

การศึกษาการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศแบบปริมาตรอากาศแปรผัน
สำหรับอาคารสำนักงาน

นายชาญณรงค์ อิศวเทศานุกาพ



สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-534-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A STUDY ON ENERGY SAVING OF THE VARIABLE AIR VOLUME SYSTEM
FOR OFFICE BUILDINGS**

Mr. Charnnarong Assavatesanuphap

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998
ISBN 974-639-534-3**

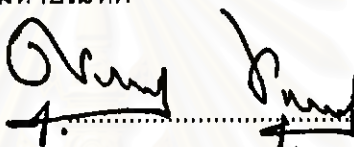
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการประหยัลดพลังงานของระบบปรับอากาศแบบปริมาตรอากาศแปรผัน
สำหรับอาคารสำนักงาน

โดย นายชาญณรงค์ อัครเทศานุกาฬ

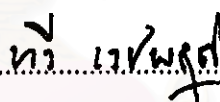
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล


อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ขงเจริญ

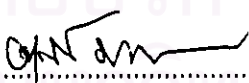
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

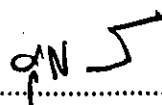

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ขงเจริญ)


.....กรรมการ
(ดร. ศุภย์ มณีวัฒนา)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จีระศักดิ์ เมฆอัมพรพงศ์)

ชาญณรงค์ อัครเทศานุกาฬ: การศึกษาการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศแบบปริมาตรอากาศแปรผันสำหรับอาคารสำนักงาน (A STUDY ON ENERGY SAVING OF THE VARIABLE AIR VOLUME SYSTEM FOR OFFICE BUILDINGS) อ.ที่ปรึกษา: รศ. ดร. วิทยา ขงเจริญ ;132 หน้า. ISBN 974-639-534-3.

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศแปรผันสำหรับอาคารสำนักงาน โดยแนวทางในการประหยัดการใช้พลังงานที่สำคัญของระบบปรับอากาศแปรผัน คือการลดภาระการทำงานของระบบส่งจ่ายลมเย็นเมื่อภาระการทำความร้อนเปลี่ยนแปลง และการเลือกใช้อุปกรณ์แปรเปลี่ยนปริมาณลมของพัดลมที่เหมาะสม ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองแบบการทำงานระบบปรับอากาศแปรผันขึ้นเพื่อใช้ในการทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี จากนั้นได้ทำการทดสอบกับการตรวจวัดพลังงานที่ใช้จริงในช่วงฤดูหนาว 1 สัปดาห์ และฤดูฝน 1 สัปดาห์ ของอาคารตัวอย่างซึ่งเป็นอาคารสำนักงานสูง 12 ชั้น โดยแต่ละชั้นมีพื้นที่ปรับอากาศประมาณ 900 ตรม. และมีระบบปรับอากาศแปรผันแบบ Inlet Guide Vanes(IGV) จากนั้นได้ทำนายผลการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

ผลการวิจัยสำหรับอาคารที่ทำการศึกษาสามารถสรุปผลได้ว่า กรณีการทดสอบกับระบบที่ทำงานในภาระการทำความร้อนที่เกิดขึ้นจริง โดยเมื่อใช้ IGV เป็นอุปกรณ์แปรเปลี่ยนปริมาณลม การใช้พลังงานไฟฟ้าที่พัดลมทั้งปีเท่ากับ 18,006 kW-h เมื่อเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศคงที่การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง 26 % และมีระยะเวลาคืนทุน 20.3 ปี และเมื่อใช้ Inverter ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งปีเท่ากับ 16,430 kW-h การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง 32 % และมีระยะเวลาคืนทุน 17.6 ปี สำหรับกรณีการประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งปีของพัดลม โดยจำลองแบบภาระการทำความร้อนขึ้น 3 ระดับ ในอาคารตัวอย่างโดยมี IGV เป็นอุปกรณ์แปรเปลี่ยนปริมาณลม ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งปีเท่ากับ 25,434, 16,837 และ 10,091 kW-h/ปี สำหรับภาระความเย็นสูง(14.9 ตรม./ ตัน), ภาระความเย็นปานกลาง(20.1 ตรม./ ตัน) และภาระความเย็นต่ำ(26.9 ตรม./ ตัน) ตามลำดับ และการใช้พลังงานไฟฟ้าที่พัดลมลดลงเมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศคงที่คิดเป็น 37.7 %, 40.9 % และ 41.7 % ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา2541.....

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

** C816035 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: VARIABLE AIR VOLUME / ENERGY SAVING

CHARNNARONG ASSAVATESANUPHAP: A STUDY ON ENERGY SAVING OF THE VARIABLE AIR VOLUME SYSTEM FOR OFFICE BUILDINGS. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. WITHAYA YONGCHAREON, Ph.D. 132 pp. ISBN 974-639-534-3.

The objective of this research is to study on energy saving of Variable Air Volume (VAV) system for office building. The energy saving concepts of the VAV system are the reduction of air delivery volume in such a manner that it tracks the load profile and the proper selection of the flow modulation and control devices. Therefore, the simulated program was developed for estimated the annual energy consumption of VAV system. The results from developed program were then compared with energy measured during one week on winter and one week on the rains. The studied building is a 12-storey office building, each floor has a total floor area of 900 m² and has VAV system with Inlet Guide Vanes(IGV) as flow modulator. In addition to annual energy consumption, the investment aspect were also analyzed.

The results of analysis performed, in case of studied building that compared the energy performance of using IGV with inverter as flow modulator, annual energy consumption were 18,006 and 16,430 kW-h respectively. When compared with Constant Air Volume(CAV) system, IGV and inverter saved energy approximately 26% and 32% respectively and their pay-back periods were 20.3 and 17.6 years respectively. In addition, 3 levels of cooling load simulation were run on same building with IGV as flow modulator. The results showed that annual energy consumption were 25,434, 16,837 and 10,091 kW-h/year for High load(14.9 m²/Tons), Medium load (20.1 m²/Tons) and Low load density(26.9 m²/Tons) respectively. The saving over CAV system were approximately 37.7%, 40.9% and 41.7% respectively.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....

ปีการศึกษา.....2541.....

ลายมือชื่อนิสิต..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ, ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิรศักดิ์ เมธอัมพรพงศ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัย ด้วยดีตลอดมา และขอขอบคุณเพื่อน ๆ นิสิตปริญญาโททุกคนที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือมาโดยตลอด ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ-แม่ ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๔
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๖
กิตติกรรมประกาศ	๗
สารบัญตาราง	๘
สารบัญภาพ	๙
คำอธิบายสัญลักษณ์	๓
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา	4
2. ทฤษฎี	6
2.1 ระบบปริมาตรอากาศแปรผัน	6
2.2 โปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคาร	22
3. การทดลอง	35
3.1 ข้อมูลเกี่ยวกับอาคารและระบบปรับอากาศที่ใช้ในการศึกษา	35
3.2 การตรวจวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น	41
3.3 การตรวจสอบผลลัพธ์ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น	47
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์	48
4.1 ผลการตรวจวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น	48
4.2 ผลตรวจสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์	52
4.3 ผลการประมาณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	59

4.4 ผลเปรียบเทียบศักยภาพการประหยัดพลังงาน สำหรับระบบควบคุมแบบต่าง ๆ	68
4.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการนำระบบปริมาตรอากาศ แปรผันมาใช้ในอาคารสำนักงาน	69
5. ผลสรุปและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการวิจัย	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	71
รายการอ้างอิง	72
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. Source code สำหรับโปรแกรม VAV-CAL	74
ภาคผนวก ข. Input File สำหรับโปรแกรม BLN-ESP1 และ โปรแกรม VAV-CAL	80
ภาคผนวก ค. ผลการตรวจวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น	98
ภาคผนวก ง. ตัวอย่างการคำนวณหา System Characteristic curve ของระบบท่อลม	115
ภาคผนวก จ. การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน	127
ประวัติผู้เขียน	132

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 รายละเอียดของวัสดุและความหนาของเปลือกอาคาร	37
3.2 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเปลือกอาคาร	37
3.3 รายละเอียดข้อมูลจำเพาะของเครื่องจ่ายลมเย็น	38
3.4 ตารางแสดงกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น	39
3.5 ตารางแสดงค่าที่ทำการตรวจวัด	42
3.6 ซีดความสามารถของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Ultrasonic Flow	44
3.7 ซีดความสามารถของเครื่องวิเคราะห์พลังงาน	44
4.1 แสดงผลการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศภายในห้อง	49
4.2 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminals	50
4.3 แสดงผลการตรวจวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น	51
4.4 แสดงผลการตรวจสอบโปรแกรม VAV-CAL	52
4.5 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า Heat extraction rate ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540	55
4.3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า Heat extraction rate ณ วันที่ 23 มกราคม 2541	56
ค.1 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 22 กรกฎาคม 2540	99
ค.2 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 23 กรกฎาคม 2540	100
ค.3 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540	101
ค.4 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 25 กรกฎาคม 2540	102
ค.5 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 20 มกราคม 2540	103

ตารางที่

หน้า

ค.6 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 23 กรกฎาคม 2540	104
ค.7 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540	105
ค.8 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 25 กรกฎาคม 2540	106
ค.9 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 22 กรกฎาคม 2540	107
ค.10 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 23 กรกฎาคม 2540	108
ค.11 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540	109
ค.12 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 25 กรกฎาคม 2540	110
ค.13 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 20 มกราคม 2541	111
ค.14 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 21 มกราคม 2541	112
ค.15 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 22 มกราคม 2541	113
ค.16 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 23 มกราคม 2541	114
ง.1 แสดงสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเฉพาะที่ของข้อต่อต่าง ๆ สำหรับคำนวณ ΔP_c	118
ง.2 แสดงค่าความดันสูญเสียในท่อลมย่อย สำหรับคำนวณ ΔP_c	119
ง.3 แสดงสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเฉพาะที่ของข้อต่อต่าง ๆ สำหรับคำนวณ ΔP_s และ ΔP_b	121
ง.4 แสดงค่าความดันสูญเสียในท่อลมย่อย สำหรับคำนวณ ΔP_s และ ΔP_b	122
ง.5 แสดงค่าความดันสูญเสียในทางเดินท่อลมแต่ละเส้น สำหรับคำนวณ ΔP_c	124
ง.6 แสดงค่าความดันสูญเสียในทางเดินท่อลมแต่ละเส้น สำหรับคำนวณ ΔP_s และ ΔP_b	124
ง.7 แสดงค่าความดันสูญเสียรวมในระบบท่อลม ณ อัตราการไหลต่าง ๆ	125

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบปรับอากาศแบบปริมาตรอากาศแปรผัน	7
2.2 แสดงตัวอย่างพื้นที่การปรับอากาศ	9
2.3 ก ระบบท่อลมในระบบปริมาตรอากาศแปรผัน	12
2.3 ข ความดันลดในระบบปริมาตรอากาศแปรผัน	13
2.4 วิธีการแปรเปลี่ยนปริมาณลมของพัดลม	15
2.5 วิธีการแปรเปลี่ยนปริมาณลมของพัดลมโดย Variable Fan Speed	15
2.6 กระบวนการทำความเย็นและลดความชื้นในคอยล์เย็น	16
2.7 แผนผังการทำงานของโปรแกรม BLN-ESP1	25
2.8 แผนผังแสดงลำดับการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	29
2.9 แผนผังแสดงลำดับการคำนวณ System characteristic curve ของท่อลม	33
2.10 แผนผังแสดงลำดับการคำนวณ Fan performance curve ของท่อลม	34
3.1 แสดงลักษณะของอาคารตัวอย่าง	36
3.2 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของระบบส่งจ่ายลมเย็น และ VAV terminals	38
3.3 เครื่องมือที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ	45
3.4 สถานีวัดอัตราการไหลอากาศ	45
3.5 คู่ควบคุมความร้อนและดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์	46
3.6 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Ultrasonic flow	46
3.7 เครื่องวิเคราะห์หาลังงาน	47
4.1 แสดงตำแหน่งของ VAV terminals	48
4.2 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่า Total heat extraction rate ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540	57
4.3 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่า Sensible Heat extraction rate ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540	57

รูปที่	หน้า
4.4 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่า Latent Heat extraction rate ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540	57
4.5 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่า Total Heat extraction rate ณ วันที่ 23 มกราคม 2541	58
4.6 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่า Sensible heat extraction rate ณ วันที่ 23 มกราคม 2541	58
4.7 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่า Latent heat extraction rate ณ วันที่ 23 มกราคม 2541	58
4.8 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540	59
4.9 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ณ วันที่ 23 มกราคม 2541	59
4.10 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน 1 ปี	61
4.11 แสดงอัตราการไหลของลมเย็นที่เกิดขึ้นภายใน 1 ปี	62
4.12 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน 1 ปี กรณี High load density	65
4.13 แสดงอัตราการไหลของลมเย็นที่เกิดขึ้นภายใน 1 ปี กรณี High load density	65
4.14 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน 1 ปี กรณี Medium load density	66
4.15 แสดงอัตราการไหลของลมเย็นที่เกิดขึ้นภายใน 1 ปี กรณี Medium load density	66
4.16 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน 1 ปี กรณี Low load density	67
4.17 แสดงอัตราการไหลของลมเย็นที่เกิดขึ้นภายใน 1 ปี กรณี Low load density	67
4.18 กราฟแสดง Energy saving	68

รูปที่	หน้า
จ.1 แสดงแผนผังทางเดินของท่อลม	116
จ.1 แสดงการแบ่งโซนการปรับอากาศเพื่อหาขนาดของระบบส่งจ่ายลมเย็น	130



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัดท่อลม	m ²
C	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียเฉพาะที่	
C _{p,a}	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่	J/kg·°C
D _h	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก	m
f	ตัวประกอบความเสียดทาน	
h	เอนทาลปีของอากาศ	J/kg
h _{fc}	ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะ	J/kg
L	ความยาวท่อลม	m
m _a	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ	kg/s
m _w	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ	kg/s
P	เส้นรอบรูป	m
PLR	อัตราส่วนระหว่างปริมาณการส่งจ่ายลมเย็น ในช่วง part load ต่อ ปริมาณการส่งจ่ายลมเย็นสูงสุด	
P _E	กำลังงานไฟฟ้า	watt
P _s	ความดันสถิต	Pa
P _t	ความดันรวม	Pa
P _v	ความดันไดนามิก	Pa
Q	อัตราการไหลของอากาศ	m ³ /s
Q̇ _{cool,L}	ภาระทำความเย็นเนื่องจากความร้อนแฝง	watt
Q̇ _{cool,S}	ภาระทำความเย็นเนื่องจากความร้อนสัมผัส	watt
Q̇ _{cool,T}	ภาระทำความเย็นเนื่องจากความร้อนรวม	watt
Re	ตัวเลขเรย์โนลด์	
T _d	อุณหภูมิอากาศผ่านคอยล์เย็น	°C
T _w	อุณหภูมิน้ำเย็น	°C
V	ความเร็วของอากาศเฉลี่ย	m/s

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
\dot{V}_a	อัตราการไหลของอากาศ	m^3 / s
W	ค่าความชื้นจำเพาะ	$\text{kg} / \text{kg}_{\text{dry air}}$
ϵ	แฟคเตอร์ความขรุขระสัมบูรณ์ของวัสดุ	
ΔP	ความดันที่พัดลมสร้างขึ้น, ความดันสูญเสียรวมของท่อลม	Pa
ΔP_s	ความดันสูญเสียในชุดอุปกรณ์จ่ายลมเย็น	Pa
ΔP_b	ความดันสูญเสียในท่อลม	Pa
ΔP_c	ความดันสูญเสียคงที่	
	ตกรวมอุปกรณ์ปรับปริมาตรอากาศปลายทาง	Pa
ρ	ค่าความหนาแน่น	kg / m^3
η_F	ประสิทธิภาพของพัดลม	%
η_M	ประสิทธิภาพของมอเตอร์	%
v	ค่าความหนืดจลนศาสตร์	m^2 / s

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย