0.364	225.1	72.10	12.5	0.0604	0.0607
10		0.86	0.363	224.9	70.21	12.5	0.0604	
10		0.87	0.362	224.9	70.83	12.7	0.0613	
10	9	0.87	0.356	223.9	69.35	11.2	0.0541	0.0539
10		0.87	0.356	224.0	69.38	11.1	0.0536	
10		0.87	0.365	224.0	71.13	11.2	0.0541	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก4 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้า 15 เซนติเมตร และท่อทางออกสี่เหลี่ยม

Duct inlet	Duct outlet	Cos Θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	v (m/s)	Q (m ³ /s)	Q เฉลี่ย
15	1	0.90	0.369	227.0	75.39	11.80	0.0571	0.0575
15		0.90	0.369	227.2	75.45	11.88	0.0575	
15		0.88	0.370	227.5	74.07	11.96	0.0579	
15	2	0.90	0.368	225.8	74.78	12.03	0.0582	0.0585
15		0.91	0.368	225.5	75.52	12.09	0.0585	
15		0.90	0.369	226.0	75.05	12.15	0.0588	
15	3	0.88	0.371	225.0	73.46	12.15	0.0588	0.059
15		0.91	0.369	225.7	75.79	12.17	0.0589	
15		0.91	0.369	225.7	75.79	12.25	0.0593	
15	4	0.91	0.368	225.7	75.58	12.36	0.0598	0.0595
15		0.91	0.368	225.7	75.58	12.25	0.0593	
15		0.91	0.367	225.9	75.44	12.27	0.0594	
15	5	0.88	0.370	226.4	73.72	12.34	0.0597	0.06
15		0.88	0.370	226.7	73.81	12.38	0.0599	
15		0.88	0.372	227.0	74.31	12.48	0.0604	
15	6	0.88	0.371	227.0	74.11	12.38	0.0599	0.06
15		0.88	0.371	226.4	73.92	12.34	0.0597	
15		0.88	0.370	226.2	73.65	12.48	0.0604	
15	7	0.88	0.370	226.4	73.72	12.32	0.0596	0.0593
15		0.88	0.371	226.6	73.98	12.21	0.0591	
15		0.88	0.371	226.6	73.98	12.23	0.0592	
15	8	0.88	0.366	226.7	73.02	11.88	0.0575	0.0573
15		0.88	0.365	227.0	72.91	11.84	0.0573	
15		0.88	0.365	225.9	72.56	11.80	0.0571	
15	9	0.85	0.364	227.2	70.30	11.34	0.0549	0.055
15		0.85	0.365	227.4	70.55	11.41	0.0552	
15		0.85	0.364	227.2	70.30	11.34	0.0549	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก5 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้าอโค้ง 90 องศา และท่อทางออกสี่เหลี่ยม

Duct inlet	Duct outlet	Cos Θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	v (m/s)	Q (m ³ /s)	Q เฉลี่ย
งอโค้ง	1	0.87	0.358	225.0	70.08	12.01	0.0581	0.0578
		0.89	0.359	224.7	71.79	11.92	0.0577	
		0.87	0.357	224.1	69.60	11.90	0.0576	
	2	0.89	0.359	223.5	71.41	12.07	0.0584	0.0581
		0.89	0.358	223.3	71.15	11.99	0.0580	
		0.89	0.358	223.4	71.18	11.96	0.0579	
	3	0.87	0.360	223.8	70.09	12.13	0.0587	0.0585
		0.87	0.361	224.0	70.35	11.99	0.0580	
		0.87	0.361	224.2	70.41	12.15	0.0588	
	4	0.87	0.361	224.0	70.35	11.99	0.0589	0.0589
		0.87	0.361	223.6	70.23	11.99	0.0589	
		0.87	0.360	223.5	70.00	11.99	0.0589	
	5	0.87	0.360	223.7	70.06	12.25	0.0593	0.0596
		0.87	0.361	224.0	70.35	12.34	0.0597	
		0.89	0.363	224.2	72.43	12.36	0.0598	
	6	0.87	0.361	223.8	70.29	12.27	0.0594	0.0596
		0.89	0.363	224.7	72.59	12.34	0.0597	
		0.89	0.364	224.9	72.86	12.34	0.0597	
	7	0.89	0.362	224.5	72.33	12.13	0.0587	0.0584
		0.89	0.364	224.8	72.83	12.01	0.0581	
		0.88	0.365	225.4	72.40	12.07	0.0584	
	8	0.84	0.360	225.1	68.07	11.90	0.0576	0.0574
		0.83	0.356	224.0	66.19	11.88	0.0575	
		0.85	0.354	223.0	67.10	11.80	0.0571	
	9	0.85	0.355	224.0	67.59	10.87	0.0526	0.0525
		0.84	0.354	224.1	66.64	10.79	0.0522	
		0.84	0.355	224.3	66.89	10.87	0.0526	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก6 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้าอตั้งฉาก 90 องศา และท่อทางออกสี่เหลี่ยม

Duct inlet	Duct outlet	Cos θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	Q เฉลี่ย
งอตั้งฉาก	1	0.84	0.362	225.8	68.66	10.97	0.0531	0.0531
		0.84	0.361	226.0	68.53	11.03	0.0534	
		0.84	0.361	225.9	68.50	10.91	0.0528	
	2	0.84	0.360	225.0	68.04	11.09	0.0537	0.0537
		0.84	0.360	225.0	68.04	11.09	0.0537	
		0.84	0.360	225.0	68.04	11.09	0.0537	
	3	0.87	0.355	223.3	68.97	11.15	0.0540	0.0543
		0.85	0.357	222.7	67.58	11.22	0.0543	
		0.85	0.353	225.2	67.57	11.28	0.0546	
	4	0.84	0.360	225.0	68.04	11.28	0.0546	0.0546
		0.87	0.357	224.4	69.70	11.26	0.0545	
		0.87	0.356	223.2	69.13	11.30	0.0547	
	5	0.87	0.357	224.1	69.60	11.40	0.0552	0.0552
		0.89	0.359	224.0	71.57	11.40	0.0552	
		0.87	0.357	223.4	69.39	11.40	0.0552	
	6	0.87	0.356	222.9	69.04	11.38	0.0551	0.0552
		0.84	0.361	225.3	68.32	11.40	0.0552	
		0.84	0.361	225.5	68.38	11.42	0.0553	
	7	0.86	0.363	225.9	70.52	11.38	0.0551	0.0551
		0.86	0.364	226.1	70.78	11.38	0.0551	
		0.86	0.364	226.2	70.81	11.38	0.0551	
	8	0.84	0.362	226.7	68.93	11.20	0.0542	0.0545
		0.84	0.362	226.8	68.97	11.26	0.0545	
		0.84	0.361	226.7	68.74	11.32	0.0548	
	9	0.84	0.360	225.9	68.31	10.20	0.0494	0.0494
		0.84	0.360	225.8	68.28	10.16	0.0492	
		0.86	0.359	225.8	69.71	10.24	0.0596	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก7 ตารางแสดงผลการทดลองที่ไม่มีท่อทางเข้าและท่อทางออกวงกลม

Duct inlet	Duct outlet	Cos Θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	v (m/s)	Q (m ³ /s)	Q เฉลี่ย
-	1	0.88	0.366	225.8	72.73	12.30	0.063	0.063
		0.88	0.367	225.7	72.89	12.26	0.0628	
		0.88	0.367	225.8	72.92	12.34	0.0632	
-	2	0.91	0.369	225.6	75.75	12.43	0.0637	0.0637
		0.88	0.371	226.2	73.85	12.43	0.0637	
		0.88	0.370	225.8	73.52	12.43	0.0637	
-	3	0.89	0.370	225.7	74.32	12.53	0.0642	0.0643
		0.88	0.370	225.4	73.39	12.59	0.0645	
		0.89	0.370	225.0	74.09	12.53	0.0642	
-	4	0.89	0.370	224.3	73.86	12.75	0.0653	0.0655
		0.89	0.367	223.6	73.03	12.84	0.0658	
		0.89	0.365	223.3	72.54	12.77	0.0654	
-	5	0.89	0.369	223.0	73.24	12.78	0.0655	0.0655
		0.91	0.372	225.0	76.17	12.78	0.0655	
		0.9	0.373	225.6	75.73	12.78	0.0655	
-	6	0.88	0.371	225.3	73.56	11.75	0.0602	0.060
		0.88	0.370	225.3	73.36	11.71	0.060	
		0.88	0.370	225.0	73.26	11.67	0.0598	
-	7	0.89	0.365	224.7	72.99	11.40	0.0584	0.0586
		0.89	0.364	224.6	72.76	11.48	0.0588	
		0.89	0.364	226.7	73.44	11.44	0.0586	
-	8	0.88	0.368	226.7	73.41	11.05	0.0566	0.0566
		0.8	0.368	226.0	66.53	11.05	0.0566	
		0.88	0.365	225.3	72.37	11.05	0.0566	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก8 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้า 5 เซนติเมตร และท่อทางออกวงกลม

Duct inlet	Duct outlet	Cos Θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	v (m/s)	Q (m ³ /s)	Q เฉลี่ย
5	1	0.86	0.363	225.6	70.43	12.43	0.0637	0.0637
		0.86	0.363	225.8	70.49	12.43	0.0637	
		0.88	0.365	225.7	72.49	12.43	0.0637	
	2	0.88	0.366	225.9	72.76	12.51	0.0641	0.0642
		0.88	0.367	226.6	73.18	12.55	0.0643	
		0.88	0.367	226.1	73.02	12.53	0.0642	
	3	0.88	0.370	226.6	73.78	12.80	0.0656	0.0656
		0.88	0.373	227.1	74.54	12.78	0.0655	
		0.88	0.372	226.8	74.25	12.82	0.0657	
	4	0.88	0.371	226.6	73.98	13.10	0.0671	0.0673
		0.88	0.370	226.7	73.81	13.14	0.0673	
		0.88	0.373	227.7	74.74	13.18	0.0675	
	5	0.93	0.374	227.6	79.16	13.14	0.0673	0.0673
		0.88	0.373	225.6	74.05	13.14	0.0673	
		0.88	0.370	226.3	73.68	13.14	0.0673	
	6	0.88	0.370	226.4	73.72	11.87	0.0608	0.0609
		0.88	0.370	226.6	73.78	11.91	0.0610	
		0.88	0.370	226.8	73.85	11.89	0.0609	
	7	0.88	0.366	226.5	72.95	11.52	0.0590	0.0592
		0.88	0.367	226.6	73.18	11.59	0.0594	
		0.88	0.366	226.8	73.05	11.55	0.0592	
	8	0.88	0.366	226.9	73.08	11.20	0.0574	0.0575
		0.88	0.367	227.2	73.38	11.22	0.0575	
		0.88	0.368	227.3	73.61	11.20	0.0574	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก9 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้า 10 เซนติเมตร และท่อทางออกวงกลม

