

การจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิจนในกรณีของการปล่อยน้ำร้อนลงสู่กระแสน้ำ



นาย วีรพัฒน์ เพชรช่วย

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-035-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**SIMULATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE CASE OF HOT WATER
DISCHARGED INTO A WATER STREAM**



Mr. Teerapat Petchuay

**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 1999

ISBN 974-333-035-6

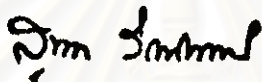
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณีของการปล่อยน้ำร้อนลงสู่
 กระแสน้ำ

โดย นาย ชีรพัฒน์ เพชรช่วย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

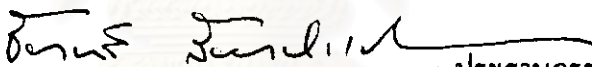
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. ฤชดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



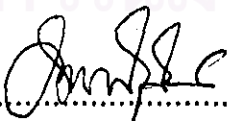
..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)



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



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักร์ อิศวานนท์)



..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. วิทย์ สุนทรนันท์)

ธีรพัฒน์ เพชรช่วย : การจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณีของการปล่อยน้ำร้อนลงสู่
กระแส น้ำ (SIMULATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE CASE OF HOT
WATER DISCHARGED INTO A WATER STREAM) อ. ที่ปรึกษา : ดร. สมประสงค์ ศรีชัย
; 195 หน้า. ISBN 974-333-035-6.

การกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณีของการปล่อยน้ำร้อนลงสู่กระแส น้ำในลักษณะ 3 มิติ ได้ถูก
จำลองขึ้นโดยใช้เทคนิค CFD ชุดสมการที่เป็นตัวแทนของระบบจะประกอบด้วย สมการความต่อเนื่อง
สมการอนุรักษ์โมเมนตัม สมการอนุรักษ์พลังงานและแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน $k-\epsilon$ ที่คิดอิทธิพล
ของแรงลอยตัว โปรแกรมคอมพิวเตอร์ชื่อ PHOENICS ถูกนำมาใช้ในการแก้สมการภายใต้หลักการของ
ไฟไนต์โวลุ่ม เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้จึงได้ทำการเปรียบเทียบการ
กระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลองในกรณีของการปล่อยน้ำร้อน
ลงสู่ท่อสี่เหลี่ยมมุมฉาก (0.2 เมตร x 3.35 เมตร x 0.1 เมตร) ที่มีน้ำไหลอยู่ภายใน อัตราการไหลของน้ำร้อนมี
ค่าเท่ากับ 0.013 ลิตร/วินาที 0.028 ลิตร/วินาที และ 0.043 ลิตร/วินาที โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ
ระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อเท่ากับ 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส ผลการเปรียบเทียบพบว่าความแตกต่างของ
อุณหภูมิที่ได้จากการจำลองกับอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.1-0.7 องศาเซลเซียส

แบบจำลองที่ได้รับการตรวจสอบ ได้ถูกนำมาใช้ในการจำลองกรณีสมมุติของการปล่อยน้ำ
หล่อเย็นจากโรงไฟฟ้าขนาด 1,000 เมกะวัตต์ ลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา โดยศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราการไหลของ
น้ำในแม่น้ำ ขนาดของท่อปล่อยน้ำหล่อเย็น ผลต่างของอุณหภูมิที่ปล่อยออกมาของน้ำหล่อเย็นกับอุณหภูมิ
ของแม่น้ำและการถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวน้ำ ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อกำหนดให้อัตราการปล่อย
น้ำหล่อเย็นมีค่าคงที่ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำในแม่น้ำจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อ
อัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำมีค่าลดลง เมื่อพิจารณาอิทธิพลของขนาดของท่อปล่อยน้ำหล่อเย็น ท่อที่มี
ขนาดเล็กจะทำให้อุณหภูมิของแม่น้ำมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยกว่าท่อที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากมีอัตราการผสมกันของ
น้ำที่ต่ำกว่า การเพิ่มขึ้นของผลต่างของอุณหภูมิที่ปล่อยออกมาของน้ำหล่อเย็นกับอุณหภูมิของแม่น้ำจะทำให้
การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำในแม่น้ำในบริเวณใกล้กับจุดปล่อยมีค่าเพิ่มขึ้น และการถ่ายเทความร้อน
บริเวณผิวน้ำจะทำให้อุณหภูมิผสมของน้ำภายในแหล่งน้ำในบริเวณที่ไกลจากจุดปล่อยมีค่าลดลงมากขึ้นเมื่อ
เทียบกับกรณีที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวน้ำ

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต ธีรพัฒน์ เพชรช่วย
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา สมประสงค์ ศรีชัย
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

#4070305021: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: THERMAL DISCHARGE / THERMAL POLLUTION / COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

TEERAPAT PETCHUAY : SIMULATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE CASE OF HOT WATER DISCHARGED INTO A WATER STREAM.

THESIS ADVISOR : SOMPRASONG SRICHAI, Ph.D.

195 pp. ISBN 974-333-035-6.

A three-dimensional temperature distribution in the case of hot water discharged into a water stream was simulated by using computational fluid dynamics (CFD) technique. The governing equations consist of continuity equation, momentum equations, energy equation and $k-\epsilon$ turbulence model which includes buoyancy effect. A computer program called PHOENICS was adopted to solved these equations under a finite-volume method. To verify the accuracy of the mathematical model, the temperature distributions obtained from the simulation were compared with experiment results in the case of hot water discharged into a rectangular duct (0.2m x 3.35m x 0.1m), with water moving inside. The flow rates of the hot water are 0.013, 0.028, 0.046 liter/sec and the temperature different between the hot water and the moving water are 20, 25, 30 Celsius. It is found from the comparison that the different between calculated and measured temperature were in the range of 0.1-0.7 Celsius.

The validated model was used to simulate a case assuming that the cooling water from 1,000 MW power plant was discharged into the Chaopraya river. The simulation was conducted in order to study the effect of water flow rate in the river, diameter of a discharge pipe, temperature difference between cooling water and the river temperature, and heat transfer at the river surface, on temperature distribution in the Chaopraya river in which the water discharged rate is fixed through out all cases. Result of the simulations show that the temperature increase in the river is higher when the flow rate of water in the river decreased. Considering the effect of discharged pipe diameter, a pipe of small diameter causes the temperature increase of the river less than those affected from large pipe due to high rate of mixing. Increasing the temperature difference between cooling water and the river temperature significantly increases the temperature of the river in the near field of the mixing point. Finally, heat loss through the water surface causes further decreasing in the mixing temperature downstream of the discharge location.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา.....2542

ลายมือชื่อนิสิต.....ศรัณย์พรหม วัฒนศิริกุล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....สมพรสอน สรชชัย

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่างๆ ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มาโดยตลอด รวมทั้งขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ ประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักร์ อิศวานันท์ และอาจารย์ ดร. วิทย์ ตุนทรนันท์ กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนส่วนหนึ่งจากกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) : ทุนวิจัยถึงปริญญาเอก (ปี 2540-2542) “โครงการการศึกษาการผสมกันของของไหลที่ตั้งฉากในเชิงสามมิติ โดยใช้เทคนิค CFD”

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่กราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งคอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยตลอดมา และขอขอบคุณ คุณปกรณ์ คุณนพมาศ และคุณพงษ์ศักดิ์ นิสิตโครงการทางวิศวกรรมเคมีปีการศึกษา 2540 ที่ร่วมกันสร้างชุดเครื่องมือสำหรับการทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ รวมทั้งเพื่อนๆ ทุกคน และพี่ๆ น้องๆ ในห้องวิจัย Fluid Mechanics ที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	บ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 น้ำร้อนทิ้งของภาคอุตสาหกรรม.....	1
1.2 ผลกระทบที่เกิดกับสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากระบบน้ำหล่อเย็นแบบเปิด.....	3
1.3 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกรณีของการปล่อยน้ำร้อนลงสู่แหล่งน้ำ.....	5
1.4 วัตถุประสงค์.....	5
1.5 ขอบเขตของการทำวิจัย.....	6
2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายกรณีการปล่อยน้ำร้อนลงสู่กระแสน้ำ.....	14
3.1 รูปแบบทั่วไปของสมการอนุพันธ์.....	14
3.2 สมมติฐานที่ใช้ในงานวิจัย.....	15
3.3 การไหลแบบปั่นป่วนและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายการปล่อยน้ำร้อนลงสู่กระแสน้ำ.....	19
3.3.1 สมการความต่อเนื่องในระบบที่มีการไหลแบบปั่นป่วน.....	20
3.3.2 สมการอนุพันธ์โมเมนต์ในระบอบที่มีการไหลแบบปั่นป่วน.....	20
3.3.2.1 แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน $k - \epsilon$	22
3.3.3 สมการอนุพันธ์พลังงานในระบบที่มีการไหลแบบปั่นป่วน.....	26
4 เทคนิค Computational Fluid Dynamics.....	28
4.1 ความหมายของเทคนิค Computational Fluid Dynamics.....	28
4.2 ลำดับขั้นตอนของเทคนิค CFD.....	28

สารบัญ (ต่อ)

4.2.1	กริด.....	28
4.2.2	การแปลงสมการเชิงอนุพันธ์ให้เป็นสมการพีชคณิต.....	30
4.2.3	การคำนวณความเร็วของระบบ.....	35
4.2.4	วิธีการแก้สมการพีชคณิต.....	41
5	ชุดการทดลอง.....	45
5.1	ลักษณะและส่วนประกอบของชุดการทดลอง.....	45
5.1.1	ท่อหลักและท่อข้าง.....	45
5.1.2	ตำแหน่งและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิ.....	47
5.2	การทดลอง.....	52
5.3	ผลการทดลอง.....	54
6	การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลที่ได้จากการทดลอง.....	63
6.1	รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	63
6.2	ผลที่ได้จากการจำลองโดยใช้เทคนิค CFD.....	72
6.3	เปรียบเทียบความถูกต้องของผลการทดลองกับข้อมูลจากการทดลอง.....	106
6.4	สรุปผลการเปรียบเทียบ.....	131
7	การประยุกต์ใช้เทคนิค CFD ในการจำลองการปล่อยน้ำร้อนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ.....	133
7.1	ข้อมูลของโรงไฟฟ้าและแหล่งน้ำที่ใช้เป็นแหล่งรองรับน้ำร้อนทิ้งจากโรงไฟฟ้า.....	133
7.1.1	โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ.....	133
7.1.2	แหล่งน้ำ.....	135
7.2	การทำนายผล.....	139
7.2.1	การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่ออัตราการไหลของน้ำในแหล่งน้ำรองรับ มีค่าแตกต่างกัน.....	139
7.2.2	การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อท่อปล่อยน้ำหล่อเย็นมีขนาดแตกต่างกัน.....	158
7.2.3	การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อผลต่างของอุณหภูมิที่ปล่อยออกมาของ น้ำหล่อเย็นกับอุณหภูมิของแหล่งน้ำมีค่าแตกต่างกัน.....	168
7.2.4	การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณผิวน้ำ.....	177
7.3	สรุปผลการจำลอง.....	185

สารบัญ (ต่อ)

8 รูปและข้อเสนอแนะ.....	187
รายการอ้างอิง	189
ภาคผนวก.....	192
ประวัติผู้วิจัย.....	195



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำในช่วงอุณหภูมิ 0-40 องศาเซลเซียส.....	4
5.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลองในแต่ละกรณี.....	53
5.2 ผลการทดลองของกรณีน้ำไหลเต็มท่อหัก.....	54
5.3 ผลการทดลองของกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหัก.....	55
5.4 ผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิตั้งแต่น้ำร้อนกับน้ำในท่อหัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหัก.....	56
5.5 ผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิตั้งแต่น้ำร้อนกับน้ำในท่อหัก ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหัก.....	57
6.1 ความเร็วของน้ำที่ไหลเข้ามาในท่อหักในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหัก.....	65
6.2 ความเร็วของน้ำร้อนที่ปล่อยจากท่อข้างในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหัก.....	66
6.3 คุณสมบัติทางกายภาพเฉลี่ยของน้ำในระบบในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหัก.....	67
6.4 ความเร็วของน้ำที่ไหลเข้ามาในท่อหักในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหัก.....	68
6.5 ความเร็วของน้ำร้อนที่ปล่อยจากท่อข้างในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหัก.....	69
6.6 คุณสมบัติทางกายภาพเฉลี่ยของน้ำในระบบในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหัก.....	70
6.7 ความเร็วและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ปล่อยจากท่อข้างในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่าง ของอุณหภูมิตั้งแต่น้ำร้อนกับน้ำในท่อหัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ.....	70
6.8 คุณสมบัติทางกายภาพเฉลี่ยของน้ำในระบบกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่าง ของอุณหภูมิตั้งแต่น้ำร้อนกับน้ำในท่อหัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ.....	71
6.9 ความเร็วและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ปล่อยจากท่อข้างในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่าง ของอุณหภูมิตั้งแต่น้ำร้อนกับน้ำในท่อหัก ในกรณีน้ำไม่ไหลเต็มท่อ.....	71
6.10 คุณสมบัติทางกายภาพเฉลี่ยของน้ำในระบบกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่าง ของอุณหภูมิตั้งแต่น้ำร้อนกับน้ำในท่อหัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อ.....	72
6.11 ผลการจำลองในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหัก.....	106
6.12 ผลการจำลองในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหัก.....	107
6.13 ผลการจำลองกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิตั้งแต่น้ำร้อนกับน้ำในท่อหัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหัก.....	108

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.14 ผลการจำลองกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก.....	109
6.15 ความแตกต่างของอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ได้จาก แบบจำลองกับผลการทดลองในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	110
6.16 ความแตกต่างของอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ได้จาก แบบจำลองกับผลการทดลองในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก.....	111
6.17 ความแตกต่างของอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับ ผลการทดลองในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับ น้ำในท่อหลักกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	113
6.18 ความแตกต่างของอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับ ผลการทดลองในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับ น้ำในท่อหลักกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก.....	114
7.1 อัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาเมื่อวัด ณ จุดเริ่มต้นของบริเวณที่ทำการพิจารณาใน ปี พ.ศ. 2539.....	136
7.2 อัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาในเดือนที่ทำการจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิ เมื่ออัตราการไหลของน้ำในแหล่งน้ำรองรับมีค่าแตกต่างกัน.....	139
7.3 טרפראטע אײכסן של צױנלעך וואס נוצן אין דער סימולאציע פון די ווערמױנג פון וואסער אין דער אײכסן פון די ווערמױנג פון די ווערמױנג פון די ווערמױנג.....	141
7.4 จำนวนของกริดในแนวแกนต่างๆ ในแต่ละเดือนในการจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อ อัตราการไหลของน้ำในแหล่งน้ำรองรับมีค่าแตกต่างกัน.....	143
7.5 ความเร็วในทิศทางต่างๆ ที่จุดเริ่มต้นของบริเวณที่ทำการพิจารณา.....	143
7.6 คุณสมบัติทางกายภาพเฉลี่ยของน้ำที่ใช้ในการจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อ อัตราการไหลของน้ำในแหล่งน้ำรองรับมีค่าแตกต่างกัน.....	144
7.7 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลน้ำในเดือนต่างๆ	157
7.8 จำนวนของกริดในแนวแกนต่างๆ ในการจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อ ท่อปล่อยน้ำหล่อเย็นมีขนาดแตกต่างกัน.....	159

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
7.9	167
7.10	168
7.11	176
7.12	184



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ลักษณะของระบบน้ำหล่อเย็นแบบปิด.....	1
1.2 ลักษณะของระบบน้ำหล่อเย็นแบบเปิด.....	2
2.1 ลักษณะของการปล่อยน้ำอุณหภูมิสูงที่ศึกษา โดย K.D. Stolzenbach and D.R.F. Harleman	7
2.2 ลักษณะการกำหนด โพรไฟล์ของความเร็วและอุณหภูมิที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์....	8
2.3 ลักษณะของการกระจายตัวของอุณหภูมิจากการปล่อยน้ำอุณหภูมิเมื่อมองทางด้านข้าง.....	8
2.4 ลักษณะของการกระจายตัวของอุณหภูมิจากการปล่อยน้ำอุณหภูมิเมื่อมองทางด้านบน.....	9
2.5 ลักษณะของการปล่อยน้ำอุณหภูมิสูงทางด้านข้างของทางน้ำเปิดในลักษณะ 2 มิติ ที่ศึกษาโดย J.J. McGuirk and W. Rodi.....	10
2.6 การเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลอง.....	10
2.7 ลักษณะของชุดการทดลองที่ใช้ในการศึกษาของ A.J. Johnson, N. Nguyen, and R.E. Volker	12
3.1 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วภายในท่อของระบบที่มีการไหลแบบปั่นป่วน.....	24
4.1 ลำดับขั้นตอนของวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิค CFD.....	29
4.2 ปริมาตรควบคุมที่ใช้ในการคำนวณ.....	29
4.3 ลักษณะการแบ่งกริดและลักษณะของปริมาตรควบคุมที่แสดงในแบบ 2 มิติ.....	31
4.4 ลักษณะของปริมาตรควบคุมที่บริเวณสถานะของเขต.....	31
4.5 ลักษณะของกริดที่ใช้ในสมการ (4.2).....	32
4.6 ลักษณะโพรไฟล์ของ ϕ ระหว่าง โหนดที่เป็นเส้นตรง.....	32
4.7a การกำหนดค่า ϕ เมื่อ F_x มีค่าเป็นบวก ด้วยวิธีอัพวินคิฟเฟอร์เรนท์.....	34
4.7b การกำหนดค่า ϕ เมื่อ F_x มีค่าเป็นลบ ด้วยวิธีอัพวินคิฟเฟอร์เรนท์.....	34
4.8 ตำแหน่งที่เก็บค่าองค์ประกอบของความเร็ว.....	37
4.9 ปริมาตรควบคุมที่ใช้ในสมการ โมเมนต์ x - component.....	37
4.10 ปริมาตรควบคุมที่ใช้ในสมการ โมเมนต์ y - component.....	37
4.11 ปริมาตรควบคุมที่ใช้ในสมการความต่อเนื่อง.....	40
4.12 ลักษณะการแก้สมการด้วยวิธีที่ละแถว.....	42
5.1 ลักษณะและส่วนประกอบของชุดการทดลองที่ใช้ในงานวิจัย.....	46
5.2 ระบายที่ทำการวัดอุณหภูมิ.....	47
5.3a การกระจายตัวของน้ำร้อนที่อัตราการไหล 0.013 ลิตร/วินาที.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.3b การกระจายตัวของน้ำร้อนที่อัตราการไหล 0.028 ลิตร/วินาที.....	48
5.3c การกระจายตัวของน้ำร้อนที่อัตราการไหล 0.043 ลิตร/วินาที.....	48
5.4 ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิของชุดการทดลอง	49
5.5 ลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในการทดลอง.....	50
5.6 ลักษณะของชุด Data acquisition ที่ใช้ในการทดลอง.....	51
5.7 โปรแกรม Universal Data acquisition.....	51
5.8 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในบริเวณที่ทำการวัดผลของกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	58
5.9 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในบริเวณที่ทำการวัดผลของกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก.....	59
5.10 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในบริเวณที่ทำการวัดผลเมื่อทำการเปลี่ยนผลต่างของอุณหภูมิ ระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	60
5.11 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในบริเวณที่ทำการวัดผลเมื่อทำการเปลี่ยนผลต่างของอุณหภูมิ ระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก.....	61
6.1 ลักษณะของกริดที่ใช้ในเทคนิค CFD ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	64
6.2 ลักษณะของกริดที่ใช้แทนท่อปล่องน้ำในเทคนิค CFD.....	64
6.3 ลักษณะของกริดที่ใช้ในเทคนิค CFD ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก.....	68
6.4 ลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำภายในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	77
6.5 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	78
6.6 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	79
6.7 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	80
6.8 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	81
6.9 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	82

ตารางบัญชีรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.10 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	83
6.11 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=16 ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	84
6.12 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=18 ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	84
6.13 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=20 ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	85
6.14 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=22 ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	85
6.15 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=24 ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	86
6.16 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=27 ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	86
6.17 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=16 ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	87
6.18 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=18 ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	87
6.19 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=20 ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	88
6.20 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=22 ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	88
6.21 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=24 ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	89
6.22 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=27 ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	89

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.23 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=16 ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	90
6.24 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=18 ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	90
6.25 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=20 ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	91
6.26 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=22 ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	91
6.27 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=24 ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	92
6.28 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบ IZ=27 ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก.....	92
6.29 ลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำภายในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก.....	93
6.30 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก.....	94
6.31 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก.....	95
6.32 ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก.....	96
6.33 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง ของการทดลองที่ 1 ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก.....	97
6.34 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง ของการทดลองที่ 2 ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก.....	98
6.35 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่ในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อข้าง ของการทดลองที่ 3 ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก.....	99

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.46	เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 2 กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก..... 122
6.47	เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 3 กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก..... 123
6.48	เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 1 กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก..... 124
6.49	เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 2 กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก..... 125
6.50	เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 3 กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลเต็มท่อหลัก..... 126
6.51	เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 1 กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก..... 127
6.52	เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 2 กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก..... 128
6.53	เปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองที่ 3 กรณีเปลี่ยนแปลงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำร้อนกับน้ำในท่อหลัก ในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อหลัก..... 129
7.1	ภาพรวมของกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ..... 134
7.2	ปริมาณของน้ำหล่อเย็นที่สัมพันธ์กับขนาดของโรงไฟฟ้าและความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิก่อนน้ำหล่อเย็นขาออกกับอุณหภูมิก่อนน้ำหล่อเย็นขาเข้า..... 135
7.3	แม่น้ำเจ้าพระยาในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์..... 137
7.4	ภาพถ่ายแม่น้ำเจ้าพระยาในบริเวณที่ทำการจำลอง..... 138

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.5 ตำแหน่งถมบคิของโรงไฟฟ้า.....	140
7.6 ลักษณะของกริดและ โดเมนที่ทำการจำลอง.....	142
7.7 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของท่อปล่อยในเดือนกุมภาพันธ์	
(a) ครอบคลุมบริเวณตั้งแต่ปล่อยจุดปล่อยจนน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิเท่ากับแหล่งน้ำ	
(b) ครอบคลุมบริเวณรัศมีไม่เกิน 100 ม. จากจุดปล่อย.....	146
7.8 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของท่อปล่อยในเดือนเมษายน	
(a) ครอบคลุมบริเวณตั้งแต่ปล่อยจุดปล่อยจนน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิเท่ากับแหล่งน้ำ	
(b) ครอบคลุมบริเวณรัศมีไม่เกิน 100 ม. จากจุดปล่อย.....	147
7.9 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของท่อปล่อยในเดือนมิถุนายน	
(a) ครอบคลุมบริเวณตั้งแต่ปล่อยจุดปล่อยจนน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิเท่ากับแหล่งน้ำ	
(b) ครอบคลุมบริเวณรัศมีไม่เกิน 100 ม. จากจุดปล่อย.....	148
7.10 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของท่อปล่อยในเดือนกันยายน	
(a) ครอบคลุมบริเวณตั้งแต่ปล่อยจุดปล่อยจนน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิเท่ากับแหล่งน้ำ	
(b) ครอบคลุมบริเวณรัศมีไม่เกิน 100 ม. จากจุดปล่อย.....	149
7.11 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของท่อปล่อยในเดือนตุลาคม	
(a) ครอบคลุมบริเวณตั้งแต่ปล่อยจุดปล่อยจนน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิเท่ากับแหล่งน้ำ	
(b) ครอบคลุมบริเวณรัศมีไม่เกิน 100 ม. จากจุดปล่อย.....	150
7.12 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของแม่ น้ำในเดือนกุมภาพันธ์	
(a) บริเวณจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น (b) บริเวณห่างจากจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น 100 เมตร.....	151
7.13 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของแม่ น้ำในเดือนเมษายน	
(a) บริเวณจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น (b) บริเวณห่างจากจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น 100 เมตร.....	152
7.14 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของแม่ น้ำในเดือนมิถุนายน	
(a) บริเวณจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น (b) บริเวณห่างจากจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น 100 เมตร.....	153
7.15 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของแม่ น้ำในเดือนกันยายน	
(a) บริเวณจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น (b) บริเวณห่างจากจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น 100 เมตร.....	154
7.16 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของแม่ น้ำในเดือนตุลาคม	
(a) บริเวณจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น (b) บริเวณห่างจากจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น 100 เมตร.....	155

ตารางบัญชี (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.17 ตำแหน่งที่พิจารณาการเพิ่มขึ้นของอุทกภูมิในแม่น้ำเจ้าพระยา.....	156
7.18 การกระจายตัวของอุทกภูมิในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อปล่อยเมื่อใช้ท่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ม. (a) ครอบคลุมบริเวณตั้งแต่ปล่อยจุดปล่อยจนน้ำหล่อเย็นมีอุทกภูมิเท่ากับแหล่งน้ำ (b) ครอบคลุมบริเวณรัศมีไม่เกิน 100 ม. จากจุดปล่อย.....	161
7.19 การกระจายตัวของอุทกภูมิในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อปล่อยเมื่อใช้ท่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ม. (a) ครอบคลุมบริเวณตั้งแต่ปล่อยจุดปล่อยจนน้ำหล่อเย็นมีอุทกภูมิเท่ากับแหล่งน้ำ (b) ครอบคลุมบริเวณรัศมีไม่เกิน 100 ม. จากจุดปล่อย.....	162
7.20 การกระจายตัวของอุทกภูมิในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อปล่อยเมื่อใช้ท่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ม. (a) ครอบคลุมบริเวณตั้งแต่ปล่อยจุดปล่อยจนน้ำหล่อเย็นมีอุทกภูมิเท่ากับแหล่งน้ำ (b) ครอบคลุมบริเวณรัศมีไม่เกิน 100 ม. จากจุดปล่อย.....	163
7.21 การกระจายตัวของอุทกภูมิในระนาบตัดตามความกว้างของแม่น้ำเมื่อใช้ท่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร (a) บริเวณจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น (b) บริเวณห่างจากจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น 100 เมตร.....	164
7.22 การกระจายตัวของอุทกภูมิในระนาบตัดตามความกว้างของแม่น้ำเมื่อใช้ท่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร (a) บริเวณจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น (b) บริเวณห่างจากจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น 100 เมตร.....	165
7.23 การกระจายตัวของอุทกภูมิในระนาบตัดตามความกว้างของแม่น้ำเมื่อใช้ท่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เมตร (a) บริเวณจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น (b) บริเวณห่างจากจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น 100 เมตร.....	166
7.24 การกระจายตัวของอุทกภูมิในระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของท่อปล่อยเมื่อผลต่างของอุทกภูมิ มีค่าเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส (a) ครอบคลุมบริเวณตั้งแต่ปล่อยจุดปล่อยจนน้ำหล่อเย็นมีอุทกภูมิเท่ากับแหล่งน้ำ (b) ครอบคลุมบริเวณรัศมีไม่เกิน 100 ม. จากจุดปล่อย.....	170

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.25 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของท่อปล่อยเมื่อผลต่างของอุณหภูมิมิค่าเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส	
(a) ครอบคลุมบริเวณตั้งแต่ปล่อยจุดปล่อยจนน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิเท่ากับแหล่งน้ำ	
(b) ครอบคลุมบริเวณรัศมีไม่เกิน 100 ม. จากจุดปล่อย.....	171
7.26 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของท่อปล่อยเมื่อผลต่างของอุณหภูมิมิค่าเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส	
(a) ครอบคลุมบริเวณตั้งแต่ปล่อยจุดปล่อยจนน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิเท่ากับแหล่งน้ำ	
(b) ครอบคลุมบริเวณรัศมีไม่เกิน 100 ม. จากจุดปล่อย.....	172
7.27 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของท่อปล่อยเมื่อผลต่างของอุณหภูมิมิค่าเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส	
(a) บริเวณจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น (b) บริเวณห่างจากจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น 100 เมตร.....	173
7.28 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของท่อปล่อยเมื่อผลต่างของอุณหภูมิมิค่าเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส	
(a) บริเวณจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น (b) บริเวณห่างจากจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น 100 เมตร.....	174
7.29 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของท่อปล่อยเมื่อผลต่างของอุณหภูมิมิค่าเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส	
(a) บริเวณจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น (b) บริเวณห่างจากจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น 100 เมตร.....	175
7.30 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของท่อ เมื่อไม่มีการถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวหน้า	
(a) ครอบคลุมบริเวณตั้งแต่ปล่อยจุดปล่อยจนน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิเท่ากับแหล่งน้ำ	
(b) ครอบคลุมบริเวณรัศมีไม่เกิน 100 ม. จากจุดปล่อย.....	180
7.31 การกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งแต่จุดศูนย์กลางของท่อ เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวหน้า	
(a) ครอบคลุมบริเวณตั้งแต่ปล่อยจุดปล่อยจนน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิเท่ากับแหล่งน้ำ	
(b) ครอบคลุมบริเวณรัศมีไม่เกิน 100 ม. จากจุดปล่อย.....	181

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.32 การกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบตัดตามความกว้างของแม่น้ำ เมื่อไม่คิดการถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวน้ำ	
(a) บริเวณจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น (b) บริเวณห่างจากจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น 100 เมตร.....	182
7.33 การกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบตัดตามความกว้างของแม่น้ำ เมื่อคิดการถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวน้ำ	
(a) บริเวณจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น (b) บริเวณห่างจากจุดปล่อยน้ำหล่อเย็น 100 เมตร.....	183



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์

A	พื้นที่ที่ตั้งฉากกับแรงดันที่กระทำ
a	สัมประสิทธิ์ของสมการพีชคณิต
\hat{C}_p	ความจุความร้อนจำเพาะเชิงความดันต่อหน่วยมวล
C_μ, C_1, C_2, C_3	ค่าคงที่ของแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน $k-\epsilon$
E	ค่าบ่งบอกความขรุขระของผนัง
f_x, f_y, f_z	แรงที่กระทำบนทุกๆ จุดในระบบต่อหน่วยมวล
g	ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity), พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความปั่นป่วน
p	ความดัน
p'	ความดันปรับปรุ้ง
p^*	ค่าความดันเดาเริ่มต้น (initial guess pressure)
Pr	ตัวเลขแพลงเคิล (Prandtl number)
q_x, q_y, q_z	ฟลักซ์ของความร้อน
\bar{q}_t	turbulent energy flux
S	แหล่งกำเนิด
t	เวลา
T, T_{ref}	อุณหภูมิ
\bar{T}	อุณหภูมิเฉลี่ย
u^*	friction velocity
u, v, w	องค์ประกอบของความเร็วในทิศทางตามแกน x, y, z
$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$	ความเร็วเฉลี่ยในแกน x, y, z
u', v', w'	ความเร็วที่เบี่ยงเบนไปจากความเร็วเฉลี่ยตามแกน x, y, z
ϵ	อัตราการกระจายของพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความปั่นป่วน
ρ	ความหนาแน่น

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

μ	ความหนืด
μ_t	ความหนืดของการหมุนวน (Eddy viscosity)
β	สัมประสิทธิ์การขยายตัวของปริมาตร
α	รีแลกซ์เชชัน
τ	ความเค้นเฉือน
ϕ	ตัวแปรที่ห้องการศึกษา
σ_x, σ_z	ค่าความปั่นป่วนแผดงเคิดของค่า k, ϵ ตามลำดับ
Γ	สัมประสิทธิ์การแพร่ของ ϕ
δx	ระยะห่างระหว่างโนดตองโนด
κ	ค่าคงที่ของ Von Karman

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย