

การศึกษาพฤติกรรมของลมร้อนในต้อบที่มีโครงสร้างภายในต่างกัน



นางสาวสุกุล คุรุเสถียร

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540


ISBN 974-637-991-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

21 ต.ค. 2544

I1805 2289

STUDY OF HOT AIR FLOW BEHAVIOR IN OVENS WITH DIFFERENT INTERNAL  
GEOMETRIES



Miss Sukun Kurusathian

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

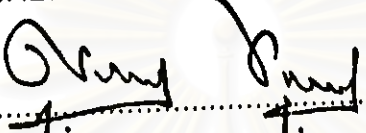
Academic Year 1997

ISBN 974-637-991-7

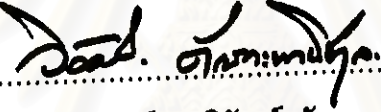
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาพฤติกรรมของลมร้อนในตู้อบที่มีโครงสร้างภายในต่างกัน  
โดย                              นางสาวสุกุล คุรุเสถียร  
ภาควิชา                        วิศวกรรมเคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษา            อาจารย์ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม      นางอังคณา สุทธิกุล


---

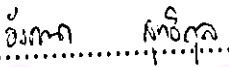
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต


  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ จุฑาวุฒิ ฑูตวิวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. จิรวุฒิ ฑูตวิวงศ์)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(นางอังคณา สุทธิกุล)

  
.....กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

สุกฤษ คุรุเสถียร : การศึกษาพฤติกรรมของลมร้อนในตู้อบที่มีโครงสร้างภายในต่างกัน  
(STUDY OF HOT AIR FLOW BEHAVIOR IN OVENS WITH DIFFERENT INTERNAL  
GEOMETRIES) อ. ที่ปรึกษา : ดร. สมประสงค์ ศรีชัย, อ. ที่ปรึกษาร่วม : นางอังคณา  
สุทธิกุล ; 79 หน้า. ISBN 974-637-991-7

การศึกษาพฤติกรรมการไหลของลมร้อนในตู้อบที่มีโครงสร้างภายในต่างกันว่าจำลองแบบมาจาก  
ตู้อบเลนส์แว่นตาโดยทำการทดลองที่มีการแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็นสามกลุ่มหลักคือ กลุ่มที่แหล่งให้  
ความร้อนหลัก (Major heat source) อยู่ในตู้อบเช่นเดียวกับการใช้งานจริง, กลุ่มที่แหล่งให้ความร้อน  
หลักอยู่นอกตู้อบ โดยภายในตู้อบได้จัดให้มีการแบ่งชั้นและจัดวางสิ่งกีดขวางแบบต่างๆ และกลุ่มที่มีแหล่ง  
ให้ความร้อนย่อย (Minor heat source) อยู่ในตู้อบซึ่งเป็นตัวแทนของการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน  
แบบคายความร้อนของโมโนเมอร์ที่บรรจุอยู่ในแบบพิมพ์ของการผลิตเลนส์แว่นตา พร้อมทั้งได้มีการศึกษาผล  
จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของลมร้อนด้วย พบว่ากรณีที่ใช้ตู้อบที่มีแหล่งให้ความร้อนหลักอยู่ใน  
นอกตู้อบจะมีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่สม่ำเสมอมากกว่ากรณีที่ใช้ตู้อบที่มีแหล่งให้ความร้อนหลักอยู่ใน  
ตู้อบ ส่วนการแบ่งชั้นและวางสิ่งกีดขวางไว้ในตู้อบนั้นส่งผลต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบ  
เพียงเล็กน้อย ในกรณีที่มีแหล่งให้ความร้อนย่อยอยู่ในห้องอบนั้น กรณีที่มีแหล่งให้ความร้อนย่อย  
จำนวนมากกว่าจะมีการกระจายตัวของอุณหภูมิดีกว่า และอัตราการไหลของลมร้อนเข้าสู่ตู้อบที่สูงกว่าจะ  
ทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิในตู้อบมีความสม่ำเสมอมากกว่า

นอกจากนี้ยังมีการใช้โปรแกรม PHOENICS 2.1 ในการจำลองแบบการไหลของลมร้อนในกรณีที่  
แหล่งให้ความร้อนย่อยอยู่ในตู้อบด้วย ซึ่งก็พบว่าได้ผลที่สอดคล้องกับการทดลอง โดยจะมีแนวโน้มของ  
การกระจายตัวของอุณหภูมิในลักษณะเดียวกัน และการไหลของลมร้อนเข้าสู่ตู้อบมีลักษณะการไหลในทิศ  
ทางตรงลงไปที่พื้นตู้อบแล้วจึงหักเหเข้าสู่ตอนล่างของห้องอบ มีลมร้อนเพียงส่วนน้อยที่ไหลเข้าสู่ตอนบนของ  
ห้องอบ ทำให้บริเวณตอนล่างของห้องอบมีการพาความร้อนออกไปได้ดีกว่าตอนบน บริเวณดังกล่าวจึงมี  
อุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณตอนบน

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเคมี .....  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเคมี .....  
ปีการศึกษา ..... 2540 .....

ลายมือชื่อนิติ ..... \$ 9 .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... สมประสงค์ ศรีชัย .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... อังคณา สุทธิกุล .....

\*\* : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING  
KEY WORD: HOT AIR / TEMPERATURE / DISTRIBUTION / OVEN / CFD / PHOENICS

SUKUN KURUSATHIAN : STUDY OF HOT AIR FLOW BEHAVIOR IN OVENS WITH  
DIFFERENT INTERNAL GEOMETRIES. THESIS ADVISOR : SOMPRASONG SRICHAJ,  
Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : ANGKANA SUTTHIKUL 79 pp. ISBN 974-637-991-7.

Hot air flow phenomena in an oven with different internal geometry, which was imitated from an industrial lens oven, was studied. Experiments were conducted by classifying into three groups. The first group had a major heat source inside the oven, while the source was removed to outside for the second group. Inside the oven was defined to have separate partition with/without boxes as obstacles. The third group was similar to the second except that minor heat sources were added into the oven for representing the exothermic reaction of polymerization. The experimental results showed that temperature distribution in the oven with external major heat source was more consistent, while partition and obstacle had low effect. In the oven with internal minor heat source, more minor heat source resulted in poor temperature distribution. Also found that higher flow rate of hot air into the oven helped in consistency temperature distribution.

Moreover, PHOENICS 2.1 was used to simulate the hot air flow phenomena in the case of the oven having internal minor heat sources. Temperature distribution obtained from the simulation qualitatively agreed with those of the experimental results. Besides, the simulation results showed that hot air flowed directly to the bottom of the oven and removed some heat with it causing the lower temperature at the bottom of the oven.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา..... 2540

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ศ.ดร.พงษ์ศักดิ์ ศรีชัย  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... อ.ดร.กานดา ศรีชัย

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คุณอังคณา สุทธิกุล กรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่าน รวมทั้ง ดร. สมบัติ ไพหารวิจิตรนุช Mr. Bruno Lahanque และ Mr. Stefan B. ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านมา ณ ที่นี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บริษัทไมติอินเตอร์ จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และ อุปกรณ์ในการทำวิจัย และขอขอบคุณพนักงานทุกท่านซึ่งไม่ได้ลงนามไว้ทั้งหมดในที่นี้ได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ธุรการของภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่าน ที่ได้ช่วยติดต่อประสานงาน ระหว่างนิสิตกับอาจารย์ที่ปรึกษา และกับทางมหาวิทยาลัยจนกระทั่ง วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี และขอขอบคุณ คุณนันทวี อัครารุท ที่ให้ความช่วยเหลือและ สนับสนุนผู้วิจัยเป็นอย่างสูง

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ และน้องๆ ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือและ สนับสนุนผู้วิจัยมาโดยตลอด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญรูป .....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์ .....	ฒ
บทที่	
1 บทนำ .....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
ขอบเขตของการศึกษา .....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
2 งานวิจัยที่ผ่านมา .....	5
การศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหล	
และการถ่ายเทความร้อนในขอบเขตจำกัดที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง .....	5
การศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหล	
และการถ่ายเทความร้อนในขอบเขตจำกัดที่มีสิ่งกีดขวาง .....	11
การศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหล	
และการถ่ายเทความร้อนในขอบเขตจำกัดที่มีแหล่งให้ความร้อนอยู่ในขอบเขตนั้น .....	13
3 การทดลอง .....	15
ชุดการทดลอง .....	16
โครงสร้างภายในห้องอบ .....	21
การทดลอง .....	24
4 วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	27
อิทธิพลของตำแหน่งของแหล่งกำเนิดความร้อนหลัก (Major heat source) .....	27
อิทธิพลของการแบ่งชั้นภายในห้องอบ .....	30
อิทธิพลของสิ่งกีดขวางภายในห้องอบ .....	36
อิทธิพลของแหล่งกำเนิดความร้อนย่อยภายใน (Internal minor heat source) .....	37
อิทธิพลของอัตราการไหลของลมร้อนที่ป้อนเข้าสู่ห้องอบ .....	40
อิทธิพลของจำนวนแหล่งกำเนิดความร้อนย่อยภายใน .....	42



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่

5 การใช้เทคนิค CFD ในการจำลองลักษณะการไหลของลมร้อนในตู้อบ.....	45
ขอบเขตของการจำลอง.....	45
สมการที่ใช้ในการจำลอง.....	46
ผลการจำลอง.....	50
การเปรียบเทียบผลการจำลองกับการทดลอง.....	56
6 บทสรุป.....	63
ข้อเสนอแนะ.....	64
รายการอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก.....	66
ภาคผนวกที่ 1.....	67
ประวัติผู้เขียน.....	79

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

## ตารางที่

2-1 การทดสอบการแบ่งกริด .....	9
3-1 แสดงรายละเอียดของการทดลอง .....	15
3-2 ตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิลที่ติดตั้งไว้ในห้องอบ .....	21
3-3 ผลการทดลองกรณี 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 .....	25
3-4 ผลการทดลองกรณี 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 .....	26
4-1 การเปรียบเทียบผลการทดลองในกรณี 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 .....	32
4-2 การเปรียบเทียบผลการทดลองในกรณี 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 .....	39
5-1 รายละเอียดของตัวแปรที่ใช้ในชุดสมการอนุพันธ์ .....	47
5-2 ผลการจำลองในกรณี 8, 9, 11 และ 12 .....	50
5-3 การเปรียบเทียบผลการจำลองกับการทดลองในกรณี 8 และ 9 .....	57
5-4 การเปรียบเทียบผลการจำลองกับการทดลองในกรณี 11 และ 12 .....	58

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

## รูปที่

1-1 แสดงรถเข็นสำหรับใส่แบบพิมพ์บรรจุโมโนเมอร์ในการผลิตเลนส์แว่นตา.....	1
1-2 แสดงตู้อบลมร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเลนส์แว่นตา.....	3
2-1 แผนผังแสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	6
2-2 แสดงระนาบ X-Y และ Z-Y สำหรับการสังเกตด้วยตาเปล่า.....	6
2-3 ลักษณะของเครื่องมือที่ทำการทดลอง.....	7
2-4 แสดงห้องที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์การพาความร้อนและการส่งผ่านมวลสาร.....	8
2-5 กราฟเปรียบเทียบผลการกระจายตัวของความเร็วที่ศูนย์กลางของประตูที่เปิด ระหว่างการคำนวณ และการทดลอง.....	9
2-6 กราฟเปรียบเทียบผลการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ศูนย์กลางของประตูที่เปิด ระหว่างการคำนวณ และการทดลอง.....	10
2-7 กราฟเปรียบเทียบผลการกระจายตัวของความเร็วที่ศูนย์กลางของประตูที่เปิด ระหว่างการคำนวณเชิงตัวเลขและการใช้โปรแกรม PHOENICS.....	10
2-8 แสดงแผนผังกลุ่มอาคารที่ใช้ในการศึกษา.....	12
2-9 แสดงสภาวะขอบเขตของโพรงสี่เหลี่ยมโดยมีสภาวะเริ่มต้นที่ $U=W=0$ และ $T=0$ .....	13
2-10 แสดงผลการเปรียบเทียบการเพิ่มอุณหภูมิใน 4 ตำแหน่ง ระหว่างการคำนวณเชิงตัวเลขและการทดลอง.....	14
2-11 แสดงผลการเปรียบเทียบความเร็วของการเคลื่อนที่ของของไหลตามแนวตั้ง ในขอบเขตสวาง-มืด ระหว่างการคำนวณเชิงตัวเลขและการทดลอง.....	14
3-1 ก. รูปถ่ายแสดงตู้อบที่ใช้ในการทดลอง.....	17
3-1 ข. รูปเขียนแสดงตู้อบที่ใช้ในการทดลอง.....	18
3-2 ก. การติดตั้งเครื่องทำความร้อนไว้ในตู้อบ.....	19
3-2 ข. การติดตั้งเครื่องทำความร้อนไว้ภายนอกตู้อบ.....	19
3-3 ตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิลที่ติดตั้งในห้องอบ.....	20
3-4 ก. แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที่ 1.....	22
3-4 ข. แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที่ 2.....	22
3-4 ค. แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที่ 3.....	22
3-4 ง. แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที่ 4.....	22

## สารบัญรูป (ต่อ)

## รูปที่

3-4 จ. แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที 5.....	22
3-4 ฉ. แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที 6.....	22
3-5 แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที 7, 8 และ 9 .....	23
3-6 แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที 10, 11 และ 12 .....	23
4-1 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ในตู้อบในการทดลองกรณีที 1 ซึ่งมีแหล่งให้ความร้อนหลักอยู่ภายใน.....	28
4-2 แสดงตู้อบในการทดลองกรณีที 1 ซึ่งมีแหล่งให้ความร้อนหลักอยู่ภายใน.....	28
4-3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ในตู้อบ ในระหว่างการทดลองกรณีที 1 ที่มีแหล่งกำเนิดความร้อนหลักอยู่ภายใน และการทดลองกรณีที 2 ที่แยกแหล่งกำเนิดความร้อนหลักออกมาไว้ภายนอก.....	29
4-4 แสดงตู้อบในการทดลองกรณีที 3 ซึ่งมีแผ่นเหล็กแบ่งห้องอบออกเป็น 2 ช่อง.....	30
4-5 แสดงตู้อบในการทดลองกรณีที 4 ซึ่งมีแผ่นเหล็กแบ่งห้องอบออกเป็น 4 ช่อง.....	30
4-6 แสดงตู้อบในการทดลองกรณีที 5 ซึ่งมีแผ่นเหล็กแบ่งห้องอบออกเป็น 9 ช่อง.....	31
4-7 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแกน Y ของตู้อบ ในการทดลองกรณีที 2. ซึ่งแยกแหล่งกำเนิดความร้อนหลักออกมาไว้ภายนอก.....	33
4-8 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแกน Y ของตู้อบ ในการทดลองกรณีที 3 ซึ่งแยกแหล่งกำเนิดความร้อนหลักออกมาไว้ภายนอก และมีแผ่นเหล็กวางอยู่ภายในห้องอบหนึ่งแผ่น.....	34
4-9 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแกน Y ของตู้อบ ในการทดลองกรณีที 4 ซึ่งแยกแหล่งกำเนิดความร้อนหลักออกมาไว้ภายนอก และมีแผ่นเหล็กวางอยู่ภายในห้องอบสามแผ่น.....	35
4-10 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแกน Y ของตู้อบในการทดลองกรณีที 5 ซึ่งแยกแหล่งกำเนิดความร้อนหลักออกมาไว้ภายนอก และมีแผ่นเหล็กวางอยู่ภายในห้องอบแปดแผ่น.....	35

## สารบัญรูป (ต่อ)

### รูปที่

- 4-11 กราฟแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแกน Y ของตู้อบในการทดลองกรณีที่ 6  
ซึ่งแยกแหล่งกำเนิดความร้อนหลักออกมาไว้ภายนอก  
และมีแผ่นเหล็กวางอยู่ภายในห้องอบแปดแผ่น  
พร้อมทั้งมีกล่องพลาสติกวางอยู่บนชั้นต่างๆ ที่ถูกแบ่งด้วยแผ่นเหล็กชั้นละสามกล่อง ..... 36
- 4-12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ในตู้อบ  
ในระหว่างการทดลองกรณีที่ 5 และการทดลองกรณีที่ 6 ..... 37
- 4-13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ในตู้อบ  
ในระหว่างการทดลองกรณีที่ 8 และการทดลองกรณีที่ 9  
โดยที่ในกรณีที่ 8 เป็นตู้อบที่แยกแหล่งกำเนิดความร้อนหลักออกมาไว้ภายนอก  
และมีแผ่นเหล็กวางอยู่ภายในห้องอบหนึ่งแผ่นพร้อมทั้งมีหลอดไฟขนาด 40 วัตต์วางอยู่ที่พื้นตู้  
และบนแผ่นเหล็กบริเวณละสี่ดวง ให้ลมร้อนที่มีอัตราการไหล 0.48 เมตร<sup>3</sup>/วินาที  
ส่วนกรณีที่ 9 ลักษณะเหมือนกับการทดลองกรณีที่ 8  
แต่ต่างกันที่อัตราการไหลของลมร้อนเป็น 0.80 เมตร<sup>3</sup>/วินาที ..... 41
- 4-14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ในตู้อบ  
ในระหว่างการทดลองกรณีที่ 11 และการทดลองกรณีที่ 12  
โดยที่กรณีที่ 11 เป็นตู้อบที่แยกแหล่งกำเนิดความร้อนหลักออกมาไว้ภายนอก  
และมีแผ่นเหล็กวางอยู่ภายในห้องอบสามแผ่นพร้อมทั้งมีหลอดไฟขนาด 40 วัตต์วางอยู่ที่พื้นตู้  
และบนแผ่นเหล็กบริเวณละสี่ดวง ให้ลมร้อนที่มีอัตราการไหล 0.48 เมตร<sup>3</sup>/วินาที  
ส่วนกรณีที่ 12 ลักษณะเหมือนกับการทดลองกรณีที่ 11  
แต่ต่างกันที่อัตราการไหลของลมร้อนเป็น 0.80 เมตร<sup>3</sup>/วินาที ..... 41
- 4-15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ในตู้อบ  
ในระหว่างการทดลองกรณีที่ 7 และการทดลองกรณีที่ 10  
โดยที่กรณีที่ 7 เป็นตู้อบที่แยกแหล่งกำเนิดความร้อนหลักออกมาไว้ภายนอก  
และมีแผ่นเหล็กวางอยู่ภายในห้องอบหนึ่งแผ่นพร้อมทั้งมีหลอดไฟขนาด 40 วัตต์วางอยู่ที่พื้นตู้  
และบนแผ่นเหล็กบริเวณละสี่ดวง แต่ไม่เปิดเครื่องทำความร้อนและพัดลมดูดอากาศ  
ส่วนกรณีที่ 1 ลักษณะเหมือนกับการทดลองกรณีที่ 7  
แต่มีส่วนที่ต่างกันคือมีแผ่นเหล็กวางอยู่ภายในห้องอบสามแผ่น ..... 42

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

- 4-16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ในตู้อบ  
 ในระหว่างการทดลองกรณีที่ 8 และการทดลองกรณีที่ 11  
 โดยกรณีที่ 8 เป็นตู้อบที่แยกแหล่งกำเนิดความร้อนหลักออกมาไว้ภายนอก  
 และมีแผ่นเหล็กวางอยู่ภายในห้องอบหนึ่งแผ่นพร้อมทั้งมีหลอดไฟขนาด 40 วัตต์วางอยู่ที่พื้นตู้  
 และบนแผ่นเหล็กบริเวณละสี่ดวง ให้ลมร้อนที่มีอัตราการไหล 0.48 เมตร<sup>3</sup>/วินาที  
 ส่วนกรณีที่ 11 มีลักษณะเหมือนกับกรณีที่ 8  
 แต่มีส่วนที่ต่างกันคือมีแผ่นเหล็กวางอยู่ภายในห้องอบสามแผ่น ..... 43
- 4-17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ในตู้อบ  
 ในระหว่างการทดลองกรณีที่ 9 และการทดลองกรณีที่ 12  
 โดยกรณีที่ 9 เป็นตู้อบที่แยกแหล่งกำเนิดความร้อนหลักออกมาไว้ภายนอก  
 และมีแผ่นเหล็กวางอยู่ภายในห้องอบหนึ่งแผ่นพร้อมทั้งมีหลอดไฟขนาด 40 วัตต์วางอยู่ที่พื้นตู้  
 และบนแผ่นเหล็กบริเวณละสี่ดวง ให้ลมร้อนที่มีอัตราการไหล 0.80 เมตร<sup>3</sup>/วินาที  
 ส่วนกรณีที่ 12 มีลักษณะเหมือนกับกรณีที่ 9  
 แต่มีส่วนที่ต่างกันคือมีแผ่นเหล็กวางอยู่ภายในห้องอบสามแผ่น ..... 43
- 5-1 แสดงรายละเอียดกริดของการจำลอง ..... 46
- 5-2 แสดงโครงสร้างของระบบตาข่ายสามมิติตามแกนมุมฉาก ..... 49
- 5-3 ก. แสดงมุมมองด้านหน้าของการกระจายตัวของอุณหภูมิของลมร้อนในตู้อบกรณีที่ 9 ..... 52
- 5-3 ข. แสดงมุมมองด้านหน้าของการกระจายตัวของความเร็วของลมร้อนในตู้อบกรณีที่ 9 ..... 52
- 5-4 ก. แสดงมุมมองด้านบนของการกระจายตัวของอุณหภูมิของลมร้อนในตู้อบกรณีที่ 9 ..... 53
- 5-4 ข. แสดงมุมมองด้านบนของการกระจายตัวของความเร็วของลมร้อนในตู้อบกรณีที่ 9 ..... 53
- 5-5 ก. แสดงมุมมองด้านหน้าของการกระจายตัวของอุณหภูมิของลมร้อนในตู้อบกรณีที่ 12 ..... 54
- 5-5 ข. แสดงมุมมองด้านหน้าของการกระจายตัวของความเร็วของลมร้อนในตู้อบกรณีที่ 12 ..... 54
- 5-6 ก. แสดงมุมมองด้านบนของการกระจายตัวของอุณหภูมิของลมร้อนในตู้อบกรณีที่ 12 ..... 55
- 5-6 ข. แสดงมุมมองด้านบนของการกระจายตัวของความเร็วของลมร้อนในตู้อบกรณีที่ 12 ..... 55
- 5-7 ก. การเปรียบเทียบอุณหภูมิในกรณีที่ 8 ระหว่างผลการจำลองและผลการทดลอง ..... 59
- 5-7 ข. แสดงความแตกต่างระหว่างผลการจำลองและผลการทดลองในกรณีที่ 8 ..... 59

## สารบัญรูป (ต่อ)

## รูปที่

5-8 ก. การเปรียบเทียบคุณหมุ่ในกรณีที่ 9 ระหว่างผลการจำลองและผลการทดลอง .....	60
5-8 ข. แสดงความแตกต่างระหว่างผลการจำลองและผลการทดลองในกรณีที่ 9 .....	60
5-9 ก. การเปรียบเทียบคุณหมุ่ในกรณีที่ 11 ระหว่างผลการจำลองและผลการทดลอง .....	61
5-9 ข. แสดงความแตกต่างระหว่างผลการจำลองและผลการทดลองในกรณีที่ 11 .....	61
5-10 ก. การเปรียบเทียบคุณหมุ่ในกรณีที่ 12 ระหว่างผลการจำลองและผลการทดลอง .....	62
5-10 ข. แสดงความแตกต่างระหว่างผลการจำลองและผลการทดลองในกรณีที่ 12 .....	62
6-1 แสดงแบบตู้อบที่มีตำแหน่งของการป้อนลมร้อนที่ด้านข้างตู้อบ .....	64



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## คำอธิบายสัญลักษณ์

$A$	พื้นผิวเซลล์ทั่วไป
$a$	สัมประสิทธิ์ข้างเคียงในรูปไฟไนต์ดิฟเฟอเรนต
$a_w, a_e, a_n$	สัมประสิทธิ์ข้างเคียงในรูปไฟไนต์ดิฟเฟอเรนตในทิศตะวันออก, ตะวันตก, เหนือ
$a_s, a_r, a_b$	สัมประสิทธิ์ข้างเคียงในรูปไฟไนต์ดิฟเฟอเรนตในทิศใต้, ด้านบน, ด้านล่าง
$a_p$	สัมประสิทธิ์ข้างเคียงในรูปไฟไนต์ดิฟเฟอเรนตในโนดที่พิจารณา
$b$	เทอมแหล่งกำเนิด
$C_1, C_2, C_3$	สัมประสิทธิ์ในแบบ k-e
$C_\mu, C_\nu, C_D$	สัมประสิทธิ์ในแบบการไหลแบบปั่นป่วน
$E$	สัมประสิทธิ์ความขรุขระของผนังในฟังก์ชันผนัง
$G_B$	การเกิดพลังงานจลน์ของการไหลแบบปั่นป่วนที่เกี่ยวข้องกับการลอยตัว
$G_K$	การเกิดความเครียดของพลังงานจลน์ของการไหลแบบปั่นป่วน
$h$	ค่าการพาความร้อนจำเพาะ
$k$	พลังงานจลน์ของการไหลแบบปั่นป่วน
$k_p$	พลังงานจลน์ของการไหลแบบปั่นป่วนในโนดที่พิจารณา
$K$	ค่าคงที่ของวอนคาร์มาน
$p$	ค่าความดัน
$q$	ฟลักซ์ความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่
$S_\phi$	เทอมแหล่งกำเนิดของตัวแปร $\phi$
$S_p$	เทอมแหล่งกำเนิดในกริดโนดที่พิจารณา
$T^*$	อุณหภูมิในรูปไร้มิติ
$T_p$	อุณหภูมิในโนดที่พิจารณา
$u, v, w$	องค์ประกอบความเร็วในทิศทางตามแกน $x, y, z$ ตามลำดับ
$u_i$	องค์ประกอบความเร็วในทิศทาง $i$
$X_i$	ระยะตามแกนในทิศทาง $i$
$Y^*$	ระยะทางในรูปไร้มิติที่ใช้ในฟังก์ชันผนัง
$Y_p$	ระยะทางในโนดที่พิจารณา



## คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

$\varepsilon$	อัตราการผลิตพลังงานในการไหลแบบปั่นป่วน
$\rho$	ความหนาแน่น
$\phi$	ตัวแปรตามในสมการอนุพันธ์
$\Gamma_\phi$	สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของ $\phi$
$\Gamma_{\phi, \text{eff}}$	สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงลัพธ์ของ $\phi$
$\mu_{\text{eff}}$	ความหนืดลัพธ์
$\mu_t$	ความหนืดหมุนวน (Eddy viscosity)
$\mu$	ความหนืดของการไหลแบบราบเรียบ
$\sigma$	สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลง
$\sigma_\phi$	สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของการไหลแบบราบเรียบ
$\sigma_{\phi, t}$	สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของการไหลแบบปั่นป่วน
$\tau_s$	ความเค้นเฉือนที่แหล่งกำเนิด
$\nu$	ความหนืดไคเนมาติก (Kinematic)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย