# การศึกษาการถ่ายเทมวลอากาศโดยธรรมชาติผ่านท่อที่มีพลังงานความร้อนตกบนผิวนอก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาว กาญจนา ริเริ่มสุนทร

วิทยานิพนธ์ฉบับบนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-022-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# A STUDY OF NATURAL CONVECTION OF AIR MASS THROUGH DUCTS WITH HEAT FLUX ON THE OUTSIDE WALLS

MISS KANCHANA RIRERMSOONTHORN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Mechanical Engineering
Graduated School
Chulalongkorn University
1996

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ : | การศึกษาการถ่ายเทมวลอากาศโดยธรรมชาติผ่านท่อที่มีพลังงานความร้อนตกบนผิวนอก |
| โดย | นางสาว กาญจนา ริเริ่มสุนทร |
| ภาควิชา | วิศวกรรมเครื่องกล |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ |

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

------------------------------------------------ คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

------------------------------------------------ ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรัญญากรณ์)

------------------------------------------------ อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ)

------------------------------------------------ กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมศรี จงรุ่งเรือง)

**พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว**

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กาญจนา ริเริ่มสุนทร : การศึกษาการถ่ายเทมวลอากาศโดยธรรมชาติผ่านท่อที่มีพลังงานความร้อนตกบนผิวนอก ( A STUDY OF NATURAL CONVECTION OF AIR MASS THROUGH DUCTS WITH HEAT FLUX ON THE OUTSIDE WALLS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. มานิจ ทองประเสริฐ , 123 หน้า. ISBN 974-633-022-5


วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาอัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งการไหลของอากาศภายในปล่องเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นอากาศภายในและภายนอกปล่อง โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองหาค่าอัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ ขอบเขตของความเข้มแสงที่ใช้ทดสอบอยู่ในช่วง 0-3,000 $w/m^2$ โดยที่ความเข้มแสง 0-1,000 $w/m^2$ เป็นการทดลองภายนอกห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีแสงจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงานกับปล่อง ที่ความเข้มแสงมากกว่า 1,000 $w/m^2$ เป็นการทดลองภายในห้องปฏิบัติการโดยใช้หลอดไฟ veto 1,500 วัตต์ 10 หลอด เป็นแหล่งให้พลังงานกับปล่อง โดยค่าความเข้มแสงที่ระยะหลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสง 50,60,70 และ 80 เซนติเมตร เท่ากับ 1,955, 2,237, 2508 และ 2,877 $w/m^2$ ตามลำดับ การทดสอบหาอัตราการไหลภายในปล่องแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งและติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ มีพื้นที่รับแสง 0.5x2.0 ตารางเมตร ขนาดช่องอากาศ 0.07x0.50 ตารางเมตร ปล่องอากาศแนวดิ่ง มีขนาด 0.29x1.0 ตารางเมตร ขนาดช่องอากาศ 0.07x0.25 ตารางเมตร

ผลจากการทดลองความเข้มแสงอยู่ใช่วง 271-2,877 $W/m^2$ อัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งและติดตั้งอากาศแนวดิ่งมีค่า 0.010-0.018 kg/s และ 0.013-0.023 kg/s เปรียบเทียบกับค่าอัตราการไหลของอากาศจากการคำนวณเชิงตัวเลขที่มีค่า 0.008-0.016 kg/s และ 0.008-0.017 kg/s ตามลำดับ ที่ความเข้มแสงเดียวกัน อัตราการไหลของอากาศภายในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่งจะมีค่ามากกว่าอัตราการไหลของอากาศภายในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น ทำให้แผ่นดูดรังสีมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นขณะเดียวกันสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบนก็เพิ่มขึ้นด้วย


**ภาควิชา** วิศวกรรมเครื่องกล

**สาขาวิชา** วิศวกรรมเครื่องกล

**ปีการศึกษา** 2538

**ลายมือชื่อนิสิต** กาญจนา ริเริ่มสุนทร

**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** มานิจ ทองประเสริฐ

**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** ..........

# #C616251 : MAJOR MACHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: AIR MASS/NATURAL CONVECTION/SOLAR CHIMNEY

KANCHANA RIRERMSOONTHORN : A STUDY OF NATURAL CONVECTION OF AIR MASS THROUGH DUCTS WITH HEAT FLUX ON THE OUTSIDE WALLS. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. MANIT THONGPRASERT, Ph.d. 123 pp. ISBN 974-633-022-5

The objectives of this research are to find mass flow rate in solar chimney. Mass flow rate in solar chimney occurs naturally due to air density difference exists between the outside and inside column of chimney. The range of heat flux is 0-3,000 w/m$^2$ ,outdoor test with heat flux from the Sun(0-1,000 w/m$^2$), indoor test with heat flux from light (more than 1,000w/m$^2$). The experiments to find the mass flow rates are separated into 2 parts. The first is solar chimney without installed vertical air shaft and the second is solar chimney with installed vertical air shaft. Equipment in this research is the solar chimney that has a collector area of 0.5x2.0 m$^2$ and the plate spacing of 0.07 m. (air gap between the absorber plate and upper surface of the bottom insulation), vertical air shaft that has an area 0.29x1.0 m$^2$ and for a duct size of 0.07x0.25 m$^2$.

From experiment with heat flux 271-2,877 w/m$^2$, mass flow rates of solar chimney without and with vertical air shaft are 0.010-0.018 kg/s and 0.013-0.023 kg/s respectively. From numerical method, mass flow rates of solar chimney without and with vertical air shaft, are 0.008-0.016 kg/s and 0.008-0.017 kg/s respectively. At the same heat flux, mass flow rate of solar chimney that install vertical air shaft is greater than mass flow rate of solar chimney that is not install vertical air shaft. Increasing heat flux, it makes absorber plate temperature, mass flow rate, and top loss coefficient higher.

| | |
|---|---|
| ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล | ลายมือชื่อนิสิต กาญจนา ริเริ่มสุนทร |
| สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [illegible] |
| ปีการศึกษา 2538 | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม |

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ ที่ท่านได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษาและให้ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการดำเนินงานและในการแก้ปัญหาตลอดเวลาในการทำวิจัย จนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอระลึกถึงความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรัญญากรณ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมศรี จงรุ่งเรือง ในการที่ท่านได้กรุณาช่วยให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัยในครั้งนี้ รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ ได้กรุณาแนะนำอุปกรณ์และวิธีการวัดค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยโรจน์ คุณพานิชกิจ ที่ได้กรุณาแนะนำวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ พร้อมกันนี้ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณ นาย ประพัฒน์ ศรีพฤทธิ์เกียรติ และนายสุบิน ขันดี ผู้ซึ่งได้อำนวยความช่วยเหลือด้านการสร้างอุปกรณ์และการทดลอง

อนึ่ง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ หากมีคุณค่าและประโยชน์ต่อทางด้านวิศวกรรม ผู้เขียนขอกราบเป็นกตเวทิตาคุณแก่ บิดา มารดา ท่านคณาจารย์ ตลอดจนผู้มีอุปการะคุณทุกท่าน ที่ได้ให้ความรักความเมตตากรุณา รวมทั้งให้การศึกษา จนผู้เขียนสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จได้ตามความมุ่งหมาย สำหรับความไม่สมบูรณ์หรือบกพร่องประการใดอันพึงมีในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ช |
| สาบัญภาพ | ซ |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ | ฌ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| สาเหตุและที่มาของปัญหา | 1 |
| การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 2 |
| วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 8 |
| ขอบเขตของงานวิจัย | 8 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 9 |
| ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย | 9 |
| บทที่ 2 ทฤษฎี | 10 |
| กลไกการไหลภายในท่อ | 11 |
| แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ | 11 |
| สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน | 18 |
| 1. สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน | 18 |
| 2. สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านล่าง | 19 |
| 3. สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านข้าง | 19 |
| 4. สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม | 19 |
| 5. สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อนเนื่องจากลม | 20 |
| สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน | 20 |
| สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน | 20 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

1. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ................ 21

2. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ ระหว่างแผ่นขนานที่ปิดล้อม.................... 22

ขั้นตอนการคำนวณอัตราการไหลในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์.................... 22

บทที่ 3 เครื่องมือที่ใช้และการดำเนินการวิจัย.................... 24

ลักษณะทั่วไปของเครื่องมือ.................... 24

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิจัย.................... 27

1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ.................... 27

2. เครื่องมือวัดความเข้มแสง.................... 29

3. เครื่องมือวัดความเร็วลม.................... 30

การดำเนินการวิจัย.................... 32

1. การทดลองภายในห้องปฏิบัติการ.................... 32

- การหาการกระจายความเข้มแสงจากหลอดไฟ veto 1500 วัตต์ 1 หลอด.................... 32

- การคำนวณหาการกระจายความเข้มแสงจากหลอดไฟ veto 1500 วัตต์ 10 หลอด.................... 33

- การหาการกระจายความเข้มแสงจากหลอดไฟ veto 1500 วัตต์ 10 หลอด เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ.................... 33

- การหาอัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แสงจากหลอดไฟเป็นแหล่งให้พลังงาน.................... 33

2. การทดลองภายนอกห้องปฏิบัติการเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แสงจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงาน.................... 34

บทที่ 4 ผลการวิจัย.................... 35

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการไหลในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์.................... 35

1. ตัวแปรภายใน.................... 35

2. ตัวแปรภายนอก.................... 36

ผลการทดลองภายในห้องปฏิบัติการ.................... 36

สารบัญ (ต่อ)


หน้า

1. ผลการทดลองหาค่าการกระจายความเข้มแสงจากหลอดไฟ veto 1 หลอด........ 36
2. ผลการคำนวณหาค่าการกระจายความเข้มแสงจากหลอดไฟ veto 10 หลอด..... 36
3. ผลการทดลองหาการกระจายความเข้มแสงจากหลอดไฟ veto 10 หลอด ที่ระยะหลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสงของปล่อง 80 เซนติเมตร........................... 36
4. ผลการทดลองเพื่อหาค่าอัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ภายในห้องปฏิบัติการ........................................................................ 37

ผลการทดลองภายนอกห้องปฏิบัติการ........................................................................ 38

1. ผลการทดลองเพื่อหาค่าอัตราการไหลในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ภายนอกห้องปฏิบัติการ........................................................................ 38

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับอัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์........................................................................ 40

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นดูดรังสีกับความเข้มแสง,อัตราการไหลของอากาศและสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน........................................ 40

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ........................................................ 45

สรุปผลการทดลอง........................................................................ 45

ข้อเสนอแนะ........................................................................ 47

เอกสารอ้างอิง........................................................................ 48

ภาคผนวก........................................................................ 51

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับอัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง........ 52

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับอัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง........ 53

ตารางที่ ก.1-ก.4 แสดงค่าการกระจายความเข้มแสงจากหลอดไฟ veto 10 หลอด ที่ระยะหลอดไฟอยู่ห่างจากพื้นผิวรับแสง 50,60,70 และ 80 เซนติเมตร........ 58

ตารางที่ ก.5-ก.8 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณของการกระจายความเข้มแสงจากหลอดไฟ veto 10 หลอด ที่ตกบนพื้นผิวรับแสงของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ 0.5x2 ตารางเมตร โดยหลอดไฟอยู่ห่างจากพื้นผิวรับแสง 50,60,70 และ 80 เซนติเมตร..... 58

ตารางที่ ก.9 แสดงค่าได้จากการทดลองวัดการกระจายความเข้มแสงจากหลอดไฟ veto 10 หลอด ที่ตกบนพื้นผิวรับแสงของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ 0.5x2 ตารางเมตร โดยหลอดไฟอยู่ห่างจากพื้นผิวรับแสง 80 เซนติเมตร........ 62

ตารางที่ ก.10-ก.13 แสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีหลอดไฟเป็นแหล่งให้พลังงาน : หลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสง 50,60,70 และ 80 เซนติเมตร........ 63

ตาราที่ ก.14-ก.17 แสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีหลอดไฟเป็นแหล่งให้พลังงาน : หลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสง 50,60,70 และ 80 เซนติเมตร........ 67

ตารางที่ ก.18-ก.22 แสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีแสงจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงาน : วันที่ทดลอง 31/3/38, 17/4/38,18/4/38,22/4/38 และ 01/5/38........ 71

ตารางที่ ก.23-ก.25 แสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีแสงจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงาน : วันที่ทดลอง 26/5/38,30/5/38 และ 31/5/38........ 76

สารบัญภาพ


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1 | แสดงรูปแบบการทำความร้อนโดยการไหลผ่านภายในอาคาร Kelbaugh.......................... | 2 |
| 1.2 | แสดงภาพตัดของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่เสนอโดย Haisley........................................ | 3 |
| 1.3 | แสดงภาพตัดของเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปล่องแนวดิ่งเพิ่มเข้าไป......... | 4 |
| 1.4 | แสดงแบบจำลองการระบายอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของสุทธิรัตน์ สุวรรณจรัส... | 5 |
| 1.5 | แสดงแบบจำลองอาคารที่ติดตั้งปล่องพลังงานแสงอาทิตย์............................................... | 6 |
| 1.6 | แสดงภาพตัดของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการระบายอากาศภายในอาคาร........ | 7 |
| 1.7 | แสดงแบบจำลองที่นำปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ มาติดตั้งเพิ่มกับระบบ wind tower เพื่อใช้ในการระบายอากาศภายในอาคาร........................................................................ | 8 |
| 2.1 | แสดงระบบ, การกระจายความดันและความหนาแน่นอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์........................................................................................................ | 11 |
| 2.2 | กระบวนการที่เกิดในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์.......................................................... | 13 |
| 2.3 | แสดงสมดุลย์ทางด้านพลังงานของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีพื้นผิวรับแสง ($1*\Delta X$).... | 14 |
| 3.1 | แสดงลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย............................................................ | 25 |
| 3.2 | ภาพตัดแสดงรายละเอียดของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์................................................ | 26 |
| 3.3 | ภาพตัดแสดงรายละเอียดของปล่องอากาศแนวดิ่ง........................................................ | 26 |
| 3.4 | แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลบนแผ่นดูดรังสี..................................................... | 27 |
| 3.5 | แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลในช่องอากาศของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์.......... | 28 |
| 3.6 | ชุดอุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิ.............................................................................................. | 28 |
| 3.7 | แสดงเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดอากาศแวดล้อม........................................................... | 29 |
| 3.8 | ชุดอุปกรณ์บันทึกความเข้มแสง....................................................................................... | 29 |
| 3.9 | ชุดอุปกรณ์บันทึกความเร็วลม......................................................................................... | 30 |
| 3.10 | แสดงการทดลองเพื่อหาค่าการกระจายความเข้มแสงของหลอดไฟ veto 10 หลอด......... | 30 |
| 3.11 | แสดงการทดลองภายในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าอัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แสงจากหลอดไฟเป็นแหล่งให้พลังงาน......................... | 31 |
| 3.12 | แสดงปล่องอากาศแนวดิ่ง................................................................................................ | 31 |

สารบัญภาพ (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 4.1 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับอัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง | 41 |
| 4.2 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับอัตราการไหลของอากาศในปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง | 42 |
| 4.3 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีกับความเข้มแสง,อัตราการไหลของอากาศและสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบนของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง | 43 |
| 4.4 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีกับความเข้มแสง,อัตราการไหลของอากาศและสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบนของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง | 44 |
| ข.1 | กราฟแสดงการกระจายความเข้มแสงจากหลอดไฟ veto 1 หลอด : หลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสงของปล่อง 50 เซนติเมตร | 79 |
| ข.2 | กราฟแสดงการกระจายความเข้มแสงจากหลอดไฟ veto 1 หลอด : หลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสงของปล่อง 60 เซนติเมตร | 80 |
| ข.3 | กราฟแสดงการกระจายความเข้มแสงจากหลอดไฟ veto 1 หลอด : หลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสงของปล่อง 70 เซนติเมตร | 81 |
| ข.4 | กราฟแสดงการกระจายความเข้มแสงจากหลอดไฟ veto 1 หลอด : หลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสงของปล่อง 80 เซนติเมตร | 82 |
| ข.5 | กราฟแสดงค่าการกระจายความเข้มแสงที่ได้จากการคำนวณจากหลอดไฟ veto 10 หลอด ที่ตกบนพื้นผิวรับแสงของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ 0.5x2 ตารางเมตร โดยหลอดไฟอยู่ห่างจากพื้นผิวรับแสง 50 เซนติเมตร | 83 |
| ข.6 | กราฟแสดงค่าการกระจายความเข้มแสงที่ได้จากการคำนวณจากหลอดไฟ veto 10 หลอด ที่ตกบนพื้นผิวรับแสงของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ 0.5x2 ตารางเมตร โดยหลอดไฟอยู่ห่างจากพื้นผิวรับแสง 60 เซนติเมตร | 84 |
| ข.7 | กราฟแสดงค่าการกระจายความเข้มแสงที่ได้จากการคำนวณจากหลอดไฟ veto 10 | |

## สารบัญภาพ (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| | หลอด ที่ตกบนพื้นผิวรับแสงของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ 0.5x2 ตารางเมตร โดยหลอดไฟอยู่ห่างจากพื้นผิวรับแสง 70 เซนติเมตร...... | 85 |
| ข.8 | กราฟแสดงค่าการกระจายความเข้มแสงที่ได้จากการคำนวณจากหลอดไฟ veto 10 หลอด ที่ตกบนพื้นผิวรับแสงของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ 0.5x2 ตารางเมตร โดยหลอดไฟอยู่ห่างจากพื้นผิวรับแสง 80 เซนติเมตร...... | 86 |
| ข.9 | กราฟแสดงค่าที่ได้จากการทดลองวัดการกระจายความเข้มแสงจากหลอไฟ veto 10 หลอดที่ตกบนพื้นผิวรับแสงของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ 0.5x2 ตารางเมตร โดยหลอดไฟอยู่ห่างจากพื้นผิวรับแสง 80 เซนติเมตร...... | 87 |
| ข.10 | กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีหลอดไฟเป็นแหล่งให้พลังงาน : หลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสง 50 เซนติเมตร...... | 88 |
| ข.11 | กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีหลอดไฟเป็นแหล่งให้พลังงาน : หลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสง 60 เซนติเมตร...... | 89 |
| ข.12 | กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีหลอดไฟเป็นแหล่งให้พลังงาน : หลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสง 70 เซนติเมตร...... | 90 |
| ข.13 | กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีหลอดไฟเป็นแหล่งให้พลังงาน : หลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสง 80 เซนติเมตร...... | 91 |
| ข.14 | กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีหลอดไฟเป็นแหล่งให้พลังงาน : หลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสง 50 เซนติเมตร...... | 92 |
| ข.15 | กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีหลอดไฟเป็นแหล่งให้พลังงาน : หลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสง 60 เซนติเมตร...... | 93 |
| ข.16 | กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีหลอดไฟเป็นแหล่งให้พลังงาน : หลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสง 70 เซนติเมตร...... | 94 |
| ข.17 | กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีหลอดไฟเป็นแหล่งให้พลังงาน : หลอดไฟห่างจากพื้นผิวรับแสง 80 เซนติเมตร...... | 95 |
| ข.18 | กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีแสงจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงาน : วันที่ทดลอง 31/3/38...... | 96 |
| ข.19 | กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีแสงจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงาน : วันที่ทดลอง 17/4/38...... | 97 |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ข.20 กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีแสงจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงาน : วันที่ทดลอง 18/4/38........................... 98

ข.21 กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีแสงจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงาน : วันที่ทดลอง 22/4/38........................... 99

ข.22 กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีแสงจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงาน : วันที่ทดลอง 01/5/38........................... 100

ข.23 กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่ องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีแสงจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงาน : วันที่ทดลอง 26/5/38........................... 101

ข.24 กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีแสงจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงาน : วันที่ทดลอง 30/5/38........................... 102

ข..25 กราฟแสดงคุณลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปล่องอากาศแนวดิ่ง โดยมีแสงจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงาน : วันที่ทดลอง 31/5/38........................... 103

# คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| สัญลักษณ์ | | หน่วย |
|---|---|---|
| $A_c$ | พื้นที่รับแสงของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ | $m^2$ |
| $A_i$ | พื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าปล่อง | $m^2$ |
| $A_o$ | พื้นที่หน้าตัดบริเวณทางออกปล่อง | $m^2$ |
| $C_D$ | สัมประสิทธิ์การสูญเสีย | |
| $C_p$ | ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ | J/kg.K |
| d | ขนาดช่องอากาศภายในปล่อง | m |
| D | เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ | m |
| g | ความเร่งสู่ศูนย์กลางของโลก | $m^2/s$ |
| $G_T$ | พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนปล่อง | $w/m^2$ |
| h | ความสูงของปล่อง | m |
| h | สัมประสิทธิ์การพาความร้อน | $w/m^{2\circ}C$ |
| H | ความสูงปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ | m |
| HV | ความสูงของปล่องอากาศแนวดิ่ง | m |
| $h_{c,b-f}$ | สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนโดยธรรมชาติจากแผ่นดูดรังสีด้านล่างไปยังอากาศ | $w/m^{2\circ}C$ |
| $h_{c,p-f}$ | สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนโดยธรรมชาติจากแผ่นดูดรังสีด้านบนไปยังอากาศ | $w/m^{2\circ}C$ |
| $h_{r,p-b}$ | สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน | $w/m^{2\circ}C$ |
| $h_w$ | สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลม | $w/m^{2\circ}C$ |
| k | สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นดูดรังสี | $w/m^{\circ}C$ |
| $k_i$ | สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน | $w/m^{\circ}C$ |
| l | ระยะห่างระหว่างแผ่นที่เกิดการถ่ายเทความร้อน | mm |
| L | ระยะห่างระหว่างแผ่นที่เกิดการถ่ายเทความร้อน | m |
| L | ความยาวปล่อง | m |
| $L_i$ | ความหนาของฉนวน | m |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

| | | หน่วย |
|---|---|---|
| m | อัตราการไหลของอากาศภายในปล่อง | kg/s |
| N | จำนวนกระจก | แผ่น |
| Nu | ตัวเลขนัสเซิล | |
| P | ความดันที่ทำให้อากาศเคลื่อนที่ | $N/m^2$ |
| $P_o$ | ความดันเริ่มต้น | $N/m^2$ |
| $P_r$ | ตัวเลขแพรนเติล | |
| $P_{o1}$ | ความดันภายในปล่องที่บริเวณทางเข้า | $N/m^2$ |
| $P_{o2}$ | ความดันภายนอกปล่องที่บริเวณทางเข้า | $N/m^2$ |
| $P_{11}$ | ความดันภายในปล่องที่ความสูง H | $N/m^2$ |
| $P_{12}$ | ความดันภายนอกปล่องที่ความสูง H | $N/m^2$ |
| $Q_i$ | ปริมาตรการไหลของอากาศเข้าปล่อง | $m^3/s$ |
| $Q_o$ | ปริมาตรการไ หลของอากาศออกจากปล่อง | $m^3/s$ |
| R | ค่าคงที่ของกาซ | J/kg.K |
| $R_a$ | ตัวเลขเรย์เลจน์ | |
| $R_e$ | ตัวเลขเรย์โนลด์ | |
| T | อุณหภูมิ | $^oC$ |
| $\Delta T$ | ความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่ทางเข้าและออกปล่อง | $^oC$ |
| $T_a$ | อุณหภูมิแวดล้อม | $^oC$ |
| $T_b$ | อุณหภูมิแผ่นดูดรังสีด้านล่าง | $^oC$ |
| $T_f$ | อุณหภูมิของอากาศภายในแผง | $^oC$ |
| $T_{f,in}$ | อุณหภูมิของอากาศที่ด้านเข้าปล่อง x= O | $^oC$ |
| $T_{f,out}$ | อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากปล่อง x= L | $^oC$ |
| $T_i$ | อุณหภูมิของอากาศบริเวณทางเข้าปล่อง | $^oC$ |
| $T_P$ | อุณหภูมิแผ่นดูดรังสีด้านบน | $^oC$ |
| $T_{pm}$ | อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดรังสี | $^oC$ |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

| | | หน่วย |
|---|---|---|
| $T_o$ | อุณหภูมิของอากาศบริเวณทางออกปล่อง | $^oC$ |
| $U_b$ | สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านล่าง | $w/m^2{}^oC$ |
| $U_e$ | สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านข้าง | $w/m^2{}^oC$ |
| $U_L$ | สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม | $w/m^2{}^oC$ |
| $U_t$ | สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน | $w/m^2{}^oC$ |
| $U_w$ | ความเร็วลม | m/s |
| V | ความเร็วของอากาศภายในท่อ | m/s |
| $V_i$ | ความเร็วของอากาศบริเวณทางเข้าปล่อง | m/s |
| $V_o$ | ความเร็วของอากาศบริเวณทางออกปล่อง | m/s |
| W | ความกว้างปล่อง | m |
| $\alpha$ | ค่าการแผ่กระจายความร้อน (Thermal diffusivity) | $m^2/s$ |
| $(\tau\alpha)$ | ค่า Transmissivity absorptivity | |
| $\beta$ | มุมเอียงที่ปล่องวางทำมุมกับแนวระดับ | |
| $\beta$ | สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ | $K^{-1}$ |
| $\varepsilon_b$ | ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแผ่นดูดรังสีด้านล่าง | |
| $\varepsilon_g$ | ค่าการแผ่รังสีความร้อนของกระจก | |
| $\varepsilon_p$ | ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแผ่นดูดรังสีด้านบน | |
| $\upsilon$ | ความหนืดจลนศาสตร์ | $m^2/s$ |
| $\rho$ | ความหนาแน่นอากาศ | $kg/m^3$ |
| $\rho$ | ความหนาแน่นเฉลี่ยของอากาศภายในปล่อง | $kg/m^3$ |
| $\rho_e$ | ความหนาแน่นเฉลี่ยของอากาศภายนอกปล่อง | $kg/m^3$ |
| $\rho_i$ | ความหนาแน่นของอากาศที่เข้าปล่อง | $kg/m^3$ |
| $\rho_o$ | ความหนาแน่นของอากาศที่ออกจากปล่อง | $kg/m^3$ |
| $\sigma$ | ค่าคงที่ Stefan - Boltzman | $w/m^2.K^4$ |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

| | | หน่วย |
|---|---|---|
| $\gamma$ | มุมของการหันหน้าของแผ่นรับแสงไปจากทางทิศใต้ | |
| $\omega$ | มุมชั่วโมง | |
| $\theta$ | มุมที่ลำแสงกระทบกับเส้นตั้งฉากของแผ่นรั บแสง | |
| $\phi$ | ละติจูด | |