

การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ตัวตรวจรู้คาร์บอนไดออกไซด์ในการควบคุม
ปริมาณการระบายอากาศตามความต้องการเพื่อการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารสำนักงาน



นายไพโรจน์ รัตนางกูร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540
ISBN 974-638-252-7
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1 1 ISBN. 2545

T 117961269

**FEASIBILITY STUDY OF APPLYING CARBON DIOXIDE SENSOR IN
DEMAND-CONTROL VENTILATION FOR ENERGY SAVING IN OFFICE BUILDINGS**

Mr. Pairoj Rattanangkul

**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

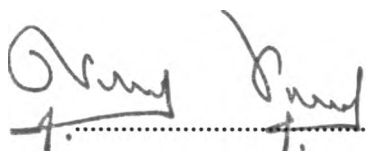
Chulalongkorn University

Academic Year 1997

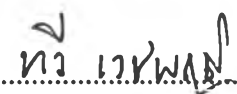
ISBN 974-638-252-7


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ตัวตรวจรู้คาร์บอนไดออกไซด์
ในการควบคุมปริมาณการระบายอากาศตามความต้องการเพื่อการ
ประหยัดพลังงานสำหรับอาคารสำนักงาน
โดย นายไพโรจน์ รัตนากร
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. ดุลย์ มณีวัฒนา

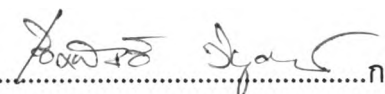
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. ดุลย์ มณีวัฒนา)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เชิดพันธ์ วิฑูราภรณ์)

ไพโรจน์ รัตนางกูร : การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ตัวตรวจวัดคาร์บอนไดออกไซด์ในการควบคุมปริมาณการระบายอากาศตามความต้องการเพื่อการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารสำนักงาน (FEASIBILITY STUDY OF APPLYING CARBON DIOXIDE SENSOR IN DEMAND-CONTROL VENTILATION FOR ENERGY SAVING IN OFFICE BUILDINGS) อ.ที่ปรึกษา : ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา ; 172 หน้า.
ISBN 974-638-252-7.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ตัวตรวจวัดคาร์บอนไดออกไซด์ในการควบคุมปริมาณการระบายอากาศตามความต้องการเพื่อการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารสำนักงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้อาคารการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย(ปตท.)เป็นอาคารกรณีศึกษา อาคารดังกล่าวเป็นอาคารสำนักงานสูง 25 ชั้น ในแต่ละชั้นมีพื้นที่ประมาณ 36 x 36 ตารางเมตร เปลือกอาคารไม่สามารถกันลมรั่วได้มากนัก เนื่องจากมีหน้าต่างซึ่งเปิดได้เป็นจำนวนมากในแต่ละชั้น ระบบปรับอากาศเป็นระบบ VAV มี AHU ชั้นละ 1 เครื่อง ระบบระบายอากาศเป็นแบบปริมาตรคงที่ อากาศบริสุทธิ์ถูกนำเข้ามาที่ห้อง AHU และมีพัดลมระบายอากาศออก 3 เครื่องต่อชั้น

