

การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติแบบช่องเปิดด้านเดียว
สำหรับห้องพักอาคารสูง

โดย

นายชंपน์ เถียรชุตินา

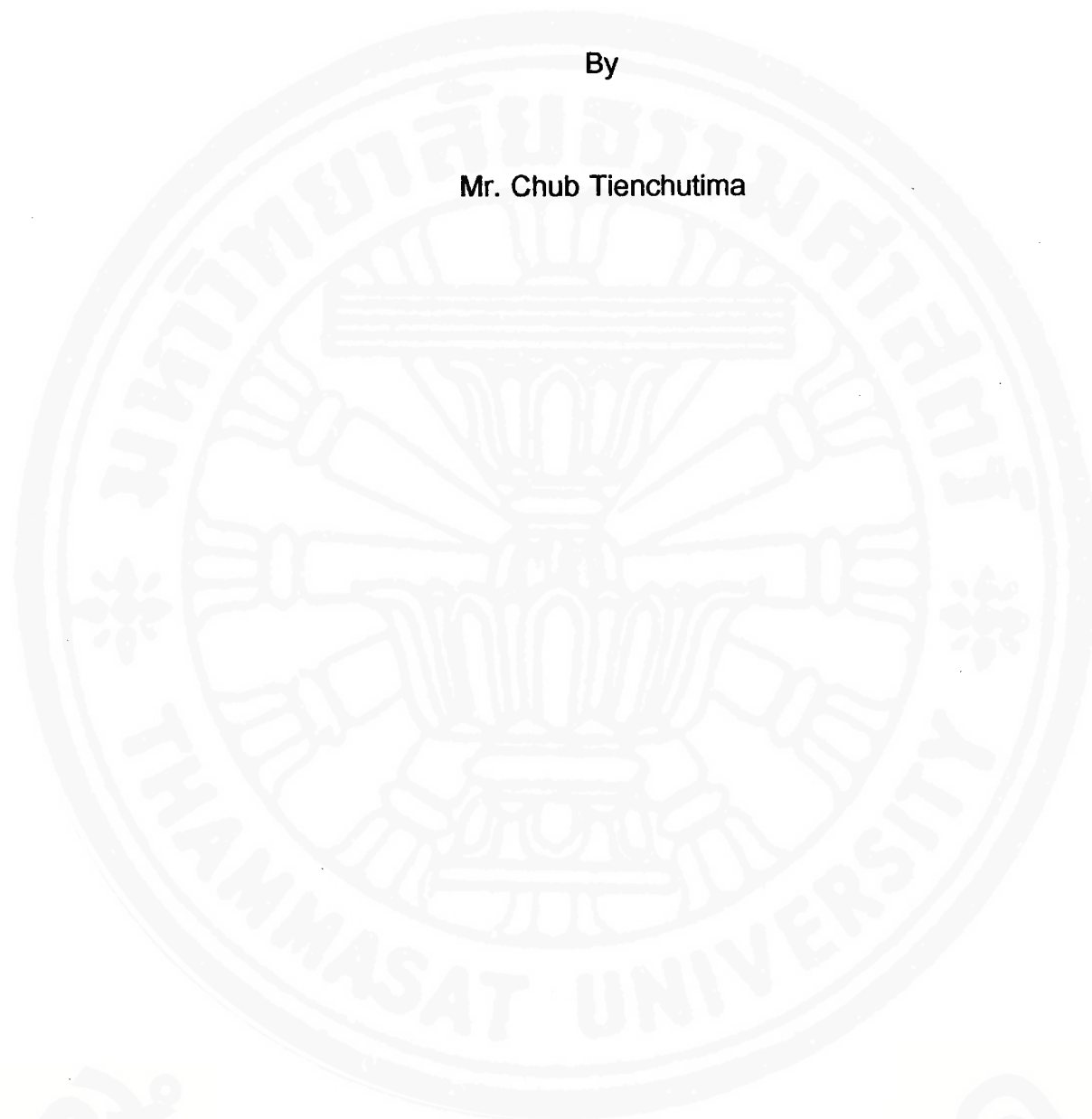
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2553

อภิรักษ์นันทนาการ

Single-sided Natural Ventilation for High-rise Residential Units

By

Mr. Chub Tienchutima



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program**

Department of Architecture

Faculty of Architecture and Planning

Thammasat University

2010

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นายชัปน์ เขียรชุตินา

เรื่อง


การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติแบบช่องเปิดด้านเดียวสำหรับห้องพักอาคารสูง

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

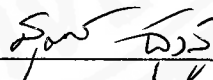
เมื่อ วันที่ 7 มิถุนายน พ.ศ. 2553

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ดร. เปรมฤดี กาญจนปิยะ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



(อาจารย์ ดร. สุตาภรณ์ ชั่งลู่)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เจลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อวิรุทธ์ ศรีสุภาพรรณ)

คณบดี



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สันติรักษ์ ประเสริฐสุข)

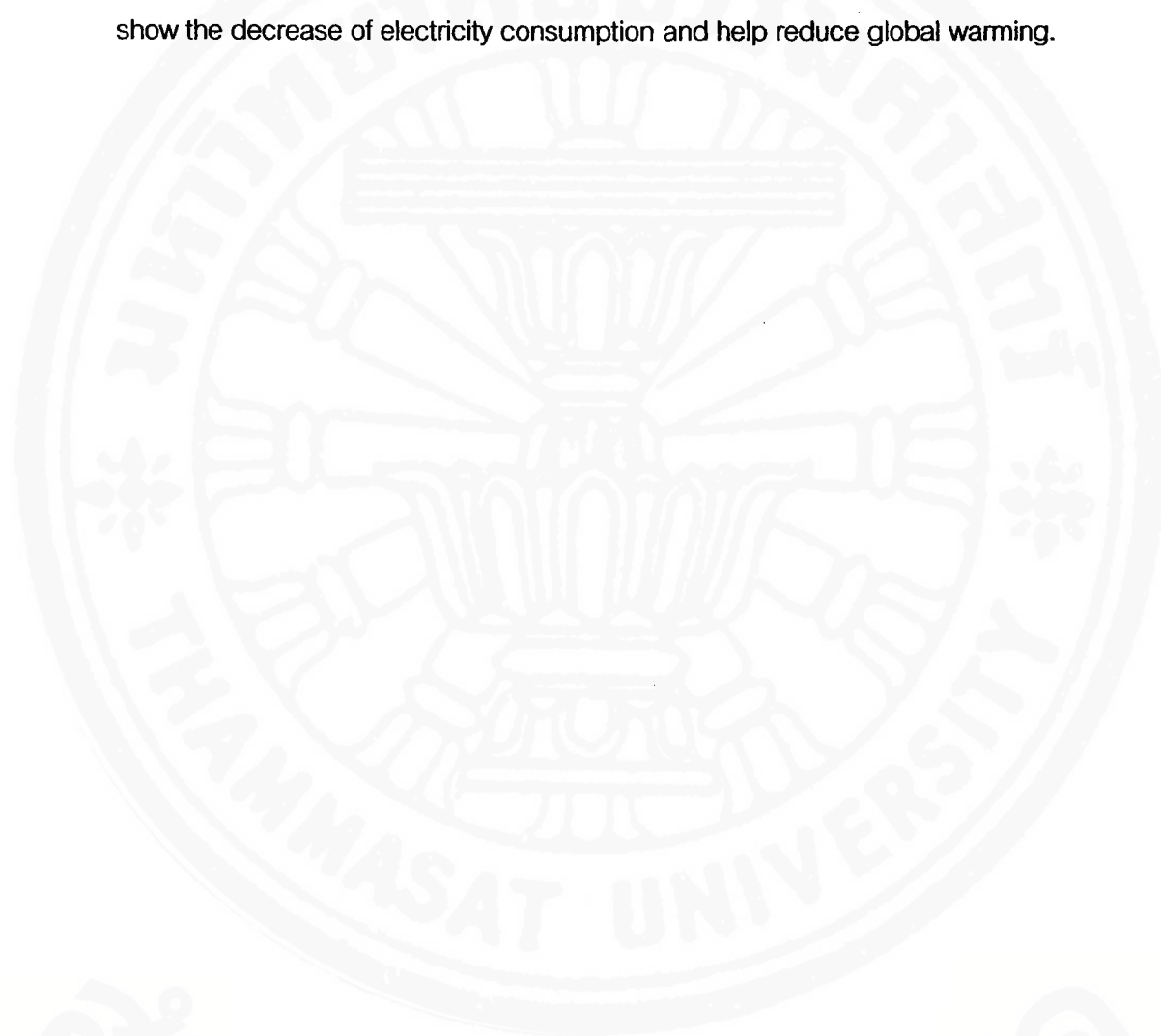
บทคัดย่อ

ปัจจุบันคอนโดมิเนียมมีสัดส่วนมากถึงร้อยละ 45 จากจำนวนที่อยู่อาศัยทั้งหมด โดยห้องพักคอนโดมิเนียมส่วนใหญ่จะมีช่องเปิดเพียงด้านเดียวซึ่งไม่ส่งเสริมการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ผู้พักอาศัยจึงจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ ทั้งนี้การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอันเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน งานวิจัยนี้จึงศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติแบบช่องเปิดด้านเดียวสำหรับห้องพักอาคารสูงที่ส่งผลต่อสถานะน่าสบายและการประหยัดพลังงาน โดยมุ่งศึกษาผลของการระบายอากาศที่เกิดจากความกว้างของผนังยื่น ระยะห่างระหว่างช่องเปิด ระเบียบที่บริเวณช่องเปิด และผนังภายในระหว่างช่องเปิด ในทิศทางลมที่ 0 15 30 45 60 75 และ 90 องศา กับห้องพัก โดยใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล และวัดผลการทดลองในรูปของสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ย และสัมประสิทธิ์ความแปรผัน ผลการศึกษาพบว่าการมีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร ทิศทางลมที่ 30 45 และ 60 องศา และผนังยื่นขนาด 4 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 4 เมตร ทิศทางลมที่ 45 60 และ 75 องศา สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ การมีระเบียบที่บสามารถเพิ่มความเร็วลมได้เฉพาะทิศทางลมตั้งต้นที่ 90 องศา และการมีผนังภายในระหว่างช่องเปิดควรจะมีควมยาวประมาณ 2.5 เมตร สำหรับห้องพัก 6 x 6 ตารางเมตร ผลการศึกษาดังกล่าวได้นำไปวิเคราะห์ร่วมกับความกดอากาศบริเวณผิวอาคารสูงทรงสี่เหลี่ยมซึ่งพบว่า เมื่อทิศทางลมที่ 0 และ 15 องศา ห้องที่อยู่ต้นลมอาจจะวางลมที่จะไหลไปยังห้องที่อยู่ท้ายลมได้ แต่เมื่อทิศทางลมที่ 30 45 60 และ 75 องศา ลมจะไหลในทิศทางเฉียงกับอาคาร ซึ่งเหมาะสมกับห้องที่ใช้ผนังยื่นเพื่อเพิ่มความเร็วลม ขณะที่เมื่อทิศทางลมเท่ากับ 90 องศา ความเร็วลมที่เกิดขึ้นในห้องพักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากห้องที่อยู่กึ่งกลางอาคารไปยังห้องที่อยู่ขอบอาคาร ดังนั้นห้องพักที่มีการระบายอากาศดีควรอยู่ขอบอาคารด้านต้นลม ผลการคำนวณจำนวนชั่วโมงที่อยู่ในขอบเขตสถานะน่าสบายของห้องพักที่มีการระบายอากาศดีและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ลดลง ในเบื้องต้นพบว่า ใน 1 ปี มีจำนวนชั่วโมงที่อยู่ในขอบเขตสถานะน่าสบายถึงร้อยละ 36.78 และสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าได้ถึง 3,976.59 กิโลกรัมต่อปีต่อห้อง ผลการศึกษาแสดงว่าคอนโดมิเนียมแบบช่องเปิดด้านเดียวมีศักยภาพในการใช้การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติเมื่อมีการออกแบบความกว้างของผนังยื่น ช่องเปิด และผนังภายในที่เหมาะสม รวมทั้งมีส่วนช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและช่วยลดภาวะโลกร้อนอีกด้วย