Duct inlet	Duct outlet	Cos Θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	v (m/s)	Q (m ³ /s)	Q เฉลี่ย
10	1	0.88	0.370	227.4	74.04	12.20	0.0625	0.0625
		0.88	0.370	227.3	74.01	12.18	0.0624	
		0.88	0.369	226.9	73.68	12.22	0.0626	
	2	0.88	0.370	226.1	73.62	12.30	0.063	0.063
		0.88	0.367	225.9	72.96	12.28	0.0629	
		0.88	0.367	226.6	73.18	12.32	0.0631	
	3	0.88	0.372	226.6	74.18	12.37	0.0634	0.0634
		0.88	0.371	226.6	73.98	12.39	0.0635	
		0.88	0.372	226.7	74.21	12.36	0.0633	
	4	0.88	0.370	226.1	73.62	12.39	0.0635	0.0635
		0.88	0.370	226.1	73.62	12.39	0.0635	
		0.88	0.370	226.2	73.65	12.39	0.0635	
	5	0.88	0.370	225.5	73.42	12.41	0.0636	0.0635
		0.88	0.371	226.0	73.78	12.39	0.0635	
		0.88	0.370	226.0	73.59	12.39	0.0635	
	6	0.88	0.372	226.6	74.18	11.57	0.0593	0.0595
		0.88	0.373	226.7	74.41	11.61	0.0595	
		0.88	0.372	226.8	74.25	11.65	0.0597	
	7	0.88	0.370	227.3	74.01	11.20	0.0574	0.0574
		0.88	0.371	227.7	74.34	11.20	0.0574	
		0.88	0.370	227.3	74.01	11.20	0.0574	
	8	0.88	0.367	227.0	73.31	10.77	0.0552	0.0554
		0.88	0.367	226.8	73.25	10.85	0.0556	
		0.88	0.367	226.9	73.28	10.81	0.0554	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก10 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้า 15 เซนติเมตร และท่อทางออกวงกลม

Duct inlet	Duct outlet	Cos θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	v (m/s)	Q (m ³ /s)	Q เฉลี่ย
15	1	0.90	0.357	222.6	71.52	12.00	0.0615	0.0613
		0.90	0.357	222.6	71.52	11.96	0.0613	
		0.90	0.358	222.6	71.72	12.93	0.0611	
	2	0.90	0.359	222.9	72.02	12.04	0.0617	0.0618
		0.87	0.360	222.3	69.62	12.06	0.0618	
		0.87	0.360	222.6	69.72	12.08	0.0619	
	3	0.90	0.361	222.3	72.23	12.16	0.0623	0.0623
		0.90	0.361	222.7	72.36	12.14	0.0622	
		0.90	0.362	222.8	72.59	12.18	0.0624	
	4	0.90	0.361	222.0	72.13	12.20	0.0625	0.0625
		0.88	0.360	222.0	70.33	12.22	0.0626	
		0.90	0.362	222.4	72.46	12.18	0.0624	
	5	0.89	0.365	223.4	72.57	12.20	0.0625	0.0625
		0.89	0.365	223.2	72.51	12.20	0.0625	
		0.89	0.364	223.4	72.37	12.20	0.0625	
	6	0.89	0.365	223.6	72.64	11.42	0.0585	0.0587
		0.89	0.364	223.4	72.37	11.46	0.0587	
		0.89	0.364	223.1	72.28	11.50	0.0589	
	7	0.89	0.360	223.4	71.58	10.95	0.0561	0.0562
		0.89	0.359	223.5	71.41	10.99	0.0563	
		0.89	0.360	223.6	71.64	10.97	0.0562	
	8	0.89	0.358	223.7	71.28	10.54	0.0540	0.054
		0.90	0.357	222.9	71.62	10.52	0.0539	
		0.89	0.357	222.9	70.82	10.56	0.0541	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก11 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้าอโค้ง 90 องศา และท่อทางออกวงกลม

Duct inlet	Duct outlet	Cos Θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	Q เฉลี่ย
งอโค้ง	1	0.87	0.367	227.2	72.54	10.79	0.0553	0.0553
		0.87	0.367	227.2	72.54	10.79	0.0553	
		0.87	0.367	227.2	72.54	10.79	0.0553	
	2	0.88	0.369	227.6	73.91	11.69	0.0599	0.06
		0.88	0.369	227.6	73.91	11.71	0.06	
		0.88	0.369	227.6	73.91	11.71	0.06	
	3	0.85	0.370	227.6	71.58	11.87	0.0608	0.0609
		0.85	0.370	227.6	71.58	11.91	0.0610	
		0.85	0.370	227.6	71.58	11.89	0.0609	
	4	0.87	0.373	228.5	74.15	11.96	0.0613	0.0612
		0.87	0.373	228.5	74.15	11.95	0.0612	
		0.87	0.373	228.5	74.15	11.95	0.0612	
	5	0.87	0.374	228.9	74.48	11.95	0.0612	0.0612
		0.87	0.374	228.9	74.48	11.93	0.0611	
		0.87	0.374	228.9	74.48	11.96	0.0613	
	6	0.88	0.370	227.1	73.94	11.71	0.06	0.0599
		0.88	0.370	227.1	73.94	11.69	0.0599	
		0.88	0.370	227.1	73.94	11.69	0.0599	
	7	0.87	0.362	224.8	70.79	10.54	0.0540	0.0542
		0.87	0.362	224.8	70.79	10.58	0.0542	
		0.87	0.362	224.8	70.79	10.62	0.0544	
	8	0.89	0.359	224.8	71.83	10.15	0.0520	0.0522
		0.89	0.359	224.8	71.83	10.19	0.0522	
		0.89	0.359	224.8	71.83	10.23	0.0524	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก12 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้าอัดตั้งฉาก 90 องศา และท่อทางออกวงกลม

Duct inlet	Duct outlet	Cos θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	Q เฉลี่ย
งอตั้งฉาก	1	0.84	0.360	226.2	68.40	10.46	0.0536	0.0536
		0.84	0.360	226.5	68.49	10.46	0.0536	
		0.84	0.360	226.4	68.46	10.44	0.0535	
	2	0.84	0.362	226.0	68.72	11.22	0.0575	0.0575
		0.84	0.360	225.9	68.31	11.22	0.0575	
		0.84	0.361	226.0	68.53	11.22	0.0575	
	3	0.84	0.362	226.5	68.87	11.38	0.0583	0.0584
		0.85	0.363	226.6	69.92	11.42	0.0585	
		0.86	0.364	226.7	70.97	11.40	0.0584	
	4	0.84	0.362	225.7	68.63	11.61	0.0595	0.0595
		0.86	0.362	226.2	70.42	11.57	0.0593	
		0.86	0.362	226.0	70.36	11.59	0.0594	
	5	0.86	0.363	226.5	70.71	11.61	0.0595	0.0595
		0.86	0.364	226.2	70.81	11.61	0.0595	
		0.86	0.363	226.2	70.62	11.61	0.0595	
	6	0.86	0.363	226.2	70.62	11.20	0.0574	0.0574
		0.86	0.364	226.4	70.87	11.18	0.0573	
		0.86	0.364	226.4	70.87	11.22	0.0575	
	7	0.87	0.357	224.8	69.82	10.21	0.0523	0.0525
		0.87	0.358	224.6	69.95	10.25	0.0525	
		0.87	0.357	224.8	69.82	10.31	0.0528	
	8	0.87	0.357	224.8	69.82	9.76	0.05	0.05
		0.87	0.358	224.6	69.95	9.76	0.05	
		0.85	0.355	224.5	67.74	9.76	0.05	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก13 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้ายาว 5 เซนติเมตร ติดแดมเปอร์และท่อทางออก สเหลี่ยม

Duct inlet	Duct outlet	Cos θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
Damper45°	1	0.82	0.353	224.5	64.98	8.1	0.0392
45°	2	0.82	0.355	225.0	65.50	8.0	0.0387
45°	3	0.82	0.355	225.1	65.53	8.9	0.0431
45°	4	0.82	0.355	224.9	65.47	8.8	0.0426
45°	5	0.82	0.356	225.4	65.80	9.1	0.0440
45°	6	0.82	0.335	225.0	61.81	9.2	0.0445
45°	7	0.82	0.355	224.6	65.38	9.7	0.0469
45°	8	0.82	0.354	224.7	65.23	9.3	0.0450
45°	9	0.80	0.352	223.9	63.05	8.3	0.0402
Damper60°	1	0.85	0.353	223.7	67.12	11.4	0.0552
60°	2	0.86	0.359	225.3	69.56	10.5	0.0508
60°	3	0.84	0.360	224.8	67.98	10.5	0.0508
60°	4	0.84	0.360	224.9	68.01	11.0	0.0532
60°	5	0.86	0.360	225.2	69.72	11.1	0.0537
60°	6	0.84	0.360	225.0	68.04	11.1	0.0537
60°	7	0.87	0.359	224.4	70.09	11.2	0.0542
60°	8	0.84	0.357	224.8	67.41	10.9	0.0527
60°	9	0.86	0.358	225.0	69.27	10.5	0.0508
Damper90°	1	0.89	0.359	223.7	71.47	11.7	0.0566
90°	2	0.88	0.364	225.2	72.14	12.0	0.0581
90°	3	0.89	0.364	224.7	72.79	12.0	0.0581
90°	4	0.84	0.364	224.9	68.77	12.3	0.0595
90°	5	0.88	0.365	225.3	72.37	12.3	0.0595
90°	6	0.88	0.369	225.4	73.19	12.7	0.0615
90°	7	0.89	0.364	224.8	72.83	12.5	0.0605
90°	8	0.84	0.365	225.1	69.02	12.5	0.0605
90°	9	0.84	0.360	225.1	68.07	11.0	0.0532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก14 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้ายาว 10 เซนติเมตร ติดแฉกเปอร์และท่อทางออกสี่เหลี่ยม

Duct inlet	Duct outlet	Cos θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
Damper45°	1	0.81	0.360	227.0	66.19	8.9	0.0431
45°	2	0.81	0.364	227.6	67.11	9.2	0.0445
45°	3	0.81	0.362	227.7	66.77	9.5	0.0460
45°	4	0.82	0.354	224.9	65.28	8.8	0.0426
45°	5	0.82	0.353	224.2	64.90	8.8	0.0426
45°	6	0.82	0.358	225.0	66.05	9.8	0.0474
45°	7	0.83	0.349	222.6	64.48	9.7	0.0469
45°	8	0.80	0.350	223.2	62.50	9.5	0.0460
45°	9	0.80	0.351	224.3	62.98	8.4	0.0406
Damper60°	1	0.83	0.361	227.3	68.11	10.4	0.0503
60°	2	0.85	0.366	227.5	70.78	10.7	0.0518
60°	3	0.83	0.365	227.6	68.95	10.5	0.0508
60°	4	0.86	0.359	225.4	69.59	10.0	0.0484
60°	5	0.87	0.358	224.2	69.83	10.5	0.0508
60°	6	0.84	0.360	225.0	68.04	11.2	0.0542
60°	7	0.87	0.355	222.8	68.81	11.5	0.0557
60°	8	0.82	0.351	223.2	64.24	10.0	0.0484
60°	9	0.84	0.355	224.1	66.83	10.5	0.0508
Damper90°	1	0.88	0.366	226.3	72.89	11.6	0.0561
90°	2	0.88	0.368	226.5	73.35	12.4	0.0600
90°	3	0.88	0.366	225.2	72.53	12.5	0.0605
90°	4	0.88	0.366	225.2	72.53	12.1	0.0586
90°	5	0.89	0.365	224.8	73.03	12.3	0.0595
90°	6	0.89	0.365	225.0	73.09	12.7	0.0615
90°	7	0.89	0.361	222.8	71.58	12.6	0.0610
90°	8	0.89	0.359	223.4	71.38	12.5	0.0605
90°	9	0.87	0.356	224.1	69.41	11.1	0.0537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก15 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้ายาว 15 เซนติเมตร ติดแฉกเปอร์และท่อทางออกสี่เหลี่ยม

Duct inlet	Duct outlet	Cos θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
Damper45°	1	0.86	0.352	224.2	67.87	9.1	0.0440
45°	2	0.82	0.353	224.6	65.01	9.4	0.0455
45°	3	0.82	0.353	224.5	64.98	9.3	0.0450
45°	4	0.82	0.34	224.7	62.65	9.1	0.0440
45°	5	0.82	0.354	224.5	65.17	9.3	0.0450
45°	6	0.82	0.365	225.2	67.40	9.4	0.0455
45°	7	0.82	0.357	225.5	66.01	9.9	0.0479
45°	8	0.82	0.355	225.2	65.56	9.0	0.0436
45°	9	0.82	0.356	225.4	65.80	8.8	0.0426
Damper60°	1	0.84	0.354	224.1	66.64	10.7	0.0518
60°	2	0.87	0.357	224.5	69.73	10.8	0.0523
60°	3	0.87	0.357	224.4	69.70	10.9	0.0527
60°	4	0.89	0.359	224.4	71.70	11.1	0.0537
60°	5	0.89	0.359	224.6	71.76	11.3	0.0547
60°	6	0.86	0.361	225.4	69.98	11.5	0.0557
60°	7	0.86	0.361	225.5	70.01	11.8	0.0571
60°	8	0.84	0.357	225.3	67.56	11.0	0.0532
60°	9	0.84	0.358	225.6	67.84	10.8	0.0523
Damper90°	1	0.87	0.360	224.1	70.19	11.5	0.0557
90°	2	0.89	0.362	223.7	72.07	12.2	0.0590
90°	3	0.89	0.365	224.7	72.99	12.4	0.0600
90°	4	0.88	0.364	224.7	71.98	12.4	0.0600
90°	5	0.89	0.363	224.6	72.56	12.2	0.0590
90°	6	0.88	0.364	225.1	72.10	12.5	0.0605
90°	7	0.88	0.366	225.3	72.56	12.7	0.0615
90°	8	0.84	0.360	225.3	68.13	12.3	0.0595
90°	9	0.84	0.361	225.9	68.50	11.1	0.0537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก16 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้ายาว 5 เซนติเมตร ติดแดมเปอร์และท่อทางออกวงกลม

Duct inlet	Duct outlet	Cos θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
Damper45°	1	0.82	0.357	225.6	66.04	8.2	0.0420
45°	2	0.82	0.365	225.6	67.52	8.4	0.0430
45°	3	0.82	0.356	225.2	65.74	7.1	0.0364
45°	4	0.82	0.355	224.9	65.47	7.4	0.0379
45°	5	0.80	0.351	223.9	62.87	8.0	0.0410
45°	6	0.80	0.359	223.5	64.19	8.4	0.0430
45°	7	0.82	0.353	224.2	64.90	7.2	0.0369
45°	8	0.80	0.352	224.2	63.13	7.0	0.0358
Damper60°	1	0.84	0.360	225.9	68.31	10.2	0.0522
60°	2	0.86	0.358	225.2	69.33	10.4	0.0533
60°	3	0.84	0.360	225.6	68.22	9.6	0.0492
60°	4	0.84	0.365	225.0	68.99	9.9	0.0507
60°	5	0.87	0.358	224.7	69.99	9.6	0.0492
60°	6	0.89	0.358	223.5	71.21	10.7	0.0548
60°	7	0.84	0.356	224.2	67.04	9.2	0.0471
60°	8	0.84	0.355	224.0	66.80	9.6	0.0492
Damper90°	1	0.88	0.364	225.8	72.33	11.5	0.0589
90°	2	0.88	0.364	225.5	72.23	11.8	0.0604
90°	3	0.88	0.366	225.5	72.63	11.2	0.0574
90°	4	0.89	0.365	224.9	73.06	11.0	0.0563
90°	5	0.89	0.365	224.7	72.99	11.3	0.0579
90°	6	0.89	0.362	223.8	72.10	11.2	0.0574
90°	7	0.87	0.360	224.2	70.22	10.8	0.0553
90°	8	0.88	0.36	226.5	71.76	10.4	0.0533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก17 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้ายาว 10 เซนติเมตร ติดแอมเปอร์และท่อทางออกวงกลม

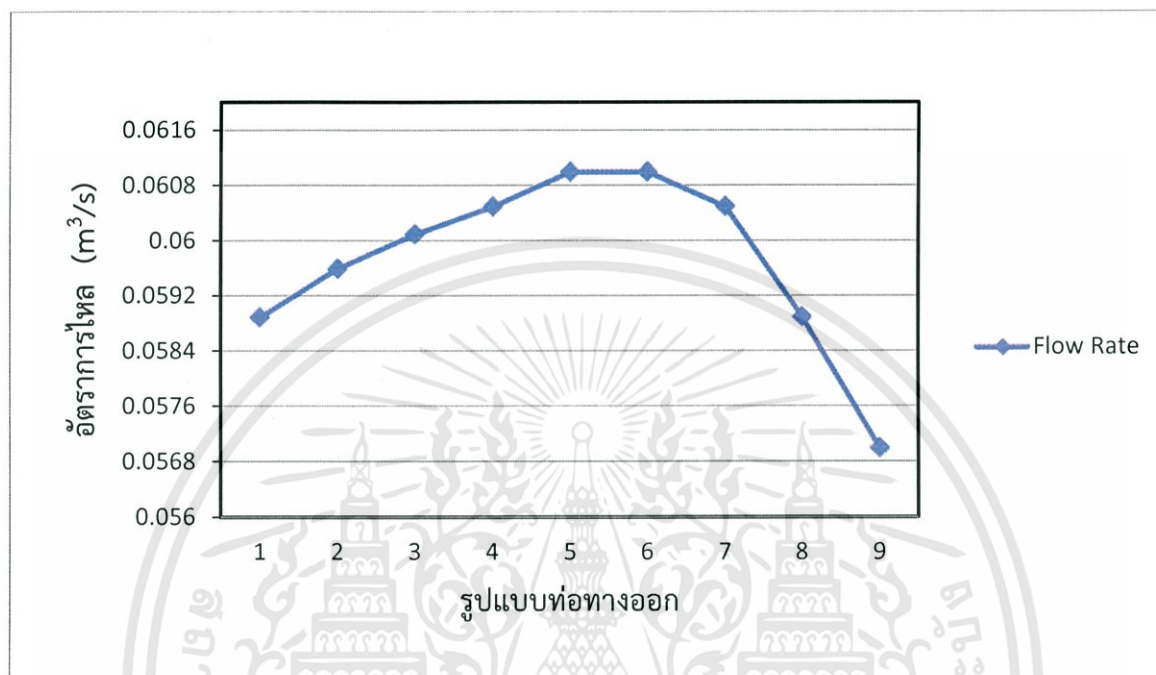
Duct inlet	Duct outlet	Cos θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
Damper45°	1	0.82	0.352	223.2	64.42	8.2	0.0420
45°	2	0.81	0.350	222.9	63.19	8.9	0.0456
45°	3	0.80	0.350	223.3	62.52	8.0	0.0410
45°	4	0.80	0.351	223.2	62.67	8.2	0.0420
45°	5	0.83	0.347	222.0	63.94	7.8	0.0399
45°	6	0.83	0.349	222.5	64.45	8.5	0.0435
45°	7	0.80	0.350	223.4	62.55	6.5	0.0333
45°	8	0.83	0.349	222.9	64.57	8.3	0.0425
Damper60°	1	0.82	0.354	223.7	64.94	10.5	0.0538
60°	2	0.85	0.354	222.9	67.07	10.9	0.0558
60°	3	0.87	0.356	223.1	69.10	10.1	0.0517
60°	4	0.87	0.355	223.1	68.90	10.5	0.0538
60°	5	0.85	0.351	221.8	66.17	9.6	0.0492
60°	6	0.85	0.354	222.5	66.95	10.9	0.0558
60°	7	0.85	0.354	223.5	67.25	9.4	0.0481
60°	8	0.85	0.353	223.0	66.91	10.0	0.0512
Damper90°	1	0.87	0.362	223.9	70.52	11.9	0.0609
90°	2	0.81	0.361	223.3	65.30	12.3	0.0630
90°	3	0.89	0.361	223.0	71.65	11.4	0.0584
90°	4	0.89	0.360	222.9	71.42	11.5	0.0589
90°	5	0.87	0.360	222.3	69.62	11.3	0.0579
90°	6	0.90	0.361	222.7	72.36	12.1	0.0620
90°	7	0.89	0.358	223.1	71.08	11.5	0.0589
90°	8	0.90	0.356	223.0	71.45	10.5	0.0538

ภาคผนวก ก18 ตารางแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้ายาว 15 เซนติเมตร ติดแดมเปอร์และท่อทางออกวงกลม

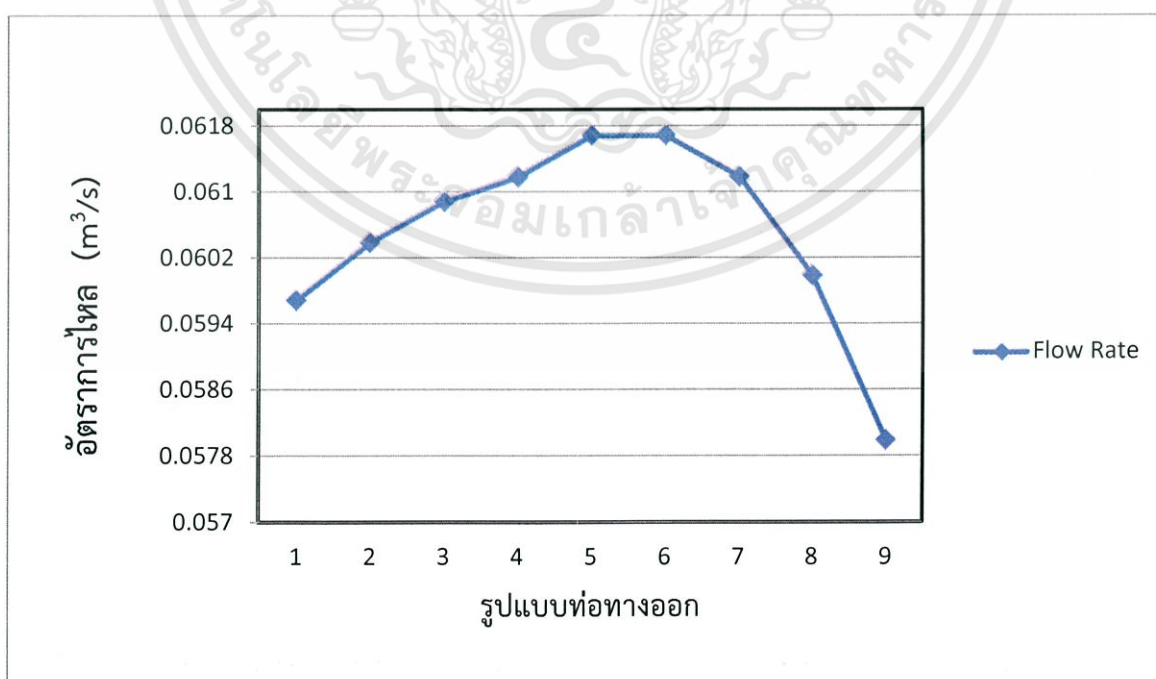
Duct inlet	Duct outlet	Cos θ	I (A)	V (volt)	W (watt)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
Damper45°	1	0.81	0.358	226.0	65.54	8.9	0.0456
45°	2	0.84	0.358	226.0	67.96	8.7	0.0446
45°	3	0.84	0.359	226.1	68.18	8.3	0.0425
45°	4	0.84	0.359	226.4	68.27	8.4	0.0430
45°	5	0.84	0.358	225.9	67.93	8.2	0.0420
45°	6	0.82	0.357	225.9	66.13	8.6	0.0440
45°	7	0.84	0.359	226.2	68.21	6.7	0.0343
45°	8	0.84	0.359	226.6	68.33	8.6	0.0440
Damper60°	1	0.84	0.360	226.2	68.40	10.2	0.0522
60°	2	0.84	0.361	226.3	68.62	10.4	0.0533
60°	3	0.86	0.362	226.3	70.45	10.0	0.0512
60°	4	0.86	0.363	226.3	70.65	10.6	0.0543
60°	5	0.86	0.362	225.7	70.26	10.3	0.0527
60°	6	0.86	0.362	225.8	70.30	10.6	0.0543
60°	7	0.84	0.361	226.4	68.65	9.4	0.0481
60°	8	0.84	0.362	226.5	68.87	9.6	0.0492
Damper90°	1	0.88	0.365	226.2	72.66	11.4	0.0584
90°	2	0.88	0.366	226.0	72.79	12.2	0.0625
90°	3	0.90	0.368	226.1	74.88	11.1	0.0568
90°	4	0.90	0.369	226.3	75.15	11.3	0.0579
90°	5	0.91	0.367	225.4	75.28	11.6	0.0594
90°	6	0.91	0.367	225.4	75.28	11.7	0.0599
90°	7	0.88	0.365	226.4	72.72	11.6	0.0594
90°	8	0.88	0.365	226.7	72.82	10.5	0.0538

ภาคผนวก ข.

ภาคผนวก ข1 รูปแสดงผลการทดลองที่ไม่มีท่อทางเข้าและท่อทางออกสลับเหลี่ยม

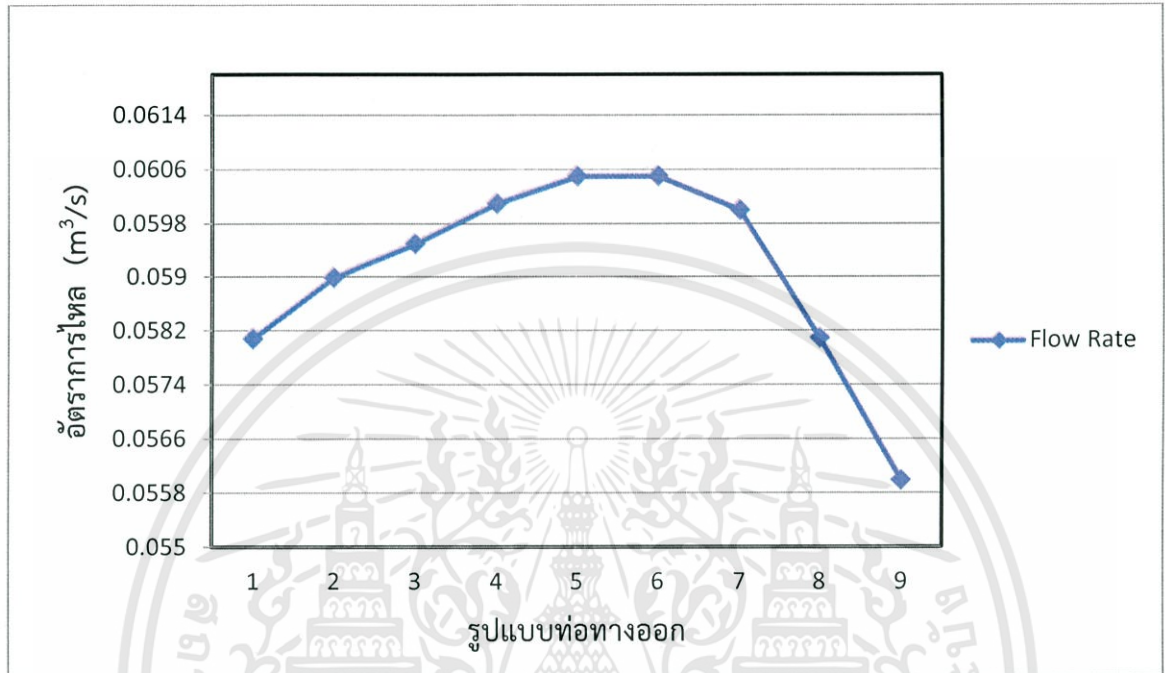


ภาคผนวก ข2 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้า 5 เซนติเมตร และท่อทางออกสลับเหลี่ยม

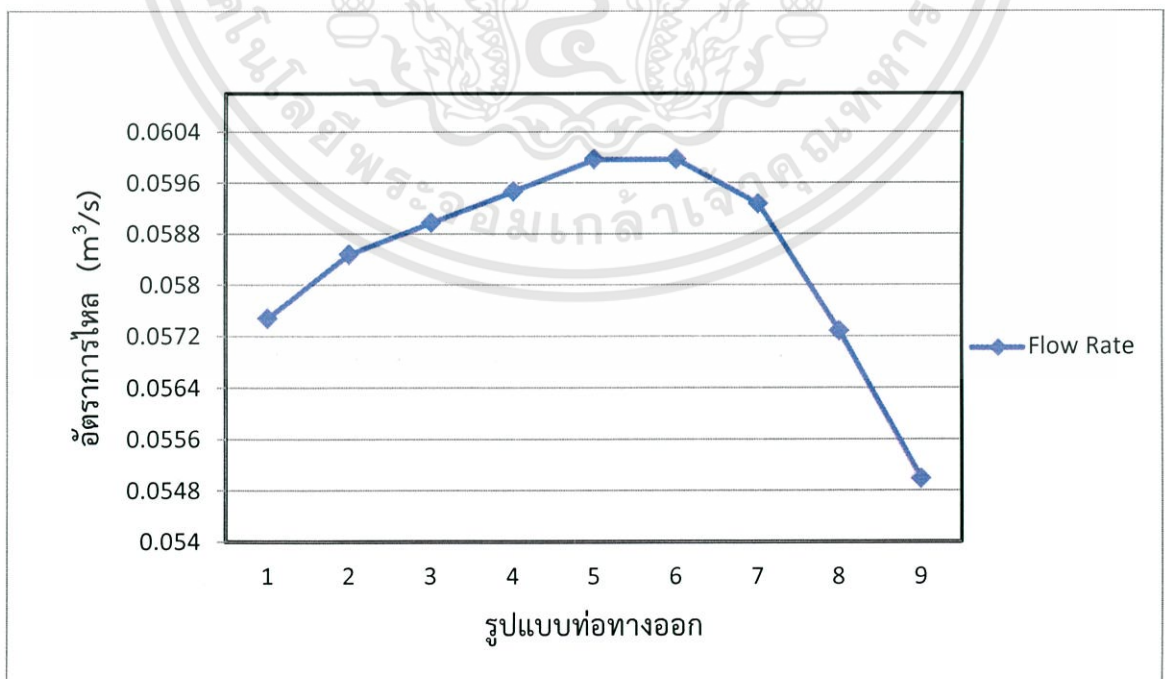


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข3 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้า 10 เซนติเมตร และท่อทางออกสี่เหลี่ยม

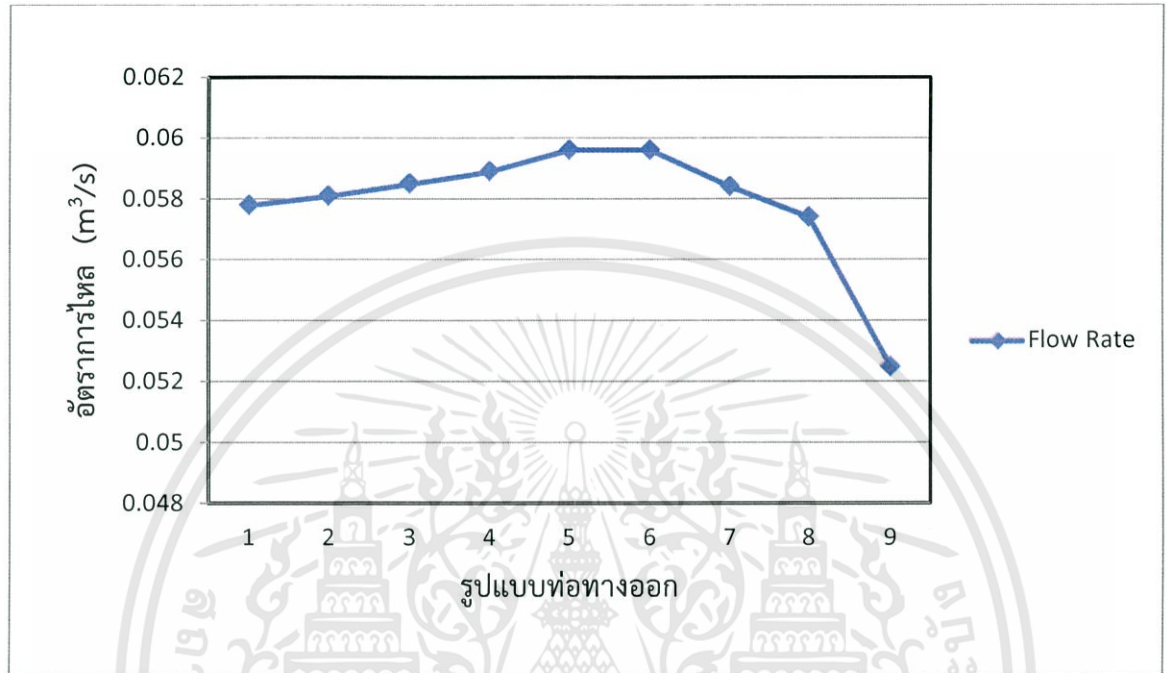


ภาคผนวก ข4 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้า 15 เซนติเมตร และท่อทางออกสี่เหลี่ยม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข5 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้าอโค้ง 90 องศา และท่อทางออกสี่เหลี่ยม

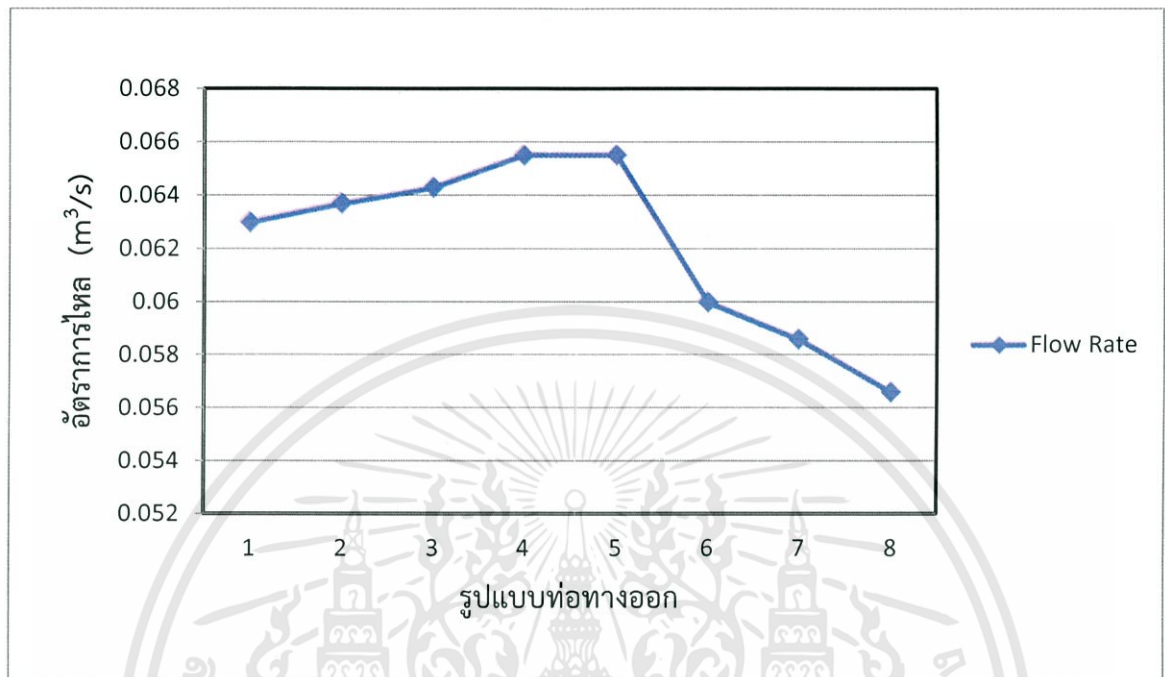


ภาคผนวก ข6 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้าอตั้งฉาก 90 องศา และท่อทางออกสี่เหลี่ยม

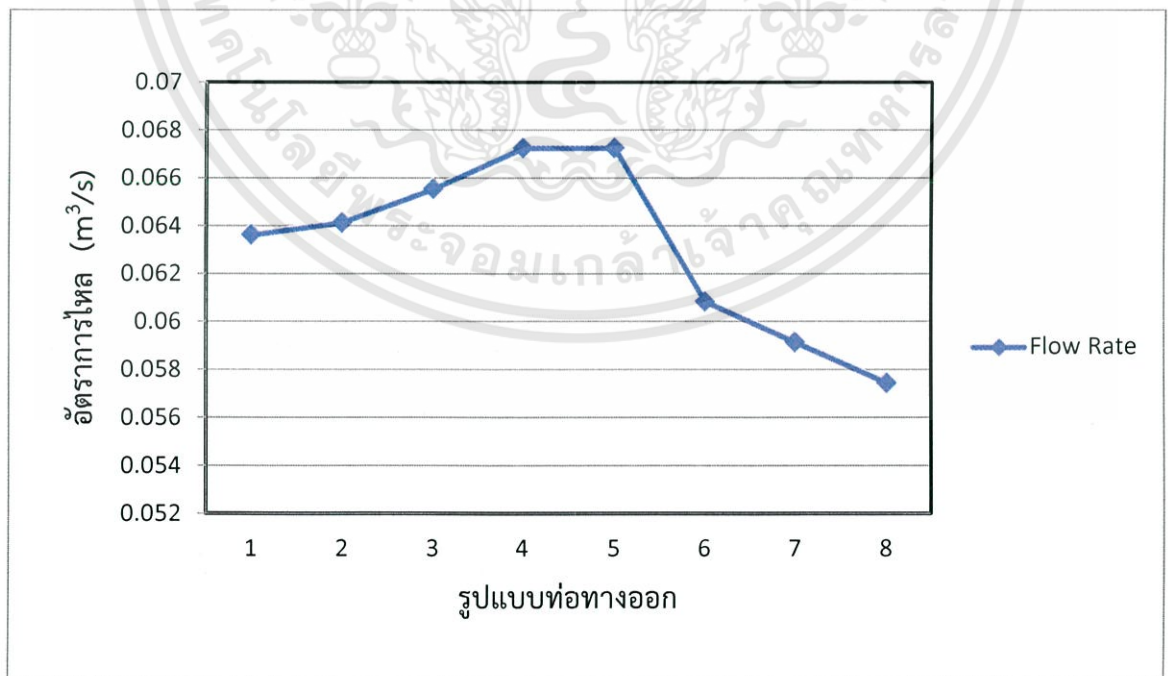


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

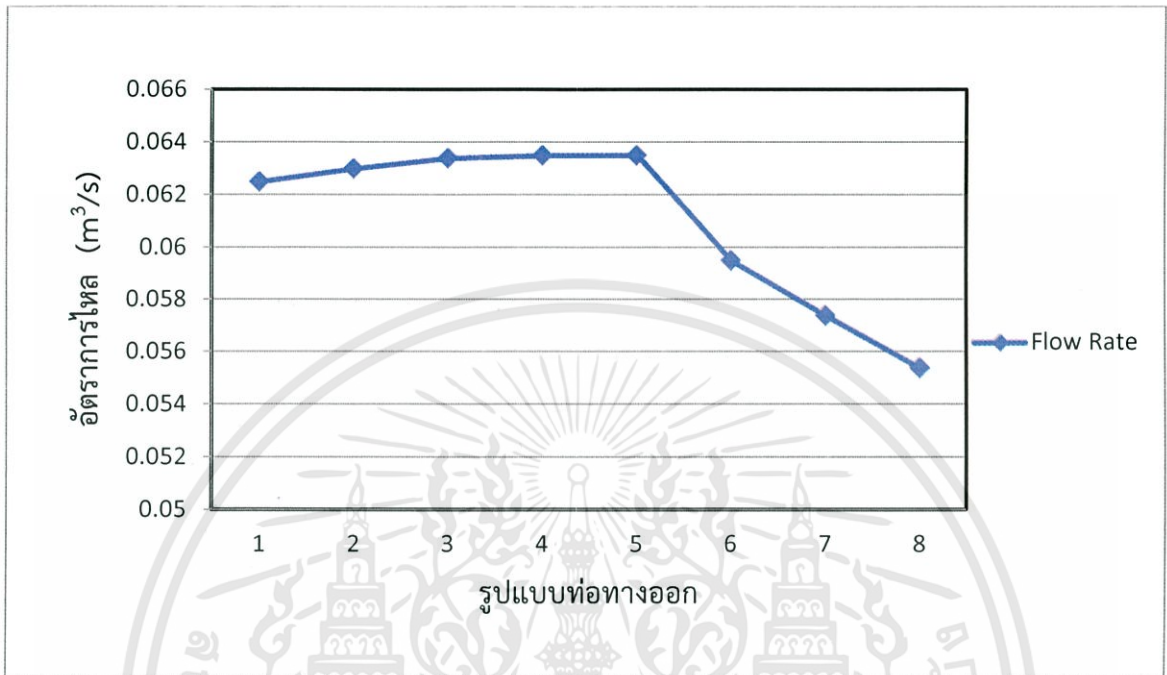
ภาคผนวก ข7 รูปแสดงผลการทดลองที่ไม่มีท่อทางเข้าและท่อทางออกวงกลม



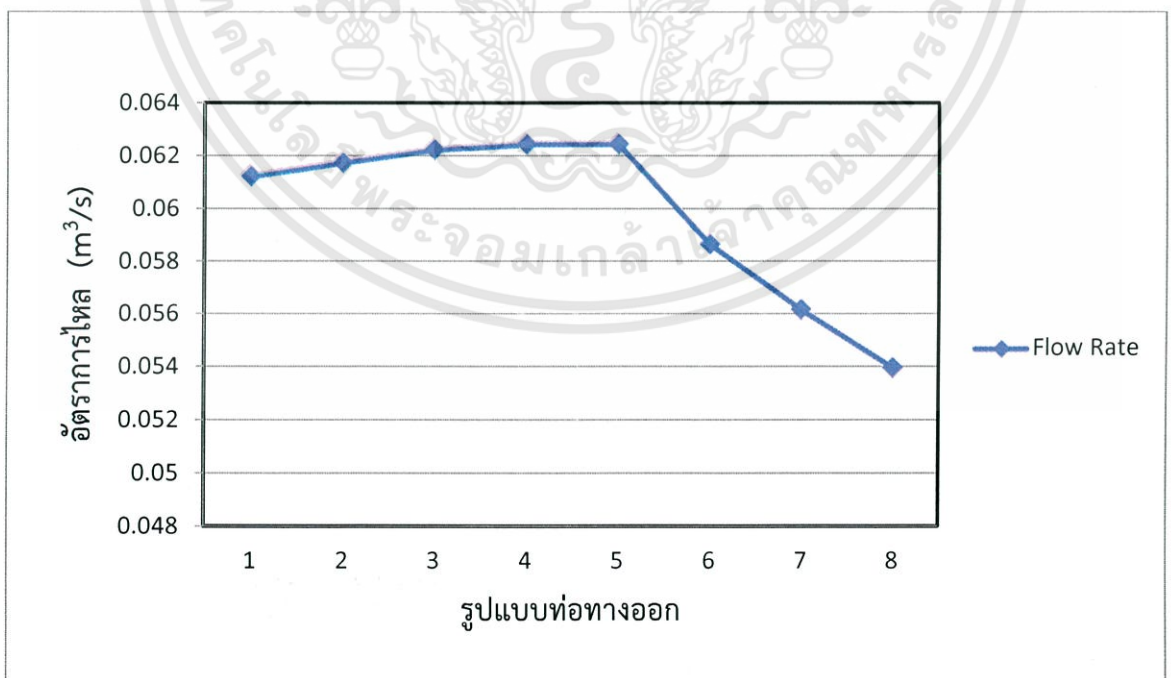
ภาคผนวก ข8 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้า 5 เซนติเมตร และท่อทางออกวงกลม



ภาคผนวก ข9 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้า 10 เซนติเมตร และท่อทางออกวงกลม

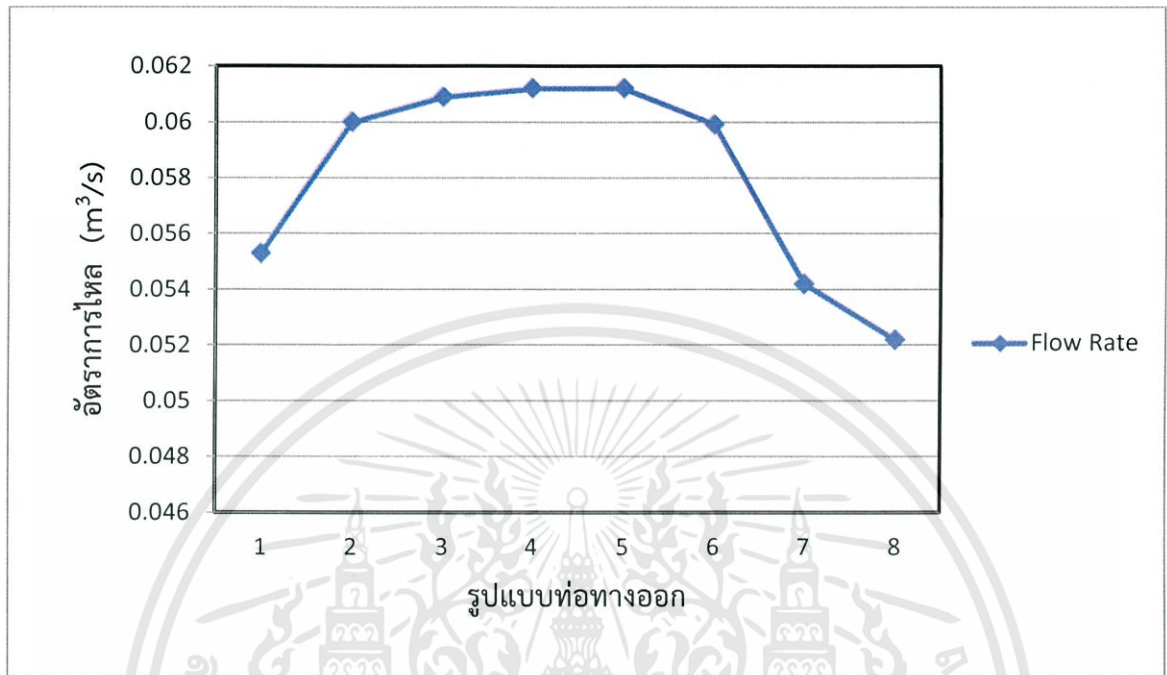


ภาคผนวก ข10 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้า 15 เซนติเมตร และท่อทางออกวงกลม

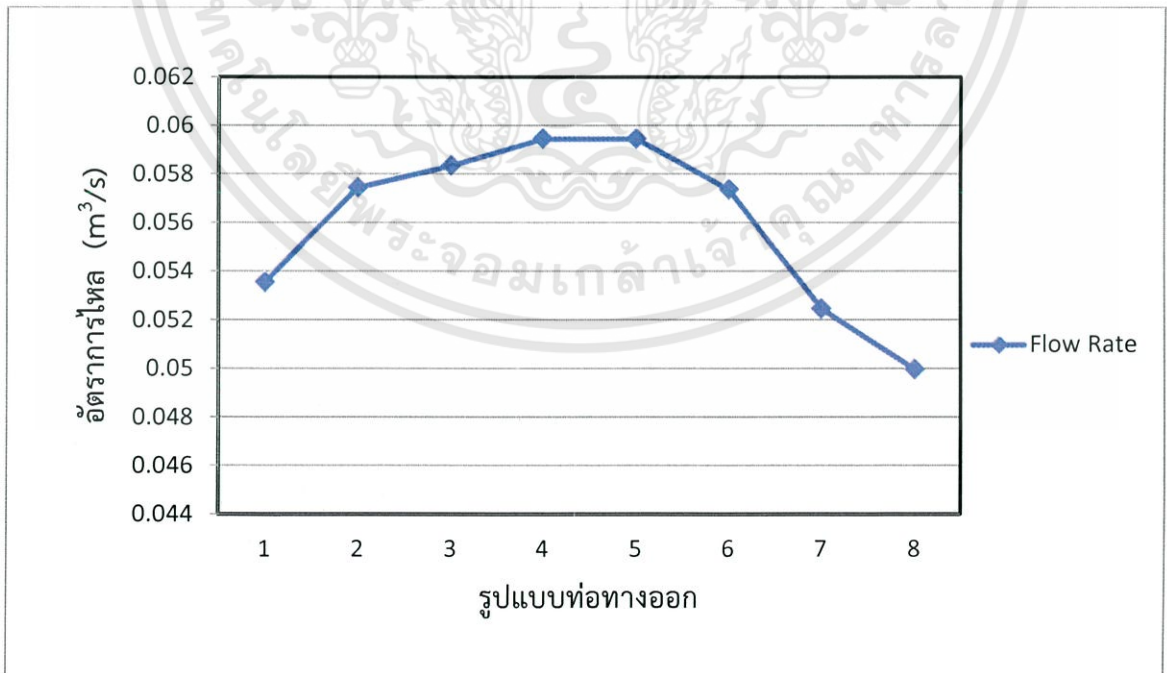


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

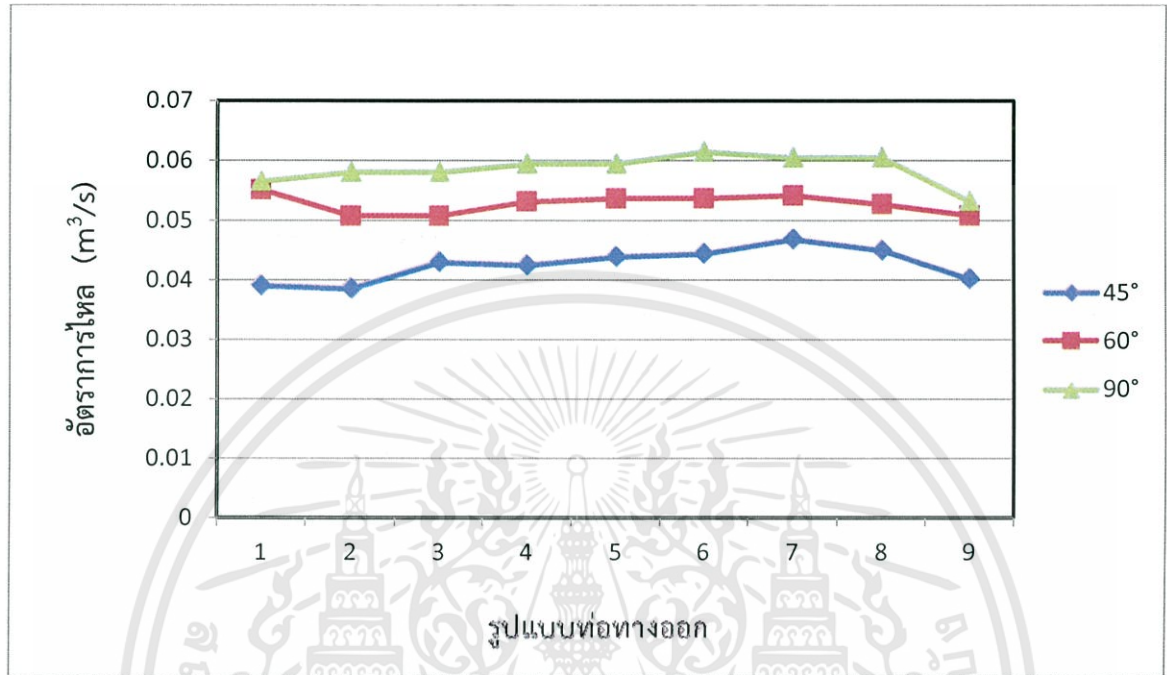
ภาคผนวก ข11 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้าโค้งโค้ง 90 องศา และท่อทางออกวงกลม



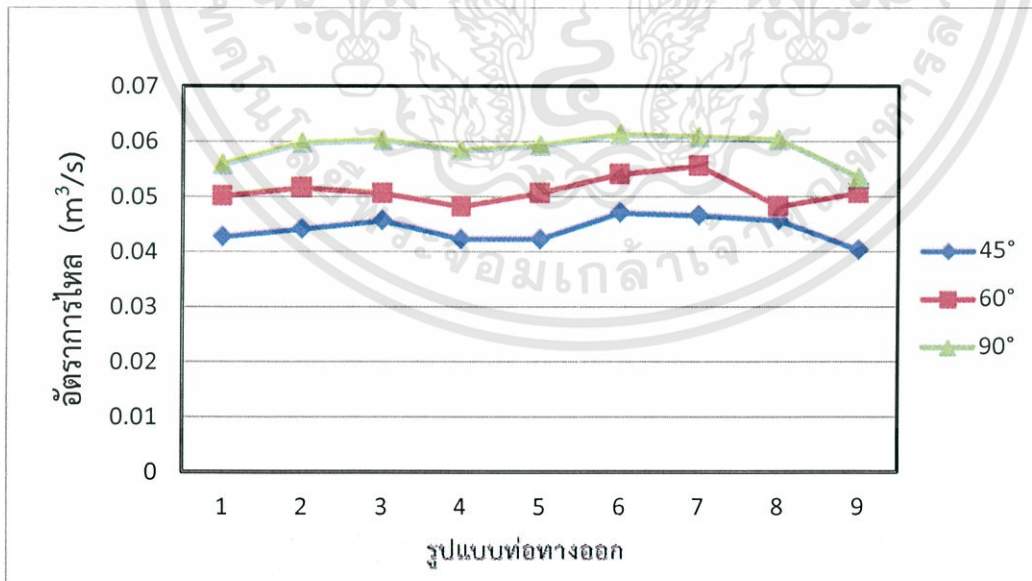
ภาคผนวก ข12 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้าอตั้งฉาก 90 องศา และท่อทางออกวงกลม



ภาคผนวก ข13 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้ายาว 5 เซนติเมตร ติดแดมเปอร์และท่อทางออก
สี่เหลี่ยม

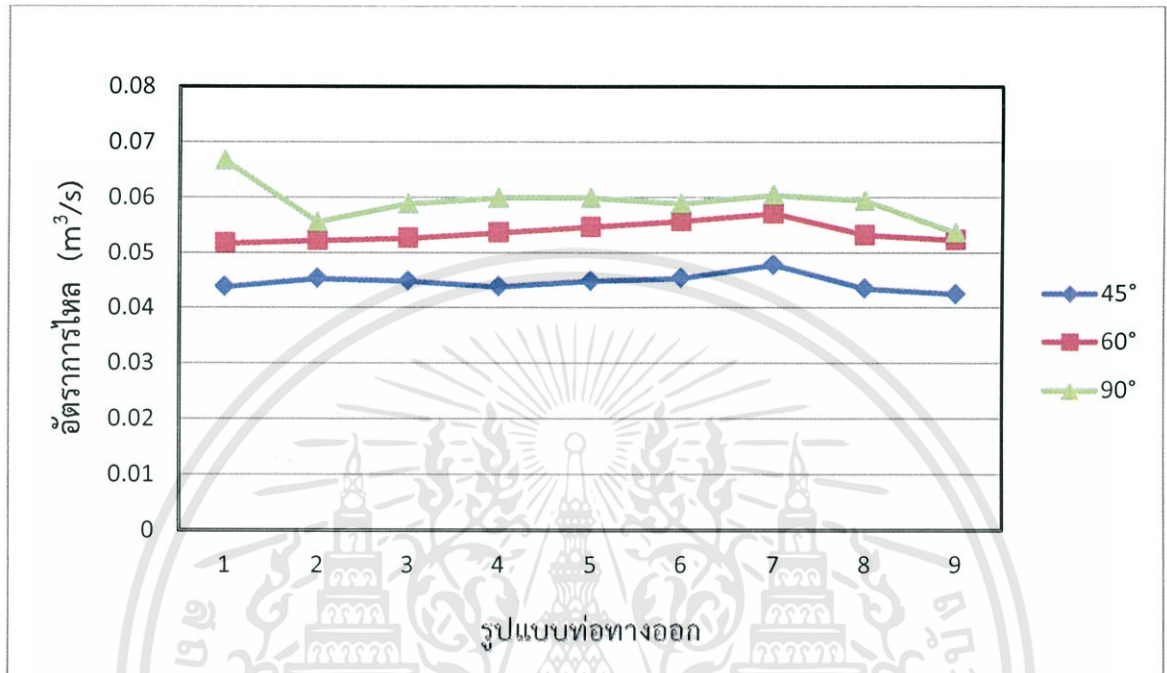


ภาคผนวก ข14 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้ายาว 10 เซนติเมตร ติดแดมเปอร์และท่อทางออก
สี่เหลี่ยม

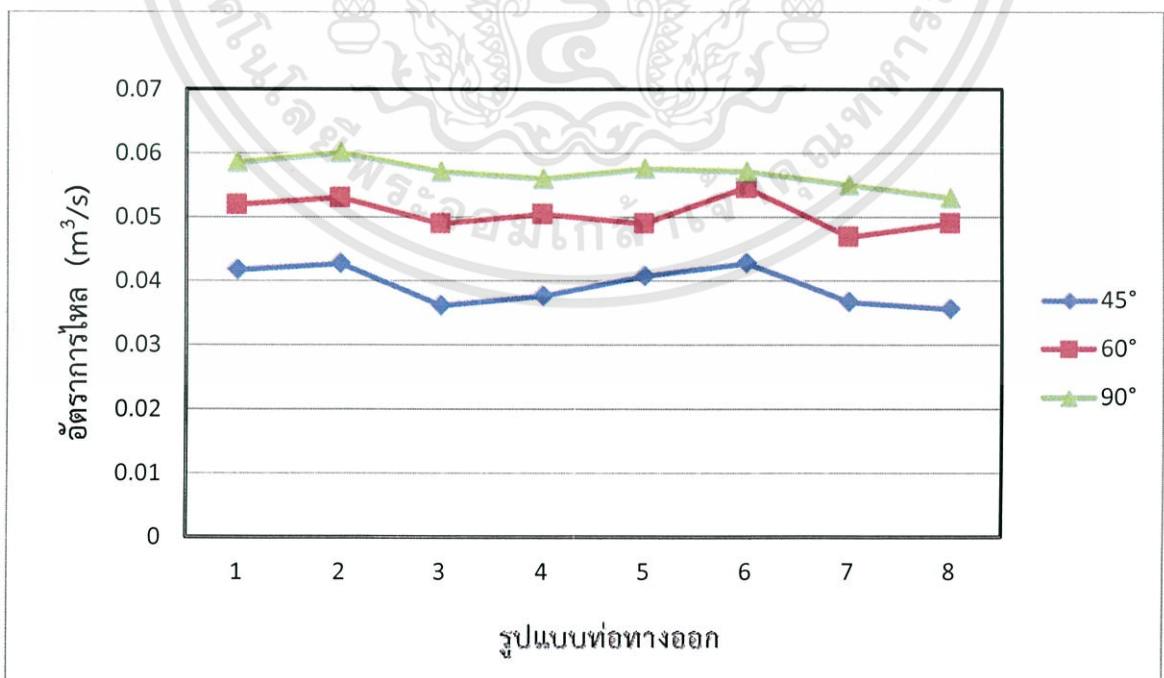


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข15 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้ายาว 15 เซนติเมตร ติดแดมเปอร์และท่อทางออก
สี่เหลี่ยม

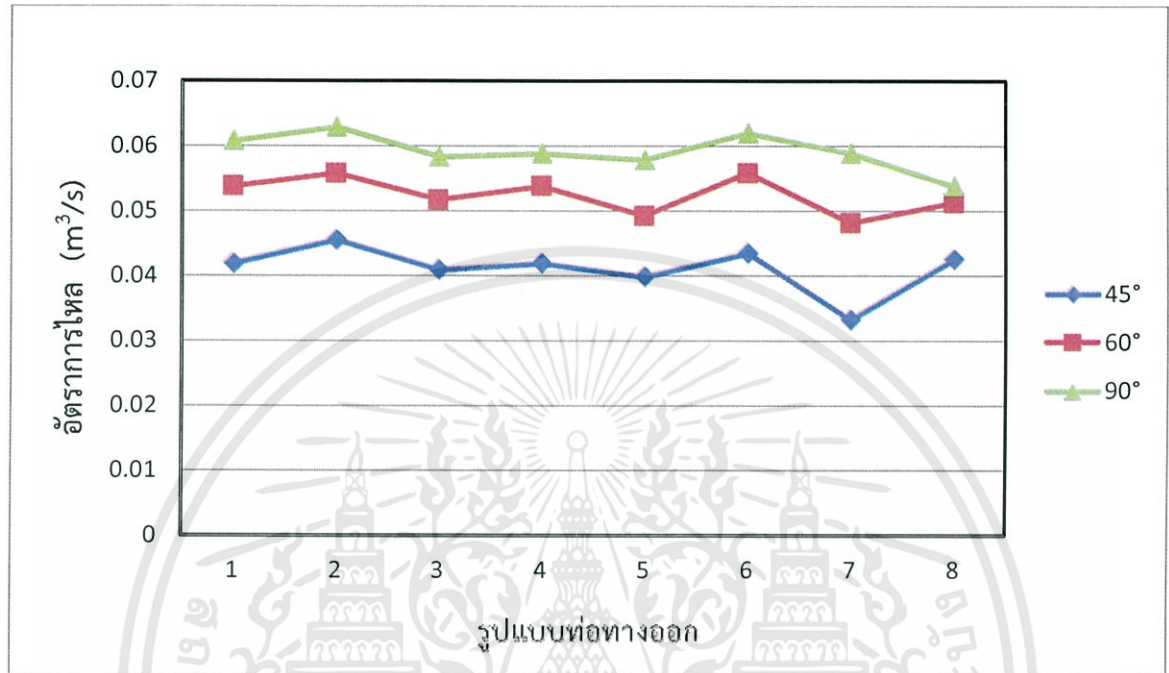


ภาคผนวก ข16 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้ายาว 5 เซนติเมตร ติดแดมเปอร์และท่อทางออก
วงกลม

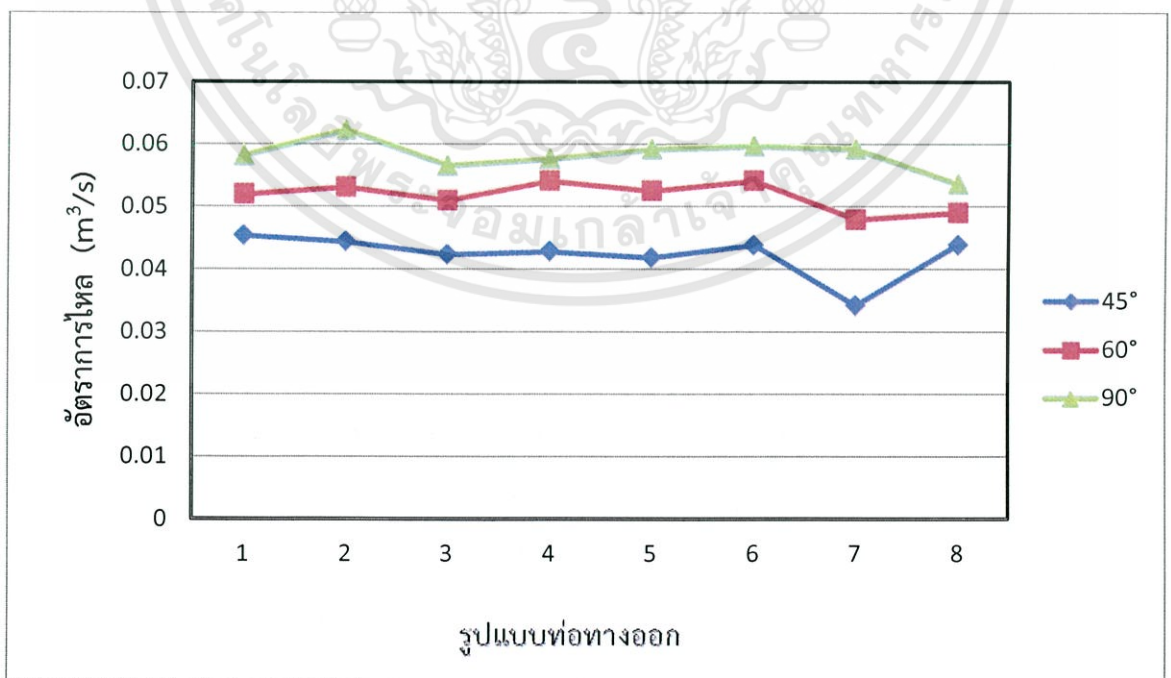


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข17 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้ายาว 10 เซนติเมตร ติดแดมเปอร์และท่อทางออก วงกลม



ภาคผนวก ข18 รูปแสดงผลการทดลองที่ท่อทางเข้ายาว 15 เซนติเมตร ติดแดมเปอร์และท่อทางออก วงกลม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

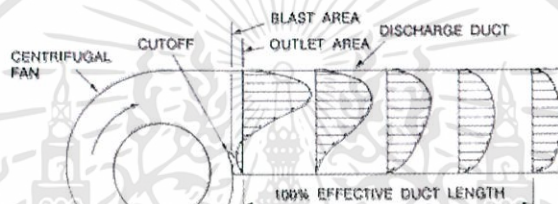
การทดลองการเกิดผลกระทบระบบภายในท่อลม

The Study of System Effect in The Duct

1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการเกิดผลกระทบระบบภายในท่อลม โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงความยาวท่อและอัตราการไหลของลมภายในท่อโดยใช้เครื่องมือวัด

2 ทฤษฎี



รูปที่ 2.1 การติดตั้งท่อลมด้านออก

การเกิดผลกระทบระบบภายในท่อลมที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากอัตราการไหลของลมภายในท่อมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงความยาวต่างๆ เมื่อความยาวมีการเปลี่ยนแปลงส่งผลต่ออัตราการไหลของลมและส่งผลต่อการใช้งานพัดลม-โบลเวอร์ที่ไม่ได้ตามที่กำหนดไว้โดยผู้ผลิตโดยทำการหาค่าของความยาวในท่อทางออกท่อที่มีประสิทธิภาพเท่ากับ 100% เราสามารถใช้สมการในการหา Effect Duct Length ดังนี้

$$\text{Effective Duct Length} = 2.5(\text{Duct diameters for } 2,500 \text{ FPM or less})$$

Add 1 Duct diameter for each additional 1,000 FPM

สำหรับท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดภายในท่อเป็นรูปสี่เหลี่ยม ต้องทำการแปลงค่าในการคำนวณให้มีค่าเป็นค่าความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางท่อกลม (Equivalent Duct Diameter)

$$\text{Equivalent Duct Diameter} = \sqrt{\frac{4 \times \text{width} \times \text{height}}{\pi}}$$

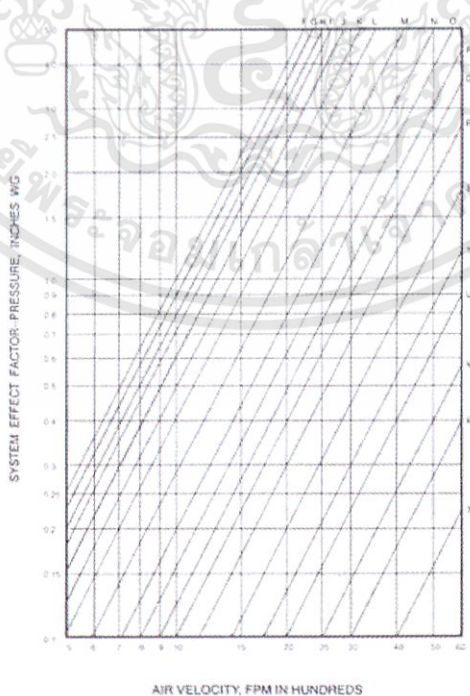
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1 จะพบว่าความเร็วลมที่บริเวณ Blast Area ของพัดลมหอยโข่ง (Centrifugal Fan) ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับ Cutoff ของพัดลม มีค่าสูงกว่าความเร็วลมในท่อลมด้านลมออกที่มีขนาดเท่ากับปากพัดลม สำหรับการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่าง Blast Area กับ พื้นที่ทางออกของท่อลม (Outlet Area) เพื่อนำไปหาเส้นกราฟผลกระทบของระบบ (System Effect) สามารถหาได้ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าของ Blast Area/Outlet Area ในการหาเส้นกราฟผลกระทบของระบบ

	No Duct	12% Effective Duct	25% Effective Duct	50% Effective Duct	100% Effective Duct
$\frac{\text{Blast Area}}{\text{Outlet Area}}$	System Effect Curve				
0.4	P	R-S	U	W	-
0.5	P	R-S	U	W	-
0.6	R-S	S-T	U-V	W-x	-
0.7	S	U	W-X	-	-
0.8	T-Y	V-W	X	-	-
0.9	V-W	W-x	-	-	-
1.0	-	-	-	-	-

เมื่อสามารถหากราฟผลกระทบของระบบจากการคำนวณแล้ว เราสามารถที่จะหา System Effect Factor จากรูปที่ 2.13 ได้



รูปที่ 2.2 กราฟผลกระทบของระบบ (System Effect Curve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 การคำนวณ

3.1 อัตราการไหลของลม

สำหรับในการหาอัตราการไหลของลมเราจะใช้ เครื่องมือวัดความเร็วลมคือ Anemometer เพื่อที่จะทำการวัดความเร็วลมที่ออกจากท่อทางออก Anemometer จะแสดงค่าออกมาเป็นความเร็วของลมที่ไหลออกจากท่อมีหน่วยเป็น (m/s) สามารถหาอัตราการไหลของลมได้จากสมการ

$$Q = A \times V$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของลมที่ไหลออกจากท่อ (m^3/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัดสำหรับท่อในทางออก (m^2)

V คือ ความเร็วลมที่อ่านค่าได้จาก Anemometer (m/s)

3.2 การหาค่าของกำลังไฟฟ้า

ในการหาค่าของกำลังไฟฟ้า สามารถใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า Power Buster Meter ในการหาค่า กระแสไฟฟ้า (I) Power Factor ($\cos\theta$) และความต่างศักย์ (V) สำหรับการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า (P) สามารถหาได้จากสมการ

$$P = IV \cos\theta$$

4 วิธีการทดลอง

4.1 การติดตั้งอุปกรณ์และการเตรียมอุปกรณ์

ก่อนการทดลองจะต้องทำการเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า (Clamp Meter) , (Power Meter Buster) , และเครื่องมือวัดความเร็วลม (Anemometer)

- 1) ติดตั้งตัววัดกระแสไว้บริเวณใกล้มอเตอร์พัดลม
- 2) ติดตั้งเครื่องวัด Power Meter Buster ไว้บริเวณปลั๊กหน้าชุดทดลองที่ได้เตรียมไว้และนำสายไฟจากชุดพัดลมต่อที่หน้าเครื่องวัด
- 3) ติดตั้งท่อทางเข้าที่จะทำการเก็บข้อมูล
- 4) ติดตั้งท่อทางออกที่จะทำการเก็บข้อมูล
- 5) นำปลั๊กที่ได้เตรียมไว้ต่อเข้ากับปลั๊กไฟบริเวณห้องทดลอง
- 6) ทำการเปิดสวิชต์เพื่อทำการทดลอง

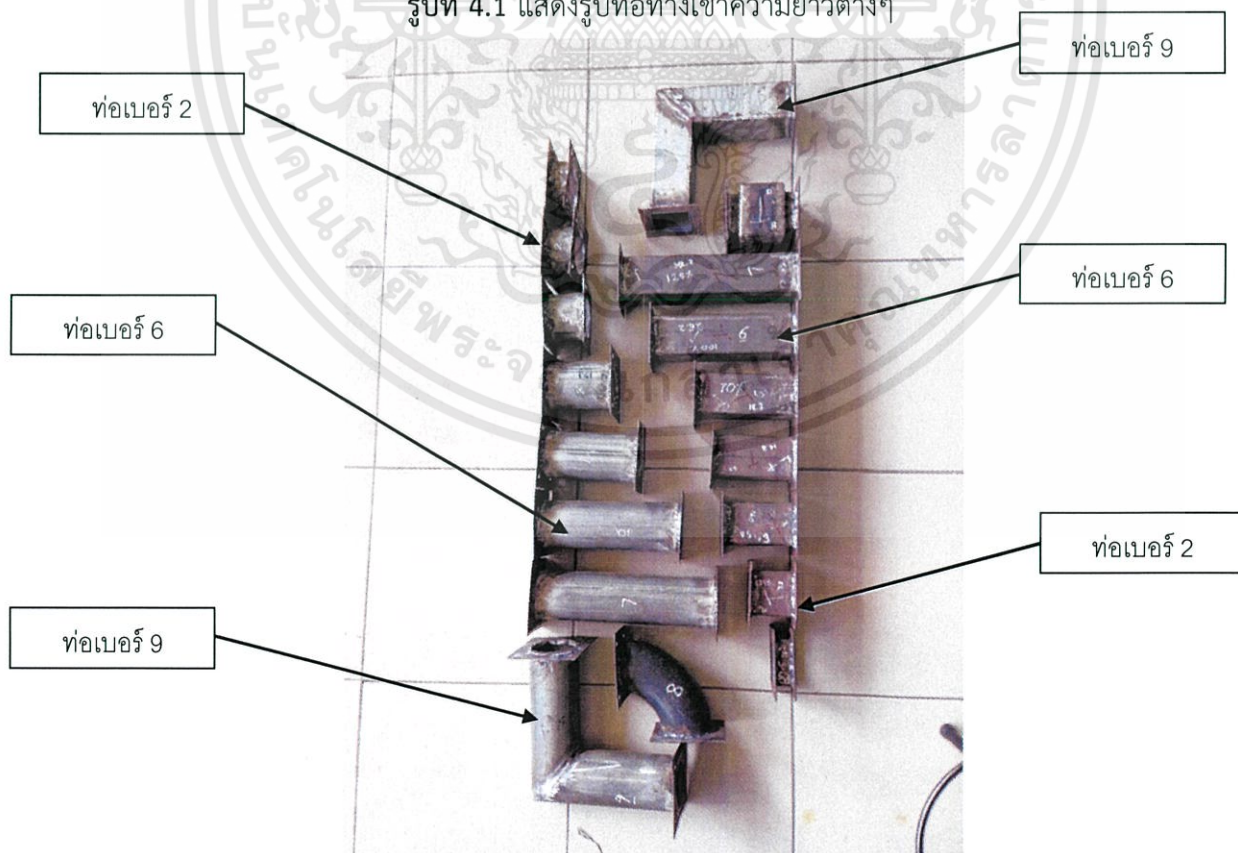
4.2 วิธีการทดลองการเกิด system effect ภายในท่อลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ
- 2) ทำการเปิดสวิทซ์เครื่องโบลเวอร์ทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที
- 3) ทำการติดตั้งท่อทางออกสี่เหลี่ยมที่มีความยาวลำดับที่ 2
- 4) ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วลม(Anemometer) จอบริเวณทางออกของท่อทางออกสี่เหลี่ยม โดยทำการเก็บค่าทั้งหมด 3 ครั้ง เว้นระยะห่างครั้งละ 3 นาที
- 5) ทำการเปลี่ยนท่อทางออกสี่เหลี่ยมที่มีความยาวลำดับที่ 6 เพื่อทำการเก็บค่า
- 6) ทำการเปลี่ยนท่อทางออกสี่เหลี่ยมที่มีความยาวลำดับที่ 9 เพื่อทำการเก็บค่า
- 7) ทำการเก็บค่าใหม่อีกครั้งตามข้อ 1-6 โดยมีการเปลี่ยนแปลงท่อทางเข้าท่อตรงขนาด 5 , 10 , 15 เซนติเมตร



รูปที่ 4.1 แสดงรูปท่อทางเข้าความยาวต่างๆ



รูปที่ 4.2 แสดงรูปท่อทางออกที่ความยาวต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 ผลการทดลอง

5.1 นำผลที่ได้ทำการทดลองบันทึกลงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลอง

Duct inlet	Duct outlet	$\cos\theta$	I (A)	V (volt)	W (watt)	v (m/s)	Q (m ³ /s)	Q เฉลี่ย
-	1							
-								
-								
-	2							
-								
-								
-	3							
-								
-								
5	1							
5								
5								
5	2							
5								
5								
5	3							
5								
5								
10	1							
10								
10								
10	2							
10								
10								
10	3							
10								
10								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8 วิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้