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารปตท. โดยคำนึงถึงตัวแปรต่างๆ อาทิเช่น การไหลของอากาศภายในอาคาร, การรั่วของอากาศ, จำนวนผู้อยู่อาศัยภายในตัวอาคาร, ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอาคาร, และรวมถึงอุณหภูมิภายนอกอาคารด้วย ในการวัดระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์จะทำการวัดที่ช่องลมกลับในห้อง AHU ที่ชั้นบริเวณส่วนบน, ส่วนกลาง และส่วนล่างของอาคาร เพื่อดูผลกระทบจากการรั่วของอากาศที่ระดับความสูงต่างๆ กัน การวัดใช้เวลาทั้งสิ้น 14 วัน ที่ชั้นที่ 5, ชั้นที่ 7, ชั้นที่ 12, ชั้นที่ 15, ชั้นที่ 18, และชั้นที่ 20 การวัดในแต่ละชั้นกระทำอย่างน้อย 2 ครั้งเพื่อยืนยันผล ในการวัดแต่ละครั้ง ระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอาคารและจำนวนคนในอาคารจะถูกบันทึกเป็นรายชั่วโมง ผลการวัดจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสมดุลมวลสำหรับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ การวิจัยนี้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณหาการไหลของอากาศภายในอาคาร เพื่อทำนายอัตราอากาศระบายในแต่ละชั้น ปริมาณการไหลของอากาศจะถูกนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ โปรแกรมจะคำนวณหาการไหลของอากาศเป็นรายชั่วโมงโดยคำนึงถึงผลกระทบของอุณหภูมิเป็นรายชั่วโมงด้วย โดยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณแต่ละครั้ง ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารสามารถทำนายได้ค่อนข้างแม่นยำ ในการวิจัยส่วนที่สองนั้นจะเป็นการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน ในการวิจัยส่วนนี้ระบบระบายอากาศภายในอาคารปตท. ถูกกำหนดให้เป็นระบบระบายอากาศแบบตามความต้องการจริงแทนระบบระบายอากาศแบบปริมาตรคงที่ จากนั้นจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสมดุลมวลสำหรับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์, โปรแกรมคำนวณหาการไหลของอากาศในอาคาร, และข้อมูลอากาศรายชั่วโมง เพื่อประมาณการประหยัดพลังงานและหาระยะเวลาคืนทุน

ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ตัวตรวจวัดคาร์บอนไดออกไซด์ในการควบคุมปริมาณการระบายอากาศตามความต้องการเพื่อการประหยัดพลังงาน แสดงให้เห็นว่าผลเฉลี่ยของภาระความร้อนของการระบายอากาศลดลงจากเดิมประมาณ 25% และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1.4 ปี

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิติ ไพโรจน์ รัตนางกูร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อ.ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

#C716211 : MAJOR ENGINEERING

KEY WORD: CARBON DIOXIDE / DEMAND-CONTROL VENTILATION / ENERGY SAVING
 PAIROJ RATTANANGKUL : FEASIBILITY STUDY OF APPLYING CARBON DIOXIDE
 SENSOR IN DEMAND-CONTROL VENTILATION FOR ENERGY SAVING IN OFFICE
 BUILDINGS. THESIS ADVISOR : TUL MANEEWATTANA, Ph.D. 172 pp.
 ISBN 974-638-252-7.

This thesis studied the feasibility of applying carbon dioxide sensor in demand-control ventilation for energy saving in office buildings. In this research, the Petroleum Authority of Thailand (PTT) building had been studied. It is the 25 story-high office building with each floor measurement approximately 36 by 36 meters. The envelope of the building is not very tight due to a large number of windows that can be opened on each floor. The air conditioning system is VAV with one AHU on each floor. The ventilation system is a constant volume with fresh air supply to AHU room and three constant volume exhaust fans per floor.


A part of this research is the study of the carbon dioxide concentration inside the PTT building by considering various factors such as air flow in the building, air infiltration, number of occupants inside, concentration of outside carbon dioxide, and the outside temperature. The measurements of carbon dioxide concentration were made at the return air plenum of the upper, middle and lower floors to investigate the effect of infiltration at different height. Such measurement has been done for a total of fourteen days on the 5th, 7th, 12th, 15th, 18th, and 20th floor. To confirm the results, the measurement was done at least twice on each floor. In addition, the background concentration outside the building and the number of occupant were measured on the hourly basis. The measurements were then compared to the mathematical model results based on the mass balance of carbon dioxide in a conditioned space. In this research, a computer program to calculate air flow in the building was used to predict air change rate on each floor. The resulting air flow was then entered into the model to calculate carbon dioxide concentration. The air flow program was run on an hourly basis while the hourly temperature difference effects were then applied on each hour the program run. Results show that carbon dioxide concentration can be predicted quite precisely. The next step of this research is to calculate the pay back period. In this second step, the ventilation system in PTT building were assumed to be the demand control ventilation system instead of the constant volume system. Then, the mathematical model based on the mass balance of carbon dioxide in a conditioned space, the computer program to calculate air flow in the building, and the actual hourly weather data were used to approximate the energy saving and a payback period.

Finally, the feasibility of applying carbon dioxide sensor for demand-control ventilation for energy saving is determined. The results show that the average cooling load due to ventilation is decreased by approximately 25 % and the payback period is approximately 1.4 years.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา.....2540

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....-

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ และ ดร.เชิดพันธ์ วิฑูราภรณ์ อาจารย์กรรมการวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอดมา คุณเศกสรร เศรษฐสกุล หัวหน้าแผนกไฟฟ้าและเครื่องกลและเจ้าหน้าที่ส่วนอาคารสถานที่ทุกท่านของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ที่อำนวยความสะดวกในการเข้าทำการตรวจวัดระดับคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารสำนักงานใหญ่ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย บริษัท เทรน ประเทศไทย จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์มอบเครื่องวัดระดับคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในการทำวิจัย และเพื่อน ๆ นิสิตปริญญาโททุกคน ที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือมาโดยตลอด ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณย่า คุณพ่อและคุณแม่ ซึ่งสนับสนุนในด้านการศึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ไพโรจน์ รัตนางกูร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ท
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	7
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	7
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.5 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา	8
2. ทฤษฎี.....	10
2.1 กล่าวนำ	10
2.2 คุณภาพอากาศภายในอาคารกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์.....	10
2.3 การคำนวณหาระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร.....	12
2.4 โปรแกรมวิเคราะห์การไหลของอากาศภายในอาคาร	19
2.5 วิธีควบคุมการระบายอากาศ	22
2.6 การคำนวณหาภาระอากาศระบาย	23
2.7 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	25
3. การทดลอง	29
3.1 ข้อมูลเกี่ยวกับอาคารที่ทำการศึกษา	29
3.2 การสอบเทียบเครื่องวัดระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์.....	33
3.3 การตรวจนับจำนวนผู้อยู่อาศัยและวัดค่าที่ใช้ทำนายระดับความเข้มข้นคาร์บอน ไดออกไซด์ในอาคาร	38
3.4 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์จากการคำนวณกับการวัด จริง	45
3.5 การประมาณค่าการระบายอากาศแบบตามความต้องการจริง	48

บทที่	หน้า
4. ผลลัพธ์และการวิเคราะห์	52
4.1 ผลการตรวจนับจำนวนผู้อยู่อาศัยและวัดค่าที่ใช้ทำนายระดับความเข้มข้น คาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร	52
4.2 การวิเคราะห์ผลการตรวจวัด	71
4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์จากการคำนวณกับการ วัดจริง	76
4.4 ผลลัพธ์การประมาณค่าการระบายอากาศแบบตามความต้องการจริง	90
4.5 การวิเคราะห์ผลความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ตรวจวัดคาร์บอนไดออกไซด์ใน การควบคุมปริมาณการระบายอากาศ	106
5. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ	107
5.1 ผลสรุป	107
5.2 ข้อเสนอแนะ	107
รายการอ้างอิง	109
ภาคผนวก	110
ภาคผนวก ก ผลการตรวจวัดค่าที่ใช้ทำนายระดับคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารสำนั กงานใหญ่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย	111
ภาคผนวก ข รูปแสดงการตรวจวัดค่าที่ใช้ทำนายระดับคาร์บอนไดออกไซด์	131
ภาคผนวก ค ผลการวัดเปรียบเทียบระดับคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอาคารที่ชั้น ล่างและชั้นดาดฟ้าอาคารสำนักงานใหญ่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย	136
ภาคผนวก ง ตัวอย่าง Input File (อาคารสำนักงานใหญ่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย) ที่ใช้วิเคราะห์การไหลของอากาศภายในอาคารด้วยโปรแกรม ASCOS	141
ภาคผนวก จ ตัวอย่าง Output File (อาคารสำนักงานใหญ่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย) ที่ใช้วิเคราะห์การไหลของอากาศภายในอาคารด้วยโปรแกรม ASCOS	146
ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร	159
ภาคผนวก ช การหาค่าความคุ้มทุน	162
ประวัติผู้เขียน	172

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงอัตราการระบายอากาศซึ่งแนะนำโดย ASHRAE Standard 62-1989	3
2.1 แสดงปริมาณมลพิษที่มีในอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้	11
2.2 แสดงความต้องการอากาศภายนอกสำหรับการหายใจ	14
3.1 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของอาคาร ปตท.	30
3.2 แสดงความสูงจากพื้นถึงพื้น ของอาคาร ปตท.	31
3.3 แสดงความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน ของอาคาร ปตท.	31
3.4 แสดงรายละเอียดของลิฟต์ของอาคาร ปตท.	32
3.5 แสดงรายละเอียดของบันไดหนีไฟของอาคาร ปตท.	33
3.6 แสดงผลการอ่านค่าระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์จากเครื่อง TELAIRE-1050 กับเครื่อง HORIBA	36
3.7 แสดงผลการปรับค่าเครื่องวัด HORIBA และผลการวัดสอบเครื่องวัดระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ TELAIRE- 1050	37
3.8 แสดงค่าที่ทำการตรวจวัดเพื่อใช้ทำนายระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปตท.	39
4.1 แสดงค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยภายในห้องบันไดหนีไฟและโถงทางเดินหน้าลิฟต์	67
4.2 แสดงจำนวนผู้อยู่อาศัยสูงสุดในแต่ละชั้นของอาคาร ปตท.	68
4.3 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณภายในอาคารและห้องบันไดหนีไฟ	69
4.4 แสดงค่าอัตราการไหลของลมที่ช่อง Fresh Air	70
ก.1 แสดงจำนวนผู้อยู่อาศัยและค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ณ อาคาร ปตท. ชั้นที่ 5 วันพุธที่ 2 เมษายน 2540	112
ก.2 แสดงจำนวนผู้อยู่อาศัยและค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ณ อาคาร ปตท. ชั้นที่ 5 วันพฤหัสบดีที่ 3 เมษายน 2540	113
ก.3 แสดงจำนวนผู้อยู่อาศัยและค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ณ อาคาร ปตท. ชั้นที่ 7 วันจันทร์ที่ 31 มีนาคม 2540	114
ก.4 แสดงจำนวนผู้อยู่อาศัยและค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ณ อาคาร ปตท. ชั้นที่ 7 วันอังคารที่ 1 เมษายน 2540	115
ก.5 แสดงจำนวนผู้อยู่อาศัยและค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ณ อาคาร ปตท. ชั้นที่ 12 วันอังคารที่ 14 มกราคม 2540	116

ตารางที่	หน้า
ก.6 แสดงจำนวนผู้อยู่อาศัยและค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ณ อาคาร ปตท. ชั้นที่ 12 วันพุธที่ 15 มกราคม 2540	117
ก.7 แสดงจำนวนผู้อยู่อาศัยและค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ณ อาคาร ปตท. ชั้นที่ 12 วันพฤหัสบดีที่ 16 มกราคม 2540	118
ก.8 แสดงจำนวนผู้อยู่อาศัยและค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ณ อาคาร ปตท. ชั้นที่ 15 วันอังคารที่ 8 เมษายน 2540	119
ก.9 แสดงจำนวนผู้อยู่อาศัยและค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ณ อาคาร ปตท. ชั้นที่ 15 วันพุธที่ 9 เมษายน 2540	120
ก.10 แสดงจำนวนผู้อยู่อาศัยและค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ณ อาคาร ปตท. ชั้นที่ 18 วันศุกร์ที่ 17 มกราคม 2540	121
ก.11 แสดงจำนวนผู้อยู่อาศัยและค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ณ อาคาร ปตท. ชั้นที่ 18 วันอังคารที่ 21 เมษายน 2540	122
ก.12 แสดงจำนวนผู้อยู่อาศัยและค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ณ อาคาร ปตท. ชั้นที่ 20 วันศุกร์ที่ 4 เมษายน 2540	123
ก.13 แสดงค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกอาคาร ปตท.	124
ก.14 แสดงค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกอาคาร ปตท.	125
ก.15 แสดงค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกอาคาร ปตท.	126
ก.16 แสดงค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอาคาร ปตท.	127
ก.17 แสดงค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอาคาร ปตท.	128
ก.18 แสดงค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอาคาร ปตท.	129
ก.19 แสดงค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอาคาร ปตท.	130
ค.1 แสดงผลการวัดระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอาคาร อาคารสำนัก งานใหญ่ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ณ วันอังคารที่ 28 ตุลาคม 2540	139

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของมนุษย์กับการใช้ออกซิเจน,ผลิตคาร์บอนไดออกไซด์	13
2.2 แสดงรูปจำลองของคุณภาพอากาศภายในอาคารเพื่อที่จะหาระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์	14
2.3 แสดงรูปจำลองของห้องที่มีอากาศไหลจากหลายแหล่งมาผสมกัน	18
2.4 แสดง Flow chart ของโปรแกรมหลักของโปรแกรม ASCOS	21
3.1 แสดงรูปอาคารสำนักงานใหญ่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย	30
3.2 แสดง Typical Floor Plan ของอาคาร ปตท.	32
3.3 แสดงเครื่องวัดระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ยี่ห้อ HORIBA รุ่น CVS-93007.....	34
3.4 แสดงรูปจำลองการต่ออุปกรณ์ในการวัดสอบเครื่องวัดระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์	35
3.5 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ที่อ่านได้จากเครื่อง HORIBA กับค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์จริง	37
3.6 แสดงเครื่องวัดระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์	41
3.7 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง	41
3.8 แสดงเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ	42
3.9 แสดงขั้นตอนการคำนวณการประมาณการระบายอากาศแบบ DCV	50
3.10 กราฟแสดงพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร ปตท.	51
4.1 แสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในชั้นที่ 5 และภายนอกอาคาร ปตท. วันพุธที่ 2 เมษายน 2540	55
4.2 แสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในชั้นที่ 5 และภายนอกอาคาร ปตท. วันพฤหัสบดีที่ 3 เมษายน 2540	55
4.3 แสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในชั้นที่ 7 และภายนอกอาคาร ปตท. วันจันทร์ที่ 31 มีนาคม 2540	56
4.4 แสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในชั้นที่ 7 และภายนอกอาคาร ปตท. วันอังคารที่ 1 เมษายน 2540	56
4.5 แสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในชั้นที่ 12 และภายนอกอาคาร ปตท. วันอังคารที่ 14 มกราคม 2540	57

รูปที่	หน้า
4.6 แสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในชั้นที่ 12 และภายนอกอาคาร ปรตท. วันพุธที่ 15 มกราคม 2540	57
4.7 แสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในชั้นที่ 15 และภายนอกอาคาร ปรตท. วันอังคารที่ 8 เมษายน 2540	58
4.8 แสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในชั้นที่ 15 และภายนอกอาคาร ปรตท. วันพุธที่ 9 เมษายน 2540	58
4.9 แสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในชั้นที่ 18 และภายนอกอาคาร ปรตท. วันศุกร์ที่ 17 มกราคม 2540	59
4.10 แสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในชั้นที่ 18 และภายนอกอาคาร ปรตท. วันอังคารที่ 21 มกราคม 2540	59
4.11 แสดงความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในชั้นที่ 20 และภายนอกอาคาร ปรตท. วันศุกร์ที่ 4 เมษายน 2540	60
4.12 แสดงจำนวนคนที่อยู่ในชั้นที่ 5 อาคาร ปรตท. วันพุธที่ 2 เมษายน 2540	61
4.13 แสดงจำนวนคนที่อยู่ในชั้นที่ 5 อาคาร ปรตท. วันพฤหัสบดีที่ 3 เมษายน 2540	61
4.14 แสดงจำนวนคนที่อยู่ในชั้นที่ 7 อาคาร ปรตท. วันจันทร์ที่ 31 มีนาคม 2540	62
4.15 แสดงจำนวนคนที่อยู่ในชั้นที่ 7 อาคาร ปรตท. วันอังคารที่ 1 เมษายน 2540	62
4.16 แสดงจำนวนคนที่อยู่ในชั้นที่ 12 อาคาร ปรตท. วันอังคารที่ 14 มกราคม 2540	63
4.17 แสดงจำนวนคนที่อยู่ในชั้นที่ 12 อาคาร ปรตท. วันพุธที่ 15 มกราคม 2540	63
4.18 แสดงจำนวนคนที่อยู่ในชั้นที่ 15 อาคาร ปรตท. วันอังคารที่ 8 เมษายน 2540	64
4.19 แสดงจำนวนคนที่อยู่ในชั้นที่ 15 อาคาร ปรตท. วันพุธที่ 9 เมษายน 2540	64
4.20 แสดงจำนวนคนที่อยู่ในชั้นที่ 18 อาคาร ปรตท. วันศุกร์ที่ 17 มกราคม 2540	65
4.21 แสดงจำนวนคนที่อยู่ในชั้นที่ 18 อาคาร ปรตท. วันอังคารที่ 21 มกราคม 2540	65
4.22 แสดงจำนวนคนที่อยู่ในชั้นที่ 20 อาคาร ปรตท. วันศุกร์ที่ 4 เมษายน 2540	66
4.23ก แสดงผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์จริงกับคำนวณในชั้นที่ 5 อาคาร ปรตท. วันพุธที่ 2 เมษายน 2540	79
4.23ข แสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ จริงกับคำนวณในชั้นที่ 5 อาคาร ปรตท. วันพุธที่ 2 เมษายน 2540	79
4.24ก แสดงผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์จริงกับคำนวณในชั้นที่ 5 อาคาร ปรตท. วันพฤหัสบดีที่ 3 เมษายน 2540	80
4.24ข แสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ จริงกับคำนวณในชั้นที่ 5 อาคาร ปรตท. วันพฤหัสบดีที่ 3 เมษายน 2540	80

รูปที่	หน้า
4.32ข แสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ จริงกับคำนวณในชั้นที่ 18 อาคาร ปตท. วันอังคารที่ 21 มกราคม 2540	88
4.33ก แสดงผลเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์จริงกับคำนวณในชั้นที่ 20 อาคาร ปตท. วันศุกร์ที่ 4 เมษายน 2540	89
4.33ข แสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ จริงกับคำนวณในชั้นที่ 20 อาคาร ปตท. วันศุกร์ที่ 4 เมษายน 2540	89
4.34 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 3 อาคาร ปตท. กับเวลา	91
4.35 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 4 อาคาร ปตท. กับเวลา	91
4.36 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 5 อาคาร ปตท. กับเวลา	91
4.37 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 6 อาคาร ปตท. กับเวลา	92
4.38 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 7 อาคาร ปตท. กับเวลา	92
4.39 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 8 อาคาร ปตท. กับเวลา	92
4.40 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 9 อาคาร ปตท. กับเวลา	93
4.41 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 10 อาคาร ปตท. กับเวลา	93
4.42 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 11 อาคาร ปตท. กับเวลา	93
4.43 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 12 อาคาร ปตท. กับเวลา	94
4.44 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 13 อาคาร ปตท. กับเวลา	94
4.45 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 14 อาคาร ปตท. กับเวลา	94
4.46 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 15 อาคาร ปตท. กับเวลา	95
4.47 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 16 อาคาร ปตท. กับเวลา	95
4.48 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 17 อาคาร ปตท. กับเวลา	95
4.49 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 18 อาคาร ปตท. กับเวลา	96
4.50 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 19 อาคาร ปตท. กับเวลา	96
4.51 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 20 อาคาร ปตท. กับเวลา	96
4.52 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 21 อาคาร ปตท. กับเวลา	97
4.53 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 22 อาคาร ปตท. กับเวลา	97
4.54 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 23 อาคาร ปตท. กับเวลา	97
4.55 แสดงการเปิดปิด Fresh Air ชั้นที่ 24 อาคาร ปตท. กับเวลา	98
4.56 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปตท. ชั้นที่ 3 กับเวลา	98
4.57 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปตท. ชั้นที่ 4 กับเวลา	98
4.58 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปตท. ชั้นที่ 5 กับเวลา	99

รูปที่	หน้า
4.59 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 6 กับเวลา	99
4.60 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 7 กับเวลา	99
4.61 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 8 กับเวลา	100
4.62 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 9 กับเวลา	100
4.63 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 10 กับเวลา	100
4.64 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 11 กับเวลา	101
4.65 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 12 กับเวลา	101
4.66 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 13 กับเวลา	101
4.67 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 14 กับเวลา	102
4.68 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 15 กับเวลา	102
4.69 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 16 กับเวลา	102
4.70 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 17 กับเวลา	103
4.71 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 18 กับเวลา	103
4.72 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 19 กับเวลา	103
4.73 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 20 กับเวลา	104
4.74 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 21 กับเวลา	104
4.75 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 22 กับเวลา	104
4.76 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 23 กับเวลา	105
4.77 แสดงระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคาร ปรตท. ชั้นที่ 24 กับเวลา	105
ข.1 แสดงรูปตำแหน่งการวัดค่าระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ปรตท. ที่ช่องลมกลับ	132
ข.2 แสดงรูปตำแหน่งการวัดค่าระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอาคาร ปรตท. ที่ตาดฟ้าอาคาร	132
ข.3 แสดงรูปตำแหน่งการวัดค่าระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ที่บันไดหนีไฟ และบริเวณหน้าลิฟต์	133
ข.4 แสดงรูปตำแหน่งการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอกอาคาร	133
ข.5 แสดงรูปตำแหน่งการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในอาคารและอุณหภูมิกระเปาะ แห้งที่บันไดหนีไฟ	134
ข.6 แสดงรูปการวัดอัตราการไหลของ Fresh Air	135
ค.1 แสดงรูปจำลองการวัดเปรียบเทียบค่าระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายใน นอกอาคารชั้นล่างและชั้นตาดฟ้าอาคาร ปรตท.	138

รูปที่	หน้า
ช.1 แสดงราคาของพัสดุมระบายอากาศ	169
ช.2 แสดงราคาค่าแรงติดตั้งพัสดุมระบายอากาศ	170
ช.3 แสดงค่าการใช้พลังงานของพัสดุมระบายอากาศ	171

คำอธิบายสัญลักษณ์

ตัวแปร

CFM	คือ	อัตราการไหลของอากาศระบาย, ft^3/min
C_{mix}	คือ	ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผสมกัน, ppm
C_n	คือ	ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ของแหล่งที่ n, ppm
C_o	คือ	ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้น, ppm
$C(t)$	คือ	ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาใดๆ, ppm
C_v	คือ	ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอก, ppm
G	คือ	ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้น, cfm
t	คือ	เวลา, min
T_i	คือ	อุณหภูมิภายนอกห้องปรับอากาศ, °F
T_o	คือ	อุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ, °F
Q_L	คือ	ความร้อนแฝงที่ได้รับจากอากาศระบาย, Btuh
Q_n	คือ	อัตราการไหลของอากาศจากแหล่งที่ n, cfm
Q_s	คือ	ความร้อนสัมผัสที่ได้รับจากอากาศระบาย, Btuh
Q_v	คือ	อัตราการไหลของอากาศเข้าห้อง, cfm
V	คือ	ปริมาตรรวมของห้อง, ft^3
W_i	คือ	ความชื้นจำเพาะของอากาศภายในห้องปรับอากาศ, gr_w/lb_a
W_o	คือ	ความชื้นจำเพาะของอากาศภายนอกห้องปรับอากาศ, gr_w/lb_a

ตัวห้อยท้าย

1	แสดงแหล่งที่มาของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แหล่งที่ 1
2	แสดงแหล่งที่มาของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แหล่งที่ 2
n	แสดงแหล่งที่มาของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แหล่งที่ n