

การศึกษาวិธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัด ณ ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม
ในรูปแบบต่าง ๆ



นายสรินรัช รัตนบุรี

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY OF THE METHODS FOR MEASURING AIR LEAKAGE FROM COMPRESSED-
AIR SYSTEM AT THE LEAKING POSITION



Mr.Sarinrat Rattanaburee

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัด ณ ตำแหน่งที่
เกิดการรั่วซึมในรูปแบบต่าง ๆ

โดย

นายสินรัช รัตนบุรี

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

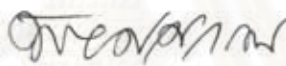
อาจารย์ที่ปรึกษา

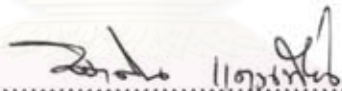
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติน แดงเที่ยง

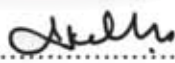
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับ
นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนिरูวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรรย์ญากรณ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติน แดงเที่ยง)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย เลิศนุวัฒน์)

สรินรัช รัตนบุรี : การศึกษาวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัด ณ ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมในรูปแบบต่าง ๆ. (A STUDY OF THE METHODS FOR MEASURING AIR LEAKAGE FROM COMPRESSED-AIR SYSTEM AT THE LEAKING POSITION)

อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. จิตติน แดงเที่ยง, 125 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นการศึกษาวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัด ณ ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมในรูปแบบต่างๆ เพื่อทำการประเมินปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัด โดยทำการศึกษาจากการจำลองระบบอากาศอัดและตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมที่มีลักษณะเป็นรูกลม 4 ขนาดคือ รูกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 , 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตร แล้วนำเสนอวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 6 วิธี ซึ่งแต่ละวิธีที่นำเสนอเหล่านี้สามารถนำไปใช้งานกับระบบอากาศอัดในทางปฏิบัติได้ ทำการทดลองที่ความดันแตกต่างกัน 8 ค่าคือ 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 และ 8 บาร์ แล้วนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกัน

จากผลการทดลองทำให้ทราบลักษณะ ข้อดี ข้อเสีย และค่าความแตกต่างของการวัด เมื่อกำหนดให้วิธีการวัดโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบ Hot Wire เป็นเกณฑ์ในการอ้างอิงค่าความแตกต่างจะสามารถสรุปค่าความแตกต่างในการวัดของแต่ละวิธีได้คือ วิธีวัดโดยใช้หลักการแทนที่น้ำประมาณ 31.44% วิธีวัดโดยใช้ถุงครอบประมาณ 26.09% วิธีวัดโดยใช้วิธีวัดอัตราไหลของลำการไหลประมาณ 39.02% วิธีวัดโดยใช้หลอดปิโทที่ไม่สามารถทำการวัดได้ วิธีวัดโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบใบพัดวัดความเร็วภายในท่อโดยตรงประมาณ 7.18% และวิธีวัดโดยการคำนวณจากค่าความดันที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมประมาณ 9.53% เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการเลือกวิธีการวัดให้เหมาะสม นำเชื่อถือกับการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติ

การวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัด ณ ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ช่วยให้สามารถประเมินการสูญเสียพลังงานของระบบอากาศอัดที่เกิดจากการรั่วซึมของแต่ละตำแหน่งได้ เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงแก้ไขระบบอากาศอัดให้มีการสูญเสียพลังงานที่ลดลง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายของพลังงานที่สูญเสียไปได้

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อนิสิต.....ศ.ร. ๒๕๖.....รัตนบุรี.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 1,๒๕๖.....
ปีการศึกษา..... 2550.....

4870624021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: MEASURING AIR LEAKAGE / LEAKING POSITION

SARINRAT RATTANABUREE : A STUDY OF THE METHODS FOR MEASURING AIR LEAKAGE FROM COMPRESSED-AIR SYSTEM AT THE LEAKING POSITION.

THESIS ADVISOR: ASST. PROF. CHITTIN TANGTHIENG, Ph.D. ,125 pp.

This thesis is a study of methods for measuring air leakage from a compressed-air system at the leaking position in order to estimate the amount of air leak. An experiment of the compressed-air system is set up by simulating the leak as four different sizes of a round hole of diameters 1 , 2 , 3 and 4 mm and conducted at increasing pressure from 1 to 8 bars by an increment of 1 bar. The selected six different methods for measuring air leakage are presented and compared.

According to the experimental result , the comparisons between advantages and disadvantages among the six methods are made. The results obtained by the hot-wire anemometer in the pipe are selected as a reference case. It can be shown that the differences of the results from the water replacement , the plastic-bag coverage , the external jet flow measurement , the vane anemometer in the pipe and the calculation from the choked equation are 31.44 , 26.09 , 39.02 , 7.18 and 9.53 percent , respectively.

This thesis also provides the amount of energy consumption at different hole sizes and different air pressures as a guide to improve the energy efficiency of the compressed-air system.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department:..... Mechanical Engineering Student's signature: Sarinrat Rattanaburee
Field of study:..... Mechanical Engineering Advisor's signature: Chittin Tangtheng
Academic year:..... 2007

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากหลายฝ่ายด้วยกัน ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.จิตติน แดงเที่ยง อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าช่วยเหลือให้คำแนะนำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการวิจัยแนวทางแก้ปัญหา และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่นำมาซึ่งความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์ รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรรย์ญาณกรณ์ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย เลิศนุวัฒน์ กรรมการ

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และพี่ชาย ซึ่งอบรมสั่งสอน และให้กำลังใจตลอดเวลา จนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	3
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	4
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	10
3.1 ระบบอากาศอัด.....	10
3.2 การหางานและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ.....	14
3.3 การวัดอัตราไหลภายในท่อ.....	17
3.4 การวัดอัตราไหลของลำการไหล.....	20
3.5 การวัดอัตราไหลโดยการคำนวณจากค่าความดัน.....	27
3.6 การวัดอัตราไหลโดยการแทนที่น้ำ.....	29
3.7 การวัดอัตราไหลโดยการให้ถุงครอบ.....	30
3.7 การวัดค่ากำลังไฟฟ้า.....	31

บทที่ 4 การดำเนินการวิจัย.....	33
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองระบบอากาศอัด.....	33
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้จำลองตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม.....	36
4.3 วิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ.....	37
4.4 วิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้ถุงครอบ.....	43
4.5 วิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้วิธีวัดอัตราไหลของลำการไหล.....	48
4.6 วิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้หลอดปิโทท์.....	54
4.7 วิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้อุปกรณ์วัดความเร็วภายในท่อโดยตรง.....	60
4.8 การนำขึ้นส่วนอุปกรณ์ที่มีการชำรุด และมีการใช้งานในทางปฏิบัติมาทำ การทดลอง.....	67
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	68
บทที่ 6 วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลอง.....	87
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	100
7.1 สรุปผลการวิจัย.....	100
7.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะของงานวิจัยในอนาคต.....	102
รายการอ้างอิง	104
ภาคผนวก	107
ภาคผนวก ก ตารางผลการทดลอง.....	108
ภาคผนวก ข อุปกรณ์ที่ทำการเปลี่ยนในการทดลอง.....	123
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	125

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 5.1	แสดงความสามารถในการจ่ายอากาศอัดของระบบอากาศอัด.....	69
ตารางที่ 5.2	แสดงข้อมูลจากการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้ หลักการแทนที่น้ำ.....	70
ตารางที่ 5.3	แสดงปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ.....	71
ตารางที่ 5.4	แสดงข้อมูลจากการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้ ถุงครอบ.....	72
ตารางที่ 5.5	แสดงปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยใช้ถุงครอบ.....	72
ตารางที่ 5.6	แสดงข้อมูลจากการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้ วิธีวัดอัตราการไหลของลำการไหล.....	73
ตารางที่ 5.7	แสดงปริมาณการรั่วซึมโดยใช้วิธีวัดอัตราการไหลของลำการไหล.....	74
ตารางที่ 5.8ก	แสดงข้อมูลจากการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้ แอนนิโมมิเตอร์แบบใบพัด.....	76
ตารางที่ 5.9ก	แสดงปริมาณการรั่วซึมโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบใบพัด.....	77
ตารางที่ 5.8ข	แสดงข้อมูลจากการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้ แอนนิโมมิเตอร์แบบ Hot Wire.....	77
ตารางที่ 5.9ข	แสดงปริมาณการรั่วซึมโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบ Hot Wire.....	78
ตารางที่ 5.10	แสดงปริมาณการรั่วซึมโดยใช้การคำนวณค่าความดันจากตำแหน่ง ที่เกิดการรั่วซึม.....	79
ตารางที่ 5.11	แสดงข้อมูลจากการทดลองวัดปริมาณการรั่วซึมจากป็นฉีดลมด้วย วิธีต่างๆ.....	80
ตารางที่ 5.12	แสดงปริมาณการรั่วซึมจากป็นฉีดลมที่วัดด้วยวิธีต่างๆ.....	80
ตารางที่ 5.13	แสดงข้อมูลจากการทดลองวัดปริมาณการรั่วซึมจากวาล์วเปิดปิด อากาศอัดด้วยวิธีต่างๆ.....	81
ตารางที่ 5.14	แสดงปริมาณการรั่วซึมจากวาล์วเปิดปิดอากาศอัดที่วัดด้วยวิธีต่างๆ..	82
ตารางที่ 5.15	แสดงข้อมูลจากการทดลองวัดปริมาณการรั่วซึมจากข้อต่อชนิดสาม ทางด้วยวิธีต่างๆ.....	83
ตารางที่ 5.16	แสดงปริมาณการรั่วซึมจากข้อต่อชนิดสามทางที่วัดด้วยวิธีต่างๆ.....	84
ตารางที่ 5.17	แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการรั่วซึมของอากาศอัด.....	85

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 5.18	แสดงอัตราการรั่วซึมอากาศอัดต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต.....	86
ตารางที่ ก.1	ตารางผลการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้หลักการ แทนที่น้ำ.....	109
ตารางที่ ก.2	ตารางผลการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้ถุงครอบ...	111
ตารางที่ ก.3	ตารางผลการทดลองของการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้วิธีวัดอัตรา การไหลของลำการไหล.....	113
ตารางที่ ก.4	ตารางผลการทดลองของการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้อุปกรณ์ วัดความเร็วภายในท่อโดยตรง.....	115
ตารางที่ ก.5	ตารางผลการวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ผลิตอากาศอัดสำหรับการรั่วซึมของ ระบบอากาศอัด.....	117

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
รูปที่ 1.1	กราฟแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆของโรงงานโดยเฉลี่ย.....	1
รูปที่ 1.2	แสดงการสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศอัด	2
รูปที่ 2.1	กราฟแสดงหลักการทำงานแบบวิธีการทำงานและหยุดการทำงานของเครื่องอัดอากาศ.....	5
รูปที่ 2.2	แสดงตัวอย่างกราฟแสดงสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ.....	8
รูปที่ 3.1	แสดงระบบอากาศอัด.....	10
รูปที่ 3.2	แสดงรูปจำลองของเครื่องอัดอากาศเพื่อใช้ในการคำนวณ.....	14
รูปที่ 3.3	แสดงแผนภาพ h-s ของกระบวนการจริงและกระบวนการไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดอากาศไฟฟ้า.....	16
รูปที่ 3.4	แสดงลักษณะและวิธีการใช้งานหลอดบีโท.....	17
รูปที่ 3.5	แสดงแอนิเมเตอร์ชนิดขดลวดร้อน.....	19
รูปที่ 3.6	แสดงแอนิเมเตอร์ชนิดใบพัด.....	20
รูปที่ 3.7	รูปแบบลำการไหลแบบอิสระและวิธีการวัดอัตราไหลในการทดลอง.....	21
รูปที่ 3.8	แสดงวิธีวัดอัตราไหลโดยหลักการแทนที่น้ำ.....	30
รูปที่ 3.9	แสดงลักษณะวิธีการใช้ถุงครอบ.....	31
รูปที่ 3.10	แสดงลักษณะการใช้ไฟฟ้าในระบบอากาศอัด.....	32
รูปที่ 4.1	แสดงลักษณะของส่วนการสร้างอากาศอัด.....	34
รูปที่ 4.2	แสดงลักษณะและวิธีการติดตั้งของอุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนการจ่ายอากาศอัด..	35
รูปที่ 4.3	แสดงข้อต่อแบบสวมเร็วชนิดต่างๆ.....	35
รูปที่ 4.4	แสดงลักษณะและวิธีการติดตั้งของท่อจ่ายลม.....	36
รูปที่ 4.5	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้จำลองตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม.....	36
รูปที่ 4.6	แสดงกระบอกตวงพร้อมขาตั้ง.....	37
รูปที่ 4.7	แสดงถังบรรจุน้ำ.....	38
รูปที่ 4.8	แสดงปั้มน้ำพร้อมท่อสายยาง.....	38
รูปที่ 4.9	แสดงนาฬิกาจับเวลา.....	39
รูปที่ 4.10	แสดงวิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ.....	39
รูปที่ 4.11	แสดงวิธีการนำกระบอกตวงพร้อมขาตั้งใส่ในถังที่บรรจุน้ำ.....	40
รูปที่ 4.12	แสดงวิธีการเติมน้ำเข้ากระบอกตวง.....	41

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.13 แสดงวิธีการต่อส่วนที่เกิดการรั่วซึมกับท่อจ่ายลม.....	41
รูปที่ 4.14 แสดงวิธีการนำส่วนที่เกิดการรั่วซึมใส่เข้าไปในระบบอกตวง.....	42
รูปที่ 4.15 แสดงวิธีการปรับวาล์วควบคุมความดัน.....	42
รูปที่ 4.16 แสดงวิธีการเปิดวาล์วจ่ายอากาศอัด.....	43
รูปที่ 4.17 แสดงถุงที่ใช้ในการทดลอง.....	44
รูปที่ 4.18 แสดงระบบอกตวง.....	44
รูปที่ 4.19 แสดงนาฬิกาจับเวลา.....	45
รูปที่ 4.20 แสดงวิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมโดยใช้ถุงครอบ.....	45
รูปที่ 4.21 แสดงวิธีหาปริมาตรของถุง.....	46
รูปที่ 4.22 แสดงส่วนที่เกิดการรั่วซึมต่อกับท่อจ่ายลม.....	46
รูปที่ 4.23 แสดงวิธีนำถุงไปครอบตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม.....	47
รูปที่ 4.24 แสดงวิธีการปรับวาล์วควบคุมความดัน.....	47
รูปที่ 4.25 แสดงวิธีการเปิดวาล์วจ่ายอากาศอัด.....	48
รูปที่ 4.26 แสดงแอนนิโมมิเตอร์ชนิดใบพัด.....	49
รูปที่ 4.27 แสดงแท่นจับยึด.....	49
รูปที่ 4.28 แสดงที่จับยึด.....	50
รูปที่ 4.29 แสดงลูกดึง.....	50
รูปที่ 4.30 แสดงตลับเมตร.....	51
รูปที่ 4.31 แสดงวิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมโดยใช้วิธีวัดอัตราไหลของลำการไหล...	51
รูปที่ 4.32 แสดงวิธีการติดตั้งตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมกับแท่นจับยึด.....	52
รูปที่ 4.33 แสดงวิธีการติดตั้งแอนนิโมมิเตอร์กับแท่นจับยึดด้วยที่จับยึด.....	52
รูปที่ 4.34 แสดงวิธีการปรับวาล์วควบคุมความดัน.....	53
รูปที่ 4.35 แสดงวิธีการเปิดวาล์วจ่ายอากาศอัด.....	53
รูปที่ 4.36 แสดงท่อเหล็ก ฝาครอบอุด และข้อต่อท่อเหล็ก.....	55
รูปที่ 4.37 แสดงหลอดปิโทท์.....	55
รูปที่ 4.38 แสดงมานอมิเตอร์.....	56
รูปที่ 4.39 วิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้หลอดปิโทท์.....	56
รูปที่ 4.40 แสดงการต่อท่อเหล็กกับท่อจ่ายลม.....	57
รูปที่ 4.41 แสดงวิธีการติดตั้งหลอดปิโทท์.....	58

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.42	แสดงวิธีการต่อสายของหลอดปิโทท์กับมานอมิเตอร์..... 58
รูปที่ 4.43	แสดงวิธีการติดตั้งส่วนที่เกิดการรั่วซึม..... 59
รูปที่ 4.44	แสดงวิธีการปรับวาล์วควบคุมความดัน..... 59
รูปที่ 4.45	แสดงวิธีการเปิดวาล์วจ่ายอากาศอัด..... 60
รูปที่ 4.46	แสดงท่อเหล็ก ฝาครอบอุด และข้อต่อท่อเหล็ก..... 61
รูปที่ 4.47	แสดงแอนนิโมมิเตอร์ (ก) ชนิดใบพัด (ข) ชนิด Hot Wire..... 62
รูปที่ 4.48	วิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์..... 63
รูปที่ 4.49	แสดงการต่อท่อเหล็กกับท่อจ่ายลม..... 63
รูปที่ 4.50	แสดงวิธีการติดตั้งแอนนิโมมิเตอร์(ก-ข)ชนิดใบพัด(ค-ง)ชนิด Hot Wire... 65
รูปที่ 4.51	แสดงวิธีการติดตั้งส่วนที่เกิดการรั่วซึม..... 65
รูปที่ 4.52	แสดงวิธีการปรับวาล์วควบคุมความดัน..... 66
รูปที่ 4.53	แสดงวิธีการเปิดวาล์วจ่ายอากาศอัด..... 66
รูปที่ 4.54	ก, ข, ค แสดงปืนลม วาล์ว และข้อต่อสามทาง ที่นำมาทดลอง..... 67
รูปที่ 6.1	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศอัด ณ ตำแหน่งการรั่ว ซึมขนาด 1 มิลลิเมตร..... 93
รูปที่ 6.2	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศอัด ณ ตำแหน่งการรั่ว ซึมขนาด 2 มิลลิเมตร..... 94
รูปที่ 6.3	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศอัด ณ ตำแหน่งการรั่ว ซึมขนาด 3 มิลลิเมตร..... 95
รูปที่ 6.4	แสดงการเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศอัด ณ ตำแหน่งการรั่ว ซึมขนาด 4 มิลลิเมตร..... 96
รูปที่ 6.5	แสดงอัตราการรั่วซึมอากาศอัดของปืนฉีดลมที่มีการชำรุด..... 97
รูปที่ 6.6	แสดงอัตราการรั่วซึมอากาศอัดของวาล์วเปิดปิดอากาศอัดที่มีการชำรุด... 98
รูปที่ 6.7	แสดงอัตราการรั่วซึมอากาศอัดของข้อต่อชนิดสามทางที่มีการชำรุด และขึ้นสนิม..... 99
รูปที่ ข.1	แสดงหลอดปิโทท์..... 124
รูปที่ ข.2	แสดงมานอมิเตอร์..... 124

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์		หน่วย
x	ระยะในแนวแกน x	m
r	ระยะในแนวรัศมี	m
Z	ระยะห่างจากระดับอ้างอิง	m
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดรูรั่ว	mm
T	อุณหภูมิ	K
T_1	อุณหภูมิที่ตำแหน่งอ้างอิง 1	K
T_2	อุณหภูมิที่ตำแหน่งอ้างอิง 2	K
T_N	อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศขณะอยู่ในท่อ	K
A_1	พื้นที่หน้าตัดที่ตำแหน่งอ้างอิง 1	m ²
A_0	พื้นที่ของช่องเปิด	m ²
V	ปริมาตรทั้งหมดของระบบอากาศอัด	m ³
V	ปริมาณของของไหลในกระบอกตวง	l
V	ปริมาณของของไหลในถัง	l
t	เวลา	sec
t_1	เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอัดอากาศทำงาน	sec
t_2	เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอัดอากาศหยุดทำงาน	sec
P	ความดัน	kPa
P_1	ความดันที่ตำแหน่งอ้างอิง 1	kPa
P_2	ความดันที่ตำแหน่งอ้างอิง 2	kPa
P_N	ความดันอากาศสัมบูรณ์ขณะอยู่ในท่อ	kPa
P_{gage}	ค่าความดันของอากาศอัดที่อ่านจากเกจวัดความดัน	bar
$P_{full\ load}$	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เครื่องอัดอากาศทำงานเมื่อโหลดเต็มที่	kW
$P_{un\ load}$	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เครื่องอัดอากาศทำงานเมื่อไร้โหลด	kW
P_{leak}	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดจากการรั่วซึม	kW
V	ความเร็ว	m/s
V_1	ความเร็วที่ตำแหน่งอ้างอิง 1	m/s
V_2	ความเร็วที่ตำแหน่งอ้างอิง 2	m/s

สัญลักษณ์		หน่วย
u	ความเร็วในระนาบแกน x	m/s
v	ความเร็วในระนาบแกน y	m/s
w	ความเร็วในระนาบรัศมี	m/s
$u_0(x)$	ความเร็วในแนวแกน x	m/s
u_1	ค่าความเร็วที่ตำแหน่งอ้างอิง 1	m/s
u_2	ค่าความเร็วที่ตำแหน่งอ้างอิง 1	m/s
u_{cl}	ค่าความเร็วบนแนวแกน x ($r=0$)	m/s
u_0	ค่าความเร็วที่ระยะ $x=0$	m/s
l	อัตราการรั่วซึมของอากาศอัด	l/s
\dot{m}	อัตราการไหล	kg/s
v	ความหนืด	m^2/s
Q	อัตราการไหล	m^3/s
Q	อัตราการไหล	l/s
\dot{m}	อัตราการไหล	kg/s
F	อัตราการจ่ายอากาศอัด	m^3/s
\dot{F}	ค่าของแรงผลักดัน	kg/s^2
γ	น้ำหนักจำเพาะ	kN/m^3
ρ	ความหนาแน่น	kg/m^3
v	ปริมาตรจำเพาะ	m^3/kg
w	งานของเครื่องอัดอากาศ	kJ/kg
w_s	งานของเครื่องอัดอากาศแบบกระบวนการไอเซนโทรปิก	kJ/kg
w_a	งานของเครื่องอัดอากาศแบบกระบวนการจริง	kJ/kg
h_1	เอนทัลปีที่สภาวะทางเข้าของกระบวนการอัด	kJ/kg
h_{2s}	เอนทัลปีที่สภาวะทางออกของกระบวนการอัดแบบไอเซนโทรปิก	kJ/kg
h_{2a}	เอนทัลปีที่สภาวะทางออกของกระบวนการอัดจริง	kJ/kg
R	ค่าคงที่ของแก๊ส	kJ/kg·K
C_D	ค่าสัมประสิทธิ์ของการรั่วซึม	-
C^*	ค่าคงตัวของการไหลวิกฤต	-

สัญลักษณ์		หน่วย
Z	ตัวประกอบในการอัดอากาศ	-
k	อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ	-
Ma	มัคนัมเบอร์	-



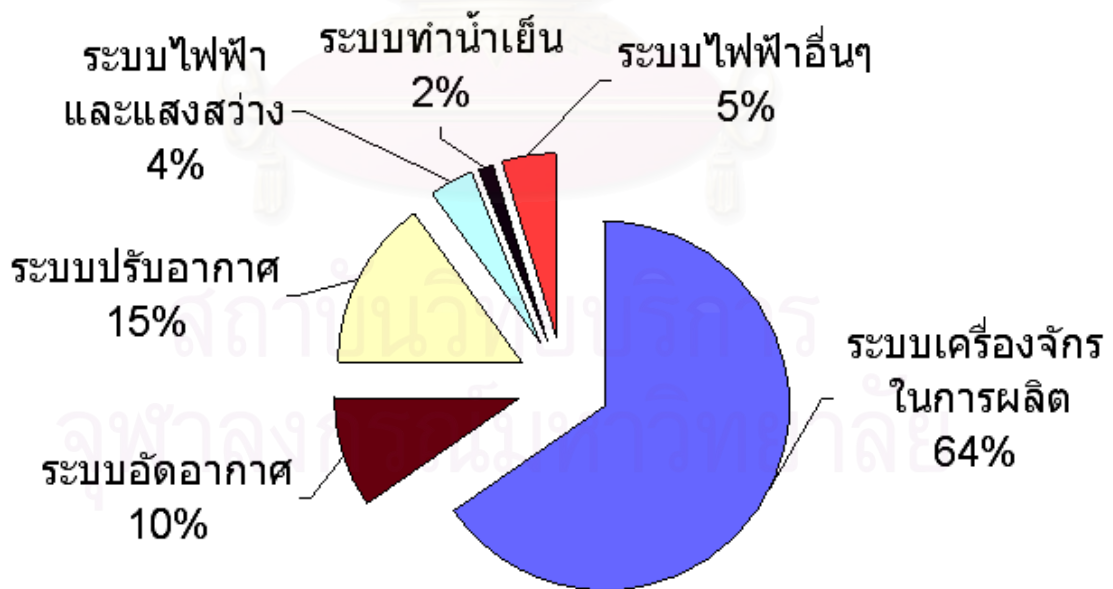
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

ระบบอากาศอัดในปัจจุบันนี้ ได้มีการพัฒนาปรับปรุงออกมามากมายหลายแบบ และมีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย กว้างขวางมากขึ้น โดยส่วนมากจะมีการนำไปใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการนำระบบอัดอากาศไปเกี่ยวข้อง ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมยางและพลาสติก เป็นต้น จะเห็นได้ว่าจะสามารถนำระบบอากาศอัดไปใช้กับอุตสาหกรรมได้เกือบทุกประเภท โดยจะนำไปใช้กับอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ต้องการอากาศอัดในการทำงาน เช่น การฉีดพ่นสี การฉีดล้าง ทำความสะอาด การขันยึดสกรู การฉีดขึ้นรูปพลาสติก และระบบนิวเมติก เป็นต้น ระบบอากาศอัดนั้นจะใช้กำลังไฟฟ้าในการผลิตอากาศอัด ซึ่งสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอากาศอัดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆในโรงงานอุตสาหกรรมโดยเฉลี่ยแล้ว จะมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้างวดแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กราฟแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆของโรงงานโดยเฉลี่ย

(กระทรวงพลังงาน ,2548)

จากรูปที่ 1.1 จะสังเกตได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอากาศอัดของโรงงานอุตสาหกรรมโดยเฉลี่ยประมาณ 10% ของการใช้งานไฟฟ้าทั้งโรงงานนั้นเป็นส่วนที่มาก จึงแสดงว่ามีการใช้งานระบบอากาศอัดในส่วนที่มากเช่นกัน ซึ่งสาเหตุที่มีการนำระบบอากาศอัดไปใช้อย่างกว้างขวางนี้เนื่องจาก อากาศเป็นพลังงานสะอาดไม่ติดไฟจึงมีความปลอดภัย มีความรวดเร็วในการทำงาน การส่งจ่ายอากาศอัดไปยังส่วนต่างๆของโรงงานทำได้ง่าย การเตรียมการและเก็บรักษาไม่ยุ่งยาก สามารถควบคุมความดันและอัตราไหลได้สะดวกรวดเร็ว ราคาถูก แต่ก็ยังคงมีปัญหาต่างๆเกิดขึ้นบ้าง ได้แก่ ความชื้นในระบบ มีเสียงดัง การเคลื่อนที่ของอากาศอัดไม่สม่ำเสมอ ใช้น้ำมันในการติดตั้งมาก แต่ปัญหาหลักที่สำคัญนำมาซึ่งการสูญเสียพลังงานส่วนใหญ่ของระบบอากาศอัด คือ ปัญหาการรั่วซึมของระบบอากาศอัด ปัญหานี้เป็นปัญหาที่สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายและเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ในระบบอากาศอัดเกือบทุกชนิด เพราะระบบอากาศอัดเป็นระบบที่มีอากาศอัดความดันสูงเมื่อมีรั่วเกิดขึ้นในระบบ ก็จะทำให้การรั่วซึมอย่างรวดเร็ว และรั่วรั่วก็สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายกับทุกอุปกรณ์ เช่น ท่อลม หัวฉีดลม วาล์ว และข้อต่อในระบบ เป็นต้น สำหรับระบบที่ไม่มี การบำรุงรักษาที่ดีจะมีการสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมนี้ประมาณ 20-40% แต่ระบบอากาศอัดที่มีการบำรุงรักษาที่ดีจะมีการรั่วซึมประมาณ 5% ของปริมาณอากาศที่อัดทั้งหมดในระบบ เมื่อเทียบปริมาณการสูญเสียออกมาเป็นค่าใช้จ่ายจะแสดงดังรูปที่ 1.2

ขนาดของเครื่องอัดลม (ลบ.ฟุต/นาท)	คิดการสูญเสียลมที่ 30% (ลบ.ฟ. ต่อนาท)	แรงม้าสูญเสียเทียบเท่า	kW สูญเสียเทียบเท่า	เงินที่เสียต่อปี (ที่ค่าไฟ 3.0 บาทต่อ kWh)
250	75	18.75	13.98	370,490
500	150	37.5	27.9	741,031
1000	300	75	55.9	1,482,000
3000	900	225	167.8	4,446,360
10,000	3000	750	559.5	14,821,200

$CFM / 4 = HP \text{ losses, } HP \text{ losses} \times .746 = kW \text{ losses, } kW \text{ losses} \times (\text{hours/year}) \times (\text{Baht/ kWh}) = \text{loss / yr}$
 คิดที่ HP conversion [4 (rotary screw), 5 (piston type)]
 ชั่วโมงทำงานใน 1 ปี (Hours/yr) = 8,760 ชั่วโมง (มี 3กะ)
 ค่าไฟ kWh ละ 3.00 บาท (คิดรวมค่าบำรุงรักษาด้วย)

31

รูปที่ 1.2 แสดงการสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศอัด (วงกต วงศ์อภัย, 2549)

จากตารางในรูปที่ 1.2 จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมนั้นมีจำนวนมาก ดังนั้นปัญหาการรั่วซึมนี่จึงเป็นปัญหาที่น่าสนใจที่จะนำไปวิเคราะห์ ทดลอง และพัฒนาต่อไป แต่ในที่นี้จะสนใจเฉพาะการวัดหาปริมาณการรั่วซึมเพราะเมื่อทราบปริมาณการรั่วซึมนั้นก็จะเป็นการง่ายและช่วยในการวิเคราะห์ตัดสินใจเพื่อปรับปรุง แก้ไขระบบอากาศอัดให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ซึ่งในการวัดปริมาณการรั่วซึมนั้นมีลักษณะการวัดได้หลายวิธีจะจำแนกออกเป็นประเภทของการวัดได้ 2 ประเภท คือ

1. การวัดปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัดโดยรวมทั้งระบบ
2. การวัดปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัดจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม

ในการวัดปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัดแบบโดยรวมทั้งระบบนั้น จะทำให้ทราบถึงปริมาณการรั่วซึมทั้งระบบ เพื่อนำไปวิเคราะห์พิจารณาภาพรวมของระบบในการปรับปรุง ทั้งยังเป็นวิธีการวัดที่ง่าย มีค่าใช้จ่ายน้อย แต่ในการวัดระบบอากาศอัดต้องหยุดการทำงาน จึงไม่เหมาะกับระบบอากาศอัดที่จำเป็นต้องทำงานตลอดเวลา และระบบอากาศอัดที่มีเครื่องอัดอากาศตัวเดียวซึ่งจ่ายอากาศอัดทั้งโรงงานจึงไม่สามารถหยุดการทำงานได้ สำหรับในการวัดปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัดแบบวัดจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมนั้น จะสามารถวัดปริมาณการรั่วซึมในแต่ละจุดที่รั่วซึม สามารถวัดได้ในแต่ละจุดโดยไม่จำเป็นต้องหยุดการทำงานทั้งระบบ สามารถวัดได้ในระบบที่มีเครื่องอัดอากาศตัวเดียวโดยไม่ต้องหยุดการทำงานทั้งโรงงาน สามารถทำการวัดตลอดเวลาทันทีที่ต้องการวัด ทำให้สามารถนำไปวิเคราะห์พิจารณาในเฉพาะจุดที่ทำการวัด เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการปรับปรุง แก้ไขในเฉพาะจุดได้ แต่มีข้อเสียในด้านความผิดพลาดในการวัดซึ่งมีปริมาณมาก ส่งผลให้วิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของระบบอัดอากาศแบบในแต่ละจุดที่รั่วซึมนี้ จึงเป็นที่น่าสนใจสำหรับการศึกษา และหาแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงต่อไป

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษา วิเคราะห์ เสนอหลักการวิธีการ และเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย ของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัดจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมให้เหมาะสม นำเชื่อถือกับการนำไปใช้งาน และเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เพื่อจะนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพ และสมรรถนะของระบบอากาศอัด

1.2 วัดถูประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อศึกษา นำเสนอ และวิเคราะห์เปรียบเทียบการวัดปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัดจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมด้วยวิธีการต่างๆ ที่มีความเหมาะสม นำเชื่อถือกับการนำไปใช้งาน และเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ออกแบบ และสร้างชุดทดลอง เพื่อใช้ในการทดสอบการวัดปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัดจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมสำหรับลักษณะการรั่วซึมแบบต่างๆ
2. ทำการทดลองโดยการจำลองระบบอากาศอัดที่ระดับความดัน 1-8 บาร์ และทำการตรวจวัดหาปริมาณการรั่วซึมในระบบอากาศอัดจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม
3. ทำการศึกษาวิเคราะห์ เพื่อทำการปรับปรุงแก้ไข และเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย ของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัดจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษา และรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย
2. สร้างชุดทดลอง และเสนอวิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัด
3. ทำการทดลอง เพื่อวัดหาปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัด
4. ศึกษาเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย และวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง
5. สรุปผลที่ได้จากการทดลอง และจัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

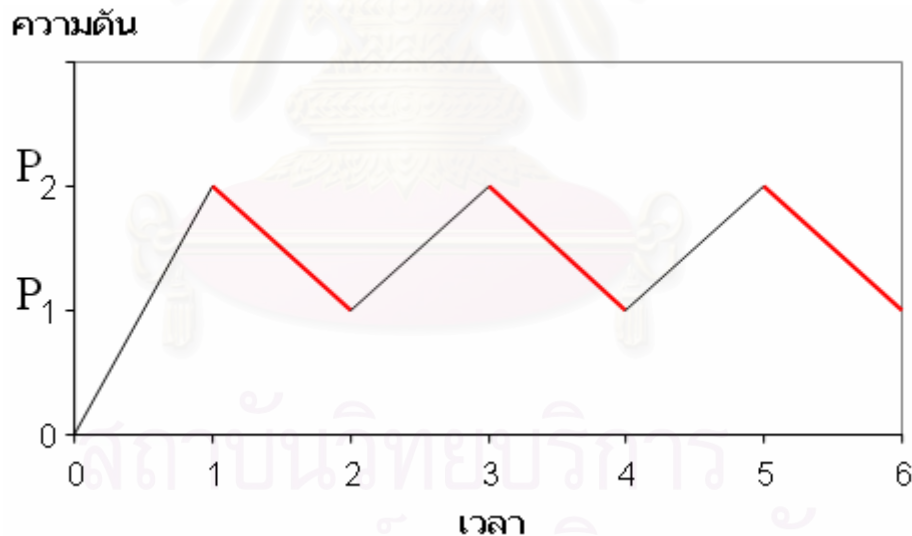
1. เพื่อให้ทราบถึงลักษณะ และวิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมในระบบอากาศอัดจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม
2. นำเสนอวิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัดจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมในแนวทางที่เหมาะสม
3. เพื่อให้ทราบถึงข้อดี ข้อเสีย ของวิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัดจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ
4. สามารถนำไปเป็นข้อมูลใช้ในการประเมินการสูญเสียพลังงานของระบบอากาศอัดที่เกิดจากการรั่วซึมของระบบอากาศอัดจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมสำหรับลักษณะการรั่วซึมแบบต่างๆ