Abstract

Currently, condominiums share proportion of 45 percent of all residential buildings. Most of them consist of rooms with a single-sided opening that do not support natural ventilation and residents need consuming electricity for air conditioning. However, the power generation by burning fuels produces greenhouse gases emissions, turning out the global warming. This research studies the efficiency of natural ventilation by applying a single-sided opening for high-rise residential units and the effect on thermal comfort and energy savings. The study focuses on the effects of the width of wing walls, the distance between the openings, the balcony and the depth of interior wall between openings for the wind direction of 0, 15, 30, 45, 60, 75 and 90 degrees on the ventilation to the residential unit. By using Computational Fluid Dynamics (CFD), the simulation results are measured in terms of the coefficient of average air velocity and the coefficient of standard deviation. The results show that the width of wing walls of 2 meters with the distance between the openings of 2 meters in wind direction of 30, 45 and 60 degrees and the width of wing walls of 4 meters with the distance between the openings of 4 meters in wind direction of 45, 60 and 75 degrees, increase ventilation effectively to residential unit. The balcony can increase the wind velocity in the room, if the wind direction is 90 degree. The length of the interior wall between the openings of 2.5 meters is recommended for the residential unit of $6 \times 6 \text{ m}^2$. Taking into account the pressure coefficient for square-tall building, the results show that for the wind direction between 0 and 15 degrees, room at the upstream wind may obstruct the wind to room at the downstream wind. For the direction of 30, 45, 60 and 75 degrees, wind direction is oblique with the room that appropriate to use the wing walls to increase air velocity within the room. For the wind direction of 90 degree, the air velocity within the room tends to increase from the room at middle to the room at the edge of a building. Therefore, the residential units with good ventilation should be located at the edge of the building with the upstream wind. The calculated results of the number of hours in the thermal comfort zone for a room with good ventilation is 36.78 percent of the total

number of hour in one year. The amount of greenhouse gas emissions in terms of Carbon Dioxide Equivalent (CO₂e) reduction, preliminary showed the reduction of the emission of CO₂e up to 3,976.59 kg. per year per room. The results in this study show that for a single-sided opening room in the condominium, there is a potential to apply natural ventilation as the appropriate design of wing walls, opening and interior wall. In addition, the results also show the decrease of electricity consumption and help reduce global warming.



สำนักหอสมุด

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ ดร. สุดาภรณ์ ชั่งลู่ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ กรรมการวิทยานิพนธ์ ซึ่งคอยให้คำปรึกษาต่าง ๆ ตลอดจนทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี นอกจากนี้ขอขอบพระคุณ ดร.เปรมฤดี กาญจนปิยะ อาจารย์ ดร.ทิพย์สุดา จันทรแจ่มหล้า อาจารย์ดารณี จาริมิตร อาจารย์วิรัช เหล่าพานิชย์กุล ที่ คอยให้คำแนะนำและความรู้ตลอดการทำวิจัย รุ่นพี่สาขาเทคโนโลยีอาคาร พี่เนก พี่จิฐิพร พี่สุมาลี พี่มณิพร และพี่กิตติคุณกับความช่วยเหลือและความห่วงใย เพื่อน ๆ สด.มธ. รุ่นที่ 6 ที่อยู่ร่วมทุกข์ ร่วมสุขกันมาตลอด รวมทั้งคณาจารย์และพี่ธุรการทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ ครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และญาติพี่น้องที่ให้การสนับสนุนที่ดี ตลอดมา

ชัชปน์ เจริญฤติมา
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2553

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(1)
กิตติกรรมประกาศ.....	(4)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญภาพประกอบ.....	(10)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.4 สมมติฐานของการวิจัย.....	6
1.5 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	7
1.7 ข้อจำกัดในงานวิจัย.....	8
1.8 นิยามศัพท์.....	8
1.9 กรอบแนวความคิดในงานวิจัย.....	9
2. ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	10
2.1 สภาวະນຳສບາຍ.....	10
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของการระบายอากาศ.....	13
2.3 ปรัชญาการณຶເຣືອນກະຈກ.....	16

3. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น.....	18
3.1 สภาพภูมิอากาศในประเทศไทย.....	18
3.2 ลักษณะทางกายภาพของห้องพักคอนโดมิเนียมอาคารสูง.....	20
4. ระเบียบวิธีวิจัย.....	24
4.1 ประเภทวิธีวิจัย.....	24
4.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย.....	24
4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	24
4.4 ตัวแปรในงานวิจัย.....	29
4.5 วิธีการทดลอง.....	32
5. ผลการศึกษากรณีผนังยื่น.....	36
5.1 ผลการจำลองความเร็วลม.....	36
5.2 สรุปผลการทดลองและคัดเลือกแบบจำลอง.....	54
6. ผลการศึกษากรณีมีระเบียงที่บริเวณช่องเปิด.....	58
6.1 ผลการจำลองความเร็วลม.....	58
6.2 สรุปผลการทดลองกรณีมีระเบียงที่บริเวณช่องเปิด.....	77
7. ผลการศึกษากรณีมีผนังภายในห้อง.....	81
7.1 ผลการจำลองความเร็วลม.....	81
7.2 สรุปผลการทดลองกรณีมีผนังภายในระหว่างช่องเปิด.....	94

8. สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	98
8.1 สรุปผลการศึกษาระบายอากาศแบบช่องเปิดด้านเดียว.....	98
8.2 วิเคราะห์ผลการศึกษา.....	104
8.3 แนวทางการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติแบบช่องเปิดด้านเดียว สำหรับห้องพักอาคารสูง.....	111
8.4 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย.....	111
บรรณานุกรม.....	112
ภาคผนวก	
ก. ขอบเขตสภาพจะนำสบายแต่ละเดือนของประเทศไทย.....	117
ข. บทความในเอกสารประกอบการประชุมวิชาการที่พิมพ์เผยแพร่.....	124
ประวัติการศึกษา.....	134

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับอุณหภูมิ.....	11
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับการรับรู้ของมนุษย์.....	13
3.1 การอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในรอบ 10 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2542-2551.....	19
3.2 ความเร็วลมเฉลี่ยในรอบ 10 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2542-2551.....	20
5.1 ผลการระบายอากาศในกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง (W) เท่ากับ 0.1 เมตร....	44
5.2 ผลการระบายอากาศในกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง (W) เท่ากับ 2 เมตร.....	50
5.3 ผลการระบายอากาศในกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง (W) เท่ากับ 4 เมตร.....	51
6.1 ผลการระบายอากาศในกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง (W) เท่ากับ 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด (L) เท่ากับ 0.1 เมตร กรณีที่มีระเบียงที่บริเวณ ช่องเปิดด้านเหนือลม.....	59
6.2 ผลการระบายอากาศในกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง (W) เท่ากับ 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด (L) เท่ากับ 2 เมตร กรณีที่มีระเบียงที่บริเวณ ช่องเปิดด้านเหนือลม.....	59
6.3 ผลการระบายอากาศในกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง (W) เท่ากับ 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด (L) เท่ากับ 0.1 เมตร กรณีที่มีระเบียงที่บริเวณ ช่องเปิดด้านใต้ลม.....	66
6.4 ผลการระบายอากาศในกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง (W) เท่ากับ 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด (L) เท่ากับ 2 เมตร กรณีที่มีระเบียงที่บริเวณ ช่องเปิดด้านใต้ลม.....	66
6.5 ผลการระบายอากาศในกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง (W) เท่ากับ 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด (L) เท่ากับ 0.1 เมตร กรณีที่มีระเบียงที่บริเวณ ช่องเปิดทั้ง 2 ด้าน.....	71
6.6 ผลการระบายอากาศในกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง (W) เท่ากับ 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด (L) เท่ากับ 2 เมตร กรณีที่มีระเบียงที่บริเวณ ช่องเปิดทั้ง 2 ด้าน.....	72

7.1	ผลการระบายอากาศในกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง (W) เท่ากับ 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด (L) เท่ากับ 0.1 เมตร กรณีที่มีผนังภายในห้อง ระหว่างช่องเปิดยาว (D) เท่ากับ 2.5 เมตร.....	83
7.2	ผลการระบายอากาศในกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง (W) เท่ากับ 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด (L) เท่ากับ 2 เมตร กรณีที่มีผนังภายในห้อง ระหว่างช่องเปิดยาว (D) เท่ากับ 2.5 เมตร.....	83
7.3	ผลการระบายอากาศในกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง (W) เท่ากับ 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด (L) เท่ากับ 0.1 เมตร กรณีที่มีผนังภายในห้อง ระหว่างช่องเปิดยาว (D) เท่ากับ 5 เมตร.....	88
7.4	ผลการระบายอากาศในกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง (W) เท่ากับ 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด (L) เท่ากับ 2 เมตร กรณีที่มีผนังภายในห้อง ระหว่างช่องเปิดยาว (D) เท่ากับ 5 เมตร.....	89
8.1	สัดส่วนชั่วโมงที่เข้าสภาวะสบายใน 1 ปี (จำนวน 8,760 ชั่วโมงต่อปี).....	110

ผู้อำนวยการหอสมุด

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1.1 แนวโน้มการใช้พลังงานของโลก.....	1
1.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโลก.....	2
1.3 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้ารายสาขาในโลก.....	2
1.4 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้ารายสาขาในประเทศไทย.....	3
1.5 สัดส่วนการใช้พลังงานในภาคที่อยู่อาศัย.....	3
1.6 สัดส่วนการขายที่อยู่อาศัย.....	4
1.7 ผังห้องพักแบบ 1 ห้องนอนในประเทศไทย.....	4
1.8 ผังห้องพักแบบ 1 ห้องนอนในต่างประเทศ.....	5
1.9 ลักษณะของผนังยื่น ระเบียงทึบ ระเบียงโปร่ง และผนังภายใน.....	8
2.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศ..	14
2.2 ลักษณะพฤติกรรมของลมที่ปะทะอาคาร.....	14
2.3 สัมประสิทธิ์ความกดอากาศบนผิวอาคารสูงทรงสี่เหลี่ยมในทิศทางลมต่าง ๆ....	15
3.1 รูปแบบของกรอบอาคารที่พบในคอนโดมิเนียมอาคารสูง.....	21
3.2 รูปแบบการจัดวางพื้นที่ใช้สอยที่พบในคอนโดมิเนียมอาคารสูง.....	22
3.3 รูปแบบช่องเปิดบริเวณที่มีระเบียงด้านหน้าช่องเปิด.....	22
3.4 รูปแบบช่องเปิดบริเวณที่ไม่มีระเบียงด้านหน้าช่องเปิด.....	23
4.1 รูปแบบของโมเดลที่ใช้ในการทดลองของ Givoni.....	25
4.2 ตำแหน่งการวัดผลของความเร็วลมในการทดลองของ Givoni.....	25
4.3 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบเครื่องมือพลศาสตร์ของไหลใน ทิศทางลม 0 องศา.....	26
4.4 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบเครื่องมือพลศาสตร์ของไหลใน ทิศทางลม 22.5 องศา.....	26
4.5 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบเครื่องมือพลศาสตร์ของไหลใน ทิศทางลม 45 องศา.....	27
4.6 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบเครื่องมือพลศาสตร์ของไหลใน ทิศทางลม 67.5 องศา.....	27

4.7	ผลการเปรียบเทียบการทดสอบเครื่องมือพลศาสตร์ของไหลใน ทิศทางลม 135 องศา.....	28
4.8	ค่าความผิดพลาดและความเสถียรของผลการทดลองจากโปรแกรม พลศาสตร์ของไหล.....	29
4.9	รูปแบบความกว้างของผนังยื่น.....	30
4.10	ความกว้างของผนังยื่น (W) เท่ากับ 0.1 เมตร และระยะห่างระหว่าง ช่องเปิด (L) เท่ากับ 0.1, 2 และ 4 เมตร.....	30
4.11	ความกว้างของผนังยื่น (W) เท่ากับ 2 เมตร และระยะห่างระหว่าง ช่องเปิด (L) เท่ากับ 2 และ 4 เมตร.....	31
4.12	ความกว้างของผนังยื่น (W) เท่ากับ 4 เมตร และระยะห่างระหว่าง ช่องเปิด (L) เท่ากับ 4 เมตร.....	31
4.13	กรณีมีระเบียบที่บริเวณช่องเปิด.....	31
4.14	ผนังภายในห้องระหว่างช่องเปิด (D).....	32
4.15	การตั้งค่าโมเดล.....	33
4.16	ตำแหน่งการวัดความเร็วลมในห้องพัก.....	35
5.1	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน กรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1, 2 และ 4 เมตร.....	37
5.2	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร.....	38
5.3	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร.....	39
5.4	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร.....	40
5.5	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร.....	41
5.6	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 4 เมตร.....	42

5.7	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 4 เมตร.....	43
5.8	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน กรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 และ 4 เมตร.....	45
5.9	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร.....	46
5.10	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร.....	47
5.11	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 4 เมตร.....	48
5.12	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 4 เมตร.....	49
5.13	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน กรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 4 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 4 เมตร.....	51
5.14	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 4 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 4 เมตร.....	52
5.15	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 4 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 4 เมตร.....	53
5.16	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยของห้องที่มีผนังยื่นขนาด 0.1, 2 และ 4 เมตร เมื่อมีระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1, 2 และ 4 เมตร ตามลำดับ....	54
5.17	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยของห้องที่มีผนังยื่นขนาด 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1, 2 และ 4 เมตร.....	55
5.18	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยของห้องที่มีผนังยื่นขนาด 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 และ 4 เมตร.....	55
5.19	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยของห้องที่มีผนังยื่นขนาด 0.1, 2 และ 4 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 4 เมตร.....	56
5.20	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรผันของห้องที่มีผนังยื่นขนาด 0.1, 2 และ 4 เมตร.....	57

6.1	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร กรณีมีระเบียบที่บริเวณช่องเปิด ด้านเหนือลม.....	60
6.2	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร กรณีมีระเบียบที่บริเวณ ช่องเปิดด้านเหนือลม.....	61
6.3	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร กรณีมีระเบียบที่บริเวณช่องเปิด ด้านเหนือลม.....	62
6.4	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร กรณีมีระเบียบที่บริเวณ ช่องเปิดด้านเหนือลม.....	63
6.5	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน กรณีที่มีระเบียบที่บริเวณช่องเปิดด้านเหนือลม.....	64
6.6	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน กรณีที่มีระเบียบที่บริเวณช่องเปิดด้านใต้ลม.....	65
6.7	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร กรณีมีระเบียบที่บริเวณช่องเปิด ด้านใต้ลม.....	67
6.8	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร กรณีมีระเบียบที่บริเวณ ช่องเปิดด้านใต้ลม.....	68
6.9	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร กรณีมีระเบียบที่บริเวณช่องเปิด ด้านใต้ลม.....	69
6.10	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร กรณีมีระเบียบที่บริเวณ ช่องเปิดด้านใต้ลม.....	70

6.11	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร กรณีมีระเบียงที่บริเวณช่องเปิด ทั้ง 2 ด้าน.....	73
6.12	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร กรณีมีระเบียงที่บริเวณ ช่องเปิดทั้ง 2 ด้าน.....	74
6.13	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร กรณีมีระเบียงที่บริเวณช่องเปิดทั้ง 2 ด้าน.....	75
6.14	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร กรณีมีระเบียงที่บริเวณ ช่องเปิดทั้ง 2 ด้าน.....	76
6.15	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน กรณีที่มีระเบียงที่บริเวณช่องเปิดทั้ง 2 ด้าน.....	77
6.16	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยของห้องที่มีระเบียงที่บริเวณ ช่องเปิด.....	78
6.17	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรผันของห้องที่มีระเบียงที่บริเวณ ช่องเปิด กรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร.....	79
6.18	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรผันของห้องที่มีระเบียงที่บริเวณ ช่องเปิด กรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร.....	80
7.1	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน กรณีที่มีผนังภายในห้องระหว่างช่องเปิดยาว 2.5 เมตร.....	82
7.2	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร กรณีมีผนังภายในห้องระหว่างช่องเปิด ยาว 2.5 เมตร.....	84
7.3	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร กรณีมีผนังภายในห้องระหว่าง ช่องเปิดยาว 2.5 เมตร.....	85

7.4	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร กรณีมีผนังภายในห้องระหว่างช่องเปิด ยาว 2.5 เมตร.....	86
7.5	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร กรณีมีผนังภายในห้องระหว่าง ช่องเปิดยาว 2.5 เมตร.....	87
7.6	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร กรณีมีผนังภายในห้องระหว่างช่องเปิด ยาว 5 เมตร.....	90
7.7	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร กรณีมีผนังภายในห้องระหว่าง ช่องเปิดยาว 5 เมตร.....	91
7.8	ลักษณะการไหลของลมในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร กรณีมีผนังภายในห้องระหว่างช่องเปิด ยาว 5 เมตร.....	92
7.9	ค่าความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ในห้องทดลองกรณีผนังยื่นขนาดความกว้าง 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร กรณีมีผนังภายในห้องระหว่าง ช่องเปิดยาว 5 เมตร.....	93
7.10	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน กรณีที่มีผนังภายในห้องระหว่างช่องเปิดยาว 5 เมตร.....	94
7.11	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยของห้องที่มีผนังภายในระหว่าง ช่องเปิดในห้องที่มีผนังยื่นขนาด 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร	95
7.12	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรผันของห้องที่มีผนังภายในระหว่าง ช่องเปิดในห้องที่มีผนังยื่นขนาด 0.1 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1 เมตร	96
7.13	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยของห้องที่มีผนังภายในระหว่าง ช่องเปิดในห้องที่มีผนังยื่นขนาด 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร.....	96
7.14	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรผันของห้องที่มีผนังภายในระหว่าง ช่องเปิดในห้องที่มีผนังยื่นขนาด 2 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 2 เมตร.....	97

8.1	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายอากาศของห้องที่มีผนังยื่นขนาด 0.1, 2 และ 4 เมตร เมื่อมีระยะห่างระหว่างช่องเปิด 0.1, 2 และ 4 เมตร ตามลำดับ	99
8.2	แนวโน้มการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายอากาศของห้องที่มีผนังยื่นขนาด 0.1 เมตร เมื่อมีการเพิ่มระยะห่างระหว่างช่องเปิด.....	99
8.3	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายอากาศของห้องที่มีผนังยื่นขนาด 2 เมตร เมื่อมีการเพิ่มระยะห่างระหว่างช่องเปิด.....	100
8.4	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยของห้องที่มีผนังยื่นขนาด 0.1, 2 และ 4 เมตร ระยะห่างระหว่างช่องเปิด 4 เมตร.....	100
8.5	การใช้ขนาดความกว้างของผนังยื่น ระยะห่างระหว่างช่องเปิด และทิศทางลม ตั้งต้นที่เหมาะสมต่อการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ.....	101
8.6	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเร็วลมเฉลี่ยของห้องที่ไม่มีระเบียง และห้องที่มีระเบียงที่บริเวณช่องเปิด.....	102
8.7	ลักษณะการใช้ระเบียงโปร่ง.....	102
8.8	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายอากาศของห้องที่มีผนังยื่นขนาด 0.1 เมตร เมื่อมีผนังภายในระหว่างช่องเปิด.....	103
8.9	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายอากาศของห้องที่มีผนังยื่นขนาด 2 เมตร เมื่อมีผนังภายในระหว่างช่องเปิด.....	103
8.10	การวิเคราะห์การใช้ผนังของห้องพักในปัจจุบัน.....	104
8.11	ลักษณะการจัดวางพื้นที่ภายในที่เหมาะสมที่พบในห้องพักในปัจจุบัน.....	105
8.12	แนวโน้มประสิทธิภาพความเร็วลมในทิศทางลมตั้งต้นที่ 90 องศา.....	107
8.13	ผังอาคารที่เหมาะสมต่อการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติแบ่งช่องเปิด ด้านเดียว.....	108
8.14	ตัวอย่างการนับชั่วโมงที่อยู่ในขอบเขตสภาวะน่าสบาย.....	109
8.15	ตัวอย่างขอบเขตสภาวะสบายในเดือนมกราคม.....	110