การจำลองสถานการณ์พลวัตของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น

นางสาวอรพรรณ บุญช่วย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-400-9

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19909204C

DYNAMIC SIMULATION OF A DOUBLE-PIPE HEAT EXCHANGER

Miss Oraphan Boonchuay

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-333-400-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจำลองสถานการณ์พลวัตของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น

โดย นางสาวอรพรรณ บุญช่วย

ภาควิชา เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เดวิด รูฟโฟโล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

อรพรรณ บุญช่วย : การจำลองสถานการณ์พลวัตของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อลองชั้น (DYNAMIC SIMULATION OF A DOUBLE-PIPE HEAT EXCHANGER) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์, 148 หน้า. ISBN 974-333-400-9

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาฟอร์แทรนเพื่อจำลองภาวะเชิงพลวัตของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อลองชั้น โดยนำวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขมาแก้ปัญหาแทนวิธีการคำนวณเชิงวิเคราะห์ซึ่งค่อนข้างยุ่งยาก การเปลี่ยนรูปสมการอนุรักษ์มวลโมเมนตัมและพลังงานจากสมการอนุพันธ์ย่อยเป็นสมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ใช้วิธีการไม่ชัดแจ้ง ระเบียบขั้นตอนแบบ SIMPLE ถูกใช้ในการคำนวณเพื่อแก้สมการอนุรักษ์ดังกล่าว และใช้ Matlab แสดงผลการคำนวณเป็นกราฟฟิก เพื่อให้เห็นปรากฏการณ์ชัดเจนยิ่งขึ้น

เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลจากการคำนวณ พบว่าในกรณีการไหลแบบขนาน ผลทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันทั้งในกรณีภาวะคงตัวและกรณีภาวะไม่คงตัว โดยค่าความผิดพลาดสูงสุดประมาณ ± 1.5 องศาเซลเซียส ส่วนกรณีการไหลสวนทางกันผลทั้งสองมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงทั้งนี้เนื่องมาจากในการทดลองพบว่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนในระหว่างท่อไม่ได้ดุล

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต อรพรรณ บุญช่วย

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ORAPHAN BOONCHUAY : DYNAMIC SIMULATION OF A DOUBLE-PIPE HEAT EXCHANGER . THESIS ADVISOR : ASST.PROF. PORNPOTE PIUMSOMBOON , 148 pp.
ISBN 974-333-400-9

The thesis is to develop a FORTRAN computer program for simulating the dynamic behavior of a double-pipe heat exchanger. Instead of solving by analytical method, numerical methods were used. The conservation equations in PDE form were converted to finite difference equations implicitly. SIMPLE Algorithm was used to solve these equations and the results were exported to Matlab for graphic display. Comparison the result from experiments and computation, it was found that in case of parallel flow, the results were comparable either steady-state or unsteady state . The maximum error was $\pm$ 1.5 °C. On the other hand, in case of counter current flow, the results were not consistent. The error was large. After checking, it was found that the result from the experiment was not reliable due to the energy imbalance.

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต อรพรรณ บุญช่วย
สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบรูณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำตักเตือน และช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ให้ลุล่วงไปด้วยดี รองศาสตราจารย์ ดร.เดวิด รูฟโฟโล และคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ

ขอกราบขอบพระคุณดร.วิโรจน์ เรืองประเทืองสุข หัวหน้าภาควิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยบรูพาที่ช่วยอนุเคราะห์ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่อง Concentric tube Heat Exchanger ในการทำการทดลองเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ บุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ทำให้ทำงานวิจัยได้สะดวกรวดเร็วขึ้นและขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้การสนับสนุนและคำแนะนำมาโดยตลอด

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา คุณปู่ คุณย่า พี่สาว และน้องชาย ที่เป็นกำลังใจให้ความช่วยเหลือ และให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 วัตถุประสงค์ 2

1.2 ขอบเขตการศึกษา 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2 วารสารปริทัศน์ 3

2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 3

2.2 สมการอนุรักษ์ของของไหลและขอบเขตการเคลื่อนที่ 5

2.2.1 สมการอนุรักษ์มวล 5

2.2.1 สมการอนุรักษ์โมเมนตัม 7

2.2.1 สมการอนุรักษ์พลังงาน 10

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

3 วิธีการคำนวณเชิงตัวเลข 16

3.1 ปัญหาการนำความร้อน 16

3.2 ปัญหาการนำความร้อนและการพาความร้อนโดยบังคับ 18

3.3 การแก้ปัญหาการถ่ายโอนความร้อน 22

3.4 การกระจายสมการอนุรักษ์แบบแบ่งกริด 23

3.5 การกระจายสมการอนุรักษ์โมเมนตัมในแนวแกน z แบบแบ่งกริด 24

3.6 การกระจายสมการอนุรักษ์โมเมนตัมในแนวแกน r แบบแบ่งกริด 26

3.7 สมการอนุรักษ์พลังงาน 27

3.8 เทคนิคการคำนวณแบบ SIMPLE 30

3.8.1 ระเบียบขั้นตอน SIMPLE 30

สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.8.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ภาวะคงตัว	34
	3.8.3 ผังงานระเบียบขั้นตอน SIMPLE	34
	3.9 การคำนวณการถ่ายโอนความร้อนในระบบภาวะไม่คงตัว	34
	3.10 วิธีการคำนวณพฤติกรรมเชิงพลวัตของของไหลโดยใช้เทคนิควิธีการ SIMPLE ในกรณีภาวะไม่คงตัว	39
	3.10.1 ขั้นตอนการคำนวณที่ภาวะไม่คงตัว	40
	3.8.3 ผังงานที่ภาวะไม่คงตัว	40
	3.11 การกำหนดคำนวณและภาวะขอบเขต	42
	3.11.1 สมการโมเมนตัมในทิศทาง z และการกำหนดภาวะขอบเขต	43
	3.11.3 สมการโมเมนตัมในทิศทาง r และการกำหนดภาวะขอบเขต	47
	3.11.2 สมการการแก้ไขความดัน	52
	3.11.4 สมการโมเมนตัมอนุรักษ์พลังงาน และการกำหนดภาวะขอบเขต	56
	3.12 การทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	60
	3.12.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	60
	3.12.2 วิธีการทดลอง	60
4	ผลการคำนวณและอภิปรายผลการคำนวณ	61
	4.1 วิคราะห์ผล	61
	4.1.1 เปรียบเทียบการไหลแบบขนาน กรณีอัตราการไหลของท่อน้ำร้อนเปลี่ยนไป (ภาวะไม่คงตัว)	62
	4.1.2 เปรียบเทียบการไหลแบบขนาน กรณีอัตราการไหลของท่อน้ำเย็นเปลี่ยนไป (ภาวะไม่คงตัว)	63
	4.1.3 เปรียบเทียบการไหลแบบขนาน กรณีอุณหภูมิของน้ำร้อนเปลี่ยนไป (ภาวะคงตัว)	65
	4.1.4 เปรียบเทียบการไหลแบบสวนทาง กรณีอัตราการไหลของท่อน้ำร้อนเปลี่ยนไป (ภาวะไม่คงตัว)	66

สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.1.5 เปรียบเทียบการไหลแบบสวนทาง กรณีอัตราการไหลของท่อน้ำเย็นเปลี่ยนไป (ภาวะไม่คงตัว)	68
	4.1.6 เปรียบเทียบการไหลแบบสวนทาง กรณีอุณหภูมิของน้ำร้อนเปลี่ยนไป (ภาวะคงตัว)	70
	4.2 วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณและผลการทดลอง	71
	4.3 วิเคราะห์การทำงานของโปรแกรม	72
	4.4 วิเคราะห์ความผิดพลาดจากการทดลอง	73
	4.5 ตัวอย่างผลการคำนวณแสดงเป็นกราฟฟิก	73
5	สรุปผลการคำนวณและข้อเสนอแนะ	81
	5.1 สรุปผลการคำนวณ	81
	5.2 ข้อเสนอแนะ	81
รายการอ้างอิง		83
ภาคผนวก		84
	ภาคผนวก ก	85
	ภาคผนวก ข	87
	ภาคผนวก ค	91
	ภาคผนวก ง	94
	ภาคผนวก จ	96
	ภาคผนวก ฉ	146
ประวัติผู้เขียน		148

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1.1 เปรียบเทียบการไหลแบบขนาน กรณีอัตราการไหลของท่อน้ำร้อนเปลี่ยนไป (ภาวะไม่คงตัว)..... 62

4.1.2 เปรียบเทียบการไหลแบบขนาน กรณีอัตราการไหลของท่อน้ำเย็นเปลี่ยนไป (ภาวะไม่คงตัว)..... 63

4.1.3 เปรียบเทียบการไหลแบบขนาน กรณีอุณหภูมิของน้ำร้อนเปลี่ยนไป (ภาวะคงตัว)..... 65

4.1.4 เปรียบเทียบการไหลแบบสวนทาง กรณีอัตราการไหลของท่อน้ำร้อนเปลี่ยนไป (ภาวะไม่คงตัว)..... 66

4.1.5 เปรียบเทียบการไหลแบบสวนทาง กรณีอัตราการไหลของท่อน้ำเย็นเปลี่ยนไป (ภาวะไม่คงตัว)..... 68

4.1.6 เปรียบเทียบการไหลแบบสวนทาง กรณีอุณหภูมิของน้ำร้อนเปลี่ยนไป (ภาวะคงตัว)..... 70

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น 3

2.2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนาน 4

2.3 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง .. 4

2.4 ส่วนปริมาตร $rd\theta drdz$ ของของไหล 5

2.5 คอมโพเนนต์ของความเค้นในแนวแกน z 6

2.6 คอมโพเนนต์ของความเค้นของส่วนปริมาตรของของไหล 7

3.1 การแบ่งกริด 16

3.2 การกำหนดทิศทางการไหลของของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบไหลขนาน 20

3.3 การกำหนดทิศทางการไหลของของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบไหลสวนทาง 21

3.4 การกำหนดทิศทางการไหลในแนวรัศมี 21

3.5 ปริมาตรควบคุมที่ใช้ ในการกระจายสมการความต่อเนื่อง 23

3.6 ปริมาตรควบคุมของ u และคอมโพเนนต์ของความเร็วที่อยู่รอบ ๆ 24

3.7 ปริมาตรควบคุมของ v และคอมโพเนนต์ของความเร็วที่อยู่รอบ ๆ 26

3.8 ปริมาตรควบคุมของอุณหภูมิ และคอมโพเนนต์ของอุณหภูมิที่อยู่รอบ ๆ 28

3.9 ผังงานระเบียบขั้นตอน SIMPLE 35

3.10 การแบ่งกริดใน 1 มิติ 31

3.11 ผังงานการคำนวณที่ภาวะไม่คงตัว 41

3.12 การกำหนดภาวะขอบเขตของในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 42

3.13 ความเร็ว u เซลล์ที่ภาวะขอบเขตทางเข้า 44

3.14 ความเร็ว u เซลล์ที่ภาวะขอบเขตทางเข้า 44

3.15 ความเร็ว u เซลล์ที่ภาวะขอบเขตทางออก 45

3.16 ความเร็ว u เซลล์ที่ภาวะขอบเขตทางออก 45

3.17 ความเร็ว u เซลล์ที่ภาวะขอบเขตบนชิดผนังท่อ 46

3.18 ความเร็ว u เซลล์ที่ภาวะขอบเขตล่างชิดผนังท่อ 46

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.19 ความเร็ว u เซลล์ที่ภาวะขอบเขตท่อมีลักษณะสมมาตร..... 46
3.20 ความเร็ว v เซลล์ที่ภาวะขอบเขตทางเข้า..... 49
3.21 ความเร็ว v เซลล์ที่ภาวะขอบเขตทางเข้า..... 49
3.22 ความเร็ว v เซลล์ที่ภาวะขอบเขตทางออก..... 50
3.23 ความเร็ว v เซลล์ที่ภาวะขอบเขตทางออก..... 50
3.24 ความเร็ว v เซลล์ที่ภาวะขอบเขตบนชิดผนังท่อ..... 51
3.25 ความเร็ว v เซลล์ที่ภาวะขอบเขตล่างชิดผนังท่อ..... 51
3.26 ความเร็ว v เซลล์ที่ภาวะขอบเขตลักษณะสมมาตร..... 52
3.27 ค่าแก้ไขความดันที่ภาวะขอบเขตผนังท่อด้านบน..... 52
3.28 ค่าแก้ไขความดันที่ภาวะขอบเขตผนังท่อด้านล่าง..... 53
3.29 ค่าแก้ไขความดันที่ภาวะขอบเขตทางเข้า..... 54
3.30 ค่าแก้ไขความดันที่ภาวะขอบเขตทางออก..... 55
3.31 อุณหภูมิ T เซลล์ที่ภาวะขอบเขตทางเข้า..... 57
3.32 อุณหภูมิ T เซลล์ที่ภาวะขอบเขตทางเข้า..... 57
3.33 อุณหภูมิ T เซลล์ที่ภาวะขอบเขตทางออก..... 58
3.34 อุณหภูมิ T เซลล์ที่ภาวะขอบเขตทางออก..... 58
3.35 อุณหภูมิ T เซลล์ที่ภาวะขอบเขตลักษณะสมมาตร..... 59
3.36 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น..... 61
4.1 อุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น..... 74
4.2 ความเร็วของของไหลในท่อในและท่อนอกที่ภาวะเริ่มต้น..... 75
4.3 ความเร็วของของไหลในท่อนอกที่ตำแหน่งทางเข้า..... 75
4.4 ความเร็วของของไหลในท่อนอกที่ตำแหน่งทางออก..... 75
4.5 ความเร็วของของไหลในท่อในที่ตำแหน่งทางเข้า..... 75
4.6 ความเร็วของของไหลในท่อในที่ตำแหน่งทางออก..... 76
4.7 ความเร็วของของไหลในท่อในที่ภาวะเริ่มต้น..... 76
4.8 ความเร็วของของไหลในท่อในที่เวลา 1 วินาที..... 76
4.9 ความเร็วของของไหลในท่อในที่ภาวะเริ่มต้น..... 77

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.10	ความเร็วของของไหลในท่อในที่เวลา 1 วินาที	77
4.11	ความเร็วของของไหลในท่อในที่เวลา 2 วินาที	77
4.12	ความเร็วของของไหลในท่อในที่ภาวะคงตัว	77
4.13	ความดันของของไหลในท่อในที่ภาวะเริ่มต้น	78
4.14	ความดันของของไหลในท่อในที่ภาวะเริ่มต้น	78
4.15	ความดันของของไหลในท่อนอกที่ภาวะเริ่มต้น	78
4.16	ความดันของของไหลในท่อนอกที่ภาวะเริ่มต้น	78
4.17	ความดันของของไหลในท่อในที่ภาวะเริ่มต้น	79
4.18	ความดันของของไหลในท่อในที่เวลา 1 วินาที	79
4.19	ความดันของของไหลในท่อในที่เวลา 2 วินาที	79
4.20	ความดันของของไหลในท่อในที่ภาวะคงตัว	79