บทที่ 2

เอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย (2543) ได้ทำการเสนอวิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมในระบบอากาศอัด เพื่อให้วิธีการวัดเหมาะสมกับการนำไปใช้งานจึงได้มีการนำเสนอไว้ 3 วิธี

1. วิธีการทำงานและหยุดการทำงานของเครื่องอัดอากาศ มีวิธีการคือ ต้องปิดอุปกรณ์ที่ใช้งานในระบบอากาศอัดทั้งหมด หลังจากนั้นให้ทำการอัดอากาศจนมีความดันในระบบตามที่ใช้งานหรือเครื่องอัดอากาศหยุดทำงาน แล้วทำการจับเวลาที่เครื่องอัดอากาศหยุดทำงานเมื่อมีการรั่วซึมของอากาศความดันในระบบจะลดลงจนถึงระดับหนึ่ง แล้วเครื่องอัดอากาศจะทำการอัดอากาศอีกครั้ง ทำการจับเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำการอัดอากาศ ทำการทดลองแบบเดียวกันนี้ซ้ำกันหลายๆครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อผลการวัดที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น โดยจะแสดงหลักการดังกล่าวที่รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงหลักการการทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบวิธีการทำงานและหยุดการทำงาน

เมื่อ

P_1 คือ ค่าความดันที่เครื่องอัดอากาศเริ่มทำการอัดอากาศครั้งใหม่ (kPa)

P_2 คือ ค่าความดันที่เครื่องอัดอากาศหยุดทำงาน (kPa)

ช่วง 0-1 คือ ระยะเวลาที่เครื่องอัดอากาศเริ่มทำงาน

ช่วง 1-2,3-4,5-6 คือ ระยะเวลาที่เครื่องอัดอากาศหยุดทำงาน

ช่วง 2-3,4-5 คือ ระยะเวลาที่เครื่องอัดอากาศทำการอัดอากาศครั้งใหม่ จากวิธีการดังกล่าวจะได้ค่าการรั่วซึมของอากาศคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราการจ่ายอากาศอัดตามสมการ (2-1) ดังนี้

$$L = \frac{t_1}{t_1 + t_2} \times 100\% \quad (2-1)$$

เมื่อ

L คือ การรั่วซึมของอากาศคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราการจ่ายอากาศอัด

t_1 คือ เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอัดอากาศทำงาน (sec)

t_2 คือ เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอัดอากาศหยุดทำงาน (sec)

จะได้อัตราการรั่วซึมของอากาศตามสมการ (2-2)

$$Q = F L \quad (2-2)$$

เมื่อ

Q คือ อัตราการรั่วซึม (l/s)

F คือ อัตราการจ่ายอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศ (l/s)

จากวิธีดังกล่าวนี้ ชะนะ ต้นสุวิทย์ (2545) ได้ใช้วิธีการแบบเดียวกันนี้ไปทดลองวัดกับระบบอากาศอัดของโรงงานแห่งหนึ่ง และทำการวัดปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตอากาศอัดของระบบอากาศอัด เพื่อทำการเทียบปริมาณการรั่วซึมออกมาเป็นจำนวนเงิน โดยโรงงานนี้ใช้เครื่องอัดอากาศที่มีกำลังอัด 500 ลิตร/วินาที ผลที่ได้คือ ได้ปริมาณการรั่วซึม 100 ลิตร/วินาที เครื่องอัดอากาศผลิตอากาศได้ 189 ลิตร/กิโลวัตต์ ค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียคิดเป็น 30 กิโลวัตต์ เมื่อเครื่องอัดอากาศทำงานวันละ 8 ชั่วโมง 300 วัน/ปี คิดอัตราค่าไฟฟ้า 2.5 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังนั้นเมื่อคิดเป็นเงินที่ต้องสูญเสียจากการรั่วซึมอากาศอัดของระบบอากาศอัดในโรงงานนี้จะเป็น 180,000 บาท/ปี

Kelly Beiermann (2003) ได้ใช้หลักการเดียวกันนี้ไปทดลองกับระบบอัดอากาศแห่งหนึ่ง แต่ได้ทำการทดลองที่ระดับความดันที่แตกต่างกัน คือ 6.20,6.89,7.58 และ 8.27 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ โดยทำการทดลองที่ระบบอากาศอัดเดียวกัน ได้ปริมาณการรั่วซึม 170,186,202 และ 218 ลูกบาศก์ฟุต/นาที่ เมื่อเครื่องอัดอากาศทำงาน 8760 ชั่วโมง/ปี เครื่องอัดอากาศผลิตอากาศได้ 4 ลูกบาศก์ฟุต/แรงม้า จะได้อัตราการสูญเสียพลังงาน 277,000 , 304,000 , 330,000 และ 356,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ตามลำดับ จากผลที่ได้สรุปได้ว่าการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการรั่วซึมในระบบอากาศอัดจะมีค่าแปรผันตรงกันกับค่าความดันที่ใช้งานในระบบ และสัดส่วนของการรั่วซึมกับความดันที่เปลี่ยนแปลงมีสัดส่วนค่อนข้างคงที่

2. วิธีการวัดค่าความดันที่ลดลง มีวิธีการคือ ต้องปิดอุปกรณ์ที่ใช้งานในระบบอากาศอัดทั้งหมด จากนั้นให้เครื่องอัดอากาศทำการอัดอากาศจนมีความดันในระบบตามที่ใช้งานหรือเครื่องอัดอากาศหยุดทำงาน บันทึกค่าความดัน แล้วทำการจับเวลาประมาณ 5 นาที แต่อาจใช้เวลามากหรือน้อยกว่าก็ได้เมื่อมีการรั่วซึมความดันในระบบก็จะลดลง หลังจากครบเวลาที่กำหนด ทำการวัดค่าความดันอีกครั้งหนึ่ง ทำการทดลองแบบเดียวกันนี้ซ้ำกันหลายๆครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อผลการวัดที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น ดังนั้นจะได้อัตราการรั่วซึมตามสมการ (2-3) ดังนี้

$$Q = \frac{V(P_2 - P_1)}{t \times 101 \text{ kPa}} \quad (2-3)$$

เมื่อ

Q คือ อัตราการรั่วซึม (l/s)

V คือ ปริมาตรทั้งหมดของระบบอากาศอัด (l)

P_2 คือ ค่าความดันเฉลี่ยสูงสุดของระบบอากาศอัด (kPa)

P_1 คือ ค่าความดันเฉลี่ยของระบบอัดอากาศหลังจากทำการจับเวลา (kPa)

t คือ เวลาเฉลี่ยที่ทำการจับเวลา (sec)

วงกต วงศ์อภัย (2549) ได้ใช้หลักการนี้ไปทดลองกับระบบอากาศอัดแห่งหนึ่งที่ใช้เครื่องอัดอากาศขนาด 10,000 ลูกบาศก์ฟุต/นาทีก และกำหนดว่าเครื่องอัดอากาศผลิตอากาศอัดได้ 4 ลูกบาศก์ฟุต/แรงม้า ผลที่ได้คือ เกิดการรั่วซึมในระบบประมาณ 3,000 ลูกบาศก์ฟุต/นาทีก เมื่อคิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ต้องสูญเสียจะมีประมาณ 560 กิโลวัตต์ ระบบอากาศอัดมีการทำงาน 8750 ชั่วโมง/ปี และคิดอัตราค่าไฟฟ้ารวมค่าบำรุงรักษา 3 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง จะได้เงินที่ต้องสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมประมาณ 14,800,000 บาท/ปี และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ต้องสูญเสียจะมีค่าประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของระบบอากาศอัดทั้งระบบ จะเห็นได้ว่าเป็นปริมาณการสูญเสียที่มากและมีสัดส่วนที่สูง ดังนั้นระบบอากาศอัดระบบนี้จึงจำเป็นต้องมีการแก้ไขปรับปรุงต่อไป

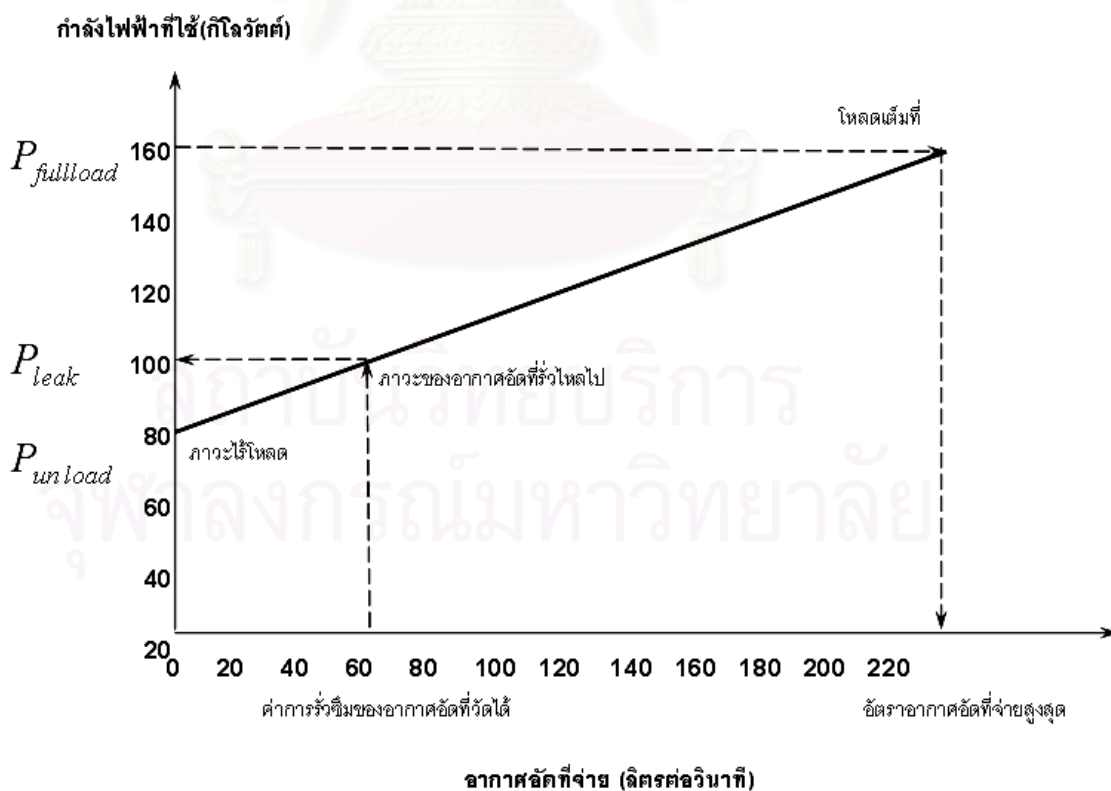
U.S. Department of Energy (2003) ได้ใช้หลักการแบบเดียวกันนี้ ทำการนำเสนอวิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมของระบบอากาศอัดแต่จะแตกต่างกันที่มีค่าเฟกเตอร์ของเครื่องอัดอากาศคูณเพิ่มเข้าไปเพื่อให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังนั้นจะได้ปริมาณการรั่วซึมของเครื่องอัดอากาศตามสมการ (2-4) ดังนี้

$$Q = \frac{V(P_2 - P_1)}{t \times 101 \text{ kPa}} \times 1.25 \quad (2-4)$$

Pacific Gas and Electric Company (2003) ได้นำหลักการนี้และใช้สมการ (2-4) ของกรมพลังงานของประเทศสหรัฐอเมริกาไปหาอัตราการรั่วซึมของระบบอากาศอัด ซึ่งได้นำไปทดลองกับระบบอัดอากาศแห่งหนึ่งที่ใช้อากาศอัดความดันเฉลี่ย 6.89 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

ระบบอากาศอัดทำงานตลอด 24 ชั่วโมง เครื่องอัดอากาศผลิตอากาศอัดได้ 4 ลูกบาศก์ฟุต/แรงม้า เมื่อคิดปริมาณการสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมจะได้ประมาณ 125.5 ล้านลูกบาศก์ฟุต/ปี เมื่อคิดการสูญเสียเป็นพลังงานจะสูญเสียประมาณ 350,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี คิดอัตราค่าไฟฟ้าที่ 2.5 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง จะได้อัตราการสูญเสียเป็นเงินประมาณ 875,000 บาท/ปี ซึ่งจะเห็นว่าเป็นจำนวนเงินที่มาก ระบบอากาศอัดระบบนี้จึงจำเป็นต้องมีการแก้ไขปรับปรุงเพื่อลดปัญหาการรั่วซึมที่เกิดขึ้น

3. วิธีวัดจากกราฟแสดงสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ มีวิธีการคือ ต้องปิดอุปกรณ์ที่ใช้งานในระบบอากาศอัดทั้งหมด จากนั้นให้เครื่องอัดอากาศทำการอัดอากาศจนมีความดันในระบบตามที่ใช้งานหรือเครื่องอัดอากาศหยุดทำงาน เมื่อมีการรั่วซึมระบบจะมีความดันลดลงทำให้เครื่องอัดอากาศทำงานอีกครั้ง ทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงของการอัดอากาศหรือเรียกว่า ค่าระหว่างช่วงที่ไม่มีการใช้งานระบบอากาศอัด ทำการทดลองแบบเดียวกันนี้ซ้ำกันหลายครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อผลการวัดที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น แล้วนำค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ไปหาปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดจากกราฟแสดงสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ โดยกราฟนี้จะแสดงค่าระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้กับอัตราอากาศอัดที่จ่ายในระบบอากาศอัดดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างกราฟแสดงสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ

เมื่อ

$P_{full\ load}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เครื่องอัดอากาศทำงานเมื่อโหลดเต็มที่ (kW)

$P_{un\ load}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เครื่องอัดอากาศทำงานในสภาวะไร้โหลด (kW)

P_{leak} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดจากการรั่วซึมหรือช่วงไม่มีการใช้งาน (kW)

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2548) ได้มีการนำเสนอวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดในระบบอากาศอัด ไว้โดยใช้วิธีการคำนวณจากค่าความดันของระบบกับขนาดของรอยรั่วที่เกิดการรั่วซึม โดยได้ใช้หลักการและวิธีการจากหัวข้อ 3.5 เพื่อใช้ในการคำนวณและมีการประยุกต์เพื่อให้เหมาะสมและมีความถูกต้องในการนำไปใช้งาน ได้กำหนดให้ $C_D = 0.9888$, $C^* = 0.6862$, $Z = 1$, $R = 287.1\ J/(kg\ K)$ ที่สภาพอากาศอ้างอิง $293.15\ K$ ซึ่งได้นำเสนอสมการที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาอัตราการรั่วซึมไว้ ดังนี้

$$l = \frac{0.001 \times \pi (d^2) \times C_D \times C^* \times P_N \times Z \times R \times T_1}{4 \times P_1 \times \sqrt{R \times T_N}} \quad (2-5)$$

โดย

l คือ อัตราการรั่วซึมของอากาศอัด (l/s)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดรูรั่ว (mm)

C_D คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการรั่วซึม (Discharge Coefficient)

C^* คือ ค่าคงตัวของการไหลวิกฤต (Critical Flow Factor)

P_N คือ ความดันอากาศสัมบูรณ์ขณะอยู่ในท่อ (kPa)

Z คือ ตัวประกอบในการอัดอากาศ

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (kJ/kg·K)

T_1 คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศอ้างอิง (K)

P_1 คือ ความดันอากาศสัมบูรณ์อ้างอิง (kPa)

T_N คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศขณะอยู่ในท่อ (K)

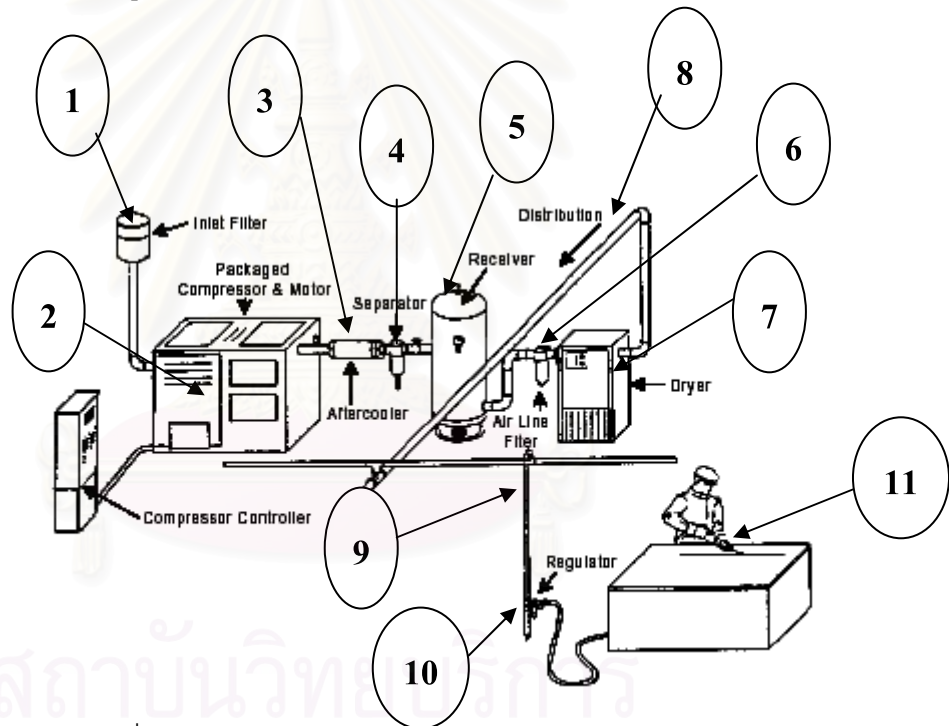
จากสมการ (2-5) จะเห็นได้ว่าค่าของอัตราการรั่วซึมจะทราบได้จากการคำนวณโดยจะขึ้นอยู่กับค่าของความดัน อุณหภูมิ และขนาดของรอยรั่ว ณ ตำแหน่งที่ทำการวัด ซึ่งค่าต่างๆ ที่ทำการวัดนี้ควรจะทำการวัดหลายๆครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ระบบอากาศอัด

ระบบอากาศอัดเป็นระบบที่ทำหน้าที่ผลิตอากาศอัดที่มีความดันสูง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เพื่อนำไปใช้งานกับระบบหรืออุปกรณ์ที่ต้องการอากาศอัดที่มีความดันสูง ส่วนมากจะมีการใช้งานอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบอากาศอัดที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายแบบแตกต่างกัน แต่ส่วนประกอบหลักที่ใช้อยู่ทั่วไปนั้นจะมีส่วนประกอบหลักที่เหมือนกัน และมีลำดับการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยจะแยกออกเป็นสามส่วนสำคัญ 3 ส่วน ดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงระบบอากาศอัด

1. ส่วนการสร้างอากาศอัด (Air Compression Section)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ผลิตอากาศอัดจากอากาศปกติให้กลายเป็นอากาศที่มีความดันสูง และจัดเก็บอากาศที่มีความดันสูงนี้ไว้ เพื่อนำไปใช้งานต่อไป โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1.1 ตัวกรองอากาศขาเข้า (Air Inlet Filter)

ทำหน้าที่กรองฝุ่นหรือสิ่งสกปรกออกจากอากาศ เพื่อให้ทำให้อากาศมีความสะอาดก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 หมายเลข 1

1.2 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

ระบบอากาศอัดจะมีเครื่องอัดอากาศเป็นอุปกรณ์หลักแสดงในรูปที่ 3.1 หมายเลข 2 โดยอาศัยมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ต้นกำลัง เพื่อขับให้เครื่องอัดอากาศอัดอากาศให้มีความดันที่สูงขึ้น มีหลักการทำงานโดยทั่วไปคือ ดูดอากาศที่ความดันปกติเข้าสู่ห้องอัดอากาศแล้วทำให้ปริมาตรของห้องอัดมีขนาดเล็กลง อากาศที่ที่ปริมาตรน้อยลงนั้นจะมีความดันที่เพิ่มขึ้นแล้วส่งอากาศอัดความดันสูงเข้าสู่ระบบอากาศอัด เครื่องอัดอากาศจะมีวิธีการอัดอากาศและชนิดเครื่องอัดอากาศที่แตกต่างกันไปตามความต้องการของระบบอากาศอัดที่นิยมใช้อยู่ทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ดังนี้

1.2.1 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ (Piston Air Compressor)

เป็นการอัดอากาศโดยอาศัยการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของตัวลูกสูบในระบบสูบ มีทั้งการอัดอากาศแบบอัดอากาศด้านเดียว และอัดอากาศได้สองด้าน นอกจากนี้ยังแบ่งเป็นแบบลูกสูบเดี่ยวหรือลูกสูบหลายลูก จัดเรียงลำดับเป็นแนวเดียวกันหรือ เป็น รูปตัววี หรือ ดับเบิ้ลยู เป็นต้น เครื่องอัดอากาศประเภทนี้จะอัดอากาศได้ความดันที่สูงมาก มีราคาถูกเหมาะสำหรับการทำงานกับระบบที่รับโหลดที่ไม่สม่ำเสมอได้ดี เนื่องจากเนื่องจากมีอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับการทำงานในช่วงโหลดต่ำ ส่งผลให้มีการใช้พลังงานในช่วงโหลดต่ำน้อยมาก แต่ลมที่อัดได้มีปริมาณน้อย เกิดเสียงดัง มีขนาดใหญ่ การสิ้นสະเทือนสูง อากาศอัดที่ออกไปมีอุณหภูมิสูงเป็นสาเหตุให้เกิดน้ำในระบบมากกว่าระบบอื่น ไม่สามารถเดินเครื่องตลอด 24 ชั่วโมงได้ และเมื่อใช้งานไปนานๆจะเกิดการสึกหรอของลูกสูบ ส่งผลให้ปริมาณลมที่อัดได้จะลดลงกว่าเดิมมาก

1.2.2 เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีเวน (Rotary Vane Compressor)

เป็นการอัดอากาศโดยอาศัยตัวโรเตอร์ซึ่งมีสไลด์ตั้งเวดติดอยู่ โดยที่แกนหมุนของตัวโรเตอร์จะไม่อยู่ที่จุดศูนย์กลางดังนั้นเมื่อโรเตอร์หมุนไป สไลด์ตั้งเวดจะยึดออกและหดเข้าเมื่อการหมุนครบรอบ ซึ่งการหมุนของตัวโรเตอร์นี้จะทำให้ปริมาตรของอากาศถูกบีบให้ลดลง เป็นผลให้ความดันของอากาศเพิ่มขึ้นก่อนที่จะถูกส่งออกไปใช้งาน เครื่องอัดอากาศประเภทนี้จะอัดได้อากาศที่มีความดันที่ไม่สูง และปริมาณอากาศน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องอัดอากาศแบบอื่น แต่จะมีเสียงเงียบที่สุด มีขนาดเล็ก การสิ้นสະเทือนน้อย และอากาศอัดที่ได้มีความดันมีค่าคงที่

ดังนั้นจึงเหมาะสมกับการรับโหลดเต็มที่และสม่ำเสมอจึงให้ประสิทธิภาพที่ดีแต่การทำงานในช่วงโหลดต่ำและความดันต่ำกว่าปกติ ประสิทธิภาพด้านการทำงานจะต่ำมาก

1.2.3 เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีสกรู (Rotary Screw Compressor)

เครื่องอัดอากาศชนิดนี้จะมีสกรู ทำหน้าที่เป็นตัวอัดอากาศ เมื่อมีอากาศผ่านเข้ามาในเครื่องอัดอากาศแล้วอากาศจะถูกอัดโดยสกรูอัดอากาศภายในห้องอัด ซึ่งการหมุนของ สกรูจะทำให้ปริมาตรของอากาศถูกบีบให้ลดลง เป็นผลให้ความดันของอากาศเพิ่มขึ้นก่อนที่จะถูกส่งออกไปใช้งาน เครื่องอัดอากาศประเภทนี้จะผลิตอากาศอัดได้ปริมาณมาก อากาศอัดมีค่าความดันที่มีค่าเกือบคงที่ อากาศอัดที่ผลิตได้มีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก สามารถเดินเครื่องตลอด 24 ชั่วโมงได้ เมื่อมีการทำงานจะไม่เกิดเสียงดัง มีการสั่นสะเทือนน้อย ขนาดกะทัดรัด เหมาะสำหรับการทำงานที่รับโหลดเต็มที่และสม่ำเสมอจะได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดี แต่จะมีราคาสูง อากาศอัดที่ได้มีค่าความดันไม่สูงมากนัก และไม่เหมาะสำหรับการทำงานที่รับโหลดต่ำและความดันต่ำกว่าที่กำหนดจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศต่ำมาก เครื่องอัดอากาศประเภทนี้มีการนำไปใช้งานมากที่สุด

1.2.4 เครื่องอัดอากาศแบบอาศัยแรงเหวี่ยง (Centrifugal Air Compressor)

เครื่องอัดอากาศประเภทนี้จะมีใบพัดอยู่ในแนวรัศมี ทำหน้าที่อัดอากาศโดยอากาศจะผ่านเข้าบริเวณจุดกึ่งกลางของใบพัด และถูกอัดโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เมื่อใบพัดหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงมากๆจะเป็นการเพิ่มความเร็วให้กับอากาศ ซึ่งความเร็วของอากาศนี้จะเปลี่ยนไปเป็นความดันที่เพิ่มขึ้น แล้วส่งอากาศอัดออกไปทางรอบนอกของใบพัด เครื่องอัดอากาศประเภทนี้จะอัดอากาศได้ความดันสูง และความดันคงที่สม่ำเสมอ ได้ปริมาณอากาศอัดที่มาก มีเสียงน้อย มีขนาดเล็ก แต่ต้องใช้กำลังในการขับสูงมาก มีประสิทธิภาพสูงเหมาะสำหรับระบบที่ต้องการปริมาณอากาศอัดปริมาณมากๆ

1.3 อุปกรณ์ระบายความร้อนหลังการอัด (After Cooler)

ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของอากาศที่ออกมาจากเครื่องอัดอากาศดังแสดงในรูปที่ 3.1 หมายเลข 3 เพื่อให้อุณหภูมิจากอากาศอัดที่มีค่าสูงเนื่องจากกระบวนการอัดอากาศมีค่าลดลงซึ่งตัวระบายความร้อนนั้นโดยทั่วไปจะนิยมใช้อากาศเป็นตัวระบายความร้อนเพราะ อากาศเป็นสิ่งที่หาได้ง่าย สามารถนำไปใช้ได้ทันที และมีราคาถูก

1.4 ตัวแยกน้ำมัน (Oil Separator)

ทำหน้าที่แยกละออง หรือหยดน้ำมันที่ปนเปื้อนมาในอากาศอัดออกจากอากาศอัด เช่น เกิดจากการปนเปื้อนมาจากกระบวนการอัดของเครื่องอัดอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 หมายเลข 4

1.5 วาล์วนิรภัย (Safety Valve)

ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ความดันของอากาศอัดในระบบอากาศอัดสูงเกินไป โดยทั่วไปจะติดตั้งที่ถังเก็บอากาศ

1.6 มาตรวัดความดัน (Pressure Gauge)

ทำหน้าที่แสดงค่าความดันของอากาศอัดในระบบโดยทั่วไปจะมีติดตั้งอยู่ที่ถังเก็บอากาศ หรืออุปกรณ์ที่ต้องการทราบค่าความดัน

1.7 ถังเก็บอากาศ (Air Receiver)

ทำหน้าที่เก็บอากาศอัดก่อนส่งจ่ายสู่ระบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 หมายเลข 5 เพื่อปรับความสมดุลของความดันให้มีค่าคงที่สม่ำเสมอ และทำหน้าที่เป็นตัวกักเก็บอากาศอัด เช่น กรณีมีการใช้งานของระบบอากาศอัดไม่เต็มที่ก็จะเก็บอากาศอัดที่เหลือจากการใช้งาน แต่ในกรณีที่มีการใช้งานเต็มที่ก็จะสามารถจ่ายอากาศอัดไปให้เพียงพอกับการใช้งาน

1.8 ตัวกรองอากาศภายในท่อ (Air Line Filter)

ทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรกออกจากอากาศอัดก่อนส่งจ่ายไปยังส่วนต่างๆ เพื่อให้อากาศอัดมีความสะอาดมากขึ้น ดังแสดงในรูป 3.1 หมายเลข 6

1.9 ตัวทำให้อากาศแห้ง (Air Dryer)

ทำหน้าที่ดูดความชื้นออกจากอากาศอัดก่อนส่งจ่ายอากาศอัด ตัวทำให้อากาศแห้งนี้จะมีลักษณะคล้ายระบบทำความเย็น เมื่ออากาศอัดผ่านเข้ามาในตัวทำให้อากาศแห้งอากาศอัดก็จะสัมผัสกับอุณหภูมิที่ต่ำความชื้นในอากาศอัดจึงเกิดการกลั่นตัวออกมาเป็นหยดน้ำ ดังนั้นอากาศที่ผ่านออกไปจึงเป็นอากาศที่แห้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 หมายเลข 7

2 ส่วนการจ่ายอากาศ (Air Distribution Section)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ส่งจ่ายอากาศอัดจากส่วนการสร้างอากาศอัดไปยังตำแหน่งต่างๆ ที่ต้องการ โดยจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

2.1 ท่อจ่ายลมหลัก (Main Line)

เป็นท่อที่มีขนาดใหญ่ ทำหน้าที่ส่งจ่ายอากาศอัดไปยังส่วนต่างๆที่ต้องการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 หมายเลข 8

2.2 ท่อจ่ายลมย่อย (Branch Line)

เป็นท่อที่มีขนาดเล็กกว่าท่อจ่ายลมหลัก ทำหน้าที่ส่งจ่ายอากาศอัดจากท่อจ่ายลมหลักไปยังอุปกรณ์ปลายทาง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 หมายเลข 9

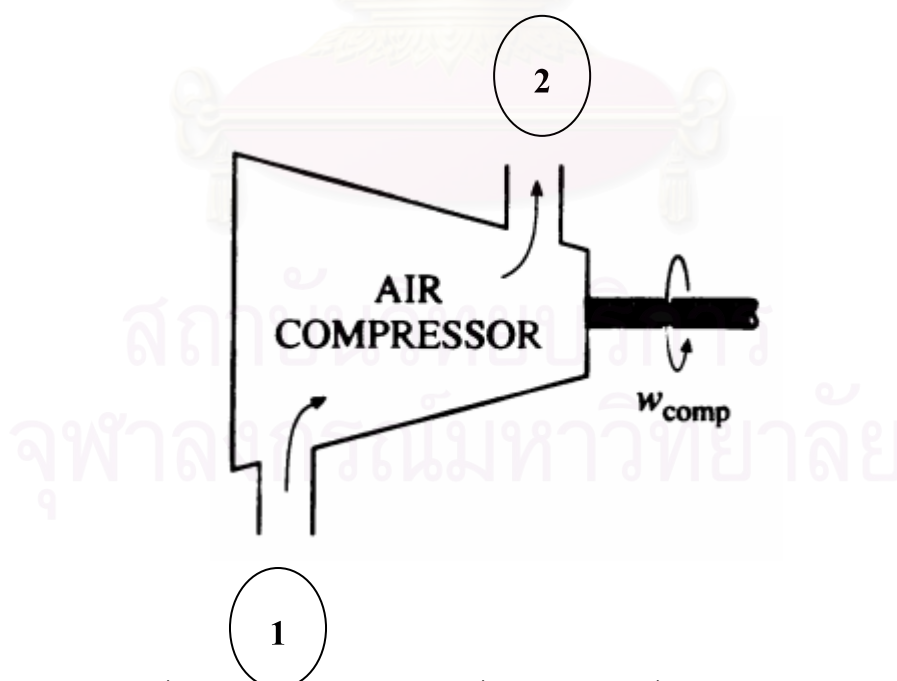
2.3 อุปกรณ์ควบคุมระดับความดันลม (Regulator)

ทำหน้าที่ควบคุมระดับความดันลมให้มีความดันตามที่อุปกรณ์ปลายทางต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 หมายเลข 10

3 ส่วนอุปกรณ์ปลายทาง (End User Section)

เป็นอุปกรณ์สุดท้ายของระบบอากาศอัด โดยจะนำอากาศอัดไปใช้งานกับอุปกรณ์ที่ต้องการอากาศอัด เช่น เครื่องมือที่ขับเคลื่อนด้วยกำลังลม เครื่องมือฉีดพ่นของเหลว เครื่องอัดจาระบี และเครื่องจักรต่างๆที่มีการใช้อากาศอัดในการทำงาน เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.1 หมายเลข 11

3.2 การหางานและประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ



รูปที่ 3.2 แสดงรูปจำลองของเครื่องอัดอากาศเพื่อใช้ในการคำนวณ

วิธีการคำนวณหางานของเครื่องอัดอากาศสามารถหาได้โดยใช้สมการอนุรักษ์พลังงาน และอาศัยสมมติฐานดังนี้

1. เครื่องอัดอากาศที่ลักษณะเป็นระบบเปิด (Open System)
2. อากาศมีลักษณะการไหลแบบคงที่ (Steady Flow)
3. เครื่องอัดอากาศที่ลักษณะเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้ (Reversible Work)
4. ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ในระบบ

จากสมมติฐานข้างต้นจะได้งานของเครื่องอัดอากาศมีค่า ดังนี้

$$w = - \int_1^2 v dP \quad (3-1)$$

โดย

w คือ งานของเครื่องอัดอากาศ (kJ/kg)

v คือ ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (m³/kg)

P คือ ค่าความดันของอากาศ (N/ m²)

กำหนดให้ระบบเป็นกระบวนการไอเซนโทรปิก (Isentropic Process) , อากาศเป็นก๊าซในอุดมคติ (Ideal Gas) และค่าความร้อนจำเพาะคงที่ (Constant Specific Heats) จะได้

$$Pv = RT \quad (3-2)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (3-3)$$

โดย

k คือ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (kJ/kg·K)

T คือ ค่าอุณหภูมิของอากาศ (K)

จากสมการ (3-1) , (3-2) และ (3-3) จะได้งานของเครื่องอัดอากาศมีค่าเป็น

$$w = \frac{kRT_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad (3-4)$$

แต่ในสภาพความเป็นจริงแล้วเครื่องอัดอากาศที่ใช้จริงจะแตกต่างกันกับเครื่องอัดอากาศในทางทฤษฎี โดยในระบบจริงจะมีการสูญเสียพลังงานในระบบเกิดขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น ความเสียดทาน (Friction) , การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) และ การสูญเสียเนื่องจากประสิทธิภาพของมอเตอร์ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่าดัชนีบางอย่างที่ใช้บอกถึงระดับของพลังงานที่สูญเสียไป โดยค่าดัชนีนี้จะได้มาจากการ

เปรียบเทียบกันระหว่างระบบในทางทฤษฎีกับระบบจริง ซึ่งค่าที่ได้นี้จะเรียกว่า ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ โดยจะมีค่าดังนี้

$$\eta = \frac{w_s}{w_a} \quad (3-5)$$

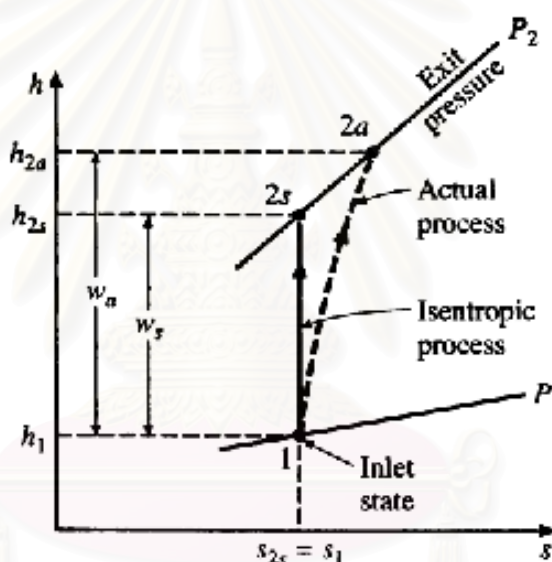
โดย

η คือ ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ

w_s คือ งานที่ป้อนให้กับเครื่องอัดอากาศแบบกระบวนการไอเซนโทรปิก (kJ/kg)

w_a คือ งานที่ป้อนให้กับเครื่องอัดอากาศแบบกระบวนการจริง (kJ/kg)

