การจำลองการผสมกันของของไหลที่เกิดขึ้นในเครื่องผสมรูปตัวที ที่มีพื้นที่หน้าตัดของท่อหลักเป็นรูปสี่เหลี่ยม

นาย ศุภชัย เติมสินธุ์สุวรรณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-696-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17032234

SIMULATION OF FLUID MIXING INDUCED AT THE TEE MIXER HAVING A SQUARE CROSS-SECTION

Mr. Supachai Termsinsuwan

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-696-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองการผสมกันของของไหลที่เกิดขึ้นในเครื่องผสมรูปตัวทีที่มีพื้นที่หน้าตัดของท่อหลักเป็นรูปสี่เหลี่ยม
โดย	นายศุภชัย เติมสินธุ์สุวรรณ
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. จักษ์ อัศวานันท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร. จักษ์ อัศวานันท์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. วรัญ แต้ไพสิฐพงษ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ศุภชัย เติมสินธุ์สุวรรณ : การจำลองการผสมกันของของไหลที่เกิดขึ้นในเครื่องผสมรูปตัวทีที่มีพื้นที่หน้าตัดของท่อหลักเป็นรูปสี่เหลี่ยม (SIMULATION OF FLUID MIXING INDUCED AT THE TEE MIXER HAVING A SQUARE CROSS-SECTION) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. สมประสงค์ ศรีชัย, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร. จักษ์ อัศวานันท์ , 204 หน้า. ISBN 974-636-696-3.

เทคนิค Computational Fluid Dynamic (CFD) ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข เพื่อแก้ชุดสมการของสมการความต่อเนื่อง สมการอนุรักษ์โมเมนตัม และสมการอนุรักษ์พลังงาน รวมถึงแบบจำลองที่ใช้อธิบายระบบที่มีการไหลแบบปั่นป่วน ภายในปริมาตรควบคุมเล็กๆที่ประกอบกันเป็นระบบที่ต้องการศึกษา ได้ถูกนำมาจำลองการผสมกันของของไหลในเครื่องผสมรูปตัวทีที่มีพื้นที่หน้าตัดของท่อหลักเป็นรูปสี่เหลี่ยม โดยทางออกของเจ็ตเป็นรูปวงกลม พบว่า สามารถอธิบายปรากฏการณ์การผสมกันของของไหลในเครื่องผสมรูปตัวทีที่มีพื้นที่หน้าตัดของท่อหลักเป็นรูปสี่เหลี่ยมได้เป็นอย่างดี สามารถให้รายละเอียดของข้อมูลได้มาก และพบว่า ค่าความเร็วและค่าอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองโดยใช้เทคนิค CFD มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเร็วและค่าอุณหภูมิที่ได้จากข้อมูลการทดลองของ Kamotani และ Greber [1974] นอกจากนี้ยังได้นำเทคนิค CFD มาใช้ทำนายลักษณะรูปร่างทางออกของเจ็ตที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะ ได้แก่ รูปร่างทางออกเป็นแถวรูปสี่เหลี่ยม รูปร่างทางออกเป็นแถวรูปช่องแคบตามแนวกว้างของท่อหลัก และรูปร่างทางออกเป็นแถวรูปช่องแคบตามแนวยาวของท่อหลัก ตามลำดับ พบว่า รูปร่างของทางออกเป็นแถวรูปช่องแคบตามกว้างของท่อหลัก เกิดการกระจายตัวของของไหลที่เป็นเจ็ตไปทางด้านข้างได้มากกว่ารูปร่างทางออกเป็นแถวรูปสี่เหลี่ยม และรูปร่างของทางออกเป็นแถวรูปสี่เหลี่ยม เกิดการกระจายตัวของของไหลที่เป็นเจ็ตไปทางด้านข้างได้มากกว่ารูปร่างทางออกเป็นแถวรูปช่องแคบตามยาวของท่อหลัก และในทางกลับกันรูปร่างของทางออกเป็นแถวรูปช่องแคบตามยาวของท่อหลัก เกิดการทะลุทะลวงของของไหลที่เป็นเจ็ตไปทางด้านบนได้มากกว่ารูปร่างทางออกเป็นแถวรูปสี่เหลี่ยม และรูปร่างของทางออกเป็นแถวรูปสี่เหลี่ยม เกิดการทะลุทะลวงของของไหลที่เป็นเจ็ตไปทางด้านบนได้มากกว่ารูปร่างทางออกเป็นแถวรูปช่องแคบตามยาวของท่อหลัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C717154 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: TEE MIXER / T-JUNCTION / COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

SUPACHAI TERMSINSUWAN : SIMULATION OF FLUID MIXING INDUCED AT THE TEE MIXER HAVING A SQUARE CROSS-SECTION. THESIS ADVISOR : SOMPRASONG SRICHAI, Ph. D. THESIS COADVISOR : JACK ASAVANANT, Ph. D. 204 pp. ISBN 974-636-696-3.

Computational Fluid Dynamics (CFD) , which is the numerical method for solving a set of the equations such as the continuity equation , the conservation of momentum equation and the conservation of energy equation including turbulent flow model in small control volume , was applied to simulate the mixing of fluid induced at tee mixer having a square cross-section with circular jet exit. The simulation results could provide more details of the fluid mixing phenomena. The velocity and temperature values of mixing fluid obtained from CFD technique were verified and found to be in close agreement to those from experimental data of Kamotani and Greber [1974]. In addition, CFD technique was also used to predict three features of jet exits, namely, single row of square exit, single row of transverse slot exit and single row of longitudinal slot exit, respectively. It was found that the side distribution of jet stream from single row of transverse slot exit is better than that from single row of square exit, and that from single row of square exit is better than that from single row of longitudinal slot exit. On the other hand, the penetration of jet stream from single row of longitudinal slot exit is better than that from single row of square exit, and that from single row of square exit is better than that from single row of transverse slot exit.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆท่าน

ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ ดร. จักษ์ อัศวานันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะ ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้เขียนขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ ประธานกรรมการ และอาจารย์ ดร. วรัญ แต้ไพสิฐพงษ์ กรรมการ ที่ได้ให้ข้อแนะนำเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ในการเขียนวิทยานิพนธ์ให้มีความชัดเจนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณห้องวิจัย PSE และคุณ นิธิ นิกรปกรณ์ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์การพิมพ์ผลงานวิจัยและคอยให้กำลังใจแก่ผู้เขียนมาโดยตลอด

และท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ๆ ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนผู้เขียนในการทำงานวิจัยจนสามารถสำเร็จการศึกษาได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฐ
สารบัญรูป.....ฒ
สัญลักษณ์.....ฝ
บทที่
1. บทนำ.....1
1.1 การผสมกันของก๊าซ.....1
1.2 การผสมในท่อส่งสาร.....3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....5
2. งานวิจัยที่ผ่านมา.....6
2.1 บทนำ.....6
2.2 ทฤษฎีอธิบายลักษณะทั่วไปของปรากฏการณ์การผสมกันเป็นรูปตัวที.....6
2.3 งานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง.....7
2.3.1 การทดลองศึกษาปรากฏการณ์การผสมกันเป็นรูปตัวที ในสภาวะขอบเขตที่ไม่จำกัด.....7
2.3.2 การทดลองศึกษาปรากฏการณ์การผสมกันเป็นรูปตัวที ในสภาวะขอบเขตที่จำกัด.....11
2.4 วิธีการที่ใช้หาสภาวะที่เหมาะสมในการผสมกันเป็นรูปตัวทีในท่อหลัก ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปทรงกระบอก.....22
3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายการผสมกัน ของของไหลในเครื่องผสมรูปตัวที.....32
3.1 บทนำ.....32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 สมการอนุรักษ์ทั่วไป....32
3.2.1 สมการความต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม....32
3.2.2 สมการแสดงคุณสมบัติเชิงปริมาณ....33
3.2.3 สมการช่วย....33
3.3 สมการอนุรักษ์ในระบบที่มีการไหลแบบปั่นป่วน....33
3.3.1 สมการความต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม ในระบบที่มีการไหลแบบปั่นป่วน....34
3.3.2 สมการแสดงคุณสมบัติเชิงปริมาณ ในระบบที่มีการไหลแบบปั่นป่วน....34
3.4 แบบจำลองอธิบายระบบที่มีการไหลแบบปั่นป่วน....36
3.4.1 แบบจำลองอธิบายระบบที่มีการไหลแบบปั่นป่วน โดยใช้ความหนืดของการไหลวน....36
3.4.2 แบบจำลองอธิบายระบบที่มีการไหลแบบปั่นป่วน โดยใช้เทอมเรย์โนลด์สเตรท....40
3.5 ฟังก์ชั่นผนัง....40
3.6 สมมติฐานของการศึกษา....42
4. เทคนิค CFD....45
4.1 บทนำ....45
4.2 กริด โนด และปริมาตรควบคุม....45
4.3 สมการไฟไนต์โวลุ่ม....48
4.3.1 สมการไฟไนต์โวลุ่มของสมการความต่อเนื่อง....48
4.3.2 สมการไฟไนต์โวลุ่มของสมการแสดงคุณสมบัติเชิงปริมาณ....48
4.3.3 สมการไฟไนต์โวลุ่มของสมการโมเมนตัม....53
4.3.4 สมการใช้ปรับปรุงค่าความดัน....55
4.4 วิธีการแก้สมการไฟไนต์โวลุ่ม....57
4.5 ลำดับขั้นตอนในการหาคำตอบของชุดสมการที่อธิบายปรากฏการณ์การไหลของของไหล....59
4.6 เงื่อนไขของการเข้าสู่คำตอบ....60

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5. การประยุกต์ใช้เทคนิค CFD
ในการทำนายการผสมกันของของไหลในเครื่องผสมรูปตัวที....61
5.1 บทนำ....61
5.2 ข้อมูลที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบผล....63
5.2.1 ปัจจัยที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผล....65
5.3 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในเทคนิค CFD....65
5.3.1 จำนวนและระยะห่างระหว่างเส้นกริดที่ใช้ในแต่ละกรณีศึกษา....65
5.3.2 สภาวะขอบเขตที่ใช้ในแต่ละกรณีศึกษา....65
5.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพของของไหลที่ใช้ในแต่ละกรณีศึกษา....70
5.4 รายละเอียดที่ได้จากการจำลองโดยใช้เทคนิค CFD....71
5.4.1 กรณีศึกษาที่ใช้อ้างอิง....71
5.4.2 ผลของอัตราส่วนโมเมนตัมที่มากขึ้น....98
5.4.3 ผลของระยะห่างระหว่างแผ่นผนังลดลง....98
5.4.4 ผลของระยะห่างระหว่างแผ่นผนังเพิ่มขึ้น....98
5.5 เปรียบเทียบความถูกต้องของผลจากการจำลอง
กับผลจากข้อมูลการทดลอง....124
5.5.1 กรณีศึกษาที่ใช้อ้างอิง....124
5.5.2 ผลของอัตราส่วนโมเมนตัมที่มากขึ้น....124
5.5.3 ผลของระยะห่างระหว่างแผ่นผนังลดลง....124
5.6 สรุปผลการจำลอง....142
6. การใช้เทคนิค CFD ทำนายผล....143
6.1 บทนำ....143
6.2 ปัจจัยที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อทำนายผล....143
6.3 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในเทคนิค CFD....145
6.3.1 จำนวนและระยะห่างระหว่างเส้นกริดที่ใช้ในแต่ละกรณีศึกษา....145
6.3.2 สภาวะขอบเขตที่ใช้ในแต่ละกรณีศึกษา....145
6.2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของของไหลที่ใช้ในแต่ละกรณีศึกษา....145

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.4 รายละเอียดที่ได้จากการทำนายโดยใช้เทคนิค CFD.....149
6.4.1 ผลของรูปร่างของทางออกของเจ็ตเป็นแถวรูปสี่เหลี่ยม.....149
6.4.2 ผลของรูปร่างของทางออกของเจ็ต
เป็นแถวรูปช่องแคบตามแนวกว้างของท่อหลัก.....149
6.4.3 ผลของรูปร่างของทางออกของเจ็ต
เป็นแถวรูปช่องแคบตามแนวยาวของท่อหลัก.....149
6.5 สรุปผลการทำนาย.....174
7. บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....175
7.1 บทสรุป.....175
7.2 ข้อเสนอแนะ.....176
รายการอ้างอิง.....177
ภาคผนวก.....179
ภาคผนวก ก.....180
ภาคผนวก ข.....191
ภาคผนวก ค.....202
ประวัติผู้เขียน.....204

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตารางแสดงค่า $R/(L_y/d)$ ในแต่ละงานวิจัยที่ผ่านมา จาก Stoy และ Benhaim [1973] 12

2.2 ตารางสรุปการทดลองศึกษาปรากฏการณ์การผสมกันเป็นรูปตัวทีในสภาวะขอบเขตที่จำกัดจาก Gosman และ Simitovic [1986] 21

2.3 ตารางสรุปวิธีการที่ใช้หาสภาวะที่เหมาะสมในการผสมกันเป็นรูปตัวทีในท่อหลักซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปทรงกระบอกจาก Tosun [1987] 25

2.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองกับข้อมูลจาก Murthy และ Patel [1989] 30

3.1 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทดลองจาก Launder และ Spalding [1972] 39

3.2 ตารางแสดงการประมาณค่า Pr_t จาก Abramovich [1968] 42

5.1 ตารางแสดงกรณีศึกษาเพื่อใช้เปรียบเทียบผล 64

5.2 ตารางสรุปสภาวะขอบเขตที่ใช้ในงานวิจัย 72

5.3 ตารางแสดงค่า % ของความคลาดเคลื่อนของเส้นรอบอุณหภูมิคงที่ 141

6.1 ตารางแสดงกรณีศึกษาเพื่อใช้ทำนายผล 143

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 รูปแสดงการปล่อยแก๊สเสียออกจากปล่องควันโรงงาน
จาก Gosman และ Simitovic [1986].....2

1.2 รูปแสดงการฉีดหล่อเย็นของผนังภายในห้องสันดาป
จาก Hawthrone และคณะ [1944].....2

1.3 รูปแสดงการฉีดหล่อเย็นในใบพัดของเครื่องกังหันไอพ่น
จาก Stoy และ Benhaim [1973].....2

1.4 รูปแสดงการผสมกันเป็นรูปตัวที
จาก Simpson [1974].....4

1.5 รูปแสดงเครื่องผสมกันรูปตัวทีที่มีลักษณะเฉพาะของแต่ละกระบวนการ
จาก Simpson [1974].....4

1.6 รูปแสดงการหล่อเย็นอากาศร้อนบริเวณทางเชื่อม
จาก Kamotani และ Greber [1974].....4

2.1 รูปแสดงวิถีการเคลื่อนที่ของของไหลที่เป็นเจ็ตทางทฤษฎี
จาก Pratte และ Baines [1967].....9

2.2 รูปแสดงการบิดเบี้ยวของของไหลที่เป็นเจ็ตจาก Margason [1968].....9

2.3 รูปแสดงวิถีการเคลื่อนที่ของของไหลที่เป็นเจ็ตที่ผิวด้านนอก
ที่แนวเส้นกึ่งกลาง และที่ผิวด้านใน จาก Pratte และ Baines [1967].....9

2.4 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของความเร็ว
ในระนาบภาคตัดขวางตามระยะทางด้านปลายทางการไหลที่เพิ่มขึ้น
จาก Kamotani และ Greber [1972].....10

2.5 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของอุณหภูมิ
ในระนาบภาคตัดขวางกับอัตราส่วนความเร็ว
จาก Ramsey และ Goldstein [1972].....10

2.6 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของอุณหภูมิ
ในระนาบภาคตัดขวางกับอัตราส่วนความเร็ว
จาก Kamotani และ Greber [1972].....10

2.7 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการทะลุทะลวง
ของของไหลที่เป็นเจ็ตกับอัตราส่วนความเร็ว
จาก Callaghan และ Ruggeri [1948].....14

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

2.8 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวิถีการเคลื่อนที่ของของไหลที่เป็นเจ็ต
และวิถีการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิของไหลที่เป็นเจ็ตกับอัตราส่วนความเร็ว
จาก Kamotani และ Greber [1974].....14

2.9 รูปแสดงจุดกระทบ และระยะกระทบ.....16

2.10 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระทบกับอัตราส่วนความเร็ว
จาก Stoy และ Ben-Haim [1973].....16

2.11 รูปแสดงจุดอยู่นิ่ง และระยะนิ่ง.....16

2.12 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะนิ่งกับอัตราส่วนความเร็ว
จาก Bouchez และ Goldstein [1975].....16

2.13 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของความเร็ว
ในระนาบภาคตัดขวางกับอัตราส่วนความเร็ว
จาก Kamotani และ Greber [1974].....17

2.14 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของอุณหภูมิ
ในระนาบภาคตัดขวางตามระยะทางด้านปลายทางการไหลที่เพิ่มขึ้น
จาก Kamotani และ Greber [1974].....17

2.15 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของอุณหภูมิ
ในระนาบภาคตัดขวางกับรูปร่างของท่อหลัก
จาก Kamotani และ Greber [1974].....17

2.16 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการทะลุทะลวง
ของอุณหภูมิของไหลที่เป็นเจ็ต กับ อัตราส่วนความหนาแน่น
จาก Callaghan และ Ruggeri [1951].....20

2.17 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการทะลุทะลวง
ของอุณหภูมิของไหลที่เป็นเจ็ตกับรูปร่างทางออกของเจ็ต
จาก Hawthrone และ คณะ [1944].....20

2.18 รูปแสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของโนเนน
และการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ตามระยะทางด้านปลายทางที่เพิ่มขึ้น จาก Chen และคณะ [1990].....31

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

2.19 รูปแสดงค่าอุณหภูมิในรูปไร้มิติเทียบกับระยะตามแนวรัศมีของท่อหลัก ในรูปไร้มิติตามระยะทางด้านปลายทางการไหลที่เพิ่มขึ้น จาก Tang และคณะ [1993].....31

4.1 รูปแสดงปริมาตรควบคุมของโนดที่ต้องการคำนวณ และปริมาตรควบคุมของโนดที่อยู่ใกล้เคียง จาก Gosman และ Pun [1973].....46

4.2 รูปแสดงขอบเขตของปริมาตรควบคุมของโนดและตำแหน่งที่เก็บค่าตัวแปร และแสดงขอบเขตของปริมาตรควบคุมของโนดและตำแหน่งที่เก็บค่าองค์-ประกอบความเร็วในแต่ละทิศทางจาก Gosman และ Pun [1973].....47

4.3 รูปแสดงขอบเขตของปริมาตรควบคุมที่ติดกับสภาวะขอบเขต จาก Gosman และ Pun [1973].....47

4.4 รูปแสดงขอบเขตของปริมาตรควบคุมของสมการไฟไนต์โวลุ่ม ของสมการความต่อเนื่องจาก Patankar [1980].....49

4.5 รูปแสดงขอบเขตของปริมาตรควบคุมของสมการไฟไนต์โวลุ่ม ของสมการแสดงคุณสมบัติเชิงปริมาณจาก Patankar [1980].....50

4.6 รูปแสดงขอบเขตของปริมาตรควบคุมของสมการไฟไนต์โวลุ่ม ของสมการโมเมนตัมจาก Patankar [1980].....54

4.7 รูปแสดงการแก้สมการไฟไนต์โวลุ่มเป็นเส้นๆจาก Patankar [1980].....58

5.1 รูปแสดงลักษณะเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง จาก Kamotani และ Greber [1974].....62

5.2 รูปแสดงจำนวนและระยะห่างระหว่างเส้นกริดที่ใช้ในกรณีศึกษาที่ 1,2.....66

5.3 รูปแสดงจำนวนและระยะห่างระหว่างเส้นกริดที่ใช้ในกรณีศึกษาที่ 3.....67

5.4 รูปแสดงจำนวนและระยะห่างระหว่างเส้นกริดที่ใช้ในกรณีศึกษาที่ 4.....68

5.5 รูปแสดงสภาวะขอบเขตและคุณสมบัติทางกายภาพของของไหลที่ใช้ ในแต่ละกรณีศึกษา.....69

5.6 รูปแสดงการกระจายตัวของความดันในระนาบสมมาตรที่ IX = 1 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....74

5.7 รูปแสดงการกระจายตัวของความดันในระนาบที่ขนานกับผนังฉีด ที่ IY = 5 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....75

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

5.8 รูปแสดงการกระจายตัวของความดันในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณทางออกของเจ็ต IZ = 15 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....76

5.9 รูปแสดงการกระจายตัวของความดันในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 18 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....77

5.10 รูปแสดงการกระจายตัวของความดันในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 25 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....78

5.11 รูปแสดงการกระจายตัวของพลังงานจลน์ที่สั่นไปมาในระนาบสมมาตร
IX = 1 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....80

5.12 รูปแสดงการกระจายตัวของพลังงานจลน์ที่สั่นไปมา
ในระนาบที่ขนานกับผนังฉีด ที่ IY = 5 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....81

5.13 รูปแสดงการกระจายตัวของพลังงานจลน์ที่สั่นไปมาในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณทางออกของเจ็ต IZ = 15 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....82

5.14 รูปแสดงการกระจายตัวของพลังงานจลน์ที่สั่นไปมาในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 18 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....83

5.15a รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบสมมาตรที่ IX = 1
ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....85

5.15b รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ขนานกับผนังฉีด
ที่ IY = 5 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....85

5.16a รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณทางออกของเจ็ต IZ = 15 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....86

5.16b รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 18 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....86

5.17a รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 25 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....87

5.17b รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 33 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....87

5.18a รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 36 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....88

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

5.18b รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 42 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....88
5.19a รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....90
5.20 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบที่ขนานกับผนังฉีด
ที่ IY = 5 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....91
5.21 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณทางออกของเจ็ต IZ = 15 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....92
5.22 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 18 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....93
5.23 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 25 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....94
5.24 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 33 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....95
5.25 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 36 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....96
5.26 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 42 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....97
5.27 รูปแสดงการกระจายตัวของความดันในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....99
5.28 รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....100
5.29 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....101
5.30 รูปแสดงการกระจายตัวของความดันในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 25 ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....102
5.31 รูปแสดงการกระจายตัวของความดันในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 28 ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....103

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

5.32a รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 25 ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....104
5.32b รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 28 ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....104
5.33a รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 33 ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....105
5.33b รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 42 ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....105
5.34 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 25 ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....106
5.35 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 28 ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....107
5.36 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 33 ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....108
5.37 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 42 ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....109
5.38 รูปแสดงการกระจายตัวของความดันในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ J = 32 , L_y/d = 8 110
5.39 รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ J = 32 , L_y/d = 8.....111
5.40 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ J = 32 , L_y/d = 8.....112
5.41 รูปแสดงการกระจายตัวของความดันในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 25 ที่ J = 32 , L_y/d = 8.....113
5.42a รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 25 ที่ J = 32 , L_y/d = 8.....114
5.42b รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 33 ที่ J = 32 , L_y/d = 8.....114

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

5.43 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 25 ที่ J = 32 , L_y/d = 8.....115

5.44 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 33 ที่ J = 32 , L_y/d = 8.....116

5.45 รูปแสดงการกระจายตัวของความดันในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ J = 32 , L_y/d = 24.....117

5.46 รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ J = 32 , L_y/d = 24.....118

5.47 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ J = 32 , L_y/d = 24.....119

5.48 รูปแสดงการกระจายตัวของความดันในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 36 ที่ J = 32 , L_y/d = 24.....120

5.49a รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 36 ที่ J = 32 , L_y/d = 24.....121

5.49b รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 36 ที่ J = 32 , L_y/d = 24.....121

5.50 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 36 ที่ J = 32 , L_y/d = 24.....122

5.51 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 42 ที่ J = 32 , L_y/d = 24.....123

5.52 แสดงการเปรียบเทียบเส้นรอบความเร็วคงที่จากผลการจำลอง
กับผลจากข้อมูลการทดลองของ Kamotani และ Greber [1974]
ในระนาบภาคตัดขวางที่บริเวณปลายทางการไหล
z/d = 12 ที่ J = 32 , L_y/d = 12.....125

5.53 แสดงการเปรียบเทียบเส้นรอบความเร็วคงที่จากผลการจำลองกับ
ผลจากข้อมูลการทดลองของ Kamotani และ Greber [1974]
ในระนาบภาคตัดขวางที่บริเวณปลายทางการไหล
z/d = 12 ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....127

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

5.54 แสดงการเปรียบเทียบเส้นรอบอุณหภูมิคงที่จากผลการจำลองกับ ผลจากข้อมูลการทดลองของ Kamotani และ Greber [1974] ในระนาบภาคตัดขวาง z/d = 5 , 12 และ 24 ตามลำดับ ที่ J = 72 , L_y/d = 12.....129

5.55 แสดงการเปรียบเทียบเส้นรอบอุณหภูมิคงที่จากผลการจำลองกับ ผลจากข้อมูลการทดลองของ Kamotani และ Greber [1974] ในระนาบสมมาตรที่ J = 32 , L_y/d = 24 , 12 และ 8 ตามลำดับ.....132

6.1 แสดงลักษณะทางออกของเจ็ตที่แตกต่างกัน จะพิจารณาทางออกใน 3 ลักษณะ ได้แก่ เป็นแถวรูปสี่เหลี่ยม เป็นแถวรูปช่องแคบตามแนวกว้างของท่อ และเป็นแถวรูปช่องแคบตามแนวยาวของท่อ ตามลำดับ.....144

6.2 รูปแสดงจำนวนและระยะห่างระหว่างเส้นกริดที่ใช้ในกรณีศึกษาที่ 5.....146

6.3 รูปแสดงจำนวนและระยะห่างระหว่างเส้นกริดที่ใช้ในกรณีศึกษาที่. 6.....147

6.4 รูปแสดงจำนวนและระยะห่างระหว่างเส้นกริดที่ใช้ในกรณีศึกษาที่ 7.....148

6.5a รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 18 ที่ $S_x/l_x = 1$, $S_z/l_z = 1$.....150

6.5b รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 25 ที่ $S_x/l_x = 1$, $S_z/l_z = 1$.....150

6.6a รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 33 ที่ $S_x/l_x = 1$, $S_z/l_z = 1$.....151

6.6b รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 42 ที่ $S_x/l_x = 1$, $S_z/l_z = 1$.....151

6.7 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 18 ที่ $S_x/l_x = 1$, $S_z/l_z = 1$.....152

6.8 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 25 ที่ $S_x/l_x = 1$, $S_z/l_z = 1$.....153

6.9 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 33 ที่ $S_x/l_x = 1$, $S_z/l_z = 1$.....154

6.10 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 42 ที่ $S_x/l_x = 1$, $S_z/l_z = 1$.....155

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

6.11 รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ $S_x/I_x = 1$, $S_z/I_z = 1$.....156
6.12 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ $S_x/I_x = 1$, $S_z/I_z = 1$.....157
6.13a รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 11 ที่ $S_x/I_x = 2$, $S_z/I_z = 1/2$.....158
6.13b รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 18 ที่ $S_x/I_x = 2$, $S_z/I_z = 1/2$.....158
6.14a รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 26 ที่ $S_x/I_x = 2$, $S_z/I_z = 1/2$.....159
6.14b รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 35 ที่ $S_x/I_x = 2$, $S_z/I_z = 1/2$.....159
6.15 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 11 ที่ $S_x/I_x = 2$, $S_z/I_z = 1/2$ 160
6.16 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 18 ที่ $S_x/I_x = 2$, $S_z/I_z = 1/2$.....161
6.17 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 26 ที่ $S_x/I_x = 2$, $S_z/I_z = 1/2$.....162
6.18 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 35 ที่ $S_x/I_x = 2$, $S_z/I_z = 1/2$.....163
6.19 รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ $S_x/I_x = 2$, $S_z/I_z = 1/2$.....164
6.20 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ $S_x/I_x = 2$, $S_z/I_z = 1/2$.....165
6.21a รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 18 ที่ $S_x/I_x = 1/2$, $S_z/I_z = 2$.....166
6.21b รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 25 ที่ $S_x/I_x = 1/2$, $S_z/I_z = 2$.....166

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

6.22a รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 33 ที่ $S_x/l_x = 1/2$, $S_z/l_z = .2$.....167

6.22b รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 42 ที่ $S_x/l_x = 1/2$, $S_z/l_z = 2$.....167

6.23 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 18 ที่ $S_x/l_x = 1/2$, $S_z/l_z = 2$.....168

6.24 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 25 ที่ $S_x/l_x = 1/2$, $S_z/l_z = 2$.....169

6.25 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 33 ที่ $S_x/l_x = 1/2$, $S_z/l_z = 2$.....170

6.26 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบภาคตัดขวาง
ที่บริเวณปลายทางการไหล IZ = 42 ที่ $S_x/l_x = 1/2$, $S_z/l_z = 2$.....171

6.27 รูปแสดงการกระจายตัวของความเร็วในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ $S_x/l_x = 1/2$, $S_z/l_z = 2$.....172

6.28 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบสมมาตร
ที่ IX = 1 ที่ $S_x/l_x = 1/2$, $S_z/l_z = 2$.....173

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

a_1, a_2, a_3, a_4 = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในสมการแสดงการเอ็นเทรน (-)

A_i, B_i, C_i, D_i = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในสมการ TDMA (-)

A_0 = พื้นที่หน้าตัดของท่อหลัก (m^2)

A_j = พื้นที่หน้าตัดของท่อข้าง (m^2)

A_j = พื้นที่หน้าตัดของของไหลที่เป็นเจ็ต (m^2)

A_{je} = พื้นที่หน้าตัดของของไหลที่เป็นเจ็ตในบริเวณ potential core (m^2)

A_x, A_y, A_z = พื้นที่ในแต่ละผิวหน้าของปริมาตรควบคุม (m^2)

C_j = เส้นรอบวงของของไหลที่เป็นเจ็ต (m)

C_{je} = เส้นรอบวงของของไหลที่เป็นเจ็ตในบริเวณ potential core (m)

Cp = ความจุความร้อน (J/kg.K)

Cp_0 = ความจุความร้อนของอากาศในสายของไหลหลัก (J/ kg.K)

Cp_j = ความจุความร้อนของอากาศที่เป็นเจ็ต (J/kg.K)

$C_P^{\phi}, C_E^{\phi}, C_W^{\phi}, C_N^{\phi}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในสมการไฟไนต์โวลุ่มของสมการแสดงคุณ

$C_S^{\phi}, C_H^{\phi}, C_L^{\phi}$ สมบัติเชิงปริมาณ (-)

$C_P^{u}, C_E^{u}, C_W^{u}, C_N^{u}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในสมการไฟไนต์โวลุ่มของสมการโมเมนตัม

$C_S^{u}, C_H^{u}, C_L^{u}$ ขององค์ประกอบความเร็ว u ในทิศทางแกน x (-)

$C_P^{P}, C_E^{P}, C_W^{P}, C_N^{P}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในสมการใช้ในการปรับปรุงค่าความดัน (-)

$C_S^{P}, C_H^{P}, C_L^{P}$

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อข้าง (m)

d_j = เส้นผ่านศูนย์กลางของของไหลที่เป็นเจ็ตโดยวัดตามแนวแกนหลัก (m)

d_{je} = เส้นผ่านศูนย์กลางของของไหลที่เป็นเจ็ตโดยวัดตามแนวแกนหลักในบริเวณ potential core (m)

D_h = เส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิกของท่อหลัก (m)

e,w,n,s,h,l = ตำแหน่งที่ผิวหน้าของปริมาตรควบคุม

P,E,W,N,S,H,L = ตำแหน่งของโนด

f = แฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (-)

g = ฟลั๊กซ์ของมวล ($kg/m^2.s$)

D_i = ค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ของความเข้มข้น (m^2/s)

สัญลักษณ์ (ต่อ)

$E\xi$ = สมการแสดงการเอ็นเทรนของของไหลรอบๆเข้าไปในของไหลที่เป็นเจ็ต (kg/m.s)

I = ความเข้มข้นของความปั่นป่วน (-)

I_o = ความเข้มข้นของความปั่นป่วนของอากาศในสายของไหลหลัก (-)

I_j = ความเข้มข้นของความปั่นป่วนของอากาศที่เป็นเจ็ต (-)

J_{ϕ_j} = ฟลั๊กซ์ของการแพร่ของคุณสมบัติเชิงปริมาณในทิศทาง j (kgmole/m^2.s หรือ J/kg.m^2.s)

J_{ϕ_w} = ฟลั๊กซ์ของการแพร่ของคุณสมบัติเชิงปริมาณที่ผนัง (kgmole/m^2.s หรือ J/kg.m^2.s)

k = การนำความร้อนที่ใช้ในสมการอนุรักษ์พลังงาน (W/m.K)

k = พลังงานจลน์ที่สั่นไปมาต่อหนึ่งหน่วยมวลของของไหลที่ใช้ในแบบจำลอง k-ε (J/kg)

k_ζ, k_η = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้หาความเร็วตามโคออร์ดิเนตของแกนหลัก และ แกนรอง

l = ระยะการผสม (m)

l_0 = ระยะผสมของอากาศในสายของไหลหลัก (m)

l_j = ระยะผสมของอากาศที่เป็นเจ็ต (m)

l_x = ความกว้างของทางออกของเจ็ตเป็นรูปสี่เหลี่ยม (m)

l_z = ความยาวของทางออกของเจ็ตเป็นรูปสี่เหลี่ยม (m)

L_x , L_y = ความกว้างและระยะห่างระหว่างแผ่นผนังที่ใช้ในบทที่ 5 (m)

L_x , L_y = ความกว้างและความสูงของท่อหลักที่ใช้ในบทที่ 6 (m)

M = $\rho_j v_j / \rho_0 w_0$ คือ อัตราส่วนฟลั๊กซ์ของมวลไหลเข้าที่เป็นเจ็ตต่อมวลไหลเข้าในสายของไหลหลัก (-)

p^* = ค่าความดันที่ได้จากการคาดเดา (Pa)

p' = ค่าที่ใช้ปรับปรุงค่าความดัน (Pa)

p = ความดัน (Pa)

p' = ความดันที่แปรผันไปจากค่าเฉลี่ย (Pa)

P = ความดันเฉลี่ย (Pa)

Pe = ตัวเลขเพคเลต (-)

P_{im} = ตำแหน่งกระทบ (m)

P_{st} = ตำแหน่งอยู่นิ่ง (m)

R = v_j / w_0 คือ อัตราส่วนของความเร็วของของไหลที่เป็นเจ็ตต่อความเร็วของของไหลในสายของไหลหลัก (-)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์ (ต่อ)

S_x = ความกว้างของช่องแคบ (m)

S_z = ความยาวของช่องแคบ (m)

S_U^{ϕ}, S_P^{ϕ} = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในสมการกึ่งเชิงเส้น (-)

t = เวลา (s)

T_0 = อุณหภูมิของของไหลในสายของไหลหลัก (K)

T_j = อุณหภูมิของของไหลที่เป็นเจ็ต (K)

T^* = $(T - T_0)/(T_j - T_0)$ คือ อุณหภูมิในรูปไร้มิติ

$u_1=u$, $u_2=v$, $u_3=w$ = ความเร็วตามแกนในระบบพิกัดฉาก (m/s)

$\overline{u_1} = \bar{u}$, $\overline{u_2} = \bar{v}$, $\overline{u_3} = \bar{w}$ = ความเร็วเฉลี่ยตามแกนในระบบพิกัดฉาก (m/s)

u' , v' , w' = ความเร็วที่แปรผันไปจากค่าเฉลี่ย (m/s)

u_w = ความเร็วที่ผนัง (m/s)

u^+ = ความเร็วในรูปไร้มิติที่ใช้ในฟังก์ชั่นผนัง

u^*, v^*, w^* = ค่าความเร็วที่ได้จากการคาดเดา (m/s)

u', v', w' = ค่าที่ใช้ปรับปรุงค่าความเร็ว (m/s)

v_j = ความเร็วของของไหลที่เป็นเจ็ต (m/s)

v_ζ,v_η = ความเร็วตามโคออร์ดิเนตของแกนหลัก และ แกนรองของพื้นที่หน้าตัดของของไหลที่เป็นเจ็ต (m/s)

w_0 = ความเร็วของของไหลในสายของไหลหลัก (m/s)

w^* = w/w_0 คือ ความเร็วที่วัดตามแนวการไหลของของไหลในรูปไร้มิติ

$x_1=x$, $x_2=y$, $x_3=z$ = ระยะทางตามแกนในระบบพิกัดฉาก (m)

x,y,z = ระยะทางตามความกว้าง ความสูง และความยาวของท่อหลัก (m)

y = ระยะทางที่ห่างจากผนัง (m)

y^+ = ระยะทางในรูปไร้มิติที่ใช้ในฟังก์ชั่นผนัง

Z_{im} = ระยะกระทบ (m)

Z_{st} = ระยะอยู่นิ่ง (m)

ζ,η = โคออร์ดิเนตของแกนหลัก และแกนรองของพื้นที่หน้าตัดของของไหลที่เป็นเจ็ต (m)

ξ = ระยะทางตามวิถีการเคลื่อนที่ของของไหลที่เป็นเจ็ต (m)

ξ_e = ระยะทางตามวิถีการเคลื่อนที่ของของไหลที่เป็นเจ็ตในบริเวณ potential core (m)

θ = มุมระหว่างวิถีทางการเคลื่อนที่ของของไหลที่เป็นเจ็ต ($^\circ$)

สัญลักษณ์ (ต่อ)

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ = ความกว้าง ความสูง และความยาวของขนาดของปริมาตรควบคุม (m)

δx = ระยะห่างระหว่างโนด (m)

ρ = ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

ρ_0 = ความหนาแน่นของอากาศในสายของไหลหลัก (kg/m^3)

ρ_j = ความหนาแน่นของอากาศที่เป็นเจ็ต (kg/m^3)

τ_{ij} = ความเค้นเฉือนในทิศทาง j (Pa)

μ = ความหนืด (Pa.s)

μ_t = ความหนืดของการไหลวน (Pa.s)

ϕ = คุณสมบัติเชิงปริมาณ ($kgmole/m^3$ หรือ K)

$\overline{\phi}$ = คุณสมบัติเชิงปริมาณเฉลี่ย ($kgmole/m^3$ หรือ K)

ϕ' = คุณสมบัติเชิงปริมาณที่แปรผันไปจากค่าเฉลี่ย ($kgmole/m^3$ หรือ K)

ϕ^+ = คุณสมบัติเชิงปริมาณในรูปไร้มิติที่ใช้ในฟังก์ชั่นผนัง

σ_ϕ = ตัวเลขแพรนเดิล/ชมิดท์ (-)

Γ = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (m^2/s)

α = ค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ของอุณหภูมิ (m^2/s)

ε = อัตราการสูญเสียพลังงานจลน์ที่สั่นไปมาต่อหนึ่งหน่วยมวล (W/kg.s)

ε_0 = อัตราการสูญเสียพลังงานจลน์ที่สั่นไปมาต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศในสายของไหลหลัก (W/kg.s)

ε_j = อัตราการสูญเสียพลังงานจลน์ที่สั่นไปมาต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศที่เป็นเจ็ต (W/kg.s)

$C_\mu, C_1, C_2, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$ = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในสมการ k-ε (-)

κ, E = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในฟังก์ชั่นผนัง (-)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย