สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการไหลภายในถังเก็บความร้อนโดยใช้วิธีไฟไนต์วอลุ่ม

A STUDY OF THE FLOW IN THE THERMAL STORAGE TANK BY THE FINITE VOLUME METHOD

นายกิตติชัย สุธัญญาธนะกิจ
นายเกรียงไกร ปัญญารัตนะ

T036833

อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. มณฑล ใจกุศล
ดร. จารุวัตร เจริญสุข

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 36833
วัน, เดือน, ปี 28 ส.ค. 2543

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF THE FLOW IN THE THERMAL STORAGE TANK BY THE FINITE VOLUME METHOD

MR. KITTICHAI SUTHUNYATANAKIT

MR. KRIANGKRAI PANYARATTANA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE ERQUEREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

KING MONGKUT 'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2542

การศึกษาการไหลภายในถังเก็บความร้อนโดยใช้วิธีไฟไนต์วอลุ่ม

โดย

นายกิตติชัย สุธัญญาธนะกิจ

นายเกรียงไกร ปัญญารัตนะ

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. มณฑล ใจกุศล)

(ดร. จารุวัตร เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาการไหลภายในถังเก็บความร้อนโดยใช้วิธีไฟไนต์วอลุ่ม
นักศึกษา	กิตติชัย สุธัญญาธนะกิจ
	เกรียงไกร ปัญญารัตนะ
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2542
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	อ. มณฑล ใจกุศล
	ดร. จารุวัตร เจริญสุข

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการไหลและการถ่ายเทความร้อนของน้ำร้อนภายในถังเก็บความร้อน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข คือ วิธีไฟไนต์วอลุ่ม เพื่อพิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ความเร็ว, การกระจายอุณหภูมิ เพื่อเป็นการนำผลที่ได้มาใช้กับการออกแบบถังเก็บความร้อน โดยมีข้อสมมติฐาน คือ เป็นการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งของไหลมีความหนืด และอัดตัวไม่ได้ ทั้งยังเป็นการไหลแบบไม่คงตัว ทิศทางการไหลจากบนสู่ล่าง มีการคิดผลเนื่องจากแรงลอยตัว และอุณหภูมิสูงสู่อุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Study of the Flow in the Thermal Storage Tank by the Finite Volume Method
Student	Kittichai Suthunyatanakit
	Kriangkai Panyarattana
Level of Study	Bachelor of Engineering in Mechanical Engineering
	King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1999
Thesis Advisor	Mr. Monton Jaikusol
	Dr. Jarruwat Charoensuk

ABSTRACT

This project concerns about a study of the flow in thermal storage tank by the numerical analysis, ***the Finite Volume Method***, the velocity and the temperature simulations that are considered for designing the thermal storage tank. The laminar, unsteady state, incompressible and viscous fluid flows are assumed throughout the calculation with the direction from up to down, the buoyancy force and the high temperature to low temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ตั้งแต่เริ่มต้น เพราะได้รับความกรุณา และห่วงใย อีกทั้งได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาปัญหาเกี่ยวกับทฤษฎีและการประยุกต์วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขแบบไฟไนต์วอลุ่ม จาก อ.มณฑล ใจกุศล และ ดร.จารุวัตร เจริญสุข ทางคณะผู้จัดทำจึงขอถือโอกาสนี้ขอกราบขอบพระ-คุณเป็นอย่างสูง ในความอนุเคราะห์ของท่านทั้งสอง

ขอขอบพระคุณ อ.วิภู ศรีสืบสาย และ พี่ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ ที่ได้ช่วยให้คำแนะนำ ชี้แนะ ในการแก้ปัญหาต่างๆ ซึ่งมีส่วนช่วยให้คณะผู้จัดทำเข้าใจปัญหาได้อย่างถ่องแท้ และ ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคน ที่ช่วยให้กำลังใจต่อคณะผู้จัดทำอย่างใกล้ชิด เป็นแรงพลังดันจนสำเร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบเท้าต่อคุณ มารดา และบิดา ของคณะผู้จัดทำ ท่านผู้ซึ่งให้ความยิ่งใหญ่ต่อบุตร ขอคุณพระศรีรัตนตรัย จงช่วยปกป้องคุ้มครองท่าน ด้วยเทิญฯ

กิตติชัย สุธัญญาธนะกิจ
เกรียงไกร ปัญญารัตนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ (Introduction)	1
บทที่ 2 สมการพื้นฐานของการไหล (Basic Equation)	3
2.1 ระบบพิกัดทรงกระบอก (Cylindrical Coordinate System)	3
2.2 สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass)	3
2.3 สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum)	5
2.4 สมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)	9
2.5 สรุปสมการพื้นฐานทั้งหมดที่ได้ในบทนี้	11
บทที่ 3 รูปแบบทั่วไปของสมการ	13
บทที่ 4 การใช้วิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขไฟไนต์วอลุ่ม	15
การแก้ปัญหาเมตริกซ์ด้วยวิธี Tri-Diagonal Matrix Algorithm (TDMA)	20
การแก้ปัญหาโดยวิธี Pressure-Velocity Coupling ในการไหลแบบไม่คงตัว	24
บทที่ 5 โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ	25
โครงสร้างของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ	25
ลำดับการทำงานของโปรแกรมหลัก และโปรแกรมย่อย	26
บทที่ 6 ผลการคำนวณ	33
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์ผลการคำนวณ	85
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงมวลที่ผ่านพื้นผิวและปริมาตรควบคุม ในระบบพิกัดทรงกระบอก	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงแบบจำลองทิศทางการไหลภายในถังเก็บความร้อน	1
2.1	แสดงปริมาตรควบคุมในระบบพิกัดทรงกระบอก	3
2.2	แสดงแรงที่กระทำต่อปริมาตรควบคุม	6
2.3	แสดงทิศทางการไหลของเวกเตอร์ฟลักซ์ความร้อน	10
4.1	แสดงทิศทางที่ใช้ประกอบใน the discretised equation	15
4.2	แสดงถึงขั้นตอนของการใช้เทคนิค TDMA	21
4.3	แสดงผัง (flow chart) ของขั้นตอนการหาค่า ϕ	23
4.4	แสดงผัง (flow chart) โดยใช้วิธี SIMPLE Algorithm	24
5.1	แสดง MAIN Program	27
5.2	แสดง CALCU Sub-routine	28
5.3	แสดง CALCV Sub-routine	29
5.4	แสดง CALCP Sub-routine	30
5.5	แสดง CALCH Sub-routine	31
5.6	แสดง CALCT Sub-routine	32
6.1	แสดงขนาดและรูปร่างของถังเก็บความร้อน (ก) 1 ช่องทาง (ข) 5 ช่องทาง	33
6.2	แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 45.5 วินาที	63
6.3	แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 45.5 วินาที	63
6.4	แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 360.5 วินาที	64
6.5	แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 360.5 วินาที	64
6.6	แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 630.5 วินาที	65
6.7	แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 630.5 วินาที	65
6.8	แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 1665.5 วินาที	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.9	แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 1665.5 วินาที	66
6.10	แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.02m/s ณ เวลา 45.5 วินาที	67
6.11	แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.02m/s ณ เวลา 45.5 วินาที	67
6.12	แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.02m/s ณ เวลา 360.5 วินาที	68
6.13	แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.02m/s ณ เวลา 360.5 วินาที	68
6.14	แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.02m/s ณ เวลา 630.5 วินาที	69
6.15	แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง0.02m/s ณ เวลา 630.5 วินาที	69
6.16	แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.02m/s ณ เวลา 1665.5 วินาที	70
6.17	แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.02m/s ณ เวลา 1665.5 วินาที	70
6.18	แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0071m/s ณ เวลา 45.5 วินาที	79
6.19	แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0071m/s ณ เวลา 45.5 วินาที	79
6.20	แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0071m/s ณ เวลา 360.5 วินาที	80
6.21	แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0071m/s ณ เวลา 360.5 วินาที	80
6.22	แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0071m/s ณ เวลา 630.5 วินาที	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

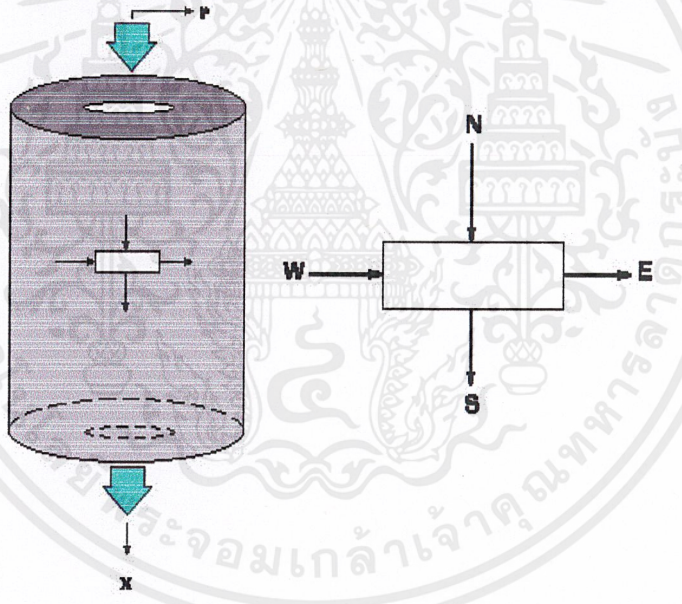
สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.23	แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0071m/s ณ เวลา 630.5 วินาที	81
6.24	แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0029m/s ณ เวลา 45.5 วินาที	82
6.25	แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0029m/s ณ เวลา 45.5 วินาที	82
6.26	แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0029m/s ณ เวลา 360.5 วินาที	83
6.27	แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0029m/s ณ เวลา 360.5 วินาที	83
6.28	แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0029m/s ณ เวลา 630.5 วินาที	84
6.29	แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0029m/s ณ เวลา 630.5 วินาที	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ถังเก็บความร้อน (Thermal Storage Tank) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บน้ำร้อนซึ่งผ่านกระบวนการถ่ายเทความร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ น้ำที่ผ่านกระบวนการนี้จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะถูกนำไปเก็บยังถังเก็บความร้อน ดังนั้นอุปกรณ์ถังเก็บความร้อน จึงถูกนำมาศึกษาเพื่อการออกแบบให้ได้ประโยชน์สูงสุด จึงได้นำมาสร้างแบบจำลองการไหล เพื่อศึกษาคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนภายในถังเก็บความร้อนที่มีการไหลโดยใช้สารต่อเนื่องคือ น้ำ รูปแบบการไหลเป็นการไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady-State Flow) มีแรงเนื่องจากแรงลอยตัว (Buoyancy Force) และแบบจำลองของถังเก็บความร้อนมีทิศทางการไหลดังแสดงจากภาพที่ 1.1 และใช้การแก้ปัญหาโดยการใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขแบบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม



รูปที่ 1.1 แสดงแบบจำลองทิศทางการไหลภายในถังเก็บความร้อน

วัตถุประสงค์ และขอบเขตการศึกษา

1. สร้างแบบจำลองของถังเก็บความร้อน (Thermal Storage Tank) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ได้
2. ศึกษาลักษณะการไหล และการแบ่งชั้นอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บความร้อน
3. ศึกษาการแก้ปัญหาการวิเคราะห์เชิงตัวเลข คือ วิธีไฟไนต์วอลุ่ม (Finite Volume Method)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ศึกษาการไหลที่เป็นการไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady-State Flow) เพื่อดูพฤติกรรมที่เกิดขึ้น ณ เวลาต่างๆ
5. ศึกษาการไหลที่มีแรงลอยตัว (Buoyancy Force)
6. ใช้วิธี Central Differencing Scheme ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการพาความร้อน
7. ใช้วิธี Simple algorithm เพื่อการแก้ปัญหาของความเร็วและความดันควบคู่กัน

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ภาคเรียนที่ 1

1. ศึกษาเกี่ยวกับสมการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ได้แก่
   1.1 กฎการอนุรักษ์ของมวล
   1.2 กฎการอนุรักษ์ของโมเมนตัม
   1.3 กฎการอนุรักษ์ของพลังงาน
2. ศึกษาการแก้ปัญหาการวิเคราะห์เชิงตัวเลข คือ ไฟไนต์วอลุ่ม
   2.1 วิธี The Central Differencing Scheme
   2.2 วิธี Simple algorithm
3. การรวมสมการพื้นฐานเข้ากับการใช้วิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลข

ภาคเรียนที่ 2

1. เขียนโปรแกรมภาษาฟอร์แทรน เพื่อทดสอบใช้กับปัญหาของการไหลในถังเก็บความร้อน
2. นำผลการทดสอบที่ได้ไปพล็อต การกระจายอุณหภูมิของถังเก็บความร้อน
3. ทดสอบโดยการเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ
4. นำผลมาวิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

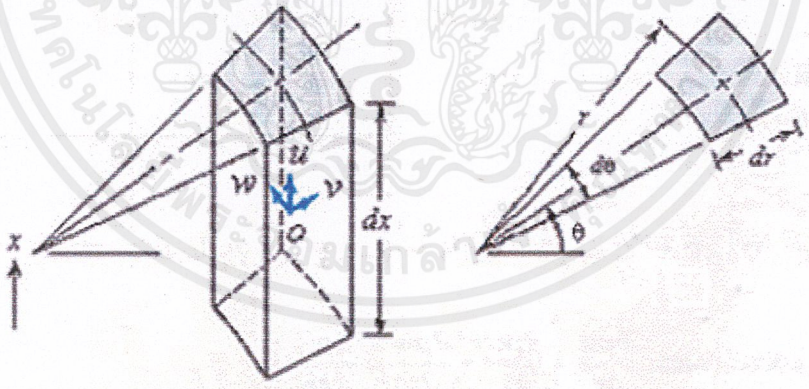
บทที่ 2
สมการพื้นฐานของการไหล (Basic Equation)

การศึกษาการเคลื่อนที่ของของไหล ซึ่งเป็นสารต่อเนื่องที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ตลอดเวลานั้น สมการพื้นฐาน (Basic Equation) เป็นสิ่งสำคัญ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และคำนวณปัญหาที่เกิดขึ้น ในบทนี้จึงได้กล่าวถึงที่มาของสมการพื้นฐาน และสรุปสมการพื้นฐานที่จะนำไปใช้ต่อไป

2.1 ระบบพิกัดทรงกระบอก (Cylindrical Coordinate System)

การศึกษาการไหลผ่านถังเก็บความร้อน (Thermal Storage Tank) นั้น แบบจำลองการไหลทางคณิตศาสตร์เป็นระบบพิกัดทรงกระบอกดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

ในพิกัดทรงกระบอกพิจารณาโดยปริมาตรควบคุมเชิงอนุพันธ์ (Differential Control Volume) ในรูปที่ 2.1 ที่มีความหนาแน่นอยู่ที่จุด O ของปริมาตรควบคุม นิยามเป็น ρ และมีความเร็วที่เกิดขึ้นบนปริมาตรควบคุม คือ $\vec{V} = \hat{e}_r v + \hat{e}_\theta w + \hat{k}u$ ซึ่ง $\hat{e}_r, \hat{e}_\theta$ และ $\hat{k}$ คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทาง r, θ และ x ตามลำดับ ส่วน v, w และ u คือ ค่าความเร็วในทิศทาง r, θ และ x ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 แสดงปริมาตรควบคุมในระบบพิกัดทรงกระบอก

2.2 สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass)

จากคำกล่าวในกฎการอนุรักษ์มวลที่ว่า

$$\begin{bmatrix}\text{อัตราสุทธิของฟลักซ์มวล}\\ \text{ที่ผ่านพื้นผิวควบคุม}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของ}\\ \text{มวลภายในปริมาตรควบคุม}\end{bmatrix} = 0 \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณหาค่า $\int_{cs} \rho \vec{V} d\vec{A}$ จะพิจารณาฟลักซ์มวลที่ผ่านในแต่ละด้านของ 6 ด้านพื้นผิวควบคุม คุณสมบัติที่แต่ละด้านนั้นสามารถจะได้รับจากการกระจายอนุกรมเทเลอร์ (Taylor Series Expansion) ที่จุด O ในรายละเอียดของค่าฟลักซ์มวลถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ทิศทางความเร็วในรูปที่ 2.1 สันนิษฐานให้มีทิศทางเป็นบวก และในเทอม high-order จะถูกตัดทิ้ง

Surface	$\int \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$
Inside ($-r$)	$= -\left[\rho - \left(\frac{\partial \rho}{\partial r}\right)\frac{dr}{2}\right]\left[v - \left(\frac{\partial v}{\partial r}\right)\frac{dr}{2}\right]\left(r - \frac{dr}{2}\right)d\theta dx = -\rho v r d\theta dx + \rho v \frac{dr}{2} d\theta dx + \rho \left(\frac{dv}{dr}\right) r \frac{dr}{2} d\theta dx + v \left(\frac{\partial \rho}{\partial r}\right) r \frac{dr}{2} d\theta dx$
Outside ($+r$)	$= \left[\rho + \left(\frac{\partial \rho}{\partial r}\right)\frac{dr}{2}\right]\left[v + \left(\frac{\partial v}{\partial r}\right)\frac{dr}{2}\right]\left(r + \frac{dr}{2}\right)d\theta dx = \rho v r d\theta dx + \rho v \frac{dr}{2} d\theta dx + \rho \left(\frac{dv}{dr}\right) r \frac{dr}{2} d\theta dx + v \left(\frac{\partial \rho}{\partial r}\right) r \frac{dr}{2} d\theta dx$
Front ($-\theta$)	$= -\left[\rho - \left(\frac{\partial \rho}{\partial \theta}\right)\frac{d\theta}{2}\right]\left[w - \left(\frac{\partial w}{\partial \theta}\right)\frac{d\theta}{2}\right]dr dx = -\rho w dr dx + \rho \left(\frac{dw}{d\theta}\right)\frac{d\theta}{2} dr dx + w \left(\frac{\partial \rho}{\partial \theta}\right)\frac{d\theta}{2} dr dx$
Back ($+\theta$)	$= \left[\rho + \left(\frac{\partial \rho}{\partial \theta}\right)\frac{d\theta}{2}\right]\left[w + \left(\frac{\partial w}{\partial \theta}\right)\frac{d\theta}{2}\right]dr dx = \rho w dr dx + \rho \left(\frac{dw}{d\theta}\right)\frac{d\theta}{2} dr dx + w \left(\frac{\partial \rho}{\partial \theta}\right)\frac{d\theta}{2} dr dx$
Bottom ($-x$)	$= -\left[\rho - \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right)\frac{dx}{2}\right]\left[u - \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\frac{dx}{2}\right]r d\theta dx = -\rho u r d\theta dr + \rho \left(\frac{du}{dx}\right)\frac{dx}{2} r d\theta dr + u \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right)\frac{dx}{2} r d\theta dr$
Top ($+x$)	$= \left[\rho + \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right)\frac{dx}{2}\right]\left[u + \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\frac{dx}{2}\right]r d\theta dx = \rho u r d\theta dr + \rho \left(\frac{du}{dx}\right)\frac{dx}{2} r d\theta dr + u \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right)\frac{dx}{2} r d\theta dr$
Then,	$\int_{cs} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = \left[\rho v + r\left\{\rho\left(\frac{\partial v}{\partial r}\right) + v\left(\frac{\partial \rho}{\partial r}\right)\right\} + \left\{\rho\left(\frac{\partial w}{\partial \theta}\right) + w\left(\frac{\partial \rho}{\partial \theta}\right)\right\} + r\left\{\rho\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) + u\left(\frac{\partial \rho}{\partial x}\right)\right\}\right] dr d\theta dx$
or	$\int_{cs} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = \left[\rho v + r\frac{\partial \rho v}{\partial r} + \frac{\partial \rho w}{\partial \theta} + r\frac{\partial \rho u}{\partial x}\right] dr d\theta dx$

ตารางที่ 2.1 แสดงมวลที่ผ่านพื้นผิวและปริมาตรควบคุม ในระบบพิกัดทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้อัตราสุทธิของฟลักซ์มวลที่ผ่านพื้นผิวควบคุม (Control Surface) คือ

$$\left[\rho v + r\frac{\partial \rho v}{\partial r} + \frac{\partial \rho w}{\partial \theta} + \frac{\partial \rho u}{\partial x}\right] dr d\theta dx \tag{2.2}$$

มวลภายในปริมาตรควบคุม คือ ผลคูณของมวลต่อหน่วยปริมาตร ρ กับปริมาตร $rd\theta drdx$ ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของมวลภายในปริมาตรควบคุม (Control Volume) คือ

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} rd\theta drdz \tag{2.3}$$

ในระบบพิกัดทรงกระบอกสมการอนุพันธ์สำหรับการอนุรักษ์มวล คือ

$$\rho v + r\frac{\partial \rho v}{\partial r} + \frac{\partial \rho w}{\partial \theta} + r\frac{\partial \rho u}{\partial x} + r\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \tag{2.4}$$

หารด้วย r จะได้

$$\frac{\rho v}{r} + \frac{\partial \rho v}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial \rho w}{\partial \theta} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \tag{2.5}$$

หรือ

$$\frac{1}{r}\frac{\partial (r\rho v)}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial \rho w}{\partial \theta} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \tag{2.6}$$

ในการศึกษานี้ไม่พิจารณาการไหลในทิศทาง θ เทอมที่สองของสมการที่ 2.6 จึงไม่ถูกนำมาพิจารณา จะได้

$$\frac{1}{r}\frac{\partial (r\rho v)}{\partial r} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \tag{2.7}$$

2.3 สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum)

กฎข้อที่สองของนิวตันสำหรับระบบ คือ

$$\vec{F} = \left.\frac{d\vec{P}}{dt}\right)_{system} \tag{2.8}$$

ซึ่งค่าโมเมนตัมเชิงเส้น, $\vec{P}$ ของระบบเป็น

$$\vec{P}_{system} = \int_{mass(system)} \vec{V}\, dm = \int_{\forall(system)} \vec{V}\rho\, d\forall \tag{2.9}$$

และ resultant force, $\vec{F}$, ประกอบด้วย surface force และ body force ที่กระทำกับระบบ

$$\vec{F} = \vec{F}_S + \vec{F}_B \tag{2.10}$$

นำ system and control volume formulations มาประยุกต์ใช้ คือ

$$\left.\frac{dN}{dt}\right)_{system} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{cv} \eta\rho\, d\forall + \int_{cs} \eta\rho \vec{V}\, d\vec{A} \tag{2.11}$$

ซึ่ง

$$N_{system} = \int_{mass(system)} \eta\, dm = \int_{\forall(system)} \eta\rho\, d\forall \tag{2.12}$$

กฎข้อที่สองของนิวตันใน Control volume formulation เราตั้งให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N=\vec{P} \quad \text{และ} \quad \eta=\vec{V} \tag{2.13}$$

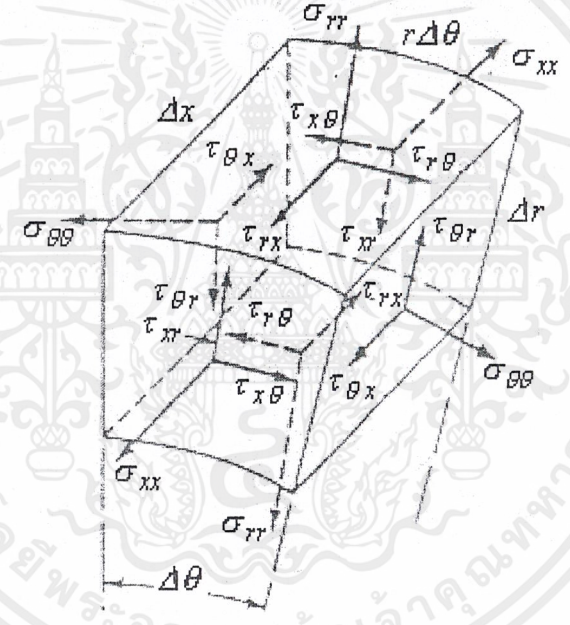
แทนลงในสมการที่ 2.11 เราจะได้

$$\left.\frac{d\vec{P}}{dt}\right)_{system}=\frac{\partial}{\partial t}\int_{cv}\vec{V}\rho\,dV+\int_{cs}\vec{V}\rho\vec{V}\cdot d\vec{A}=F_B+F_S \tag{2.14}$$

และใช้กฎข้อที่สองของนิวตันมาประยุกต์ใช้คือ

Sum of surface and		Rate of momen-		Net rate of
body force acting	=	tum increase	+	momentum flux
on fluid within volume		in volume		out of volume

พิจารณาปริมาตรควบคุมที่ถูกตัดออกจากระบบดังรูปที่ 2.2 แสดงแรงที่กระทำต่อปริมาตร $dV=rdrd\theta\,dz$



รูปที่ 2.2 แสดงแรงที่กระทำต่อปริมาตรควบคุม

- **ทิศทาง r (r – direction)**

พิจารณาแรงที่กระทำกับของไหลในปริมาตร $dV=rdrd\theta\,dz$ โดยการกระจาย Taylor Series

$$\begin{aligned}F_{sr}=\ & \left(\sigma_{rr}+\frac{\partial\sigma_{rr}}{\partial r}\frac{dr}{2}\right)\left(r+\frac{dr}{2}\right)d\theta dx && -\left(\sigma_{rr}-\frac{\partial\sigma_{rr}}{\partial r}\frac{dr}{2}\right)\left(r-\frac{dr}{2}\right)d\theta dx\\ & +\left(\tau_{r\theta}+\frac{\partial\tau_{r\theta}}{\partial\theta}\frac{d\theta}{2}\right)drdx && -\left(\tau_{r\theta}-\frac{\partial\tau_{r\theta}}{\partial\theta}\frac{d\theta}{2}\right)drdx\\ & +\left(\tau_{rx}+\frac{\partial\tau_{rx}}{\partial x}\frac{dx}{2}\right)rd\theta dx && -\left(\tau_{rx}-\frac{\partial\tau_{rx}}{\partial x}\frac{dx}{2}\right)rd\theta dx\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \left(\frac{\sigma_{rr}}{r}+\frac{\partial\sigma_{rr}}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\tau_{r\theta}}{\partial\theta}+\frac{\partial\tau_{rx}}{\partial x}\right)rdrd\theta dx$$

$$= \left(\frac{1}{r}\frac{\partial(r\sigma_{rr})}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\tau_{r\theta}}{\partial\theta}+\frac{\partial\tau_{rx}}{\partial x}\right)rdrd\theta dx$$

จากสมการที่ 2.10 sum of surface force และ body force ที่ได้คือ

$$F_r = F_{Br}+F_{Sr} = \left(\frac{1}{r}\frac{\partial(r\sigma_{rr})}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\tau_{r\theta}}{\partial\theta}+\frac{\partial\tau_{rx}}{\partial x}\right)rdrd\theta dx$$

ซึ่ง $F_{Br}=0$ ในทิศทาง r แต่เนื่องจากมีแรงที่เกี่ยวข้องจาก θ - direction ด้วยคือ $-\frac{\sigma_{\theta\theta}}{r}$ จะได้

$$F_r = F_{Br}+F_{Sr} = \left(\frac{1}{r}\frac{\partial\sigma_{rr}}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial\tau_{r\theta}}{\partial\theta}+\frac{\partial\tau_{rx}}{\partial x}+\frac{\sigma_{rr}-\sigma_{\theta\theta}}{r}\right)rdrd\theta dx \qquad (2.15)$$

Normal Stress และ Shear Stress ในระบบพิกัดทรงกระบอกของสมการการเคลื่อนที่คือ

$$\sigma_{rr} = -p+2\mu\frac{\partial v}{\partial r} \qquad \tau_{rx} = \mu\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial r}\right)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = -p+2\mu\left(\frac{1}{r}\frac{\partial w}{\partial\theta}+\frac{V}{r}\right) \qquad \tau_{r\theta} = \mu\left(r\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{w}{r}\right)+\frac{1}{r}\frac{\partial v}{\partial\theta}\right)$$

แทนลงในสมการที่ 2.15 และจัดรูปโดยพิจารณา 2 มิติ (ทิศ r-x) จะได้สมการเป็น

$$F_r = \left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[2\mu\frac{\partial v}{\partial r}\right]+\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial r}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]-\frac{\partial p}{\partial r}-2\mu\frac{v}{r^2}\right)rdrd\theta dx \qquad (2.16)$$

พิจารณาโมเมนตัมโดยการกระจาย Taylor Series ในสมการ 2.14 net rate of momentum flux out of volume คือ

$$= \left(\rho vv+\frac{\partial}{\partial r}(\rho vv)\frac{dr}{2}\right)\left(r+\frac{dr}{2}\right)d\theta dx-\left(\rho vv-\frac{\partial}{\partial r}(\rho vv)\frac{dr}{2}\right)\left(r-\frac{dr}{2}\right)d\theta dx$$

$$+ \left(\rho vw+\frac{\partial}{\partial\theta}(\rho vw)\frac{d\theta}{2}\right)drdx - \left(\rho vw-\frac{\partial}{\partial\theta}(\rho vw)\frac{d\theta}{2}\right)drdx$$

$$+ \left(\rho vu+\frac{\partial}{\partial x}(\rho vu)\frac{dx}{2}\right)rd\theta dx - \left(\rho vu-\frac{\partial}{\partial x}(\rho vu)\frac{dx}{2}\right)rd\theta dx$$

$$= \left[\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\rho vv)+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial\theta}(\rho vw)+\frac{\partial}{\partial x}(\rho vu)\right]rdrd\theta dx \qquad (2.17)$$

และ rate of momentum increase in volume คือ

$$= \frac{\partial}{\partial t}(\rho v)rdrd\theta dx \qquad (2.18)$$

จากกฎข้อที่สองที่กล่าวแล้วนำสมการที่ (2.16), (2.17), (2.18) แทนลง จะได้

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t}\frac{\partial(\rho vu)}{\partial x}+\frac{\partial(r\rho vv)}{r\partial r} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[2\mu\frac{\partial v}{\partial r}\right]+\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial r}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]-\frac{\partial p}{\partial r}-2\mu\frac{v}{r^2} \qquad (2.19)$$

- **ทิศทาง x (x – direction)**

พิจารณาแรงที่กระทำกับของไหลในปริมาตร $dV = rdrd\theta dz$ โดยการกระจาย Taylor Series

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_{sx} = \left(\sigma_{xx} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x}\frac{dx}{2}\right) r dr d\theta - \left(\sigma_{xx} - \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x}\frac{dx}{2}\right) r dr d\theta$$
$$+ \left(\tau_{x\theta} + \frac{\partial \tau_{x\theta}}{\partial \theta}\frac{d\theta}{2}\right) dr dx - \left(\tau_{x\theta} - \frac{\partial \tau_{x\theta}}{\partial \theta}\frac{d\theta}{2}\right) dr dx$$
$$+ \left(\tau_{rx} + \frac{\partial \tau_{rx}}{\partial r}\frac{dr}{2}\right)\left(r + \frac{dr}{2}\right) d\theta dx - \left(\tau_{rx} - \frac{\partial \tau_{rx}}{\partial r}\frac{dr}{2}\right)\left(r - \frac{dr}{2}\right) d\theta dx$$
$$= \left(\frac{1}{r}\frac{\partial (r\tau_{rx})}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial \tau_{\theta x}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x}\right) r dr d\theta dx$$

จากสมการที่ 2.10 sum of surface force และ body force ที่ได้คือ

$$F_x = F_{Bx} + F_{Sx} = \left(\frac{1}{r}\frac{\partial (r\sigma_{rr})}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{rx}}{\partial x}\right) r dr d\theta dx \qquad (2.20)$$

ซึ่ง $F_{Br} = 0$ ในทิศทาง x (ซึ่งจะคิดผลของ Buoyancy Force ที่มีผลมากกว่า Body Force) Normal Stress และ Shear Stress ในระบบพิกัดทรงกระบอกของสมการการเคลื่อนที่คือ

$$\sigma_{xx} = -p + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \qquad \tau_{rx} = \mu\left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial r}\right)$$

แทนลงในสมการที่ 2.20 และจัดรูปโดยพิจารณา 2 มิติ (ทิศ r-x) จะได้สมการเป็น

$$F_r = \left(\frac{\partial}{\partial x}\left[2\mu \frac{\partial u}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{r\partial r}\left[\mu r\left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)\right] - \frac{\partial p}{\partial x}\right) r dr d\theta dx \qquad (2.21)$$

พิจารณาโมเมนตัมโดยการกระจาย Taylor Series ในสมการ 2.14 net rate of momentum flux out of volume คือ

$$= \left(\rho uv + \frac{\partial}{\partial r}(\rho uv)\frac{dr}{2}\right)\left(r + \frac{dr}{2}\right) d\theta dx - \left(\rho uv - \frac{\partial}{\partial r}(\rho uv)\frac{dr}{2}\right)\left(r - \frac{dr}{2}\right) d\theta dx$$
$$+ \left(\rho uw + \frac{\partial}{\partial \theta}(\rho uw)\frac{d\theta}{2}\right) dr dx - \left(\rho uw - \frac{\partial}{\partial \theta}(\rho uw)\frac{d\theta}{2}\right) dr dx$$
$$+ \left(\rho uu + \frac{\partial}{\partial x}(\rho uu)\frac{dx}{2}\right) r d\theta dx - \left(\rho uu - \frac{\partial}{\partial x}(\rho uu)\frac{dx}{2}\right) r d\theta dx$$
$$= \left[\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\rho uv) + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial \theta}(\rho uw) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho uu)\right] r dr d\theta dx \qquad (2.22)$$

และ rate of momentum increase in volume คือ

$$= \frac{\partial}{\partial t}(\rho v) r dr d\theta dx \qquad (2.23)$$

จากกฎข้อที่สองที่กล่าวแล้วนำสมการที่ 2.21, 2.22, 2.23 และเพิ่มเทอมของ Buoyancy Force แทนลง จะได้

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t}\frac{\partial(\rho uu)}{\partial x} + \frac{\partial(r\rho uv)}{r\partial r} = \frac{\partial}{\partial x}\left[2\mu \frac{\partial u}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{r\partial r}\left[\mu r\left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)\right] - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g \beta \Delta t \qquad (2.24)$$

ซึ่ง $\rho g \beta \Delta t$ เป็นเทอมที่เกิดจาก Buoyancy Force

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

สมการพลังงาน (Energy Equation) หาได้จาก *กฎข้อที่1 ทางเทอร์โมไดนามิกส์* ซึ่งมีนิยามว่า

Rate of increase of energy of fluid particle	=	Net rate of heat added to fluid particle	+	Net rate of work done on fluid particle

ก่อนอื่นจะต้องหาสมการสำหรับ rate of increase of energy ของอนุภาคของไหลต่อหน่วยปริมาตร คือ

$$\rho \frac{DE}{Dt}$$

- งานที่ถูกกระทำด้วยแรงที่ผิว (Work done by surface farces)

อัตราของงานที่ถูกกระทำบนอนุภาคของไหลในส่วนหนึ่งด้วยแรงที่ผิวเท่ากับผลคูณของแรงและความเร็วที่ประกอบในทิศทางของแรง ในทิศทาง x แรงที่ถูกกระทำจะได้

$$\left[\left(pu-\frac{\partial(pu)}{\partial x}\frac{\delta x}{2}\right)-\left(\sigma_{xx}u-\frac{\partial(\sigma_{xx}u)}{\partial x}\frac{\delta x}{2}\right)\right.$$
$$\left.-\left(pu+\frac{\partial(pu)}{\partial x}\frac{\delta x}{2}\right)+\left(\sigma_{xx}u+\frac{\partial(\sigma_{xx}u)}{\partial x}\frac{\delta x}{2}\right)\right]r\delta\theta\delta r$$
$$+\left[-\left(\tau_{rx}u-\frac{\partial(\tau_{rx}u)}{\partial r}\frac{\partial r}{2}\right)\left(r-\frac{\partial r}{2}\right)+\left(\tau_{rx}u+\frac{\partial(\tau_{rx}u)}{\partial r}\frac{\partial r}{2}\right)\left(r+\frac{\partial r}{2}\right)\right]\delta\theta\delta x$$
$$+\left[-\left(\tau_{\theta x}u-\frac{\partial(\tau_{\theta x}u)}{\partial\theta}\frac{\partial\theta}{2}\right)+\left(\tau_{\theta x}u+\frac{\partial(\tau_{\theta x}u)}{\partial\theta}\frac{\partial\theta}{2}\right)\right]\delta r\delta x$$

อัตราสุทธิของงานที่ถูกกระทำด้วยแรงที่ผิวในทิศทาง x จะเป็น

$$\left[\frac{\partial[u(-p+\sigma_{xx})]}{\partial x}+\frac{\partial(ru\tau_{rx})}{r\partial r}+\frac{\partial(u\tau_{\theta x})}{r\partial\theta}\right]r\delta r\delta\theta\delta x$$

ส่วนในทิศทาง y และ z หาได้ด้วยกระบวนการที่คล้ายกันดังกล่าว จะได้

$$\left[\frac{\partial(v\tau_{xr})}{\partial x}+\frac{\partial[rv(-p+\sigma_{rr})]}{r\partial r}+\frac{\partial(v\tau_{\theta r})}{r\partial\theta}\right]r\delta r\delta\theta\delta x$$

และ

$$\left[\frac{\partial(w\tau_{x\theta})}{\partial x}+\frac{\partial(rw\tau_{r\theta})}{r\partial r}+\frac{\partial[w(-p+\sigma_{\theta\theta})]}{r\partial\theta}\right]r\delta r\delta\theta\delta x$$

ถ้าให้

$$-\frac{\partial(up)}{\partial x}-\frac{\partial(rvp)}{r\partial r}-\frac{\partial(wp)}{r\partial\theta}=-div(p\bar{u})$$

ดังนั้น อัตราโดยรวมของงานที่ถูกกระทำบนอนุภาคของไหลด้วยแรงที่ผิว คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$[-div(p\vec{u})]+\left[\frac{\partial(u\sigma_{xx})}{\partial x}+\frac{\partial(ru\tau_{rx})}{r\partial r}+\frac{\partial(u\tau_{\theta x})}{r\partial\theta}+\frac{\partial(v\tau_{xr})}{\partial x}+\frac{\partial(rv\sigma_{rr})}{r\partial r}+\frac{\partial(v\tau_{\theta r})}{r\partial\theta}\right.$$
$$\left.+\frac{\partial(w\tau_{x\theta})}{\partial x}+\frac{\partial(rw\tau_{r\theta})}{r\partial r}+\frac{\partial(w\sigma_{\theta\theta})}{r\partial\theta}\right]$$

- ฟลักซ์พลังงานในการนำความร้อน (Energy flux due to heat conduction)

เวกเตอร์ฟลักซ์ความร้อน $\vec{q}$ ถูกแสดงดังรูปที่ 2.3

อัตราสุทธิของการถ่ายเทความร้อนผ่านอนุภาคของไหลให้ทิศทาง x คือ

$$\left[\left(q_x-\frac{\partial q_x}{\partial x}\frac{\delta x}{2}\right)-\left(q_x+\frac{\partial q_x}{\partial x}\frac{\delta x}{2}\right)\right]r\delta r\delta\theta=-\frac{\partial q_x}{\partial x}r\delta r\delta\theta\delta x \qquad (2.25)$$

ในทางเดียวกัน อัตราสุทธิของการถ่ายเทความร้อนในทิศทาง r และ θ คือ

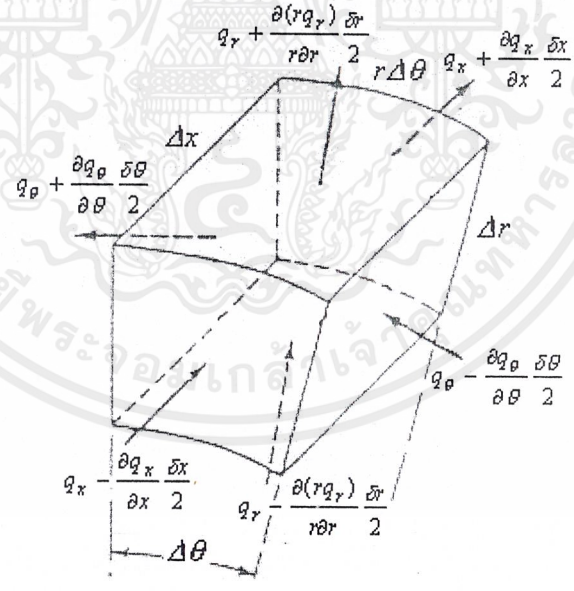
$$-\frac{\partial(rq_r)}{r\partial r}r\delta r\delta\theta\delta x \quad \text{และ} \quad -\frac{\partial q_\theta}{r\partial\theta}r\delta r\delta\theta\delta x$$

อัตราโดยรวมของความร้อนที่ผ่านอนุภาคของไหลต่อหน่วยปริมาตร จะเป็น

$$-\frac{\partial q_x}{\partial x}-\frac{\partial(rq_r)}{r\partial r}-\frac{\partial q_\theta}{r\partial\theta}=-div\,\vec{q}$$

จากกฎฟูเรียร์ (Fourier's law) ของการนำความร้อน คือ

$$q_x=-k\frac{\partial T}{\partial x} \qquad q_r=-k\frac{\partial(rT)}{r\partial r} \qquad q_\theta=-k\frac{\partial T}{r\partial\theta}$$



รูปที่ 2.3 แสดงทิศทางการไหลของเวกเตอร์ฟลักซ์ความร้อน

หรือเขียนในรูปของเวกเตอร์

$$\vec{q}=k\,grad\,T$$

ดังนั้นอัตราความร้อนที่เพิ่มขึ้นในอนุภาคของไหลด้วยการนำความร้อน (rate of heat addition to the fluid particle due to heat conduction) คือ

$$-div\,\vec{q}=-div\,(k\,grad\,T) \qquad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมการพลังงาน (Energy Equation)

นำสิ่งที่ได้จากที่กล่าวข้างต้นไปแทนลงในกฎ จะได้

$$\rho\frac{DE}{Dt}=\left[-div(p\vec{u})\right]+\left[\frac{\partial(u\sigma_{xx})}{\partial x}+\frac{\partial(ru\tau_{rx})}{r\partial r}+\frac{\partial(u\tau_{\theta x})}{r\partial\theta}+\frac{\partial(v\tau_{xr})}{\partial x}+\frac{\partial(rv\sigma_{rr})}{r\partial r}+\frac{\partial(v\tau_{\theta r})}{r\partial\theta}+\frac{\partial(w\tau_{x\theta})}{\partial x}+\frac{\partial(rw\tau_{r\theta})}{r\partial r}+\frac{\partial(w\sigma_{\theta\theta})}{r\partial\theta}\right]+div(k\,grad\,T) \tag{2.27}$$

หรือเขียนในรูปของพลังงานภายใน (internal energy) จะได้

$$\rho\frac{Di}{Dt}=\left[-p\,div\,\vec{u}\right]+\left[\sigma_{xx}\frac{\partial u}{\partial x}+\tau_{rx}\frac{\partial(ru)}{r\partial r}+\tau_{\theta x}\frac{\partial u}{r\partial\theta}+\tau_{xr}\frac{\partial v}{\partial x}+\sigma_{rr}\frac{\partial(rv)}{r\partial r}+\tau_{\theta r}\frac{\partial v}{r\partial\theta}+\tau_{x\theta}\frac{\partial w}{\partial x}+\tau_{r\theta}\frac{\partial(rw)}{r\partial r}+\sigma_{\theta\theta}\frac{\partial w}{r\partial\theta}\right]+div(k\,grad\,T) \tag{2.28}$$

หรือ

$$\rho\frac{Di}{Dt}=\left[-p\,div\,\vec{u}\right]+div(k\,grad\,T)+\phi \tag{2.29}$$

โดย

$$\phi=\left[\sigma_{xx}\frac{\partial u}{\partial x}+\tau_{rx}\frac{\partial(ru)}{r\partial r}+\tau_{\theta x}\frac{\partial u}{r\partial\theta}+\tau_{xr}\frac{\partial v}{\partial x}+\sigma_{rr}\frac{\partial(rv)}{r\partial r}+\tau_{\theta r}\frac{\partial v}{r\partial\theta}+\tau_{x\theta}\frac{\partial w}{\partial x}+\tau_{r\theta}\frac{\partial(rw)}{r\partial r}+\sigma_{\theta\theta}\frac{\partial w}{r\partial\theta}\right]$$

ในกรณีของของไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible Fluid) โดย $div\,\vec{u}=0$ และ $i=cT$,

c คือค่า specific heat และที่ความเร็วต่ำมากๆ นั้น $\phi=0$ ด้วย จะได้สมการ

$$\rho c\frac{DT}{Dt}=div\,(k\,grad\,T) \tag{2.30}$$

ในการศึกษานี้พิจารณา 2 มิติ (r-x direction) สามารถกระจายเทอม ได้ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho cT)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho cuT)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho crvT)}{r\partial r}=\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{r\partial r}\left(kr\frac{\partial T}{\partial r}\right) \tag{2.31}$$

2.5 สรุปสมการพื้นฐานทั้งหมดที่ได้ในบทนี้

จากสมการที่ (2.7), (2.19), (2.24) และ (2.31)

1) สมการทรงมวล (Conservation of Mass)

$$\frac{\partial\rho}{\partial t}+\frac{\partial\rho u}{\partial x}+\frac{\partial(r\rho v)}{r\partial r}=0$$

2) สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum)

ทิศทางแกน r

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t}\frac{\partial(\rho vu)}{\partial x}+\frac{\partial(r\rho vv)}{r\partial r}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[2\mu\frac{\partial v}{\partial r}\right]+\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial r}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]-\frac{\partial p}{\partial r}-2\mu\frac{v}{r^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางแกน x

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t}\frac{\partial(\rho uu)}{\partial x}+\frac{\partial(r\rho uv)}{r\partial r}=\frac{\partial}{\partial x}\left[2\mu\frac{\partial u}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{r\partial r}\left[\mu r\left(\frac{\partial u}{\partial r}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]-\frac{\partial p}{\partial x}+\rho g\beta\Delta t$$

3) สมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

$$\frac{\partial(\rho cT)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho cuT)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho crvT)}{r\partial r}=\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{r\partial r}\left(kr\frac{\partial T}{\partial r}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
รูปแบบทั่วไปของสมการ

สมการอนุพันธ์ย่อยในการไหล(the governing partial differential equations)แบบ 2 มิติ มีรูปแบบของสมการทั่วไป ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u\phi)}{\partial x}+\frac{\partial(r\rho v\phi)}{r\partial r}=\frac{\partial}{\partial x}\left[\Gamma_{\phi x}\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)\right]+\frac{\partial}{r\partial r}\left[r\Gamma_{\phi r}\left(\frac{\partial\phi}{\partial r}\right)\right]+S_\phi \qquad (3.1)$$

โดย

$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t}$ เป็นรูปของสภาวะไม่คงตัว(Unsteady Term)

$\frac{\partial(\rho u\phi)}{\partial x}+\frac{\partial(r\rho v\phi)}{r\partial r}$ เป็นรูปที่เกี่ยวข้องกับการพา(Convection Term)

$\frac{\partial}{\partial x}\left[\Gamma_{\phi x}\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)\right]+\frac{\partial}{r\partial r}\left[r\Gamma_{\phi r}\left(\frac{\partial\phi}{\partial r}\right)\right]$ เป็นรูปที่เกี่ยวข้องกับการแพร่(Diffusion Term)

S_ϕ เป็นรูปแหล่งกำเนิด(Source Term)

- <u>สำหรับกฎทรงมวล (Conservation of Mass)</u>

$\phi=1$

$\Gamma_{\phi x}=0$ หรือ $\frac{\partial}{\partial x}\left[\Gamma_{\phi x}\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)\right]=0$

$\Gamma_{\phi r}=0$ หรือ $\frac{\partial}{r\partial r}\left[r\Gamma_{\phi r}\left(\frac{\partial\phi}{\partial r}\right)\right]=0$

$S_\phi=S_u+S_p\phi_p=0$

- <u>สำหรับกฎอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum)</u>

ในทิศทาง r

$\phi=v$

$\Gamma_{\phi x}=\mu$ หรือ $\frac{\partial}{\partial x}\left[\Gamma_{\phi x}\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)\right]=\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]$

$\Gamma_{\phi r}=\mu$ หรือ $\frac{\partial}{r\partial r}\left[r\Gamma_{\phi r}\left(\frac{\partial\phi}{\partial r}\right)\right]=\frac{\partial}{r\partial r}\left[r\mu\left(\frac{\partial v}{\partial r}\right)\right]$

$S_\phi=S_u+S_p\phi_p=\frac{\partial}{r\partial r}\left[\mu\left(\frac{\partial v}{\partial r}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial r}\right)\right]-\frac{\partial p}{\partial r}-2\frac{\mu}{r^2}v$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทิศทาง x

$\phi = u$

$\Gamma_{\phi x} = \mu$ หรือ $\frac{\partial}{\partial x}\left[\Gamma_{\phi x}\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)\right] = \frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\right]$

$\Gamma_{\phi r} = \mu$ หรือ $\frac{\partial}{r\partial r}\left[r\Gamma_{\phi r}\left(\frac{\partial \phi}{\partial r}\right)\right] = \frac{\partial}{r\partial r}\left[r\mu\left(\frac{\partial u}{\partial r}\right)\right]$

$S_\phi = S_u + S_p\phi_p = \frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\right] + \frac{\partial}{r\partial r}\left[r\mu\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right] - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g\beta\Delta T$

- <u>สำหรับกฎอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)</u>

$\phi = T$

$\Gamma_{\phi x} = k$ หรือ $\frac{\partial}{\partial x}\left[\Gamma_{\phi x}\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)\right] = \frac{\partial}{\partial x}\left[k\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)\right]$

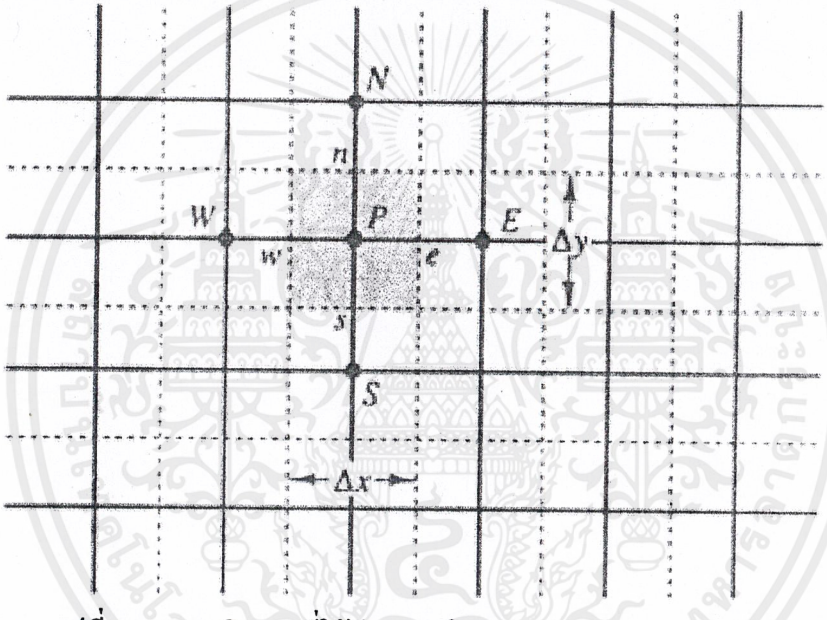
$\Gamma_{\phi r} = k$ หรือ $\frac{\partial}{r\partial r}\left[r\Gamma_{\phi r}\left(\frac{\partial \phi}{\partial r}\right)\right] = \frac{\partial}{r\partial r}\left[rk\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)\right]$

$S_\phi = S_u + S_p\phi_p = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การใช้วิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขไฟไนต์วอลุ่ม

ต่อไปเป็นการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยใช้วิธีไฟไนต์วอลุ่ม (หรือปริมาตรควบคุม) จากสมการทั่วไปในบทที่ 3 ซึ่งจะใช้วิธีการ Central Differencing scheme จะถูกใช้ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการไหลในส่วนที่มีการพาเกิดขึ้น สมการแสดงการไหลที่ไม่คงตัวในรูปแบบที่ไม่ต่อเนื่อง (The discretised unsteady equation) จะถูกแสดงโดยดูทิศทางจากรูปที่ 4.1 ประกอบ



รูปที่ 4.1 แสดงทิศทางที่ใช้ประกอบใน the discretised equation

จากสมการที่ (3.1) ในบทที่ 3 จะได้

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u\phi)}{\partial x}+\frac{\partial(r\rho v\phi)}{r\partial r}=\frac{\partial}{\partial x}\left[\Gamma_{\phi x}\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)\right]+\frac{\partial}{r\partial r}\left[r\Gamma_{\phi r}\left(\frac{\partial\phi}{\partial r}\right)\right]+S_\phi \qquad (4.1)$$

วิเคราะห์วิธีเชิงตัวเลขโดยใช้รูปแบบของปริมาตรควบคุม (Control Volume) โดย อินทิเกรตเทียบเวลา และปริมาตรควบคุม จะได้

$$\int_{cv}\int_t^{t+\Delta t}(\partial(\rho\phi)/\partial t)\,dtdV+\int_{cv}\int_t^{t+\Delta t}(\partial(\rho u\phi)/\partial x)\,dtdV+\int_{cv}\int_t^{t+\Delta t}(\partial(r\rho v\phi)/r\partial r)\,dtdV$$
$$=\int_{cv}\int_t^{t+\Delta t}(\partial[\Gamma_{\phi x}(\partial\phi/\partial x)]/\partial x)\,dtdV+\int_{cv}\int_t^{t+\Delta t}(\partial[r\Gamma_{\phi r}(\partial\phi/\partial r)]/r\partial r)\,dtdV$$
$$+\int_{cv}\int_t^{t+\Delta t}(S_\phi)\,dtdV \qquad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Term 1 เป็นส่วนของสภาวะไม่คงตัว (Unsteady Term)

$$\int_{cv}\int_{t}^{t+\Delta t}(\partial(\rho\phi)/\partial t)\,dtdV=[(\rho_P\phi_P)-(\rho_P\phi_P)^o]\Delta V$$

เมื่อ superscript *0* คือ จุดอ้างอิงของเวลา *t* ในกรณีของไหลอัดตัวไม่ได้ (incompressible)

$\rho_P=\rho_P^o$

$$\int_{cv}\int_{t}^{t+\Delta t}(\partial(\rho\phi)/\partial t)\,dtdV=\rho(\phi_P-\phi_P^o)\Delta V \qquad (4.3)$$

$$\rho^o(\phi_P-\phi_P^o)\Delta V$$

Term 4 และ 5 เป็นส่วนของการนำ (Diffusion Term)

$$\int_{cv}\int_{t}^{t+\Delta t}(\partial[\Gamma_{\phi x}(\partial\phi/\partial x)]/\partial x)\,dtdV+\int_{cv}\int_{t}^{t+\Delta t}(\partial[r\Gamma_{\phi r}(\partial\phi/\partial r)]/r\partial r)\,dtdV$$

$$=\int_{t}^{t+\Delta t}(\partial[\int_{A}\Gamma_{\phi x}(\partial\phi/\partial x)\,dA_x])\,dt+\int_{t}^{t+\Delta t}(\partial[\int_{A}\Gamma_{\phi r}(\partial\phi/\partial r)\,dA_r])\,dt$$

$$=\int_{t}^{t+\Delta t}(\partial[\Gamma_{\phi x}A_x(\partial\phi/\partial x)])\,dt+\int_{t}^{t+\Delta t}(\partial[\Gamma_{\phi r}A_r(\partial\phi/\partial r)])\,dt$$

$$=\int_{t}^{t+\Delta t}([\Gamma_{\phi x}A_x(\partial\phi/\partial x)]_e-[\Gamma_{\phi x}A_x(\partial\phi/\partial x)]_w)\,dt$$

$$+\int_{t}^{t+\Delta t}([\Gamma_{\phi r}A_r(\partial\phi/\partial r)]_n-[\Gamma_{\phi r}A_r(\partial\phi/\partial r)]_s)\,dt$$

$$=\int_{t}^{t+\Delta t}([\Gamma_{\phi e}A_e(\partial\phi/\partial x)_e]-[\Gamma_{\phi w}A_w(\partial\phi/\partial x)_w])\,dt$$

$$+\int_{t}^{t+\Delta t}([\Gamma_{\phi n}A_n(\partial\phi/\partial r)_n]-[\Gamma_{\phi s}A_s(\partial\phi/\partial r)_s])\,dt$$

$$=\int_{t}^{t+\Delta t}([\Gamma_{\phi e}A_e(\phi_E-\phi_P)/\delta x_{PE}]-[\Gamma_{\phi w}A_w(\phi_P-\phi_W)/\delta x_{WP}])\,dt$$

$$+\int_{t}^{t+\Delta t}([\Gamma_{\phi n}A_n(\phi_N-\phi_P)/\delta x_{PN}]-[\Gamma_{\phi s}A_s(\phi_P-\phi_S)/\delta x_{SP}])\,dt$$

จาก $\int_{t}^{t+\Delta t}(\phi)\,dt=[\theta(\phi)+(1-\theta)(\phi)^o]\Delta t$

ดังนั้นจะได้

$$=\{\theta([\Gamma_{\phi e}A_e(\phi_E-\phi_P)/\delta x_{PE}]-[\Gamma_{\phi w}A_w(\phi_P-\phi_W)/\delta x_{WP}])$$

$$+(1-\theta)([\Gamma_{\phi e}A_e(\phi_E-\phi_P)/\delta x_{PE}]-[\Gamma_{\phi w}A_w(\phi_P-\phi_W)/\delta x_{WP}])\}\Delta t$$

$$+\{\theta([\Gamma_{\phi n}A_n(\phi_N-\phi_P)/\delta x_{PN}]-[\Gamma_{\phi s}A_s(\phi_P-\phi_S)/\delta x_{SP}])$$

$$+(1-\theta)([\Gamma_{\phi n}A_n(\phi_N-\phi_P)/\delta x_{PN}]-[\Gamma_{\phi s}A_s(\phi_P-\phi_S)/\delta x_{SP}])\}\Delta t$$

โดยที่ $D=\Gamma_\phi/\delta x=\Gamma_\phi/\delta r$ จัดสมการใหม่จะได้

$$=\{\theta([D_eA_e(\phi_E-\phi_P)]-[D_wA_w(\phi_P-\phi_W)])$$

$$+(1-\theta)([D_eA_e(\phi_E-\phi_P)]-[D_wA_w(\phi_P-\phi_W)])\}\Delta t$$

$$+\{\theta([D_nA_n(\phi_N-\phi_P)]-[D_sA_s(\phi_P-\phi_S)]) \qquad (4.4)$$

$$+(1-\theta)([D_nA_n(\phi_N-\phi_P)]-[D_sA_s(\phi_P-\phi_S)])\}\Delta t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Term 6 เป็นส่วนของแหล่งกำเนิด (Source Term)

$$\int_{cv}\int_{t}^{t+\Delta t}(S_\phi)\,dtdV$$
$$=\int_{t}^{t+\Delta t}(S_\phi)\,\Delta V dt$$
$$=S_\phi \Delta V \Delta t$$
$$=(S_U + S_P\phi_P)\Delta t \qquad (4.5)$$

โดยที่ $S_U = S_u \Delta V, S_P = S_p \Delta V$

Term 2 และ 3 เป็นส่วนของการพา (Convection Term)

$$\int_{cv}\int_{t}^{t+\Delta t}(\partial(\rho u\phi)/\partial x)\,dtdV + \int_{cv}\int_{t}^{t+\Delta t}(\partial(r\rho v\phi)/r\partial r)\,dtdV$$
$$=\int_{t}^{t+\Delta t}(\partial[\int_{A}(\rho u\phi)\,dA_x])\,dt + \int_{t}^{t+\Delta t}(\partial[\int_{A}(\rho v\phi)dA_r)\,dt$$
$$=\int_{t}^{t+\Delta t}[(\rho u\phi A)_e - (\rho u\phi A)_w]\,dt + \int_{t}^{t+\Delta t}[(\rho v\phi A)_n - (\rho v\phi A)_s]\,dt$$

โดยที่ $F = \rho u = \rho v$ จะได้

$$=\int_{t}^{t+\Delta t}(F_e\phi_e A_e - F_w\phi_w A_w)\,dt + \int_{t}^{t+\Delta t}(F_n\phi_n A_n - F_s\phi_s A_s)\,dt$$

หมายเหตุ ϕ_e, ϕ_w, ϕ_n และ ϕ_s ที่พบในสมการข้างต้นนั้นจะต้องเป็นฟังก์ชันที่แสดงในรูป ϕ_E, ϕ_W, ϕ_N และ ϕ_S ดังนั้น จะทำการประมาณค่าโดยใช้วิธี Central Differencing Scheme โดยกำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$\phi_e = (\phi_E + \phi_P)/2 \quad ; \quad \phi_w = (\phi_P + \phi_W)/2$$
$$\phi_n = (\phi_N + \phi_P)/2 \quad ; \quad \phi_s = (\phi_P + \phi_S)/2$$

นำค่าที่ได้แทนลงในสมการดังกล่าว ดังนั้นจะได้

$$=\int_{t}^{t+\Delta t}(1/2)[F_e A_e(\phi_E + \phi_P) - F_w A_w(\phi_P + \phi_W)]dt$$
$$+\int_{t}^{t+\Delta t}(1/2)[F_n A_n(\phi_N + \phi_P) - F_s A_s(\phi_P + \phi_S)]dt$$

จาก $\int_{t}^{t+\Delta t}(\phi)\,dt = [\theta(\phi) + (1-\theta)(\phi)^o]\Delta t$ จะได้

$$=\{(1/2)\theta[F_e A_e(\phi_E + \phi_P) - F_w A_w(\phi_P + \phi_W)]$$
$$+(1/2)(1-\theta)[F_e A_e(\phi_E^o + \phi_P^o) - F_w A_w(\phi_P^o + \phi_W^o)]\}\Delta t$$
$$+\{(1/2)\theta[F_n A_n(\phi_N + \phi_P) - F_s A_s(\phi_P + \phi_S)]$$
$$+(1/2)(1-\theta)[F_n A_n(\phi_N^o + \phi_P^o) - F_s A_s(\phi_P^o + \phi_S^o)]\}\Delta t$$

โดยที่ $A_e = A_w = A_n = A_s = A$ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

36833

$$
\begin{aligned}
&=\{(1/2)A\theta[F_e(\phi_E+\phi_P)-F_w(\phi_P+\phi_W)]\\
&\quad+(1/2)A(1-\theta)[F_e(\phi_E^o+\phi_P^o)-F_w(\phi_P^o+\phi_W^o)]\}\Delta t\\
&\quad+\{(1/2)A\theta[F_n(\phi_N+\phi_P)-F_s(\phi_P+\phi_S)]\\
&\quad+(1/2)A(1-\theta)[F_n(\phi_N^o+\phi_P^o)-F_s(\phi_P^o+\phi_S^o)]\}\Delta t
\end{aligned}
\tag{4.6}
$$

นำสมการที่ (4.3), (4.4), (4.5) และ (4.6) แทนลงในสมการที่ (4.2) แล้วหาด้วย Δt จะได้

$$
\begin{aligned}
&\rho^o(\phi_P-\phi_P^o)\Delta V/\Delta t+\{(1/2)A\theta[F_e(\phi_E+\phi_P)-F_w(\phi_P+\phi_W)]\\
&+(1/2)A(1-\theta)[F_e(\phi_E^o+\phi_P^o)-F_w(\phi_P^o+\phi_W^o)]\}\\
&+\{(1/2)A\theta[F_n(\phi_N+\phi_P)-F_s(\phi_P+\phi_S)]\\
&+(1/2)A(1-\theta)[F_n(\phi_N^o+\phi_P^o)-F_s(\phi_P^o+\phi_S^o)]\}\\
&\qquad=\quad\{\theta([D_eA_e(\phi_E-\phi_P)]-[D_wA_w(\phi_P-\phi_W)])\\
&\qquad\quad+(1-\theta)([D_eA_e(\phi_E-\phi_P)]-[D_wA_w(\phi_P-\phi_W)])\}\\
&\qquad\quad+\{\theta([D_nA_n(\phi_N-\phi_P)]-[D_sA_s(\phi_P-\phi_S)])\\
&\qquad\quad+(1-\theta)([D_nA_n(\phi_N-\phi_P)]-[D_sA_s(\phi_P-\phi_S)])\}+(S_U+S_P\phi_P)
\end{aligned}
\tag{4.7}
$$

ใช้วิธี Implicit Scheme ($\theta=1$) แทนลงในสมการที่ (4.7) จะได้

$$
\begin{aligned}
&\rho^o(\phi_P-\phi_P^o)\Delta V/\Delta t+\{(1/2)A[F_e(\phi_E+\phi_P)-F_w(\phi_P+\phi_W)]\\
&+\{(1/2)A[F_n(\phi_N+\phi_P)-F_s(\phi_P+\phi_S)]\\
&\qquad=\quad\{([D_eA_e(\phi_E-\phi_P)]-[D_wA_w(\phi_P-\phi_W)])\\
&\qquad\quad+\{([D_nA_n(\phi_N-\phi_P)]-[D_sA_s(\phi_P-\phi_S)])+(S_u+S_p\phi_P)\Delta V
\end{aligned}
\tag{4.8}
$$

จัดรูปแบบของสมการใหม่ จะได้

$$
\begin{aligned}
&\{[D_wA_w+F_wA_w/2]+[D_eA_e-F_eA_e/2]+[D_sA_s+F_sA_s/2]+[D_nA_n-F_nA_n/2]\\
&+\rho^o\Delta V/\Delta t-S_P+(F_eA_e-F_wA_w+F_nA_n-F_sA_s)\}\phi_P\\
&\qquad=\quad[D_wA_w+F_wA_w/2]\phi_W+[D_eA_e-F_eA_e/2]\phi_E\\
&\qquad\quad+[D_sA_s+F_sA_s/2]\phi_S+[D_nA_n-F_nA_n/2]\phi_N+\rho^o\phi_P^o\Delta V/\Delta t+S_U
\end{aligned}
\tag{4.9}
$$

ซึ่ง จะนำสมการที่ (4.9) มาแสดงเป็นสมการในรูปแบบที่ใช้งาน (discretised equation) สำหรับการไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady Flow) ดังนั้นจะได้

$$
a_P\phi_P=a_W\phi_W+a_E\phi_E+a_S\phi_S+a_N\phi_N+a_P^o\phi_P^o+S_U \tag{4.10}
$$

โดยที่

$$
\begin{aligned}
a_P&=a_W+a_E+a_S+a_N+a_P^o+\Delta F-S_P\\
a_W&=D_wA_w+F_wA_w/2\\
a_E&=D_eA_e-F_eA_e/2
\end{aligned}
$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a_S = D_s A_s + F_s A_s/2$$

$$a_N = D_n A_n - F_n A_n/2$$

$$a_P^o = \rho^o \Delta V/\Delta t$$

$$S_U = S_u \Delta V$$

$$S_P = S_p \Delta V$$

$$\Delta F = F_e - F_w + F_n - F_s$$

ซึ่ง $F = \rho u = \rho v$

$$D = \Gamma_\phi/\delta x = \Gamma_\phi/\delta r$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ปัญหาเมตริกซ์ด้วยวิธี Tri-Diagonal Matrix Algorithm (TDMA)

วิธี TDMA นี้เป็นวิธีที่ใช้เทคนิคในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการคำนวณค่า ϕ_P ได้อย่างรวดเร็ว และประหยัดหน่วยความจำในการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ เมื่อระบบมีจำนวนมาก เพื่อให้ได้คำตอบที่ต้องการโดยอธิบายได้ดังนี้

เมื่อเราได้สมการของแต่ละ node ซึ่งเขียนอยู่ในรูป

$$\begin{aligned}
\phi_1 &= C_1 \\
-\beta_2\phi_1 + D_2\phi_2 - \alpha_2\phi_3 &= C_2 \\
-\beta_3\phi_2 + D_3\phi_3 - \alpha_3\phi_4 &= C_3 \\
-\beta_4\phi_3 + D_4\phi_4 - \alpha_4\phi_5 &= C_4 \\
\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots &= \cdots \\
-\beta_n\phi_{n-1} + D_n\phi_n - \alpha_n\phi_{n+1} &= C_n \\
\phi_{n+1} &= C_{n+1}
\end{aligned}$$

โดยที่ ϕ = คุณสมบัติใดๆ ที่พิจารณาในการไหลของของไหล (เช่น u,v และ p เป็นต้น) เราสามารถเขียนรูปทั่วไปของสมการในแต่ละแถวได้ดังนี้

$$-\beta_j\phi_{j-1} + D_j\phi_j - \alpha_j\phi_{j+1} = C_j$$

สำหรับ ϕ_2 ถึง ϕ_n สามารถเขียนในรูปทั่วไปได้ดังต่อไปนี้

$$\phi_2 = \frac{\alpha_2}{D_2}\phi_3 + \frac{\beta_2}{D_2}\phi_1 + \frac{C_2}{D_2}$$

$$\phi_3 = \frac{\alpha_3}{D_3}\phi_4 + \frac{\beta_3}{D_3}\phi_2 + \frac{C_3}{D_3}$$

$$\phi_4 = \frac{\alpha_4}{D_4}\phi_5 + \frac{\beta_4}{D_4}\phi_3 + \frac{C_4}{D_4}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$\phi_n = \frac{\alpha_n}{D_n}\phi_{n+1} + \frac{\beta_n}{D_n}\phi_{n-1} + \frac{C_n}{D_n}$$

ในขั้นตอนการหาคำตอบ จะใช้วิธี back - substitution ยกตัวอย่างเช่น ในการหาค่าของ ϕ_3 จะใช้ค่าของ ϕ_2 มาแทนในสมการของ ϕ_3 จึงจะได้คำตอบตามต้องการ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\phi_3 = A_3\phi_4 + C_3'$$

โดย $A_3 = \dfrac{\alpha_3}{D_3 - \beta_3 A_2}$ และ $C_3' = \dfrac{\beta_3 C_2' + C_3}{D_3 - \beta_3 A_2}$

ซึ่งสามารถเขียนในรูปทั่วไปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi_j = A_j \phi_{j+1} + C'_j$$

$$A_j = \frac{\alpha_j}{D_j - \beta_j A_{j-1}}$$

$$C'_j = \frac{\beta_j C'_{j-1} + C_j}{D_j - \beta_j A_{j-1}}$$

สำหรับในการแก้สมการหาค่า ϕ จะเริ่มการหาค่า A_j และ C'_j สำหรับทุกค่า j ($j = 1$ ถึง $j = n$) แล้วจึงหาค่า ϕ ย้อนกลับจาก ϕ_n ไปหา ϕ_1 หรือเขียนเป็นขั้นตอนดังรูปที่ 4.2

สำหรับปัญหาใน 2 มิติ สมการเริ่มต้นที่ใช้ในการสร้าง matrix จะอยู่ในรูป

$$a_P \phi_P = a_W \phi_W + a_E \phi_E + a_S \phi_S + a_N \phi_N + S_U$$

ในการแก้สมการ จะเริ่มทำในแนว N-S ก่อน (ทิศ r) ดังนั้นสมการจึงเป็น

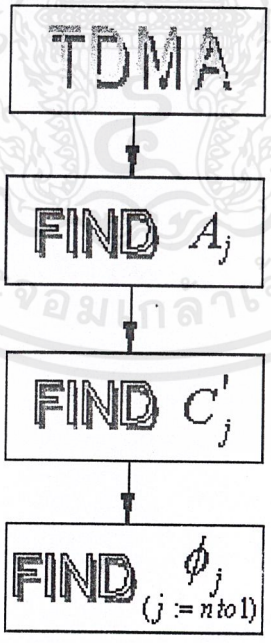
$$-a_S \phi_S + a_P \phi_P - a_N \phi_N = a_W \phi_W + a_E \phi_E + S_U$$

กำหนดให้ $\alpha_j = a_N$

$\beta_j = a_S$

$D_j = a_P$

$C_j = a_W \phi_W + a_E \phi_E + S_U$

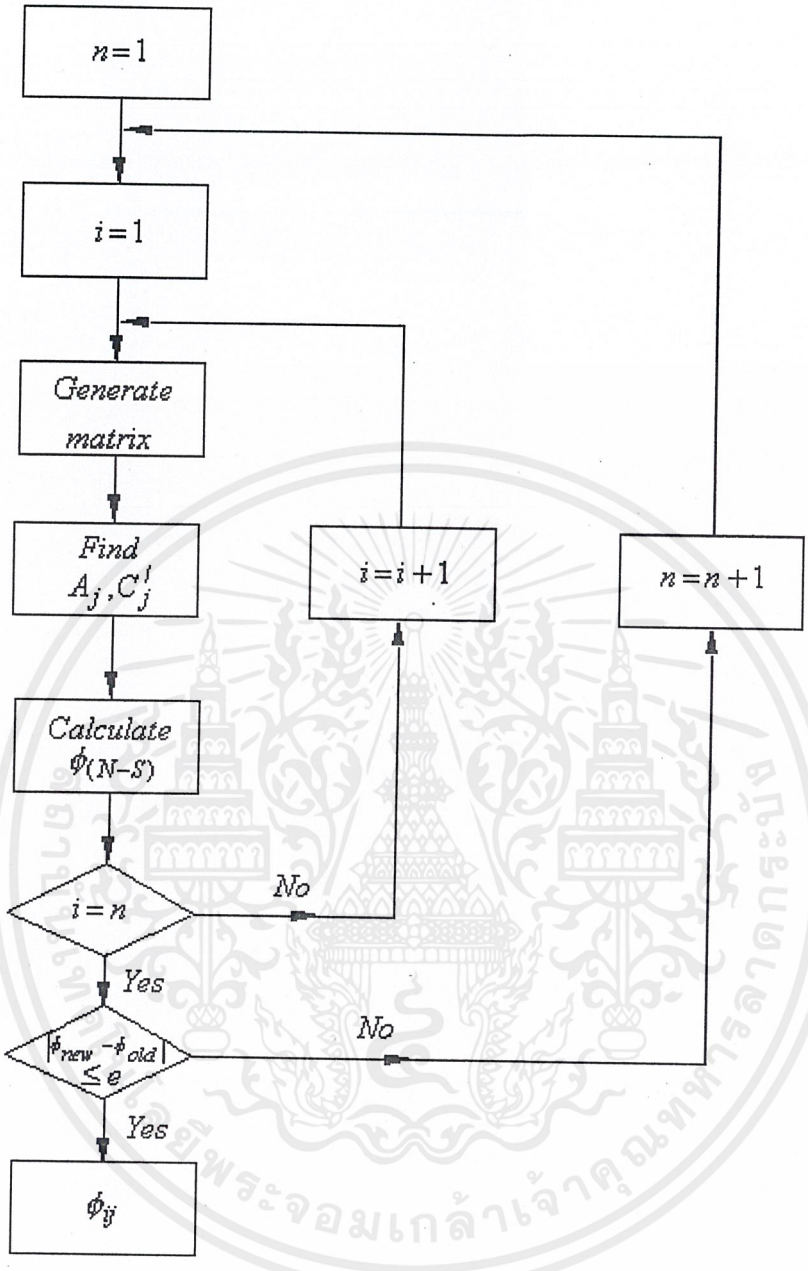


รูปที่ 4.2 แสดงถึงขั้นตอนของการใช้เทคนิค TDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงใช้ขั้นตอนในข้างต้น solve หาค่า ϕ ในแนว N-S ก่อนโดยกำหนดค่าเริ่มต้น (initial) สำหรับ ϕ ที่เราไม่ทราบค่า (ยกตัวอย่างเช่น ϕ_W สำหรับแนวกวาดแถวแรก ($i=1$)) ในการหาค่าในรอบที่ 1 (Iteration ครั้งที่ 1) หลังจากหาค่า ϕ ในแนว N-S ทุกๆ แนวแล้ว (จบ Iteration ครั้งที่ 1) จึงเริ่มทำซ้ำจนกว่าค่าความแตกต่างระหว่าง ϕ_{new} และ ϕ_{old} จะน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ ($|\phi_{new}-\phi_{old}| \le e$) โดยสามารถเขียนเป็น flowchart ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 4.3 และวิธี TDMA ที่อธิบายข้างต้นนี้จะถูกเขียนไว้ใน Subroutine ที่ชื่อว่า LISOLV ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณคุณสมบัติต่างๆ ของของไหลที่เราต้องการทราบซึ่งตัวโปรแกรมนี้จะกล่าวบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

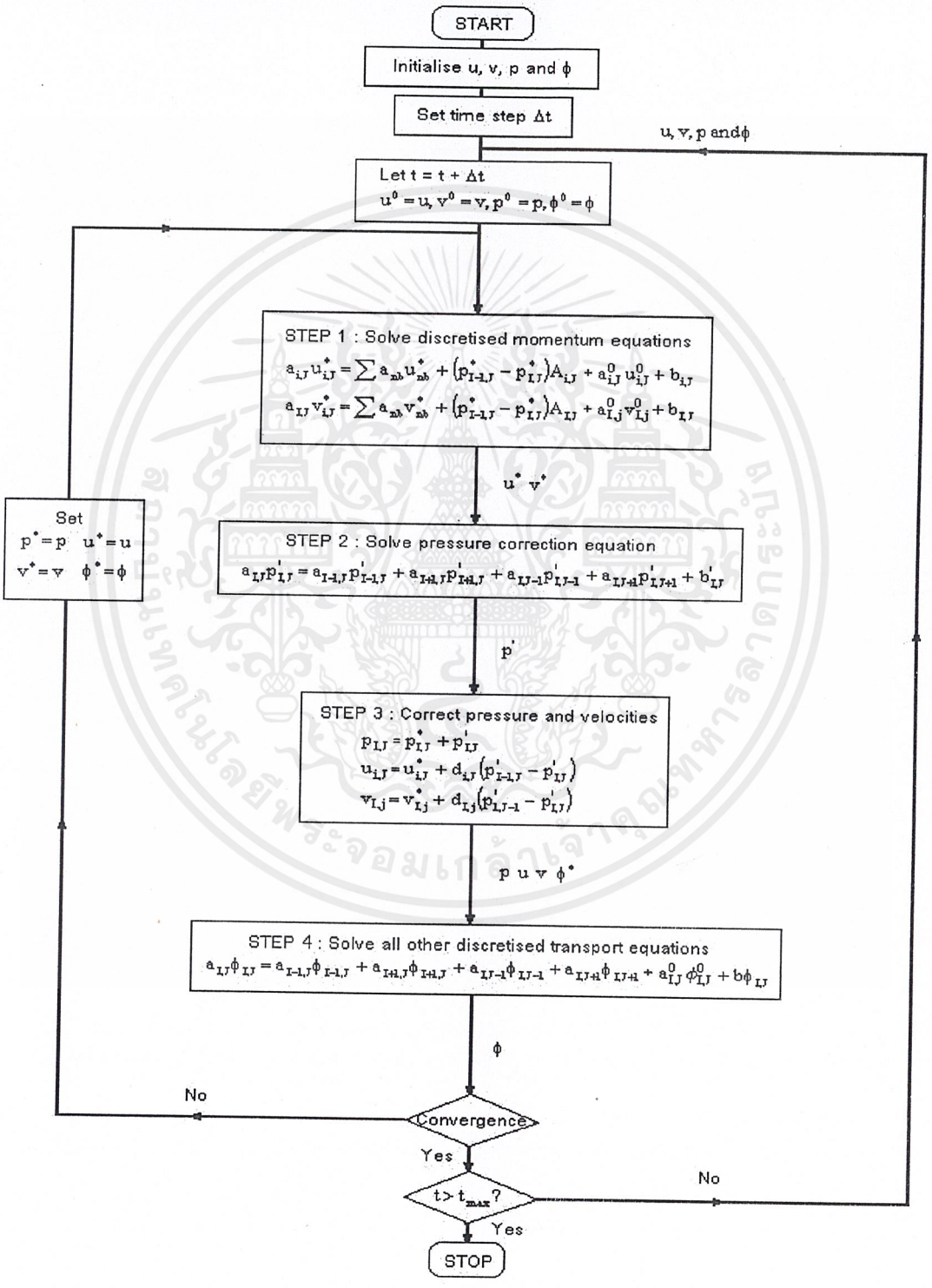


รูปที่ 4.3 แสดงผัง (flow chart) ของขั้นตอนการหาค่า ϕ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ปัญหาโดยใช้วิธี Pressure-Velocity Coupling ในการไหลแบบไม่คงตัว

วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่ใช้ในการหาค่า Pressure ที่จุดต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับความเร็วตามแนวแกน r และ x ซึ่งวิธีที่ใช้นี้คือ *SIMPLE Algorithm* สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงผัง (flowchart) โดยใช้วิธี SIMPLE Algorithm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ

โปรแกรมที่ใช้

โปรแกรมที่ใช้นี้ ถูกเขียนด้วยภาษา ***Fortran*** เพื่อประมวลผลหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของการไหล

โครงสร้างของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ

ประกอบด้วยโปรแกรมหลัก (Main Program) และโปรแกรมย่อย (Sub-routine) ต่างๆ ดังนี้

1. **โปรแกรมหลัก (Main Program)** ทำหน้าที่จัดลำดับการทำงานของ Sub-routine ต่าง ๆ ให้ทำงานตามลำดับขั้นตอน
2. **โปรแกรมย่อย (Sub-routine)** ทำหน้าที่คำนวณค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องใช้ ประกอบด้วย
   - *DATIN* ทำหน้าที่อ่านค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ จาก Input file (IN_PUT) แล้วเก็บค่านั้นไว้ในตัวแปรที่กำหนดขึ้น
   - *INIT* ทำหน้าที่กำหนดค่าของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณให้มีค่าเป็นศูนย์ก่อนเริ่มการคำนวณ
   - *PROPS* ทำหน้าที่คำนวณความหนืดของของไหล
   - *CALCU* ทำหน้าที่คำนวณความเร็วของของไหล ในทิศทางตามความยาวของท่อ (x –Direction)
   - *CALCV* ทำหน้าที่คำนวณความเร็วของของไหล ในทิศทางรัศมีของท่อ (r – Direction)
   - *CALCP* ทำหน้าที่คำนวณหาค่าของความดัน และแก้ไขค่าของความเร็วในทิศทาง x และ r ไปพร้อมๆ กัน
   - *CALCH* ทำหน้าที่คำนวณเอนทาลปี้ (Enthalpy)
   - *CALCT* ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าของเอนทาลปี้ให้อยู่ในรูปของอุณหภูมิโดยใช้ความสัมพันธ์ $h = c_p T$
   - *SOURU* ทำหน้าที่คำนวณค่า source term ของการคำนวณความเร็วในทุก ๆ ทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

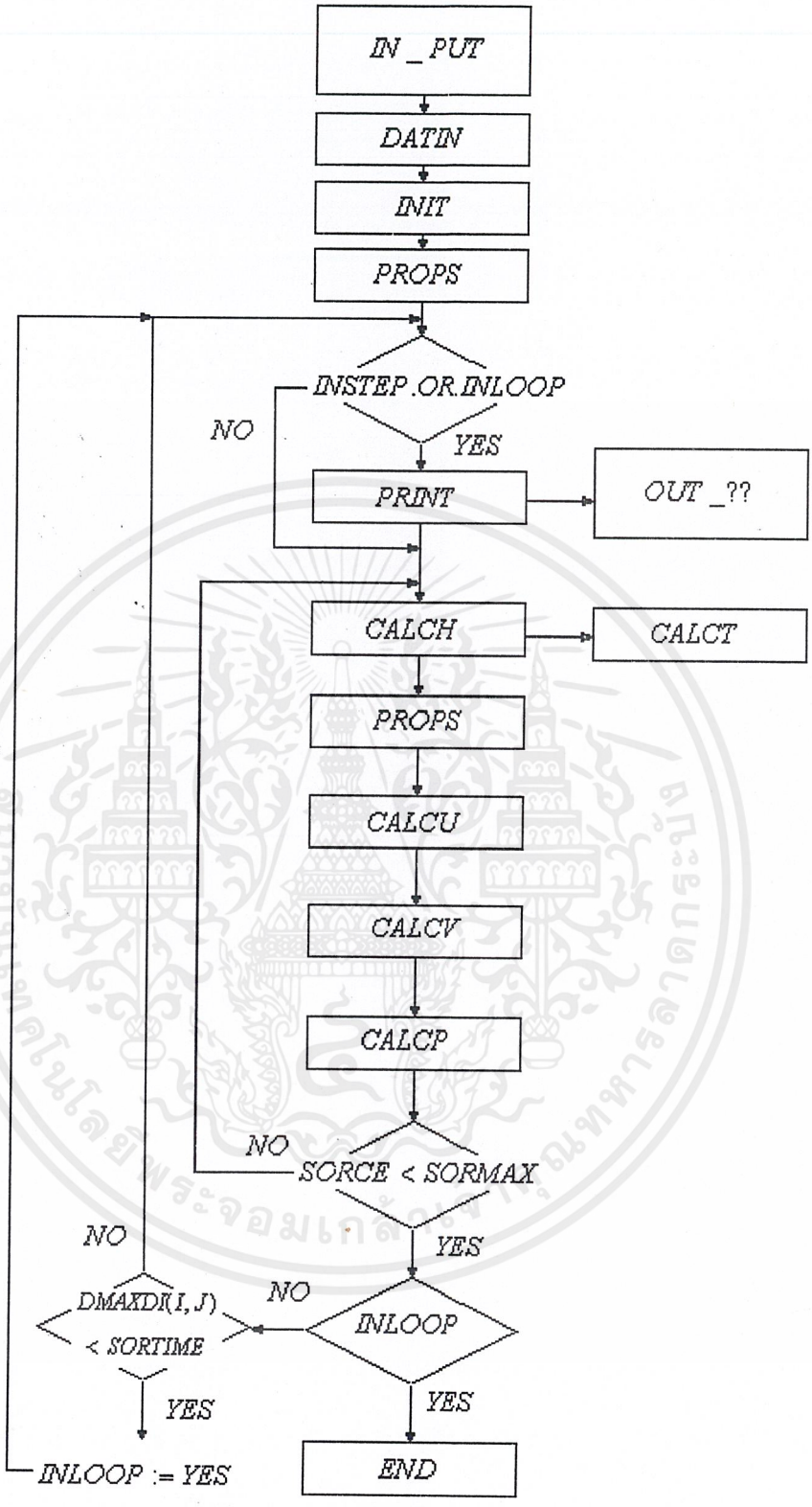
- *PROMQ* ประกอบด้วย *MODQU* และ *MODQV* ทำหน้าที่แก้ไขค่าของ source term ที่คำนวณจาก *SOURU* ให้ถูกต้องตามเงื่อนไขของขอบเขต (Boundary Condition)
- *PROMOD* ประกอบด้วย *MODU, MODV, MODU1, MODP* และ *MODH* ทำหน้าที่แก้ไข ค่าของสัมประสิทธิ์ในการคำนวณความเร็ว ความดัน และเอนทาลปี้
- *LISOLV* ทำหน้าที่แก้สมการที่ได้จากการสร้างสัมประสิทธิ์และ source term โดยอาศัย Tri-Diagonal Matrix Algorithm (TDMA) ในการแก้สมการหาค่าของพารามิเตอร์ใด ๆ
- *COEF* ทำหน้าที่คำนวณค่าของสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าของเอนทาลปี้
- *CALCCPW* ทำหน้าที่คำนวณค่าของ Specific heat at constant pressure, C_p (ในที่นี้จะเป็นค่า C_p ของน้ำ)
- *PRINT* ทำหน้าที่สร้าง Output File ที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งจะได้ไฟล์หลายไฟล์ เพราะทำการประมวลผลแบบ Unsteady flow ซึ่งสามารถกำหนดมาได้ว่าจะได้ประมวลในเวลาใด แล้วจึงพิมพ์ค่าไฟล์ออกมา

<u>ลำดับการทำงานของโปรแกรมหลัก และโปรแกรมย่อย</u>

ซึ่งจะแสดงเป็น Flow Chart ดังนี้

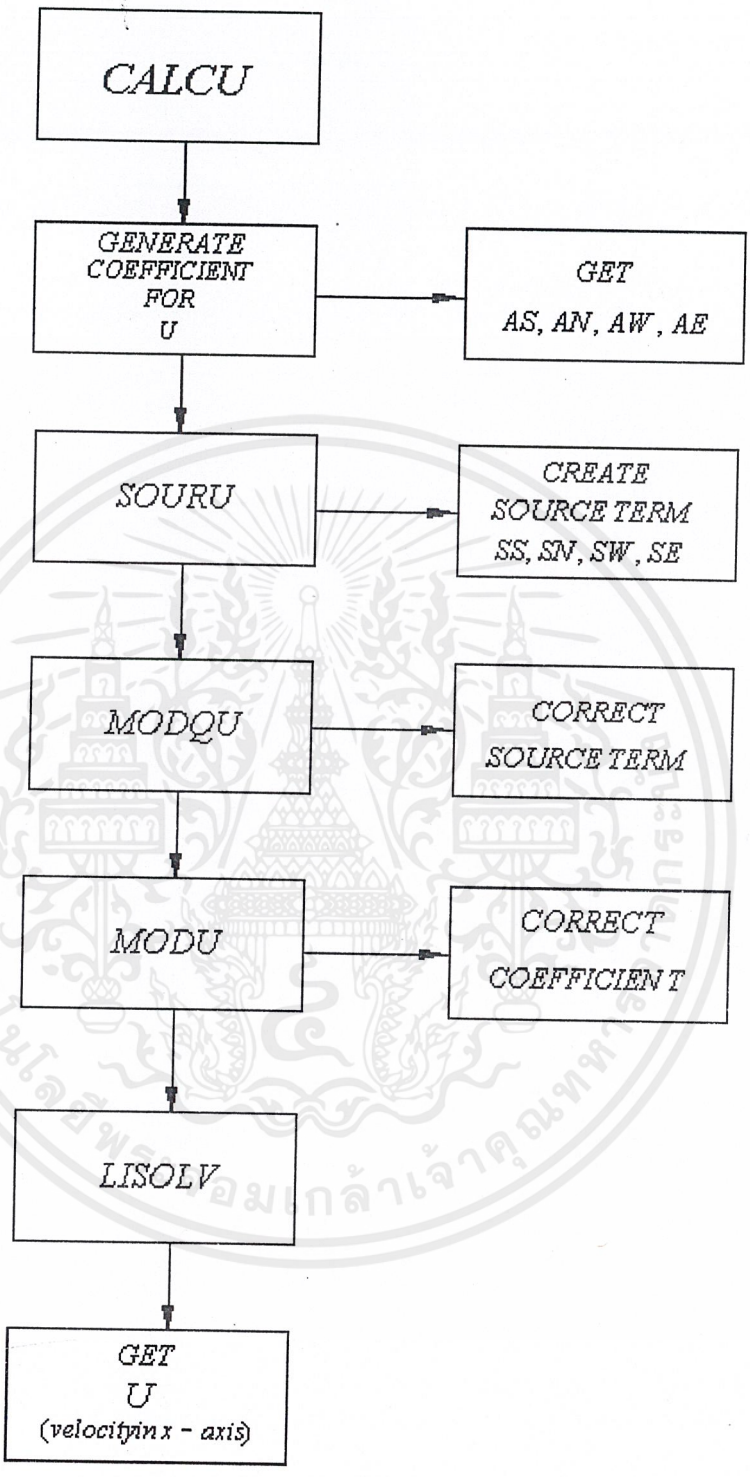
- MAIN Program แสดงดังรูปที่ 5.1
- CALCU Sub-routine แสดงดังรูปที่ 5.2
- CALCV Sub-routine แสดงดังรูปที่ 5.3
- CALCP Sub-routine แสดงดังรูปที่ 5.4
- CALCH Sub-routine แสดงดังรูปที่ 5.5
- CALCT Sub-routine แสดงดังรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



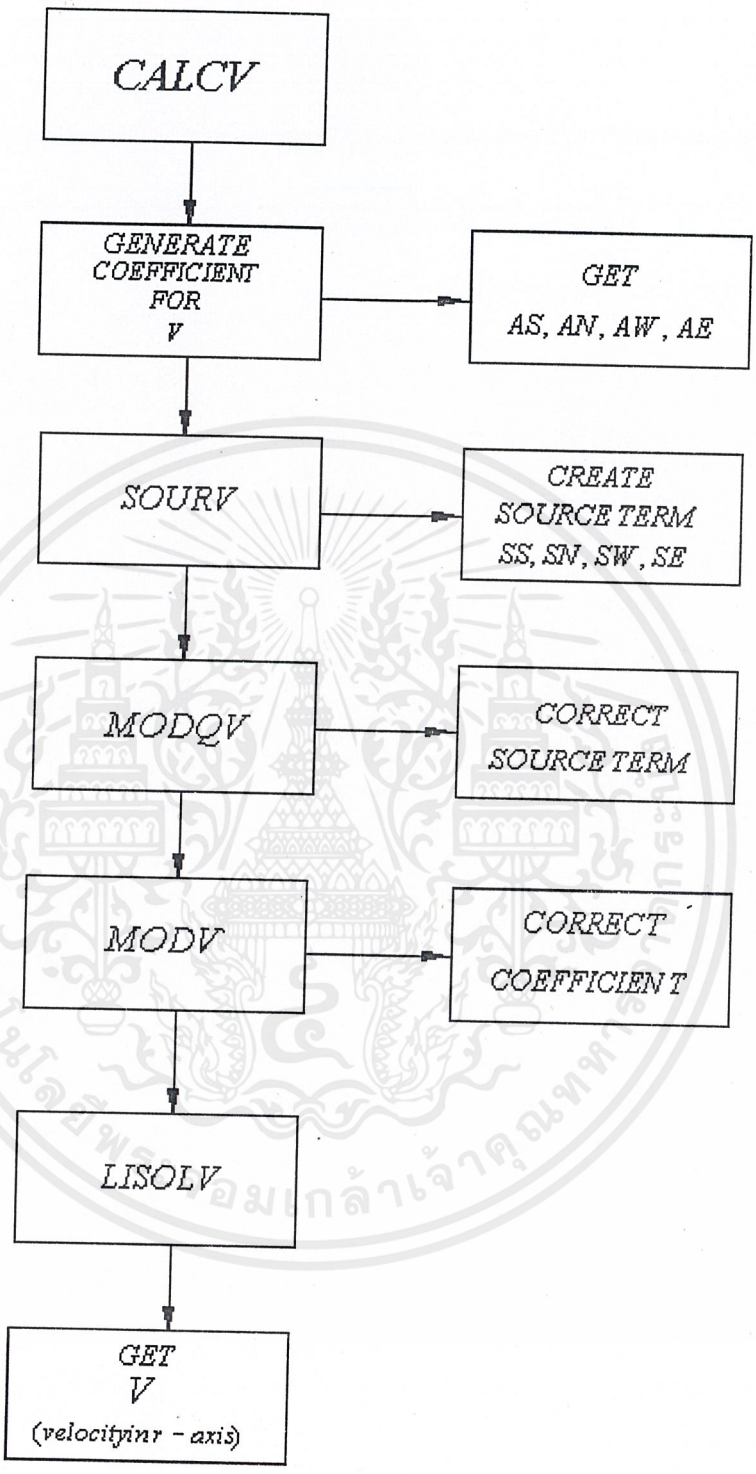
รูปที่ 5.1 แสดง MAIN Program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



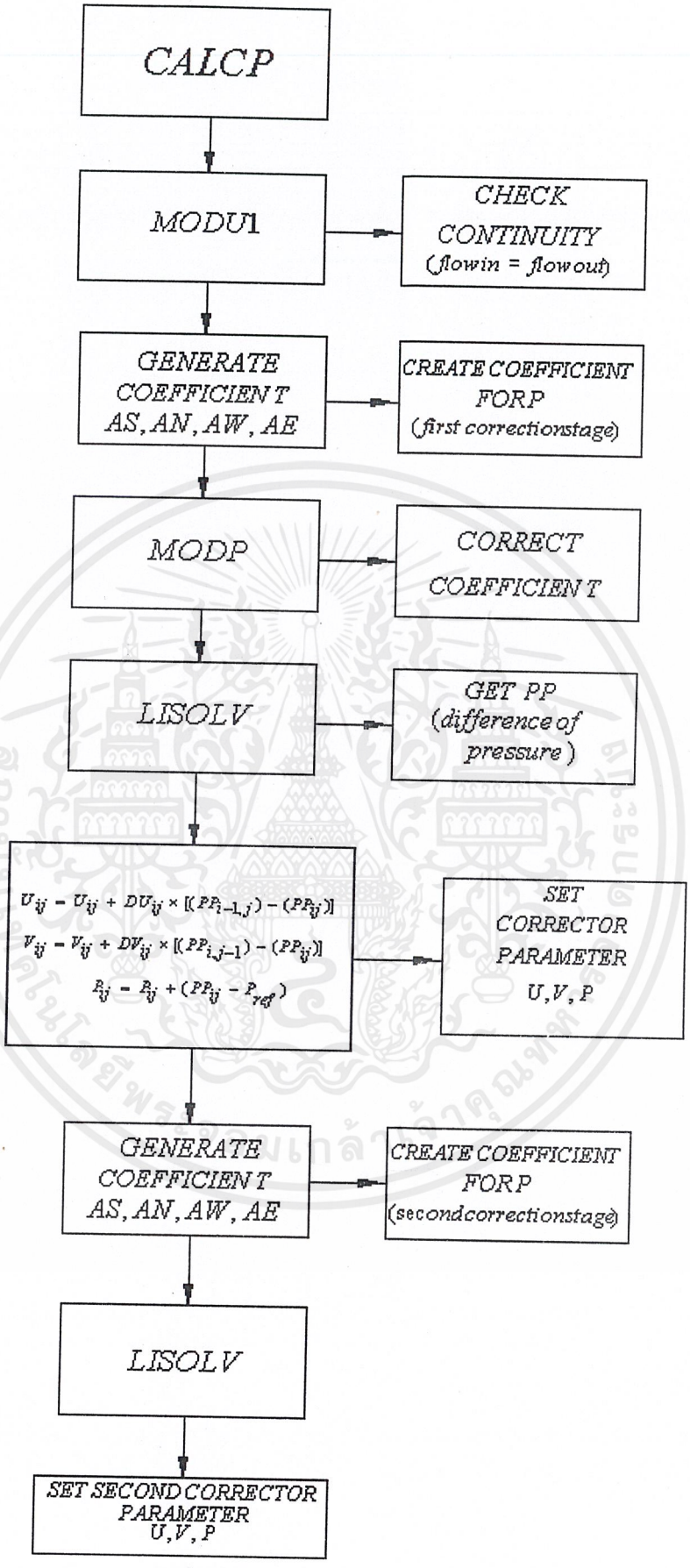
รูปที่ 5.2 แสดง CALCU Sub-routine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



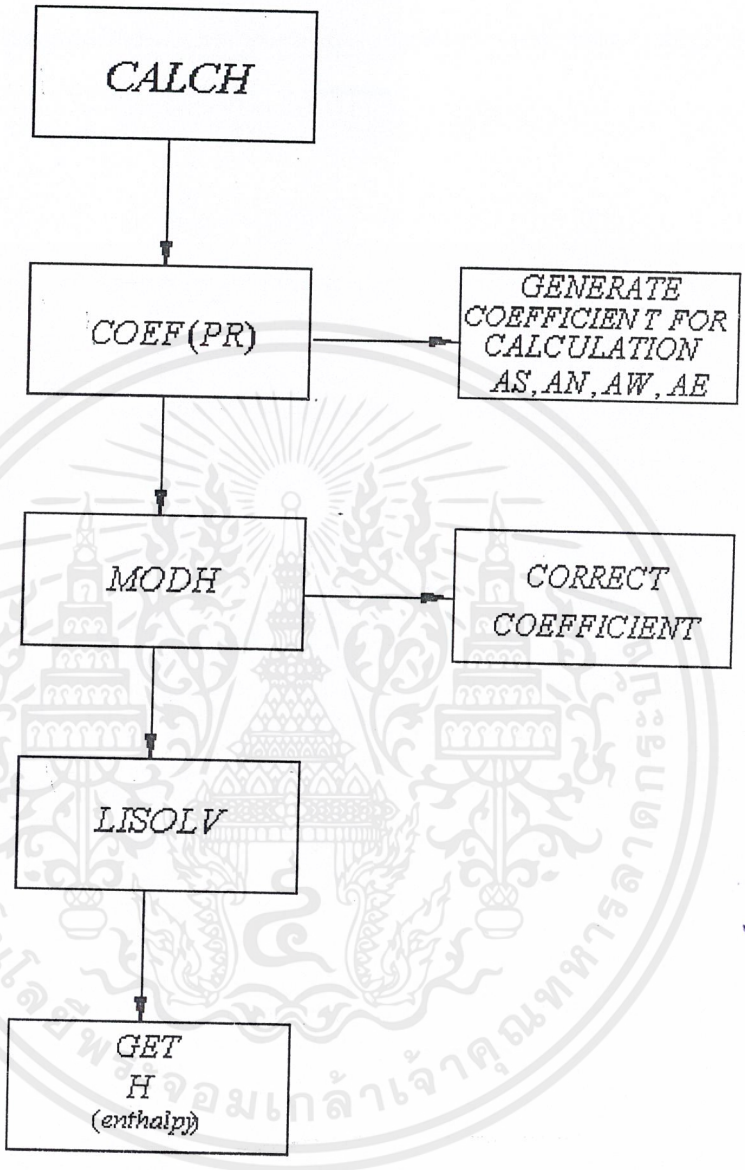
รูปที่ 5.3 แสดง CALCV Sub-routine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



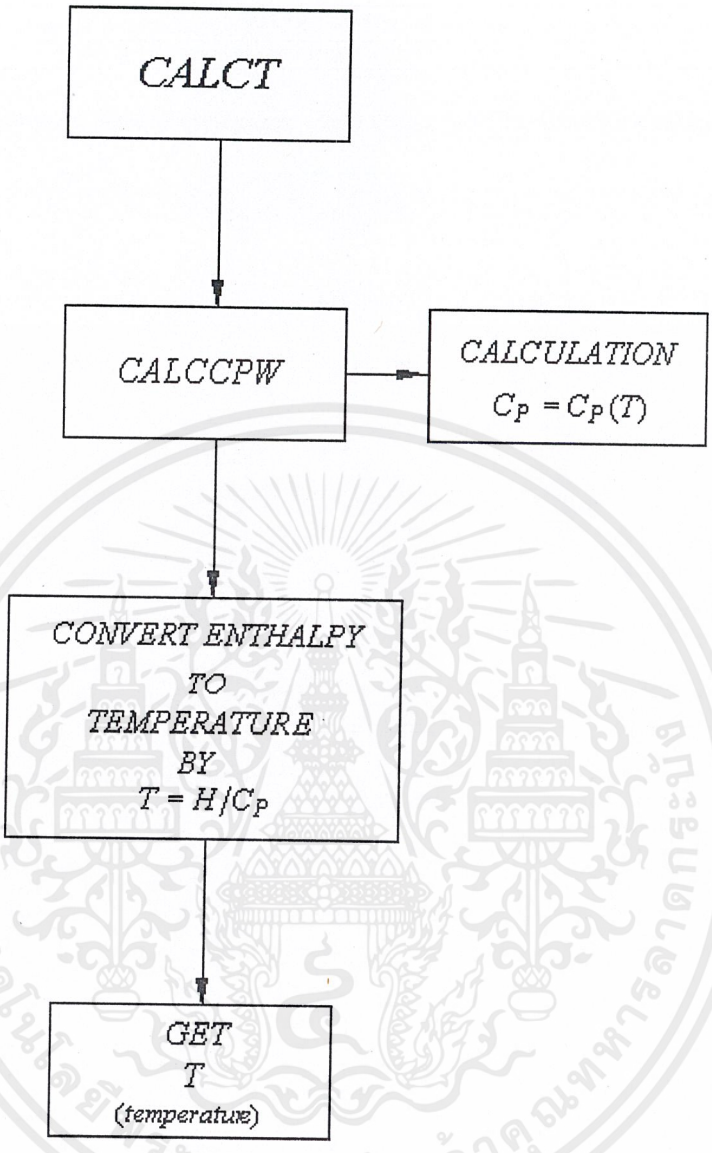
รูปที่ 5.4 แสดง CALCP Sub-routine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดง CALCH Sub-routine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

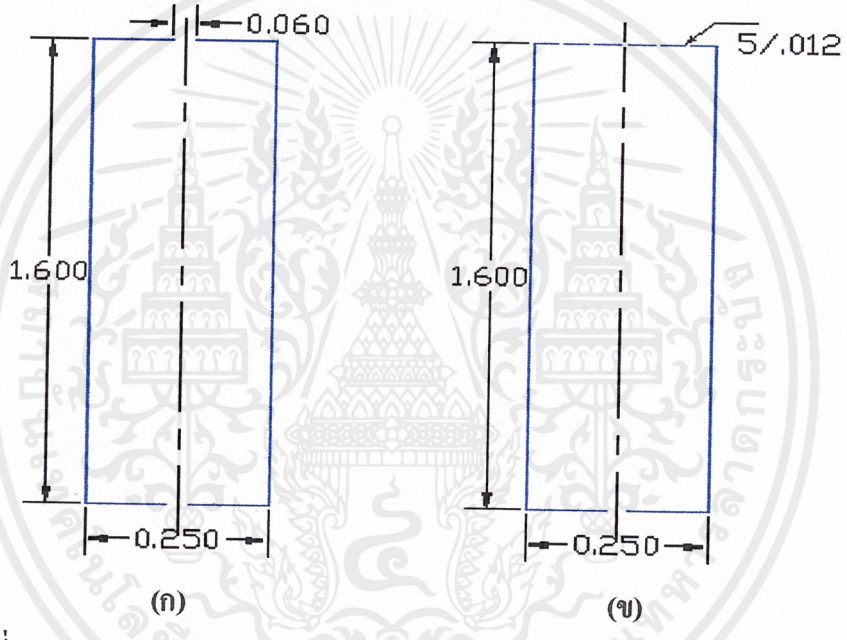


รูปที่ 5.6 แสดง CALCT Sub-routine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ผลการคำนวณ

จากบทที่แล้ว จะทราบถึงส่วนประกอบ และการทำงานของโปรแกรมซึ่งถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของน้ำภายในถังเก็บความร้อน ซึ่งในบทนี้ได้ทำการตั้งกรณีที่ใช้ในการคำนวณหาปัญหาที่เกิดขึ้นใน 2 กรณีใหญ่ คือ กรณีที่ 1 เป็นถังเก็บความร้อนที่มีทางเข้าของน้ำ 1 ช่องทาง ณ ตำแหน่งกึ่งกลาง กรณีที่ 2 เป็นถังเก็บความร้อนที่มีทางเข้าของน้ำ 5 ช่องทาง ทั้ง 2 กรณี มีทางออกของน้ำ 1 ช่องทาง ขนาดและรูปร่าง ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงขนาดและรูปร่างของถังเก็บความร้อน (ก) 1 ช่องทาง (ข) 5 ช่องทาง

เงื่อนไขที่ถูกตั้งขึ้นในการคำนวณ

- ถังเก็บความร้อนมีขนาดของรัศมีกว้าง 0.25 เมตร ยาว 1.60 เมตร
  - (ก) 1 ช่องทาง มีขนาดรัศมี 0.03 เมตร
  - (ข) 5 ช่องทาง แต่ละช่องทางมีขนาดรัศมี 0.006 เมตร
- อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าสู่ถังเก็บความร้อนเท่ากับ 70 ^{o}C หรือ 343 K
- อุณหภูมิของน้ำที่เดิมอยู่ภายในถังเก็บความร้อนเท่ากับ 30 ^{o}C หรือ 303 K
- ช่องทางการไหลของน้ำเข้าสู่ถังเก็บความร้อน
  - (ก) 1 ช่องทาง ที่มีการตั้งค่าของความเร็วเท่ากับ 0.05 m/s และ 0.02 m/s
  - (ข) 5 ช่องทาง ที่มีการตั้งค่าของความเร็วเท่ากับ 0.0071 m/s และ 0.0029 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ มีการเปลี่ยนความเร็วของ 5 ช่องทาง เพื่อให้มี mass flow rate เท่ากับ 1 ช่องทาง

- ช่องทางการไหลของน้ำออกจากถังเก็บความร้อนมี 1 ช่องทาง
- จุดที่แบ่งไว้ (grid) ในการคำนวณของ 1 และ 5 ช่องทาง คือ ixj = 52x27 และ ixj = 52 x25 ตามลำดับ
- การคำนวณเป็นแบบการไหลไม่คงตัว (Unsteady Flow) ซึ่งมี $\Delta t = 0.5\,s$

ไฟล์ที่ใช้เป็นการตั้งค่า เพื่อใช้ในการคำนวณ (Input file) จะถูกแสดงพร้อมผลการคำนวณต่อจากนี้ไป

กรณีที่ 1 : ข้อมูล input ของน้ำ 1 ช่องทาง ที่มีความเร็ว 0.05 m/s เป็นดังนี้

```
** 1**********************************************************************
DATA FILE CREATED AT:  17:41:19  ON:     11-Dec-99
SCALE 4:1(HEAT INPUT) THERMAL STORAGE TANK
BY KITTICHAI SUTHUNYATANAKIT, KRIANGKRAI PANYARATTANA
**********************************************************************
** 2 ** GENERAL DATA:
.- PROGRAM CONTROL        MAXIT:   25000        SORMAX: 0.4000E-02
.- MONITORING LOCATION     IMON:      12          JMON:    12
.- OUTPUT INTERVALS       IPRESD:     50          INTBAK:    100

** 3 ** LOGICAL PARAMETERS.
                    INCALU:    T          INCALV:      T
                    INCALW:    F          INCALP:      T
                    INCALK:    F          INCALD:      F
                     INPRO:    T           IPISO:      F
                    INCALX:    F         INCAVOL:      F
                    INCAPR:    F          ITRACK:      F
                    INCALH:    T          INCALT:      T
                     IREAD:    F          IWRITE:      T
                    INCALC:    T           INOUT:      T
                    IQUARL:    F          IEXPAN:      F
                    INCARD:    F          WSORC:       F
                  INCALCPW:    T        INCALTCON:     F
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INITT: T

** 4 ** COMPUTING ELEMENTS.

.- NUMBER OF SWEEPS.

NSWPU:	3	NSWPV:	3
NSWPW:	3	NSWPP:	5
NSWPK:	2	NSWPD:	2
NSWPX:	5	NSWPH:	2
NSWPVO:	2	NSWPPR:	2
NSWPRA:	5		

.- PISO PARAMETERS

MAXSWP: 35 RESF: 0.2000

.- UNDER RELAXATION.

URFU:	0.1600	URFV:	0.2200
URFW:	0.1000	URFP:	0.7500
URFK:	0.4000	URFE:	0.4000
URFVIS:	0.5000	URFX:	0.6000
URFVOL:	0.5000	URFDEN:	0.5000
URFH:	0.1200	URFPR:	0.5000
URFTEM:	1.0000	URFRAD:	1.0000

** 5 ** GEOMETRY:

.- DIMENSIONS RLARGE: 0.2500 ALTOT: 1.6000

.- MAXIMUM INDEX NI: 52 NJ: 27

.- NUMBER OF INLETS NINL 1

HOLE IINL: 2 JINL: 0

IINL: 2 JINL: 4

.- OUTLET INDEX JOUT: 4

.- X-COORDINATE:

I=	1	JLIM=	26	X(I)=	-0.005000
I=	2	JLIM=	26	X(I)=	0.005000
I=	3	JLIM=	26	X(I)=	0.015000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	4	JLIM=	26	X(I)=	0.025000
I=	5	JLIM=	26	X(I)=	0.035000
I=	6	JLIM=	26	X(I)=	0.045000
I=	7	JLIM=	26	X(I)=	0.055000
I=	8	JLIM=	26	X(I)=	0.065000
I=	9	JLIM=	26	X(I)=	0.075000
I=	10	JLIM=	26	X(I)=	0.085000
I=	11	JLIM=	26	X(I)=	0.095000
I=	12	JLIM=	26	X(I)=	0.105000
I=	13	JLIM=	26	X(I)=	0.115000
I=	14	JLIM=	26	X(I)=	0.125000
I=	15	JLIM=	26	X(I)=	0.135000
I=	16	JLIM=	26	X(I)=	0.145000
I=	17	JLIM=	26	X(I)=	0.155000
I=	18	JLIM=	26	X(I)=	0.165000
I=	19	JLIM=	26	X(I)=	0.175000
I=	20	JLIM=	26	X(I)=	0.185000
I=	21	JLIM=	26	X(I)=	0.195000
I=	22	JLIM=	26	X(I)=	0.205000
I=	23	JLIM=	26	X(I)=	0.225000
I=	24	JLIM=	26	X(I)=	0.245000
I=	25	JLIM=	26	X(I)=	0.265000
I=	26	JLIM=	26	X(I)=	0.285000
I=	27	JLIM=	26	X(I)=	0.305000
I=	28	JLIM=	26	X(I)=	0.325000
I=	29	JLIM=	26	X(I)=	0.345000
I=	30	JLIM=	26	X(I)=	0.365000
I=	31	JLIM=	26	X(I)=	0.385000
I=	32	JLIM=	26	X(I)=	0.405000
I=	33	JLIM=	26	X(I)=	0.445000
I=	34	JLIM=	26	X(I)=	0.485000
I=	35	JLIM=	26	X(I)=	0.525000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	36	JLIM=	26	X(I)=	0.565000
I=	37	JLIM=	26	X(I)=	0.605000
I=	38	JLIM=	26	X(I)=	0.645000
I=	39	JLIM=	26	X(I)=	0.685000
I=	40	JLIM=	26	X(I)=	0.725000
I=	41	JLIM=	26	X(I)=	0.765000
I=	42	JLIM=	26	X(I)=	0.805000
I=	43	JLIM=	26	X(I)=	0.885000
I=	44	JLIM=	26	X(I)=	0.965000
I=	45	JLIM=	26	X(I)=	1.045000
I=	46	JLIM=	26	X(I)=	1.125000
I=	47	JLIM=	26	X(I)=	1.205000
I=	48	JLIM=	26	X(I)=	1.285000
I=	49	JLIM=	26	X(I)=	1.365000
I=	50	JLIM=	26	X(I)=	1.445000
I=	51	JLIM=	26	X(I)=	1.525000
I=	52	JLIM=	26	X(I)=	1.675000

.- Y-COORDINATE:

J=	1	ISTART=	0	Y(J)=	-0.005000
J=	2	ISTART=	0	Y(J)=	0.005000
J=	3	ISTART=	0	Y(J)=	0.015000
J=	4	ISTART=	0	Y(J)=	0.025000
J=	5	ISTART=	2	Y(J)=	0.035000
J=	6	ISTART=	2	Y(J)=	0.045000
J=	7	ISTART=	2	Y(J)=	0.055000
J=	8	ISTART=	2	Y(J)=	0.065000
J=	9	ISTART=	2	Y(J)=	0.075000
J=	10	ISTART=	2	Y(J)=	0.085000
J=	11	ISTART=	2	Y(J)=	0.095000
J=	12	ISTART=	2	Y(J)=	0.105000
J=	13	ISTART=	2	Y(J)=	0.115000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J= 16 U-INL= 0.0500 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

J= 17 U-INL= 0.0500 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

J= 18 U-INL= 0.0500 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

J= 19 U-INL= 0.0500 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

J= 20 U-INL= 0.0500 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

J= 21 U-INL= 0.0500 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

J= 22 U-INL= 0.0500 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

J= 23 U-INL= 0.0500 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

J= 24 U-INL= 0.0500 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

J= 25 U-INL= 0.0500 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

J= 26 U-INL= 0.0500 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

J= 27 U-INL= 0.0500 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

.- TEMPERATURE.

AT INLET 1 T-INL= 343.0000

IN FIELD 303.0000

** 7 ** FLUID PROPERTIES:

VISCOS: 1.9000E-03 DENSIT: 1000.0

SCHMDT: 0.8000 PRANDT: 0.9000

CAPPA: 0.4187 ELOG: 9.7930

CMU: 0.0900 CT: 1.0000

C1: 1.4400 C2: 1.9200

PRH: 0.5000 PRTE: 1.0000

PRED: 1.3000 TURINT: 0.0500

ALAMDA: 0.0050 PRLAM: 0.7000

.- REFERENCE VALUE AND LOCATION.

PREF: 0.0000E+00 TREF: 303.0000

IPREF: 1 JPREF: 1

** 8 ** WALL SPECIFICATIONS :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	1	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	2	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	3	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	4	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	5	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	6	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	7	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	8	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	9	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	10	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	11	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	12	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	13	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	14	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	15	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	16	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	17	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	18	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	19	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	20	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	21	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	22	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	23	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	24	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	25	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	26	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	27	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	28	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	29	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	30	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	31	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	32	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I= 33 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 34 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 35 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 36 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 37 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 38 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 39 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 40 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 41 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 42 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 43 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 44 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 45 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 46 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 47 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 48 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 49 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 50 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 51 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 52 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

** 9 ** STEP TIME

DTP: 0.5000 SORTIME: 0.1000E-02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการคำนวณ ของ กรณีที่ 1 ณ เวลาใดๆ

ที่เวลา 45.5 วินาที

U-VELOCITY

I=	1	2	3	4	5	6	7	8	Y=
J									
27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.55E-01
26	0.00E+00	0.00E+00	1.25E-02	1.77E-02	1.94E-02	1.98E-02	1.94E-02	1.83E-02	2.45E-01
25	0.00E+00	0.00E+00	6.17E-03	9.54E-03	1.05E-02	1.08E-02	1.12E-02	1.13E-02	2.35E-01
24	0.00E+00	0.00E+00	2.75E-03	1.02E-03	-2.03E-03	-1.25E-03	-6.16E-04	-3.01E-04	2.25E-01
23	0.00E+00	0.00E+00	5.24E-04	-5.91E-04	-1.28E-03	-3.34E-03	-4.63E-03	-5.22E-03	2.15E-01
22	0.00E+00	0.00E+00	-5.85E-04	-4.71E-04	-2.01E-03	-3.72E-03	-5.15E-03	-6.05E-03	2.05E-01
21	0.00E+00	0.00E+00	-7.71E-04	-8.45E-04	-2.08E-03	-3.29E-03	-4.44E-03	-5.23E-03	1.95E-01
20	0.00E+00	0.00E+00	-8.82E-04	-7.09E-04	-1.72E-03	-2.52E-03	-3.32E-03	-3.92E-03	1.85E-01
19	0.00E+00	0.00E+00	-1.02E-03	-8.96E-04	-1.44E-03	-1.76E-03	-2.24E-03	-2.66E-03	1.75E-01
18	0.00E+00	0.00E+00	-1.21E-03	-1.18E-03	-1.32E-03	-1.18E-03	-1.37E-03	-1.63E-03	1.65E-01
17	0.00E+00	0.00E+00	-1.43E-03	-1.54E-03	-1.34E-03	-7.98E-04	-7.62E-04	-8.61E-04	1.55E-01
16	0.00E+00	0.00E+00	-1.69E-03	-1.92E-03	-1.44E-03	-6.14E-04	-4.11E-04	-3.61E-04	1.45E-01
15	0.00E+00	0.00E+00	-1.97E-03	-2.31E-03	-1.60E-03	-6.32E-04	-3.14E-04	-1.18E-04	1.35E-01
14	0.00E+00	0.00E+00	-2.28E-03	-2.73E-03	-1.81E-03	-8.77E-04	-4.75E-04	-1.25E-04	1.25E-01
13	0.00E+00	0.00E+00	-2.65E-03	-3.25E-03	-2.12E-03	-1.38E-03	-8.92E-04	-3.76E-04	1.15E-01
12	0.00E+00	0.00E+00	-3.11E-03	-3.92E-03	-2.65E-03	-2.17E-03	-1.56E-03	-8.64E-04	1.05E-01
11	0.00E+00	0.00E+00	-3.72E-03	-4.85E-03	-3.58E-03	-3.27E-03	-2.46E-03	-1.59E-03	9.50E-02
10	0.00E+00	0.00E+00	-4.58E-03	-6.17E-03	-5.01E-03	-4.67E-03	-3.61E-03	-2.57E-03	8.50E-02
9	0.00E+00	0.00E+00	-5.87E-03	-8.16E-03	-6.99E-03	-6.44E-03	-5.05E-03	-3.77E-03	7.50E-02
8	0.00E+00	0.00E+00	-7.90E-03	-1.13E-02	-9.59E-03	-8.69E-03	-6.68E-03	-4.98E-03	6.50E-02
7	0.00E+00	0.00E+00	-1.09E-02	-1.55E-02	-1.29E-02	-1.09E-02	-7.82E-03	-5.48E-03	5.50E-02
6	0.00E+00	0.00E+00	-1.33E-02	-1.55E-02	-1.32E-02	-1.00E-02	-6.33E-03	-3.35E-03	4.50E-02
5	0.00E+00	0.00E+00	8.88E-03	8.38E-03	8.12E-03	7.97E-03	8.34E-03	8.58E-03	3.50E-02
4	0.00E+00	5.00E-02	4.46E-02	4.12E-02	3.82E-02	3.60E-02	3.52E-02	3.53E-02	2.50E-02
3	0.00E+00	5.00E-02	4.53E-02	4.00E-02	3.46E-02	3.06E-02	2.88E-02	2.91E-02	1.50E-02
2	0.00E+00	5.00E-02	4.52E-02	3.83E-02	3.29E-02	2.96E-02	2.85E-02	2.90E-02	5.00E-03
1	0.00E+00	5.00E-02	4.52E-02	3.83E-02	3.29E-02	2.96E-02	2.85E-02	2.90E-02	-5.00E-03

X=	0	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	9	10	11	12	13	14	15	16	Y=
J									
27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.55E-01
26	1.69E-02	1.54E-02	1.40E-02	1.29E-02	1.22E-02	1.20E-02	1.20E-02	1.23E-02	2.45E-01
25	1.10E-02	1.03E-02	9.25E-03	8.11E-03	7.02E-03	6.34E-03	6.30E-03	6.82E-03	2.35E-01
24	-1.85E-04	-1.74E-04	-1.50E-04	2.61E-05	4.26E-04	9.81E-04	1.57E-03	2.20E-03	2.25E-01
23	-5.32E-03	-5.03E-03	-4.47E-03	-3.78E-03	-3.09E-03	-2.48E-03	-1.93E-03	-1.40E-03	2.15E-01
22	-6.38E-03	-6.25E-03	-5.82E-03	-5.25E-03	-4.65E-03	-4.10E-03	-3.63E-03	-3.24E-03	2.05E-01
21	-5.61E-03	-5.63E-03	-5.41E-03	-5.07E-03	-4.73E-03	-4.44E-03	-4.24E-03	-4.12E-03	1.95E-01
20	-4.29E-03	-4.44E-03	-4.45E-03	-4.41E-03	-4.37E-03	-4.39E-03	-4.47E-03	-4.62E-03	1.85E-01
19	-2.99E-03	-3.24E-03	-3.43E-03	-3.61E-03	-3.80E-03	-4.05E-03	-4.37E-03	-4.74E-03	1.75E-01
18	-1.90E-03	-2.17E-03	-2.45E-03	-2.76E-03	-3.11E-03	-3.53E-03	-4.03E-03	-4.58E-03	1.65E-01
17	-1.05E-03	-1.29E-03	-1.59E-03	-1.95E-03	-2.40E-03	-2.94E-03	-3.56E-03	-4.26E-03	1.55E-01
16	-4.35E-04	-6.08E-04	-8.76E-04	-1.25E-03	-1.73E-03	-2.33E-03	-3.03E-03	-3.81E-03	1.45E-01
15	-6.64E-05	-1.40E-04	-3.42E-04	-6.75E-04	-1.14E-03	-1.75E-03	-2.47E-03	-3.29E-03	1.35E-01
14	6.49E-05	1.11E-04	6.44E-06	-2.51E-04	-6.60E-04	-1.21E-03	-1.90E-03	-2.70E-03	1.25E-01
13	-3.86E-05	1.44E-04	1.61E-04	1.40E-05	-2.94E-04	-7.52E-04	-1.35E-03	-2.07E-03	1.15E-01
12	-3.74E-04	-3.86E-05	1.25E-04	1.20E-04	-4.36E-05	-3.56E-04	-8.04E-04	-1.37E-03	1.05E-01
11	-9.42E-04	-4.31E-04	-9.29E-05	8.41E-05	1.10E-04	-2.17E-06	-2.42E-04	-5.99E-04	9.50E-02
10	-1.73E-03	-9.97E-04	-4.37E-04	-2.84E-05	2.41E-04	3.86E-04	4.16E-04	3.37E-04	8.50E-02
9	-2.64E-03	-1.62E-03	-7.79E-04	-7.88E-05	4.89E-04	9.41E-04	1.29E-03	1.54E-03	7.50E-02
8	-3.42E-03	-2.00E-03	-7.75E-04	2.84E-04	1.20E-03	1.99E-03	2.69E-03	3.29E-03	6.50E-02
7	-3.30E-03	-1.39E-03	2.34E-04	1.64E-03	2.89E-03	4.00E-03	5.01E-03	5.92E-03	5.50E-02
6	-4.70E-04	1.72E-03	3.71E-03	5.43E-03	6.96E-03	8.33E-03	9.57E-03	1.07E-02	4.50E-02
5	9.43E-03	1.04E-02	1.16E-02	1.29E-02	1.42E-02	1.55E-02	1.67E-02	1.78E-02	3.50E-02
4	3.57E-02	3.64E-02	3.71E-02	3.78E-02	3.86E-02	3.93E-02	4.01E-02	4.08E-02	2.50E-02
3	3.09E-02	3.35E-02	3.63E-02	3.90E-02	4.14E-02	4.35E-02	4.54E-02	4.71E-02	1.50E-02
2	3.08E-02	3.32E-02	3.58E-02	3.85E-02	4.10E-02	4.33E-02	4.53E-02	4.72E-02	5.00E-03
1	3.08E-02	3.32E-02	3.58E-02	3.85E-02	4.10E-02	4.33E-02	4.53E-02	4.72E-02	-5.00E-03
X=	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13	0.14	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	17	18	19	20	21	22	23	24	Y=
J									
27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.55E-01
26	1.27E-02	1.33E-02	1.39E-02	1.45E-02	1.49E-02	1.50E-02	1.45E-02	1.32E-02	2.45E-01
25	7.67E-03	8.68E-03	9.72E-03	1.07E-02	1.16E-02	1.23E-02	1.31E-02	1.28E-02	2.35E-01
24	2.93E-03	3.74E-03	4.61E-03	5.48E-03	6.32E-03	7.10E-03	8.21E-03	9.03E-03	2.25E-01
23	-8.49E-04	-2.74E-04	3.27E-04	9.49E-04	1.61E-03	2.27E-03	3.43E-03	4.81E-03	2.15E-01
22	-2.89E-03	-2.57E-03	-2.24E-03	-1.89E-03	-1.48E-03	-1.01E-03	-1.09E-04	1.14E-03	2.05E-01
21	-4.05E-03	-4.01E-03	-3.96E-03	-3.87E-03	-3.70E-03	-3.45E-03	-2.98E-03	-2.14E-03	1.95E-01
20	-4.81E-03	-5.02E-03	-5.20E-03	-5.35E-03	-5.43E-03	-5.44E-03	-5.37E-03	-4.92E-03	1.85E-01
19	-5.15E-03	-5.57E-03	-5.98E-03	-6.35E-03	-6.67E-03	-6.92E-03	-7.16E-03	-7.06E-03	1.75E-01
18	-5.18E-03	-5.79E-03	-6.40E-03	-6.97E-03	-7.49E-03	-7.91E-03	-8.40E-03	-8.58E-03	1.65E-01
17	-5.00E-03	-5.77E-03	-6.53E-03	-7.26E-03	-7.92E-03	-8.49E-03	-9.17E-03	-9.59E-03	1.55E-01
16	-4.66E-03	-5.54E-03	-6.41E-03	-7.26E-03	-8.03E-03	-8.71E-03	-9.54E-03	-1.02E-02	1.45E-01
15	-4.18E-03	-5.12E-03	-6.06E-03	-6.97E-03	-7.82E-03	-8.57E-03	-9.52E-03	-1.03E-02	1.35E-01
14	-3.59E-03	-4.52E-03	-5.48E-03	-6.42E-03	-7.29E-03	-8.09E-03	-9.10E-03	-9.97E-03	1.25E-01
13	-2.88E-03	-3.76E-03	-4.67E-03	-5.58E-03	-6.44E-03	-7.23E-03	-8.27E-03	-9.20E-03	1.15E-01
12	-2.05E-03	-2.80E-03	-3.61E-03	-4.43E-03	-5.23E-03	-5.98E-03	-6.98E-03	-7.93E-03	1.05E-01
11	-1.06E-03	-1.62E-03	-2.25E-03	-2.91E-03	-3.59E-03	-4.25E-03	-5.15E-03	-6.06E-03	9.50E-02
10	1.52E-04	-1.34E-04	-5.07E-04	-9.49E-04	-1.43E-03	-1.93E-03	-2.66E-03	-3.46E-03	8.50E-02
9	1.69E-03	1.75E-03	1.71E-03	1.57E-03	1.35E-03	1.06E-03	6.44E-04	7.89E-05	7.50E-02
8	3.81E-03	4.24E-03	4.58E-03	4.83E-03	4.99E-03	5.03E-03	4.96E-03	4.78E-03	6.50E-02
7	6.76E-03	7.53E-03	8.23E-03	8.86E-03	9.40E-03	9.86E-03	1.04E-02	1.08E-02	5.50E-02
6	1.18E-02	1.28E-02	1.38E-02	1.47E-02	1.55E-02	1.63E-02	1.73E-02	1.84E-02	4.50E-02
5	1.89E-02	2.00E-02	2.11E-02	2.21E-02	2.30E-02	2.40E-02	2.53E-02	2.69E-02	3.50E-02
4	4.15E-02	4.21E-02	4.28E-02	4.34E-02	4.41E-02	4.47E-02	4.57E-02	4.69E-02	2.50E-02
3	4.87E-02	5.01E-02	5.14E-02	5.26E-02	5.38E-02	5.49E-02	5.64E-02	5.83E-02	1.50E-02
2	4.89E-02	5.05E-02	5.20E-02	5.34E-02	5.47E-02	5.61E-02	5.82E-02	6.03E-02	5.00E-03
1	4.89E-02	5.05E-02	5.20E-02	5.34E-02	5.47E-02	5.61E-02	5.82E-02	6.03E-02	-5.00E-03
X=	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.215	0.235	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	25	26	27	28	29	30	31	32	Y=
J									
27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.55E-01
26	1.18E-02	1.05E-02	9.28E-03	8.16E-03	6.99E-03	5.70E-03	4.28E-03	2.82E-03	2.45E-01
25	1.18E-02	1.06E-02	9.39E-03	8.11E-03	6.65E-03	4.99E-03	3.24E-03	1.53E-03	2.35E-01
24	9.15E-03	8.68E-03	7.74E-03	6.39E-03	4.74E-03	2.97E-03	1.23E-03	-3.84E-04	2.25E-01
23	5.62E-03	5.65E-03	4.95E-03	3.75E-03	2.30E-03	8.21E-04	-5.51E-04	-1.79E-03	2.15E-01
22	1.99E-03	2.18E-03	1.75E-03	9.30E-04	-4.58E-05	-1.01E-03	-1.89E-03	-2.69E-03	2.05E-01
21	-1.47E-03	-1.18E-03	-1.28E-03	-1.61E-03	-2.04E-03	-2.47E-03	-2.89E-03	-3.31E-03	1.95E-01
20	-4.43E-03	-4.05E-03	-3.82E-03	-3.71E-03	-3.66E-03	-3.64E-03	-3.68E-03	-3.77E-03	1.85E-01
19	-6.72E-03	-6.29E-03	-5.83E-03	-5.38E-03	-4.96E-03	-4.59E-03	-4.31E-03	-4.12E-03	1.75E-01
18	-8.40E-03	-7.96E-03	-7.35E-03	-6.67E-03	-5.98E-03	-5.33E-03	-4.78E-03	-4.33E-03	1.65E-01
17	-9.55E-03	-9.13E-03	-8.45E-03	-7.61E-03	-6.72E-03	-5.85E-03	-5.06E-03	-4.38E-03	1.55E-01
16	-1.02E-02	-9.86E-03	-9.14E-03	-8.21E-03	-7.17E-03	-6.12E-03	-5.12E-03	-4.22E-03	1.45E-01
15	-1.05E-02	-1.02E-02	-9.43E-03	-8.43E-03	-7.29E-03	-6.09E-03	-4.93E-03	-3.84E-03	1.35E-01
14	-1.03E-02	-9.99E-03	-9.29E-03	-8.26E-03	-7.04E-03	-5.74E-03	-4.45E-03	-3.20E-03	1.25E-01
13	-9.56E-03	-9.36E-03	-8.69E-03	-7.65E-03	-6.39E-03	-5.02E-03	-3.63E-03	-2.26E-03	1.15E-01
12	-8.34E-03	-8.20E-03	-7.57E-03	-6.55E-03	-5.27E-03	-3.84E-03	-2.39E-03	-9.51E-04	1.05E-01
11	-6.50E-03	-6.43E-03	-5.86E-03	-4.88E-03	-3.60E-03	-2.14E-03	-6.26E-04	8.36E-04	9.50E-02
10	-3.90E-03	-3.89E-03	-3.41E-03	-2.50E-03	-1.26E-03	1.93E-04	1.76E-03	3.22E-03	8.50E-02
9	-3.05E-04	-3.50E-04	1.33E-05	7.86E-04	1.92E-03	3.30E-03	4.88E-03	6.34E-03	7.50E-02
8	4.61E-03	4.57E-03	4.82E-03	5.40E-03	6.34E-03	7.53E-03	9.04E-03	1.05E-02	6.50E-02
7	1.10E-02	1.12E-02	1.15E-02	1.19E-02	1.26E-02	1.35E-02	1.48E-02	1.61E-02	5.50E-02
6	1.93E-02	2.00E-02	2.06E-02	2.12E-02	2.18E-02	2.25E-02	2.34E-02	2.45E-02	4.50E-02
5	2.83E-02	2.95E-02	3.06E-02	3.16E-02	3.25E-02	3.34E-02	3.43E-02	3.55E-02	3.50E-02
4	4.80E-02	4.91E-02	5.01E-02	5.11E-02	5.20E-02	5.31E-02	5.38E-02	5.52E-02	2.50E-02
3	5.99E-02	6.15E-02	6.30E-02	6.44E-02	6.57E-02	6.71E-02	6.82E-02	6.99E-02	1.50E-02
2	6.21E-02	6.39E-02	6.55E-02	6.71E-02	6.86E-02	7.01E-02	7.16E-02	7.34E-02	5.00E-03
1	6.21E-02	6.39E-02	6.55E-02	6.71E-02	6.86E-02	7.01E-02	7.16E-02	7.34E-02	-5.00E-03
X=	0.255	0.275	0.295	0.315	0.335	0.355	0.375	0.395	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	33	34	35	36	37	38	39	40	Y=
J									
27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.55E-01
26	7.51E-04	-1.44E-03	-3.07E-03	-4.35E-03	-5.37E-03	-6.19E-03	-6.86E-03	-7.41E-03	2.45E-01
25	-8.84E-04	-3.39E-03	-5.28E-03	-6.68E-03	-7.76E-03	-8.60E-03	-9.25E-03	-9.74E-03	2.35E-01
24	-2.55E-03	-4.66E-03	-6.21E-03	-7.35E-03	-8.23E-03	-8.91E-03	-9.44E-03	-9.83E-03	2.25E-01
23	-3.41E-03	-5.00E-03	-6.23E-03	-7.19E-03	-7.96E-03	-8.59E-03	-9.09E-03	-9.47E-03	2.15E-01
22	-3.78E-03	-4.96E-03	-5.96E-03	-6.79E-03	-7.48E-03	-8.07E-03	-8.56E-03	-8.95E-03	2.05E-01
21	-3.95E-03	-4.78E-03	-5.56E-03	-6.25E-03	-6.86E-03	-7.39E-03	-7.86E-03	-8.25E-03	1.95E-01
20	-4.02E-03	-4.51E-03	-5.05E-03	-5.58E-03	-6.07E-03	-6.52E-03	-6.95E-03	-7.34E-03	1.85E-01
19	-3.99E-03	-4.12E-03	-4.40E-03	-4.74E-03	-5.09E-03	-5.45E-03	-5.81E-03	-6.19E-03	1.75E-01
18	-3.85E-03	-3.60E-03	-3.59E-03	-3.72E-03	-3.91E-03	-4.13E-03	-4.41E-03	-4.74E-03	1.65E-01
17	-3.55E-03	-2.92E-03	-2.61E-03	-2.50E-03	-2.50E-03	-2.57E-03	-2.71E-03	-2.95E-03	1.55E-01
16	-3.07E-03	-2.06E-03	-1.43E-03	-1.06E-03	-8.52E-04	-7.48E-04	-7.25E-04	-7.95E-04	1.45E-01
15	-2.39E-03	-9.93E-04	-2.74E-05	6.25E-04	1.06E-03	1.36E-03	1.55E-03	1.66E-03	1.35E-01
14	-1.47E-03	3.02E-04	1.61E-03	2.57E-03	3.27E-03	3.78E-03	4.16E-03	4.38E-03	1.25E-01
13	-2.73E-04	1.85E-03	3.51E-03	4.78E-03	5.77E-03	6.52E-03	7.15E-03	7.50E-03	1.15E-01
12	1.24E-03	3.69E-03	5.67E-03	7.26E-03	8.56E-03	9.59E-03	1.05E-02	1.11E-02	1.05E-01
11	3.15E-03	5.87E-03	8.14E-03	1.00E-02	1.16E-02	1.29E-02	1.41E-02	1.50E-02	9.50E-02
10	5.59E-03	8.49E-03	1.10E-02	1.31E-02	1.50E-02	1.66E-02	1.79E-02	1.92E-02	8.50E-02
9	8.69E-03	1.17E-02	1.43E-02	1.66E-02	1.86E-02	2.04E-02	2.20E-02	2.35E-02	7.50E-02
8	1.27E-02	1.56E-02	1.83E-02	2.06E-02	2.27E-02	2.47E-02	2.64E-02	2.81E-02	6.50E-02
7	1.81E-02	2.07E-02	2.32E-02	2.55E-02	2.75E-02	2.95E-02	3.12E-02	3.29E-02	5.50E-02
6	2.60E-02	2.81E-02	3.01E-02	3.20E-02	3.38E-02	3.56E-02	3.72E-02	3.88E-02	4.50E-02
5	3.68E-02	3.83E-02	3.98E-02	4.13E-02	4.27E-02	4.40E-02	4.53E-02	4.67E-02	3.50E-02
4	5.63E-02	5.75E-02	5.86E-02	5.96E-02	6.04E-02	6.12E-02	6.20E-02	6.27E-02	2.50E-02
3	7.15E-02	7.30E-02	7.43E-02	7.55E-02	7.64E-02	7.73E-02	7.80E-02	7.88E-02	1.50E-02
2	7.54E-02	7.70E-02	7.84E-02	7.96E-02	8.07E-02	8.16E-02	8.25E-02	8.32E-02	5.00E-03
1	7.54E-02	7.70E-02	7.84E-02	7.96E-02	8.07E-02	8.16E-02	8.25E-02	8.32E-02	-5.00E-03
X=	0.425	0.465	0.505	0.545	0.585	0.625	0.665	0.705	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	41	42	43	44	45	46	47	48	Y=
J									
27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.55E-01
26	-7.85E-03	-8.15E-03	-8.36E-03	-8.23E-03	-7.82E-03	-7.32E-03	-6.78E-03	-6.43E-03	2.45E-01
25	-1.01E-02	-1.02E-02	-1.03E-02	-9.86E-03	-9.29E-03	-8.65E-03	-8.00E-03	-7.55E-03	2.35E-01
24	-1.01E-02	-1.02E-02	-1.02E-02	-9.79E-03	-9.24E-03	-8.62E-03	-7.97E-03	-7.54E-03	2.25E-01
23	-9.74E-03	-9.87E-03	-9.85E-03	-9.51E-03	-9.01E-03	-8.43E-03	-7.82E-03	-7.41E-03	2.15E-01
22	-9.23E-03	-9.38E-03	-9.39E-03	-9.11E-03	-8.67E-03	-8.17E-03	-7.60E-03	-7.22E-03	2.05E-01
21	-8.56E-03	-8.74E-03	-8.77E-03	-8.58E-03	-8.23E-03	-7.81E-03	-7.31E-03	-6.97E-03	1.95E-01
20	-7.68E-03	-7.91E-03	-7.96E-03	-7.89E-03	-7.65E-03	-7.35E-03	-6.93E-03	-6.66E-03	1.85E-01
19	-6.57E-03	-6.87E-03	-6.95E-03	-7.02E-03	-6.93E-03	-6.78E-03	-6.47E-03	-6.29E-03	1.75E-01
18	-5.16E-03	-5.57E-03	-5.70E-03	-5.93E-03	-6.03E-03	-6.07E-03	-5.89E-03	-5.84E-03	1.65E-01
17	-3.38E-03	-3.95E-03	-4.18E-03	-4.59E-03	-4.93E-03	-5.19E-03	-5.20E-03	-5.31E-03	1.55E-01
16	-1.13E-03	-1.91E-03	-2.35E-03	-2.95E-03	-3.59E-03	-4.13E-03	-4.35E-03	-4.71E-03	1.45E-01
15	1.67E-03	7.82E-04	-5.49E-05	-9.46E-04	-1.95E-03	-2.83E-03	-3.33E-03	-4.03E-03	1.35E-01
14	4.76E-03	4.28E-03	3.03E-03	1.66E-03	2.03E-04	-1.12E-03	-1.99E-03	-3.18E-03	1.25E-01
13	8.03E-03	8.13E-03	7.13E-03	5.31E-03	3.34E-03	1.47E-03	1.12E-04	-1.69E-03	1.15E-01
12	1.17E-02	1.22E-02	1.19E-02	1.04E-02	8.13E-03	5.74E-03	3.74E-03	1.58E-03	1.05E-01
11	1.58E-02	1.67E-02	1.70E-02	1.64E-02	1.48E-02	1.24E-02	9.78E-03	7.85E-03	9.50E-02
10	2.02E-02	2.15E-02	2.23E-02	2.27E-02	2.25E-02	2.12E-02	1.86E-02	1.73E-02	8.50E-02
9	2.48E-02	2.64E-02	2.77E-02	2.88E-02	2.96E-02	3.00E-02	2.87E-02	2.86E-02	7.50E-02
8	2.94E-02	3.13E-02	3.30E-02	3.46E-02	3.60E-02	3.73E-02	3.75E-02	3.87E-02	6.50E-02
7	3.44E-02	3.63E-02	3.82E-02	4.01E-02	4.19E-02	4.36E-02	4.46E-02	4.66E-02	5.50E-02
6	4.02E-02	4.21E-02	4.40E-02	4.60E-02	4.79E-02	4.98E-02	5.11E-02	5.34E-02	4.50E-02
5	4.78E-02	4.94E-02	5.12E-02	5.30E-02	5.48E-02	5.66E-02	5.79E-02	6.03E-02	3.50E-02
4	6.33E-02	6.44E-02	6.54E-02	6.64E-02	6.74E-02	6.86E-02	6.95E-02	7.13E-02	2.50E-02
3	7.93E-02	8.02E-02	8.11E-02	8.18E-02	8.25E-02	8.34E-02	8.40E-02	8.53E-02	1.50E-02
2	8.40E-02	8.49E-02	8.60E-02	8.68E-02	8.77E-02	8.85E-02	8.95E-02	9.06E-02	5.00E-03
1	8.40E-02	8.49E-02	8.60E-02	8.68E-02	8.77E-02	8.85E-02	8.95E-02	9.06E-02	-5.00E-03
X=	0.745	0.785	0.845	0.925	1.005	1.085	1.165	1.245	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	49	50	51	52	Y=
J					
27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.55E-01
26	-6.48E-03	-7.38E-03	-8.19E-03	0.00E+00	2.45E-01
25	-7.58E-03	-8.57E-03	-8.93E-03	0.00E+00	2.35E-01
24	-7.61E-03	-8.69E-03	-9.22E-03	0.00E+00	2.25E-01
23	-7.48E-03	-8.70E-03	-9.62E-03	0.00E+00	2.15E-01
22	-7.29E-03	-8.70E-03	-1.01E-02	0.00E+00	2.05E-01
21	-7.04E-03	-8.66E-03	-1.07E-02	0.00E+00	1.95E-01
20	-6.70E-03	-8.51E-03	-1.12E-02	0.00E+00	1.85E-01
19	-6.25E-03	-8.15E-03	-1.14E-02	0.00E+00	1.75E-01
18	-5.66E-03	-7.40E-03	-1.10E-02	0.00E+00	1.65E-01
17	-4.90E-03	-6.04E-03	-9.31E-03	0.00E+00	1.55E-01
16	-3.94E-03	-3.93E-03	-6.00E-03	0.00E+00	1.45E-01
15	-2.83E-03	-1.17E-03	-1.07E-03	0.00E+00	1.35E-01
14	-1.67E-03	1.60E-03	4.42E-03	0.00E+00	1.25E-01
13	-5.12E-04	4.36E-03	9.19E-03	0.00E+00	1.15E-01
12	1.13E-03	6.96E-03	1.37E-02	0.00E+00	1.05E-01
11	5.36E-03	9.31E-03	1.87E-02	0.00E+00	9.50E-02
10	1.42E-02	1.41E-02	2.48E-02	0.00E+00	8.50E-02
9	2.64E-02	2.50E-02	3.26E-02	0.00E+00	7.50E-02
8	3.83E-02	3.89E-02	4.14E-02	0.00E+00	6.50E-02
7	4.71E-02	5.00E-02	4.92E-02	0.00E+00	5.50E-02
6	5.42E-02	5.80E-02	5.57E-02	0.00E+00	4.50E-02
5	6.12E-02	6.50E-02	6.21E-02	0.00E+00	3.50E-02
4	7.18E-02	7.51E-02	7.22E-02	4.54E-02	2.50E-02
3	8.58E-02	8.82E-02	8.43E-02	5.30E-02	1.50E-02
2	9.17E-02	9.30E-02	8.90E-02	5.59E-02	5.00E-03
1	9.17E-02	9.30E-02	8.90E-02	5.59E-02	-5.00E-03
X=	1.325	1.405	1.485	1.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- V-VELOCITY -

I=	1	2	3	4	5	6	7	8	Y=
J									
27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.50E-01
26	0.00E+00	1.28E-02	5.26E-03	1.78E-03	3.77E-04	-4.61E-04	-1.04E-03	-1.43E-03	2.40E-01
25	0.00E+00	1.97E-02	8.94E-03	2.82E-03	7.61E-04	-1.22E-04	-9.99E-04	-1.82E-03	2.30E-01
24	0.00E+00	2.34E-02	7.58E-03	-1.69E-04	1.59E-03	5.19E-04	-7.22E-04	-1.78E-03	2.20E-01
23	0.00E+00	2.50E-02	6.80E-03	-8.79E-04	-4.42E-04	-7.79E-04	-1.36E-03	-1.97E-03	2.10E-01
22	0.00E+00	2.57E-02	7.25E-03	-2.50E-03	-2.22E-03	-2.29E-03	-2.34E-03	-2.41E-03	2.00E-01
21	0.00E+00	2.62E-02	7.56E-03	-3.90E-03	-3.58E-03	-3.58E-03	-3.28E-03	-2.93E-03	1.90E-01
20	0.00E+00	2.68E-02	8.16E-03	-5.15E-03	-4.60E-03	-4.60E-03	-4.08E-03	-3.47E-03	1.80E-01
19	0.00E+00	2.73E-02	8.76E-03	-6.01E-03	-5.21E-03	-5.37E-03	-4.76E-03	-4.02E-03	1.70E-01
18	0.00E+00	2.78E-02	9.33E-03	-6.53E-03	-5.39E-03	-5.90E-03	-5.32E-03	-4.55E-03	1.60E-01
17	0.00E+00	2.82E-02	9.84E-03	-6.75E-03	-5.19E-03	-6.26E-03	-5.77E-03	-5.05E-03	1.50E-01
16	0.00E+00	2.84E-02	1.03E-02	-6.74E-03	-4.70E-03	-6.50E-03	-6.13E-03	-5.48E-03	1.40E-01
15	0.00E+00	2.86E-02	1.08E-02	-6.53E-03	-4.06E-03	-6.67E-03	-6.40E-03	-5.85E-03	1.30E-01
14	0.00E+00	2.86E-02	1.12E-02	-6.11E-03	-3.43E-03	-6.81E-03	-6.57E-03	-6.14E-03	1.20E-01
13	0.00E+00	2.84E-02	1.16E-02	-5.49E-03	-2.97E-03	-6.91E-03	-6.63E-03	-6.35E-03	1.10E-01
12	0.00E+00	2.80E-02	1.19E-02	-4.71E-03	-2.76E-03	-6.96E-03	-6.57E-03	-6.47E-03	1.00E-01
11	0.00E+00	2.72E-02	1.20E-02	-3.90E-03	-2.74E-03	-6.89E-03	-6.39E-03	-6.51E-03	9.00E-02
10	0.00E+00	2.58E-02	1.18E-02	-3.16E-03	-2.72E-03	-6.62E-03	-6.09E-03	-6.43E-03	8.00E-02
9	0.00E+00	2.32E-02	1.11E-02	-2.37E-03	-2.52E-03	-6.09E-03	-5.59E-03	-6.14E-03	7.00E-02
8	0.00E+00	1.85E-02	9.30E-03	-9.64E-04	-1.96E-03	-4.94E-03	-4.68E-03	-5.48E-03	6.00E-02
7	0.00E+00	1.02E-02	6.13E-03	1.74E-03	-1.78E-04	-2.55E-03	-3.06E-03	-4.18E-03	5.00E-02
6	0.00E+00	-2.24E-03	5.25E-03	4.72E-03	3.32E-03	9.54E-04	-4.68E-04	-1.99E-03	4.00E-02
5	0.00E+00	7.39E-03	6.45E-03	6.03E-03	4.26E-03	1.72E-03	-3.35E-04	-1.66E-03	3.00E-02
4	0.00E+00	4.61E-03	5.55E-03	5.34E-03	3.76E-03	1.64E-03	-3.92E-04	-1.86E-03	2.00E-02
3	0.00E+00	2.34E-03	3.43E-03	2.64E-03	1.62E-03	5.55E-04	-2.93E-04	-8.79E-04	1.00E-02
2	0.00E+00	2.34E-03	3.43E-03	2.64E-03	1.62E-03	5.55E-04	-2.93E-04	-8.79E-04	0.00E+00
X=	-0.005	0.005	0.015	0.025	0.035	0.045	0.055	0.065	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	9	10	11	12	13	14	15	16	Y=
J									
27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.50E-01
26	-1.57E-03	-1.46E-03	-1.12E-03	-6.59E-04	-2.39E-04	4.07E-05	2.54E-04	4.43E-04	2.40E-01
25	-2.37E-03	-2.54E-03	-2.34E-03	-1.79E-03	-9.48E-04	7.36E-06	7.94E-04	1.33E-03	2.30E-01
24	-2.46E-03	-2.63E-03	-2.27E-03	-1.46E-03	-4.24E-04	6.08E-04	1.48E-03	2.13E-03	2.20E-01
23	-2.29E-03	-2.19E-03	-1.67E-03	-8.28E-04	1.79E-04	1.20E-03	2.10E-03	2.80E-03	2.10E-01
22	-2.27E-03	-1.86E-03	-1.16E-03	-2.55E-04	7.50E-04	1.74E-03	2.61E-03	3.29E-03	2.00E-01
21	-2.41E-03	-1.73E-03	-8.76E-04	8.31E-05	1.08E-03	2.03E-03	2.87E-03	3.53E-03	1.90E-01
20	-2.70E-03	-1.84E-03	-8.80E-04	1.25E-04	1.13E-03	2.06E-03	2.88E-03	3.53E-03	1.80E-01
19	-3.12E-03	-2.14E-03	-1.11E-03	-7.12E-05	9.34E-04	1.86E-03	2.66E-03	3.32E-03	1.70E-01
18	-3.59E-03	-2.56E-03	-1.49E-03	-4.42E-04	5.56E-04	1.46E-03	2.26E-03	2.91E-03	1.60E-01
17	-4.08E-03	-3.04E-03	-1.97E-03	-9.34E-04	3.71E-05	9.18E-04	1.69E-03	2.34E-03	1.50E-01
16	-4.55E-03	-3.54E-03	-2.50E-03	-1.50E-03	-5.78E-04	2.59E-04	9.99E-04	1.63E-03	1.40E-01
15	-4.98E-03	-4.02E-03	-3.04E-03	-2.11E-03	-1.25E-03	-4.69E-04	2.23E-04	8.23E-04	1.30E-01
14	-5.35E-03	-4.46E-03	-3.56E-03	-2.71E-03	-1.93E-03	-1.22E-03	-5.91E-04	-3.09E-05	1.20E-01
13	-5.65E-03	-4.85E-03	-4.04E-03	-3.28E-03	-2.58E-03	-1.96E-03	-1.39E-03	-8.84E-04	1.10E-01
12	-5.86E-03	-5.16E-03	-4.45E-03	-3.78E-03	-3.17E-03	-2.63E-03	-2.13E-03	-1.68E-03	1.00E-01
11	-5.97E-03	-5.38E-03	-4.75E-03	-4.17E-03	-3.64E-03	-3.17E-03	-2.75E-03	-2.36E-03	9.00E-02
10	-5.94E-03	-5.46E-03	-4.91E-03	-4.40E-03	-3.94E-03	-3.53E-03	-3.18E-03	-2.85E-03	8.00E-02
9	-5.70E-03	-5.34E-03	-4.87E-03	-4.42E-03	-4.02E-03	-3.67E-03	-3.36E-03	-3.10E-03	7.00E-02
8	-5.12E-03	-4.91E-03	-4.53E-03	-4.17E-03	-3.83E-03	-3.53E-03	-3.27E-03	-3.05E-03	6.00E-02
7	-4.04E-03	-4.10E-03	-3.90E-03	-3.64E-03	-3.37E-03	-3.13E-03	-2.92E-03	-2.74E-03	5.00E-02
6	-2.60E-03	-2.89E-03	-2.93E-03	-2.83E-03	-2.68E-03	-2.51E-03	-2.35E-03	-2.21E-03	4.00E-02
5	-2.28E-03	-2.46E-03	-2.42E-03	-2.27E-03	-2.10E-03	-1.92E-03	-1.77E-03	-1.64E-03	3.00E-02
4	-2.59E-03	-2.78E-03	-2.67E-03	-2.45E-03	-2.20E-03	-1.96E-03	-1.76E-03	-1.59E-03	2.00E-02
3	-1.22E-03	-1.35E-03	-1.34E-03	-1.26E-03	-1.15E-03	-1.04E-03	-9.46E-04	-8.64E-04	1.00E-02
2	-1.22E-03	-1.35E-03	-1.34E-03	-1.26E-03	-1.15E-03	-1.04E-03	-9.46E-04	-8.64E-04	0.00E+00
X=	0.075	0.085	0.095	0.105	0.115	0.125	0.135	0.145	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	17	18	19	20	21	22	23	24	Y=
J									
27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.50E-01
26	5.82E-04	6.36E-04	5.80E-04	4.04E-04	1.29E-04	-3.63E-04	-6.63E-04	-7.16E-04	2.40E-01
25	1.64E-03	1.73E-03	1.63E-03	1.31E-03	8.81E-04	1.25E-04	-8.48E-04	-1.26E-03	2.30E-01
24	2.54E-03	2.70E-03	2.60E-03	2.23E-03	1.71E-03	8.92E-04	-4.67E-04	-1.25E-03	2.20E-01
23	3.25E-03	3.44E-03	3.36E-03	3.02E-03	2.47E-03	1.72E-03	2.20E-04	-9.00E-04	2.10E-01
22	3.75E-03	3.95E-03	3.89E-03	3.58E-03	3.07E-03	2.43E-03	8.73E-04	-5.10E-04	2.00E-01
21	3.99E-03	4.21E-03	4.18E-03	3.94E-03	3.49E-03	2.88E-03	1.35E-03	-1.93E-04	1.90E-01
20	4.00E-03	4.25E-03	4.27E-03	4.07E-03	3.67E-03	3.09E-03	1.65E-03	5.12E-05	1.80E-01
19	3.80E-03	4.07E-03	4.14E-03	3.98E-03	3.63E-03	3.11E-03	1.80E-03	2.24E-04	1.70E-01
18	3.40E-03	3.70E-03	3.80E-03	3.70E-03	3.41E-03	2.97E-03	1.82E-03	3.30E-04	1.60E-01
17	2.83E-03	3.16E-03	3.30E-03	3.26E-03	3.05E-03	2.70E-03	1.73E-03	3.72E-04	1.50E-01
16	2.13E-03	2.48E-03	2.67E-03	2.69E-03	2.57E-03	2.31E-03	1.53E-03	3.56E-04	1.40E-01
15	1.32E-03	1.69E-03	1.92E-03	2.02E-03	1.99E-03	1.83E-03	1.26E-03	2.83E-04	1.30E-01
14	4.48E-04	8.31E-04	1.11E-03	1.28E-03	1.33E-03	1.28E-03	9.14E-04	1.59E-04	1.20E-01
13	-4.32E-04	-4.68E-05	2.62E-04	4.86E-04	6.22E-04	6.68E-04	5.12E-04	-1.29E-05	1.10E-01
12	-1.27E-03	-8.96E-04	-5.73E-04	-3.07E-04	-1.04E-04	3.04E-05	6.58E-05	-2.29E-04	1.00E-01
11	-2.00E-03	-1.66E-03	-1.34E-03	-1.06E-03	-8.07E-04	-6.03E-04	-4.08E-04	-4.86E-04	9.00E-02
10	-2.55E-03	-2.26E-03	-1.98E-03	-1.70E-03	-1.44E-03	-1.19E-03	-8.84E-04	-7.80E-04	8.00E-02
9	-2.85E-03	-2.63E-03	-2.41E-03	-2.19E-03	-1.95E-03	-1.66E-03	-1.31E-03	-1.10E-03	7.00E-02
8	-2.86E-03	-2.69E-03	-2.54E-03	-2.38E-03	-2.23E-03	-1.99E-03	-1.63E-03	-1.37E-03	6.00E-02
7	-2.59E-03	-2.46E-03	-2.36E-03	-2.25E-03	-2.17E-03	-2.01E-03	-1.74E-03	-1.52E-03	5.00E-02
6	-2.10E-03	-2.00E-03	-1.94E-03	-1.87E-03	-1.84E-03	-1.72E-03	-1.54E-03	-1.40E-03	4.00E-02
5	-1.54E-03	-1.46E-03	-1.41E-03	-1.35E-03	-1.36E-03	-1.26E-03	-1.14E-03	-1.05E-03	3.00E-02
4	-1.46E-03	-1.35E-03	-1.28E-03	-1.21E-03	-1.22E-03	-1.11E-03	-9.53E-04	-8.68E-04	2.00E-02
3	-7.96E-04	-7.43E-04	-7.04E-04	-6.83E-04	-6.84E-04	-7.00E-04	-5.20E-04	-4.70E-04	1.00E-02
2	-7.96E-04	-7.43E-04	-7.04E-04	-6.83E-04	-6.84E-04	-7.00E-04	-5.20E-04	-4.70E-04	0.00E+00
X=	0.155	0.165	0.175	0.185	0.195	0.205	0.225	0.245	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	25	26	27	28	29	30	31	32	Y=
J									
27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.50E-01
26	-6.62E-04	-5.96E-04	-5.70E-04	-5.96E-04	-6.61E-04	-7.25E-04	-7.45E-04	-7.04E-04	2.40E-01
25	-1.29E-03	-1.23E-03	-1.24E-03	-1.37E-03	-1.54E-03	-1.65E-03	-1.65E-03	-1.56E-03	2.30E-01
24	-1.59E-03	-1.77E-03	-1.99E-03	-2.28E-03	-2.52E-03	-2.62E-03	-2.55E-03	-2.37E-03	2.20E-01
23	-1.65E-03	-2.21E-03	-2.70E-03	-3.13E-03	-3.39E-03	-3.44E-03	-3.30E-03	-3.03E-03	2.10E-01
22	-1.64E-03	-2.54E-03	-3.26E-03	-3.78E-03	-4.05E-03	-4.07E-03	-3.88E-03	-3.56E-03	2.00E-01
21	-1.57E-03	-2.72E-03	-3.60E-03	-4.20E-03	-4.49E-03	-4.50E-03	-4.30E-03	-3.96E-03	1.90E-01
20	-1.47E-03	-2.75E-03	-3.75E-03	-4.41E-03	-4.73E-03	-4.76E-03	-4.59E-03	-4.26E-03	1.80E-01
19	-1.33E-03	-2.68E-03	-3.74E-03	-4.45E-03	-4.82E-03	-4.90E-03	-4.76E-03	-4.47E-03	1.70E-01
18	-1.18E-03	-2.54E-03	-3.62E-03	-4.37E-03	-4.79E-03	-4.92E-03	-4.83E-03	-4.58E-03	1.60E-01
17	-1.04E-03	-2.35E-03	-3.43E-03	-4.20E-03	-4.66E-03	-4.84E-03	-4.80E-03	-4.60E-03	1.50E-01
16	-9.25E-04	-2.15E-03	-3.19E-03	-3.96E-03	-4.44E-03	-4.67E-03	-4.68E-03	-4.54E-03	1.40E-01
15	-8.32E-04	-1.94E-03	-2.92E-03	-3.67E-03	-4.17E-03	-4.42E-03	-4.47E-03	-4.38E-03	1.30E-01
14	-7.67E-04	-1.74E-03	-2.62E-03	-3.34E-03	-3.84E-03	-4.11E-03	-4.19E-03	-4.15E-03	1.20E-01
13	-7.34E-04	-1.54E-03	-2.32E-03	-2.98E-03	-3.47E-03	-3.76E-03	-3.86E-03	-3.83E-03	1.10E-01
12	-7.36E-04	-1.37E-03	-2.02E-03	-2.61E-03	-3.07E-03	-3.37E-03	-3.49E-03	-3.45E-03	1.00E-01
11	-7.78E-04	-1.22E-03	-1.73E-03	-2.22E-03	-2.64E-03	-2.95E-03	-3.11E-03	-3.02E-03	9.00E-02
10	-8.70E-04	-1.12E-03	-1.46E-03	-1.84E-03	-2.19E-03	-2.49E-03	-2.72E-03	-2.55E-03	8.00E-02
9	-1.02E-03	-1.08E-03	-1.26E-03	-1.50E-03	-1.77E-03	-2.00E-03	-2.33E-03	-2.08E-03	7.00E-02
8	-1.21E-03	-1.13E-03	-1.15E-03	-1.23E-03	-1.42E-03	-1.52E-03	-1.94E-03	-1.62E-03	6.00E-02
7	-1.35E-03	-1.21E-03	-1.15E-03	-1.10E-03	-1.19E-03	-1.13E-03	-1.61E-03	-1.19E-03	5.00E-02
6	-1.29E-03	-1.18E-03	-1.12E-03	-1.03E-03	-1.09E-03	-9.13E-04	-1.41E-03	-8.98E-04	4.00E-02
5	-9.98E-04	-9.38E-04	-9.13E-04	-8.38E-04	-8.96E-04	-7.21E-04	-1.15E-03	-6.93E-04	3.00E-02
4	-8.12E-04	-7.62E-04	-7.33E-04	-6.82E-04	-7.04E-04	-6.05E-04	-8.73E-04	-5.58E-04	2.00E-02
3	-4.40E-04	-4.17E-04	-3.97E-04	-3.81E-04	-3.71E-04	-3.77E-04	-4.52E-04	-3.32E-04	1.00E-02
2	-4.40E-04	-4.17E-04	-3.97E-04	-3.81E-04	-3.71E-04	-3.77E-04	-4.52E-04	-3.32E-04	0.00E+00
X=	0.265	0.285	0.305	0.325	0.345	0.365	0.385	0.405	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	33	34	35	36	37	38	39	40	Y=
J									
27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.50E-01
26	-5.58E-04	-4.18E-04	-3.27E-04	-2.59E-04	-2.09E-04	-1.72E-04	-1.41E-04	-1.12E-04	2.40E-01
25	-1.22E-03	-9.19E-04	-7.00E-04	-5.45E-04	-4.32E-04	-3.45E-04	-2.71E-04	-2.01E-04	2.30E-01
24	-1.82E-03	-1.36E-03	-1.03E-03	-7.94E-04	-6.27E-04	-4.96E-04	-3.83E-04	-2.75E-04	2.20E-01
23	-2.31E-03	-1.74E-03	-1.32E-03	-1.03E-03	-8.17E-04	-6.48E-04	-5.00E-04	-3.56E-04	2.10E-01
22	-2.73E-03	-2.08E-03	-1.60E-03	-1.26E-03	-1.01E-03	-8.06E-04	-6.26E-04	-4.47E-04	2.00E-01
21	-3.09E-03	-2.39E-03	-1.86E-03	-1.48E-03	-1.20E-03	-9.67E-04	-7.59E-04	-5.50E-04	1.90E-01
20	-3.39E-03	-2.66E-03	-2.10E-03	-1.69E-03	-1.38E-03	-1.13E-03	-9.02E-04	-6.69E-04	1.80E-01
19	-3.62E-03	-2.89E-03	-2.31E-03	-1.88E-03	-1.55E-03	-1.29E-03	-1.05E-03	-8.06E-04	1.70E-01
18	-3.78E-03	-3.07E-03	-2.49E-03	-2.05E-03	-1.71E-03	-1.44E-03	-1.21E-03	-9.65E-04	1.60E-01
17	-3.87E-03	-3.19E-03	-2.62E-03	-2.18E-03	-1.84E-03	-1.58E-03	-1.35E-03	-1.14E-03	1.50E-01
16	-3.88E-03	-3.25E-03	-2.72E-03	-2.29E-03	-1.95E-03	-1.68E-03	-1.46E-03	-1.31E-03	1.40E-01
15	-3.82E-03	-3.25E-03	-2.75E-03	-2.35E-03	-2.02E-03	-1.76E-03	-1.55E-03	-1.41E-03	1.30E-01
14	-3.68E-03	-3.18E-03	-2.74E-03	-2.36E-03	-2.06E-03	-1.81E-03	-1.62E-03	-1.42E-03	1.20E-01
13	-3.46E-03	-3.04E-03	-2.65E-03	-2.32E-03	-2.05E-03	-1.81E-03	-1.67E-03	-1.41E-03	1.10E-01
12	-3.16E-03	-2.82E-03	-2.50E-03	-2.21E-03	-1.98E-03	-1.76E-03	-1.67E-03	-1.40E-03	1.00E-01
11	-2.79E-03	-2.54E-03	-2.28E-03	-2.04E-03	-1.85E-03	-1.65E-03	-1.61E-03	-1.34E-03	9.00E-02
10	-2.37E-03	-2.19E-03	-2.00E-03	-1.80E-03	-1.66E-03	-1.49E-03	-1.47E-03	-1.23E-03	8.00E-02
9	-1.91E-03	-1.80E-03	-1.67E-03	-1.52E-03	-1.42E-03	-1.28E-03	-1.28E-03	-1.07E-03	7.00E-02
8	-1.45E-03	-1.38E-03	-1.30E-03	-1.20E-03	-1.13E-03	-1.02E-03	-1.04E-03	-8.71E-04	6.00E-02
7	-1.02E-03	-9.78E-04	-9.33E-04	-8.67E-04	-8.27E-04	-7.49E-04	-7.78E-04	-6.47E-04	5.00E-02
6	-7.08E-04	-6.59E-04	-6.18E-04	-5.68E-04	-5.41E-04	-4.85E-04	-5.13E-04	-4.19E-04	4.00E-02
5	-5.07E-04	-4.48E-04	-3.99E-04	-3.49E-04	-3.19E-04	-2.74E-04	-2.87E-04	-2.25E-04	3.00E-02
4	-3.88E-04	-3.36E-04	-2.93E-04	-2.51E-04	-2.21E-04	-1.88E-04	-1.86E-04	-1.51E-04	2.00E-02
3	-2.00E-04	-1.76E-04	-1.54E-04	-1.33E-04	-1.17E-04	-1.04E-04	-9.67E-05	-9.56E-05	1.00E-02
2	-2.00E-04	-1.76E-04	-1.54E-04	-1.33E-04	-1.17E-04	-1.04E-04	-9.67E-05	-9.56E-05	0.00E+00
X=	0.445	0.485	0.525	0.565	0.605	0.645	0.685	0.725	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	41	42	43	44	45	46	47	48	Y=
J									
27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.50E-01
26	-7.83E-05	-3.58E-05	1.74E-05	5.18E-05	6.46E-05	6.83E-05	4.48E-05	-6.40E-06	2.40E-01
25	-1.24E-04	-4.03E-05	6.84E-05	1.26E-04	1.49E-04	1.55E-04	1.04E-04	-1.06E-05	2.30E-01
24	-1.59E-04	-3.77E-05	1.20E-04	2.02E-04	2.35E-04	2.45E-04	1.64E-04	-2.01E-05	2.20E-01
23	-1.99E-04	-3.69E-05	1.69E-04	2.76E-04	3.20E-04	3.36E-04	2.24E-04	-3.03E-05	2.10E-01
22	-2.47E-04	-3.93E-05	2.13E-04	3.47E-04	4.01E-04	4.25E-04	2.83E-04	-4.10E-05	2.00E-01
21	-3.07E-04	-4.58E-05	2.48E-04	4.10E-04	4.75E-04	5.12E-04	3.41E-04	-5.13E-05	1.90E-01
20	-3.82E-04	-5.75E-05	2.72E-04	4.63E-04	5.40E-04	5.95E-04	3.94E-04	-5.83E-05	1.80E-01
19	-4.80E-04	-7.53E-05	2.79E-04	5.02E-04	5.91E-04	6.70E-04	4.41E-04	-5.67E-05	1.70E-01
18	-6.15E-04	-1.03E-04	2.67E-04	5.20E-04	6.23E-04	7.33E-04	4.76E-04	-3.73E-05	1.60E-01
17	-8.04E-04	-1.48E-04	2.33E-04	5.11E-04	6.31E-04	7.82E-04	4.92E-04	1.40E-05	1.50E-01
16	-1.06E-03	-2.34E-04	1.71E-04	4.65E-04	6.06E-04	8.08E-04	4.81E-04	1.15E-04	1.40E-01
15	-1.38E-03	-3.97E-04	6.79E-05	3.71E-04	5.38E-04	8.06E-04	4.27E-04	2.80E-04	1.30E-01
14	-1.62E-03	-6.47E-04	-1.05E-04	2.12E-04	4.10E-04	7.60E-04	3.07E-04	5.00E-04	1.20E-01
13	-1.74E-03	-8.80E-04	-3.52E-04	-2.65E-05	2.03E-04	6.53E-04	9.89E-05	7.00E-04	1.10E-01
12	-1.78E-03	-1.02E-03	-5.88E-04	-3.23E-04	-9.08E-05	4.56E-04	-1.74E-04	7.10E-04	1.00E-01
11	-1.76E-03	-1.08E-03	-7.28E-04	-5.68E-04	-4.18E-04	1.56E-04	-4.48E-04	4.61E-04	9.00E-02
10	-1.65E-03	-1.06E-03	-7.66E-04	-6.76E-04	-6.31E-04	-1.70E-04	-6.82E-04	9.85E-05	8.00E-02
9	-1.46E-03	-9.76E-04	-7.26E-04	-6.68E-04	-6.67E-04	-3.67E-04	-7.95E-04	-1.79E-04	7.00E-02
8	-1.21E-03	-8.31E-04	-6.27E-04	-5.91E-04	-5.97E-04	-4.05E-04	-7.65E-04	-2.61E-04	6.00E-02
7	-9.26E-04	-6.44E-04	-4.88E-04	-4.70E-04	-4.82E-04	-3.49E-04	-6.45E-04	-2.37E-04	5.00E-02
6	-6.33E-04	-4.37E-04	-3.29E-04	-3.23E-04	-3.43E-04	-2.54E-04	-4.78E-04	-1.79E-04	4.00E-02
5	-3.67E-04	-2.41E-04	-1.72E-04	-1.73E-04	-1.95E-04	-1.46E-04	-2.95E-04	-1.10E-04	3.00E-02
4	-2.30E-04	-1.50E-04	-9.70E-05	-9.65E-05	-1.04E-04	-8.62E-05	-1.58E-04	-7.75E-05	2.00E-02
3	-1.18E-04	-8.94E-05	-5.22E-05	-5.44E-05	-5.31E-05	-5.92E-05	-6.83E-05	-6.94E-05	1.00E-02
2	-1.18E-04	-8.94E-05	-5.22E-05	-5.44E-05	-5.31E-05	-5.92E-05	-6.83E-05	-6.94E-05	0.00E+00
X=	0.765	0.805	0.885	0.965	1.045	1.125	1.205	1.285	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	49	50	51	52	Y=
J					
27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.50E-01
26	-1.15E-04	-1.03E-04	7.27E-04	0.00E+00	2.40E-01
25	-2.47E-04	-1.53E-04	1.55E-03	0.00E+00	2.30E-01
24	-3.96E-04	-2.28E-04	2.44E-03	0.00E+00	2.20E-01
23	-5.70E-04	-3.56E-04	3.42E-03	0.00E+00	2.10E-01
22	-7.79E-04	-5.58E-04	4.49E-03	0.00E+00	2.00E-01
21	-1.03E-03	-8.51E-04	5.68E-03	0.00E+00	1.90E-01
20	-1.32E-03	-1.25E-03	7.00E-03	0.00E+00	1.80E-01
19	-1.64E-03	-1.74E-03	8.44E-03	0.00E+00	1.70E-01
18	-1.97E-03	-2.31E-03	9.95E-03	0.00E+00	1.60E-01
17	-2.25E-03	-2.89E-03	1.15E-02	0.00E+00	1.50E-01
16	-2.41E-03	-3.37E-03	1.28E-02	0.00E+00	1.40E-01
15	-2.38E-03	-3.61E-03	1.39E-02	0.00E+00	1.30E-01
14	-2.15E-03	-3.55E-03	1.46E-02	0.00E+00	1.20E-01
13	-1.71E-03	-3.24E-03	1.51E-02	0.00E+00	1.10E-01
12	-1.11E-03	-2.68E-03	1.54E-02	0.00E+00	1.00E-01
11	-7.13E-04	-1.74E-03	1.54E-02	0.00E+00	9.00E-02
10	-8.09E-04	-5.33E-04	1.50E-02	0.00E+00	8.00E-02
9	-1.12E-03	4.14E-04	1.41E-02	0.00E+00	7.00E-02
8	-1.22E-03	8.21E-04	1.26E-02	0.00E+00	6.00E-02
7	-1.07E-03	8.82E-04	1.04E-02	0.00E+00	5.00E-02
6	-8.14E-04	7.86E-04	7.57E-03	0.00E+00	4.00E-02
5	-5.25E-04	6.29E-04	3.79E-03	0.00E+00	3.00E-02
4	-2.73E-04	4.90E-04	2.76E-03	0.00E+00	2.00E-02
3	-8.06E-05	2.47E-04	1.44E-03	0.00E+00	1.00E-02
2	-8.06E-05	2.47E-04	1.44E-03	0.00E+00	0.00E+00
X=	1.365	1.445	1.525	1.675	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- TEMPERATURE -

I=	1	2	3	4	5	6	7	8	Y=
J									
27	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	2.55E-01
26	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	2.45E-01
25	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	2.35E-01
24	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	2.25E-01
23	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	2.15E-01
22	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	2.05E-01
21	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	1.95E-01
20	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	1.85E-01
19	3.09E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	1.75E-01
18	3.09E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	1.65E-01
17	3.10E+02	3.10E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	1.55E-01
16	3.10E+02	3.10E+02	3.10E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	1.45E-01
15	3.11E+02	3.11E+02	3.10E+02	3.10E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	1.35E-01
14	3.11E+02	3.11E+02	3.11E+02	3.10E+02	3.10E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.09E+02	1.25E-01
13	3.12E+02	3.12E+02	3.12E+02	3.11E+02	3.11E+02	3.10E+02	3.10E+02	3.09E+02	1.15E-01
12	3.13E+02	3.13E+02	3.13E+02	3.12E+02	3.11E+02	3.11E+02	3.10E+02	3.10E+02	1.05E-01
11	3.14E+02	3.14E+02	3.14E+02	3.13E+02	3.12E+02	3.11E+02	3.11E+02	3.10E+02	9.50E-02
10	3.15E+02	3.15E+02	3.15E+02	3.14E+02	3.13E+02	3.12E+02	3.11E+02	3.11E+02	8.50E-02
9	3.17E+02	3.17E+02	3.16E+02	3.15E+02	3.14E+02	3.13E+02	3.12E+02	3.12E+02	7.50E-02
8	3.19E+02	3.19E+02	3.18E+02	3.16E+02	3.15E+02	3.14E+02	3.13E+02	3.13E+02	6.50E-02
7	3.21E+02	3.21E+02	3.20E+02	3.19E+02	3.17E+02	3.16E+02	3.15E+02	3.14E+02	5.50E-02
6	3.24E+02	3.24E+02	3.23E+02	3.21E+02	3.20E+02	3.18E+02	3.17E+02	3.15E+02	4.50E-02
5	3.29E+02	3.29E+02	3.27E+02	3.25E+02	3.23E+02	3.21E+02	3.19E+02	3.17E+02	3.50E-02
4	3.43E+02	3.37E+02	3.33E+02	3.30E+02	3.27E+02	3.24E+02	3.22E+02	3.20E+02	2.50E-02
3	3.43E+02	3.39E+02	3.36E+02	3.32E+02	3.29E+02	3.26E+02	3.23E+02	3.21E+02	1.50E-02
2	3.43E+02	3.40E+02	3.37E+02	3.34E+02	3.30E+02	3.27E+02	3.24E+02	3.22E+02	5.00E-03
1	3.43E+02	3.40E+02	3.37E+02	3.34E+02	3.30E+02	3.27E+02	3.24E+02	3.22E+02	-5.00E-03
X=	-0.005	0.005	0.015	0.025	0.035	0.045	0.055	0.065	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	9	10	11	12	13	14	15	16	Y=
J									
27	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	2.55E-01
26	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	2.45E-01
25	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	2.35E-01
24	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	2.25E-01
23	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	2.15E-01
22	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	2.05E-01
21	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	1.95E-01
20	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	1.85E-01
19	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	1.75E-01
18	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	1.65E-01
17	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	1.55E-01
16	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	1.45E-01
15	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	1.35E-01
14	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	1.25E-01
13	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	1.15E-01
12	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	1.05E-01
11	3.10E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	9.50E-02
10	3.10E+02	3.10E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	8.50E-02
9	3.11E+02	3.10E+02	3.10E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	7.50E-02
8	3.12E+02	3.11E+02	3.11E+02	3.10E+02	3.10E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	6.50E-02
7	3.13E+02	3.12E+02	3.11E+02	3.11E+02	3.10E+02	3.10E+02	3.09E+02	3.09E+02	5.50E-02
6	3.14E+02	3.13E+02	3.13E+02	3.12E+02	3.11E+02	3.11E+02	3.10E+02	3.10E+02	4.50E-02
5	3.16E+02	3.15E+02	3.14E+02	3.13E+02	3.12E+02	3.12E+02	3.11E+02	3.10E+02	3.50E-02
4	3.18E+02	3.17E+02	3.15E+02	3.14E+02	3.13E+02	3.13E+02	3.12E+02	3.11E+02	2.50E-02
3	3.19E+02	3.18E+02	3.16E+02	3.15E+02	3.14E+02	3.13E+02	3.13E+02	3.12E+02	1.50E-02
2	3.20E+02	3.18E+02	3.17E+02	3.16E+02	3.15E+02	3.14E+02	3.13E+02	3.12E+02	5.00E-03
1	3.20E+02	3.18E+02	3.17E+02	3.16E+02	3.15E+02	3.14E+02	3.13E+02	3.12E+02	-5.00E-03
X=	0.075	0.085	0.095	0.105	0.115	0.125	0.135	0.145	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	17	18	19	20	21	22	23	24	Y=
J									
27	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	2.55E-01
26	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	2.45E-01
25	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	2.35E-01
24	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	2.25E-01
23	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	2.15E-01
22	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	2.05E-01
21	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	1.95E-01
20	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	1.85E-01
19	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.04E+02	1.75E-01
18	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.04E+02	1.65E-01
17	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.04E+02	1.55E-01
16	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	1.45E-01
15	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	1.35E-01
14	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	1.25E-01
13	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	1.15E-01
12	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	1.05E-01
11	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	9.50E-02
10	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	8.50E-02
9	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	7.50E-02
8	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	6.50E-02
7	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	5.50E-02
6	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.07E+02	4.50E-02
5	3.10E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	3.07E+02	3.07E+02	3.50E-02
4	3.11E+02	3.10E+02	3.10E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.07E+02	2.50E-02
3	3.11E+02	3.11E+02	3.10E+02	3.10E+02	3.09E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	1.50E-02
2	3.12E+02	3.11E+02	3.10E+02	3.10E+02	3.10E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	5.00E-03
1	3.12E+02	3.11E+02	3.10E+02	3.10E+02	3.10E+02	3.09E+02	3.08E+02	3.08E+02	-5.00E-03
X=	0.155	0.165	0.175	0.185	0.195	0.205	0.225	0.245	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	25	26	27	28	29	30	31	32	Y=
J									
27	3.05E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	2.55E-01
26	3.05E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	2.45E-01
25	3.05E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	2.35E-01
24	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	2.25E-01
23	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	2.15E-01
22	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	2.05E-01
21	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	1.95E-01
20	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	1.85E-01
19	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	1.75E-01
18	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	1.65E-01
17	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	1.55E-01
16	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	1.45E-01
15	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	1.35E-01
14	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	1.25E-01
13	3.05E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	1.15E-01
12	3.05E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	1.05E-01
11	3.05E+02	3.05E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	9.50E-02
10	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	8.50E-02
9	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	7.50E-02
8	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	6.50E-02
7	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.04E+02	3.04E+02	5.50E-02
6	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	4.50E-02
5	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.50E-02
4	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	2.50E-02
3	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	1.50E-02
2	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	5.00E-03
1	3.07E+02	3.07E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.06E+02	3.05E+02	3.05E+02	3.05E+02	-5.00E-03
X=	0.265	0.285	0.305	0.325	0.345	0.365	0.385	0.405	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	33	34	35	36	37	38	39	40	Y=
J									
27	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.55E-01
26	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.45E-01
25	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.35E-01
24	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.25E-01
23	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.15E-01
22	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.05E-01
21	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.95E-01
20	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.85E-01
19	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.75E-01
18	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.65E-01
17	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.55E-01
16	3.04E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.45E-01
15	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.35E-01
14	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.25E-01
13	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.15E-01
12	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.05E-01
11	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	9.50E-02
10	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	3.03E+02	8.50E-02
9	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	7.50E-02
8	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	6.50E-02
7	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	5.50E-02
6	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	4.50E-02
5	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.50E-02
4	3.05E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	2.50E-02
3	3.05E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	1.50E-02
2	3.05E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	5.00E-03
1	3.05E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	3.04E+02	-5.00E-03
X=	0.445	0.485	0.525	0.565	0.605	0.645	0.685	0.725	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	41	42	43	44	45	46	47	48	Y=
J									
27	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.55E-01
26	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.45E-01
25	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.35E-01
24	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.25E-01
23	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.15E-01
22	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.05E-01
21	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.95E-01
20	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.85E-01
19	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.75E-01
18	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.65E-01
17	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.55E-01
16	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.45E-01
15	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.35E-01
14	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.25E-01
13	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.15E-01
12	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.05E-01
11	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	9.50E-02
10	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	8.50E-02
9	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	7.50E-02
8	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	6.50E-02
7	3.04E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	5.50E-02
6	3.04E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	4.50E-02
5	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.50E-02
4	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.50E-02
3	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.50E-02
2	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	5.00E-03
1	3.04E+02	3.04E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	-5.00E-03
X=	0.765	0.805	0.885	0.965	1.045	1.125	1.205	1.285	

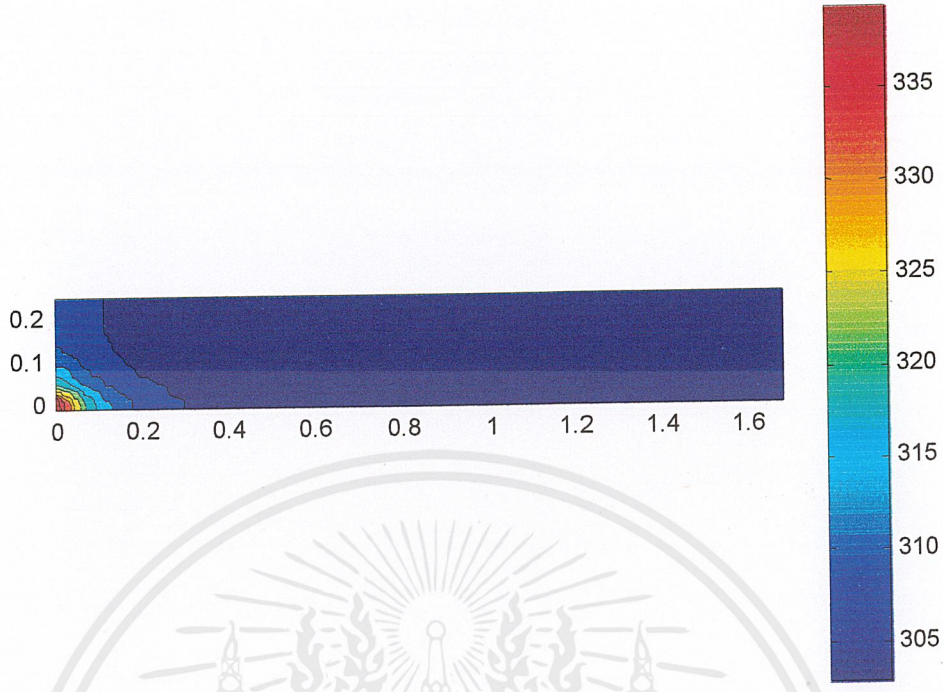
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	49	50	51	52	Y=
J					
27	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.73E+02	2.55E-01
26	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.45E-01
25	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.35E-01
24	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.25E-01
23	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.15E-01
22	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.05E-01
21	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.95E-01
20	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.85E-01
19	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.75E-01
18	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.65E-01
17	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.55E-01
16	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.45E-01
15	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.35E-01
14	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.25E-01
13	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.15E-01
12	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.05E-01
11	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	9.50E-02
10	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	8.50E-02
9	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	7.50E-02
8	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	6.50E-02
7	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	5.50E-02
6	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	4.50E-02
5	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.50E-02
4	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.50E-02
3	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	1.50E-02
2	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	5.00E-03
1	3.03E+02	3.03E+02	3.03E+02	2.73E+02	-5.00E-03

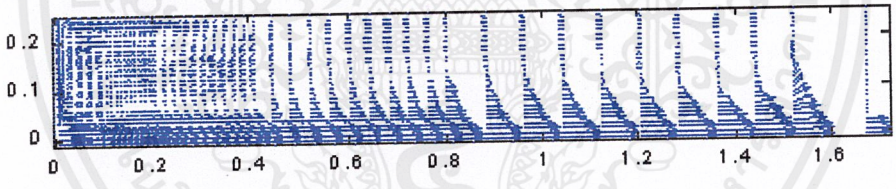
X=	1.365	1.445	1.525	1.675

นำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดนี้ มาแสดงเป็นรูปที่เห็นได้ชัดเจนแล้วเข้าใจง่าย โดยใช้การจัดการด้วยโปรแกรมทาง MathLab จะได้ ผลดังรูปที่ 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 45.5 วินาที



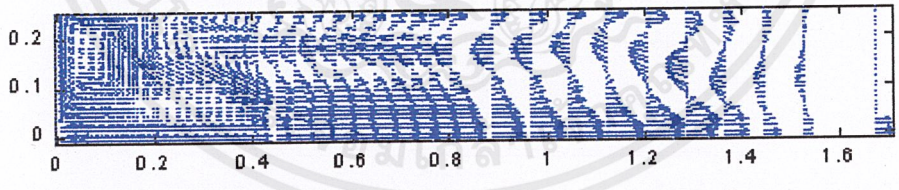
รูปที่ 6.3 แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 45.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นมีจำนวนมาก เพราะการตั้งค่าจุด (grid) มีมาก ประกอบกับมีหลายกรณี จึงขอแสดงแต่เพียงรูปที่ได้จากการคำนวณเท่านั้น ซึ่งรูปจะแสดงรายละเอียดชัดเจนแล้ว

ที่เวลา 360.5 วินาที ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 6.4 และ 6.5

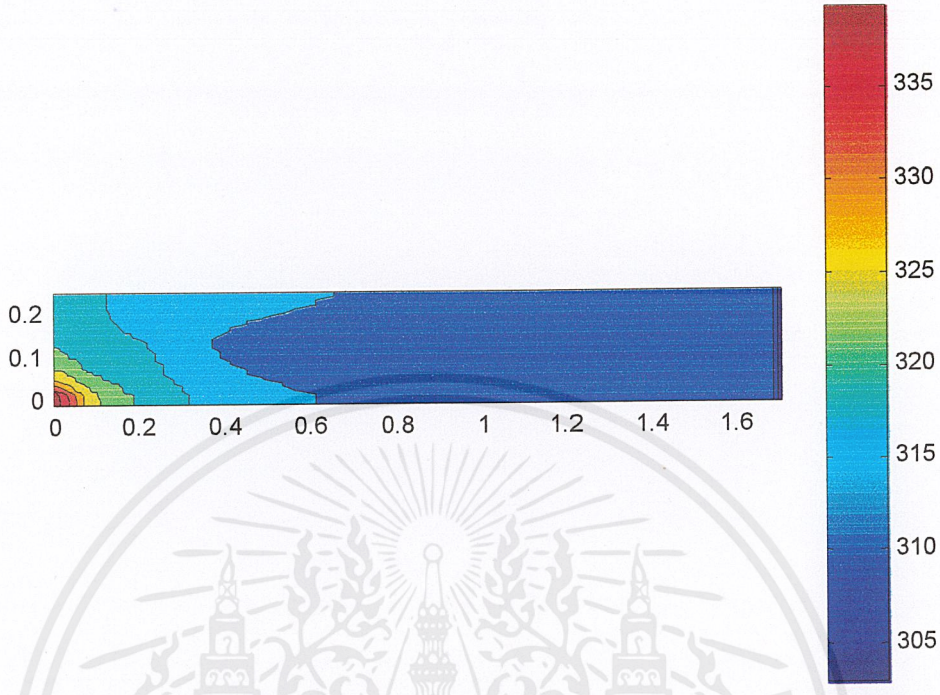
รูปที่ 6.4 แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 360.5 วินาที



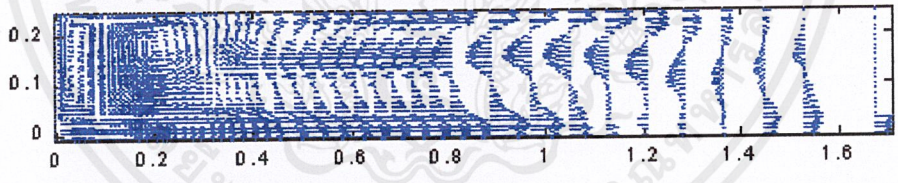
รูปที่ 6.5 แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 360.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 630.5 วินาที ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 6.6 และ 6.7



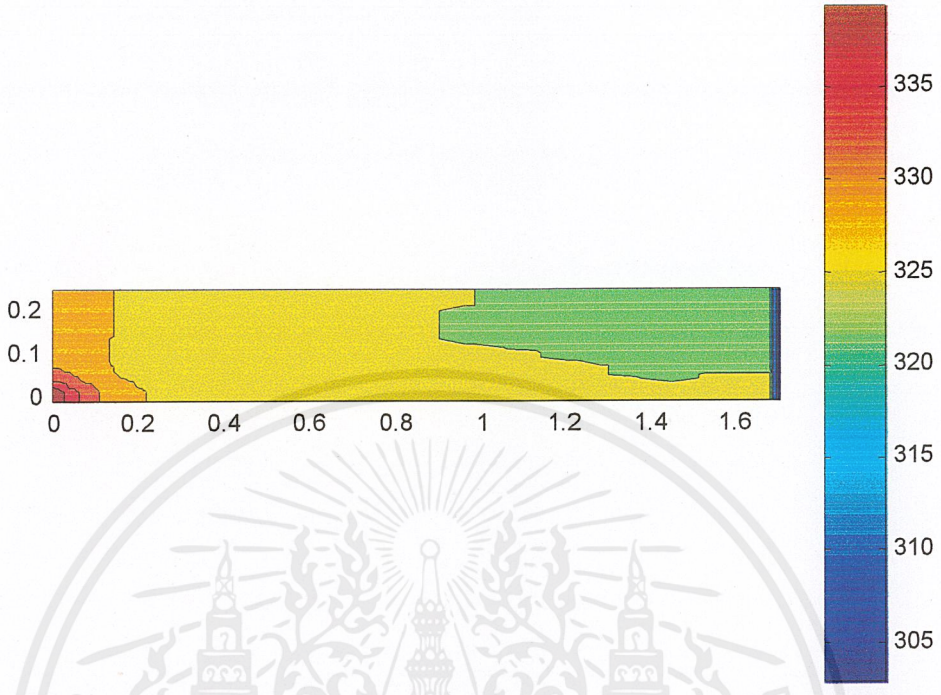
รูปที่ 6.6 แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 630.5 วินาที



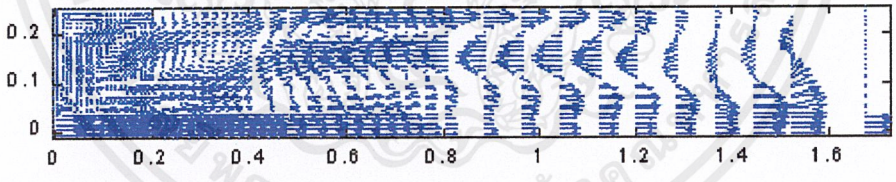
รูปที่ 6.7 แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 630.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 1665.5 วินาที ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 6.8 และ 6.9



รูปที่ 6.8 แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 1665.5 วินาที



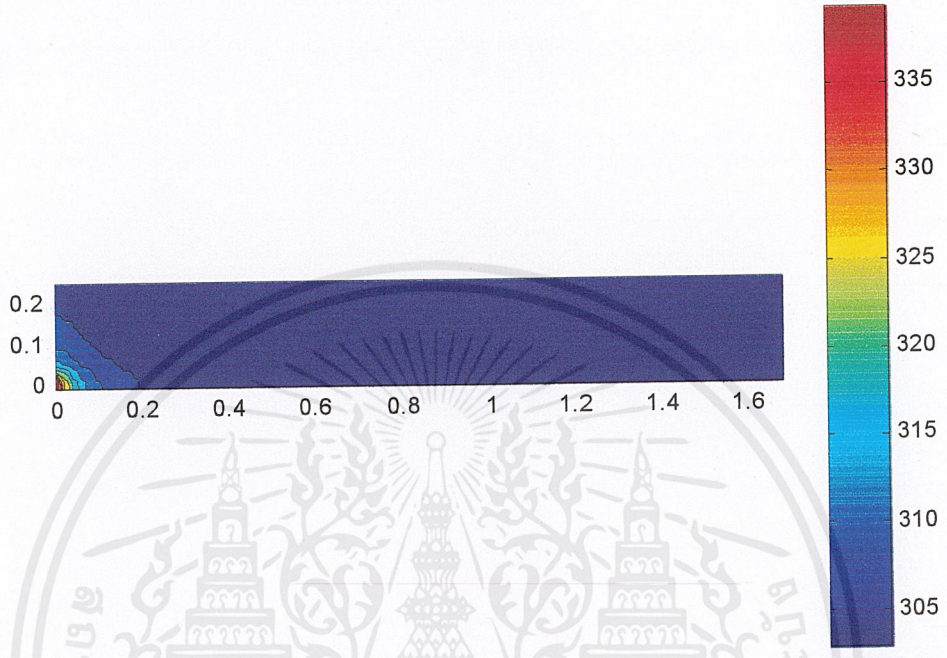
รูปที่ 6.9 แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.05m/s ณ เวลา 1665.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

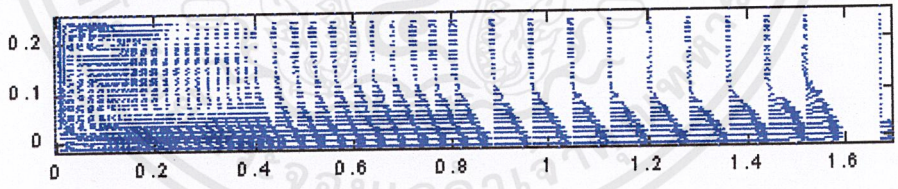
<u>กรณีที่ 2</u> : ช่องทางเข้าของน้ำ 1 ช่องทาง ที่มีความเร็ว 0.02 m/s

<u>ผลการคำนวณ</u> ของ **<u>กรณีที่ 2</u>** ณ เวลาใดๆ

<u>ที่เวลา 45.5 วินาที</u> ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 6.10 และ 6.11



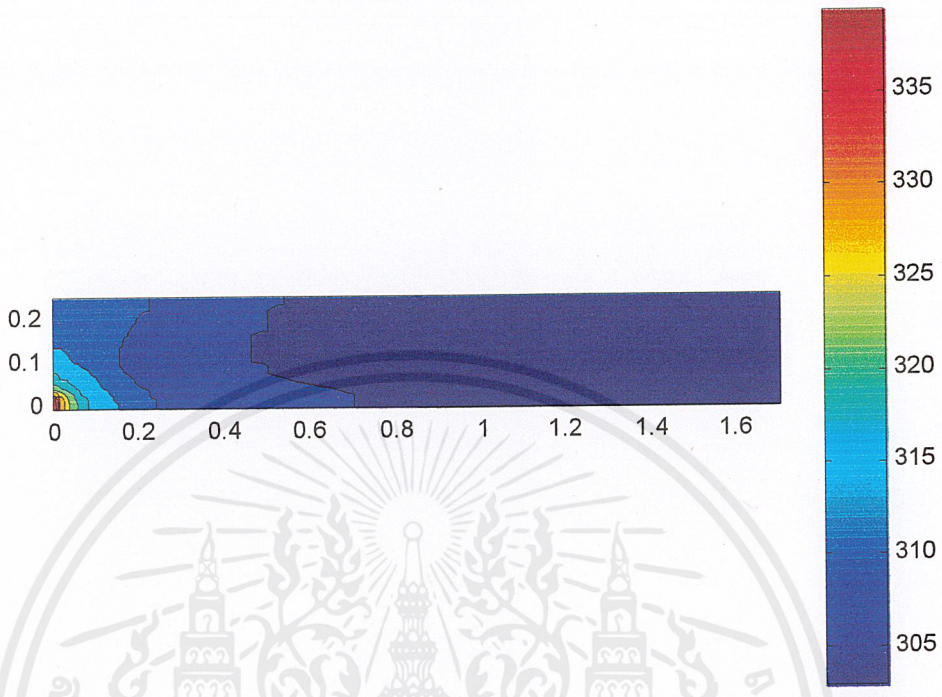
รูปที่ 6.10 แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.02m/s ณ เวลา 45.5 วินาที



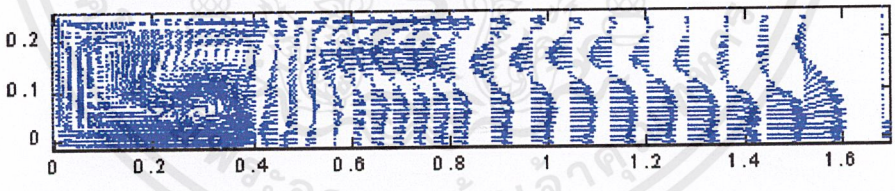
รูปที่ 6.11 แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.02m/s ณ เวลา 45.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 360.5 วินาที ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 6.12 และ 6.13



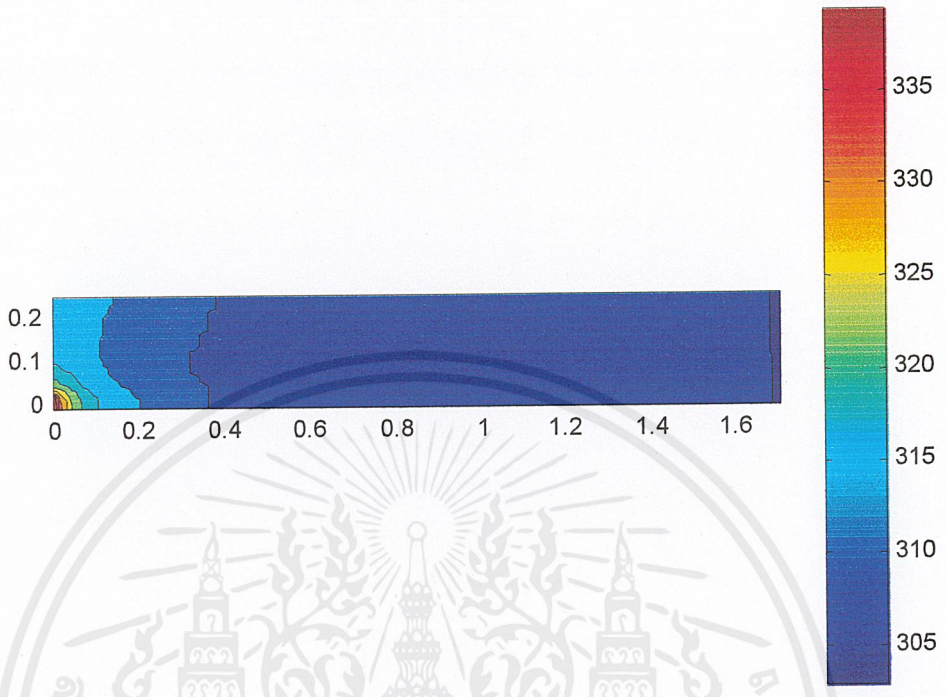
รูปที่ 6.12 แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.02m/s ณ เวลา 360.5 วินาที



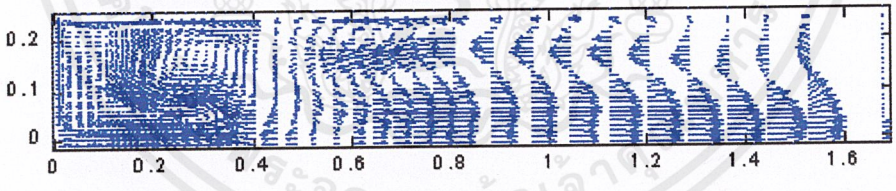
รูปที่ 6.13 แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.02m/s ณ เวลา 360.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 630.5 วินาที ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 6.14 และ 6.15



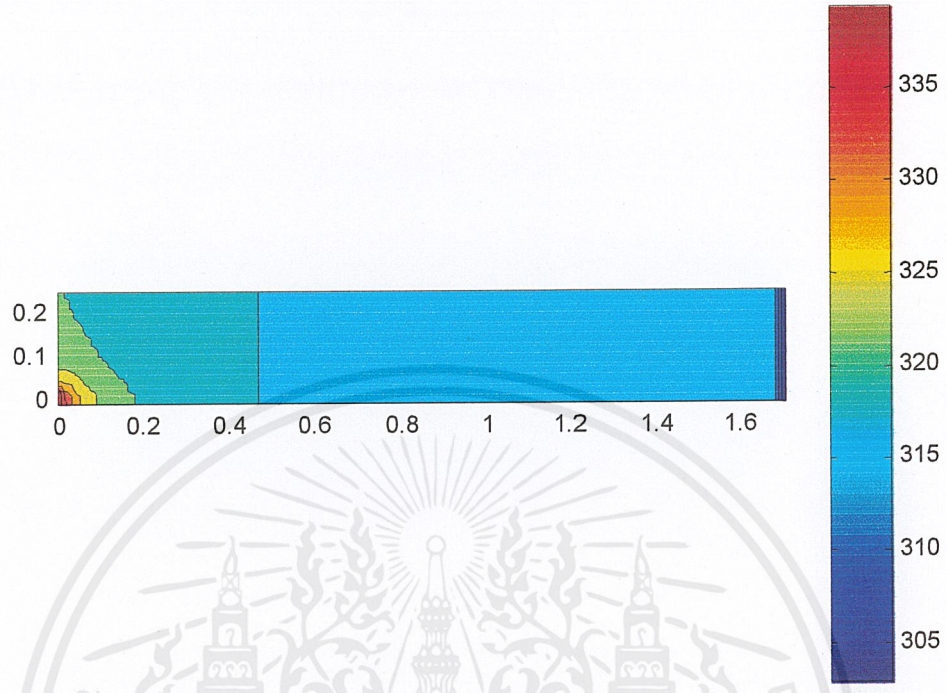
รูปที่ 6.14 แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.02m/s ณ เวลา 630.5 วินาที



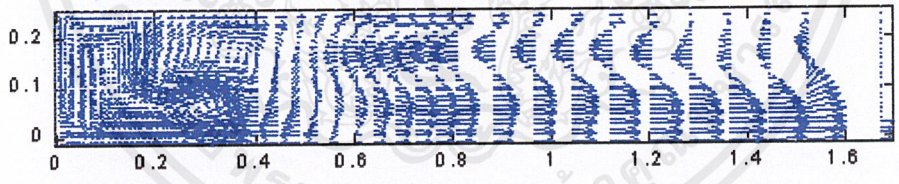
รูปที่ 6.15 แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง0.02m/s ณ เวลา 630.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 1665.5 วินาที ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 6.16 และ 6.17



รูปที่ 6.16 แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.02m/s ณ เวลา 1665.5 วินาที



รูปที่ 6.17 แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 1 ช่องทาง 0.02m/s ณ เวลา 1665.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กรณีที่ 3</u> : ช่องทางเข้าของน้ำ 5 ช่องทาง ที่มีความเร็ว 0.0071 m/s เป็นดังนี้ (แตกต่างจากกรณีที่ 1)

** 1**********

DATA FILE CREATED AT: 17:41:19 ON: 11-Dec-99

SCALE 4:1(HEAT INPUT) THERMAL STORAGE TANK

BY KITTICHAI SUTHUNYATANAKIT, KRIANGKRAI PANYARATTANA

****

** 2 ** GENERAL DATA:

.- PROGRAM CONTROL	MAXIT:	25000	SORMAX:	0.4000E-02
.- MONITORING LOCATION	IMON:	12	JMON:	12
.- OUTPUT INTERVALS	IPRESD:	50	INTBAK:	100

** 3 ** LOGICAL PARAMETERS.

INCALU:	T	INCALV:	T
INCALW:	F	INCALP:	T
INCALK:	F	INCALD:	F
INPRO:	T	IPISO:	F
INCALX:	F	INCAVOL:	F
INCAPR:	F	ITRACK:	F
INCALH:	T	INCALT:	T
IREAD:	F	IWRITE:	T
INCALC:	T	INOUT:	T
IQUARL:	F	IEXPAN:	F
INCARD:	F	WSORC:	F
INCALCPW:	T	INCALTCON:	F
INITT:	T		

** 4 ** COMPUTING ELEMENTS.

.- NUMBER OF SWEEPS.	NSWPU:	3	NSWPV:	3
	NSWPW:	3	NSWPP:	5
	NSWPK:	2	NSWPD:	2
	NSWPX:	5	NSWPH:	2
	NSWPVO:	2	NSWPPR:	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NSWPRA: 5

.- PISO PARAMETERS

MAXSWP: 35 RESF: 0.2000

.- UNDER RELAXATION.

URFU:	0.1600	URFV:	0.2200
URFW:	0.1000	URFP:	0.7500
URFK:	0.4000	URFE:	0.4000
URFVIS:	0.5000	URFX:	0.6000
URFVOL:	0.5000	URFDEN:	0.5000
URFH:	0.1200	URFPR:	0.5000
URFTEM:	1.0000	URFRAD:	1.0000

** 5 ** GEOMETRY:

.- DIMENSIONS RLARGE: 0.2500 ALTOT: 1.6000

.- MAXIMUM INDEX NI: 52 NJ: 25

.- NUMBER OF INLETS NINL 3

HOLE	IINL:	2	JINL:	0
	IINL:	2	JINL:	4
PRIMARY	IINL:	2	JINL:	8
	IINL:	2	JINL:	11
SECONDARY	IINL:	2	JINL:	17
	IINL:	2	JINL:	20

.- OUTLET INDEX JOUT: 4

.- X-COORDINATE:

I=	1	JLIM=	26	X(I)=	-0.005000
I=	2	JLIM=	26	X(I)=	0.005000
I=	3	JLIM=	26	X(I)=	0.015000
I=	4	JLIM=	26	X(I)=	0.025000
I=	5	JLIM=	26	X(I)=	0.035000
I=	6	JLIM=	26	X(I)=	0.045000
I=	7	JLIM=	26	X(I)=	0.055000
I=	8	JLIM=	26	X(I)=	0.065000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I= 9	JLIM= 26	X(I)= 0.075000
I= 10	JLIM= 26	X(I)= 0.085000
I= 11	JLIM= 26	X(I)= 0.095000
I= 12	JLIM= 26	X(I)= 0.105000
I= 13	JLIM= 26	X(I)= 0.115000
I= 14	JLIM= 26	X(I)= 0.125000
I= 15	JLIM= 26	X(I)= 0.135000
I= 16	JLIM= 26	X(I)= 0.145000
I= 17	JLIM= 26	X(I)= 0.155000
I= 18	JLIM= 26	X(I)= 0.165000
I= 19	JLIM= 26	X(I)= 0.175000
I= 20	JLIM= 26	X(I)= 0.185000
I= 21	JLIM= 26	X(I)= 0.195000
I= 22	JLIM= 26	X(I)= 0.205000
I= 23	JLIM= 26	X(I)= 0.225000
I= 24	JLIM= 26	X(I)= 0.245000
I= 25	JLIM= 26	X(I)= 0.265000
I= 26	JLIM= 26	X(I)= 0.285000
I= 27	JLIM= 26	X(I)= 0.305000
I= 28	JLIM= 26	X(I)= 0.325000
I= 29	JLIM= 26	X(I)= 0.345000
I= 30	JLIM= 26	X(I)= 0.365000
I= 31	JLIM= 26	X(I)= 0.385000
I= 32	JLIM= 26	X(I)= 0.405000
I= 33	JLIM= 26	X(I)= 0.445000
I= 34	JLIM= 26	X(I)= 0.485000
I= 35	JLIM= 26	X(I)= 0.525000
I= 36	JLIM= 26	X(I)= 0.565000
I= 37	JLIM= 26	X(I)= 0.605000
I= 38	JLIM= 26	X(I)= 0.645000
I= 39	JLIM= 26	X(I)= 0.685000
I= 40	JLIM= 26	X(I)= 0.725000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	41	JLIM=	26	X(I)=	0.765000
I=	42	JLIM=	26	X(I)=	0.805000
I=	43	JLIM=	26	X(I)=	0.885000
I=	44	JLIM=	26	X(I)=	0.965000
I=	45	JLIM=	26	X(I)=	1.045000
I=	46	JLIM=	26	X(I)=	1.125000
I=	47	JLIM=	26	X(I)=	1.205000
I=	48	JLIM=	26	X(I)=	1.285000
I=	49	JLIM=	26	X(I)=	1.365000
I=	50	JLIM=	26	X(I)=	1.445000
I=	51	JLIM=	26	X(I)=	1.525000
I=	52	JLIM=	26	X(I)=	1.675000

.- Y-COORDINATE:

J=	1	ISTART=	0	Y(J)=	-0.003000
J=	2	ISTART=	0	Y(J)=	0.003000
J=	3	ISTART=	2	Y(J)=	0.009000
J=	4	ISTART=	2	Y(J)=	0.023000
J=	5	ISTART=	2	Y(J)=	0.037000
J=	6	ISTART=	2	Y(J)=	0.051000
J=	7	ISTART=	2	Y(J)=	0.065000
J=	8	ISTART=	2	Y(J)=	0.078000
J=	9	ISTART=	0	Y(J)=	0.084000
J=	10	ISTART=	0	Y(J)=	0.087000
J=	11	ISTART=	0	Y(J)=	0.090000
J=	12	ISTART=	2	Y(J)=	0.096000
J=	13	ISTART=	2	Y(J)=	0.110000
J=	14	ISTART=	2	Y(J)=	0.124000
J=	15	ISTART=	2	Y(J)=	0.138000
J=	16	ISTART=	2	Y(J)=	0.152000
J=	17	ISTART=	2	Y(J)=	0.165000
J=	18	ISTART=	0	Y(J)=	0.171000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J=	19	ISTART=	0	Y(J)=	0.174000
J=	20	ISTART=	0	Y(J)=	0.177000
J=	21	ISTART=	2	Y(J)=	0.183000
J=	22	ISTART=	2	Y(J)=	0.197000
J=	23	ISTART=	2	Y(J)=	0.211000
J=	24	ISTART=	2	Y(J)=	0.225000
J=	25	ISTART=	2	Y(J)=	0.275000

** 6 ** INLET CONDITIONS.

.- VELOCITIES

J=	1	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	2	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	3	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	4	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	5	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	6	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	7	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	8	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	9	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	10	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	11	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	12	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	13	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	14	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	15	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	16	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	17	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	18	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	19	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	20	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	21	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000
J=	22	U-INL=	0.0071	V-INL=	0.0000	W-INL=	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J= 23 U-INL= 0.0071 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

J= 24 U-INL= 0.0071 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

J= 25 U-INL= 0.0071 V-INL= 0.0000 W-INL= 0.0000

.- TEMPERATURE.

AT INLET 1 T-INL= 343.0000

AT INLET 2 T-INL= 343.0000

AT INLET 3 T-INL= 343.0000

IN FIELD 303.0000

** 7 ** FLUID PROPERTIES:

VISCOS: 1.9000E-03 DENSIT: 1000.0

SCHMDT: 0.8000 PRANDT: 0.9000

CAPPA: 0.4187 ELOG: 9.7930

CMU: 0.0900 CT: 1.0000

C1: 1.4400 C2: 1.9200

PRH: 0.5000 PRTE: 1.0000

PRED: 1.3000 TURINT: 0.0500

ALAMDA: 0.0050 PRLAM: 0.7000

.- REFERENCE VALUE AND LOCATION.

PREF: 0.0000E+00 TREF: 303.0000

IPREF: 1 JPREF: 1

** 8 ** WALL SPECIFICATIONS :

I= 1 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 2 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 3 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 4 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 5 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 6 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 7 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I= 8 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 9 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 10 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 11 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 12 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 13 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 14 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 15 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 16 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 17 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 18 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 19 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 20 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 21 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 22 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 23 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 24 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 25 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 26 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 27 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 28 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 29 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 30 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 31 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 32 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 33 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 34 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 35 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 36 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 37 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 38 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

I= 39 IADIAB = 1 TWALL = 300.000000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I=	40	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	41	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	42	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	43	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	44	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	45	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	46	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	47	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	48	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	49	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	50	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	51	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000
I=	52	IADIAB =	1	TWALL = 300.000000

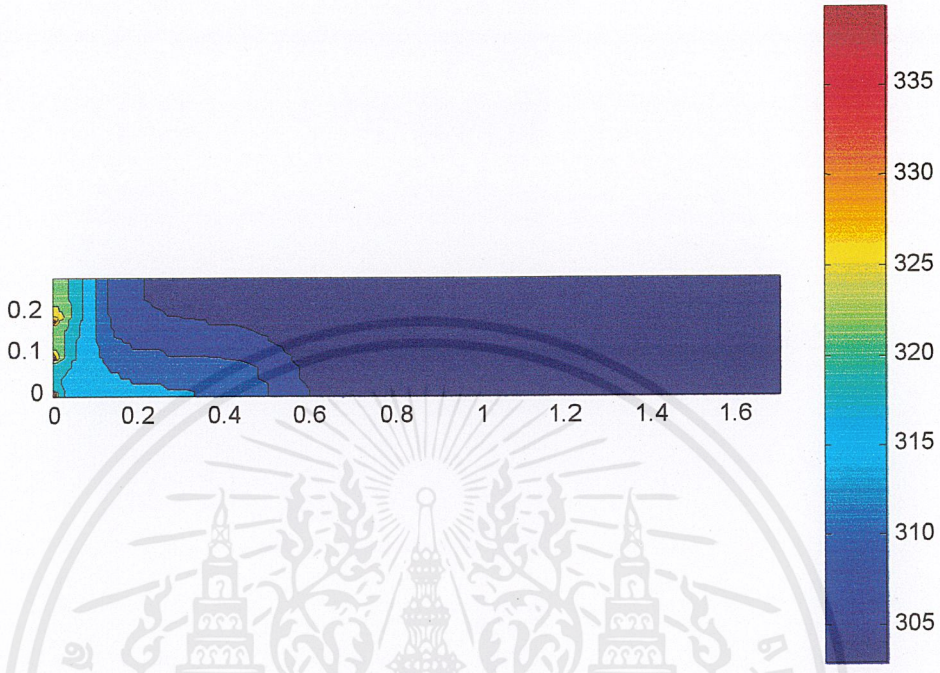
** 9 ** STEP TIME

DTP: 0.5000 SORTIME: 0.1000E-02

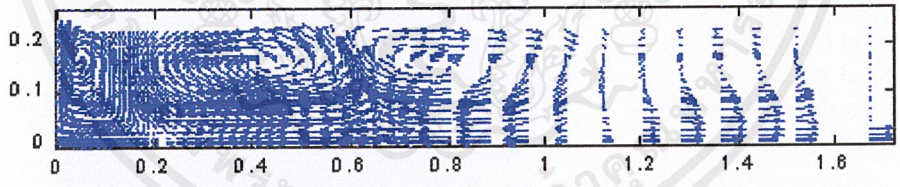
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการคำนวณ ของ **กรณีที่ 3** ณ เวลาใดๆ

ที่เวลา 45.5 วินาที ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 6.18 และ 6.19



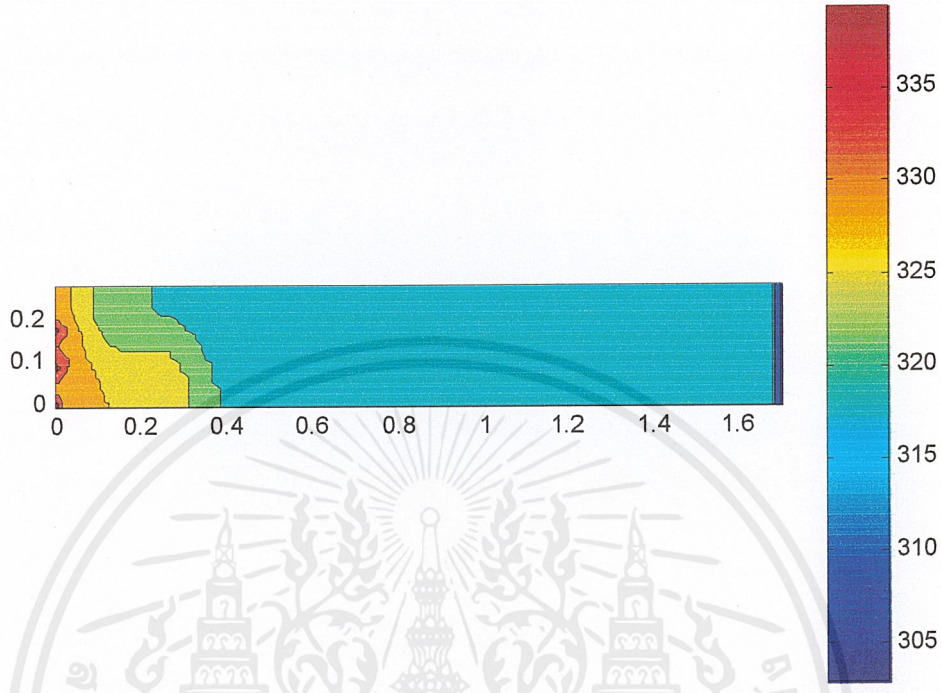
รูปที่ 6.18 แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0071m/s ณ เวลา 45.5 วินาที



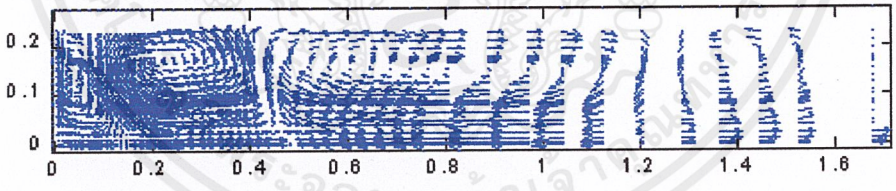
รูปที่ 6.19 แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0071m/s ณ เวลา 45.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 360.5 วินาที ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 6.20 และ 6.21



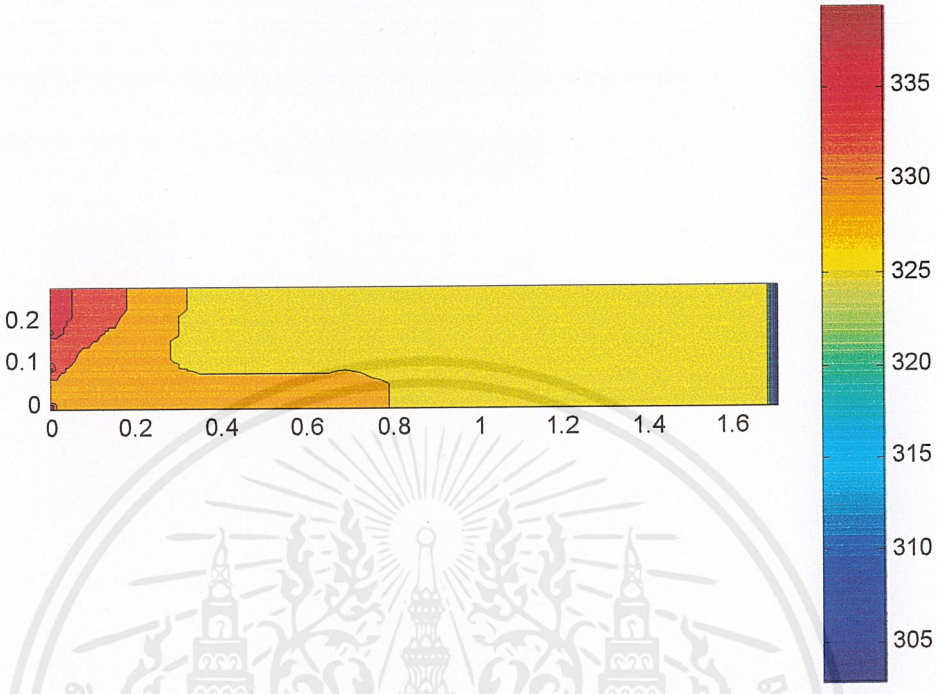
รูปที่ 6.20 แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0071m/s ณ เวลา 360.5 วินาที



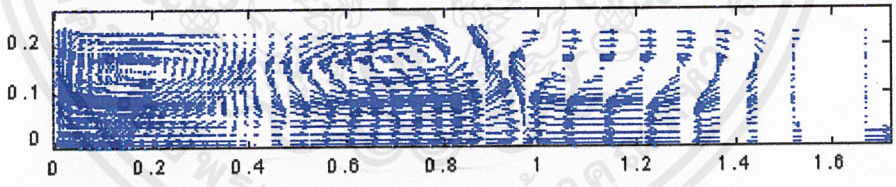
รูปที่ 6.21 แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0071m/s ณ เวลา 360.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 630.5 วินาที ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 6.22 และ 6.23



รูปที่ 6.22 แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0071m/s ณ เวลา 630.5 วินาที



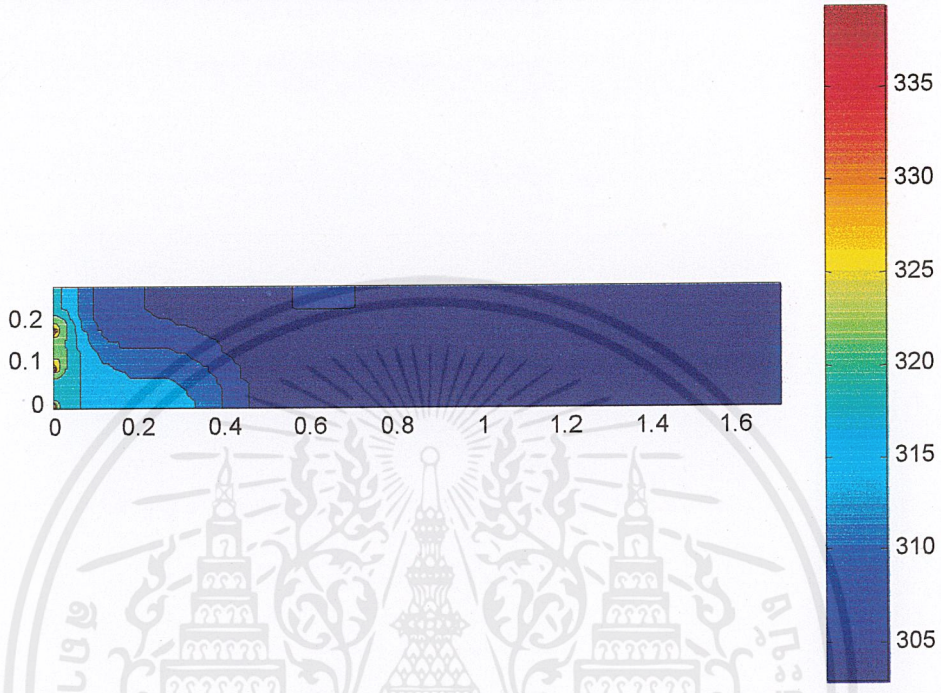
รูปที่ 6.23 แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0071m/s ณ เวลา 630.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

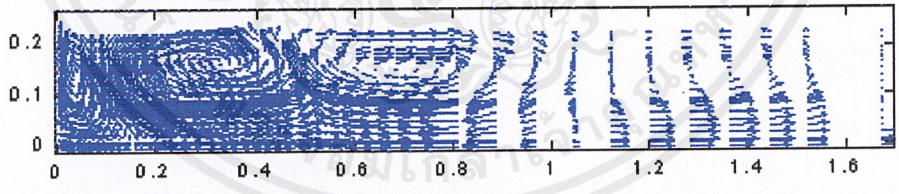
<u>กรณีที่ 4</u> : ช่องทางเข้าของน้ำ 5 ช่องทาง ที่มีความเร็ว 0.0029 m/s

<u>ผลการคำนวณ</u> ของ **<u>กรณีที่ 4</u>** ณ เวลาใดๆ

<u>ที่เวลา 45.5 วินาที</u> ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 6.24 และ 6.25



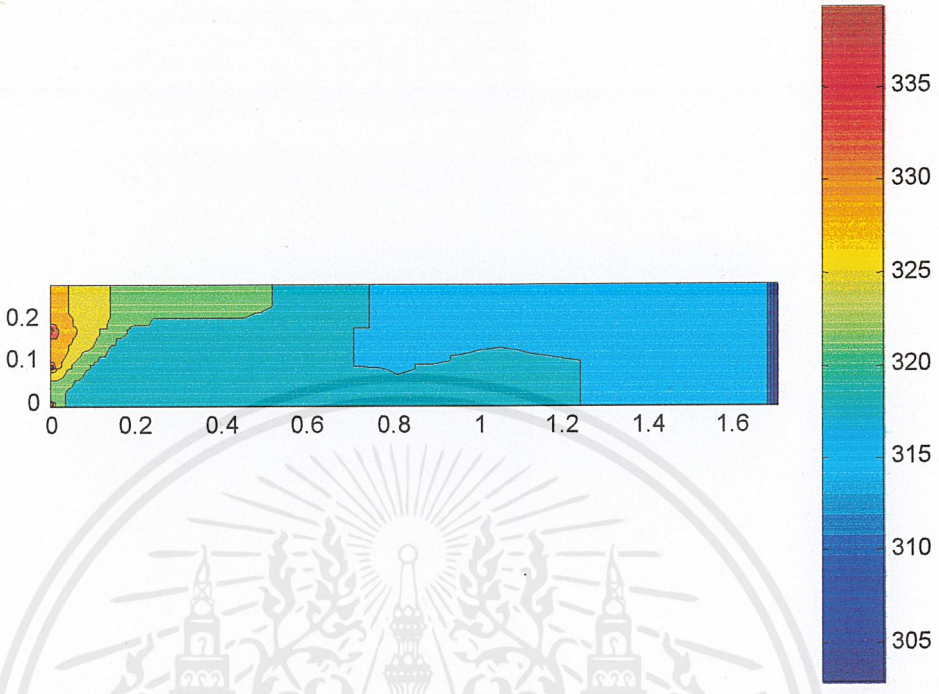
รูปที่ 6.24 แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0029m/s ณ เวลา 45.5 วินาที



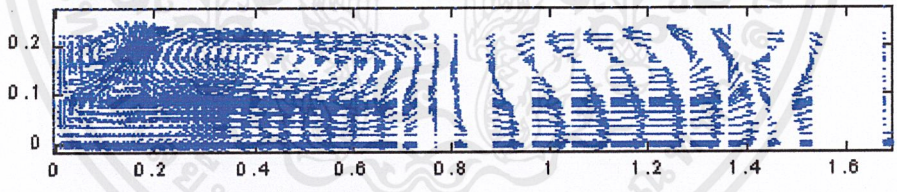
รูปที่ 6.25 แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0029m/s ณ เวลา 45.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 360.5 วินาที ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 6.26 และ 6.27



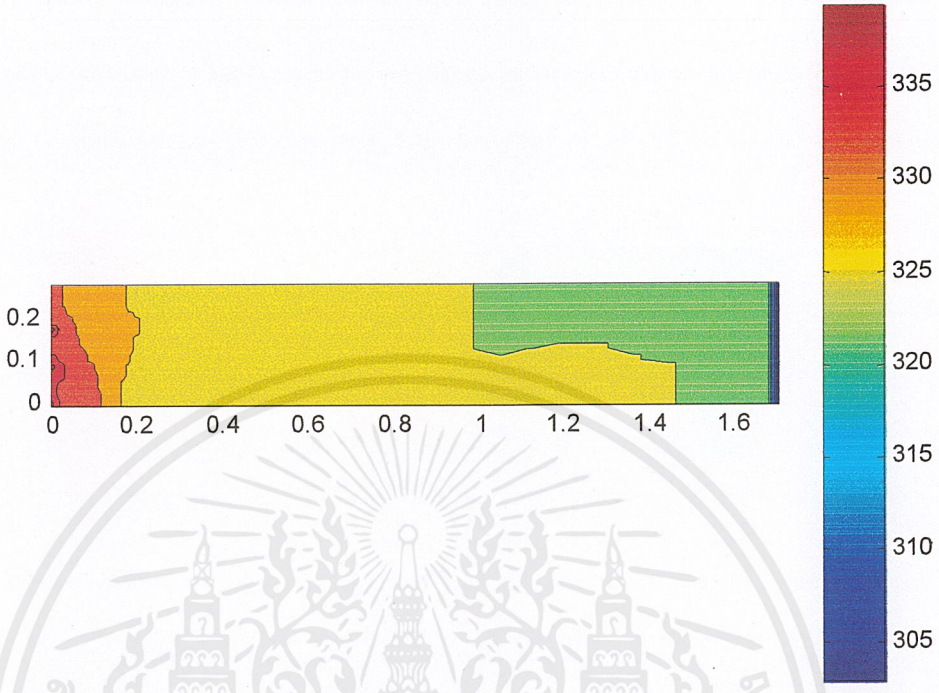
รูปที่ 6.26 แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0029m/s ณ เวลา 360.5 วินาที



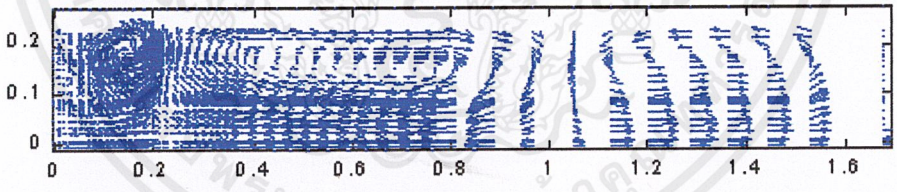
รูปที่ 6.27 แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0029m/s ณ เวลา 360.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เวลา 630.5 วินาที ผลการคำนวณแสดงดังรูปที่ 6.28 และ 6.29



รูปที่ 6.28 แสดงค่าอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0029m/s ณ เวลา 630.5 วินาที

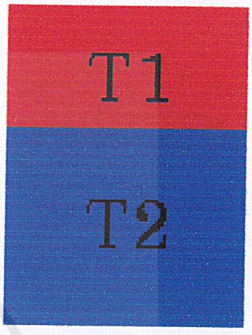


รูปที่ 6.29 แสดงค่าความเร็วที่เกิดขึ้นในถังเก็บความร้อน 5 ช่องทาง 0.0029m/s ณ เวลา 630.5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปและวิจารณ์ผลการคำนวณ

สรุปผลการคำนวณ



การจัดเรียงชั้นของอุณหภูมิภายในถังเก็บความร้อน (Thermal Storage Tank) ที่ต้องการ คือการจัดเรียงชั้นของอุณหภูมิที่เป็นเส้นตรง เพื่อที่ว่าจะเกิดการไหลวนของกระแสน้ำระหว่างชั้นเกิดขึ้นน้อย ๆ น้ำร้อน (T1) ที่อยู่ด้านบนจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำเย็น (T2) ซึ่งจะลอยสูงขึ้น ส่วนน้ำเย็นมีความหนาแน่นสูงกว่า จะตกลงสู่ด้านล่างของถัง ซึ่งจะเกิดการแยกชั้นกันอย่างชัดเจน นั่นเป็นสิ่งที่ปรารถนาเพราะจะทำให้ถังเก็บความร้อนได้ดี

แต่ในทางปฏิบัตินั้นเป็นไปไม่ได้ ดังนั้นการทำการออกแบบถึงต้องทำให้การจัดเรียงชั้นของอุณหภูมิเข้าใกล้เส้นตรงมากที่สุด หรือจะกล่าวอีกว่า พยายามให้มีความชันเกิดขึ้นน้อยที่สุด จากผลการคำนวณผลจะสรุปได้ดังนี้

1. การเปรียบเทียบกันระหว่างช่องทางเข้า 1 ทาง ที่มีขนาดทางเข้าที่เท่ากัน น้ำร้อนที่ไหลเข้ามีอุณหภูมิเท่ากัน แต่มีความเร็วแตกต่างกัน
   - น้ำร้อนที่มีความเร็วสูงกว่าจะมีการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเย็นภายในถังได้ดีกว่า น้ำร้อนที่มีความเร็วต่ำ
   - แต่การจัดเรียงชั้นของอุณหภูมิของน้ำร้อนที่มีความเร็วสูงกว่าจะเป็นเส้นโค้งที่มีความชันสูงกว่า น้ำร้อนที่มีความเร็วต่ำ
2. การเปรียบเทียบระหว่างทางเข้าน้ำร้อน 1 ทาง กับ 5 ทางโดยที่ อัตราการไหลโดยปริมาตรเท่ากันและน้ำร้อนมีอุณหภูมิเท่ากัน
   - ช่องทางเข้า 5 ทางนั้น การถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเย็นที่อยู่ภายในถังจะดีกว่าช่องทางเข้า 1 ทาง และการจัดเรียงตัวของชั้นอุณหภูมิของช่องทางเข้า 5 ทางนั้น จะมีความชันน้อยกว่า

ดังนั้นการออกแบบจึงควร

1. ออกแบบให้มีทางเข้ามากกว่า 1 ทาง
2. ความเร็วที่ป้อนให้ควรให้มีความเร็วต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อวิจารณ์ผลการคำนวณ

1. โปรแกรมที่ใช้มีขนาดใหญ่ ประกอบกับ มีการเขียนส่วนของการไหลแบบไม่คงตัวเกิดขึ้น ทำให้การประมวลผลต้องใช้เวลามาก
2. การแสดงผลการคำนวณมีจำนวนมาก แต่ได้เลือกไว้ในส่วนที่จำเป็น ที่สามารถพอจะสรุปได้
3. ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณยังมีความผิดพลาดเกิดขึ้นเนื่องจากข้อผิดพลาด (Bug) ของตัวโปรแกรมนั่นเอง
4. การนำผลที่ได้สรุป สรุปจากผลของอุณหภูมิ ส่วนผลของความเร็ว เป็นผลพลอยได้ที่ได้จากการคำนวณ และใช้อธิบายผลของอุณหภูมิ แต่มิอาจนำมาเปรียบเทียบกันระหว่างกรณี
5. ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม ยังไม่สามารถนำไปใช้อ้างอิงได้ 100% เนื่องจากยังไม่มีการทดลองจริงเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. H.K.VERSTEEG and W.MALALASEKERA, An introduction to computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method (England : Longman Scientific &Technical, 1995)
2. Robert W. Fox and Alan T. Mcdonald, Introduction to Fluid Mechanics (U.S.A. : John Wiley & Sons, 1994)
3. นายปฐม เจริญงาม และ นายสุทธิโชค นันทสุขเกษม, ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2540 เรื่อง " แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนสำหรับของไหลในท่อ " (กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)
4. นายวิภู ศรีสืบสาย, ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2540 เรื่อง " การประยุกต์วิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขแบบไฟไนต์วอลุ่มกับการไหลของของไหล " (กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหา Approximate Function ของค่าคุณสมบัติต่างๆ

จากคุณสมบัติของน้ำ

Temperature (^{o}C)	K (W/mK)	C_P (kJ/kg ^{o}C)
0	0.552	4.2178
20	0.597	4.1818
40	0.628	4.1784
60	0.651	4.1843
80	0.668	4.1964
100	0.68	4.2161
120	0.685	4.25
140	0.684	4.283
160	0.68	4.342
180	0.675	4.417
200	0.665	4.505

Temperature (^{o}C)	μ (Ns/m^2)
0	0.0019
10	0.0015
20	0.001
30	0.00079
40	0.00066
50	0.00055
60	0.0005
70	0.0004
80	0.00037
90	0.00034
100	0.00031

Temperature K	Specific volume $10^3(m^3/kg)$	Temperature K	Specific volume $10^3 (m^3/kg)$
273.15	1	325	1.013
275	1	330	1.016
280	1	335	1.018
285	1	340	1.021
290	1.001	345	1.024
295	1.002	350	1.027
300	1.003	355	1.03
305	1.005	360	1.034
310	1.007	365	1.038
315	1.009	370	1.041
320	1.011	373.15	1.044

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีผู้ทำการหาค่าไว้เรียบร้อยแล้วโดยใช้โปรแกรม Mathematica 3.0 ซึ่งได้หาค่าไว้คือ

- *ฟังก์ชันของ k* ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (กำหนด Degree=5)

$$k(T) = 0.523058+(0.0047285)T-(0.0000727186)T^2+(6.63961E-7)T^3-(3.0954E-9)T^4 +(5.45872E-12)T^3$$

- *ฟังก์ชันของ* C_p ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (กำหนด Degree=5)

$$C_p(T) = 4.2175-(0.00277679)T+0.0000639346)T^2-(6.12929E-7)T^3+(3.03485E-9)T^4 -(5.20833E-12)T^5$$

- *ฟังก์ชันของ* μ ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (กำหนด Degree=5)

$$\mu(T) = 0.00191577-(0.0000505532)T+(1.89787E-7)T^2+(1.42788E-8)T^3 -(2.26544E-10)T^4+(9.9359E-13)T^5$$

ส่วนฟังก์ชันของความหนาแน่นของน้ำ (ρ) ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (กำหนด Degree=5) ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณโดยหาจากโปรแกรมวิธีการถดถอยแบบกำลังสองน้อยสุด (least squares regression) ซึ่งจะได้ฟังก์ชันคือ

$$\rho(T) = (0.1000077E+04)+(0.1219600E-01)(T-273) -(0.4865497E-02)*(T-273)^2 -(0.3172366E-04)(T-273)^3 +(0.7141842E-06)(T-273)^4 -(0.3452461E-08)(T-273)^5$$

ซึ่ง ρ = 1 / (specific volume) และ T มีหน่วยเป็น K

หมายเหตุ คุณสมบัติที่ใช้ของน้ำ สมมติว่าน้ำเป็นของเหลวอิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้