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์และพลังงานศักย์น้อยมาก งานที่ป้อนให้กับเครื่องอัดอากาศจะเท่ากับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดังนี้



รูปที่ 3.3 แสดงแผนภาพ h-s ของกระบวนการจริงและกระบวนการไอเซนโทรปิกของเครื่องอัดอากาศ

ดังนั้นจากสมการ (3-5) จะได้

$$\eta = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \quad (3-6)$$

โดย

h_{2s} คือ ค่าเอนทัลปีที่สภาวะทางออกของกระบวนการอัดแบบไอเซนโทรปิก (kJ/kg)

h_{2a} คือ ค่าเอนทัลปีที่สภาวะทางออกของกระบวนการอัดจริง (kJ/kg)

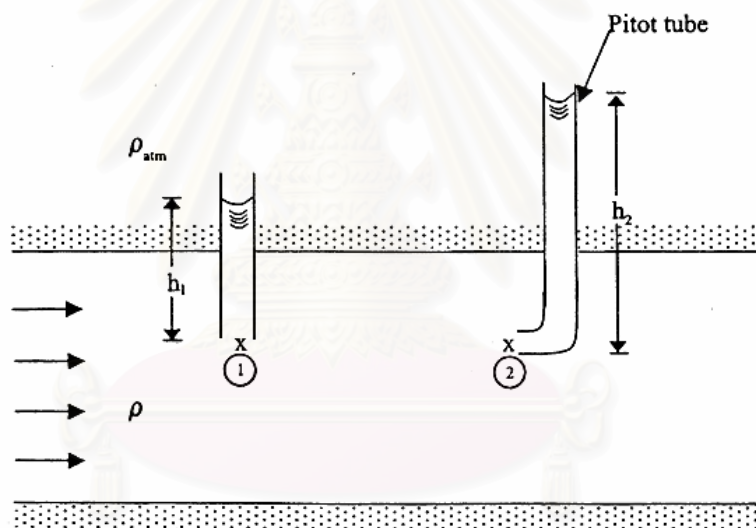
h_1 คือ ค่าเอนทัลปีที่สภาวะทางเข้าของกระบวนการอัด (kJ/kg)

3.3 การวัดอัตราไหลภายในท่อ

เครื่องมือหรือมาตรวัดที่ใช้วัดอัตราไหลของของไหลภายในท่อมียหลายลักษณะ และวิธีการวัดที่แตกต่างกัน แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะลักษณะที่ใช้วิธีการวัดความเร็วของของไหล เพื่อนำค่าของความเร็วไปคำนวณค่าอัตราไหลของของไหล ซึ่งวิธีการวัดความเร็วของของไหลนั้นมีหลายวิธี แต่จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

หลอดปิโทท (Pitot Tube)

มาตรวัดชนิดนี้ใช้วัดความเร็วของของไหลที่จุดใดจุดหนึ่ง มีลักษณะเป็นหลอดปลายงอ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ในการวัดจะจัดวางหลอดปิโททลงในตำแหน่งที่ต้องการวัดความเร็ว โดยหันปลายด้านงอเข้าหากระแสการไหลของของไหล แล้วต่อปลายอีกด้านหนึ่งกับமானอมิเตอร์ เพื่ออ่านค่าความเร็ว



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะและวิธีการใช้งานหลอดปิโทท (Kundu , 2005)

มีวิธีการคำนวณหาอัตราการไหลโดยใช้สมการแบร์นูลลี (Bernoulli Equation) และอาศัยสมมติฐาน ดังนี้

1. การไหลเป็นการไหลที่มีความหนืดน้อยมากหรือไม่มีความหนืด(Inviscid Flow)
2. การไหลเป็นการไหลแบบ Steady (Steady Flow)
3. การไหลเป็นการไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible Flow)
4. การไหลต้องเป็นแบบ Along Streamline (Flow Along Streamline)
5. การไหลต้องมีการไหลแบบ Irrotational (Irrotational Flow)
6. การไหลเป็นการไหลในแนวระดับ (Horizontal Flow)

7. Uniform Velocity Profile $a \cong 1$

จากสมมติฐานข้างต้นจะได้สมการแบร์นูลีเป็น

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} \quad (3-7)$$

โดย

P_1 คือ ค่าความดันที่ตำแหน่งอ้างอิง 1 (kPa)

P_2 คือ ค่าความดันที่ตำแหน่งอ้างอิง 2 (kPa)

u_1 คือ ค่าความเร็วที่ตำแหน่งอ้างอิง 1 (m/s)

u_2 คือ ค่าความเร็วที่ตำแหน่งอ้างอิง 2 (m/s)

ρ คือ ค่าความหนาแน่น (kg/m³)

ใช้สมการ (3-7) พิจารณามาตรวัดที่บริเวณ 1, 2 และระดับอ้างอิงผ่านแนวกลางท่อ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และกำหนดให้ $u_2 = 0$ จะได้

$$u_1 = \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}} \quad (3-8)$$

จากสมการ (3-8) จะได้ ค่าอัตราการไหลเป็น

$$Q = u_1 A_1 \quad (3-9)$$

โดย

Q คือ ค่าอัตราไหล (m³/s)

A_1 คือ พื้นที่หน้าตัดของตำแหน่งที่ 1 (m²)

แอนนิโมมิเตอร์ชนิด Hot Wire (Hot Wire Anemometer)

มาตรวัดชนิดนี้ใช้วัดความเร็วของของไหลที่ประกอบขึ้นด้วยเส้นลวดแพลทินัมหรือทังสเตน ซึ่งใช้วางขวางทิศทางการไหลของของไหล แล้วต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้า หลักการทำงานของเครื่องมือนี้อาศัยการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง นั่นคืออุณหภูมิของเส้นลวดความต้านทานจะขึ้นอยู่กับการถ่ายเทความร้อนของของไหล กล่าวคือถ้าความเร็วของของไหลมากขึ้นขดลวดร้อนจะเย็นตัวลงทำให้ค่าของความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าน้อยลง และกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรมากขึ้น ในการทำงานจริงๆ จะทำการต่อขดลวดร้อนเข้ากับวงจรไฟฟ้า โดยอาจจะให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านคงที่ และค่าแรงเคลื่อนที่อ่านได้จะแสดงถึงความเร็วของของไหล หรืออาจจะให้แรงเคลื่อนคงที่ที่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรแสดงถึงความเร็วของของไหล เครื่องมือชนิดนี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก ดังนั้นอาจจะใช้วัดค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วของของไหลที่จุดใดจุดหนึ่งก็ได้ และมีวิธีการคำนวณหาอัตราการไหล ดังนี้



รูปที่ 3.5 แสดงแอนนิโมมิเตอร์ชนิด Hot Wire

จะมีสมการคำนวณค่าอัตราการไหลเป็น

$$Q = u_1 A_1 \quad (3-10)$$

โดย

Q คือ ค่าอัตราการไหล (m^3/s)

u_1 คือ ค่าความเร็วของตำแหน่งที่ทำการวัด (m/s)

A_1 คือ พื้นที่หน้าตัดของตำแหน่งที่ทำการวัด (m^2)

แอนนิโมมิเตอร์ชนิดใบพัดหมุน (Vane Rotating Anemometer)

มาตรวัดชนิดนี้ใช้วัดความเร็วของของไหลที่มีลักษณะเป็นแบบใบพัดที่ออกแบบเป็นพิเศษคือมีค่าความต้านทานของแบริ่งที่ใช้กับใบพัดมีค่าต่ำมาก ใช้สำหรับการวัดความเร็วของไหลในช่องเปิด มีหลักการทำงานคือ นำส่วนที่เป็นใบพัดของแอนนิโมมิเตอร์ไปวางขวางทิศทางการไหลของของไหลที่จะทำการวัดความเร็วเมื่อใบพัดหมุนอากาศหมุนที่เกิดขึ้นบนแกนหมุนก็จะถูกส่งเข้าไปในวงจรไฟฟ้า จำนวนสัญญาณที่เกิดขึ้นกับวงจรเทียบกับหน่วยเวลาจะเป็นฟังก์ชันกับความเร็ว และมีวิธีการคำนวณหาอัตราการไหล ดังนี้



รูปที่ 3.6 แสดงแอนนิโมมิเตอร์ชนิดใบพัด

จะมีสมการคำนวณค่าอัตราการไหลเป็น

$$Q = u_1 A_1 \quad (3-11)$$

โดย

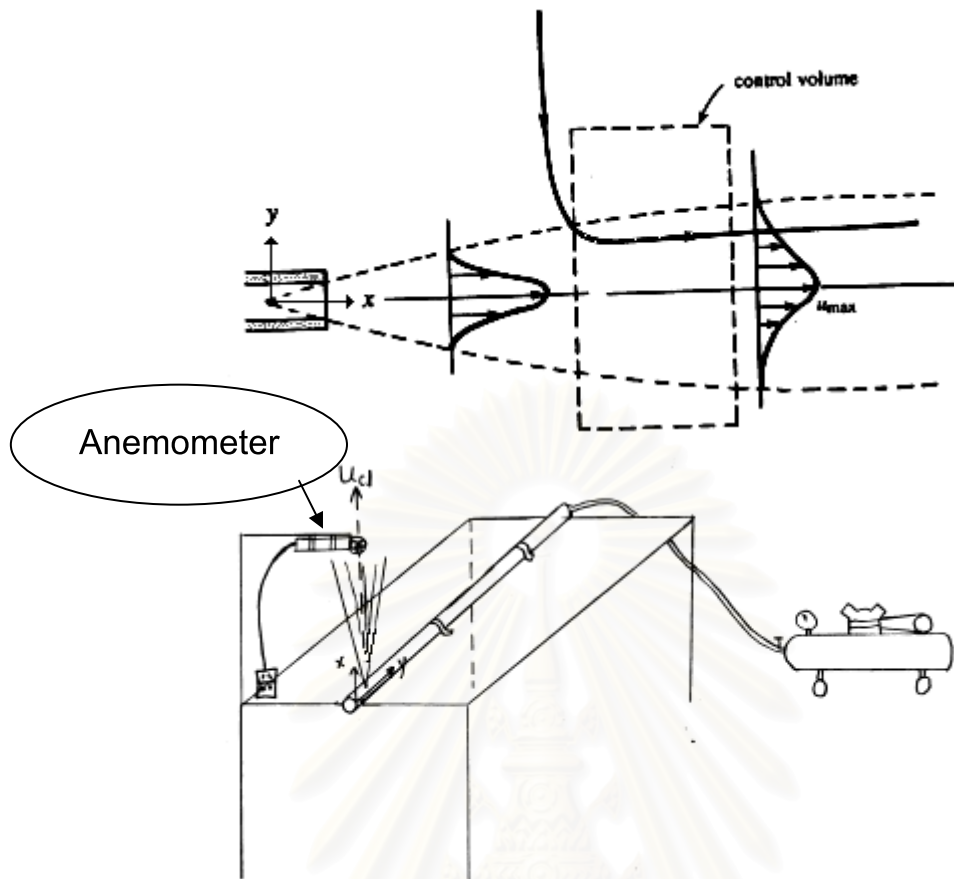
Q คือ ค่าอัตราไหล (m^3/s)

u_1 คือ ค่าความเร็วของตำแหน่งที่ทำการวัด (m/s)

A_1 คือ พื้นที่หน้าตัดของตำแหน่งที่ทำการวัด (m^2)

3.4 การวัดอัตราไหลของลำการไหล (Jet Flow Rate)

ลำการไหล คือ รูปแบบการไหลของของไหลที่พุ่งออกจากช่องเปิด หัวฉีดหรือท่อ และมีข้อสังเกตว่าลำการไหลจะต้องไม่ห่อหุ้มล้อมด้วยผนังแข็ง ซึ่งอาจห่อหุ้มด้วยของไหลชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ แต่ต้องมีความเร็วต่ำกว่ากระแสการไหล ลำการไหลแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ลำการไหลจม และลำการไหลอิสระ ในที่นี้จะขอกล่าวถึงลำการไหลอิสระเท่านั้นโดยการไหลจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 รูปแบบลำการไหลแบบอิสระ (Kundu,2005) และวิธีการวัดอัตราไหลในการทดลอง

การคำนวณหาอัตราไหลของลำการไหลอิสระสามารถใช้วิธีการพิจารณาได้หลายวิธีแต่ที่สนใจนั้นมี 2 วิธีดังนี้

1. ลำการไหลแบบ 2 มิติ (Two Dimensional Jets)

เป็นการพิจารณาการไหลโดยจะพิจารณาเฉพาะในแนวแกน x และในแนวแกน y โดยอาศัยสมมติฐานดังนี้

1. ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ มีค่าเป็น $Re = \frac{x u}{\nu}$ และสูงเพียงพอให้สามารถใช้สมการชั้นขอบเขตของการไหล (Boundary Layer Equation)
2. การไหลเป็นการไหลแบบ Steady (Steady Flow)
3. มีแรงกระทำจากภายนอกน้อยมากหรือไม่มีแรงกระทำจากภายนอก
4. มีค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดคงที่

เมื่อกำหนดให้การไหลมีลักษณะเป็นการไหลแบบราบเรียบที่มีลักษณะของการไหล
 ดังนี้ $\frac{\partial}{\partial y} \gg \frac{\partial}{\partial x}$, $v \ll u$, $\frac{\partial p}{\partial y} = 0$ และสมมติฐานข้างต้น ดังนั้นจะได้สมการของการ
 เคลื่อนที่ (Motion Equation) ของลำการไหล ดังนี้

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3-12)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (3-13)$$

โดย

u คือ ค่าความเร็วในระนาบแกน x (m/s)

v คือ ค่าความเร็วในระนาบแกน y (m/s)

ν คือ ค่าความหนืด (m^2/s)

กำหนดเงื่อนไขขอบเขต

$$y \rightarrow \pm\infty \quad ; \quad u = 0 \quad (3-14a)$$

$$y = 0 \quad ; \quad v = 0 \quad (3-14b)$$

$$x = x_0 \quad ; \quad u = u(x_0, y) \quad (3-14c)$$

จากสมการ (3-12) , (3-13) และเงื่อนไขขอบเขตจะได้ค่าของ Momentum Flux และ
 อัตราการไหลของของไหล ดังนี้

$$\dot{F} = \int_{-\infty}^{\infty} \rho u^2 dy \quad (3-15)$$

$$\dot{m} = \int_{-\infty}^{\infty} \rho u dy \quad (3-16)$$

โดย

\dot{F} คือ ค่าของ Momentum Flux ต่อหนึ่งหน่วยความลึกจากหน้ากระดาษ (kg/s^2)

\dot{m} คือ อัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความลึกจากหน้ากระดาษ ($kg/m \cdot s$)

ρ คือ ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)

ได้มีการนำเสนอสมการชั้นขอบเขตของการไหลแบบราบเรียบโดย Falkner และ
 Skan (1931) ดังนี้

$$\Psi(x, y) = [x \nu u_0(x)]^{\frac{1}{2}} f(\eta) \quad (3-17)$$

โดย

$\Psi(x, y)$ คือ Stream Function

x คือ ระยะในแนวแกน x (m)

ν คือ ค่าความหนืด (m^2/s)

$u_{cl}(x)$ คือ ความเร็วในแนวแกน x ที่ $y=0$ (m/s)

$f(\eta)$ คือ ฟังก์ชันของรูปร่าง (Dimensionless Function)

กำหนดให้

$$\eta = \left(\frac{y}{x}\right) [\text{Re}_x]^{1/2} \quad (3-18)$$

$$\text{Re}_x = \frac{x u_0(x)}{\nu} \quad (3-19)$$

จากสมการ (3-17) , (3-18) และ (3-19) จะได้

$$u = \frac{\partial \Psi}{\partial y} = u_0(x) f'(\eta) \quad (3-20)$$

$$dy = d\eta \left[\frac{\nu x}{u_0(x)} \right]^{1/2} \quad (3-21)$$

กำหนดให้

$$f'(\eta) = \text{sech}^2 \left(\frac{\eta}{\sqrt{6}} \right) \quad (3-22)$$

$$u_0(x) = C x^{-1/3} \quad (3-23)$$

โดย

C คือ ค่าคงที่ของรูปร่าง (Dimensionless Constant)

จากสมการ (3-20) , (3-22) และ (3-23) จะได้

$$u = C x^{-1/3} \text{sech}^2 \left(\frac{\eta}{\sqrt{6}} \right) \quad (3-24)$$

นำสมการ (3-21) และ (3-24) แทนค่าลงในสมการ (3-15) จะได้ค่าแรงผลักดัน มีค่าเป็น

$$\dot{F} = \left(\frac{4\sqrt{6}}{3} \right) \rho C^{3/2} \nu^{1/2} \quad (3-25)$$

ดังนั้นอัตราการไหลจากสมการ (3-16) จะกลายเป็น

$$\dot{m} = (36 \rho^2 \nu \dot{F} x)^{1/3} \quad (3-26)$$

แต่ในสภาพความเป็นจริงแล้วของไหลจะมีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) โดยอาศัยสมมติฐานเดียวกันจะได้สมการที่แตกต่างจากการไหลแบบราบเรียบ ดังนี้

$$u_0(x) = C x^{-1/2} \quad (3-27)$$

$$u = u_0(x) f(\eta) \quad (3-28)$$

กำหนดให้

$$f(\eta) = \sqrt{6} \tanh \left(\frac{\eta}{\sqrt{6}} \right) \quad (3-29)$$

ดังนั้นจากสมการ (3-27) , (3-28) และ (3-29) จะได้

$$u = \sqrt{6} C x^{-\frac{1}{2}} \tanh\left(\frac{\eta}{\sqrt{6}}\right) \quad (3-30)$$

นำสมการ (3-21) และ(3-30) แทนค่าลงในสมการ (3-15) จะได้ค่า Momentum Flux มีค่าเป็น

$$\dot{F} = \rho C^{\frac{3}{2}} v^{\frac{1}{2}} x^{-\frac{1}{4}} \int_{-\infty}^{\infty} f^2(\eta) d\eta \quad (3-31)$$

ดังนั้นอัตราการไหลจากสมการ (3-16) จะกลายเป็น

$$\dot{m} = \rho v^{\frac{1}{2}} C^{\frac{1}{2}} x^{\frac{1}{4}} \int_{-\infty}^{\infty} f(\eta) d\eta \quad (3-32)$$

2. ลำการไหลแบบสมมาตรรอบแกน (Axially Symmetric Jets)

จะเป็นการพิจารณาของไหลที่มีการไหลแบบราบเรียบ โดยจะพิจารณาเฉพาะในแนวรัศมี (r) รอบแกนสมมาตร (x) โดยอาศัยสมมติฐานเดียวกันกับลำการไหลแบบ 2 มิติ ดังนั้นจะได้สมการของการเคลื่อนที่ของลำการไหล ดังนี้

$$\frac{\partial (ru)}{\partial x} + \frac{\partial (rv)}{\partial r} = 0 \quad (3-33)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial r} = \frac{v}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (3-34)$$

โดย

u คือ ค่าความเร็วในระนาบแกน x (m/s)

v คือ ค่าความเร็วในระนาบรัศมี (m/s)

ν คือ ค่าความหนืด (m^2/s)

r คือ ค่าระยะในแนวรัศมี (m)

กำหนดเงื่อนไขขอบเขต

$$r \rightarrow \infty \quad ; \quad u = 0 \quad (3-35a)$$

$$r = 0 \quad ; \quad v = 0 \quad (3-35b)$$

จากสมการ (3-33) , (3-34) และเงื่อนไขขอบเขตจะได้ค่าของ Momentum Flux และอัตราการไหลของของไหล ดังนี้

$$\dot{F} = \int_{-\infty}^{\infty} \pi \rho u^2 r dr \quad (3-36)$$

$$\dot{m} = \int_{-\infty}^{\infty} \pi \rho u r dr \quad (3-37)$$

โดย

\dot{F} คือ ค่าของ Momentum Flux ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$)

\dot{m} คือ อัตราการไหล (kg/s)

ρ คือ ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)

กำหนดสมการชั้นขอบเขตของการไหลแบบราบเรียบ ดังนี้

$$\Psi(x, y) = \nu x f(\eta) \quad (3-38)$$

โดย

$\Psi(x, y)$ คือ Stream Function

x คือ ระยะในแนวแกน x (m)

ν คือ ค่าความหนืด (m^2/s)

$f(\eta)$ คือ ฟังก์ชันของรูปร่าง

กำหนดให้

$$\eta = \frac{r}{x\sqrt{\nu}} \quad (3-39)$$

จากสมการ (3-38) และ (3-39) จะได้

$$u = \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r} = \frac{f'(\eta)}{x\eta} \quad (3-40)$$

$$dr = x\sqrt{\nu} d\eta \quad (3-41)$$

กำหนดให้

$$f'(\eta) = \frac{2\eta C^2}{\left(1 + \frac{1}{4}C^2\eta^2\right)^2} \quad (3-42)$$

$$u_0(x) = \frac{C}{x} \quad (3-43)$$

โดย

C คือ ค่าคงที่ของรูปร่าง

จากสมการ (3-40) และ (3-42) จะได้

$$u = \frac{2C^2}{x\left(1 + \frac{1}{4}C^2\eta^2\right)^2} \quad (3-44)$$

นำสมการ(3-41) และ (3-44) แทนค่าลงในสมการ (3-36) จะได้ค่า Momentum Flux มีค่าเป็น

$$\dot{F} = 6\pi\rho\nu C^2 \quad (3-45)$$

ดังนั้นอัตราการไหลจากสมการ (3-37) จะกลายเป็น

$$\dot{m} = 8\pi\rho\nu x \quad (3-46)$$

แต่ในสภาพความเป็นจริงแล้วของไหลจะมีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน โดยอาศัยสมมติฐานเดียวกันจะได้สมการที่แตกต่างจากการไหลแบบราบเรียบ ดังนี้

$$u = u_0(x) f(\eta) \quad (3-47)$$

กำหนดให้

$$f(\eta) = \frac{C^2 \eta^2}{1 + \frac{1}{4} C^2 \eta^2} \quad (3-48)$$

ดังนั้นจากสมการ (3-43) , (3-47) และ (3-48) จะได้

$$u = \frac{C^3 \eta^2}{x \left(1 + \frac{1}{4} C^2 \eta^2 \right)} \quad (3-49)$$

นำสมการ (3-41) และ (3-49) แทนค่าลงในสมการ (3-36) จะได้ค่า Momentum Flux มีค่าเป็น

$$\dot{F} = \pi \rho \nu C^2 \int_{-\infty}^{\infty} \eta f^2(\eta) d\eta \quad (3-50)$$

ดังนั้นอัตราการไหลจากสมการ (3-37) จะกลายเป็น

$$\dot{m} = \pi \rho \nu x C \int_{-\infty}^{\infty} \eta f(\eta) d\eta \quad (3-51)$$

จะเห็นได้ว่าการพิจารณาการวัดอัตราไหลของลำการไหลทั้ง 2 วิธีนี้ อัตราการไหลและความเร็วของลำการไหลจะมีค่าแปรผันตามระยะของค่า x โดยเมื่อระยะของค่า x เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเร็วของลำการไหลมีค่าลดลง โดยจะมีค่าลดลงแตกต่างกันไปตามลักษณะและวิธีการพิจารณาข้างต้น แต่ปริมาณของอัตราไหลนั้นจะมีลักษณะตรงกันข้ามคือ เมื่อระยะของค่า x มีค่าเพิ่มขึ้นปริมาณของอัตราไหลจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อระยะของค่า x มีค่าเพิ่มขึ้นนั้นทำให้มีระยะของการรวมตัวของปริมาณของไหลจากภายนอกที่เข้ามาพร้อมกับปริมาณของลำการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยจึงทำให้ปริมาณของลำการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันไปตามลักษณะและวิธีการพิจารณาข้างต้นเช่นกัน

จากวิธีการดังกล่าวนี้ Schlichting (1958) ได้ทำการทดลอง และเสนอค่าของความเร็ว ดังนี้

$$u = \frac{7.41 \sqrt{\dot{F}/\rho}}{x \left[1 + 5.75 \left(\frac{r^2}{x^2} \right) \right]^2} \quad (3-52)$$

จากสมการ (3-52) Stoeker (1968) ได้เสนอวิธีการหาค่าอัตราไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เมื่อกำหนดให้ $r=0$ จากสมการ (5-52) จะกลายเป็น

$$u_{cl} = \frac{7.41 \sqrt{\dot{F}/\rho}}{x} \quad (3-53)$$

โดย

u_{cl} คือ ค่าความเร็วบนแนวแกน x ($r=0$) (m/s)

กำหนดให้

$$\dot{F} = \rho u_0^2 A_0 \quad (3-54)$$

โดย

u_0 คือ ค่าความเร็วที่ระยะ $x=0$ (m/s)

A_0 คือ พื้นที่ของช่องเปิด (m^2)

จากสมการ (3-53) และ (3-54) จะได้

$$\frac{u_{cl}}{u_0} = \frac{7.41\sqrt{A_0}}{x} \quad (3-55)$$

ดังนั้นจะได้ค่าของอัตราไหลเป็น

$$Q = u_0 A_0 \quad (3-56)$$

โดย

Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

3.5 การวัดอัตราไหลโดยการคำนวณจากค่าความดัน

การวัดอัตราไหลวิธีนี้ จะเป็นการหาค่าอัตราไหลโดยการคำนวณจากค่าความดันในระบบอากาศอัด และขนาดรอยรั่วที่เกิดการรั่วซึม โดยอาศัยสมมติฐาน ดังนี้

1. การไหลเป็นแบบหนึ่งมิติ (One Dimensional Flow)
2. การไหลเป็นการไหลที่อัดตัวได้ (Compressible Flow)
3. การไหลเป็นกระบวนการไอเซนโทรปิก (Isentropic Flow)
4. เป็นก๊าซในอุดมคติ (Ideal Gas)
5. การไหลเป็นการไหลแบบ Steady (Steady Flow)

จากสมมติฐานข้างต้นจะได้อัตราการไหล ดังนี้

$$\dot{m} = \rho A V \quad (3-57)$$

โดย

\dot{m} คือ อัตราการไหล (kg/s)

ρ คือ ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)

A คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัด (m^2)

V คือ ค่าความเร็ว (m/s)

จากสมมติฐานข้างต้น จะได้

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (3-58)$$

$$V = Ma \sqrt{kRT} \quad (3-59)$$

โดย

P คือ ค่าความดัน (kPa)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (kJ/kg·K)

T คือ ค่าอุณหภูมิ (K)

Ma คือ มัคนัมเบอร์ (Mach Number)

k คือ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Ratio)

จากสมการ (3-57) , (3-58) และ (3-59) จะได้

$$\dot{m} = P A Ma \sqrt{\frac{k}{RT}} \quad (3-60)$$

การไหลเป็นแบบไอเซนโทรปิก และเป็นก๊าซในอุดมคติ ดังนั้นจะได้

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \left(\frac{k-1}{2} \right) Ma^2 \quad (3-61)$$

$$\frac{P_0}{P} = \left[1 + \left(\frac{k-1}{2} \right) Ma^2 \right]^{\frac{k}{k-1}} \quad (3-62)$$

โดย

T_0 คือ ค่าอุณหภูมิ stagnation (Stagnation Temperature) (K)

P_0 คือ ค่าความดัน stagnation (Stagnation Pressure) (kPa)

จากสมการ (3-61) และ (3-62) จะได้อัตราไหลเป็น

$$\dot{m} = \frac{A Ma P_0 \sqrt{\frac{k}{RT_0}}}{\left[\frac{1 + (k-1)Ma^2}{2} \right]^{\frac{(k+1)}{2(k-1)}}} \quad (3-63)$$

เมื่อกำหนดให้การไหลเป็นการไหลแบบใช้ค (Choked Flow) ดังนั้นค่า $Ma = 1$ ซึ่งจะได้
อัตราไหลกลายเป็น

$$\dot{m} = A P_0 \sqrt{\frac{k}{RT_0}} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{(k+1)}{2(k-1)}} \quad (3-64)$$

จากวิธีการคำนวณดังกล่าวนี้กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้มีการประยุกต์สมการในการคำนวณการรั่วซึมของอากาศอัดเพื่อให้เหมาะสมและมีความถูกต้องในการนำไปใช้งาน จึงได้นำเสนอสมการที่ใช้ในการคำนวณไว้ ดังนี้

$$Q = \frac{\pi(d^2) \times C_D \times Z \times C^* \times P_N \times R \times T_1}{4 \times P_1 \times \sqrt{R \times T_N}} \quad (3-65)$$

โดย

Q คือ อัตราการรั่วซึมของอากาศอัด (m^3/s)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดรูรั่ว (m^2)

C_D คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการรั่วซึม (Discharge Coefficient)

C^* คือ ค่าคงตัวของการไหลวิกฤต (Critical Flow Factor)

P_N คือ ความดันอากาศสัมบูรณ์ขณะอยู่ในท่อ (kPa)

Z คือ ตัวประกอบในการอัดอากาศ

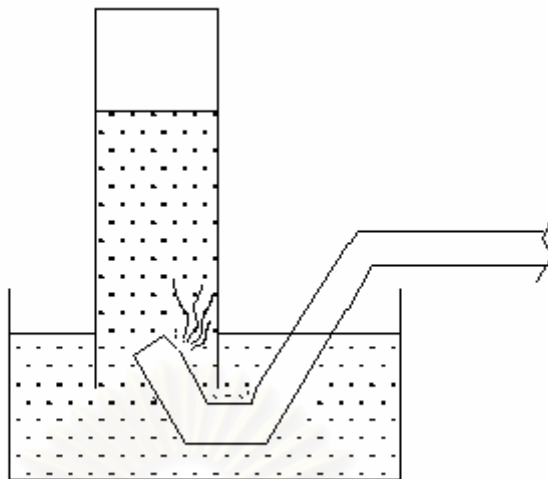
T_1 คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศอ้างอิง (K)

P_1 คือ ความดันอากาศสัมบูรณ์อ้างอิง (kPa)

T_N คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศขณะอยู่ในท่อ (K)

3.6 การวัดอัตราไหลโดยการแทนที่น้ำ

วิธีนี้จะสามารถใช้วัดอัตราไหลของของไหลที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ และไม่สามารถรวมตัวกับน้ำ เมื่อรวมอยู่ด้วยกันจะมีการแบ่งชั้นของของไหลกับน้ำอย่างชัดเจน ใช้วัดอัตราไหลของของไหลที่มีอัตราไหลน้อยมาก และเป็นวิธีการวัดอัตราไหลที่ใช้อุปกรณ์ในการวัดอย่างง่ายสามารถทำได้หลายวิธี แต่จะยกตัวอย่างวิธีที่ใช้การแทนที่น้ำในกระบอกตวง ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ คือกระบอกตวงที่สามารถอ่านค่าปริมาณความจุได้ โดยอาศัยวิธีการ คือเมื่อของไหลที่จะวัดอัตราไหลไหลเข้าไปในกระบอกตวงของไหลที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าก็จะเข้าไปแทนที่น้ำในกระบอกตวงจะสามารถสังเกตเห็นของไหลแบ่งชั้นกับน้ำอยู่ในกระบอกตวงดังแสดงในรูปที่ 3.8 และหาอัตราไหลได้โดยการอ่านปริมาณของของไหลจากกระบอกตวงแล้วทำการจับเวลาแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาอัตราไหล



รูปที่ 3.8 แสดงวิธีวัดอัตราการไหลโดยหลักการแทนที่น้ำ

จะมีสมการคำนวณอัตราการไหล ดังนี้

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3-66)$$

โดย

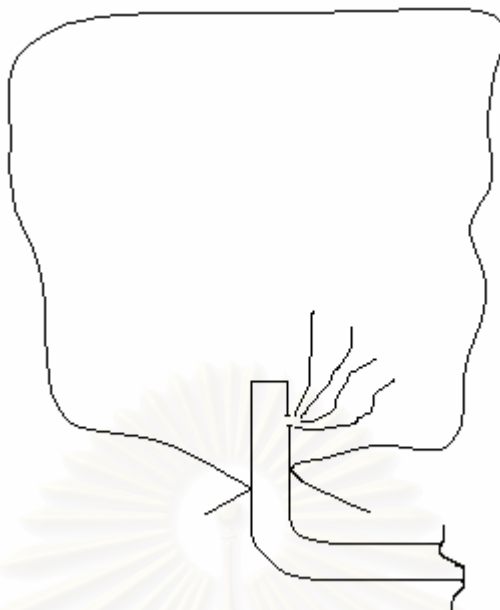
Q คือ อัตราการไหล (l/s)

V คือ ปริมาณของของไหลในกระบอกตวง (l)

t คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการไหล (sec)

3.7 การวัดอัตราการไหลโดยการใช้ตุ้มนครอบ

วิธีนี้จะสามารถใช้วัดอัตราการไหลของของไหลที่สามารถใช้ตุ้มนครอบเก็บของไหลไว้ได้ เป็นวิธีการวัดอัตราการไหลที่ใช้อุปกรณ์ในการวัดอย่างง่าย มีลักษณะวิธีการไม่ยุ่งยาก สามารถทำได้หลายรูปแบบตามความเหมาะสม แต่จะยกตัวอย่างรูปแบบที่กำหนดให้ตุ้มที่ใช้วัดอัตราการไหลเป็นตุ้มที่มีขนาดคงที่ คือเมื่อใช้ตุ้มที่มีขนาดคงที่ปริมาตรความจุของตุ้มก็จะมีขนาดคงที่ด้วยจึงสามารถหาปริมาณของของไหลที่เข้าไปอยู่ในตุ้มขณะที่ทำการวัดได้ซึ่งจะมีค่าเท่ากับปริมาตรของตุ้ม โดยจะมีวิธีการวัดอัตราือนำตุ้มที่ทราบปริมาตรไปครอบของไหลที่ทำการวัดอัตราการไหลและจับเวลาที่ของไหลไหลเข้าไปในตุ้มจนเต็มตุ้มแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการไหล



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะวิธีการใช้ถุงครอบ

จะมีสมการคำนวณอัตราไหล ดังนี้

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3-67)$$

โดย

Q คือ อัตราการไหล (l/s)

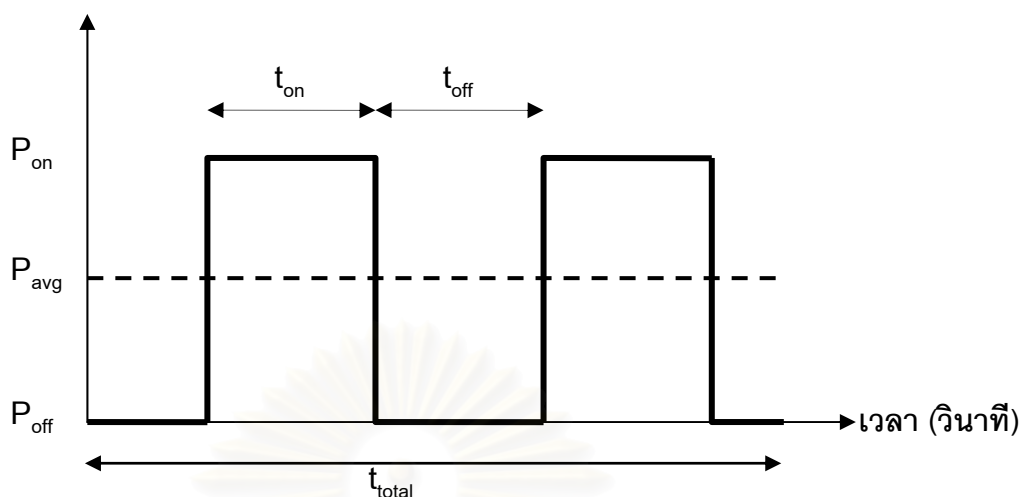
V คือ ปริมาณของของไหลในถุง (l)

t คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการไหล (sec)

3.8 การวัดค่ากำลังไฟฟ้า

จะเป็นการวัดค่าของปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ระบบอากาศอัดใช้ในการผลิตอากาศอัด โดยเมื่อทำการวัดแล้วจะได้กราฟที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.10 จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าช่วงที่เครื่องอัดอากาศทำงานจะมีการใช้ไฟฟ้าในการผลิตตลอดเวลา แต่ช่วงที่เครื่องอัดอากาศหยุดทำงานจะไม่มีการใช้ไฟฟ้าในการผลิต เมื่อเครื่องอัดอากาศทำงานอีกครั้งหนึ่งก็จะมีการใช้ไฟฟ้าอีก ซึ่งเมื่อทำการวัดต่อไปเรื่อยๆค่าที่ได้จะมีลักษณะคล้ายรูปคลื่น ดังนั้นค่าการใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตอากาศอัดจะเป็นการเฉลี่ยค่าของการใช้ไฟฟ้าตลอดช่วงการทำงาน โดยค่าเฉลี่ยของการใช้ไฟฟ้าหาได้จากค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ตลอดช่วงการทำงานของระบบอากาศอัด

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์)



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการใช้ไฟฟ้าในระบบอากาศอัด

จากรูปที่ 3.10 สามารถหา P_{avg} ได้โดยใช้สมการ

$$P_{avg} = \frac{P_{on} t_{on}}{t_{total}} \quad (3-67)$$

เมื่อ

P_{on} คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงที่เครื่องอัดอากาศทำงาน

P_{off} คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงที่เครื่องอัดอากาศหยุดการทำงาน

P_{avg} คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดช่วงการทำงาน

t_{on} คือ เวลาที่ใช้ในช่วงที่เครื่องอัดอากาศทำงาน

t_{off} คือ เวลาที่ใช้ในช่วงที่เครื่องอัดอากาศหยุดการทำงาน

t_{total} คือ เวลาที่ใช้ในตลอดช่วงการทำงาน

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ซึ่งได้จำลองระบบอากาศอัด ลักษณะของการรั่วซึม และนำเสนอวิธีการที่ใช้ในการวัดปริมาณการรั่วซึม โดยประกอบด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 6 วิธี เพื่อให้เหมาะสมกับการวิจัย ซึ่งรายละเอียดของเนื้อหาที่จะอธิบายในบทนี้แบ่งเป็นหัวข้อดังนี้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองระบบอัดอากาศ อุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองลักษณะของการรั่วซึม อุปกรณ์ เครื่องมือ และรายละเอียดของวิธีที่ใช้ในการวัดปริมาณการรั่วซึม วิธีการวัดและบันทึกผลการทดลอง ขั้นตอนของการทำการทดลอง โดยจะมีรายละเอียดของแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองระบบอากาศอัด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองระบบอัดอากาศนั้นประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนการสร้างอากาศอัด และส่วนการจ่ายอากาศอัด ซึ่งจะมีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังนี้

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนการสร้างอากาศอัด

ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ผลิตอากาศอัดจากอากาศปกติให้กลายเป็นอากาศความดันสูง และจัดเก็บอากาศที่มีความดันสูง เพื่อส่งจ่ายไปใช้ในการทดลอง โดยใช้ส่วนการสร้างอากาศอัดของ PUMA รุ่น PP-23 มีลักษณะดังรูปที่ 4.1 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

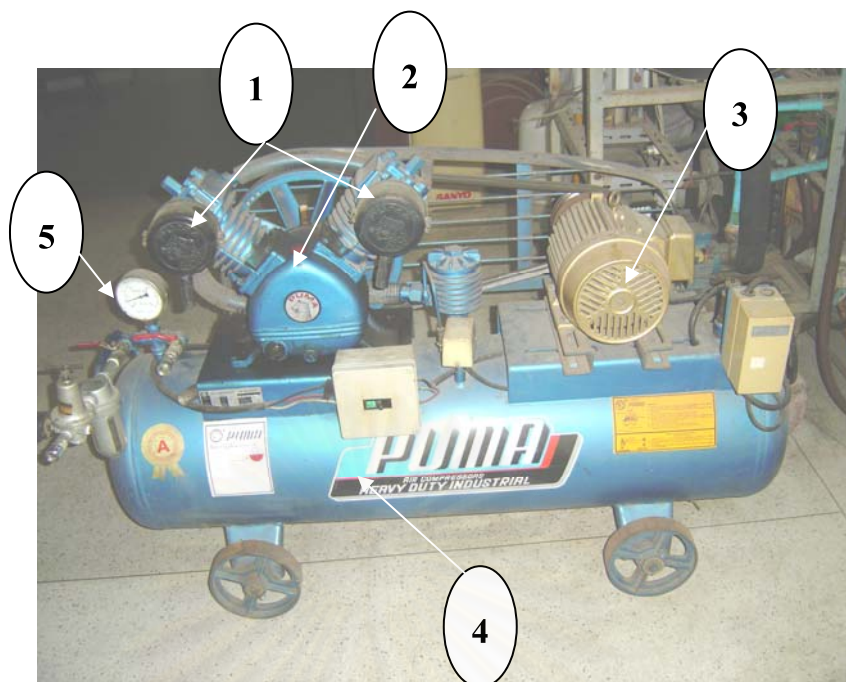
ตัวกรองอากาศขาเข้า มีลักษณะดังรูปที่ 4.1 หมายเลข 1

เครื่องอัดอากาศ เป็นเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ชนิด 2 กระบอกสูบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ 80 มิลลิเมตร ระยะเวลาชัก 60 มิลลิเมตร มีอัตราการผลิตอากาศอัด 480 ลิตรต่อนาที ผลิตอากาศอัดมีความดันสูงสุด 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีลักษณะดังรูปที่ 4.1 หมายเลข 2

มอเตอร์ เป็นมอเตอร์ของ TOSHIBA รุ่น M 30163-01 มีกำลัง 3 แรงม้า ความเร็วรอบ 1420 รอบต่อนาที มีลักษณะดังรูปที่ 4.2 หมายเลข 3

ถังเก็บอากาศ มีขนาดความจุสูงสุด 168 ลิตร สามารถเก็บอากาศอัดที่มีความดันสูงสุด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีลักษณะดังรูปที่ 4.1 หมายเลข 4

มาตรวัดความดัน สามารถอ่านค่าความดันสูงสุดได้ 15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีลักษณะดังรูปที่ 4.1 หมายเลข 5



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของส่วนการสร้างอากาศอัด

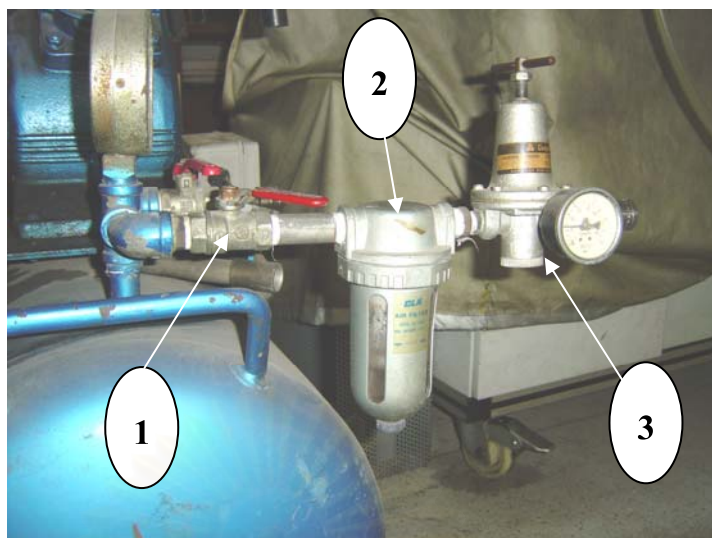
4.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนการจ่ายอากาศอัด

ทำหน้าที่ส่งจ่ายอากาศอัดจากส่วนการสร้างอากาศอัดไปยังตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมในการทดลอง ซึ่งจะมีรายละเอียดและขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์แต่ละชนิดดังต่อไปนี้

วาล์วปิด-เปิด อากาศอัด เป็นวาล์วของ GIACOMINI ชนิด บอลวาล์ว รุ่น R250D ทำหน้าที่ควบคุมการปิด-เปิดการส่งจ่ายอากาศอัดไปยังการทดลอง โดยติดตั้งต่อจากส่วนการสร้างอากาศอัดโดยตรง มีลักษณะและวิธีการติดตั้งดังรูปที่ 4.2 หมายเลข 1

ตัวกรองอากาศภายในท่อ ใช้ตัวกรองของ CLK รุ่น CLF-900G สามารถใช้กับอากาศอัดที่มีความดันสูงสุด 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรกและความชื้นจากอากาศอัดก่อนส่งจ่ายไปใช้ในการทดลอง โดยติดตั้งต่อจากวาล์วปิด-เปิด มีลักษณะและวิธีการติดตั้งดังรูปที่ 4.2 หมายเลข 2

วาล์วควบคุมความดัน เป็นวาล์วของ COMP AIR รุ่น A 119 -2 สามารถใช้กับอากาศอัดที่มีความดันสูงสุด 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำหน้าที่ควบคุมความดันของอากาศอัดที่ส่งจ่ายไปใช้ในการทดลอง โดยติดตั้งต่อจากตัวกรองอากาศภายในท่อ มีลักษณะและวิธีการติดตั้งดังรูปที่ 4.2 หมายเลข 3



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะและวิธีการติดตั้งของอุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนการจ่ายอากาศอัด

ข้อต่อแบบสวมเร็ว เป็นข้อต่อของ THB ทำหน้าที่เชื่อมต่อท่อจ่ายลมกับอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ในการทดลอง มีลักษณะดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงข้อต่อแบบสวมเร็วชนิดต่างๆ

ท่อจ่ายลม ใช้ท่อจ่ายลมพลาสติกใสของ ASHUN PU ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 12 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ส่งจ่ายอากาศอัดไปยังตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมในการทดลอง โดยติดตั้งต่อจากวาล์วควบคุมความดัน ซึ่งใช้ข้อต่อแบบสวมเร็วในการเชื่อมต่อ มีลักษณะและวิธีการติดตั้งดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะและวิธีการติดตั้งของท่อจ่ายลม

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้จำลองตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม

ใช้ท่อพีวีซี ของ NPI ตราช้าง รุ่น CLASS 13.5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร ซึ่งสร้างรอยที่เกิดการรั่วซึม โดยการใช้สว่านเจาะรูกลมด้านข้างของท่อ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งมีขนาดของรูกลมที่เจาะ 4 ขนาด คือ 1, 2, 3 และ 4 มิลลิเมตร เพื่อนำไปใช้ในการทดลองในกรณีที่แตกต่างกัน



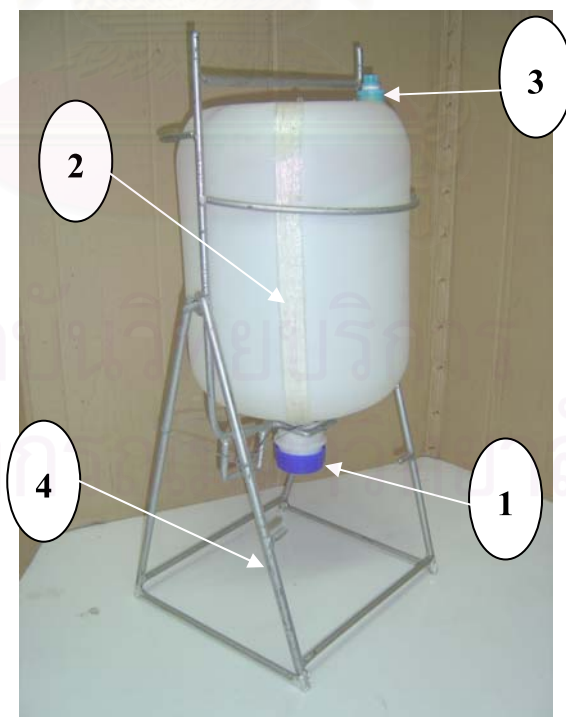
รูปที่ 4.5 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้จำลองตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม

4.3 วิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ

วิธีนี้มีหลักการคือ เมื่ออากาศอัดรั่วซึมจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม อากาศที่รั่วซึมจะเข้าไปแทนที่น้ำที่อยู่ในกระบอกตวงทำให้สามารถหาปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัด เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการรั่วซึมของอากาศอัดต่อไป โดยใช้ขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม 4 ขนาด คือ 1 , 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตร ซึ่งแต่ละขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าความดันของอากาศอัดที่จ่ายให้แก่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมแตกต่างกัน 8 ค่า คือ 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 และ 8 บาร์ โดยทุกกรณีจะใช้ระบบอัดอากาศชนิดเดียวกัน ซึ่งมีรายละเอียด วิธีการ และ ขั้นตอนดังนี้

4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

กระบอกตวงพร้อมขาตั้งกระบอกตวง โดยกระบอกตวงใช้ถังน้ำดื่มของ เค แอล น้ำดื่ม เป็นถังน้ำพลาสติกมีฝาปิดที่ปากกระบอกตวงมีลักษณะดังรูปที่ 4.6 หมายเลข 1 มีปริมาตรสุทธิ 18.9 ลิตร ทำขีดขึ้นความละเอียด 0.25 ลิตร เพื่อใช้สำหรับการอ่านค่าปริมาตรมีลักษณะดังรูปที่ 4.6 หมายเลข 2 และเจาะติดตั้งทางน้ำเข้าที่ใช้สำหรับเติมน้ำเข้ากระบอกตวงมีลักษณะดังรูปที่ 4.6 หมายเลข 3 พร้อมสร้างขาตั้งกระบอกตวงทำจากโครงเหล็กเชื่อมต่อกัน มีลักษณะดังรูปที่ 4.6 หมายเลข 4



รูปที่ 4.6 แสดงกระบอกตวงพร้อมขาตั้ง

ถังบรรจุน้ำ ใช้ถังบรรจุน้ำของ เพชรสยามไค้ตท์แวร์ ทำจากพลาสติกทึบ ขนาดกว้าง 62 มิลลิเมตร ยาว 72 มิลลิเมตร สูง 41 มิลลิเมตร ใช้สำหรับบรรจุน้ำในการทดลอง มีลักษณะดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงถังบรรจุน้ำ

ปั้มน้ำพร้อมท่อสายยาง โดยใช้ปั้มน้ำของ SONIC รุ่น AP 1600 มีกำลัง 20 -23 วัตต์ อัตราไหล่สูงสุด 900 ลิตรต่อชั่วโมงและท่อสายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร ยาว 2.5 เมตร ใช้สำหรับเติมน้ำในกระบอกตวง มีลักษณะดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงปั้มน้ำพร้อมท่อสายยาง

นาฬิกาจับเวลา ใช้นาฬิกาจับเวลาของ TAKSUN รุ่น TS-613A ใช้สำหรับจับเวลาในการทดลอง มีลักษณะดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงนาฬิกาจับเวลา

4.3.2 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ และขั้นตอนในการทดลอง



รูปที่ 4.10 แสดงวิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ

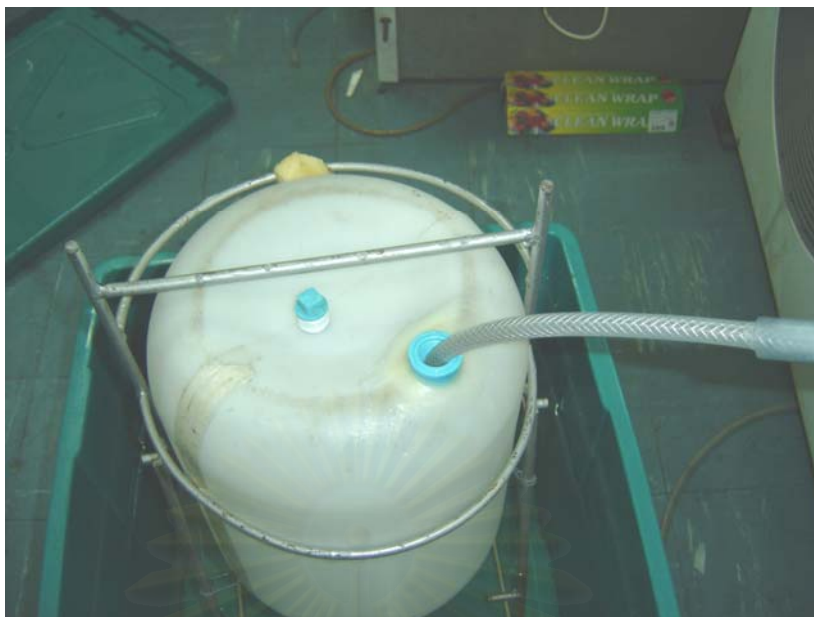
การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนั้นจะใช้อุปกรณ์ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น มีวิธีการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการ และขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. คว่ำปากกระบอกตวงลง แล้วนำไปวางลงบนแท่นวางกระบอกตวง นำกระบอกตวงที่ติดตั้งบนแท่นวางไปใส่ในถังบรรจุน้ำ ดังรูปที่ 4.11
2. เติมน้ำในถังบรรจุน้ำให้ระดับน้ำท่วมปากกระบอกตวง 20 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงวิธีการนำกระบอกตวงพร้อมขาตั้งใส่ในถังที่บรรจุน้ำ

3. ใช้ฝาปิดปากกระบอกตวง แล้วใช้ปั้มน้ำพร้อมสายยางเติมน้ำเข้ากระบอกตวงที่ทางน้ำเข้ากระบอกตวงจนเต็ม ดังรูปที่ 4.12 และทำการปิดทางน้ำเข้ากระบอกตวง แล้วเปิดฝาปากกระบอกตวง



รูปที่ 4.12 แสดงวิธีการเติมน้ำเข้าระบบอกตวง

4. นำส่วนที่เกิดการรั่วซึมขนาดรูที่รั่วซึม 1 มิลลิเมตรต่อกับท่อจ่ายลมด้วยข้อต่อแบบสวมเร็ว ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงวิธีการต่อส่วนที่เกิดการรั่วซึมกับท่อจ่ายลม

5. นำส่วนที่เกิดการรั่วซึมใส่เข้าไปในระบบอกตวงทางปากระบบอกตวง ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงวิธีการนำส่วนที่เกิดการรั่วซึมใส่เข้าไปในกระบอกตวง

6. ทำการปรับวาล์วควบคุมความดันให้จ่ายอากาศอัดที่ความดัน 1 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงวิธีการปรับวาล์วควบคุมความดัน

7. เปิดวาล์วจ่ายอากาศอัดไปยังตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม พร้อมกับทำการกดปุ่มจับเวลา ดังแสดงในรูป 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงวิธีการเปิดวาล์วจ่ายอากาศอัด

8. ปิดวาล์วจ่ายอากาศอัด อ่านค่าปริมาณอากาศอัดที่รั่วซึมไปแทนที่น้ำ และระยะเวลาที่ใช้ในการรั่วซึม แล้วบันทึกค่าที่ได้
9. ทำการทดลองซ้ำหลายครั้ง เพื่อหาความถูกต้องของค่าที่วัดได้จากการทดลอง
10. ทำการปรับวาล์วควบคุมความดันให้จ่ายอากาศอัดในการทดลองเป็น 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 และ 8 บาร์ตามลำดับ แล้วทำการทดลองในข้อ 3-9 ซ้ำอีกครั้ง
11. ทำการเปลี่ยนขนาดของขนาดรูที่เกิดการรั่วซึมเป็น 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตร ตามลำดับแล้วทำการทดลองในข้อ 3-10 ซ้ำอีกครั้ง

จากการทดลองจะได้ค่าของปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัด และระยะเวลาที่ใช้ในการรั่วซึมของแต่ละกรณี แล้วนำค่าที่บันทึกได้ไปคำนวณหาอัตราการรั่วซึมของอากาศอัดต่อไป

4.4 วิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้ถุงครอบ

วิธีนี้มีหลักการคือ เมื่ออากาศอัดเกิดการรั่วซึมจะนำถุงไปครอบตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม แล้วอากาศที่รั่วซึมจะเข้าไปอยู่ในถุงที่นำไปครอบไว้ ทำให้สามารถหาปริมาณของอากาศที่รั่วซึมได้ เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการรั่วซึมของอากาศอัดต่อไป โดยใช้ขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม 4 ขนาด คือ 1 , 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตร ซึ่งแต่ละขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าความดันของอากาศอัดที่จ่ายให้แก่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมแตกต่างกัน 8 ค่า

คือ 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 และ 8 บาร์ โดยทุกกรณีจะใช้ระบบอัดอากาศชนิดเดียวกัน ซึ่งมีรายละเอียด วิธีการ และขั้นตอนดังนี้

4.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ถุงที่ใช้ในการทดลอง เป็นถุงขยะสีดำของ CHAMPION ขนาดกว้าง 25 นิ้ว ยาว 35 นิ้ว ใช้สำหรับครอบตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมเพื่อกักเก็บอากาศที่รั่วซึม มีลักษณะดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงถุงที่ใช้ในการทดลอง

กระบอกตวง ใช้กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตรมีขีดชั้นความละเอียด 5 มิลลิลิตร เพื่อใช้หาปริมาตรของถุงที่ใช้ในการทดลอง มีลักษณะดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงกระบอกตวง

นาฬิกาจับเวลา ใช้นาฬิกาจับเวลาของ TAKSUN รุ่น TS-613A ใช้สำหรับจับเวลาในการทดลอง มีลักษณะดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แสดงนาฬิกาจับเวลา

4.4.2 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ และขั้นตอนในการทดลอง



รูปที่ 4.20 แสดงวิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมโดยใช้ถุงครอบ

การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนั้นจะใช้อุปกรณ์ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น มีวิธีการทดลองดังรูปที่ 4.20 ซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการ และขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. นำกระบอکتวง ตวงน้ำใสในถุงจนเต็มเพื่อหาปริมาตรของถุง ดังแสดงในรูปที่ 4.21 แล้วทำการบันทึกค่าปริมาตรที่ได้



รูปที่ 4.21 แสดงวิธีหาปริมาตรของถุง

2. นำส่วนที่เกิดการรั่วซึมขนาดรูที่รั่วซึม 1 มิลลิเมตรต่อกับท่อจ่ายลมด้วยข้อต่อแบบสวมเร็ว ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แสดงส่วนที่เกิดการรั่วซึมต่อกับท่อจ่ายลม

- นำถุงที่ทราบปริมาตรแล้วไปครอบตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ดังแสดงในรูปที่ 4.23



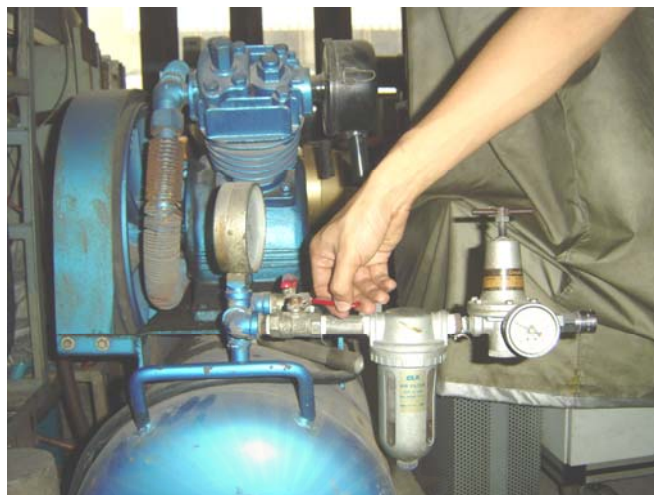
รูปที่ 4.23 แสดงวิธีนำถุงไปครอบตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม

- ทำการปรับวาล์วควบคุมความดันให้อย่างอากาศอัดที่ความดัน 1 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แสดงวิธีการปรับวาล์วควบคุมความดัน

- เปิดวาล์วจ่ายอากาศอัดไปยังตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ดังแสดงในรูปที่ 4.25 พร้อมทำการกดปุ่มจับเวลา



รูปที่ 4.25 แสดงวิธีการเปิดวาล์วจ่ายอากาศอัด

6. เมื่ออากาศที่รั่วซึมเต็มถัง ปิดวาล์วจ่ายอากาศ แล้วทำการอ่านค่าระยะเวลาที่ใช้ในการรั่วซึม แล้วบันทึกค่าที่ได้
7. ทำการทดลองซ้ำหลายครั้ง เพื่อหาความถูกต้องของค่าที่วัดได้จากการทดลอง
8. ทำการปรับวาล์วควบคุมความดันให้จ่ายอากาศอัดในการทดลองเป็น 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 และ 8 บาร์ตามลำดับ แล้วทำการทดลองในข้อ 2-6 ซ้ำอีกครั้ง
9. ทำการเปลี่ยนขนาดของขนาดรูที่เกิดการรั่วซึมเป็น 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตรตามลำดับ แล้วทำการทดลองในข้อ 2-7 ซ้ำอีกครั้ง

จากการทดลองจะได้ค่าปริมาตรของถังที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาณของอากาศอัดที่รั่วซึมเข้าไปในถังจนเต็มถัง และระยะเวลาที่ใช้ในการรั่วซึมของแต่ละกรณี แล้วนำค่าที่บันทึกได้ไปคำนวณหาอัตราการรั่วซึมของอากาศอัดต่อไป

4.5 วิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้วิธีวัดอัตราไหลของลำการไหล

จากสมการอัตราไหลของลำการไหล จะเห็นได้ว่าปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดสามารถคำนวณได้จากสมการของลำการไหล ซึ่งค่าของอัตราไหลนั้นจะขึ้นอยู่กับระยะ และความเร็วของอากาศอัดในแนวแกน x โดยใช้ขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม 4 ขนาด คือ 1 , 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตร ซึ่งแต่ละขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าความดันของอากาศอัดที่จ่ายให้แก่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมแตกต่างกัน 8 กรณี คือ 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 และ 8 บาร์ โดยทุกกรณีจะใช้ระบบอัดอากาศชนิดเดียวกัน ซึ่งมีรายละเอียด วิธีการ และขั้นตอนดังนี้

4.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์วัดความเร็วลม ที่ใช้ คือ แอนนิโมมิเตอร์ชนิดใบพัด ของ DIGICON รุ่น DA-45 แบบใบพัดที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด 13 มิลลิเมตร สามารถวัดอัตราเร็วระหว่าง 0.8 -12 เมตรต่อวินาที ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด ± 0.2 เมตรต่อวินาที ใช้สำหรับวัดความเร็วของอากาศอัดที่รั่วซึม มีลักษณะดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 แสดงแอนนิโมมิเตอร์ชนิดใบพัด

แท่นจับยึด เป็นแท่นจับยึดที่ทำจากเหล็กฉากสามารถปรับระยะได้ ใช้สำหรับจับยึด แอนนิโมมิเตอร์ และตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม มีลักษณะดังรูป 4.27



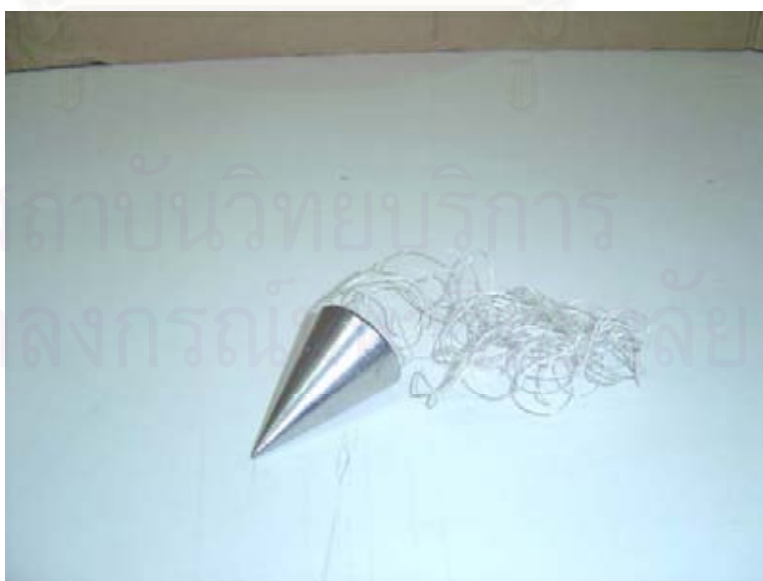
รูปที่ 4.27 แสดงแท่นจับยึด

ที่จับยึด เป็นที่จับยึดที่ทำจากเหล็กรูปตัว C ขนาดกว้าง 4 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว ใช้สำหรับจับยึด แอนนิโมมิเตอร์กับแท่นจับยึด มีลักษณะดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 แสดงที่จับยึด

ลูกดิ่ง เป็นลูกดิ่งของ NETTO รุ่น NT-300G มีน้ำหนัก 300 กรัม ใช้สำหรับหา ตำแหน่งของรอยที่รั่วซึมให้อยู่ในแนวเดียวกับแอนนิโมมิเตอร์ (หาแนวแกน x) มีลักษณะดังรูป ที่ 4.29



รูปที่ 4.29 แสดงลูกดิ่ง

ตลับเมตรของ PT&T รุ่น 7572 J มีความยาวสูงสุด 7.5 เมตร ชีตวัดความละเอียด 1 มิลลิเมตร ใช้สำหรับวัดระยะของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมกับแอนนิโมมิเตอร์ มีลักษณะดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 แสดงตลับเมตร

4.5.2 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ และขั้นตอนในการทดลอง



รูปที่ 4.31 แสดงวิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมโดยใช้วิธีวัดอัตราไหลของลำการไหล

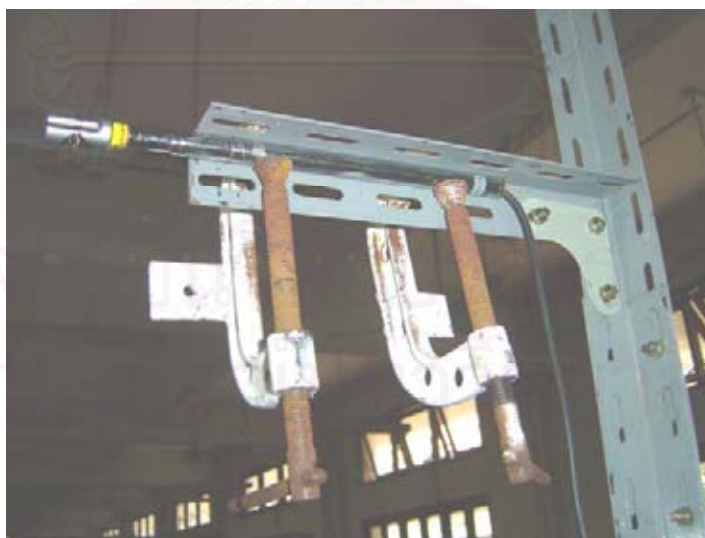
การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนั้นจะใช้อุปกรณ์ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น มีวิธีการทดลองดังรูปที่ 4.31 ซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการ และขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ติดตั้งตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมขนาดรูที่รั่วซึมขนาด 1 มิลลิเมตรกับแท่นจับยึดด้วยที่จับยึด ดังแสดงในรูปที่ 4.32 แล้วใช้ลูกต่งหาตำแหน่งที่จะติดตั้งแอนนิมิเตอร์ เพื่อให้ตรงกันกับตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม



รูปที่ 4.32 แสดงวิธีการติดตั้งตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมกับแท่นจับยึด

2. นำแอนนิมิเตอร์ติดตั้งกับแท่นจับยึดด้วยที่จับยึดดังแสดงในรูปที่ 4.33



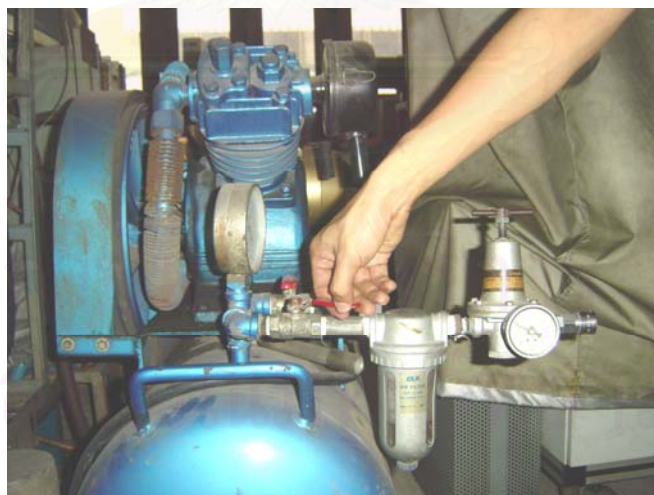
รูปที่ 4.33 แสดงวิธีการติดตั้งแอนนิมิเตอร์กับแท่นจับยึดด้วยที่จับยึด

3. วัดระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมกับแอนนิมิเตอร์ด้วยตลับเมตร แล้วบันทึกค่าที่ได้
4. ทำการปรับวาล์วควบคุมความดันให้จ่ายอากาศอัดที่ความดัน 1 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 แสดงวิธีการปรับวาล์วควบคุมความดัน

5. เปิดวาล์วจ่ายอากาศอัดไปยังตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ดังแสดงในรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 แสดงวิธีการเปิดวาล์วจ่ายอากาศอัด

6. อ่านค่าความเร็วของอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมจากแอนนิมิเตอร์ แล้วบันทึกค่าที่ได้

7. ทำการทดลองซ้ำหลายครั้ง เพื่อหาความถูกต้องของค่าที่วัดได้จากการทดลอง
8. ทำการปรับวาล์วควบคุมความดันให้อ่างอากาศอัดในการทดลองเป็น 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 และ 8 บาร์ตามลำดับ แล้วทำการทดลองในข้อ 4-7 ซ้ำอีกครั้ง
9. ทำการเปลี่ยนขนาดของขนาดรูที่เกิดการรั่วซึมเป็น 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตรตามลำดับแล้วทำการทดลองในข้อ 1-8 ซ้ำอีกครั้ง

จากการทดลองจะได้ค่าของระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมกับแอนนิโมมิเตอร์ และค่าความเร็วของอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมของแต่ละกรณี แล้วนำค่าที่บันทึกได้ไปคำนวณหาอัตราการรั่วซึมของอากาศอัดต่อไป

4.6 วิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้หลอดปิโทท์

เนื่องจากอุปกรณ์ในระบบอัดอากาศนั้น สามารถถอดหรือต่อได้ง่าย จึงสามารถนำหลอดปิโทท์มาวัดหาความเร็วของอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมภายในท่อได้ เพื่อนำค่าความเร็วที่ได้ไปคำนวณหาค่าของอัตราไหลที่เกิดจากการรั่วซึม แต่ในการติดตั้งหลอดปิโทท์นั้น จำเป็นต้องขยายขนาดของท่อลมที่ใช้ โดยทำการต่อท่อเหล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4.1 เซนติเมตร จากท่อลมที่ใช้ เพื่อให้สามารถติดตั้งหลอดปิโทท์ได้ โดยใช้ขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม 4 ขนาด คือ 1 , 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตร ซึ่งแต่ละขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าความดันของอากาศอัดที่จ่ายให้แก่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมแตกต่างกัน 8 กรณี คือ 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 และ 8 บาร์ โดยทุกกรณีจะใช้ระบบอัดอากาศชนิดเดียวกัน ซึ่งมีรายละเอียด วิธีการ และขั้นตอนดังนี้

4.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ท่อเหล็ก เป็นท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.1 เซนติเมตร ยาว 3 เมตรต่อกันด้วยข้อต่อเหล็กชนิดเกลียว เพื่อเป็นการขยายขนาดของท่อลมให้สามารถติดตั้งหลอดปิโทท์ได้ มีลักษณะดังรูปที่ 4.36

อุปกรณ์ติดตั้งหลอดปิโทท์ ใช้ข้อต่อท่อเหล็กชนิด 3 ทางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตรและฝาครอบอุดของท่อเหล็กชนิด 3 ทาง ทำการเจาะฝาครอบอุดให้มีขนาดพอดีกับหลอดปิโทท์ เพื่อที่จะสามารถติดตั้งหลอดปิโทท์ได้มีลักษณะ ดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 แสดงท่อเหล็ก ฝาครอบบอดู และข้อต่อท่อเหล็ก

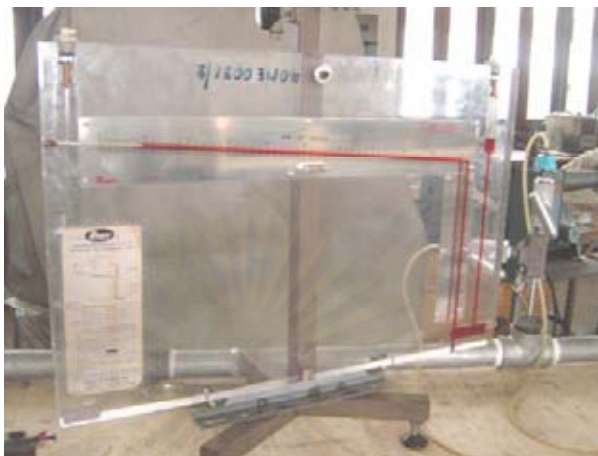
หลอดปิโทที่ใช้หลอดปิโทของ OMEGA รุ่น FPT-6230 เพื่อใช้สำหรับวัดความเร็วของอากาศอัดภายในท่อ มีลักษณะดังรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 แสดงหลอดปิโท

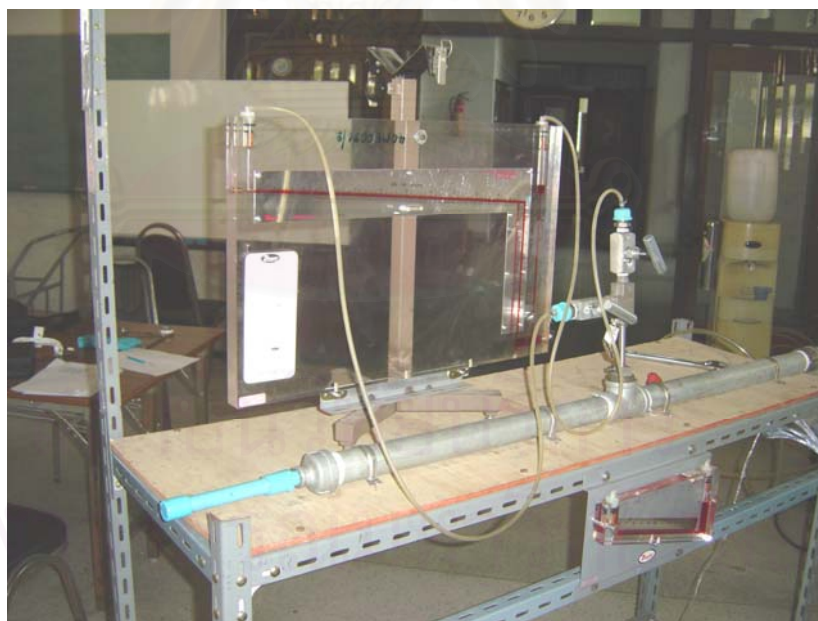
மானอมீட்டர் ใช้ของ DWYER รุ่น 424 สามารถวัดค่าความแตกต่างความดันในช่วง 0-250 มิลลิเมตรน้ำ มีขีดแบ่งความละเอียด 0.2 มิลลิเมตรน้ำ สามารถวัดได้ที่ความดันสูงสุด 100 ปอนด์

ต่อตารางนี้ เพื่อใช้สำหรับอ่านค่าความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นจากหลอดปิโทท์ มีลักษณะดังรูป 4.38



รูปที่ 4.38 แสดงमानอมิเตอร์

4.6.2 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์และขั้นตอนในการทดลอง



รูปที่ 4.39 วิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้หลอดปิโทท์

การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนั้นจะใช้อุปกรณ์ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น มีวิธีการทดลองดังรูปที่ 4.39 ซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการ และขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ทำการติดตั้งวาล์ววัดค่าความดันระหว่างท่อลมกับท่อเหล็กที่ใช้ และต่อเข้าด้วยกันด้วยข้อต่อแบบสวมเร็ว ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 แสดงการต่อท่อเหล็กกับท่อจ่ายลม

2. ทำการติดตั้งข้อต่อ 3 ทางและหลอดปิโทท์ กับท่อเหล็กซึ่งมีลักษณะการติดตั้งดังรูปที่ 4.41 ก-ข



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.41 ก-ข แสดงวิธีการติดตั้งหลอดปิโท

3. ต่อสายของหลอดปิโทกับมานอมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 แสดงวิธีการต่อสายของหลอดปิโทกับมานอมิเตอร์

4. ทำการติดตั้งในส่วนที่เกิดการรั่วซึมที่มีขนาด 1 มิลลิเมตร โดยใช้ข้อต่อท่อเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.43



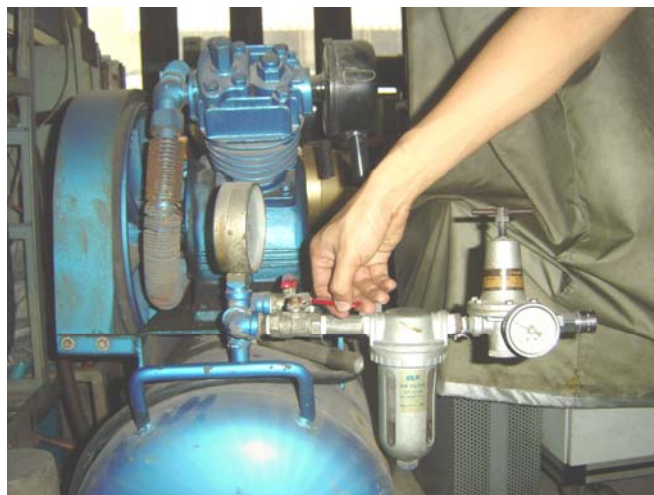
รูปที่ 4.43 แสดงวิธีการติดตั้งส่วนที่เกิดการรั่วซึม

5. ทำการปรับวาล์วควบคุมความดัน ให้จ่ายอากาศอัดที่ความดัน 1 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 แสดงวิธีการปรับวาล์วควบคุมความดัน

6. เปิดวาล์วจ่ายอากาศอัดไปยังตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ดังแสดงในรูปที่ 4.45



รูปที่ 4.45 แสดงวิธีการเปิดวาล์วจ่ายอากาศอัด

7. อ่านค่าความแตกต่างของความดันจากมานอมิเตอร์ แล้วบันทึกค่าที่ได้
8. ทำการทดลองซ้ำหลายครั้ง เพื่อหาความถูกต้องของค่าที่วัดได้จากการทดลอง
9. ทำการปรับวาล์วควบคุมความดันให้จ่ายอากาศอัดในการทดลองเป็น 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 และ 8 บาร์ตามลำดับ แล้วทำการทดลองในข้อ 4-8 ซ้ำอีกครั้ง
10. ทำการเปลี่ยนขนาดของขนาดรูที่เกิดการรั่วซึมเป็น 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตรตามลำดับแล้วทำการทดลองในข้อ 4-9 ซ้ำอีกครั้ง

จากการทดลองจะได้ค่าความแตกต่างความดันที่ถูกบันทึกไว้ของแต่ละกรณี แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าของอัตราการรั่วซึมของอากาศอัดต่อไป

4.7 วิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้อุปกรณ์วัดความเร็วภายในท่อโดยตรง

เนื่องจากอุปกรณ์ในระบบอัดอากาศนั้น สามารถถอดหรือต่อได้ง่าย และในการทดลองเบื้องต้นทำให้ทราบว่าความเร็วของอากาศอัดภายในท่อที่ทำการขยายขนาดมีความเร็วไม่มากนัก จึงสามารถนำแอนนิโมมิเตอร์มาวัดหาความเร็วของอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมภายในท่อได้โดยตรง ซึ่งทำการใช้แอนนิโมมิเตอร์ 2 ชนิดในการทำการวัด คือชนิด Hot Wire และชนิดใบพัด เนื่องจากกรณีที่มีความเร็วต่ำมากชนิดใบพัดไม่สามารถจะทำการวัดได้ และเนื่องจากกรณีที่อัตราไหลมากและความดันมากเส้นลวดของชนิด Hot Wire จะขาด เพื่อนำค่าความเร็วที่ได้ไปคำนวณหาค่าของอัตราไหลที่เกิดจากการรั่วซึม แต่ในการติดตั้งแอนนิโมมิเตอร์นั้น จำเป็นต้องขยายขนาดของท่อลมที่ใช้ โดยทำการต่อท่อเหล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4.1 เซนติเมตรจากท่อลมที่ใช้ เพื่อให้สามารถติดตั้งแอนนิโมมิเตอร์ได้ โดยใช้ขนาดของตำแหน่งที่เกิดการ

ร้วซึม 4 ขนาด คือ 1 , 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตร ซึ่งแต่ละขนาดของตำแหน่งที่เกิดการร้วซึมจะทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าความดันของอากาศอัดที่จ่ายให้แก่ตำแหน่งที่เกิดการร้วซึมแตกต่างกัน 8 กรณี คือ 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 และ 8 บาร์ โดยทุกกรณีจะใช้ระบบอัดอากาศชนิดเดียวกัน ซึ่งมีรายละเอียด วิธีการ และขั้นตอนดังนี้

4.7.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ท่อเหล็ก เป็นท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.1 เซนติเมตร ยาว 3 เมตรต่อกันด้วยข้อต่อเหล็กชนิดเกลียว เพื่อเป็นการขยายขนาดของท่อลมให้สามารถติดตั้งแอนนิโมมิเตอร์ได้ มีลักษณะดังรูปที่ 4.46

อุปกรณ์ติดตั้งแอนนิโมมิเตอร์ ใช้ข้อต่อท่อเหล็กชนิด 3 ทางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร และฝาครอบอุดของท่อเหล็กชนิด 3 ทาง ทำการเจาะฝาครอบอุดให้มีขนาดพอดีกับแอนนิโมมิเตอร์ เพื่อที่จะสามารถติดตั้งแอนนิโมมิเตอร์ได้มีลักษณะ ดังรูปที่ 4.46



รูปที่ 4.46 แสดงท่อเหล็ก ฝาครอบอุด และข้อต่อท่อเหล็ก

แอนนิโมมิเตอร์ที่ใช้ คือ แอนนิโมมิเตอร์ชนิดใบพัด ของ DIGICON รุ่น DA-45 แบบใบพัด ที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด 13 มิลลิเมตร สามารถวัดอัตราเร็วระหว่าง 0.8 -12 เมตรต่อวินาที ค่าความละเอียด 0.01 เมตรต่อวินาที ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด ± 0.2 เมตรต่อวินาที และแอนนิโมมิเตอร์ Hot Wire ของ DIGICON รุ่น DA-44 มีเทอร์มิสเตอร์หัวกลมขนาดเล็กสำหรับวัดความเร็ว สามารถวัดอัตราเร็วระหว่าง 0.2 -20 เมตรต่อวินาที ค่าความละเอียด 0.1 เมตรต่อวินาที ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด ± 0.2 เมตรต่อวินาที ใช้สำหรับวัดความเร็วของอากาศอัดที่ร้วซึม มีลักษณะดังรูปที่ 4.47



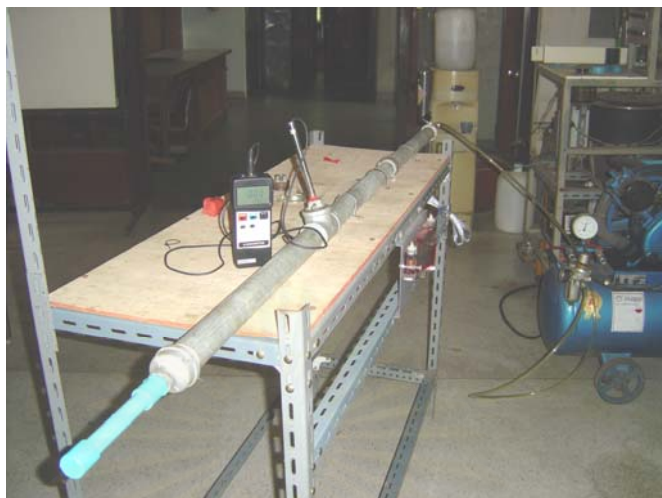
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.47 แสดงแอนนิโมมิเตอร์ (ก) ชนิดใบพัด (ข) ชนิด Hot Wire

4.7.2 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์และขั้นตอนในการทดลอง



รูปที่ 4.48 วิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์

การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนั้นจะใช้อุปกรณ์ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น มีวิธีการทดลองดังรูปที่ 4.47 ซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการ และขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ทำการติดตั้งวาล์ววัดค่าความดันระหว่างท่อลมกับท่อเหล็กที่ใช้ และต่อเข้าด้วยกันด้วยข้อต่อแบบสวมเร็ว ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.49



รูปที่ 4.49 แสดงการต่อท่อเหล็กกับท่อจ่ายลม

2. ทำการติดตั้งข้อต่อ 3 ทางและแอนนิโมมิเตอร์ กับท่อเหล็กซึ่งมีลักษณะการติดตั้งดังรูปที่ 4.50 ก-ง



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.50 แสดงวิธีการติดตั้งแอนนิโมมิเตอร์ (ก-ข) ชนิดใบพัด (ค-ง) ชนิด Hot Wire

3. ทำการติดตั้งในส่วนที่เกิดการรั่วซึมที่มีขนาด 1 มิลลิเมตร โดยใช้ข้อต่อท่อเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.51



รูปที่ 4.51 แสดงวิธีการติดตั้งส่วนที่เกิดการรั่วซึม

4. ทำการปรับวาล์วควบคุมความดัน ให้จ่ายอากาศอัดที่ความดัน 1 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.52



รูปที่ 4.52 แสดงวิธีการปรับวาล์วควบคุมความดัน

5. เปิดวาล์วจ่ายอากาศอัดไปยังตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ดังแสดงในรูปที่ 4.53



รูปที่ 4.53 แสดงวิธีการเปิดวาล์วจ่ายอากาศอัด

6. อ่านค่าความเร็วจากแอนนิโมมิเตอร์ แล้วบันทึกค่าความเร็วที่ได้
7. ทำการทดลองซ้ำหลายครั้ง เพื่อหาความถูกต้องของค่าที่วัดได้จากการทดลอง
8. ทำการปรับวาล์วควบคุมความดันให้จ่ายอากาศอัดในการทดลองเป็น 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 และ 8 บาร์ตามลำดับ แล้วทำการทดลองในข้อ 3-8 ซ้ำอีกครั้ง
9. ทำการเปลี่ยนขนาดของขนาดรูที่เกิดการรั่วซึมเป็น 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตรตามลำดับแล้วทำการทดลองในข้อ 3-9 ซ้ำอีกครั้ง

จากการทดลองจะได้ค่าความเร็วที่ถูบันทึกไว้ของแต่ละกรณี แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าของอัตราการรั่วซึมของอากาศอัดต่อไป

4.8 การนำชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่มีการชำรุด และมีการใช้งานในทางปฏิบัติมาทำการทดลอง

จากวิธีการวัดในข้างต้นได้ทำการวัดกับตำแหน่งที่มีการรั่วซึมที่จำลองขึ้นมา เพื่อจะแสดงให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวในข้างต้นนี้สามารถนำไปทำการวัดกับการใช้งานในทางปฏิบัติได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำชิ้นส่วนของอุปกรณ์ที่มีการใช้งานจริงในระบบอากาศอัด และมีการชำรุดทำให้เกิดการรั่วซึมเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ โดยอุปกรณ์ที่นำมาทดสอบจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 3 ชนิด คือ ปืนฉีดลม ของ HKX ที่มีลักษณะดังรูปที่ 4.54 ก มีลักษณะการรั่วซึม คือมีลมรั่วซึมออกทางปลายท่อฉีดลมของปืนฉีดลมตลอดเวลา และมีการรั่วซึมที่ตัวปืนเล็กน้อย, วาล์วเปิดปิดอากาศอัดเป็นวาล์วของ super x มีลักษณะดังรูปที่ 4.54 ข มีลักษณะการรั่วซึม คือมีลมรั่วซึมออกมาจากวาล์วตลอดเวลาขณะเปิดวาล์ว, ข้อต่อท่อชนิดสามทาง เป็นข้อต่อท่อเหล็กขนาด 0.5 นิ้ว มีลักษณะดังรูปที่ 4.54 ค มีลักษณะการรั่วซึม คือมีการรั่วซึมที่รอยปริแตกที่ด้านข้างของท่อ และเกลียวของข้อต่อท่อที่เกิดการขึ้นสนิมทำให้มีลมรั่วซึมออกมาตลอดเวลา



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.54 ก, ข, ค แสดงปืนลม วาล์ว และข้อต่อสามทาง ที่นำมาทดลอง

บทที่ 5

ผลการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการหาปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมโดยในเบื้องต้นได้กำหนดให้ใช้ขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม 4 ขนาด คือ 1, 2, 3 และ 4 มิลลิเมตร ซึ่งแต่ละขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมในเบื้องต้นได้กำหนดให้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าความดันของอากาศอัดที่จ่ายให้แก่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมแตกต่างกัน 8 ค่า คือ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 บาร์ โดยทุกกรณีที่ทำการศึกษาทดลองจะใช้ระบบอัดอากาศชนิดเดียวกัน

แต่จากการทดลองในเบื้องต้น ทำให้ทราบลักษณะการทำงานของตัวไปของระบบอัดอากาศที่ใช้ คือ เมื่อทำการเดินเครื่องอัดอากาศ ระบบอัดอากาศจะทำการผลิตอากาศอัดไปเก็บไว้ในถังเก็บอากาศอัดจนอากาศอัดมีความดัน 10 บาร์ เครื่องอัดอากาศก็จะหยุดการทำงาน เมื่อจะนำอากาศอัดไปใช้งาน สามารถทำได้โดยการกำหนดค่าความดันของอากาศอัดที่จะใช้งานที่วาล์วควบคุมความดันแล้วจ่ายอากาศอัดไปใช้งานตามต้องการได้ เมื่อมีการใช้งานอากาศอัดความดันในถังเก็บอากาศอัดจะลดลงจนถึงค่าความดันที่กำหนดไว้ที่สวิตช์ควบคุมความดัน เครื่องอัดอากาศก็จะทำงานอีกครั้งหนึ่งพร้อมกับการจ่ายอากาศอัดต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน ถ้าปริมาณอากาศอัดที่ใช้น้อยกว่าปริมาณอากาศอัดที่เครื่องอัดอากาศผลิตได้ อากาศอัดในส่วนที่เกินจะถูกเก็บในถังเก็บอากาศอัดจนกระทั่งมีความดัน 10 บาร์ เครื่องอัดอากาศก็จะหยุดการทำงาน แต่ถ้าปริมาณอากาศอัดที่ใช้งานมากกว่าปริมาณอากาศอัดที่เครื่องอัดอากาศผลิตได้ ระบบอัดอากาศนี้ก็ไม่สามารถจ่ายอากาศอัดต่อเนื่องตลอดช่วงการใช้งานที่ความดันใช้งานที่กำหนดไว้ได้

จากลักษณะการทำงานของระบบอัดอากาศดังกล่าวนี้ เมื่อนำมาทำการทดลอง ก็จะพบว่าในการทดลองบางกรณีที่ขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดเล็ก หรือความดันที่ใช้งานมีค่าไม่มาก ระบบอัดอากาศจะสามารถผลิตอากาศอัดจ่ายให้กับการใช้งานได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ทำการทดลอง ซึ่งกรณีนี้จะแสดงสัญลักษณ์ / ในตารางที่ 5.1 แต่ในบางกรณีที่ขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดใหญ่ หรือความดันที่ใช้งานมีค่ามาก ระบบอัดอากาศก็จะไม่สามารถผลิตอากาศอัดจ่ายให้กับการใช้งานได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ทำการทดลอง โดยจะสามารถจ่ายอากาศอัดให้ได้เฉพาะในช่วงที่อากาศอัดในถังเก็บอากาศอัดมีค่าความดันมากกว่าความดันที่ใช้งานในการทดลองซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ แต่เมื่อความดันในถังเก็บอากาศอัดน้อยกว่าความดันใช้งานในการทดลองที่กำหนดไว้ ระบบอัดอากาศจะไม่สามารถจ่ายอากาศอัดให้กับการใช้งานได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ทำการทดลอง ซึ่งกรณีนี้จะแสดงสัญลักษณ์ x ในตารางที่ 5.1

จากความสามารถในการจ่ายอากาศอัดของระบบอัดอากาศนี้ ทำให้การทดลองในทุกวิธีที่ทำการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดในช่วงที่แสดงสัญลักษณ์ / ในตารางที่ 5.1 สามารถทำการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดได้ทุกกรณีทำการทดลอง แต่ในช่วงที่แสดงสัญลักษณ์ x ในตารางที่ 5.1 จะทำการทดลองได้เฉพาะวิธีที่ทำการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดที่ใช้ช่วงระยะเวลาในการทดลองสั้นๆ ก่อนที่ความดันในถังเก็บอากาศอัดจะต่ำกว่าความดันใช้งานที่กำหนดไว้ ส่วนวิธีอื่นที่ต้องใช้ระยะเวลาในการทดลองต่อเนื่อง จะไม่สามารถทำการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดได้ โดยวิธีที่ใช้ในการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดในการวิจัยนี้ใช้วิธีการวัด 6 วิธี โดยแต่ละวิธีจะได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงความสามารถในการจ่ายอากาศอัดของระบบอากาศอัด

P_{gase} (บาร์)	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
1	/	/	/	/
2	/	/	/	/
3	/	/	/	/
4	/	/	/	x
5	/	/	/	x
6	/	/	x	x
7	/	/	x	x
8	/	/	x	x

/ คือ ช่วงที่ระบบอากาศอัดสามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

x คือ ช่วงที่ระบบอากาศอัดไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

5.1 ผลการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ

ในเบื้องต้นได้กำหนดให้ทำการทดลองโดยใช้กระบอกตวงมีปริมาตรความจุขนาด 6 ลิตร แต่หลังจากการทดลองในเบื้องต้นทำให้ทราบว่าปริมาณอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมมีปริมาณมาก ทำให้กระบอกตวงดังกล่าวไม่สามารถกักเก็บอากาศอัดได้เพียงพอกับกรณีที่ทำการทดลอง จึงไม่

สามารถทำการทดลองได้ จึงทำการได้เปลี่ยนระบบอกตวงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นระบบอกตวงมีปริมาตรความจุ 18.9 ลิตร

แต่เมื่อทำการทดลองทำให้ทราบว่า มีบางกรณีที่ไม่สามารถทำการทดลองได้ ดังแสดงสัญลักษณ์ - ในตารางที่ 5.2 เนื่องจากขนาดของระบบอกตวงที่ทำการวัดมีขนาดจำกัด และเมื่อทำการทดลองอัตราไหลของอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมมีปริมาณมากเกินไป ทำให้ระยะเวลาที่ทำการวัดมีค่าน้อยเกินไป จึงไม่สามารถทำการทดลองในช่วงกรณีเหล่านี้ได้ และในกรณีที่เครื่องอัดอากาศไม่สามารถผลิตอากาศอัดจ่ายให้การทดลองได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งานจะไม่สามารถทำการทดลองได้ดังแสดงสัญลักษณ์ x ในตารางที่ 5.2 โดยจากการทดลองจะได้ค่าของปริมาณอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึม (V) และระยะเวลาที่ใช้ในการรั่วซึม (t) ค่าที่วัดได้จากการทดลองจะทำการบันทึกโดยการแบ่งตามขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูลจากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงข้อมูลจากการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ

P_{gage} (บาร์)	1 มิลลิเมตร		2 มิลลิเมตร		3 มิลลิเมตร		4 มิลลิเมตร	
	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)
1	18.40	77.8	17.40	20.80	17.80	9.68	18.44	7.33
2	17.20	46.0	18.20	12.85	18.24	6.20	-	-
3	16.84	31.7	17.84	9.48	-	-	-	-
4	17.44	25.1	18.20	6.99	-	-	x	x
5	18.20	20.9	17.44	5.84	-	-	x	x
6	17.80	17.38	-	-	x	x	x	x
7	17.44	15.46	-	-	x	x	x	x
8	18.20	14.31	-	-	x	x	x	x

- คือ ช่วงที่อัตราไหลของอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมมีปริมาณมากเกินไป

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

จากข้อมูลที่ทำกรทดลองในตารางที่ 5.2 นั้น สามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราการรั่วซึมของอากาศอัด (Q) โดยใช้สมการ 3-66 ซึ่งได้ผลของการคำนวณอัตราการรั่วซึม ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ

P_{gage} (บาร์)	Q (ลิตร/วินาที)			
	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
1	0.237	0.838	1.838	2.51
2	0.374	1.416	2.94	-
3	0.532	1.882	-	-
4	0.695	2.60	-	x
5	0.870	2.98	-	x
6	1.024	-	x	x
7	1.128	-	x	x
8	1.272	-	x	x

- คือ ช่วงที่อัตราไหลของอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมมีปริมาณมากเกินไป

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

5.2 ผลการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้ถุงครอบ

ในเบื้องต้นได้กำหนดให้ทำการทดลองโดยใช้ถุงที่มีขนาดเล็กและมีความหนาของถุงไม่มาก แต่หลังจากทำการทดลองในเบื้องต้นทำให้ทราบว่าปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดมีปริมาณมาก และมีความแรงของอากาศอัดที่พุ่งออกจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีความแรงมากทำให้ถุงที่มีขนาดเล็กและความหนาไม่มากจะไม่สามารถทำการทดลองได้ จึงทำการเปลี่ยนมาใช้ถุงที่มีขนาดและความหนาที่เหมาะสมกับการทดลอง เพื่อให้สามารถทำการทดลองได้

ในการทดลองนี้มีข้อจำกัดของระบบอัดอากาศที่ไม่สามารถผลิตอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งานในบางกรณีของการทดลองดังที่ได้กล่าวในข้างต้น จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนวิธีการทดลองในช่วงกรณีเหล่านี้ โดยทำการสร้างอากาศอัดจนกระทั่งมีความดัน 10 บาร์ ก็เก็บไว้ในถังเก็บอากาศอัดก่อน แล้วจึงจ่ายอากาศอัดนั้นไปใช้ในการทดลอง เนื่องจากการวัดด้วยวิธีนี้ใช้

ระยะเวลาที่สั้น และปริมาณอากาศอัดในการทดลองน้อย ทำให้ความดันและปริมาณอากาศอัดในถังเก็บอากาศอัดยังเพียงพอในช่วงที่ทำการทดลอง ทำให้สามารถวัดค่าปริมาณการรั่วซึมในกรณีที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถผลิตอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน ดังแสดงสัญลักษณ์ * ในตารางที่ 5.4 โดยในการทดลองจะจ่ายอากาศอัดให้เต็มถึงจนถุงพองเต็มที่ จากการทดลองจะได้ค่าของปริมาณอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึม (V) และระยะเวลาที่ใช้ในการรั่วซึม (t) ค่าที่วัดได้จากการทดลองจะทำการบันทึกโดยการแบ่งตามขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูลจากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5.4 ดังนี้

ตารางที่ 5.4 แสดงข้อมูลจากการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้ถุงครอบ

P_{gase} (บาร์)	1 มิลลิเมตร		2 มิลลิเมตร		3 มิลลิเมตร		4 มิลลิเมตร	
	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)
1	54.0	206.58	54.0	59.69	54.0	28.66	54.0	20.83
2	54.0	125.17	54.0	37.40	54.0	17.96	54.0	12.18
3	54.0	95.14	54.0	27.72	54.0	12.81	54.0	8.61
4	54.0	72.93	54.0	20.49	54.0	10.30	54.0*	6.56*
5	54.0	61.77	54.0	16.90	54.0	8.27	54.0*	5.28*
6	54.0	49.63	54.0	14.24	54.0*	6.90*	54.0*	4.26*
7	54.0	45.61	54.0	12.58	54.0*	6.24*	54.0*	3.89*
8	54.0	42.25	54.0	11.09	54.0*	5.55*	54.0*	3.34*

* คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

จากข้อมูลที่ทำกรทดลองในตารางที่ 5.4 นั้น สามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราการรั่วซึมของอากาศอัด (Q) โดยใช้สมการ 3-67 ซึ่งได้ผลของการคำนวณอัตราการรั่วซึม ดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยใช้ถุงครอบ

P_{gage} (บาร์)	Q (ลิตร/วินาที)			
	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
1	0.261	0.905	1.884	2.59
2	0.431	1.444	3.01	4.43
3	0.568	1.948	4.22	6.27
4	0.740	2.64	5.24	8.23*
5	0.874	3.20	6.53	10.23*
6	1.088	3.79	7.82*	12.66*
7	1.184	4.29	8.65*	13.87*
8	1.278	4.87	9.73*	16.18*

* คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

5.3 ผลการทดลองของการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้วิธีวัดอัตราการไหลของลำการไหล

ในเบื้องต้นได้กำหนดให้ใช้แอนนิโมมิเตอร์ของ DIGICON รุ่น DA-45 เมื่อทำการทดลองในเบื้องต้นทำให้ทราบว่า การทดลองนี้จะสามารถวัดปริมาณการรั่วซึมได้ทุกกรณีที่เครื่องอัดอากาศสามารถผลิตอากาศอัดจ่ายให้การทดลองได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

แต่ในกรณีที่เครื่องอัดอากาศไม่สามารถผลิตอากาศอัดจ่ายให้การทดลองได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน จะไม่สามารถทำการทดลองได้ดังแสดงสัญลักษณ์ x ในตารางที่ 5.6 โดยจากการทดลองจะได้ค่าของระยะในแนวแกน x (x) และความเร็วในแนวแกน x (u_{cl}) ค่าที่วัดได้จากการทดลองจะทำการบันทึกโดยการแบ่งตามขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูลจากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 แสดงข้อมูลจากการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้วิธีวัดอัตราการไหลของลำการไหล

P_{gage} (บาร์)	1 มิลลิเมตร		2 มิลลิเมตร		3 มิลลิเมตร		4 มิลลิเมตร	
	x (เมตร)	u_{cl} (เมตร/ วินาที)	x (เมตร)	u_{cl} (เมตร/ วินาที)	x (เมตร)	u_{cl} (เมตร/ วินาที)	x (เมตร)	u_{cl} (เมตร/ วินาที)
1	0.85	1.710	0.85	3.69	0.85	6.06	0.85	6.70
2	0.85	2.73	0.85	6.29	0.85	8.11	0.85	11.30
3	0.85	3.84	0.85	7.51	0.85	10.20	1.60	8.14
4	0.85	5.12	0.85	9.67	1.60	7.34	x	x
5	0.85	6.37	0.85	11.86	1.60	8.92	x	x
6	0.85	7.31	1.60	7.47	x	x	x	x
7	0.85	8.54	1.60	8.59	x	x	x	x
8	0.85	9.29	1.60	10.12	x	x	x	x

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

จากข้อมูลที่ทำกรทดลองในตารางที่ 5.6 นั้น สามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราการรั่วซึมของอากาศอัด (Q) โดยใช้สมการ 3-56 ซึ่งได้ผลของการคำนวณอัตราการรั่วซึม ดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 แสดงปริมาณการรั่วซึมโดยใช้วิธีวัดอัตราการไหลของลำการไหล

P_{gage} (บาร์)	Q (ลิตร/วินาที)			
	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
1	0.174	0.750	1.848	2.72
2	0.277	1.279	2.47	4.59
3	0.390	1.527	3.11	6.23
4	0.520	1.966	4.21	x
5	0.647	2.41	5.12	x

P_{gage} (บาร์)	Q (ลิตร/วินาที)			
	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
6	0.743	2.86	x	x
7	0.868	3.29	x	x
8	0.944	3.87	x	x

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

5.4 ผลการทดลองของการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้หลอดปิโทท์

ในเบื้องต้นได้กำหนดให้ใช้หลอดปิโทท์ของ DWYER รุ่น 160-8 แต่เมื่อทำการทดลองในเบื้องต้น ทำให้ทราบว่าไม่สามารถอ่านค่าความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นจากมานอมิเตอร์ได้ จึงทำการเปลี่ยนหลอดปิโทท์เป็นของ OMEGA รุ่น FPT-6230 ส่วนมานอมิเตอร์ที่ใช้ในเบื้องต้นได้กำหนดให้ใช้มานอมิเตอร์ของ DWYER รุ่น 262.5 แต่เมื่อทำการทดลองในเบื้องต้น ทำให้ทราบว่า ในบางกรณีไม่สามารถวัดได้เนื่องจากค่าความละเอียดของมานอมิเตอร์มีค่าความละเอียดไม่เพียงพอ จึงทำการเปลี่ยนมาใช้มานอมิเตอร์ของ DWYER รุ่น 424 มาทำการวัดแทนเนื่องจากมีค่าความละเอียดมากกว่า

แต่เมื่อทำการทดลองแล้วทำให้ทราบว่าหลอดปิโทท์ที่นำมาทดลองเป็นหลอดปิโทท์ที่มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับขนาดของท่อที่ใช้ในการทดลอง จึงไม่มีความเหมาะสมกับการทดลอง และกรณีที่ทำกรทดลองมีค่าความดันสูงเมื่อเทียบกับค่าความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมาก โดยในกรณีที่ค่าความดันสูงนี้จะส่งผลให้ไม่สามารถทำการต่อสายของหลอดปิโทท์กับมานอมิเตอร์ได้ เนื่องจากสายของหลอดปิโทท์จะถูกความดันที่สูงนี้ดันให้หลุดจากมานอมิเตอร์ เมื่อสายหลุดน้ำมันในมานอมิเตอร์จะเกิดการบวม อาจทำให้มานอมิเตอร์เสียหายได้ ทำให้มานอมิเตอร์ที่ใช้ไม่สามารถทำการอ่านค่าได้ ส่วนในกรณีที่ค่าความดันต่ำจะสามารถต่อสายของหลอดปิโทท์กับมานอมิเตอร์ได้ แต่ค่าความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมาก

ทำให้มานอมิเตอร์ที่ใช้ไม่สามารถทำการอ่านค่าความแตกต่างความดันที่เกิดขึ้นได้ จะต้องใช้มานอมิเตอร์ที่มีค่าความละเอียดมากจึงสามารถอ่านค่าความแตกต่างความดันที่เกิดขึ้นได้ จึงไม่สามารถหาอุปกรณ์ที่สามารถวัดที่ค่าความดันสูงแต่มีค่าความแตกต่างของความดันเพียงเล็กน้อยได้ วิธีนี้จึงไม่สามารถทำการวัดได้กับกรณีที่ทำกรทดลอง เนื่องจากไม่สามารถหาอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมและสามารถทำการวัดได้กับชุดทดลอง

5.5 ผลการทดลองของการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้อุปกรณ์วัดความเร็วภายในท่อโดยตรง

ในเบื้องต้นได้กำหนดให้ใช้แอนนิโมมิเตอร์ 2 ชนิดในการทำการวัด คือแอนนิโมมิเตอร์ชนิด Hot Wire ของ DIGICON รุ่น DA-44 และ แอนนิโมมิเตอร์ชนิดใบพัด ของ DIGICON รุ่น DA-45 แต่เมื่อทำการทดลองแล้วทำให้ทราบว่ามีการรั่วซึมที่แอนนิโมมิเตอร์ชนิดใบพัดไม่สามารถอ่านค่าความแตกต่างความดันได้ เนื่องจากค่าความละเอียดของแอนนิโมมิเตอร์มีความละเอียดไม่เพียงพอ แต่แอนนิโมมิเตอร์ชนิด Hot wire สามารถทำการวัดได้เนื่องจากมีค่าความละเอียดในการวัดมากกว่า ส่วนในกรณีที่เครื่องอัดอากาศไม่สามารถผลิตอากาศอัดจ่ายให้การทดลองได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งานก็จะไม่สามารถทำการทดลองได้ ดังแสดงสัญลักษณ์ x ในตารางที่ 5.8 โดยจากการทดลองจะได้ค่าของความเร็วภายในท่อ (u) ค่าที่วัดได้จากการทดลองจะทำการบันทึกโดยการแบ่งตามขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูลจากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8ก แสดงข้อมูลจากการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบใบพัด

P_{gage} (บาร์)	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)
1	+	+	1.522	2.01
2	+	1.130	2.388	3.48
3	+	1.482	3.10	4.90
4	+	1.876	3.91	x
5	+	2.24	4.57	x
6	+	2.64	x	x
7	+	3.08	x	x
8	0.832	3.38	x	x

+ คือ ช่วงที่ใช้แอนนิโมมิเตอร์ชนิดใบพัดไม่สามารถทำการวัดได้

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

จากข้อมูลที่ทำกรทดลองในตารางที่ 5.8ก นั้น สามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราการรั่วซึมของอากาศอัด (Q) โดยใช้สมการ 3-11 ซึ่งได้ผลของการคำนวณอัตราการรั่วซึม ดังแสดงในตารางที่ 5.9ก

ตารางที่ 5.9ก แสดงปริมาณการรั่วซึมโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบใบพัด

P_{gage} (บาร์)	Q (ลิตร/วินาที)			
	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
1	+	+	2.64	3.48
2	+	1.960	4.14	6.04
3	+	2.57	5.37	8.50
4	+	3.25	6.78	x
5	+	3.89	7.94	x
6	+	4.58	x	x
7	+	5.34	x	x
8	1.443	5.86	x	x

+ คือ ช่วงที่ใช้แอนนิโมมิเตอร์ชนิดใบพัดไม่สามารถทำการวัดได้

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

ตารางที่ 5.8ข แสดงข้อมูลจากการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบ Hot Wire

P_{gage} (บาร์)	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)
1	0.200	0.800	1.66	2.28
2	0.320	1.280	2.56	3.80
3	0.420	1.600	3.24	5.38
4	0.500	2.10	4.2	x
5	0.580	2.30	4.69	x

P_{gage} (บาร์)	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)
6	0.700	2.70	x	x
7	0.780	3.16	x	x
8	0.900	3.46	x	x

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

จากข้อมูลที่ทำกรทดลองในตารางที่ 5.8 นั้น สามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราการรั่วซึมของอากาศอัด (Q) โดยใช้สมการ 3-10 ซึ่งได้ผลของการคำนวณอัตราการรั่วซึม ดังแสดงในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 แสดงปริมาณการรั่วซึมโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบ Hot Wire

P_{gage} (บาร์)	Q (ลิตร/วินาที)			
	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
1	0.35	1.388	2.88	3.96
2	0.56	2.22	4.44	6.59
3	0.73	2.78	5.62	9.33
4	0.87	3.64	7.29	x
5	1.006	3.98	8.13	x
6	1.214	4.69	x	x
7	1.353	5.47	x	x
8	1.561	6.00	x	x

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

5.6 ผลการทดลองของการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้การคำนวณค่าความดันจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม

วิธีนี้จะเป็นการคำนวณอัตราการรั่วซึมของอากาศอัด (Q) โดยใช้สมการ 3-65 ซึ่งได้ผลของการคำนวณอัตราการรั่วซึม ดังแสดงในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 แสดงปริมาณการรั่วซึมโดยใช้การคำนวณค่าความดันจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม

P_{gage} (บาร์)	Q (ลิตร/วินาที)			
	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
1	0.315	1.261	2.84	5.05
2	0.473	1.892	4.26	7.57
3	0.631	2.52	5.68	10.09
4	0.788	3.15	7.09	12.61*
5	0.946	3.78	8.51	15.13*
6	1.104	4.41	9.93*	17.66*
7	1.261	5.05	11.35*	20.2*
8	1.419	5.68	12.77*	22.7*

* คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

5.7 ผลการทดลองของชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่มีการใช้งานในทางปฏิบัติ

ใช้ปืนลมที่มีการชำรุดและรั่วซึมทำการทดลองด้วยวิธีที่สามารถทำการวัดได้ ส่วนวิธีที่ไม่สามารถทำการวัดได้เนื่องจากไม่ทราบขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลแยกไปตามลักษณะของแต่ละวิธีดังที่ได้กล่าวในข้างต้น โดยความดันที่ใช้เป็นความดันที่ต้นทางของวาล์วควบคุมความดัน ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูลจากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 แสดงข้อมูลจากการทดลองวัดปริมาณการรั่วซึมจากปืนฉีดลมด้วยวิธีต่างๆ

ปืนฉีดลม							
P_{gage} (บาร์)	แอนนิโมมิเตอร์ แบบใบพัด	แอนนิโมมิเตอร์ แบบขดลวดร้อน	ถุงครอบ		แทนที่น้ำ		วัดอัตราไหล ลำการไหล
	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	u_{cl} (เมตร/ วินาที)
1	1.24	1.4	54	34.16	18.3	12.74	5.51
2	1.98	2.2	54	21.32	18.5	8.05	8.07
3	2.56	2.7	54	15.95	18.0	5.92	9.94
4	3.14	3.4	54	12.52	-	-	6.95
5	3.65	4.0	54	10.83	-	-	8.53
6	4.13	4.7	54	9.77	-	-	9.13
7	4.89	5.3	54	8.51	-	-	9.82
8	x	x	x	x	x	x	x

- คือ ช่วงที่อัตราไหลของอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมมีปริมาณมากเกินไปไม่สามารถใช้
หลักการแทนที่น้ำได้

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

จากตารางที่ 5.11 จะสามารถคำนวณอัตราการรั่วซึมของปืนฉีดลมแยกเป็นวิธีที่ทำการวัด
โดยใช้หลักการคำนวณของแต่ละวิธีดังได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งได้ผลของการคำนวณอัตราการรั่วซึม
ดังแสดงในตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 แสดงปริมาณการรั่วซึมจากปืนฉีดลมที่วัดด้วยวิธีต่างๆ

ปืนฉีดลม					
P_{gage} (บาร์)	Q (ลิตร/วินาที)				
	แอนนิโมมิเตอร์ แบบใบพัด	แอนนิโมมิเตอร์ แบบขดลวดร้อน	ถุงครอบ	แทนที่น้ำ	วัดอัตราไหล ลำการไหล
1	2.15	2.43	1.58	1.44	1.37

ปืนฉีดลม					
P_{gage} (บาร์)	Q (ลิตร/วินาที)				
	แอนนิโมมิเตอร์ แบบใบพัด	แอนนิโมมิเตอร์ แบบขดลวดร้อน	ถุงครอบ	แทนที่น้ำ	วัดอัตราไหล ลำการไหล
2	3.44	3.82	2.53	2.30	2.01
3	4.44	4.68	3.39	3.04	2.48
4	5.45	5.90	4.31	-	3.26
5	6.33	6.94	4.99	-	4.00
6	7.17	8.08	5.53	-	4.28
7	8.48	9.16	6.35	-	4.60
8	x	x	x	x	x

- คือ ช่วงที่อัตราไหลของอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมมีปริมาณมากเกินไปไม่สามารถใช้
หลักการแทนที่น้ำได้

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

ใช้วาล์วเปิดปิดอากาศอัดที่มีการชำรุดและรั่วซึมทำการทดลอง ด้วยวิธีที่สามารถทำการ
วัดได้ ส่วนวิธีที่ไม่สามารถทำการวัดได้เนื่องจากไม่ทราบขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ซึ่งจะ
ทำการบันทึกข้อมูลแยกไปตามลักษณะของแต่ละวิธีดังที่ได้กล่าวในข้างต้น โดยความดันที่ใช้เป็น
ความดันที่ต้นทางของวาล์วควบคุมความดัน ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูลจากการทดลอง ดังแสดง
ในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 แสดงข้อมูลจากการทดลองวัดปริมาณการรั่วซึมจากวาล์วเปิดปิดอากาศอัดด้วยวิธี
ต่างๆ

วาล์วเปิดปิดอากาศอัด						
P_{gage} (บาร์)	แอนนิโมมิเตอร์ แบบใบพัด	แอนนิโมมิเตอร์ แบบขดลวดร้อน	ถุงครอบ		แทนที่น้ำ	
	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)
1	0.91	1.2	54	42.73	18.6	16.25

วาล์วเปิดปิดอากาศอัด						
P_{gage} (บาร์)	แอนนิโมมิเตอร์ แบบใบพัด	แอนนิโมมิเตอร์ แบบขดลวดร้อน	ถังครอบ		แทนที่น้ำ	
	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)
2	1.36	1.6	54	30.47	18.2	11.23
3	1.83	2.1	54	21.83	17.9	7.55
4	2.31	2.6	54	17.06	18.4	6.64
5	2.84	3.3	54	14.09	-	-
6	3.35	3.8	54	11.78	-	-
7	3.73	4.3	54	10.2	-	-
8	4.12	4.7	54	9.25	-	-

- คือ ช่วงที่อัตราไหลของอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมมีปริมาณมากเกินไปไม่สามารถใช้หลักการแทนที่น้ำได้

จากตารางที่ 5.13 จะสามารถคำนวณอัตราการรั่วซึมของวาล์วเปิดปิดอากาศอัดแยกเป็นวิธีที่ทำการวัด โดยใช้หลักการคำนวณของแต่ละวิธีดังได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งได้ผลของการคำนวณอัตราการรั่วซึม ดังแสดงในตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 แสดงปริมาณการรั่วซึมจากวาล์วเปิดปิดอากาศอัดที่วัดด้วยวิธีต่างๆ

วาล์วเปิดปิดอากาศอัด				
P_{gage} (บาร์)	Q (ลิตร/วินาที)			
	แอนนิโมมิเตอร์ แบบใบพัด	แอนนิโมมิเตอร์ แบบขดลวดร้อน	ถังครอบ	แทนที่น้ำ
1	1.58	2.08	1.26	1.14
2	2.36	2.78	1.77	1.62
3	3.17	3.64	2.47	2.37
4	4.01	4.51	3.17	2.77

วาล์วเปิดปิดอากาศอัด				
P_{gage} (บาร์)	Q (ลิตร/วินาที)			
	แอนนิโมมิเตอร์ แบบใบพัด	แอนนิโมมิเตอร์ แบบขดลวดร้อน	ถุงครอบ	แทนที่น้ำ
5	4.93	5.66	3.83	-
6	5.81	6.66	4.58	-
7	6.47	7.43	5.29	-
8	7.15	8.19	5.84	-

- คือ ช่วงที่อัตราไหลของอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมมีปริมาณมากเกินไปไม่สามารถใช้หลักการแทนที่น้ำได้

ใช้ข้อต่อชนิดสามทางที่มีการชำระและรั่วซึมทำการทดลอง ด้วยวิธีที่สามารถทำการวัดได้ ส่วนวิธีที่ไม่สามารถทำการวัดได้เนื่องจากไม่ทราบขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลแยกไปตามลักษณะของแต่ละวิธีดังที่ได้กล่าวในข้างต้น โดยความดันที่ใช้เป็นความดันที่ต้นทางของวาล์วควบคุมความดัน ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูลจากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.15 แสดงข้อมูลจากการทดลองวัดปริมาณการรั่วซึมจากข้อต่อชนิดสามทางด้วยวิธีต่างๆ

ข้อต่อชนิดสามทาง						
P_{gage} (บาร์)	แอนนิโมมิเตอร์ แบบใบพัด	แอนนิโมมิเตอร์ แบบขดลวดร้อน	ถุงครอบ		แทนที่น้ำ	
	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)
1	1.08	1.3	54	35.73	18.4	13.47
2	1.58	1.9	54	25.06	18.6	9.45
3	2.15	2.4	54	18.27	17.9	6.32
4	2.76	3.1	54	14.21	-	-
5	3.38	3.8	54	11.68	-	-

ข้อต่อชนิดสามทาง						
P_{gage} (บาร์)	แอนนิโมมิเตอร์ แบบใบพัด	แอนนิโมมิเตอร์ แบบขดลวดร้อน	ถังครอบ		แทนที่น้ำ	
	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)
6	3.82	4.3	54	10.15	-	-
7	4.29	4.8	54	9.22	-	-
8	4.72	5.3	54	8.80	-	-

- คือ ช่วงที่อัตราไหลของอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมมีปริมาณมากเกินไปไม่สามารถใช้
หลักการแทนที่น้ำได้

จากตารางที่ 5.15 จะสามารถคำนวณอัตราการรั่วซึมของข้อต่อชนิดสามทางแยกเป็นวิธีที่
ทำการวัด โดยใช้หลักการคำนวณของแต่ละวิธีดังได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งได้ผลของการคำนวณอัตรา
การรั่วซึม ดังแสดงในตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 แสดงปริมาณการรั่วซึมจากข้อต่อชนิดสามทางที่วัดด้วยวิธีต่างๆ

ข้อต่อชนิดสามทาง				
P_{gage} (บาร์)	Q (ลิตร/วินาที)			
	แอนนิโมมิเตอร์ แบบใบพัด	แอนนิโมมิเตอร์ แบบขดลวดร้อน	ถังครอบ	แทนที่น้ำ
1	1.87	2.26	1.51	1.37
2	2.74	3.30	2.15	1.97
3	3.73	4.16	2.96	2.83
4	4.79	5.38	3.80	-
5	5.86	6.52	4.62	-
6	6.63	7.37	5.32	-
7	7.44	8.28	5.86	-
8	8.19	9.11	6.13	-

- คือ ช่วงที่อัตราไหลของอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมมีปริมาณมากเกินไปไม่สามารถใช้
หลักการแทนที่น้ำได้

5.8 ผลการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

ระบบอากาศอัดที่ใช้ในการทดลองใช้ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส เมื่อทำการวัดจะได้ลักษณะการใช้ไฟฟ้าในการการร่วซึมมีลักษณะดังรูปที่ 3.10 โดยค่าเฉลี่ยของการใช้ไฟฟ้าหาได้จากค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการร่วซึมตลอดช่วงการทำงานของระบบอากาศอัด ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการร่วซึมอากาศอัดในระบบอากาศอัดที่ทำการทดลอง เมื่อทำการวัดและหาค่าเฉลี่ยแล้วจะได้ค่าดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยในการร่วซึมของอากาศอัด

P_{gage} (บาร์)	P_{avg} (กิโลวัตต์)			
	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
1	0.085	0.315	0.681	0.932
2	0.139	0.538	1.065	1.552
3	0.185	0.662	1.383	2.057
4	0.211	0.852	1.643	x
5	0.241	1.012	1.877	x
6	0.282	1.078	x	x
7	0.332	1.376	x	x
8	0.374	1.408	x	x

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

จากตารางที่ 5.17 ทำให้ทราบปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการร่วซึมของอากาศอัดสำหรับแต่ละกรณีที่ทำการทดลอง เมื่อคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่ออัตราการร่วซึมของอากาศอัด โดยใช้ค่าของอัตราการร่วซึมที่ใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบ Hot Wire วัดความเร็วภายในท่อโดยตรงเป็นค่าในการหาลูกกำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่ออัตราการร่วซึมของอากาศอัดจะได้ค่าดังตารางที่ 5.18 จากตารางดังกล่าวจะสังเกตได้ว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันทุกกรณีที่ทำการทดลอง และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.239 กิโลวัตต์ / ลิตรต่อวินาที

ตารางที่ 5.18 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่ออัตราการรั่วซึมของอากาศอัด

P_{gage} (บาร์)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่ออัตราการรั่วซึมของอากาศอัด (กิโลวัตต์ / ลิตรต่อวินาที)			
	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
1	0.244	0.227	0.236	0.236
2	0.250	0.242	0.240	0.235
3	0.254	0.239	0.246	0.220
4	0.243	0.234	0.226	x
5	0.240	0.254	0.231	x
6	0.232	0.230	x	x
7	0.245	0.251	x	x
8	0.239	0.235	x	x

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

บทที่ 6

วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการนำผลการทดลองที่ได้ทำการทดลองมาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของการวัดหาปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัด ณ ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมด้วยวิธีการวัดที่แตกต่างกัน 6 วิธีที่ได้นำเสนอ โดยนำมาเปรียบเทียบลักษณะของวิธีการวัดและผลของปริมาณการรั่วซึมที่วัดได้จากการทดลองซึ่งจะทำการเปรียบเทียบที่ลักษณะและขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมแบบเดียวกันและใช้ระบบอากาศอัดชนิดเดียวกัน แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าความดันของอากาศอัดที่ใช้ตามกรณีที่ทำการทดลอง

ซึ่งในการเปรียบเทียบนี้จะกำหนดให้วิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมโดยการใช้แอนนิโมมิเตอร์ชนิด Hot Wire วัดความเร็วภายในท่อโดยตรงเป็นเกณฑ์ในการอ้างอิงค่าของความถูกต้องแม่นยำในการวัด เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้วัดที่สภาวะการใช้งานจริงตลอดช่วงระยะเวลาการใช้งาน เครื่องมือวัดที่ใช้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำการวัดได้ในกรณีที่มีค่าความเร็วในการไหลมีค่าน้อยมากได้ ค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดจะอ่านค่าเป็นค่าความเร็วในการไหลของอากาศอัดโดยตรงมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากขณะทำการวัด ขนาดของอุปกรณ์เมื่อเทียบกับขนาดของท่อที่ใช้วัดมีขนาดเหมาะสมไม่ขวางทิศทางการไหลจนเกินไป ซึ่งเหมาะกับกรณีที่ทำการทดลองจึงกำหนดให้วิธีนี้เป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือและมีความถูกต้องแม่นยำในการวัดเป็นเกณฑ์ในการอ้างอิง

ผลการทดลองจากแบบจำลองและวิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมในรูปแบบต่างๆ ที่แสดงไว้ในผลการทดลองเมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกันจะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 6.1-6.4 และเมื่อนำไปทดลองใช้กับอุปกรณ์ที่มีการใช้งานจริงในทางปฏิบัติ จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 6.5-6.7 ซึ่งสามารถวิเคราะห์และสรุปผลของการเปรียบเทียบได้ดังนี้

การวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ จะเป็นการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมโดยตรง ใช้วัดในช่วงระยะเวลาในการรั่วซึมช่วงสั้นๆ ไม่ตลอดช่วงการใช้งาน ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมต้องสามารถเคลื่อนย้ายเพื่อทำการวัดได้ ข้อดีคือใช้อุปกรณ์ในการวัดที่สามารถหาได้ง่าย ราคาถูก สามารถติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดได้ไม่ยุ่งยาก ใช้วัดสภาวะการใช้งานจริง

ส่วนผลของการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบที่ตำแหน่งการรั่วซึมขนาด 1 , 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตร จะได้ค่าความแตกต่างในการวัดน้อยกว่าประมาณ 21.98% , 32.36% , 34.99% และ

36.45% ตามลำดับ และจะได้ค่าความแตกต่างของทุกตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมเฉลี่ยน้อยกว่าประมาณ 31.44%

จะสังเกตได้ว่าค่าความแตกต่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากตำแหน่งของการรั่วซึมที่มีขนาดใหญ่ ปริมาณการรั่วซึมก็จะมีปริมาณมากขึ้นทำให้การวัดใช้ระยะเวลาในการวัดน้อยยังไม่อยู่ในช่วงสภาวะคงที่ของการรั่วซึม อากาศที่รั่วซึมก็เต็มกระบอกดวงก่อนแล้ว วิธีการวัดนี้จึงเหมาะสำหรับการวัดปริมาณการรั่วซึมที่มีปริมาณน้อยและขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดเล็ก และเมื่อนำไปทดลองใช้วัดกับอุปกรณ์ที่มีการใช้งานจริงในทางปฏิบัติ ทำให้ทราบว่าค่าที่วัดได้มีแนวโน้มแบบเดียวกับค่าที่วัดได้จากการจำลองในการทดลอง และทำให้ทราบว่าวิธีนี้สามารถวัดได้กับทุกขนาดและทุกตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม

การวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยใช้ถุงครอบ จะเป็นการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมโดยตรง ใช้วัดในช่วงระยะเวลาในการรั่วซึมช่วงสั้นๆ ไม่ตลอดช่วงระยะเวลาการใช้งาน ข้อดี คือ ใช้อุปกรณ์ในการวัดที่สามารถหาได้ทั่วไป ราคาถูกมาก สามารถติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดได้ง่ายมาก ใช้วัดสภาวะการใช้งานจริง

ส่วนผลของการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบที่ตำแหน่งการรั่วซึมขนาด 1 , 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตร จะได้ค่าความแตกต่างในการวัดน้อยกว่าประมาณ 17.27% , 25.83% , 27.29% และ 33.36% ตามลำดับ และจะได้ค่าความแตกต่างของทุกตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมเฉลี่ยน้อยกว่าประมาณ 26.09%

จะสังเกตได้ว่าค่าความแตกต่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากตำแหน่งของการรั่วซึมที่มีขนาดใหญ่ ปริมาณการรั่วซึมก็จะมีปริมาณมากขึ้นทำให้การวัดใช้ระยะเวลาในการวัดน้อยยังไม่อยู่ในช่วงสภาวะคงที่ของการรั่วซึม อากาศที่รั่วซึมก็เต็มถุงก่อนแล้ว วิธีการวัดนี้จึงเหมาะสำหรับการวัดปริมาณการรั่วซึมที่มีปริมาณน้อยและขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดเล็ก และเมื่อนำไปทดลองใช้วัดกับอุปกรณ์ที่มีการใช้งานจริงในทางปฏิบัติ ทำให้ทราบว่าค่าที่วัดได้มีแนวโน้มแบบเดียวกับค่าที่วัดได้จากการจำลองในการทดลอง และทำให้ทราบว่าวิธีนี้สามารถวัดได้กับทุกขนาดและทุกตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม

การวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยวิธีวัดอัตราการไหลของลำการไหล จะเป็นการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดภายหลังจากไหลผ่านตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมาแล้ว ใช้อุปกรณ์ในการวัดที่มีราคาสูง ข้อดี คือ ใช้อุปกรณ์ในการวัดน้อย ติดตั้งง่ายไม่ยุ่งยาก ใช้วัดที่สภาวะการทำงานจริงตลอดช่วงระยะเวลาการใช้งาน

ส่วนผลของการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบที่ตำแหน่งการรั่วซึมขนาด 1 , 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตร จะได้ค่าความแตกต่างในการวัดน้อยกว่าประมาณ 42.03% , 41.68% , 40.80% และ

31.58% ตามลำดับ และจะได้ค่าความแตกต่างของทุกตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมเฉลี่ยน้อยกว่าประมาณ 39.02%

จะสังเกตได้ว่าค่าความแตกต่างจะน้อยลงเมื่อขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ค่าความแตกต่างในการวัดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นวิธีนี้จะมีค่าความแตกต่างสูงที่สุด เนื่องจากสูตรที่ใช้คำนวณนั้นได้กำหนดให้ค่าความหนาแน่นของอากาศอัดที่ตำแหน่งที่ทำการวัดเท่ากับค่าความหนาแน่นของอากาศอัดที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วค่าความหนาแน่นที่ตำแหน่งที่ทำการวัดจะมีค่าน้อยกว่าค่าความหนาแน่นของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม เนื่องจาก ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดอากาศอัดได้มีการกระจายตัวขยายออกสู่อากาศปกติค่าความหนาแน่นจึงลดลง และเมื่อขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดใหญ่ขึ้นค่าความแตกต่างของความหนาแน่นของตำแหน่งที่ทำการวัดกับตำแหน่งที่รั่วซึมมีความแตกต่างกันน้อยลงจึงส่งผลให้ค่าที่ได้มีความแตกต่างน้อยลงเช่นกัน

นอกจากเหตุผลดังกล่าวนี้ยังมีปัจจัยที่ส่งผลในการวัดให้มีความแตกต่างเพิ่มขึ้น คือ เนื่องจากอากาศอัดที่รั่วซึมที่ไหลผ่านใบพัดของเครื่องมือวัดขณะทำการวัดมีความเร็วและแรงมาก อากาศอัดที่มีความเร็วและแรงนี้เมื่อกระทบใบพัดจะมีอากาศบางส่วนที่สะท้อนหรือเบนไปในทิศทางอื่น จึงมีอากาศบางส่วนที่ไม่สามารถไหลผ่านใบพัดของเครื่องมือวัดได้ จากเหตุผลที่ได้กล่าวทั้งหมดนี้ส่งผลให้ค่าความแตกต่างในการวัดมีค่าความแตกต่างสูงที่สุด และเมื่อนำไปทดลองใช้วัดกับอุปกรณ์ที่มีการใช้งานจริงในทางปฏิบัติ ทำให้ทราบว่าวิธีนี้สามารถวัดได้กับตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมที่จะต้องรูขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม เนื่องจากจะต้องนำค่าของขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมไปใช้ในการคำนวณ และตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมจะต้องมีลักษณะการรั่วซึมคล้ายกับลักษณะการไหลแบบลำการไหล

การวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบใบพัดวัดความเร็วภายในท่อโดยตรง จะเป็นการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดก่อนตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ใช้อุปกรณ์ในการวัดที่มีราคาสูง ข้อดี คือ สามารถทำการวัดปริมาณการรั่วซึมได้ทุกอัตราการรั่วซึม ใช้อุปกรณ์ในการวัดน้อย ติดตั้งได้ง่าย ใช้วัดที่สภาวะการทำงานจริงตลอดช่วงระยะเวลาการใช้งาน

ส่วนผลของการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบที่ตำแหน่งการรั่วซึมขนาด 1 , 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตร จะได้ค่าความแตกต่างในการวัดน้อยกว่าประมาณ 7.56% , 5.61% , 5.75% และ 9.79% ตามลำดับ และจะได้ค่าความแตกต่างของทุกตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมเฉลี่ยน้อยกว่าประมาณ 7.17%

จะสังเกตได้ว่าค่าความแตกต่างจะค่อนข้างคงที่และมีค่าความแตกต่างเมื่อเทียบกับการวัดวิธีอื่นน้อยที่สุด เนื่องจากการวัดปริมาณการรั่วซึมอยู่ในช่วงคงที่ของสภาวะการรั่วซึม และในการวัดเป็นการวัดภายในท่อ จึงส่งผลให้ค่าความแตกต่างค่อนข้างคงที่ แต่ความแตกต่างในการวัด

ที่เกิดขึ้นนั้น เนื่องมาจากแอนนิโมมิเตอร์ชนิดไบพัตนี้เหมาะสำหรับการวัดความเร็วของของไหลในช่องเปิด แต่ในการทดลองนำมาวัดความเร็วภายในท่อซีมเป็นช่องปิด และขนาดของไบพัตที่ใช้มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับขนาดของท่อที่ทำการทดลอง ค่าความเร็วที่ได้จึงเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดไบพัต และอาจมีความเสียหายของไบพัตที่เกิดขึ้นด้วยเนื่องมาจากความเร็วที่ทำการวัดมีความเร็วที่น้อยมาก จากเหตุผลดังกล่าวนี้จึงส่งผลให้ค่าที่ได้จากการวัดมีความแตกต่างเกิดขึ้น และเมื่อนำไปทดลองใช้วัดกับอุปกรณ์ที่มีการใช้งานจริงในทางปฏิบัติ ทำให้ทราบว่าค่าที่วัดได้มีแนวโน้มแบบเดียวกับค่าที่วัดได้จากการจำลองในการทดลอง และทำให้ทราบว่าวิธีนี้สามารถวัดได้กับทุกขนาดและทุกตำแหน่งที่เกิดการรั่วซีม

การวัดปริมาณการรั่วซีมของอากาศอัดโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบ Hot Wire วัดความเร็วภายในท่อโดยตรง จะเป็นการวัดปริมาณการรั่วซีมของอากาศอัดก่อนตำแหน่งที่เกิดการรั่วซีม ใช้อุปกรณ์ในการวัดที่มีราคาสูง ข้อดี คือ สามารถทำการวัดปริมาณการรั่วซีมได้ทุกอัตราการรั่วซีม ใช้อุปกรณ์ในการวัดน้อย ติดตั้งได้ง่าย ใช้วัดที่สภาวะการทำงานจริงตลอดช่วงระยะเวลาการใช้งาน

ส่วนผลของการทดลองได้กำหนดให้เป็นค่าอ้างอิงมีความถูกต้องในการวัด เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดความเร็วในการไหลที่มีค่าน้อยมากได้ ขนาดของเส้นลวดร้อนมีขนาดเหมาะสมเมื่อเทียบกับขนาดของท่อไม่ใหญ่จนขวางทิศทางของไหลจนเกินไป ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดก็เป็นค่าความเร็วของของไหลโดยตรง และมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากขณะทำการวัด จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้วิธีนี้มีความเหมาะสม และน่าเชื่อถือจึงกำหนดให้ค่าความถูกต้องแม่นยำในการวัดเป็นเกณฑ์ในการอ้างอิงกับวิธีอื่น และเมื่อนำไปทดลองใช้วัดกับอุปกรณ์ที่มีการใช้งานจริงในทางปฏิบัติ ทำให้ทราบว่าค่าที่วัดได้มีแนวโน้มแบบเดียวกับค่าที่วัดได้จากการจำลองในการทดลอง และทำให้ทราบว่าวิธีนี้สามารถวัดได้กับทุกขนาดและทุกตำแหน่งที่เกิดการรั่วซีม

การวัดปริมาณการรั่วซีมของอากาศอัดโดยการคำนวณจากค่าความดันที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซีม จะเป็นการคำนวณหาปริมาณการรั่วซีมของอากาศอัดที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซีมโดยตรง โดยไม่ได้ทำการวัดที่สภาวะการทำงานจริง ข้อดี คือ สามารถทำการหาปริมาณการรั่วซีมได้โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ในการวัด

ส่วนผลของการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบที่ตำแหน่งการรั่วซีมขนาด 1 , 2 , 3 และ 4 มิลลิเมตร จะได้ค่าความแตกต่างในการวัดน้อยกว่าประมาณ 9.70% , 8.84% , 2.79% และมากกว่าประมาณ 16.80% ตามลำดับ และจะได้ค่าความแตกต่างของทุกตำแหน่งที่เกิดการรั่วซีมเฉลี่ยประมาณ 9.53%

จะสังเกตได้ว่าค่าความแตกต่างจะค่อยๆลดลงเมื่อขนาดตำแหน่งที่เกิดการรั่วซีมมีขนาด 1 , 2 และ 3 มิลลิเมตรและจะเพิ่มขึ้นที่ 4 มิลลิเมตร เนื่องจากค่าปริมาณการรั่วซีมที่วัดได้จะมีค่าต่ำกว่าและมีค่าปริมาณเพิ่มขึ้นสวนทางกับวิธีที่ใช้อ้างอิงในการทดลอง เพราะสูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ใช้ค่าความดันภายในท่อ ซึ่งเป็นค่าความดันที่มีการเปลี่ยนแปลงด้านความเร็วมาแล้วไม่ใช่ค่าความดันstagnation จึงเป็นค่าความดันที่เพิ่มขึ้นมีผลมาจากความเร็วของการเคลื่อนที่เพิ่มเข้ามาด้วย ทำให้กรณีขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดใหญ่ขึ้น จะได้ค่าปริมาณการรั่วซึมเพิ่มขึ้นเนื่องจากที่ขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดใหญ่จะมีความเร็วของการเคลื่อนที่ของอากาศอัดมากขึ้นด้วยค่าที่วัดได้จึงมีความแตกต่างมาก แต่ค่าความแตกต่างในช่วงที่ตำแหน่งการรั่วซึมมีขนาดเล็กความเร็วของการเคลื่อนที่ของอากาศอัดก็มีค่าความเร็วน้อยค่าที่วัดได้จึงมีความผิดพลาดน้อยด้วย และเมื่อนำไปทดลองใช้วัดกับอุปกรณ์ที่มีการใช้งานจริงในทางปฏิบัติ ทำให้ทราบว่าวิธีนี้สามารถวัดได้กับตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมที่จะต้องรู้ขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม เนื่องจากจะต้องนำค่าของขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมไปใช้ในการคำนวณ

เมื่อสังเกตลักษณะโดยรวมของผลการทดลองในทุกวิธีที่ทำการทดลองจะสรุปได้ว่า ค่าที่วัดได้จากวิธีการวัดอัตราไหลของลำการไหลมีความผิดพลาดเฉลี่ยน้อยกว่าประมาณ 39.02% จะมีความผิดพลาดโดยรวมมากกว่าวิธีอื่น และค่าที่วัดได้จะมีค่าน้อยกว่าวิธีอื่น และจะมีแตกต่างในการวัดน้อยลงเมื่อขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดใหญ่ และค่าที่วัดได้จะมีค่าน้อยกว่าค่าอ้างอิงในทุกกรณีที่ทำกรวัด เนื่องจากลักษณะการวัดเป็นการวัดที่หลังจากตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมแล้ว และสูตรที่ใช้คำนวณนั้นได้กำหนดให้ค่าความหนาแน่นของอากาศอัดที่ตำแหน่งที่ทำการวัดเท่ากับค่าความหนาแน่นของอากาศอัดที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมซึ่งไม่เป็นจริงในทางปฏิบัติ

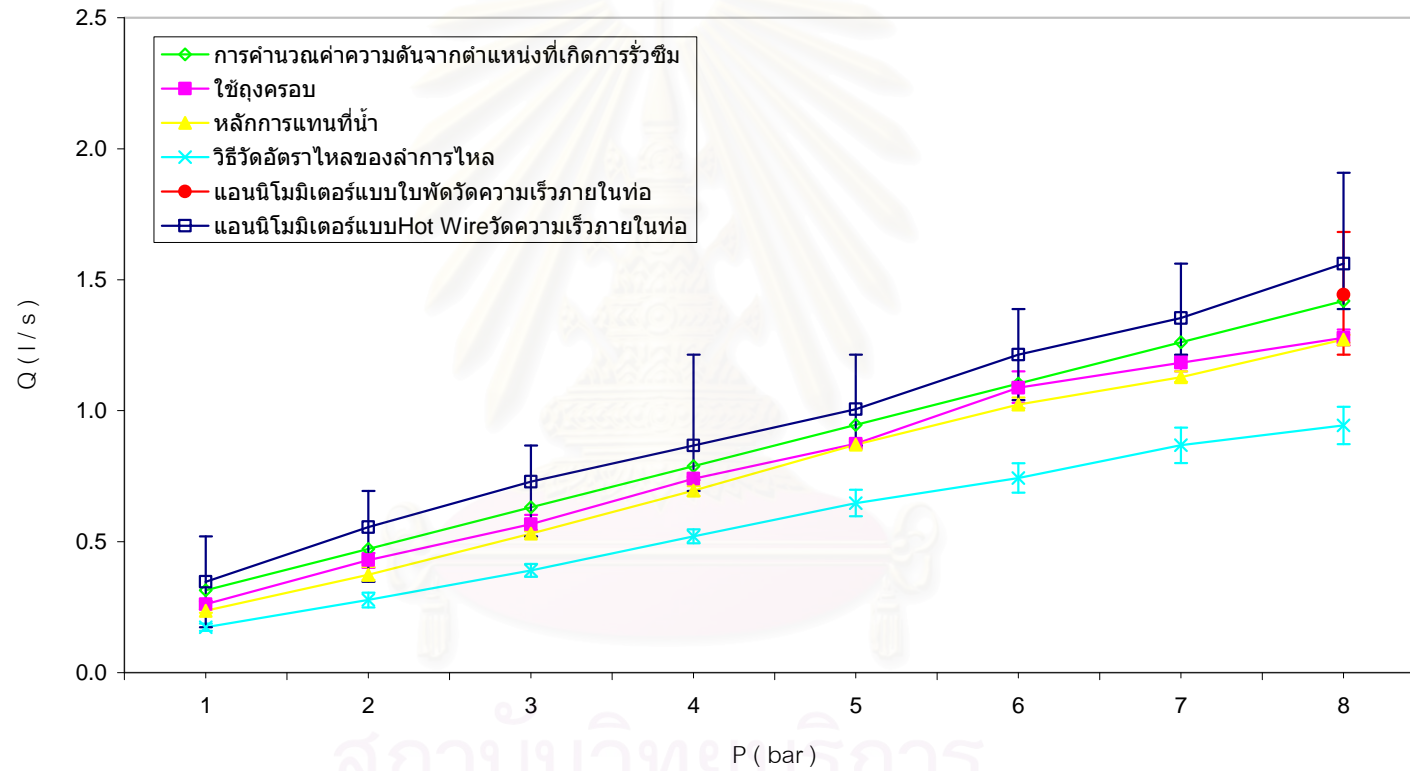
ส่วนค่าที่วัดได้จากวิธีใช้ถุงครอบกับวิธีใช้หลักการแทนที่น้ำมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยน้อยกว่าประมาณ 26.09% และ31.44%ตามลำดับ จะมีค่าความแตกต่างในการวัดมีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากลักษณะในการวัดมีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ค่าที่วัดได้ด้วยวิธีใช้ถุงครอบจะมีความผิดพลาดน้อยกว่า หรือได้ค่าที่ทำการวัดมากกว่าวิธีหลักการแทนที่น้ำอยู่เล็กน้อยเสมอในทุกกรณีที่ทำกรทดลอง เนื่องจากวิธีหลักการแทนที่น้ำอากาศอัดที่วัดได้มีความดันส่วนหนึ่งที่ใช้ในการแทนที่น้ำแต่วิธีใช้ถุงครอบอากาศอัดที่วัดได้ไม่มีความดันในส่วนนี้ และค่าที่วัดแตกต่างกันเล็กน้อยในกรณีที่ขนาดของตำแหน่งที่มีการรั่วซึมมีขนาดเล็ก และค่าที่วัดได้จากทั้งสองวิธีจะมีค่าน้อยกว่าค่าอ้างอิงในทุกกรณีที่ทำกรวัด เนื่องจากค่าที่วัดได้จะเป็นช่วงระยะสั้นๆที่ลักษณะการรั่วซึมยังไม่อยู่ในสภาวะคงที่

ส่วนค่าที่ได้จากวิธีใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบใบพัดและแอนนิโมมิเตอร์แบบHot Wireวัดความเร็วภายในท่อจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากลักษณะในการวัดมีลักษณะใกล้เคียงกัน และค่าที่วัดได้จากวิธีใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบใบพัดจะได้ค่าความแตกต่างค่อนข้างคงที่ในทุกกรณีที่ทำกรทดลองมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยน้อยกว่าประมาณ 7.18% เนื่องเป็นการวัดที่สภาวะคงที่ของการรั่วซึมและวัดที่ตำแหน่งเดียวกันกับวิธีอ้างอิง แต่ค่าที่วัดได้จากแอนนิโมมิเตอร์แบบใบพัดจะมีค่าน้อยกว่าวิธีใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบHot Wireในทุกกรณีที่ทำกรวัด เนื่องจากอุปกรณ์ที่นำมาใช้

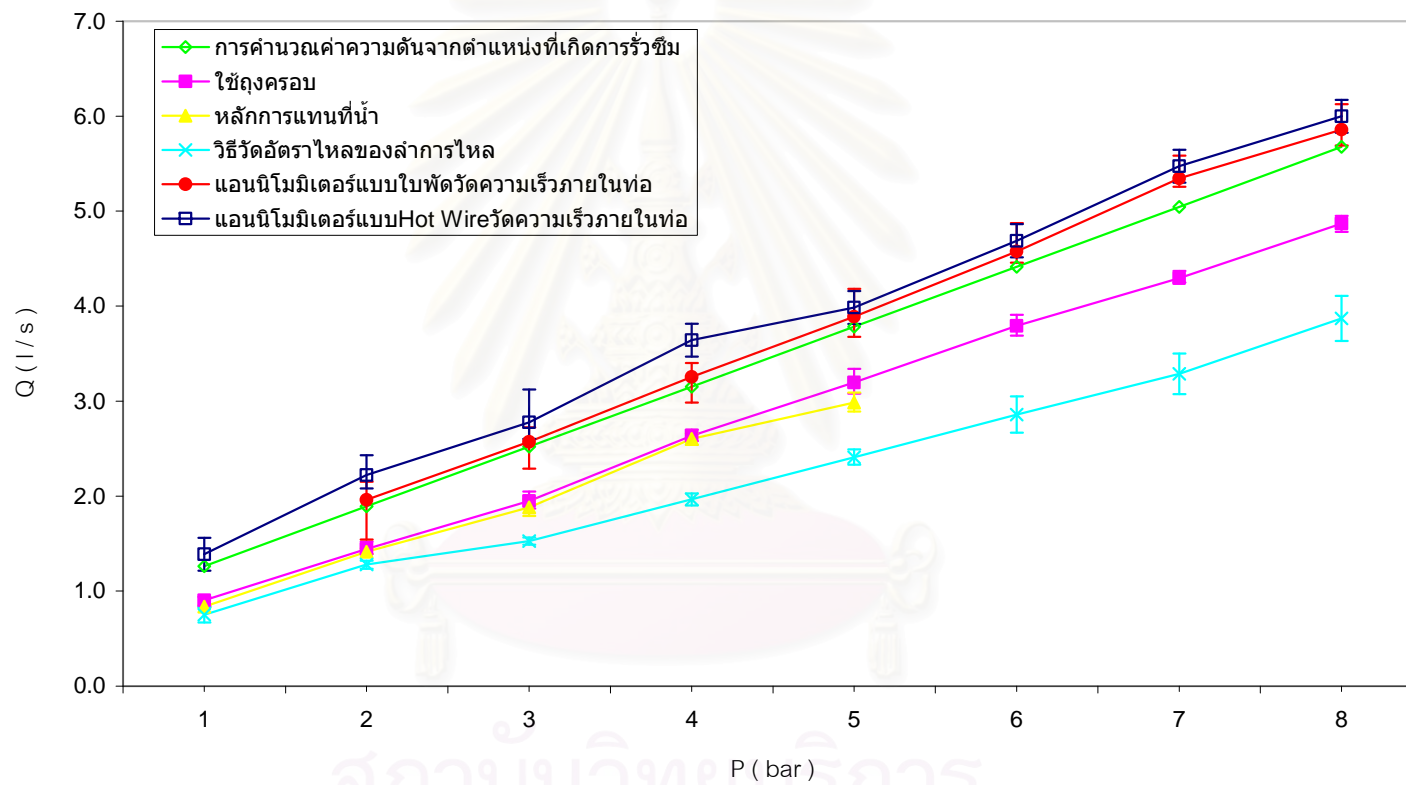
ไม่เหมาะสมกับการวัดภายในท่อ ส่วนค่าที่วัดได้จากวิธีใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบ Hot Wire ได้กำหนดให้เป็นค่าที่ถูกต้องใช้อ้างอิงกับวิธีอื่นๆ เนื่องจากลักษณะการวัด และอุปกรณ์ที่ใช้มีความเหมาะสมในการวัด

ส่วนค่าที่วัดได้จากวิธีการคำนวณมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยประมาณ 9.53% จะได้น้อยกว่าค่าอ้างอิงในกรณีตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดเล็ก และจะได้ค่ามากกว่าค่าอ้างอิงในกรณีที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดใหญ่ เนื่องจากสูตรที่ใช้ในการคำนวณใช้ค่าความดันภายในท่อ ซึ่งเป็นค่าความดันที่มีการเปลี่ยนแปลงด้านความเร็วมาแล้วไม่ใช่ค่าความดันstagnation ที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดเล็กมีการมีการเปลี่ยนแปลงด้านความเร็วน้อยจึงยังคงมีน้อยกว่า ส่วนที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมีขนาดใหญ่มีการมีการเปลี่ยนแปลงด้านความเร็วมากกว่า ค่าที่ได้จึงมีค่าเพิ่มขึ้นจนมากกว่าค่าอ้างอิง และเมื่อพิจารณาที่ค่าความดันในทุกวิธีที่ทำการวัดที่ความดันน้อยจะมีค่าความแตกต่างมากกว่าที่ค่าความดันมาก เนื่องจากที่ค่าความดันน้อยค่าที่วัดได้มีค่าน้อยเมื่อมีความแตกต่างเกิดขึ้นจึงคิดเป็นสัดส่วนที่มาก แต่เมื่อค่าความดันมากค่าที่วัดได้มีค่ามากเมื่อมีความแตกต่างเกิดขึ้นจึงคิดเป็นสัดส่วนที่น้อย และเมื่อนำไปทดลองวัดกับอุปกรณ์ที่ใช้งานจริงในทางปฏิบัติ ทำให้ทราบว่าค่าที่วัดได้มีแนวโน้มแบบเดียวค่าที่วัดได้จากการจำลองในการทดลองจึงแสดงว่าวิธีที่ได้นำเสนอสามารถนำไปใช้งานจริงในทางปฏิบัติได้

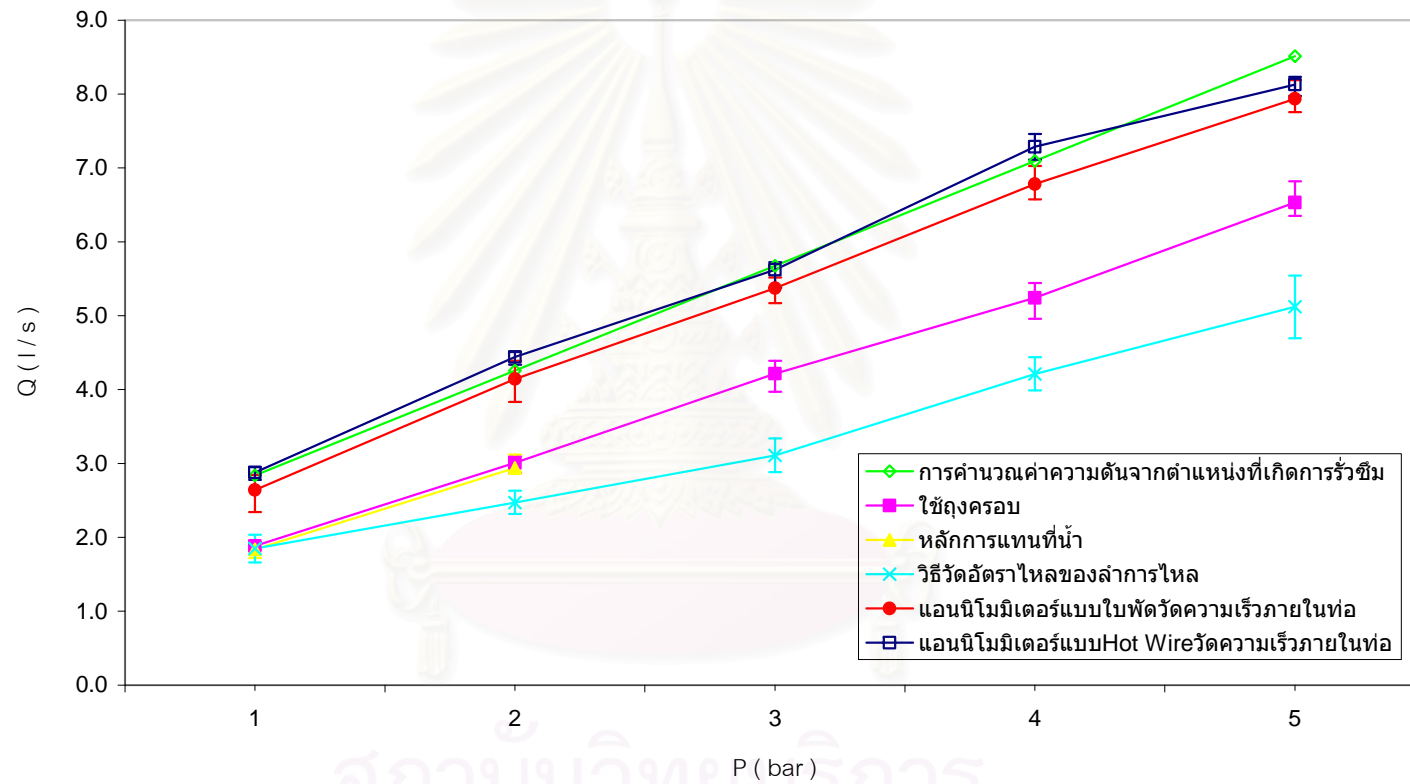
จากการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการรั่วซึมของอากาศอัดที่ใช้ในการทดลอง จะสังเกตได้ว่าค่าของปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าจะมีค่าเปลี่ยนแปลงแปรผันตรงกับอัตราการรั่วซึมที่เกิดขึ้น คือเมื่อมีปริมาณอัตราการรั่วซึมเพิ่มขึ้นค่าของปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้ามักจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีที่ปริมาณอัตราการรั่วซึมน้อยค่าของปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าก็มีค่าน้อยเช่นกัน และเมื่อสังเกตค่าของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตต่ออัตราการรั่วซึมของอากาศอัด จะเห็นว่าในทุกกรณีที่ทำการทดลองจะมีค่าใกล้เคียงกันโดยจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.239 กิโลวัตต์ / ลิตรต่อวินาที จากค่าที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าค่าดังกล่าวนี้มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณหรืออัตราการรั่วซึมที่เกิดขึ้นและค่าที่ได้นี้เป็นค่าของระบบอากาศอัดที่ได้ทำการทดลองวัดโดยตรงในทางปฏิบัติ ซึ่งจะมีค่าแตกต่างจากค่าที่กำหนดใช้กันคือมีค่า 0.4 กิโลวัตต์ / ลิตรต่อวินาที จะเห็นว่าค่าที่ได้มีค่าแตกต่างกันเนื่องจากลักษณะการทำงานของเครื่องอัดอากาศที่ใช้ คือเครื่องอัดอากาศที่ทำการทดลองเป็นเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบเมื่ออยู่ในสภาวะไม่มีโหลดจะไม่มีการใช้ไฟฟ้ายเลย ค่าที่ได้จึงมีค่าน้อยกว่าคือมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.239 กิโลวัตต์ / ลิตรต่อวินาที ส่วนค่าที่กำหนดมีค่ามากกว่า คือมีค่า 0.4 กิโลวัตต์ / ลิตรต่อวินาที เนื่องจากเครื่องอัดอากาศที่กำหนดเป็นเครื่องอัดอากาศแบบสกรูเครื่องอัดอากาศชนิดนี้เมื่ออยู่ในสภาวะไม่มีโหลดจะยังคงมีการใช้ไฟฟ้าอยู่ทำให้ค่าที่ได้จึงมีค่ามากกว่า ดังนั้นค่า 0.239 กิโลวัตต์ / ลิตรต่อวินาที จึงเป็นค่าที่ถูกต้องและเหมาะสมสำหรับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบที่ใช้ในการทดลอง



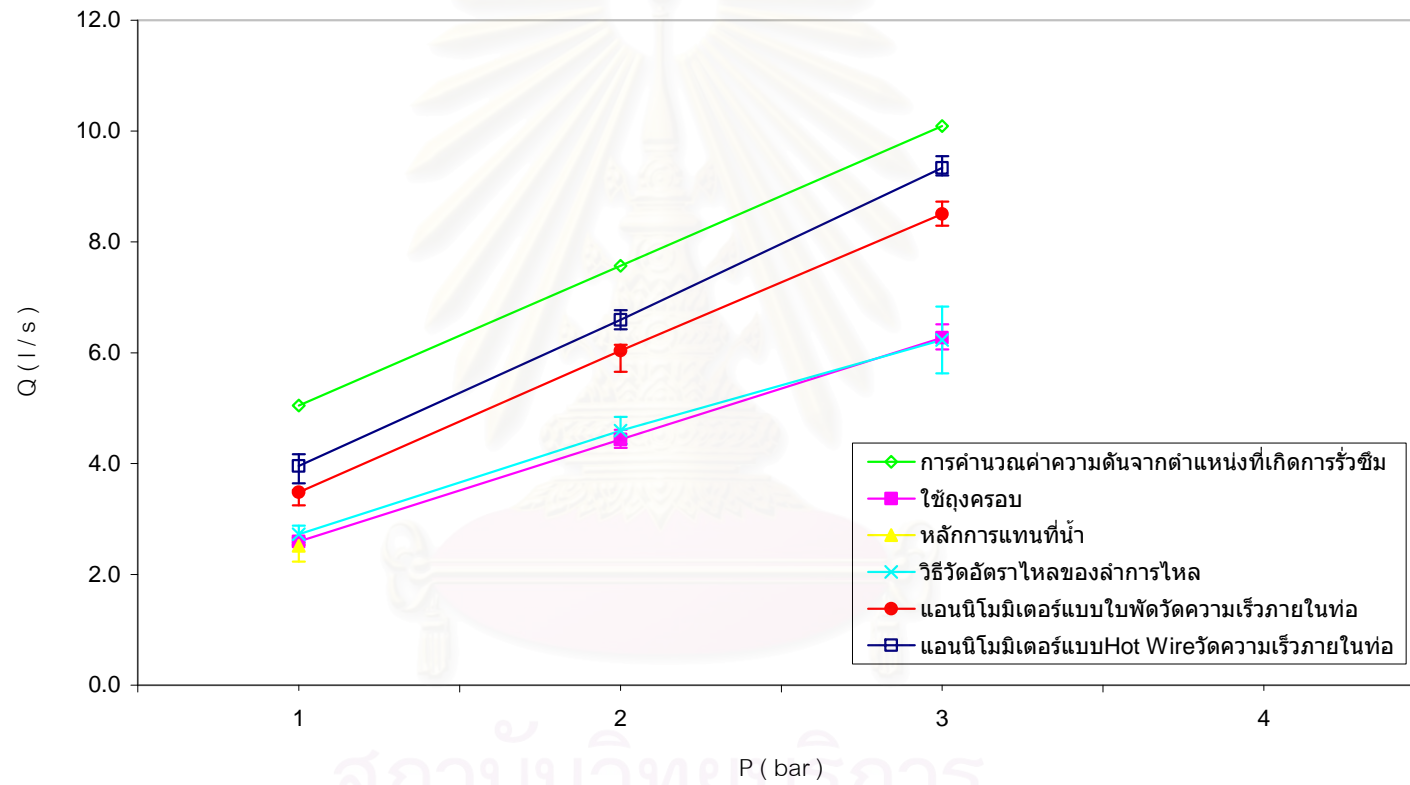
รูปที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศอัด ณ ตำแหน่งการรั่วซึมขนาด 1 มิลลิเมตร



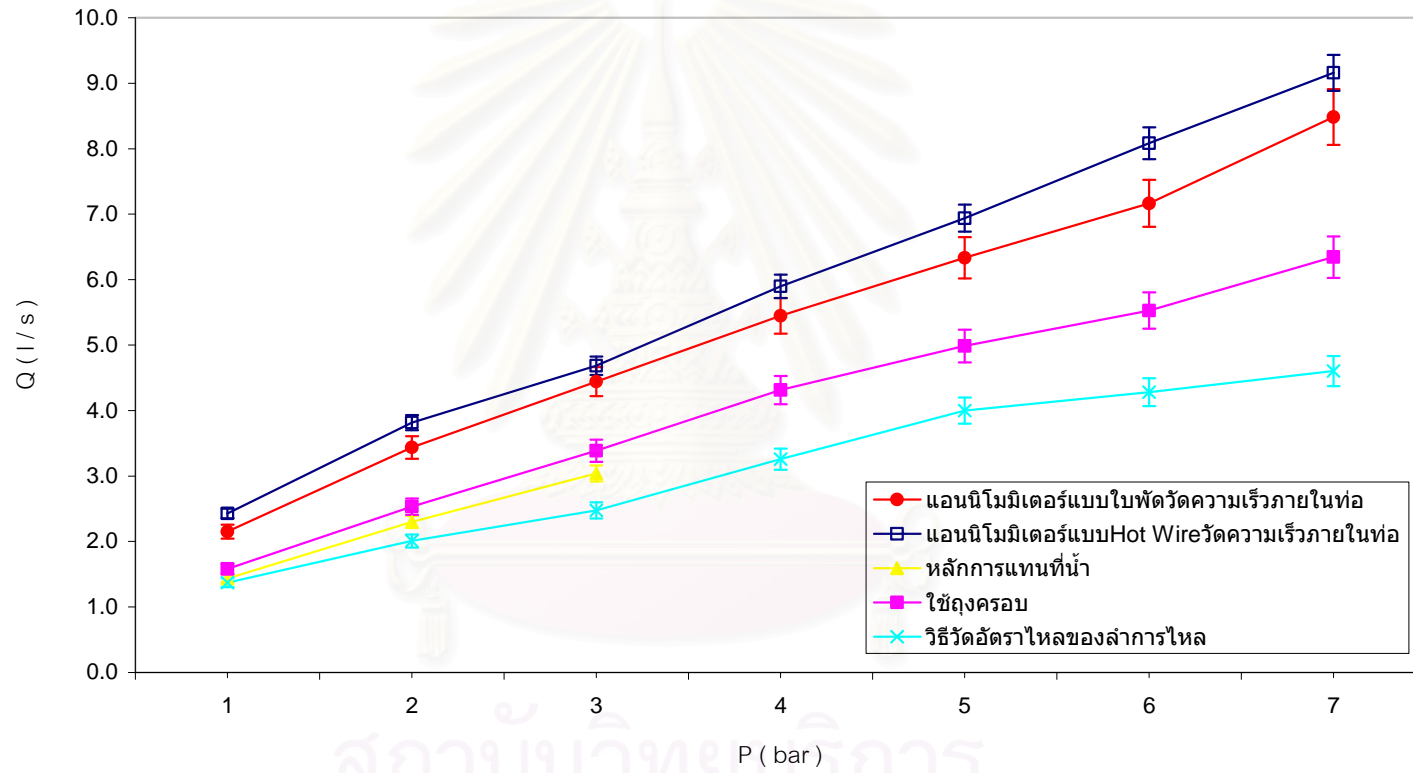
รูปที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศอัด ณ ตำแหน่งการรั่วซึมขนาด 2 มิลลิเมตร



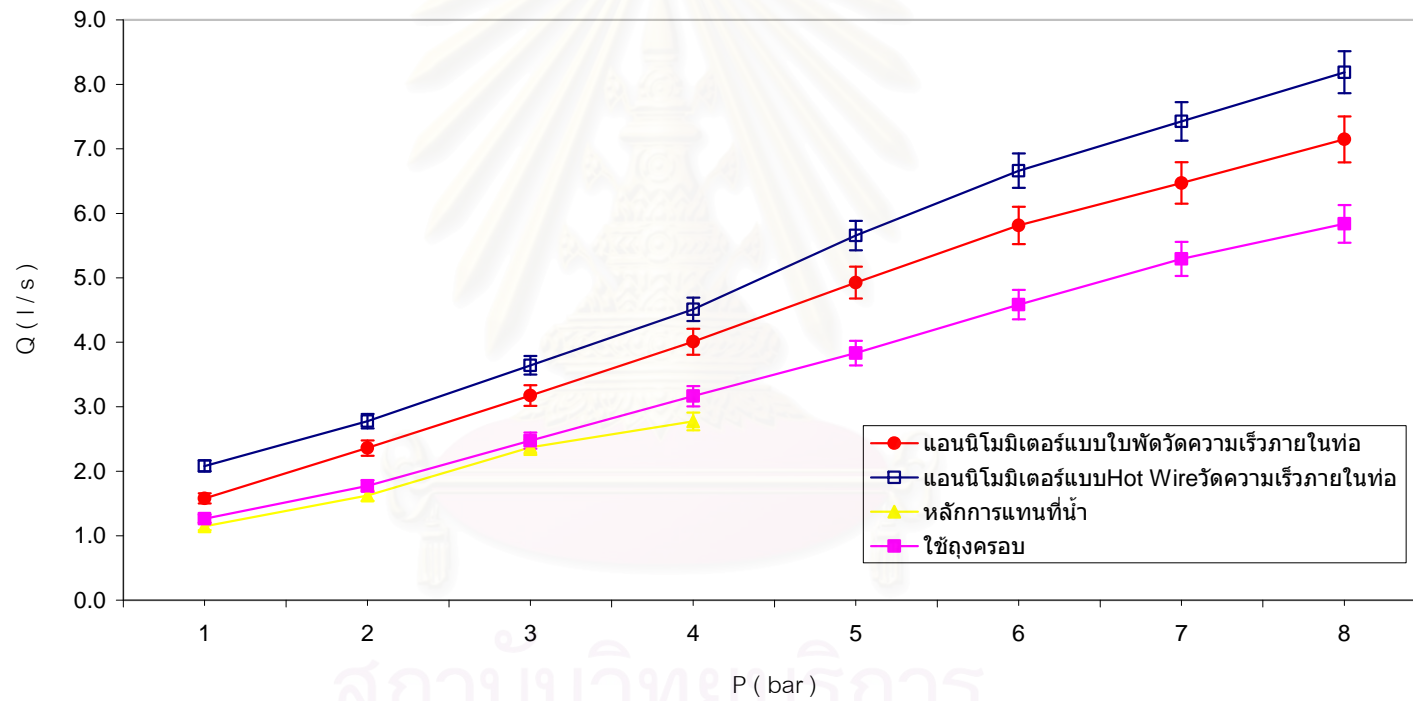
รูปที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศอัด ณ ตำแหน่งการรั่วซึมขนาด 3 มิลลิเมตร



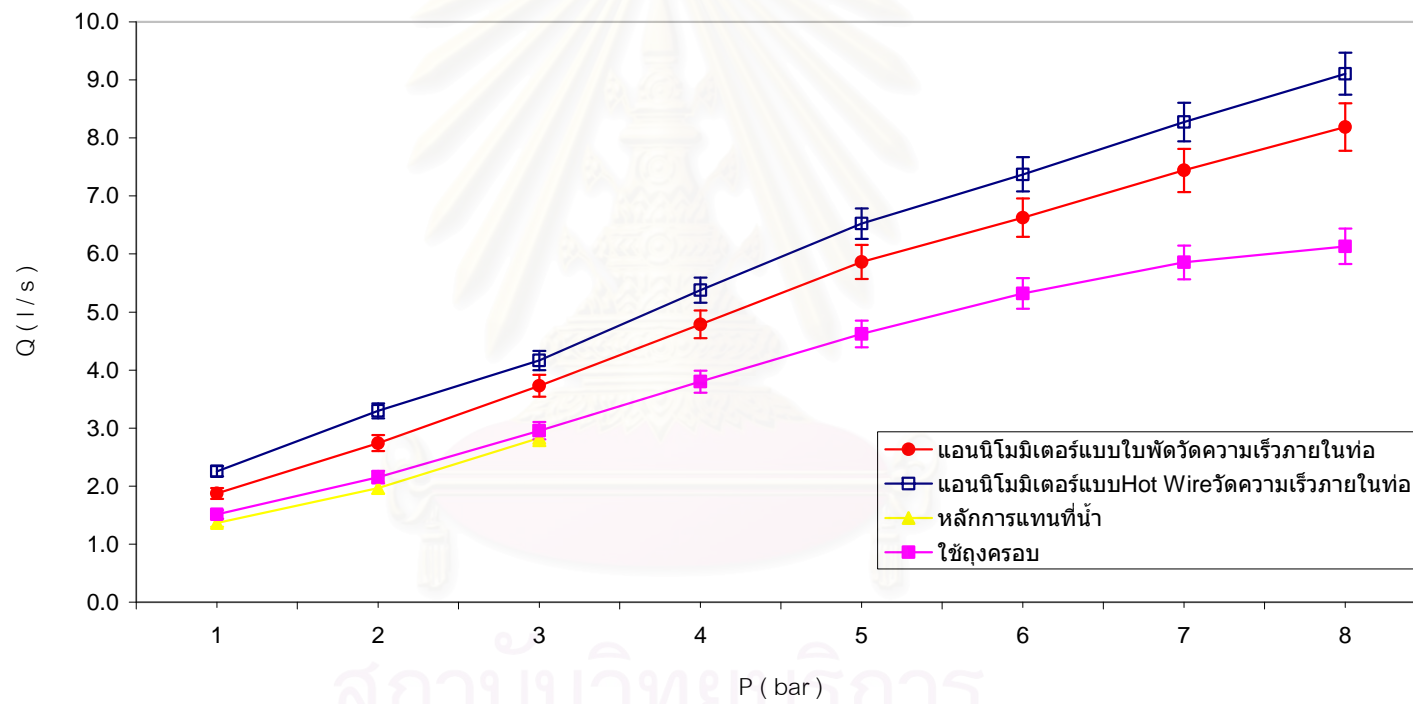
รูปที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศอัด ณ ตำแหน่งการรั่วซึมขนาด 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 6.5 แสดงอัตราการรั่วซึมอากาศอัดของปืนฉีดลมที่มีการชำรุด



รูปที่ 6.6 แสดงอัตราการรั่วซึมอากาศอัดของวาล์วเปิดปิดอากาศอัดที่มีการชำรุด



รูปที่ 6.7 แสดงอัตราการรั่วซึมอากาศอัดของข้อต่อชนิดสามทางที่มีการชำรุด และขึ้นสนิม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัด ณ ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมในรูปแบบต่างๆ เพื่อทำการประเมินปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัด โดยจะทำการศึกษาจากการจำลองระบบอากาศอัดและตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม แล้วนำเสนอวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 6 วิธี นำแบบจำลองและวิธีการวัดที่นำเสนอมาทำการทดลองและนำผลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดที่นำเสนอ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการพัฒนา ปรับปรุงระบบอากาศอัดในแนวทางที่เหมาะสมและเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ ซึ่งได้ผลสรุปจากการศึกษาทดลองงานวิจัย ดังนี้

ผลที่ได้จากการทดลองของงานวิจัย ทำให้ทราบถึงข้อดี ข้อเสีย และลักษณะของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัด ณ ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมที่ได้นำเสนอ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการเลือกวิธีการวัดให้มีความน่าเชื่อถือ เหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริงในทางปฏิบัติ ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังนี้

การวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ จะเป็นการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมโดยตรง เหมาะสำหรับการวัดปริมาณการรั่วซึมที่มีปริมาณน้อย ใช้วัดที่ช่วงระยะเวลาในการรั่วซึมช่วงสั้นๆ ไม่ตลอดช่วงการใช้งาน ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมต้องสามารถเคลื่อนย้ายเพื่อทำการวัดได้ ข้อดี คือ ใช้อุปกรณ์ในการวัดที่สามารถหาได้ง่าย ราคาถูก สามารถติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดได้ไม่ยุ่งยาก ใช้วัดสภาวะการใช้งานจริง สามารถทำการวัดได้ที่ทุกขนาดและทุกตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ผลของการวัดมีค่าความแตกต่างในการวัดเฉลี่ยน้อยกว่าประมาณ 31.44%

การวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยใช้ถุงครอบ จะเป็นการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมโดยตรง เหมาะกับการวัดปริมาณการรั่วซึมที่มีปริมาณน้อย ใช้วัดที่ช่วงระยะเวลาในการรั่วซึมช่วงสั้นๆ ไม่ตลอดช่วงระยะเวลาการใช้งาน ข้อดี คือ ใช้อุปกรณ์ในการวัดที่สามารถหาได้ทั่วไป ราคาถูกมาก สามารถติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดได้ง่าย สามารถทำการวัดได้ที่ทุกขนาดและทุกตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ผลของการวัดมีค่าความแตกต่างในการวัดเฉลี่ยน้อยกว่าประมาณ 26.09%

การวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยวิธีวัดอัตราการไหลของลำการไหล จะเป็นการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดภายหลังจากไหลผ่านตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมมาแล้ว ใช้อุปกรณ์ในการวัดที่มีราคาสูง สามารถทำการวัดได้เฉพาะตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมที่รู้ขนาดตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม และมีลักษณะการรั่วซึมคล้ายการไหลแบบลำการไหล ข้อดี คือ สามารถทำการวัดปริมาณการรั่วซึมได้ทุกอัตราการรั่วซึม ใช้อุปกรณ์ในการวัดน้อย ติดตั้งง่ายไม่ยุ่งยาก ใช้วัดที่สภาวะการทำงานจริงตลอดช่วงระยะการใช้งาน ผลของการวัดมีค่าความแตกต่างในการวัดเฉลี่ยน้อยกว่าประมาณ 39.02%

การวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยใช้หลอดปิโท จะเป็นการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดก่อนตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม เหมาะสำหรับการวัดปริมาณการรั่วซึมที่มีปริมาณมาก ใช้อุปกรณ์ในการวัดมาก ราคาสูง มีลักษณะการติดตั้งที่ยุ่งยาก ข้อดี คือ สามารถทำการวัดปริมาณการรั่วซึมได้ทุกอัตราการรั่วซึม ใช้วัดที่สภาวะการทำงานจริงตลอดช่วงระยะการใช้งาน แต่ในการทดลองนี้ไม่สามารถทำการวัดได้ เนื่องจากการรั่วซึมมีปริมาณน้อยเกินไป

การวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบใบพัดวัดความเร็วภายในท่อโดยตรง จะเป็นการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดก่อนตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ใช้อุปกรณ์ในการวัดที่มีราคาสูง ทำการติดตั้งได้ยาก ข้อดี คือ สามารถทำการวัดปริมาณการรั่วซึมได้ทุกอัตรา ทุกขนาดและทุกตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ใช้อุปกรณ์ในการวัดน้อย ใช้วัดที่สภาวะการทำงานจริงตลอดช่วงระยะการใช้งาน ผลของการวัดมีค่าความแตกต่างในการวัดเฉลี่ยน้อยกว่าประมาณ 7.17%

การวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบ Hot Wire วัดความเร็วภายในท่อโดยตรง จะเป็นการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดก่อนตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ใช้อุปกรณ์ในการวัดที่มีราคาสูง ทำการติดตั้งได้ยาก ข้อดี คือ สามารถทำการวัดปริมาณการรั่วซึมได้ทุกอัตรา ทุกขนาดและทุกตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ใช้อุปกรณ์ในการวัดน้อย ใช้วัดที่สภาวะการทำงานจริงตลอดช่วงระยะการใช้งาน ผลของการวัดมีความเหมาะสม และน่าเชื่อถือจึงกำหนดให้ค่าความถูกต้องแม่นยำในการวัดเป็นเกณฑ์ในการอ้างอิงกับวิธีอื่น

การวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดโดยการคำนวณจากค่าความดันที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม จะเป็นการคำนวณหาปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดที่ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมโดยตรงหาปริมาณการรั่วซึมโดยไม่ได้ทำการวัดที่สภาวะการทำงานจริง สามารถทำการวัดได้เฉพาะตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมที่รู้ขนาดตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม ข้อดี คือ สามารถทำการวัดปริมาณการรั่วซึมได้ทุกอัตราการรั่วซึม สามารถทำการหาได้โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ในการวัด ผลของการวัดมีค่าความแตกต่างในการวัดเฉลี่ยประมาณ 9.53% ซึ่งค่าที่ได้มีทั้งมากกว่าและน้อยกว่าค่าอ้างอิง

การวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตต่ออัตราการรั่วซึมของอากาศอัดที่ได้จากการทดลอง มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.239 กิโลวัตต์ / ลิตรต่อวินาที ทำให้ทราบว่าค่าที่ได้ดังกล่าวนี้เป็นค่าที่มีความถูกต้องและเหมาะสมกับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากเป็นค่าที่ทำการวัดจริงโดยตรงในทางปฏิบัติ ซึ่งมีค่าแตกต่างกับค่าที่มีการกำหนดให้ใช้คือมีค่า 0.4 กิโลวัตต์ / ลิตรต่อวินาที ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ได้ทำการวัดจริง จึงนำเสนอค่า 0.239 กิโลวัตต์ / ลิตรต่อวินาที เพื่อนำไปใช้งานกับเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบให้มีความถูกต้องแม่นยำ และน่าเชื่อถือกับการใช้งานในทางปฏิบัติมากขึ้น

7.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะของงานวิจัยในอนาคต

จากการศึกษาทดลองวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัด ณ ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้ทราบถึงปัญหา และวิธีการวัดค่าต่างๆของระบบอากาศอัด ซึ่งเป็นข้อสังเกต แนวความคิดสำหรับการเริ่มต้นงานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบอากาศอัดให้ผู้วิจัยในรุ่นต่อไป โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. จากการศึกษาทำให้ทราบว่าระบบอากาศอัดมักจะมี การรั่วซึมที่เกิดขึ้นได้ง่าย แต่การ ขนาดของตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมนั้นทำได้ยาก ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาวิธีการหาขนาดของ ตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมของอากาศอัดในระบบอากาศอัด เพื่อจะสามารถนำไปแก้ไขปรับปรุงใน ส่วนที่เกิดการรั่วซึมที่เกิดขึ้นได้

2. จากการศึกษาทำให้ทราบว่า การรั่วซึมของอากาศอัดนั้นเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมากใน ระบบอากาศอัด ดังนั้นหากทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ ปัจจัย หรือตัวแปรที่ส่งผลทำให้เกิดการ รั่วซึมแล้วทำการปรับปรุงแก้ไขก็จะทำให้การรั่วซึมที่เกิดขึ้นมีปริมาณลดน้อยลง จึงเป็นเรื่องที่ควร ทำการวิจัยต่อไป

3. สามารถนำวิธีการวัดหาปริมาณการรั่วซึมของอากาศอัดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ไป พัฒนาปรับปรุง และประยุกต์วิธีการเหล่านี้ เพื่อนำไปวัดหาปริมาณการรั่วซึมที่เกิดขึ้นกับระบบอื่น เช่น การวัดหาปริมาณการรั่วซึมที่เกิดขึ้นในระบบไอน้ำ

4. เมื่อทราบว่า การรั่วซึมของอากาศอัดส่งผลกระทบต่อ การสูญเสียพลังงานในระบบอากาศอัด แล้ว อาจจะทำ การวิเคราะห์หาผลกระทบของตัวแปรอื่น ๆ ที่มีผลต่อการสูญเสียพลังงาน เช่น คุณภาพของอากาศที่ใช้ในการผลิต ซึ่งเป็นความรู้ทางทางวิทยาศาสตร์สาขาอื่น เป็นต้น เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานในระบบอากาศอัดต่อไป

5. จากการศึกษาทำให้ทราบว่าในการผลิตอากาศอัดนั้นพลังงานที่เครื่องอัดอากาศใช้จะมี ส่วนที่สูญเสียไปกับความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ดังนั้นถ้าสามารถทำการ ศึกษา และ

เสนอแนะแนวทางในการนำความร้อนที่เกิดสูญเสียนี้ไปใช้ประโยชน์ เพื่อเป็นการลดการสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการผลิตอากาศอัดได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. การอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศ. กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2545.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. การอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศ. แผนงานการอนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , 2543.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. อนุรักษ์พลังงาน ระบบอัดอากาศ. (เอกสารเผยแพร่ ชุดที่ 16) กระทรวงพลังงาน : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2548.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม. สำนักงานเทคโนโลยีความปลอดภัย : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548.

ชนะ ตันสุวิทย์. การอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด. ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน , 2545.

วงกต วงศ์อภัย. การอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม. เชียงใหม่ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม. เชียงใหม่, 2549.

วิศิษฐ์ จาตุรमान และ ขวัญชัย สิ้นทิพย์สมบุญณ์. กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพมหานคร : บริษัท เอช.เอ็น.กรุ๊ป จำกัด, 2542.

ภาษาอังกฤษ

Bruce R. Munson, Donald F. Young and Theodore H. Okishi. Fundamentals of Fluid Mechanics. Canada : John Wiley & Sons, 1990.

Frank M. White. Fluid Mechanics. 3th ed. Singapore : McGraw-Hill, 1994.

Gordon Van Wylen ,Richard Sonntag and Claus Borgnakke. Fundamentals of Classical Thermodynamics. 4th ed. USA : John Wiley & Sons, 1994.

Int.Organ.stand. Measurement of Fluid Flow by Means of orifice Plates ,nozzles and Venturi Tubes Inserted in Circular Cross section Conditions Running Full. Rep.DIS-5167. Geneva, 1976.

Jame A. Liggett. Fluid Mechanics. Singapore : McGraw-Hill, 1994.

Kelly Beiermann. Compressed Air Systems. USA : Nebraska Public Power District, 2003.

Michael J. Moran and Howard N.Shapiro. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 5th ed. USA : John Wiley & Sons, 2004.

M. Theosore Gresh. Compressor Performance. USA : Butterworth-Heinemann, 1991.

John K. Vennard and Robert L. Street. Elementary of fluid Mechanics. 6th ed. USA : John Wiley & Sons, 1982.

Pacific Gas and Electric Company. Efficiency Improvements in Industrial Compressed Air Systems. USA : Electric Power Research Institute, 2003.

Pijush K. Kundu and Ira M. Cohen. Fluid Mechanics. 3th ed. India : Rajkamal Electric Press, 2005.

Schlichting H. Boundary Layer Theory. New York : McGraw-Hill, 1958.

U.S. Department of Energy. Improving Compressed Air System Performance. USA :
Compressed Air Challenge, 2003.

V.W.Falkner and S.W.Skan. Solutions of the boundary layer equations. Phil.Mag. 12 :
865-896, 1931.

Wilbert F. Stoecker. Principles for Air Conditioning Practice. New York : Industrail Press
Inc, 1968.

Yunus A. Cengel and Michael A. Boles. Thermodynamics An Engineer Approach. 5th
ed. Singapore : McGraw-Hill, 2006.

Yunus A. Cengel and Michael A. Boles. Thermodynamics . London : McGraw-Hill, 1997.

Z.U.A.Warsi. Fluid Dynamics Theoretical and Computational Approaches. USA : CRC
Press., 2000.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
ตารางผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ตารางผลการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	1 มิลลิเมตร		2 มิลลิเมตร		3 มิลลิเมตร		4 มิลลิเมตร	
		V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)
1	1	18.8	77.4	17.6	21.3	17.8	10.35	18.8	7.46
	2	18.4	80.3	17.4	20.9	18.2	10.06	18.2	6.41
	3	18.6	77.8	17.2	20.2	17.6	9.31	18.4	8.25
	4	18.4	76.3	17.6	21.0	17.8	9.32	18.6	7.35
	5	17.8	77.1	17.2	20.5	17.6	9.46	18.2	7.43
	เฉลี่ย	18.40	77.8	17.40	20.8	17.80	9.68	18.44	7.33
2	1	17.6	49.7	18.6	13.19	18.6	6.64	-	-
	2	17.0	44.5	18.0	12.41	18.2	6.21	-	-
	3	17.2	47.0	18.2	12.82	18.4	6.22	-	-
	4	17.4	43.2	17.6	12.48	18.2	5.83	-	-
	5	16.8	46.3	18.6	13.38	17.8	6.16	-	-
	เฉลี่ย	17.20	46.0	18.20	12.85	18.24	6.20	-	-
3	1	17.0	31.5	18.2	9.89	17.8	10.35	-	-
	2	17.2	32.1	17.8	9.42	18.2	10.06	-	-
	3	16.6	30.7	17.6	9.17	17.6	9.31	-	-
	4	17.0	32.3	18.2	10.17	17.8	9.32	-	-
	5	16.4	31.7	17.4	8.83	17.6	9.46	-	-
	เฉลี่ย	16.84	31.7	17.84	9.48	17.80	9.68	-	-
4	1	17.8	25.9	18.6	7.32	-	-	x	x
	2	17.6	24.7	17.8	6.77	-	-	x	x
	3	17.2	25.5	18.2	7.00	-	-	x	x
	4	17.6	24.9	18.4	6.92	-	-	x	x
	5	17.0	24.6	18.0	6.98	-	-	x	x
	เฉลี่ย	17.44	25.1	18.20	6.99	-	-	x	x

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	1 มิลลิเมตร		2 มิลลิเมตร		3 มิลลิเมตร		4 มิลลิเมตร	
		V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)
5	1	18.8	21.8	17.6	5.73	-	-	x	x
	2	17.6	20.5	17.4	5.92	-	-	x	x
	3	18.4	20.7	17.6	5.70	-	-	x	x
	4	17.8	20.6	17.2	5.95	-	-	x	x
	5	18.4	21.1	17.4	5.94	-	-	x	x
	เฉลี่ย	18.20	20.9	17.44	5.84	-	-	x	x
6	1	18.0	17.48	-	-	x	x	x	x
	2	18.2	17.33	-	-	x	x	x	x
	3	17.6	17.25	-	-	x	x	x	x
	4	17.8	17.62	-	-	x	x	x	x
	5	17.4	17.23	-	-	x	x	x	x
	เฉลี่ย	17.80	17.38	-	-	x	x	x	x
7	1	17.8	15.48	-	-	x	x	x	x
	2	17.6	15.58	-	-	x	x	x	x
	3	17.4	15.68	-	-	x	x	x	x
	4	17.2	15.36	-	-	x	x	x	x
	5	17.2	15.22	-	-	x	x	x	x
	เฉลี่ย	17.44	15.46	-	-	x	x	x	x
8	1	18.6	14.76	-	-	x	x	x	x
	2	17.8	13.91	-	-	x	x	x	x
	3	18.0	14.17	-	-	x	x	x	x
	4	18.4	14.60	-	-	x	x	x	x
	5	18.2	14.11	-	-	x	x	x	x
	เฉลี่ย	18.20	14.31	-	-	x	x	x	x

- คือ ช่วงที่อัตราไหลของอากาศอัดที่เกิดการรั่วซึมมีปริมาณมากเกินไป

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

ตารางที่ ก.2 ตารางผลการทดลองของวิธีการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้ถุงครอบ

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	1 มิลลิเมตร		2 มิลลิเมตร		3 มิลลิเมตร		4 มิลลิเมตร	
		V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)
1	1	54.0	208.49	54.0	57.45	54.0	29.51	54.0	20.85
	2	54.0	200.00	54.0	60.20	54.0	28.72	54.0	21.01
	3	54.0	205.32	54.0	58.00	54.0	27.84	54.0	20.30
	4	54.0	197.80	54.0	64.44	54.0	28.27	54.0	20.69
	5	54.0	223.14	54.0	58.89	54.0	29.03	54.0	21.34
	เฉลี่ย	54.0	206.58	54.0	59.69	54.0	28.66	54.0	20.83
2	1	54.0	134.66	54.0	38.85	54.0	17.42	54.0	12.36
	2	54.0	127.96	54.0	38.30	54.0	18.82	54.0	12.16
	3	54.0	117.90	54.0	37.76	54.0	17.59	54.0	12.62
	4	54.0	122.73	54.0	36.73	54.0	17.82	54.0	12.11
	5	54.0	123.85	54.0	35.53	54.0	18.24	54.0	11.71
	เฉลี่ย	54.0	125.17	54.0	37.40	54.0	17.96	54.0	12.18
3	1	54.0	89.70	54.0	26.34	54.0	12.30	54.0	8.60
	2	54.0	98.18	54.0	27.98	54.0	13.01	54.0	8.91
	3	54.0	93.26	54.0	28.13	54.0	12.77	54.0	8.50
	4	54.0	99.26	54.0	28.88	54.0	13.60	54.0	8.29
	5	54.0	95.91	54.0	27.41	54.0	12.44	54.0	8.78
	เฉลี่ย	54.0	95.14	54.0	27.72	54.0	12.81	54.0	8.61
4	1	54.0	72.97	54.0	20.93	54.0	10.89	54.0*	6.30*
	2	54.0	72.78	54.0	20.00	54.0	10.23	54.0*	6.46*
	3	54.0	72.29	54.0	20.69	54.0	10.40	54.0*	6.55*
	4	54.0	73.47	54.0	20.30	54.0	10.11	54.0*	6.70*
	5	54.0	73.17	54.0	20.53	54.0	9.93	54.0*	6.81*
	เฉลี่ย	54.0	72.93	54.0	20.49	54.0	10.30	54.0*	6.56*

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	1 มิลลิเมตร		2 มิลลิเมตร		3 มิลลิเมตร		4 มิลลิเมตร	
		V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)	V (ลิตร)	t (วินาที)
5	1	54.0	61.22	54.0	17.03	54.0	7.92	54.0*	5.28*
	2	54.0	61.86	54.0	16.17	54.0	8.50	54.0*	5.16*
	3	54.0	62.36	54.0	16.62	54.0	8.19	54.0*	5.46*
	4	54.0	61.64	54.0	17.53	54.0	8.35	54.0*	5.28*
	5	54.0	61.78	54.0	17.20	54.0	8.40	54.0*	5.21*
	เฉลี่ย	54.0	61.77	54.0	16.90	54.0	8.27	54.0*	5.28*
6	1	54.0	52.43	54.0	14.48	54.0*	6.74*	54.0*	4.17*
	2	54.0	51.43	54.0	13.81	54.0*	6.79*	54.0*	4.29*
	3	54.0	49.54	54.0	13.99	54.0*	7.08*	54.0*	4.34*
	4	54.0	48.21	54.0	14.63	54.0*	6.98*	54.0*	4.30*
	5	54.0	46.96	54.0	14.32	54.0*	6.94*	54.0*	4.23*
	เฉลี่ย	54.0	49.63	54.0	14.24	54.0*	6.90*	54.0*	4.26*
7	1	54.0	44.63	54.0	12.36	54.0*	6.26*	54.0*	3.85*
	2	54.0	46.96	54.0	12.65	54.0*	6.31*	54.0*	3.93*
	3	54.0	46.15	54.0	12.62	54.0*	6.19*	54.0*	3.90*
	4	54.0	45.38	54.0	12.71	54.0*	6.22*	54.0*	3.87*
	5	54.0	45.00	54.0	12.56	54.0*	6.23*	54.0*	3.93*
	เฉลี่ย	54.0	45.61	54.0	12.58	54.0*	6.24*	54.0*	3.89*
8	1	54.0	42.86	54.0	10.98	54.0*	5.50*	54.0*	3.29*
	2	54.0	43.20	54.0	11.23	54.0*	5.42*	54.0*	3.30*
	3	54.0	41.22	54.0	11.07	54.0*	5.88*	54.0*	3.33*
	4	54.0	42.19	54.0	10.91	54.0*	5.64*	54.0*	3.37*
	5	54.0	41.86	54.0	11.30	54.0*	5.33*	54.0*	3.40*
	เฉลี่ย	54.0	42.25	54.0	11.09	54.0*	5.55*	54.0*	3.34*

* คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

ตารางที่ ก.3 ตารางผลการทดลองของกาววัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้วิธีวัดอัตราการไหลของลำการไหล

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	1 มิลลิเมตร		2 มิลลิเมตร		3 มิลลิเมตร		4 มิลลิเมตร	
		x (เมตร)	u_{cl} (เมตร/ วินาที)	x (เมตร)	u_{cl} (เมตร/ วินาที)	x (เมตร)	u_{cl} (เมตร/ วินาที)	x (เมตร)	u_{cl} (เมตร/ วินาที)
1	1	0.85	1.85	0.85	3.30	0.85	6.54	0.85	6.32
	2	0.85	1.59	0.85	3.88	0.85	5.81	0.85	7.03
	3	0.85	1.69	0.85	3.73	0.85	6.39	0.85	6.52
	4	0.85	1.64	0.85	4.03	0.85	6.10	0.85	6.74
	5	0.85	1.77	0.85	3.52	0.85	5.45	0.85	6.91
	เฉลี่ย	0.85	1.708	0.85	3.692	0.85	6.058	0.85	6.704
2	1	0.85	2.59	0.85	6.39	0.85	8.11	0.85	10.78
	2	0.85	2.88	0.85	6.5	0.85	8.36	0.85	11.92
	3	0.85	2.74	0.85	6.19	0.85	7.83	0.85	11.26
	4	0.85	2.99	0.85	6.11	0.85	8.62	0.85	11.13
	5	0.85	2.46	0.85	6.27	0.85	7.65	0.85	11.42
	เฉลี่ย	0.85	2.732	0.85	6.292	0.85	8.114	0.85	11.302
3	1	0.85	3.65	0.85	7.51	0.85	10.63	1.60	8.93
	2	0.85	3.95	0.85	7.55	0.85	10.22	1.60	7.38
	3	0.85	3.83	0.85	7.43	0.85	9.83	1.60	7.73
	4	0.85	3.69	0.85	7.34	0.85	10.89	1.60	8.52
	5	0.85	4.08	0.85	7.70	0.85	9.45	1.60	8.14
	เฉลี่ย	0.85	3.84	0.85	7.506	0.85	10.204	1.60	8.14
4	1	0.85	5.15	0.85	9.38	1.60	7.73	x	x
	2	0.85	5.25	0.85	9.84	1.60	7.52	x	x
	3	0.85	4.86	0.85	9.52	1.60	7.15	x	x
	4	0.85	5.34	0.85	9.64	1.60	7.33	x	x
	5	0.85	5.01	0.85	9.98	1.60	6.98	x	x
	เฉลี่ย	0.85	5.122	0.85	9.672	1.60	7.342	x	x

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	1 มิลลิเมตร		2 มิลลิเมตร		3 มิลลิเมตร		4 มิลลิเมตร	
		x (เมตร)	u_{cl} (เมตร/ วินาที)	x (เมตร)	u_{cl} (เมตร/ วินาที)	x (เมตร)	u_{cl} (เมตร/ วินาที)	x (เมตร)	u_{cl} (เมตร/ วินาที)
5	1	0.85	6.39	0.85	12.03	1.60	9.26	x	x
	2	0.85	6.19	0.85	12.06	1.60	9.65	x	x
	3	0.85	6.82	0.85	11.79	1.60	8.91	x	x
	4	0.85	5.87	0.85	11.46	1.60	8.56	x	x
	5	0.85	6.60	0.85	11.98	1.60	8.24	x	x
	เฉลี่ย	0.85	6.374	0.85	11.864	1.60	8.924	x	x
6	1	0.85	6.81	1.60	7.73	x	x	x	x
	2	0.85	7.57	1.60	7.94	x	x	x	x
	3	0.85	7.27	1.60	7.48	x	x	x	x
	4	0.85	7.05	1.60	6.97	x	x	x	x
	5	0.85	7.86	1.60	7.24	x	x	x	x
	เฉลี่ย	0.85	7.312	1.60	7.472	x	x	x	x
7	1	0.85	9.2	1.60	8.33	x	x	x	x
	2	0.85	8.84	1.60	8.59	x	x	x	x
	3	0.85	7.91	1.60	9.13	x	x	x	x
	4	0.85	8.53	1.60	8.88	x	x	x	x
	5	0.85	8.24	1.60	8.03	x	x	x	x
	เฉลี่ย	0.85	8.544	1.60	8.592	x	x	x	x
8	1	0.85	9.28	1.60	10.74	x	x	x	x
	2	0.85	9.96	1.60	9.52	x	x	x	x
	3	0.85	8.96	1.60	9.82	x	x	x	x
	4	0.85	9.62	1.60	10.39	x	x	x	x
	5	0.85	8.64	1.60	10.11	x	x	x	x
	เฉลี่ย	0.85	9.292	1.60	10.116	x	x	x	x

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

ตารางที่ ก.4 ตารางผลการทดลองของการวัดปริมาณการรั่วซึมโดยใช้อุปกรณ์วัดความเร็วภายในท่อโดยตรง

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
		u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)
1	1	<u>0.3</u>	<u>0.7</u> , 0.92	<u>1.7</u> , 1.64	<u>2.4</u> , 2.03
	2	<u>0.2</u>	<u>0.7</u> , 0.71	<u>1.6</u> , 1.50	<u>2.1</u> , 2.04
	3	<u>0.2</u>	<u>0.9</u> , 0.79	<u>1.7</u> , 1.53	<u>2.4</u> , 1.98
	4	<u>0.1</u>	<u>0.8</u> , 0.58	<u>1.7</u> , 1.35	<u>2.2</u> , 1.87
	5	<u>0.2</u>	<u>0.9</u> , 0.64	<u>1.6</u> , 1.59	<u>2.3</u> , 2.11
	เฉลี่ย	<u>0.2</u>	<u>0.80</u> , 0.728	<u>1.66</u> , 1.522	<u>2.28</u> , 2.006
2	1	<u>0.3</u>	<u>1.2</u> , 1.24	<u>2.6</u> , 2.45	<u>3.9</u> , 3.54
	2	<u>0.4</u>	<u>1.3</u> , 1.21	<u>2.5</u> , 2.41	<u>3.9</u> , 3.28
	3	<u>0.2</u>	<u>1.3</u> , 1.13	<u>2.5</u> , 2.34	<u>3.7</u> , 3.33
	4	<u>0.3</u>	<u>1.2</u> , 1.18	<u>2.6</u> , 2.21	<u>3.8</u> , 3.26
	5	<u>0.4</u>	<u>1.4</u> , 0.89	<u>2.6</u> , 2.53	<u>3.7</u> , 3.33
	เฉลี่ย	<u>0.32</u>	<u>1.28</u> , 1.130	<u>2.56</u> , 2.388	<u>3.80</u> , 3.348
3	1	<u>0.4</u>	<u>1.6</u> , 1.51	<u>3.4</u> , 3.06	<u>5.3</u> , 4.78
	2	<u>0.5</u>	<u>1.8</u> , 1.32	<u>3.3</u> , 3.18	<u>5.5</u> , 4.95
	3	<u>0.3</u>	<u>1.5</u> , 1.54	<u>3.4</u> , 3.11	<u>5.4</u> , 4.89
	4	<u>0.5</u>	<u>1.6</u> , 1.57	<u>3.2</u> , 2.98	<u>5.4</u> , 5.03
	5	<u>0.4</u>	<u>1.5</u> , 1.47	<u>3.4</u> , 3.16	<u>5.3</u> , 4.85
	เฉลี่ย	<u>0.42</u>	<u>1.60</u> , 1.482	<u>3.34</u> , 3.098	<u>5.38</u> , 4.90
4	1	<u>0.7</u>	<u>2.0</u> , 1.96	<u>4.4</u> , 3.86	x
	2	<u>0.4</u>	<u>2.2</u> , 1.72	<u>4.2</u> , 4.05	x
	3	<u>0.4</u>	<u>2.0</u> , 1.85	<u>4.3</u> , 3.79	x
	4	<u>0.5</u>	<u>2.1</u> , 1.90	<u>4.2</u> , 3.89	x
	5	<u>0.5</u>	<u>2.2</u> , 1.95	<u>4.4</u> , 3.95	x
	เฉลี่ย	<u>0.5</u>	<u>2.10</u> , 1.876	<u>4.30</u> , 3.908	x

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร	4 มิลลิเมตร
		u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)	u (เมตร/วินาที)
5	1	<u>0.5</u>	<u>2.30</u> , 2.18	<u>4.69</u> , 4.72	x
	2	<u>0.5</u>	<u>2.30</u> , 2.28	<u>4.69</u> , 4.51	x
	3	<u>0.6</u>	<u>2.30</u> , 2.41	<u>4.69</u> , 4.61	x
	4	<u>0.7</u>	<u>2.30</u> , 2.22	<u>4.69</u> , 4.56	x
	5	<u>0.6</u>	<u>2.30</u> , 2.12	<u>4.69</u> , 4.47	x
	เฉลี่ย	<u>0.58</u>	<u>2.30</u> , 2.242	<u>4.69</u> , 4.574	x
6	1	<u>0.8</u>	<u>2.70</u> , 2.59	x	x
	2	<u>0.6</u>	<u>2.70</u> , 2.57	x	x
	3	<u>0.8</u>	<u>2.70</u> , 2.60	x	x
	4	<u>0.7</u>	<u>2.70</u> , 2.81	x	x
	5	<u>0.6</u>	<u>2.70</u> , 2.62	x	x
	เฉลี่ย	<u>0.70</u>	<u>2.70</u> , 2.638	x	x
7	1	<u>0.7</u>	<u>3.16</u> , 3.03	x	x
	2	<u>0.9</u>	<u>3.16</u> , 3.22	x	x
	3	<u>0.7</u>	<u>3.16</u> , 2.89	x	x
	4	<u>0.8</u>	<u>3.16</u> , 3.16	x	x
	5	<u>0.8</u>	<u>3.16</u> , 3.1	x	x
	เฉลี่ย	<u>0.78</u>	<u>3.16</u> , 3.080	x	x
8	1	<u>1.1</u> , 0.79	<u>3.46</u> , 3.53	x	x
	2	<u>0.9</u> , 0.88	<u>3.46</u> , 3.31	x	x
	3	<u>0.9</u> , 0.97	<u>3.46</u> , 3.28	x	x
	4	<u>0.8</u> , 0.70	<u>3.46</u> , 3.35	x	x
	5	<u>0.8</u> , 0.82	<u>3.46</u> , 3.41	x	x
	เฉลี่ย	<u>0.90</u> , 0.832	<u>3.46</u> , 3.376	x	x

ตัวธรรมดา คือ ช่วงที่ใช้แอนนิโมมิเตอร์ชนิดใบพัด

ตัวเอียง คือ ช่วงที่ใช้แอนนิโมมิเตอร์ชนิดหลอดร่อน

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

ตารางที่ ก.5 ตารางผลการวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ผลิตอากาศอัดสำหรับการรั่วซึมของระบบอากาศอัด

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	1 มิลลิเมตร				
		V (โวลต์)	A (แอมป์)	P_{on} (กิโลวัตต์)	t_{on} (วินาที)	t_{off} (วินาที)
1	1	385	4.4	2.13	58	1390
	2	385	4.4	2.09	66	1487
	3	385	4.4	2.11	63	1549
	เฉลี่ย	385	4.4	2.11	62	1475
2	1	385	4.4	2.04	96	1336
	2	383	4.4	2.06	91	1273
	3	384	4.4	2.08	87	1178
	เฉลี่ย	384	4.4	2.06	91	1262
3	1	385	4.4	2.08	108	1045
	2	385	4.4	2.04	116	1201
	3	385	4.5	2.06	113	1151
	เฉลี่ย	385	4.4	2.06	112	1132
4	1	386	4.5	2.11	115	1002
	2	386	4.5	2.08	122	1092
	3	385	4.4	2.06	127	1123
	เฉลี่ย	386	4.5	2.08	121	1072
5	1	385	4.4	2.13	124	1048
	2	386	4.4	2.06	137	1024
	3	386	4.5	2.06	131	923
	เฉลี่ย	386	4.4	2.08	131	998
6	1	385	4.4	2.08	137	989
	2	385	4.4	2.08	149	843
	3	385	4.4	2.08	145	924
	เฉลี่ย	385	4.4	2.08	144	919

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	1 มิลลิเมตร				
		V (โวลต์)	A (แอมป์)	P_{on} (กิโลวัตต์)	t_{on} (วินาที)	t_{off} (วินาที)
7	1	385	4.4	2.06	163	908
	2	385	4.4	2.08	159	842
	3	385	4.4	2.13	153	757
	เฉลี่ย	385	4.4	2.09	158	836
8	1	385	4.4	2.13	173	822
	2	385	4.4	2.13	162	729
	3	385	4.4	2.08	179	835
	เฉลี่ย	385	4.4	2.11	171	795

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	2 มิลลิเมตร				
		V (โวลต์)	A (แอมป์)	P_{on} (กิโลวัตต์)	t_{on} (วินาที)	t_{off} (วินาที)
1	1	385	4.4	2.08	154	896
	2	385	4.4	2.13	162	855
	3	385	4.4	2.09	144	878
	เฉลี่ย	385	4.4	2.10	153	866
2	1	385	4.5	2.09	289	879
	2	385	4.4	2.04	258	824
	3	385	4.4	2.04	277	832
	เฉลี่ย	385	4.4	2.06	275	778
3	1	385	4.5	2.06	362	766
	2	385	4.4	2.06	312	702
	3	385	4.5	2.11	327	681
	เฉลี่ย	385	4.5	2.08	334	716
4	1	386	4.5	2.04	483	678
	2	385	4.4	2.09	429	621

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	2 มิลลิเมตร				
		V (โวลต์)	A (แอมป์)	P_{on} (กิโลวัตต์)	t_{on} (วินาที)	t_{off} (วินาที)
	3	386	4.5	2.06	458	645
	เฉลี่ย	386	4.5	2.06	457	648
5	1	384	4.4	2.03	598	606
	2	385	4.4	2.04	586	563
	3	384	4.3	2.06	547	588
	เฉลี่ย	384	4.4	2.04	577	586
6	1	385	4.4	2.09	579	581
	2	385	4.4	2.09	636	572
	3	384	4.5	2.13	563	534
	เฉลี่ย	385	4.4	2.10	593	562
7	1	385	4.4	2.11	987	502
	2	385	4.5	2.13	903	527
	3	385	4.5	2.09	936	481
	เฉลี่ย	385	4.5	2.11	942	503
8	1	384	4.4	2.04	1026	453
	2	385	4.4	2.06	961	472
	3	385	4.4	2.09	934	532
	เฉลี่ย	385	4.4	2.06	974	486

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	3 มิลลิเมตร				
		V (โวลต์)	A (แอมป์)	P_{on} (กิโลวัตต์)	t_{on} (วินาที)	t_{off} (วินาที)
1	1	386	4.5	2.06	342	688
	2	386	4.5	2.04	361	662
	3	385	4.4	2.08	327	733
	เฉลี่ย	386	4.5	2.06	343	694

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	3 มิลลิเมตร				
		V (โวลต์)	A (แอมป์)	P_{on} (กิโลวัตต์)	t_{on} (วินาที)	t_{off} (วินาที)
2	1	384	4.4	2.06	588	569
	2	384	4.4	2.06	672	591
	3	385	4.5	2.11	562	533
	เฉลี่ย	384	4.4	2.08	592	564
3	1	384	4.4	2.09	941	532
	2	384	4.5	2.13	911	467
	3	386	4.4	2.11	988	491
	เฉลี่ย	385	4.4	2.11	947	497
4	1	386	4.4	2.04	1472	365
	2	387	4.4	2.06	1334	337
	3	385	4.5	2.09	1417	355
	เฉลี่ย	386	4.4	2.06	1408	352
5	1	387	4.4	2.06	1684	195
	2	385	4.4	2.08	1717	184
	3	385	4.4	2.11	1628	166
	เฉลี่ย	386	4.4	2.08	1676	181
6	1	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x
	3	x	x	x	x	x
	เฉลี่ย	x	x	x	x	x
7	1	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x
	3	x	x	x	x	x
	เฉลี่ย	x	x	x	x	x
8	1	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x
	3	x	x	x	x	x

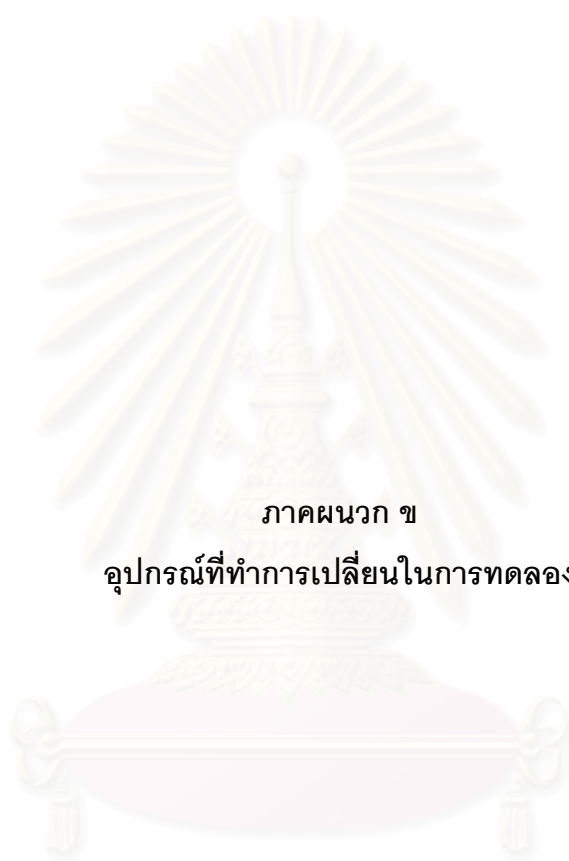
P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	3 มิลลิเมตร				
		V (โวลต์)	A (แอมป์)	P_{on} (กิโลวัตต์)	t_{on} (วินาที)	t_{off} (วินาที)
	เฉลี่ย	x	x	x	x	x

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	4 มิลลิเมตร				
		V (โวลต์)	A (แอมป์)	P_{on} (กิโลวัตต์)	t_{on} (วินาที)	t_{off} (วินาที)
1	1	386	4.4	2.08	527	647
	2	385	4.4	2.09	488	623
	3	385	4.4	2.13	465	583
	เฉลี่ย	385	4.4	2.10	493	618
2	1	385	4.4	2.09	1168	446
	2	385	4.4	2.09	1124	381
	3	385	4.4	2.13	1232	419
	เฉลี่ย	385	4.4	2.10	1175	415
3	1	385	4.4	2.11	2013	46
	2	385	4.5	2.13	1977	53
	3	385	4.4	2.09	2131	59
	เฉลี่ย	385	4.4	2.11	2040	53
4	1	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x
	3	x	x	x	x	x
	เฉลี่ย	x	x	x	x	x
5	1	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x
	3	x	x	x	x	x
	เฉลี่ย	x	x	x	x	x

P_{gage} (บาร์)	ครั้งที่ ทดลอง	4 มิลลิเมตร				
		V (โวลต์)	A (แอมป์)	P_{on} (กิโลวัตต์)	t_{on} (วินาที)	t_{off} (วินาที)
6	1	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x
	3	x	x	x	x	x
	เฉลี่ย	x	x	x	x	x
7	1	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x
	3	x	x	x	x	x
	เฉลี่ย	x	x	x	x	x
8	1	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x
	3	x	x	x	x	x
	เฉลี่ย	x	x	x	x	x

x คือ ช่วงที่ระบบอัดอากาศไม่สามารถจ่ายอากาศอัดได้ต่อเนื่องตลอดช่วงที่ใช้งาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข
อุปกรณ์ที่ทำการเปลี่ยนในการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลอดปิโททช์ของ DEYER รุ่น 160-8 เมื่อทำการทดลองไม่สามารถอ่านค่าความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นจากมานอมิเตอร์ในกรณีที่ทำการทดลองได้ มีลักษณะดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 แสดงหลอดปิโททช์

มานอมิเตอร์ ของ DWYER รุ่น 202.5 สามารถวัดค่าความแตกต่างความดันในช่วง $-0.2 - 2$ นิ้วน้ำ มีขีดแบ่งความละเอียด 0.01 นิ้วน้ำ สามารถวัดได้ที่ความดันสูงสุด 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เมื่อทำการทดลองไม่สามารถอ่านค่าความแตกต่างความดันของหลอดปิโททช์ที่ทำการทดลองได้ มีลักษณะดังรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 แสดงมานอมิเตอร์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสรินรัช รัตนบุรี เกิดเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2526 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา เมื่อปี การศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปี การศึกษา 2549



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย