

โครงการวิจัยเรื่อง

การออกแบบ และสร้างชุดทดลองเพื่อใช้ศึกษาลักษณะการไหล
ของของไหล ที่ไหลผ่าน Manifold ที่มีช่องการไหล แบบขนาดเล็ก

A Design and Construct of the Experiment Rig for Fluid Flow

Characteristics Study of Manifold in mini channel



ผศ. ภาณุภูมิ ศิริมรรณ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ทุนอุดหนุนวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ของ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประจำปีงบประมาณ 2549

การออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อใช้ศึกษาลักษณะการไหลของของไหล
ที่ไหลผ่าน Manifold ที่มีช่องการไหล แบบขนาดเล็ก

โดย

ผศ. ภาคภูมิ

ศรีธรรมรัตน์

บทคัดย่อ

โครงงานวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตนี้เป็นการศึกษาการไหลของของไหล เมื่อของไหลไหลผ่านชุดทดลองแบบ Manifold ที่มีช่องการไหลขนาดเล็กโดยใช้อากาศเป็นสารตัวกลาง ในการทดลองจะทำการทดลองที่ เรย์โนลด์สจำนวนเบอร์ (Re) มีค่า 1250 ในการทดลองจะใช้เครื่องมือวัดความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองเพื่อคำนวณหาความเร็วที่เกิดขึ้นและศึกษาทิศทางการไหลของของไหลโดยทำการวัดค่าความดันที่ตกคร่อมภายในชุดทดลอง 16 จุด เปรียบเทียบกับการทดลองโดยใช้โปรแกรมทำนายลักษณะการไหลของของไหล Fluent (CFD) ซึ่งได้ทำการทดลองในโปรแกรมก่อนที่จะสร้างชุดทดลองจริง

จากการทดสอบด้วยโปรแกรมทำนายลักษณะการไหล พบว่าเมื่อของไหลไหลผ่านชุดทดลองจะเกิดความเร็วไม่เท่ากัน ซึ่งผู้จัดได้ทำการออกแบบชุดทดลองใหม่ โดยให้ทางเข้ามีมุมลาดเอียงเพื่อที่ ของไหล ที่ไหลผ่านช่องการไหลแบบ Manifold ที่มีขนาดเล็ก ไหลเท่ากันให้ได้มาก ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากเครื่องมือวัดความดันตกคร่อมเพื่อเปรียบเทียบค่ากับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

A Design and Construct of the Experiment Rig for Fluid Flow

Characteristics Study of Manifold in mini channel

Academic Year 2007

By

Asst.Prof. Parkpoom Sriromreun

Abstract

This engineering project is study of fluid flow. When fluid flow in Manifold in mini channel use medium air. In evaluation we use Reynolds Number value 1250. In the experiment, we use pressure transducer that appear in the test section to estimate velocity and study the direction flow of fluid by evaluate pressure transducer 16 point in test section , compare the experiment by Computational Fluid Dynamic Program (CFD) that we run in this program before invent test section

From test with Computational Fluid Dynamic Program (CFD) we found that when fluid through the test section, it's not equivalent. So we design the new test section by set slop angle at inlet in order to comparable Fluid Flow Fluid Flow in mini channel. As the result from pressure transducer compare with model on computer.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่	
1. บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญของโครงการวิศวกรรม	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิศวกรรม	1
ขอบเขตของโครงการวิศวกรรม	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ระยะเวลาที่ทำโครงการ และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	2
ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	2
2. ทฤษฎี	4
คุณสมบัติเบื้องต้นของของไหล	4
ชนิดการไหลของของไหล(Types of flow)	5
อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ย	10
Pathline Streakline และ Streamline	14
สมการการไหลต่อเนื่อง	15
สมการพลังงาน	17
สมการพลังงานของไหลที่อัดตัวได้ในกรณีที่ไม่มีเครื่องจักรและการสูญเสีย	19
ความดัน	
เลขเรย์โนลด์ (Re)	20

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3. การออกแบบและวิธีการทดลอง	22
ขั้นตอนของการทำโครงการ	22
หลักในการออกแบบและการทดลอง	24
การออกแบบอุปกรณ์สำหรับชุดทดลอง	24
ส่วนประกอบของชุดทดลอง	24
การกำหนดเงื่อนไขและขอบเขตที่ใช้ในการวิเคราะห์	25
การคำนวณในเพื่อหาขอบเขตในโปรแกรม Fluent	28
รูปแสดงผลต่างๆในโปรแกรม Fluent	29
ผลการทำนายลักษณะการไหลโดยใช้โปรแกรม Fluent ในการวิเคราะห์ผล	30
การคำนวณเพื่อตรวจสอบขอบเขตของพัดลม	37
ตรวจสอบความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในท่อ	38
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	40
ส่วนที่ 1 ค่าความดันตกคร่อมภายในชุดทดลอง	40
ส่วนที่ 2 นำค่าความเร็วที่เกิดขึ้นที่จุดต่างๆภายในชุดทดลองมาเปรียบเทียบกับความเร็วเฉลี่ย	44
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	49
สรุปผลการทดลอง	49
ข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ข้อมูลจากการทดลอง	53
ภาคผนวก ข แบบและภาพถ่ายโครงงานวิศวกรรม	60
ภาคผนวก ค คู่มือการใช้งาน Gambit และ FLUENT เบื้องต้น	68
ประวัติย่อผู้วิจัย	92

สารบัญตาราง

ตารางผนวกที่	หน้า
ก1 ความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นบริเวณท่อทางแยกค่าเฉลี่ยที่วัดได้ภายในเวลา 60sec	54
ก2 แสดงความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นในจุดต่างของชุดทดลอง	55
ก3 ค่าการคำนวณความเร็วที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลอง	57
ก4 ความเร็วเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในชุดทดลอง	59



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงส่วนประกอบของชุดทดลองที่ใช้การวัดความดันตกคร่อม	3
2.1 การไหลแบบทิศทางเดียว สองทิศทาง และสามทิศทาง	8
2.2 สติมไลน์ของของไหล	11
2.3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของแต่ละจุด	12
2.4 การไหลใน Stream tube	15
3.1 แผนผังขั้นตอนการทำงาน	23
3.2 Manifold	25
3.3 ตัวเรือน	25
3.4 ท่อทางเข้าและออก	26
3.5 ชุดทดลอง	26
3.6 แบบที่ใช้ทดสอบใน โปรแกรม Gambit	27
3.7 แสดงระนาบหน้าตัดใน โปรแกรม Fluent	29
3.8 ค่าการกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้นที่ ระยะ $x = 0.035\text{m}$	30
3.9 ค่าการกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้นที่ ระยะ $x = 0.185\text{m}$	30
3.10 ค่าการกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้นที่ ระยะ $y = 0.02\text{ m}$	31
3.11 ค่าการกระจายตัวของความเร็วที่เกิดขึ้นที่ ระยะ $x = 0.035\text{m}$	31
3.12 ค่าการกระจายตัวของความเร็วที่เกิดขึ้นที่ ระยะ $x = 0.185\text{ m}$	32
3.13 ค่าเวกเตอร์ความเร็วที่เกิดขึ้นที่ ระยะ $x = 0.035\text{ m}$	32
3.14 ค่าเวกเตอร์ความเร็วที่เกิดขึ้นที่ ระยะ $x = 0.185\text{ m}$	33
3.15 แสดงการกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้นที่ระนาบหน้าตัด เส้นที่1($x\ 0.035$)	33
3.16 แสดงการกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้นที่ระนาบหน้าตัด เส้นที่2($x\ 0.185$)	34
3.17 แสดงการกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองที่ระนาบหน้าตัด $y\ 0.02\text{m}$	34
3.18 แสดงการกระจายตัวของความเร็วที่เกิดขึ้นที่ระนาบหน้าตัด เส้นที่1($x\ 0.035$)	35
3.19 แสดงการกระจายตัวของความเร็วที่เกิดขึ้นที่ระนาบหน้าตัด เส้นที่2($x\ 0.185$)	35
3.20 แสดงการกระจายตัวของเวกเตอร์ความเร็วที่เกิดขึ้นที่ เส้น 1 ($x\ 0.035$)	36
3.21 แสดงการกระจายตัวของเวกเตอร์ความเร็วที่เกิดขึ้น เส้นที่ 2 ($x\ 0.185$)	36

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.22 การเปรียบเทียบความเร็วภายในชุดทดลองแบบทำมุมและไม่ทำมุม	37
3.23 ทิศทางการไหลของของไหลที่ไหลผ่านชุดทดลอง	38
4.1 แสดงจุดที่ทำการวัดความดันตกคร่อม	41
4.2 แสดงระนาบหน้าตัดที่ใช้อ้างอิงในชุดทดลอง	43
4.3 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นที่ระยะ $X=0.035$ (เส้นที่1)	44
4.4 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นระยะที่ $X=0.185$ (เส้นที่2)	44
4.5 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นระยะที่ $X=0.335$ (เส้นที่3)	45
4.6 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นระยะที่ $X=0.485$ (เส้นที่4)	45
4.7 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นระยะที่ $Z=0.035$ (เส้นที่5)	46
4.8 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นระยะที่ $Z=0.185$ (เส้นที่6)	46
4.9 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นระยะที่ $Z=0.335$ (เส้นที่7)	47
4.10 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นระยะที่ $Z=0.485$ (เส้นที่8)	47
4.11 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลอง	48
รูปผนวกที่	
ข1 Inverter	61
ข2 Blower	61
ข3 การวัดความเร็วลมที่เกิดบริเวณท่อทางเข้าชุดทดลอง	62
ข4 ชุดทดลองแบบ Manifold ที่มีช่องการไหลขนาดเล็ก	62
ข5 Digital Manometer	63
ข6 ชุดทดลองแบบ Manifold ที่มีการติดตั้งท่อสำหรับวัดความดันตกคร่อม	63
ข7 ระดับความสูงที่อ้างอิงระหว่างชุดทดลองเทียบกับบรรยากาศที่มีความสูงเท่ากัน	64
ข8 ระดับความสูงที่อ้างอิงระหว่างชุดทดลองเทียบกับท่อทางเข้าที่มีความสูงเท่ากัน	64
ข9 การวัดความดันตกคร่อมระหว่างชุดทดลองเทียบกับท่อทางเข้า	65
ข10 ค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากเครื่องมือวัดความดันตกคร่อมโดยแสดงเป็นกราฟ ครึ่ง/เวลา	65
ข11 การวัดค่าความดันตกคร่อมเปรียบเทียบของไหลให้เท่ากันสองฝั่ง	66
ข12 เครื่องมือวัดความเร็วของอากาศ	66

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปผนวกที่	หน้า
ข13 ชุดทดลอง	67
ค1 การเลือกรูปร่างมาตรฐาน	69
ค2 การเลือกทิศทางในการสร้าง	70
ค3 การกำหนดขนาดที่ต้องการจะสร้าง	70
ค4 การกำหนดขนาดที่ต้องการจะสร้างเป็นจุดในระนาบ x,y,z	71
ค5 การกำหนดเส้นที่ต้องการจะสร้างโดยอ้างอิงจากจุดในระนาบ x,y,z	71
ค6 การกำหนดพื้นที่ที่ต้องการจะสร้างโดยอ้างอิงจากเส้นในระนาบ x,y,z	72
ค7 การกำหนดปริมาตรที่ต้องการจะสร้างโดยอ้างอิงจากพื้นที่ในระนาบ x,y,z	72
ค8 การกำหนดเลือกปริมาตรที่ต้องการจะย้ายโดยอ้างอิงจากพื้นที่ในระนาบ x,y,z	73
ค9 การกำหนดปลายทางที่ต้องการจะย้ายโดยอ้างอิงจากพื้นที่ในระนาบ x,y,z	73
ค10 การกำหนดปลายทางที่ต้องการจะย้ายโดยอ้างอิงจากพื้นที่ในระนาบ x,y,z	74
ค11 การรวมปริมาตรทั้งสองให้เป็นปริมาตรเดียว	74
ค12 การกำหนดโปรแกรมที่จะใช้ในการประมวลผล	75
ค13 การกำหนดขอบเขตที่ใช้ในการประมวลผล	75
ค14 การกำหนดขอบเขตทางเข้าที่ใช้ในการประมวลผล	76
ค15 การกำหนดขอบเขตทางออกที่ใช้ในการประมวลผล	76
ค16 การกำหนดขอบเขตผนังที่ใช้ในการประมวลผล	77
ค17 การกำหนดขอบเขตที่ใช้ในการประมวลผล	77
ค18 การกำหนดขอบเขตของของเหลวที่ใช้ในการประมวลผล	78
ค19 การกำหนดขอบเขตความละเอียดที่ใช้ในการประมวลผล	78
ค20 การเลือกปริมาตรที่ใช้กำหนดความละเอียดในการประมวลผล	79
ค21 แสดงผลลัพธ์ในการกำหนดความละเอียดในการประมวลผล	79
ค22 การส่งแบบออกไปใช้ในโปรแกรมวิเคราะห์	80
ค23 แสดงการเลือกแบบที่ส่งออกจาก Gambit	80
ค24 การเลือกหน่วยที่ใช้	81
ค25 การเลือกหน่วยที่ใช้สามารถปรับได้ทั้ง อังกฤษ และ SI	81
ค26 การกำหนดขอบเขตต่างๆในแบบ	82

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปผนวกที่	หน้า
ค27 การกำหนดขอบเขตเร็วที่ใช้ในแบบ	82
ค28 การกำหนดขอบเขตของเหลวที่ใช้ในแบบ	83
ค29 เลือกช่วงการวิเคราะห์ผล	83
ค30 เลือกช่วงการวิเคราะห์ผลความเร็วที่เกิดเฉพาะแกน X,Y,Z	84
ค31 การเลือกคำสั่งวิเคราะห์ผล	84
ค32 การเลือกจำนวนรอบในการวิเคราะห์ข้อมูล	85
ค33 การเลือกคำสั่งสร้างระนาบหน้าตัด	85
ค34 ภาพแสดงการกำหนดค่าต่างเพื่อเลือกระนาบหน้าตัดตามต้องการ	86
ค35 รูปแสดงการเลือกคำสั่งแสดงผลทิศทางการไหล	86
ค36 รูปแสดงการเลือกระนาบที่ต้องการแสดงผลทิศทางการไหล	87
ค37 รูปแสดงผลการกระจายตัวของความเร็วในระนาบ	87
ค38 รูปแสดงผลการกระจายตัวของความดันในระนาบ	88
ค39 รูปแสดงผลเวกเตอร์ของความเร็วในระนาบ	88
ค40 รูปแสดงการเลือกคำสั่งสร้างเส้น	89
ค41 รูปแสดงการเลือกคำสั่งแสดงผลใน XY Plot	89
ค42 รูปแสดงการเลือกเส้นที่ใช้ในการแสดงผลใน XY Plot	90
ค43 รูปกราฟแสดงผลความเร็วที่เกิดขึ้นบนเส้นในระบะต่างๆ	90
ค44 รูปกราฟแสดงผลความดันที่เกิดขึ้นบนเส้นในระบะต่างๆ	91

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A_o	พื้นที่ของรูบนแผ่นออริฟิซ	m^2
A	พื้นที่หน้าตัดท่อ	m^2
C_o	Orifice Discharge Coefficient	-
d	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ	m
D	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกท่อ	m
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	Nm/s^2
L	ความยาวท่อ	m
P	ความดัน	Pa
Q	อัตราการไหล	L/s
R_e	ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์	-
V	ปริมาตรจำเพาะ	m^3/kg
v	ความเร็ว	m/s
Z	ความสูงจากระดับที่เทียบถึงจุดวิเคราะห์	m
ρ	ความหนาแน่น	kg/m^3
γ	น้ำหนักจำเพาะ	N/m^2
ν	ความหนืด	-

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของโครงการ

อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีขนาดเล็กลง เพื่อสะดวกในการพกพา การใช้งาน และลดต้นทุนในส่วนของวัสดุในการสร้าง ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์ประเภท ปั๊มขนาดเล็ก (Micropumps) เซนเซอร์ขนาดเล็ก (Microsensors) และตัวแรงปฏิกิริยาขนาดเล็ก (Microactuators) ซึ่งรวมเรียกว่า ระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) ก็มีความสำคัญเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมปัจจุบัน และในการวิจัยในหลายสาขา ซึ่งในอุปกรณ์เหล่านี้จะมีขนาดเล็กมาก ช่องว่างที่ใช้ในการระบายความร้อน ช่องการไหลของสารที่ใช้ในระบบก็จะมีขนาดเล็กเป็น ไมโครเมตร เรียกว่า Micro Device ซึ่งของไหลที่ไหลผ่านในช่องดังกล่าวจำเป็นที่จะต้องมีความเร็วที่ใกล้เคียงกันในแต่ละช่อง เพื่อที่จะทำให้การไหลของของไหลกระจายไปได้อย่างทั่วถึงทุกช่อง และมีการไหลที่ราบเรียบ (Laminar Flow) ซึ่งมีผลอย่างมากต่ออุปกรณ์ประเภทตัวแรงปฏิกิริยาให้ได้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด ซึ่งต่อเหล่านี้จะต่อเข้ากับชุดกระจายการไหล (Manifold) ซึ่งลักษณะของชุดกระจายการไหลมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อลักษณะการไหลของของไหลใน Micro Device

ด้วยเหตุนี้การออกแบบ ชุดกระจายการไหลให้การไหลใน Micro Device มีความเร็วที่ใกล้เคียงกัน และมีการไหลที่ราบเรียบจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งในงานโครงการนี้จะทำการออกแบบ โดยทำการเพิ่มขนาดของชุดทดลองซึ่งมีขนาดเล็กมากยากต่อการจัดทำและการทดลอง จึงได้ทำการสร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อทำการทดลองให้มีขนาดใหญ่กว่าของจริงเพื่อที่จะสามารถจัดสร้างชุดทดลองได้ง่ายและสามารถบันทึกผลการทดลองได้ง่าย ซึ่งการทดลองจะวัดความดันตกคร่อมในภายในชุดทดลอง นำค่าที่วัดได้จริงเทียบกับผลการทดสอบด้วยโปรแกรมทำนายลักษณะการไหล

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลอง Mini channel โดยสามารถใช้ร่วมกับ ชุดวัดความดันที่ตกคร่อมระหว่างจุดทางเข้ากับจุดทางออก ในแต่ละช่องการไหล
2. เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลอง Mini channel โดยทำนายลักษณะการไหลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ขอบเขตของโครงการ

1. ออกแบบและสร้างชุดทดลองแบบ Manifold ที่มีช่องการไหลขนาดเล็ก (Mini channel)
2. ทำการทดลองโดยทำการศึกษารูปแบบทิศทางการไหลของของไหลที่ไหลผ่านชุดทดลอง Mini channel และกำหนดให้การไหลเป็น แบบราบเรียบ (Laminar Flow) โดยใช้ความดันตกคร่อม (Pressure Drop) และ โปรแกรม CFD ในการทดลอง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นชุดทดลองที่ทำให้นิสิตที่ทำการทดลองสามารถเรียนรู้และเข้าใจรูปแบบทิศทางและความเร็วของของไหลภายใน Mini channel
2. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนา Mini channel

ระยะเวลาที่ทำโครงการ และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ใช้ระยะเวลาในการทำโครงการ 1 ปี โดยใช้ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์ จังหวัดนครนายก

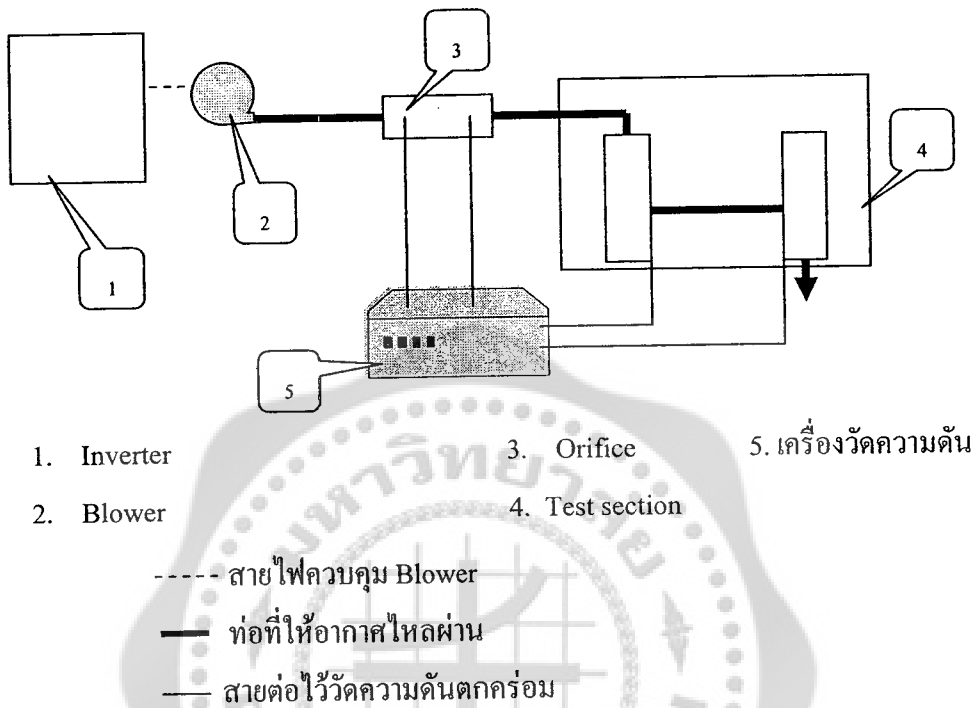
ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล
2. หาอุปกรณ์และสถานที่ที่เหมาะสมในการสร้าง
3. ออกแบบและเขียนแบบโดยใช้โปรแกรม CAD
4. ทำการสร้างชุดการทดลอง
5. ทำการทดลองและบันทึกข้อมูล

5.1 นำแบบไปจำลองทำนายลักษณะการไหลโดยใช้โปรแกรมทำนาย

ลักษณะการไหล

5.2 โดยใช้วิธีการวัดความดันตกคร่อม ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงส่วนประกอบของชุดทดลองที่ใช้การวัดความดันตกคร่อม

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คุณสมบัติเบื้องต้นของของไหล

การที่จะศึกษาให้เข้าใจถึงระบบการไหลของของไหล จะต้องทราบถึงคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของของไหลที่ประกอบด้วยความหนาแน่น น้ำหนักจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะ ความถ่วงจำเพาะ และความดัน โดยคุณสมบัติของของไหลดังที่กล่าวมาแล้ว จะนำไปใช้ในการคำนวณวิเคราะห์แก้ปัญหาสมการที่เกี่ยวกับการไหลโดยคุณสมบัติแต่ละชนิดมีคำจำกัดความดังต่อไปนี้

1. ความหนาแน่น (Mass density , ρ) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของของไหล ซึ่งหมายถึงปริมาณของมวลของของไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของของไหลนั้น เนื่องจากแต่ละโมเลกุลของสารจะมีมวลคงที่ ไม่ว่าจะอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ดังนั้นความหนาแน่นจึงเป็นสัดส่วนกับจำนวนโมเลกุลของสารนั้นในหนึ่งหน่วยปริมาตร เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจำนวนโมเลกุลในของไหลจะกระจายออกไป ทำให้มีจำนวนโมเลกุลต่อหน่วยปริมาตรน้อยลง ดังนั้นความหนาแน่นของของไหลจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้ความดันอัดลงไปบนของไหลจะทำให้มีโมเลกุลจำนวนมากถูกอัดไว้ในหนึ่งหน่วยปริมาตร ดังนั้นความหนาแน่นความหนาแน่นของของไหลจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความดันของของไหลเพิ่มขึ้น

2. ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume, V) คือจำนวนปริมาตรของของไหลต่อหนึ่งหน่วยมวลของของไหล มักใช้ในปัญหาเกี่ยวกับการไหลของก๊าซ ปริมาตรจำเพาะเป็นคุณสมบัติของของไหลอีกอย่างหนึ่งที่ถือได้ว่าเป็นส่วนกลับของความหนาแน่น (มวลจำเพาะ) สำหรับของเหลว ความหนาแน่น น้ำหนักจำเพาะ และปริมาตรจำเพาะจะเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิและความดันเปลี่ยนไป ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของของเหลวหนาแน่นกว่าก๊าซ แต่สำหรับก๊าซ คุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นจะเปลี่ยนไปมากเมื่ออุณหภูมิและความดันเปลี่ยนไป ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างทางโมเลกุลจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและความดัน

3. น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight , γ) เป็นคุณสมบัติที่หมายถึงน้ำหนักของไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร หรือหมายถึงแรงอันเกิดจากแรงดึงดูดของโลกที่กระทำกับของไหลในหนึ่งหน่วยปริมาตร จะเห็นว่าน้ำหนักจำเพาะจะแปรผันตามความหนาแน่นและอัตราเร่งอันเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกแต่เนื่องจากค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดตามสถานที่ต่างๆไม่เท่ากัน ดังนั้นน้ำหนักจำเพาะตามสถานที่ต่างๆก็จะมีค่าไม่เท่ากันด้วย และจากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ความหนาแน่นจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิและความดันนั้นทำให้ค่าของน้ำหนักจำเพาะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันด้วย

4. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักจำเพาะ หรือความหนาแน่นของของไหลต่อน้ำหนักจำเพาะ หรือความหนาแน่นของของไหลมาตรฐาน สำหรับของเหลวจะใช้น้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (32.9 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นของไหลมาตรฐาน ส่วนก๊าซจะใช้ไฮโดรเจนหรืออากาศที่อุณหภูมิและความดันที่ค่าใดค่าหนึ่งเป็นมาตรฐาน เนื่องจากค่าน้ำหนักจำเพาะและความหนาแน่นของของไหลแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ ดังนั้นในการนำค่าความถ่วงจำเพาะไปใช้ในการคำนวณที่ละเอียด หรือเพื่อนำไปหาค่าความหนาแน่นและน้ำหนักจำเพาะของของเหลวที่ถูกต้องจึงต้องระบุไว้ด้วยว่าเป็นค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิเท่าใด ความถ่วงจำเพาะใช้สัญลักษณ์ S แทนความถ่วงจำเพาะ

5. ความดัน (Pressure) คืออัตราส่วนของแรงต่อพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแนวแรง

ชนิดการไหลของของไหล (Types of flow)

ชนิดการไหลของของไหลขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่แตกต่างกัน การไหลของของไหลจึงมีการแบ่งอยู่หลายลักษณะ ดังต่อไปนี้

1. การไหลแบบคงตัวและการไหลแบบไม่คงตัว
2. การไหลแบบเอกภาพและการไหลแบบบอเนกภาพ
3. การไหลแบบทิศทางเดียว สองทิศทาง และสามทิศทาง
4. การไหลแบบหมุนวนและการไหลแบบไม่หมุนวน
5. การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน

1. การไหลแบบคงตัว (Steady Flow) การไหลของของไหลจะคงตัวก็ต่อเมื่อของไหลนั้นมีคุณลักษณะต่างๆ เช่น ความเร็ว ความดัน ความหนาแน่น อุณหภูมิ และอื่นๆที่จุดใดจุดหนึ่งไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา หรืออีกนัยหนึ่ง การไหลแบบคงตัวก็คือคุณลักษณะต่างๆของไหลในขณะ เคลื่อนที่ จะเป็นอิสระกับกาลเวลาในแต่ละจุดที่เคลื่อนที่ไป การไหลแบบนี้จึง

เป็นการไหลของของไหลที่ผ่านท่อทางในอัตราการไหลที่คงที่ การไหลแบบคงตัวที่จุดต่างๆเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)=0 \tag{2.1}$$

$$\left(\frac{\partial v}{\partial t}\right)=0 \tag{2.2}$$

$$\left(\frac{\partial w}{\partial t}\right)=0 \tag{2.3}$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial t}\right)=0 \tag{2.4}$$

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial t}\right)=0 \tag{2.5}$$

2. การไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady Flow) การไหลของของไหลจะไม่คงตัวต่อเมื่อคุณลักษณะของของไหลตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งหมดขณะที่เกิดการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลาที่จุดต่างๆในของไหล การไหลแบบนี้จึงเป็นการไหลของของไหลที่ผ่านท่อทางในอัตราการไหลไม่คงที่ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\left(\frac{\partial v}{\partial t}\right) \neq 0 \text{ ; และ/หรือ } \left(\frac{\partial P}{\partial t}\right) \neq 0 \tag{2.6}$$

การไหลแบบคงตัวจะวิเคราะห์ได้ง่ายกว่าการไหลแบบไม่คงตัว ถึงอย่างไรก็ตามในงานจริงทางด้านวิศวกรรมของของไหลมักจะนิยมแก้ไขปัญหาให้เป็นของไหลแบบคงตัวเสมอ

3. การไหลแบบเอกภาพ (Uniform Flow) ขณะที่ความเร็วในการไหลของของไหลไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทาง จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ในของไหลแล้วเราเรียกว่าเป็นการไหลเอกภาพ และเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)=0 \quad (2.7)$$

เมื่อเวลาคงที่ และ S เป็นระยะทางในทิศทางใดๆ สมการดังกล่าวได้กำหนดไว้ว่าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในทุกทิศทางในของไหลภายใต้ช่วงเวลาที่กำหนด ตัวอย่างเช่น การไหลของของเหลว (ภายใต้ความดัน) ไหลผ่านท่อขนาดยาวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่ เรียกว่าการไหลแบบเอกภาพ

4. การไหลแบบอนเอกภาพ (Non-Uniform Flow) ถ้าความเร็วของการไหลของของไหลเปลี่ยนแปลงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนดให้ในของไหล เราเรียกว่าเป็นการไหลแบบ อนเอกภาพ แล้วเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$\left(\frac{\partial V}{\partial S}\right) \neq 0 \quad (2.8)$$

ตัวอย่างของการไหลแบบอนเอกภาพ เช่น การไหลของของเหลวภายใต้ความดันไหลผ่านท่อขนาดยาวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่คงที่ การไหลทุกแบบดังกล่าวไว้จะเป็นการไหลอิสระซึ่งกันและกัน แต่บางครั้งอาจจะเกิดร่วมกันได้ ดังนี้

1. การไหลแบบเอกภาพที่คงตัว (Steady-Uniform Form) เช่นการไหลของของเหลวผ่านท่อยาวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันตลอดและมีอัตราการไหลคงที่
2. การไหลแบบอนเอกภาพที่คงตัว (Steady Non-Uniform Flow) เช่นการไหลของของเหลวผ่านท่อเรียวที่อัตราการไหลคงที่
3. การไหลแบบเอกภาพไม่คงตัว (Unsteady-Uniform Form) เช่นการไหลของของเหลวผ่านท่อยาวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันตลอดที่อัตราการไหลเพิ่มขึ้นหรือลดลง
4. การไหลแบบอนเอกภาพที่ไม่คงตัว(Unsteady-Nonuniform Form) เช่นการไหลของของเหลวผ่านท่อเรียวที่อัตราการไหลเพิ่มขึ้นหรือลดลง

5. การไหลแบบทิศทางเดียว สองทิศทาง และสามทิศทาง(One – Two and Three Dimensional Flow) คุณสมบัติหลายๆอย่างที่เกิดจากการไหลของของไหล เช่น ความเร็ว

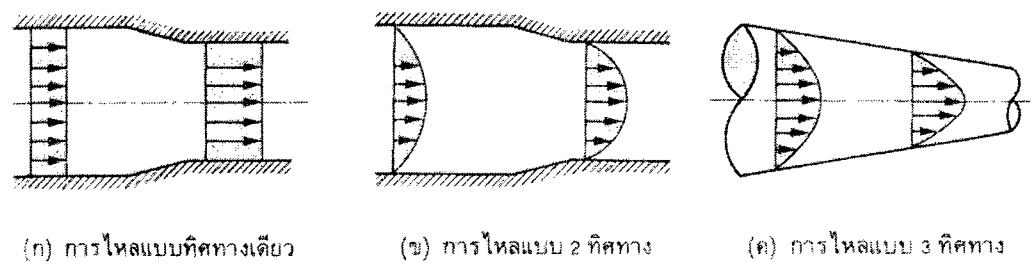
ความดัน ความหนาแน่น อุณหภูมิ และอื่นๆ โดยปกติแล้วจะเป็นฟังก์ชันของช่วงขนาดและเวลานั้นคือจะแปรค่ากับแกนของจุดใดๆ x, y, z และเวลา t การไหลแบบนี้เรียกว่าการไหลแบบสามทิศทาง แต่ถ้าคุณลักษณะการไหลของของไหลไม่ได้แปรค่าเทียบกับเวลา ก็จะเป็นการไหลแบบสามทิศทางคงตัว

เมื่อคุณลักษณะหลายๆอย่างที่เกิดจากการไหลของของไหลเป็นฟังก์ชันเฉพาะกับทิศทางในสองแกนและเวลา t ซึ่งจะไม่แปรค่ากับอีกทิศทางหนึ่งแล้ว การไหลนี้เรียกว่าการไหลแบบสองทิศทาง ตัวอย่างเช่น ถ้าเงื่อนไขการไหลไม่ได้แปรค่ากับทิศทาง Z ดังนั้นจึงเป็นการไหลแบบสองทิศทางที่มีเงื่อนไข การไหลในแกนต่างๆที่ตั้งฉากกับแกน Z แต่ถ้ามีเงื่อนไขการไหลที่ไม่ได้แปรค่ากับเวลา t ก็เป็นการไหลแบบสองทิศทางประเภทคงตัว

เมื่อคุณลักษณะหลายๆอย่างที่เกิดจากการไหลของของไหลเป็นฟังก์ชันเฉพาะกับทิศทางในแกนเดียวและเวลา t แล้ว การไหลนี้เรียกว่า การไหลแบบทิศทางเดียว ในทำนองเดียวกันถ้าเงื่อนไขการไหลไม่ได้แปรค่ากับเวลา t ก็เป็นการไหลแบบทิศทางเดียวประเภทคงตัว ถ้าพิจารณาคุณลักษณะ ในการไหลของของไหลเพียงอย่างเดียวคือ ความเร็วของการไหล ก็สามารถเขียนกระจายถึงลักษณะการไหลได้ดังนี้

ชนิดของการไหล	ไหลแบบไม่คงตัว	ไหลแบบคงตัว
ไหลแบบสามทิศทาง	$V = f(x, y, z, t)$	$V = f(x, y, z)$
ไหลแบบสองทิศทาง	$V = f(x, y, t)$	$V = f(x, y)$
ไหลแบบทิศทางเดียว	$V = f(x, t)$	$V = f(x, y)$

เพื่อให้เข้าใจดียิ่งขึ้นเกี่ยวกับความแตกต่างของการไหลทั้ง 3 ลักษณะ คือการไหลแบบทิศทางเดียว สองทิศทาง และสามทิศทาง ได้แสดงไว้ดังรูป



รูปที่ 2.1 การไหลแบบทิศทางเดียว สองทิศทาง และสามทิศทาง

6. การไหลแบบหมุนวน (Rotational Flow) คือการไหลของของไหล ซึ่งในขณะที่ไหลนั้นอนุภาคของของไหลมีการหมุนวนไปรอบๆ แกนหมุน (Mass Center) ด้วยความเร็วของแต่ละอนุภาคของของไหลจะแปรค่าโดยตรงกับระยะทางจากจุดศูนย์กลางการหมุน

7. การไหลแบบไม่หมุนวน (Irrotational Flow) คือการไหลของของไหล ในขณะที่ไหลนั้นอนุภาคของของไหลจะไม่มีการหมุนวนไปรอบๆ แกนหมุน การไหลแบบไม่หมุนวนจะมีเฉพาะของไหลในจินตนาการเท่านั้น ซึ่งจะไม่เกิดการสัมผัสซึ่งกันและกันหรือไม่มีความเค้นเฉือนเกิดขึ้นเลย แต่สำหรับการไหลของของไหลจริงแล้ว อาจจะสมมติให้เป็นการไหลแบบไม่หมุนวนได้เหมือนกันถ้าของไหลนั้นไม่มีความหนืดหรือความหนืดน้อยมากๆ เท่านั้น

8. การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) คือการไหลของของไหลที่มีอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปเป็นแผ่นบางๆ หรือเป็นชั้นแผ่นเรียบบาง โดยที่ชั้นของของไหลแต่ละชั้นจะเคลื่อนที่ไปอย่างมีระเบียบราบเรียบเหนือชั้นเรียบบางอื่นซึ่งกันและกัน การไหลแบบราบเรียบเกิดจากความหนืดของของไหลที่ไหลเป็นไปตามกฎความหนืดของนิวตัน เช่น การไหลของของเหลวที่มีความหนืดมาก การไหลของน้ำใต้ดิน การไหลของเลือด

9. การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) คือการไหลของของไหลซึ่งในขณะที่ไหลนั้น อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่แบบไม่เป็นระเบียบ คลื่นกระแสความเร็วจะรุนแรง ไม่มีทิศทางที่แน่นอนและมีการหมุนวนปั่นป่วนขณะไหลในระหว่างชั้นของไหล กระแสไหลวนอนุภาคจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตลอดเวลา ปัญหาการไหลของของไหลในงานวิศวกรรมแทบทั้งหมดจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ในการไหลแบบปั่นป่วนนี้มักเกิดความไม่แน่นอนต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคของของไหล จึงทำให้เกิดคลื่นกระแสความวุ่นขึ้นตามจุดต่างๆ ในของไหล ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมสมมติให้การไหลแบบปั่นป่วนนี้มีรูปแบบการไหลเป็นแบบคงตัว แล้วนำค่าเฉลี่ยต่างๆ ของคุณลักษณะที่ไม่ขึ้นกับเวลามาพิจารณาแทนความเป็นจริง

ลักษณะการไหลของของไหลที่ได้กล่าวไว้แล้วนั้น เป็นเพียงพื้นฐานเบื้องต้นของวิชากลศาสตร์ของไหลเท่านั้น ในส่วนลึกลงไปแล้ว เรายังสามารถแบ่งชนิดของการไหลที่นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วได้ดังนี้

1. Real Fluid Flow (Viscid flow) เป็นการไหลที่คิดความเสียดทานขณะไหล
2. Ideal Fluid Flow (Inviscid Flow) เป็นการไหลที่ไม่คิดความเสียดทานขณะไหล

3. Compressible Fluid Flow เป็นการไหลของของไหลที่ยุบตัวได้ คือมีความหนาแน่นแปรค่ากับความดันและอุณหภูมิ เช่น ก๊าซ อากาศ

4. Incompressible Fluid Flow เป็นการไหลของของไหลที่ยุบตัวไม่ได้คือมีความหนาแน่นคงที่ เช่นของเหลว

5. Pressure Flow เป็นการไหลที่เกิดขึ้นภายใต้ความดันที่กระทำ เช่น ก๊าซ

6. Gravity Flow เป็นการไหลด้วยแรงดึงดูดของโลก เช่น ของเหลว

7. Spatially Constant Flow เป็นการไหลที่เกิดขึ้นเมื่อความหนาแน่นและความเร็วเฉลี่ยที่จุดใดจุดหนึ่งในสนามการไหลเหมือนกันหมด

8. Spatially Variable Flow เป็นการไหลที่เกิดขึ้นเมื่อความหนาแน่นและความเร็วเฉลี่ยที่จุดใดจุดหนึ่งในสนามการไหลไม่คงที่ เช่นการไหลรอบๆวัตถุการไหลเข้าท่อลดเป็นต้น

9. Established Flow เป็นการไหลแบบ Velocity Profile ไม่เปลี่ยนแปลง

10. Unestablished Flow เป็นการไหลแบบ Velocity Profile เปลี่ยนแปลง

11. Subcritical Flow เป็นการไหลแบบกึ่งวิกฤติ

12. Supercritical Flow เป็นการไหลแบบวิกฤติ

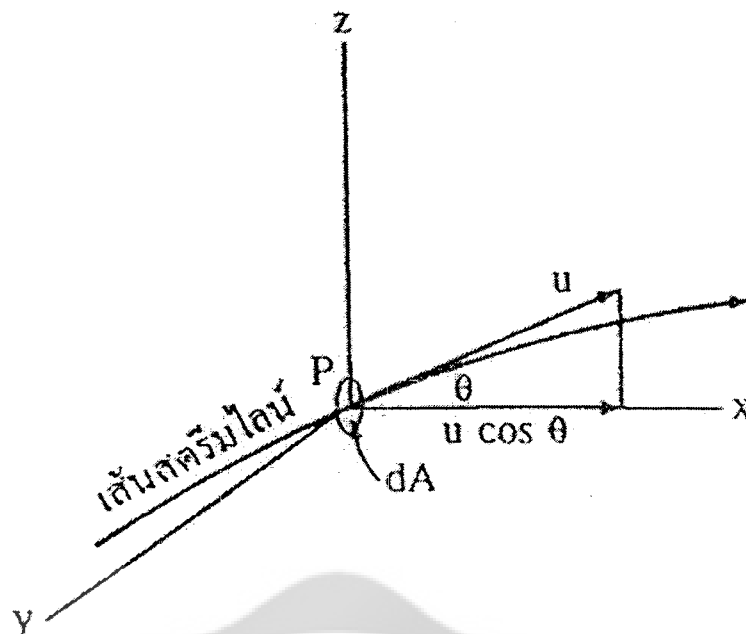
13. Subsonic Flow เป็นการไหลของของไหลที่มีความเร็วต่ำกว่าเสียง

14. Supersonic Flow เป็นการไหลของของไหลที่มีความเร็วสูงกว่าเสียง

นอกจากนี้ยังมีการแบ่งลักษณะการไหลที่แตกต่างจากที่กล่าวมาแล้วได้อีก เช่น แบบคอนเวอร์จิง(Converging) แบบไดเวอร์จิง(Diverging) แบบไอโซเทอร์มอล แบบแอดิเอแบติก และแบบไอเซนทรอปิก เป็นต้น

อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ย (Rate of Discharge And Mean Velocity)

ปริมาณของไหลที่ไหลผ่านหน้าตัดใด ๆ ในหนึ่งหน่วยนั้นเรียกว่า อัตราการไหล แต่มักนิยมเรียกกันสั้น ๆ ว่า Discharge หรือ Flow อัตราไหลนี้มีหน่วยเป็น m^3/s , N/s , ลิตร/นาที่ หรือหน่วยอื่น ๆ ตามลักษณะการใช้งานเฉพาะอย่าง อัตราการไหลในระบบเอสไอจะมีหน่วยเป็น m^3/s แต่ถ้าหากเป็นของไหลที่อัดตัวได้ก็จะบอกอัตราการไหลเป็น N/s หรือ kN/s หรือ kg/s



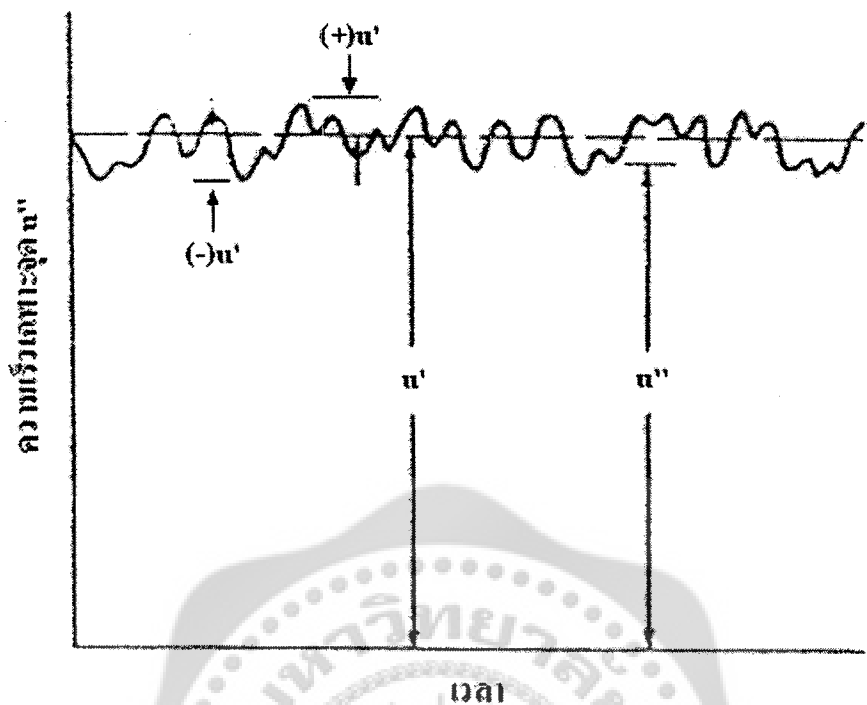
รูปที่ 2.2 สตรีมไลน์ของของไหล

รูปที่ 2.1 เป็นรูปของสตรีมไลน์ของการไหลแบบ Steady Flow ที่กำลังไหลในระนาบ xz ผ่านพื้นที่เล็ก ๆ dA ที่อยู่ในระนาบ yz ของไหลที่ไหลมาถึงจุด P นี้จะมีความเร็วเฉลี่ยเป็น u ในกรณีนี้อัตราการไหลโดยปริมาตรที่ไหลผ่านพื้นที่เล็ก ๆ dA ก็จะมีค่าเป็น

$$dQ = \vec{u} \cdot d\vec{A} = u(\cos \theta dA) = u dA' \quad (2.9)$$

เมื่อ dA' เป็นพื้นที่ของภาพฉายพื้นที่ dA ไปตกบนฉากที่ตั้งฉากกับทิศทางของ นั่นก็หมายความว่า อัตราการไหลโดยปริมาตรมีค่าเท่ากับความเร็ว คูณกับพื้นที่สำหรับการไหลที่ตั้งฉากกับทิศการไหลนั้น สำหรับอัตราการไหลโดยมวลและอัตราการไหลโดยน้ำหนักก็สามารถหาได้ด้วยการคูณอัตราการไหลโดยปริมาตรด้วยความหนาแน่นและน้ำหนักจำเพาะตามลำดับ

ถ้าหากการไหลนั้นเป็นการไหลแบบเทอร์บิวแลนต์แล้ว ความเร็วย่อย u'' ที่ขณะใดขณะหนึ่งของของไหลที่ไหลตามเส้นสตรีมไลน์จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา แม้ว่าของไหลนั้นจะได้ชื่อว่าเป็นการไหลที่ไม่แปรตามเวลาแล้ว ก็ตาม ในรูปที่ 2.2 เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วย่อย u'' กับเวลาและความเร็วเฉลี่ย ที่ขณะใดขณะหนึ่งของของไหลที่จุด P



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของแต่ละจุด

ความแตกต่างระหว่าง u'' กับ u ซึ่งแสดงด้วย u' นี้เรียกว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็ว
ย่อยจากการไหลแบบเทอร์บิวแลนท์ค่าเฉลี่ยที่ขณะใดขณะหนึ่งของนี้จะต้องมีค่าเป็นศูนย์
เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยที่ขณะใดขณะหนึ่งของความเร็วย่อยตลอดทั้งหน้าตัดของเส้นทางการไหล
ดังเช่น เวกเตอร์ ของรูปที่ 1.2 ดังนั้นความเร็วย่อย ที่ขณะใดขณะหนึ่งก็จะมีค่าเป็น :

$$u'' = u + u' \tag{2.10}$$

สำหรับความเร็วเฉลี่ย u ของช่วงเวลานั้นหาได้จากความสัมพันธ์

$$u = \frac{1}{t} \int_0^t u'' . dt \tag{2.11}$$

ในของไหลจริงนั้น ความเร็วเฉลี่ย u นี้จะแปรค่าตลอดพื้นที่หน้าตัดในลักษณะใด
ลักษณะหนึ่ง เช่น แปรเป็นรูปพาราโบลา ผลรวมของอัตราการไหลที่ไหลผ่านพื้นที่ dA เล็ก ๆ นั้นจะ

มีค่าเป็น

$$Q = \int_A u.dA = AV \quad (2.12)$$

หรือ
$$G = \gamma \int_A u.dA = \gamma AV \quad (2.13)$$

หรือ
$$\dot{m} = \rho \int_A u.dA = \rho AV \quad (2.14)$$

เมื่อ u คือ ความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่ dA เล็ก ๆ

V คือ ความเร็วเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัด A

ถ้าหากรู้ว่าความเร็ว เป็นฟังก์ชันของพื้นที่ แล้วก็จะสามารถอินทิเกรตหาอัตราการไหล ได้ แต่ถ้าหากรู้แต่เพียงความเร็วเฉลี่ย ของพื้นที่ที่ถูกแบ่งออกมาจากพื้นที่รวมแล้วก็จะได้อัตราการไหลเป็น :

$$Q = A_a V_a + A_b V_b + \dots A_n V_n = AV \quad (2.15)$$

สำหรับอัตราการไหลโดยน้ำหนักและอัตราการไหลโดยมวลก็สามารถหาได้ในลักษณะเดียวกัน ในทางตรงกันข้ามถ้าหากรู้อัตราการไหลซึ่งอาจจะหาโดยตรงจากวิธีการใดวิธีการหนึ่งแล้ว ก็สามารถจะหาความเร็วเฉลี่ยได้จากความสัมพันธ์

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{G}{\gamma A} = \frac{\dot{m}}{\rho A} \quad (2.16)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลโดยปริมาตร, m^3/s

G คือ อัตราการไหลโดยน้ำหนัก, N/s

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลโดยมวล, kg/s

Pathline Streakline และ Streamline

ในการวิเคราะห์ปัญหาในทางกลศาสตร์ของไหล บ่อยครั้งที่การบรรยายด้วยภาพของสนามการไหลจะสามารถช่วยบ่งบอกถึงพฤติกรรมของการไหลได้ดีขึ้น ภาพดังกล่าวจะถูกกำหนดขึ้นจากการเขียน Pathline Streakline และ Streamline

Pathline Streakline และ Streamline ต่างถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์การไหล โดยที่ในการทำการทดลองให้เห็นภาพการไหลนั้น มีเทคนิคหลายแบบ แบบที่เรียบง่ายแบบหนึ่งคือการฉีดสีลงในของไหล ทำให้เห็นภาพการไหลของอนุภาคของของไหลที่ไหลผ่านจุดที่ปล่อยสีในเวลาที่ต่าง ๆ กันออกไป ภาพการไหลที่เกิดขึ้น อาจเป็น Pathline หรือ Streakline ขึ้นกับเงื่อนไขการพิจารณา นิยามของเส้นทั้งสามสามารถเขียนได้เป็น

Pathline คือ เส้นที่แสดงทางเดินของอนุภาคของไหลแต่ละตัวที่เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ในทางปฏิบัติเราอาจเห็นเส้น Pathline โดยการฉีดสีลงในของไหล สีจะเกาะกับตัวอนุภาคของไหลและเคลื่อนที่ไป หากสามารถเฝ้าดูทางเดินเม็ดสีที่เกาะติดตัวอนุภาคแต่ละตัวที่เคลื่อนที่ไปทางเดินดังกล่าวของอนุภาคของไหลแต่ละตัวจะเป็น Pathline

Streakline คือ เส้นที่ลากเชื่อมอนุภาคของของไหลหลายอนุภาคที่ไหลผ่านจุดที่กำหนดจุดเดียวกัน ดังนั้นเราอาจจะสร้าง Streakline โดยการถ่ายรูปอนุภาคที่ถูกทำสัญลักษณ์ ที่ซึ่งเคยผ่านจุดที่กำหนดในเวลาก่อนหน้านี้ เส้นที่เชื่อมต่ออนุภาคดังกล่าวจะเป็น Streakline

Streamline คือ เส้นที่ลากสัมผัสกับเวกเตอร์ของความเร็วของอนุภาคของของไหลในสนามความเร็วในขณะนั้น และจากนิยามดังกล่าว ทำให้ไม่มีการไหลตัดผ่าน Streamline เราสามารถหา Streamline ได้โดยการอินทิเกรต สมการ Streamline ในการไหลแบบ 2 มิติ ความลาดชันของ Streamline ในแกนพิกัด xy ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{dy}{dx}$ นั้นจะต้องเท่ากับค่า $\tan$ ของมุมที่เวกเตอร์ความเร็วทำกับแกนซึ่งจะเขียนได้เป็น

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v}{u} \quad (2.17)$$

เมื่อ u, v เป็นองค์ประกอบของความเร็วในแกน x และ y

ดังนั้นสมการ Streamline ในการไหลแบบ 2 มิติ จะเขียนได้เป็น

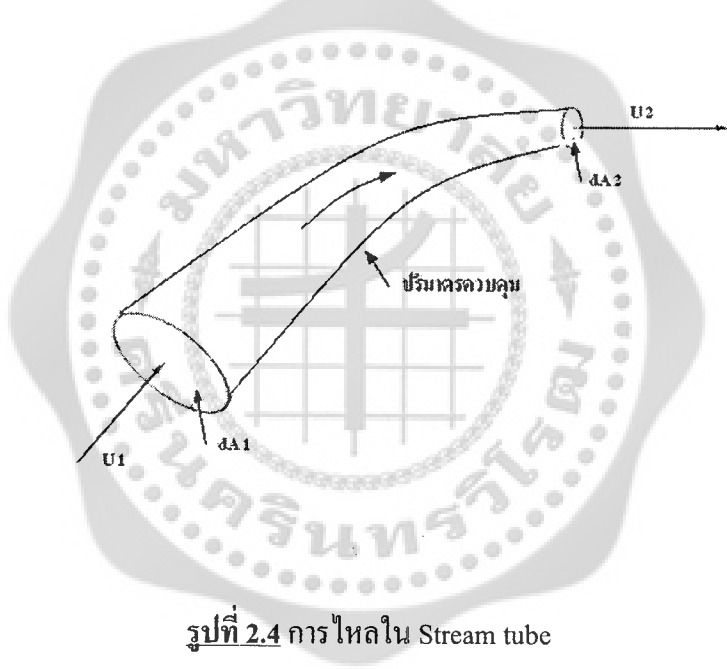
$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} \quad (2.18)$$

และในลักษณะแบบเดียวกัน สมการ Streamline ในการไหลแบบ 3 มิติจะเขียนได้เป็น

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w} \tag{2.19}$$

และหากการไหลของของไหลอยู่ในสภาพการไหลคงตัว Pathline Streakline และ Streamline จะกลายเป็นเส้นเดียวกันหมด

สมการการไหลต่อเนื่อง (Equation of Continuity)



รูปที่ 2.4 การไหลใน Stream tube

รูปที่ 2.4 เป็นท่อที่เกิดจากการล้อมรอบของเส้นสตรีมไลน์กลุ่มหนึ่ง เราเรียกท่อดังกล่าวนี้ว่า Steam Tube เนื่องจากทุก ๆ ด้านของ Steam Tube นี้ถูกล้อมรอบด้วยเส้นสตรีมไลน์ และด้วยเหตุที่ไม่มีความเร็วสุทธิอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับเส้นสตรีมไลน์ ดังนั้นจึงไม่มีของไหลไหลเข้าและออกจากผิวของ Steam Tube นี้ ยกเว้นที่ปลายทั้งสองของ Steam Tube นี้เท่านั้น ปริมาตรภายใน Steam Tube ที่มีขนาดคงที่ซึ่งอยู่ในระหว่างหน้าตัดสองหน้าตัด เรียกว่า ปริมาตรควบคุม และจะใช้ ∇ เป็นตัวแสดงถึงขนาดของปริมาตรควบคุมนี้ ตามหลักของ Newtonian Physics นั้น (นั่นคือ ไม่คำนึงถึงความสามารถที่จะเปลี่ยนมวลเป็นพลังงาน) มวลภายในปริมาตรควบคุมก็จะต้องมีจำนวนเท่าเดิม ถ้าหากมวลของของไหลที่อยู่ในปริมาตรควบคุมซึ่งมีขนาดเท่ากับ ∇ เมื่อเวลา t มี

ค่าเท่ากับ $(mass)_t$ แล้วมวลของของไหลที่อยู่ในปริมาตรควบคุม $\forall$ เมื่อเวลา $(t+dt)$ ก็จะต้องมีค่าเป็น :

$$(mass)_{t+dt} = (mass)_t + (\rho_1 u_1 dA_1)dt - (\rho_2 u_2 dA_2)dt$$

แต่มวลที่อยู่ในปริมาตรควบคุม $\forall$ เมื่อเวลา $(t+dt)$ นี้เขียนในอีกลักษณะหนึ่งได้ว่า

$$(mass)_{t+dt} = (mass)_t + \frac{\partial \rho}{\partial t} \cdot dt \cdot \forall \quad (2.20)$$

เมื่อ $\partial \rho / \partial t$ เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของของไหล ฉะนั้นเมื่อนำเอา $(mass)_{t+dt}$ ของสมการข้างต้นทั้งสองมาเท่ากันแล้วก็จะได้ :

$$\begin{aligned} (\rho_1 u_1 dA_1)dt - (\rho_2 u_2 dA_2)dt &= \frac{\partial \rho}{\partial t} \cdot dt \cdot \forall \\ \text{และ} \quad \rho \int_{A_1} u_1 dA - \rho \int_{A_2} u_2 dA &= \int_{\forall} \frac{\partial \rho}{\partial t} \end{aligned} \quad (2.21)$$

สมการดังกล่าวนี้เป็นสมการการไหลต่อเนื่องสำหรับการไหลในขอบเขตที่มีขนาดตายตัวซึ่งมีใจความว่า อัตราสุทธิของมวลที่ไหลเข้าไปในปริมาตรควบคุม จะเท่ากับอัตราของมวลที่เพิ่มขึ้นในปริมาตรควบคุมนั้น สมการ (2.21) นี้สามารถดัดรูปลงให้เหมาะกับการใช้งานของแต่ละกรณีเช่น ในกรณีที่เป็น Steady Flow ซึ่งมีค่า $\partial \rho / \partial t = 0$ นั้น สมการ (2.21) จะดัดรูปเป็น:

$$\rho_1 \int_{A_1} u \cdot dA = \rho_2 \int_{A_2} u \cdot dA \quad (2.22)$$

$$\text{หรือ} \quad \rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_1 V_1 = \dot{m} \quad (2.22a)$$

$$\text{หรือ} \quad \gamma_1 A_1 V_1 = \gamma_2 A_2 V_2 = G \quad (2.22b)$$

ถ้าเป็น Steady Flow และของไหลนั้นอัดตัวไม่ได้ (Incompressible) ซึ่งมีค่า ρ คงที่นั้น สมการ (2.21) จะดัดรูปเป็น :

$$\int_{A_1} u_1 dA = \int_{A_2} u_2 dA \quad (2.23)$$

หรือ $A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q \quad (2.24)$

สมการเหล่านี้เป็นสมการการไหลต่อเนื่องที่สำหรับใช้กับของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ทั้งการไหลแบบ Steady Flow และ Unsteady Flow ภายในขอบเขตที่ตายตัว

สมการ (2.23) และ (2.24) เป็นสมการที่ สำหรับใช้กับการไหลภายในท่อเปลือกแข็ง แต่สำหรับในกรณีของการไหลในพื้นที่โล่ง ๆ เช่น การไหลของอากาศรอบ ๆ เครื่องบิน หรือ ในกรณีการไหลของของเหลวในลำคลองที่มีการไหลแบบ Unsteady Flow ก็จะมีสมการการไหลแบบต่อเนื่องอยู่ในรูปอื่น กฎการอนุรักษ์มวลกล่าวว่า อัตราการไหลที่ไหลผ่านหน้าตัด 1 ลบด้วย อัตราการไหลที่ไหลผ่านหน้าตัด 2 มีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลง (ตามเวลา) ของปริมาตรระหว่างหน้าตัดทั้งสอง ดังนั้น

$$Q_1 - Q_2 = \frac{dS}{dt} \quad (2.25)$$

เมื่อ S คือ ปริมาตรของของเหลวในระหว่างหน้าตัดทั้งสอง

สมการพลังงาน (Energy Equation)

สมการพลังงาน เป็นสมการที่ได้จากการใช้หลักการทรงพลังงาน (Principle of Conservation of Energy) กับของไหลที่เคลื่อนที่ พลังงานที่เกิดจากของไหลเคลื่อนที่ประกอบไปด้วย พลังงานความดัน ความเร็ว และตำแหน่ง นอกจากนี้แล้วยังอาจมีพลังงานที่เพิ่มให้กับของไหลหรือพลังงานที่สูญเสียเกิดขึ้นอีกด้วย ดังนั้นจึงอาจเขียนสมการแสดงผลรวมของพลังงานทั้งหมดในทิศทางที่ของไหลเคลื่อนที่ได้เป็น

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_m + Q_h - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (2.26)$$

P_1, P_2 คือ ความดันที่ตำแหน่ง 1 และ 2 (kPa)

V_1, V_2	คือ ความเร็วที่ตำแหน่ง 1 และ 2 (m/s)
Z_1, Z_2	คือ ระดับความสูงที่ตำแหน่ง 1 และ 2 (m)
γ_1, γ_2	คือ น้ำหนักจำเพาะของของไหลที่ตำแหน่ง 1 และ 2 (kN/m ³)
h_m	คือ พลังงานกลที่ใส่ให้กับของไหลต่อน้ำหนักของของไหล(m)
Q_h	คือ พลังงานความร้อนที่ใส่ให้ของไหลต่อน้ำหนักของของไหล(J/N)
h_L	คือ พลังงานที่สูญเสียไประหว่างตำแหน่ง 1 และ 2 (m)

ในกรณีที่เป็นการไหลแบบ Steady Flow ของไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้ ของไหลไม่มีความเสียดทาน (Frictionless) จึงไม่มีการสูญเสียพลังงาน และไม่มีการให้พลังงานกับของไหลระหว่างตำแหน่ง 1 และ 2 สมการ (2.26) อาจเขียนในรูปใหม่ได้เป็น

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

(2.27)

หรือ

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z = \text{ค่าคงที่}$$

(2.28)

สมการ (2.27) และ (2.28) มีชื่อเรียกว่า สมการเบอร์นูลลี (Benoulli's Equation) สังเกตได้ว่าสมการของเบอร์นูลลีใช้ได้กับของไหลที่ไม่มีแรงเสียดทาน แบบอัดตัวไม่ได้ แต่อย่างไรก็ตาม สมการดังกล่าวก็สามารถนำไปใช้กับของไหลแบบอัดตัวไม่ได้ที่มีความเสียดทานน้อยมากได้ เทอมต่างๆในสมการ (2.27) และ (2.28) มีหน่วยเป็นหน่วยของความยาว ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกเป็นพิเศษคือ

- $\frac{P}{\gamma}$

เรียกว่า Pressure Head แทนสมการความดันต่อหน่วยน้ำหนักของของไหล
- อันเนื่องมาจากความดันในของไหล

$\frac{V^2}{2g}$

เรียกว่า Velocity Head แทนพลังงานจลน์ต่อหน่วยน้ำหนักของของไหล อันเนื่องมาจากความเร็วของของไหล
- Z

เรียกว่า Elevation Head แทนพลังงานศักย์ต่อหน่วยน้ำหนักของของไหลอัน

เนื่องมาจากระดับของของไหล

ผลรวมของเทอมทั้งสามมีชื่อเรียกว่า Total Head ใช้สัญลักษณ์ว่า H ซึ่ง

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \quad (2.29)$$

ข้อควรระวังคือ แม้ว่าแต่ละเทอมในสมการ (2.29) มีหน่วยเป็นหน่วยความยาวแต่มีความหมายว่าเป็นพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักของของไหล

สมการพลังงานของไหลที่อัดตัวได้ในกรณีที่ไม่มีเครื่องจักรและการสูญเสียความดันจากสมการที่ 2.27 จะกลายเป็น :

$$\left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + I_1 \right) + q = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + I_2 \right) \quad (2.30)$$

ส่วนใหญ่อากาศหรือแก๊สจะมีค่า P/γ จะมีค่ามากเมื่อเทียบกับ $Z_1 - Z_2$ ทั้งนี้เพราะค่าของ γ มีค่าน้อย ดังนั้นจึงมักตัดเทอม Z เหล่านั้นทิ้งแต่ก็ไม่ควรทิ้งเลยทีเดียวเว้นแต่จะมีค่าน้อยมาก

โดยปกติแล้วมักจะรวมค่า p/γ ($\alpha p v$) กับค่า I เข้าเป็นเทอมเดียวกันและเรียกเทอมใหม่ว่า Specific Enthalpy และใช้สัญลักษณ์ว่า E ดังนั้น

$$E = I + p v \quad (2.31)$$

Enthalpy มีหน่วยเป็น Nm/kg หรือ J/kg เมื่อแทนค่าสมการที่ 2.30 ให้อยู่ในรูปของ Enthalpy, E นี้แล้วก็จะเป็น :

$$E_1 + \frac{V_1^2}{2g} + q = E_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (2.32)$$

สมการ (2.32) ใช้ได้กับแก๊สหรือไอใด ๆ และจะเป็นกระบวนการแบบใดก็ได้ ซึ่งจะต้องรู้ค่าของ Enthalpy, E ด้วยและจะต้องใช้ควบคู่กับตารางของแก๊สหรือไอบางแบบต่างๆ ทั้งนี้

เนื่องจากคุณสมบัติของแก๊สและไอ ไม่สามารถนำมาอยู่ในรูปของสมการแบบง่าย ๆ ได้

ของไหลไหลในท่อ ต่อเข้าแหล่งจ่าย มีการสูญเสียพลังงานเมื่อของไหลไหลผ่านอุปกรณ์ที่มีการสูญเสียพลังงาน จากสมการที่ 2.27 เขียนเป็นสมการใหม่ได้ว่า

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_{loss} \quad (2.33)$$

เมื่อ h_{loss} คือ ค่าสูญเสียความดันที่เกิดขึ้นในท่อระหว่างตำแหน่งที่ 1 ถึง 2 การสูญเสียพลังงานของการไหลในท่อ

- Energy Grade Line (EGL) คือเส้นที่เขียนขึ้นเพื่อใช้แสดงค่าพลังงานที่พื้นที่หน้าตัดต่างๆ หรือเรียกว่าเส้นระดับพลังงาน แต่ถ้าเขียนเส้น EGL เทียบกับระดับอ้างอิงที่กำหนด ขึ้นค่าที่อ่านได้จากเส้นนี้จะเป็นค่าพลังงานรวมทั้งหมด (Total energy) ที่หน้าตัดต่างๆ ตามปกติ แล้วเส้น EGL จะขนานกับทิศทางที่ของไหลเคลื่อนที่ไป เว้นเสียแต่จะมีการเพิ่มพลังงานจากภายนอกให้กับของไหลเช่นปั๊มน้ำ

- Hydraulic Grad Line (HGL) คือเส้นที่อยู่ด้านล่างของเส้น EGL เรียกว่าเส้นระดับชลศาสตร์ ถ้าพิจารณาจากเส้นระดับอ้างอิงถึงเส้น HGL จะบอกถึงระดับของ Pressure Head บวกกับ Elevation Head ส่วน Velocity Head จะคิดจากเส้น HGL ถึงเส้น EGL เมื่อของไหลไหลในท่อ คิดจากการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหล และมีการใช้เครื่องสูบน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องจากสมการ เขียนเป็นสมการใหม่ได้ว่า

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_p = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_{loss} \quad (2.34)$$

เลขเรย์โนลด์ (Re)

เลขเรย์โนลด์เป็นสมการที่ใช้ในการบอกถึงลักษณะการไหลของของไหลว่าเป็นการไหลในลักษณะใด ซึ่งสมการในหาค่าเลขเรย์โนลด์มีดังนี้

$$Re_D = \frac{UD}{\nu} \quad (2.35)$$

กำหนดให้ U คือความเร็วเฉลี่ยของของไหล

D คือเส้นผ่าศูนย์กลางผนังท่อด้านใน

V คือความหนืดเชิงจลน์

พฤติกรรมการไหลของของไหลภายในท่อสามารถแบ่งได้ตามค่าเลขเรย์โนลด์ดังนี้

- การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) มีค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำกว่า 2,100

โดยประมาณ

- การไหลในช่วงทรานซิชัน (Transition) มีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 2,100 ถึง 4,000 เป็นช่วงการไหลที่จะเปลี่ยนลักษณะ การไหลจากแบบราบเรียบไปเป็น การไหลแบบปั่นป่วน

- การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence Flow) มีค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 4,000 ขึ้นไป

โดยประมาณ



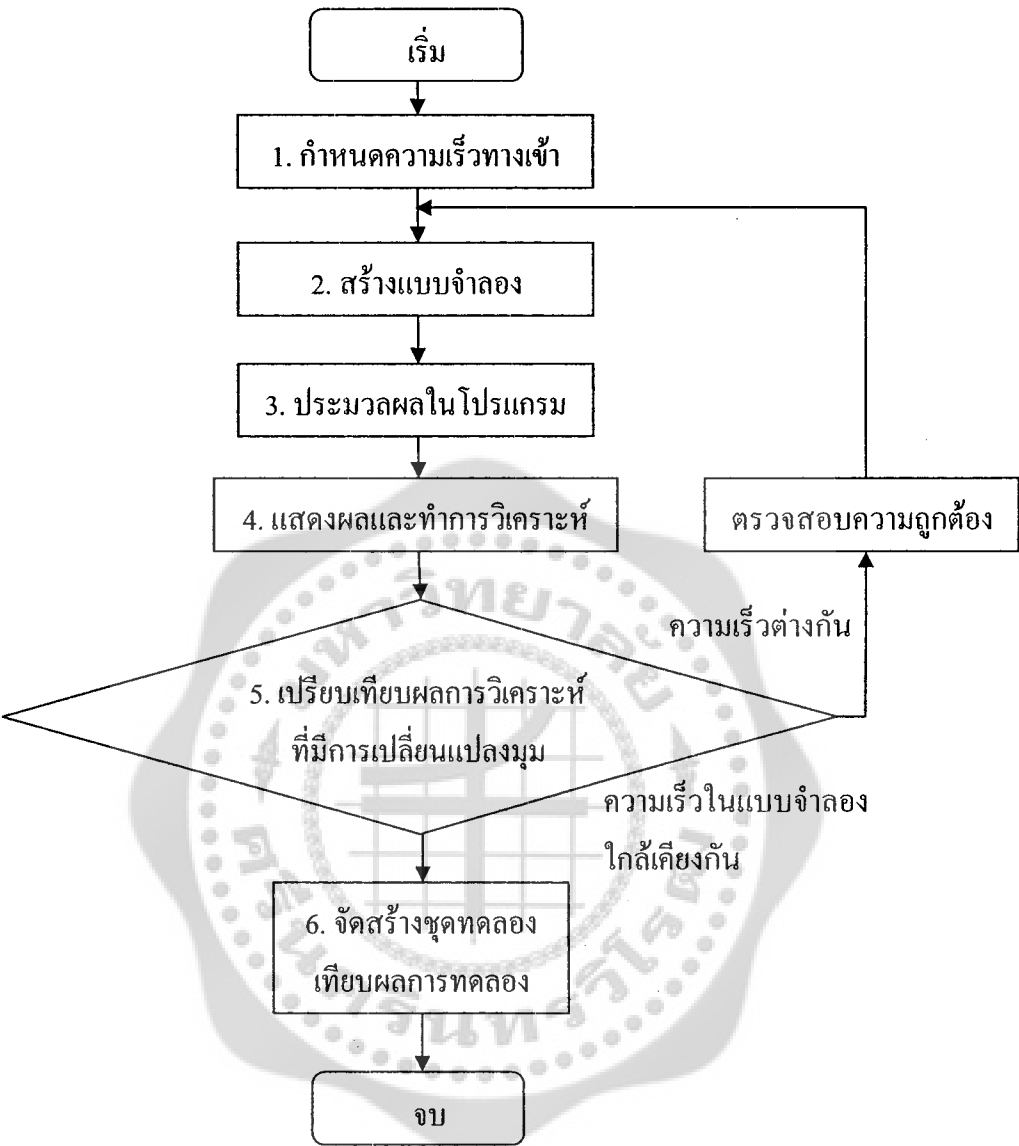
บทที่ 3

การออกแบบ และ วิธีการทดลอง

ขั้นตอนของการทำโครงการ

ของไหลประกอบไปด้วยอนุภาคของของไหล (Fluid Particles) จำนวนมากเคลื่อนไปตามทิศทางที่ของไหลนั้นเคลื่อนที่ อนุภาคต่างๆเหล่านี้ไม่ได้เคลื่อนที่ขนานกันไปตลอด แต่เคลื่อนที่ไปอย่างอิสระในหลายทิศทาง ความเร็วของอนุภาคเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีขนาดและทิศทางซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ซึ่งโดยพื้นฐานแล้วการหาคำตอบนั้นจะใช้วิธีการทดลองเพื่อหาคำตอบ ซึ่งจะเสียเวลาในการทดลอง ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์และการดำเนินการทดลอง แต่ในปัจจุบันได้มีการนำการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์มาใช้ร่วมกับทฤษฎีการไหลของของไหลนำมาสร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computational Fluid Dynamics ,CFD) เพื่อที่จะนำมาทำนายคุณลักษณะของของไหลได้อย่างถูกต้องและแม่นยำเช่นเดียวกัน

ซึ่งโครงการนี้จะทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายลักษณะการไหล โดยใช้โปรแกรมทำนายลักษณะการไหล (Fluent) เพื่อวิเคราะห์การไหลที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อลดเวลาในการจัดสร้างชุดทดลองโดย ทำการทำนายลักษณะการไหลโดยใช้โปรแกรมทำนายลักษณะการไหล (Fluent) โดยมีข้อกำหนดให้ความเร็วที่เกิดขึ้นที่ช่องการไหลขนาดเล็กมีความเร็วใกล้เคียงกัน เมื่อได้แบบที่ทำนายลักษณะการไหลที่ความเร็วใกล้เคียงกัน จึงสร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นจริงภายในชุดทดลองโดยทำการวัดความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลอง เพื่อนำไปคำนวณหาความเร็วที่เกิดขึ้นจริงภายในชุดทดลอง แล้วเทียบความเร็วที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองว่ามีความเร็วใกล้เคียงกัน ตามที่ได้ทำนายลักษณะการไหลโดยใช้โปรแกรมทำนายลักษณะ (Fluent)



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการทำโครงการ

รายละเอียดของขั้นตอนการทำโครงการจากรูปที่ 3.1 มีดังนี้

1. กำหนดเงื่อนไขและขอบเขต ที่จะใช้ในการวิเคราะห์โดยเลือกความเร็วทางเข้าที่ไหลผ่านช่องการไหลที่มีขนาดเล็กให้เป็นแบบราบเรียบ
2. สร้างแบบจำลองที่จะใช้ทำนายลักษณะการไหลในโปรแกรม Fluent
3. การจำลองการไหลด้วยโปรแกรม Fluent

4. แสดงผลที่โปรแกรมวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบการกระจายตัวของความเร็ว โดยกำหนดให้ความเร็วที่ไหลผ่านช่องการไหลที่มีขนาดเล็กเท่ากันทุกจุดภายในชุดทดลอง
5. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของโปรแกรมที่มีการเปลี่ยนแปลงมุมทางเข้า เพื่อนำมุมของแบบจำลองที่ทำให้ความเร็วที่เกิดขึ้นเท่ากันมาสร้างแบบจำลอง
6. จัดสร้างชุดทดลองและเทียบผลที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลอง

หลักในการออกแบบและการทดลอง

1. ทำการสร้างแบบจำลองเพื่อประมวลผลทำนายลักษณะการไหลที่จะเกิดขึ้น โดยใช้โปรแกรม Fluent ในการวิเคราะห์ผล
2. ชุดทดลองจะต้องมีมาตรวัดต่าง ๆ ที่สามารถอ่านค่าได้สะดวกเพื่อง่ายต่อการคำนวณทางทฤษฎี
3. ชุดทดลองจะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สามารถถอด และประกอบได้ง่าย เพื่อความสะดวกในการปรับระดับความสูงของผนังได้
4. กำหนดอากาศที่ไหลผ่านในแต่ละช่องการไหลมีความเร็วเฉลี่ยเท่า ๆ กัน และมีลักษณะการไหลในแบบราบเรียบ (Laminar Flow) เพื่อให้สะดวกในการออกแบบ และการวิเคราะห์

การออกแบบอุปกรณ์สำหรับชุดทดลอง

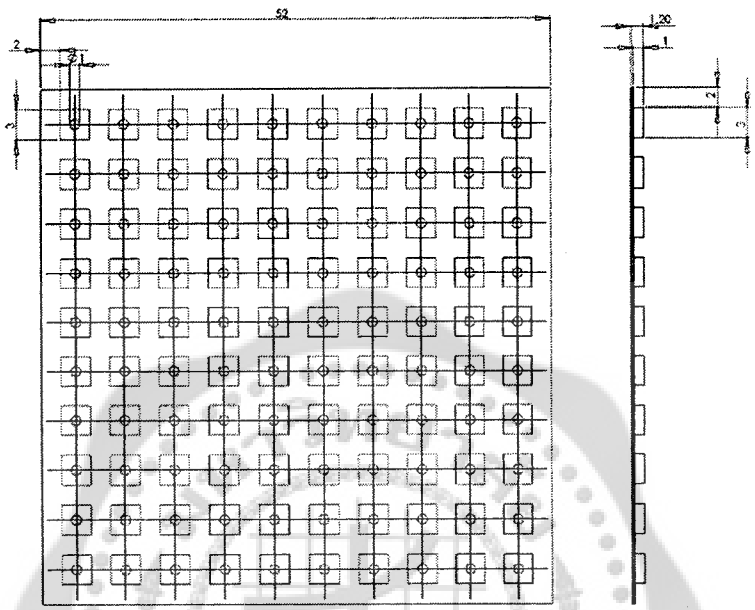
พัฒมเลือกใช้แบบหมุนเหวี่ยง(Centrifugal Pump) ซึ่งเป็นปั๊มที่ให้อัตราการไหลที่แรงดันคงที่ราคาถูกแต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพของปั๊มจะไม่ครบ 100 % โดยอัตราการไหลและข้อมูลจำเพาะของพัฒม (Blower) ดูได้จากผู้ผลิต

ส่วนประกอบของชุดทดลอง

1. เครื่องมือวัดความดันตกคร่อม
2. ชุดออร์ฟิช (Orifice)
3. โบเวอร์ (Blower)
4. ชุดทดสอบ(Test Section)
5. อินเวอร์เตอร์(Inverter)

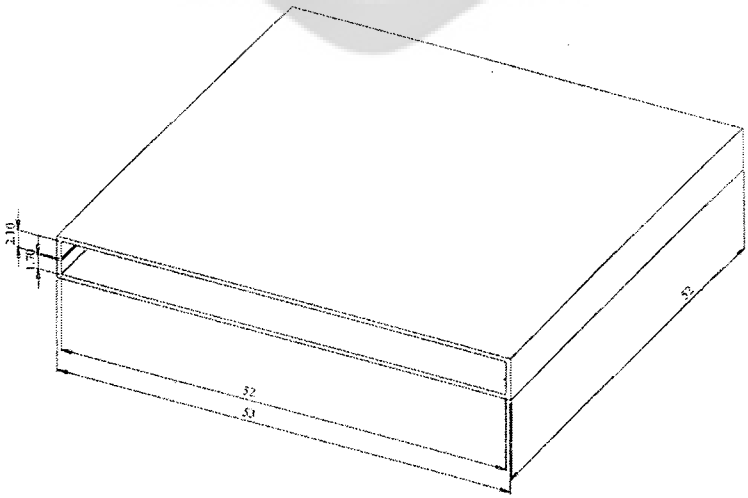
การกำหนดเงื่อนไขและขอบเขตที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ขนาดของ Manifold



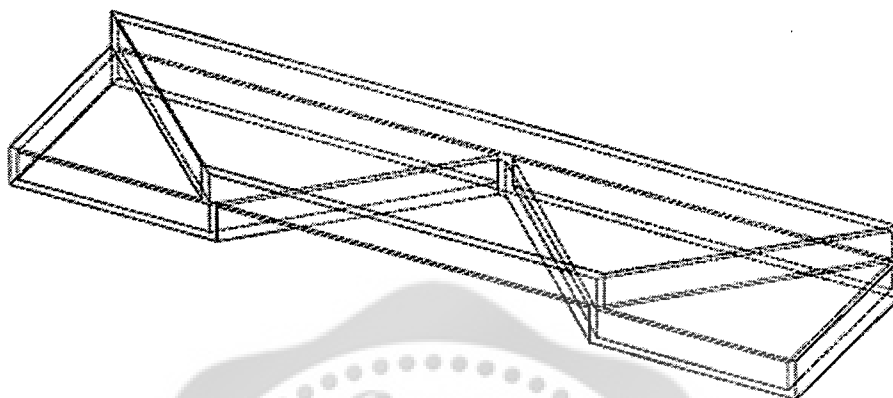
รูปที่ 3.2 Manifold

2. กำหนดขนาดของตัวเรือนซึ่งจะสามารถปรับระดับความสูงของผนังได้



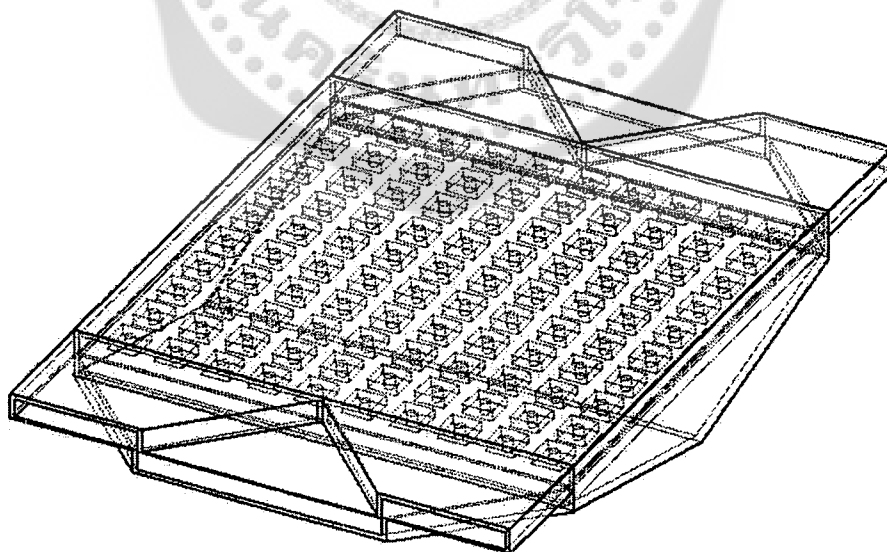
รูปที่ 3.3 ตัวเรือน

3. ส่วนทางเข้าและออก



รูปที่ 3.4 ท่อทางเข้าและออก

4. ชั้นส่วนเมื่อนำมาประกอบ

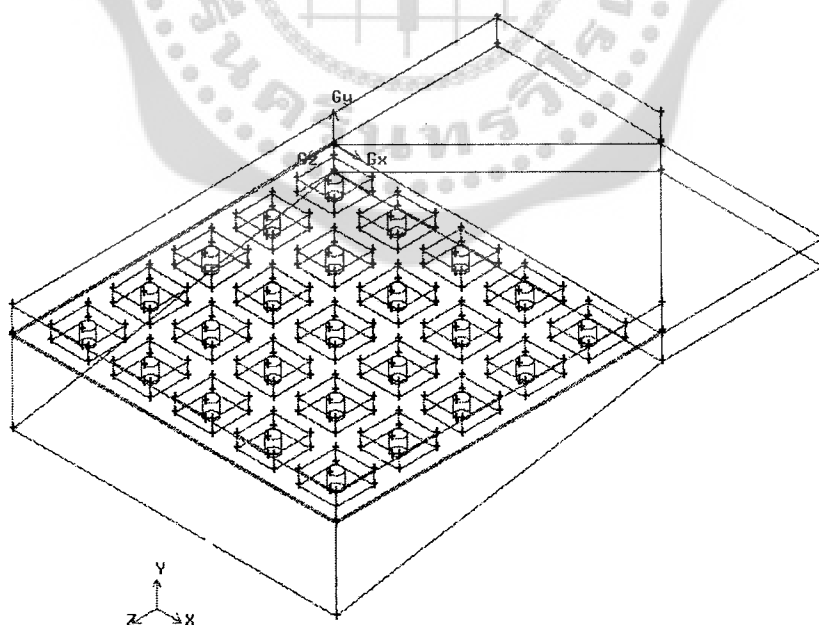


รูปที่ 3.5 ชุดทดลอง

ขอบเขตของการวิเคราะห์นั้นจะใช้โปรแกรมทำนายลักษณะการไหล เพื่อเปรียบเทียบงานกับขั้นตอนจริงซึ่งทางผู้จัดทำได้ใช้โปรแกรม FLUENT ในการทำนายลักษณะการไหลในการเขียนแบบเพื่อส่งข้อมูลไปวิเคราะห์ที่โปรแกรม จะต้องใช้โปรแกรม Gambit ในการเขียนแบบ ผู้จัดทำเห็นว่าปัจจุบันโปรแกรม Solid Work มีการใช้งานได้หลากหลายมากขึ้นและสามารถแปลงนามสกุลไฟล์ได้หลายรูปแบบ ซึ่งสามารถแปลงนามสกุลเข้าโปรแกรม Gambit ได้ โดยสามารถแปลงไฟล์ได้ดังนี้

- เขียนแบบโดยใช้โปรแกรมSolidWorkเลือกที่SaveAs..
- เลือก Save as type เลือกที่ ACIS (*.sat) ซึ่งไฟล์นี้สามารถอ่านได้ในโปรแกรม Gambit
- เลือกที่ OPTON ทำการเลือกเวอร์ชันเนื่องจากโปรแกรม Gambit ที่ใช้อยู่สามารถรองรับไฟล์เวอร์ชัน 12 จากนั้นกดตกลง แล้วทำการบันทึก
- เปิดโปรแกรม Gambit เลือกที่ Import เลือกไฟล์ ACIS ก็สามารถใช้งานและกำหนดขอบเขตต่างๆได้

ในการทดสอบโดยใช้โปรแกรมทำนายลักษณะการไหลจะเขียนแบบใหม่ให้มีขนาดสมมาตรดังรูปที่ 3.5 ทั้งนี้ผู้จัดทำเลือกที่จะศึกษาการเขียนด้วย GAMBIT ด้วย



รูปที่ 3.6 แบบที่ใช้ทดสอบใน โปรแกรม Gambit

การคำนวณในเพื่อหาขอบเขตในโปรแกรม Fluent

หาความเร็วของที่ไหลผ่านช่องการไหลแต่ละช่อง

$$V = \frac{R_e v}{d}$$

$$V = \frac{1250 \times (1.32 \times 10^{-5}) \text{ m}^2 / \text{s}}{0.01 \text{ m}} = 16.5 \text{ m/s}$$

หาอัตราการไหลที่ไหลผ่านแต่ละช่อง

$$Q = V \times A$$

$$Q = 16.6 \text{ m/s} \times \frac{\pi}{4} \times 0.01^2 \text{ m}^2$$

$$Q = 1.2959 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

อัตราการไหลรวมที่ไหลผ่าน

$$Q = 1.2959 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \times 100 \text{ ช่อง}$$

$$Q = 1.2959 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$$

ของไหลแยกเข้าสองทาง

$$Q = \frac{1.2959 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}}{2}$$

$$Q = 6.4795 \times 10^{-3} / \text{s}$$

พื้นที่ที่ของไหลไหลผ่าน

$$A = 0.026 \text{ m} \times 0.0019 \text{ m}$$

$$A = 4.94 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

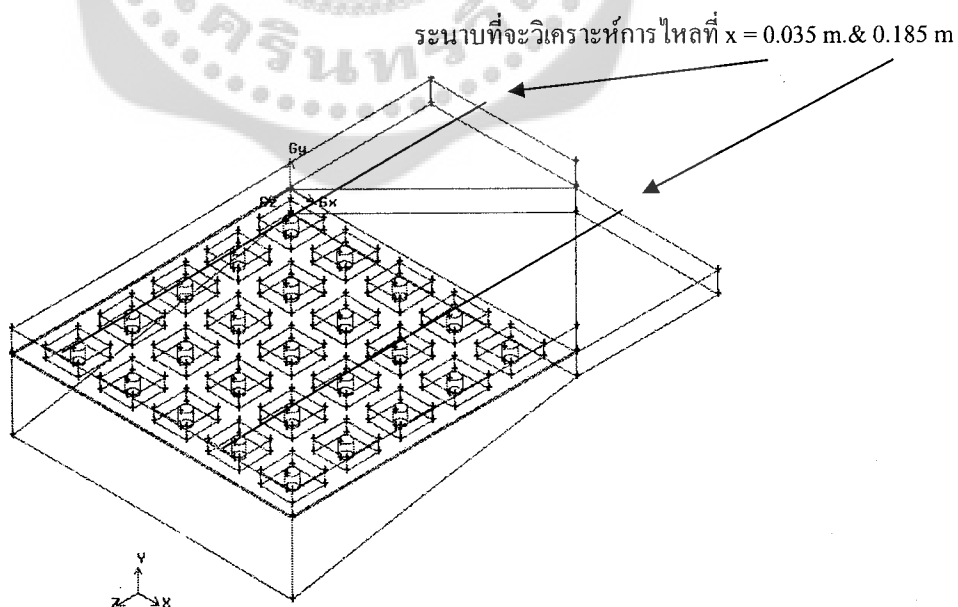
$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{6.479 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{4.94 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$V = 1.3116 \text{ m/s}$$

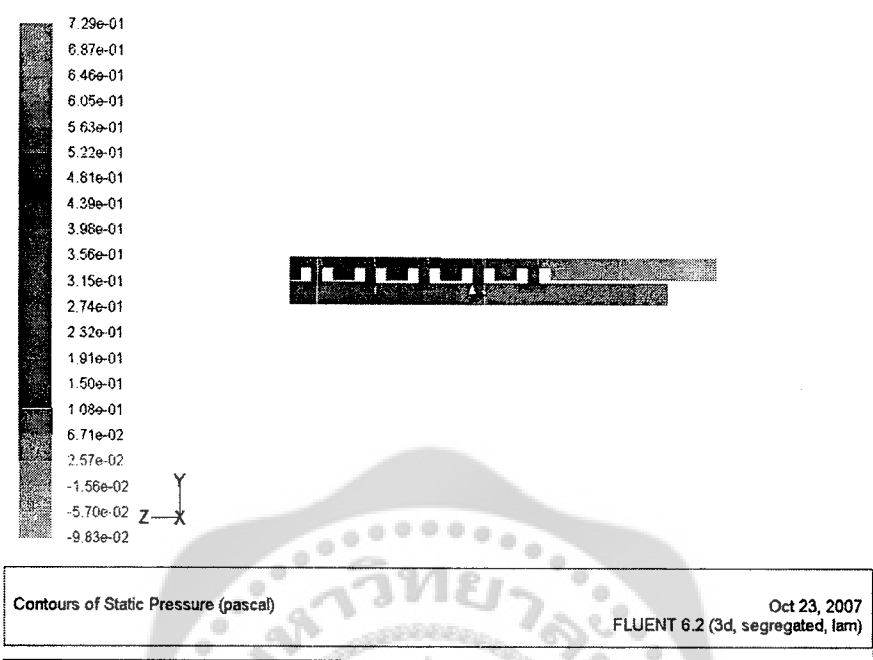
รูปแสดงผลต่างๆในโปรแกรม Fluent

การแสดงผลในส่วน ของรูปการกระจายตัวของความเร็วและรูปแสดงการกระจายตัวของเวกเตอร์ความเร็วของอากาศนั้น ในส่วนของโปรแกรม Fluent นั้นจำเป็นที่จะต้องสร้างระนาบหน้าตัดขึ้นมาโดยในส่วนของตำแหน่งของระนาบที่ตัดนั้นจะตรงกับกึ่งกลางของช่องการไหลขนาดเล็ก ซึ่งตำแหน่งและลักษณะของระนาบแสดงดังรูปที่ 4.1 การสร้างระนาบขึ้นมานั้น ก็เพื่อที่จะต้องการแสดงผลของความเร็วของอากาศในบริเวณนั้น และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจากการวัดความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นจริง

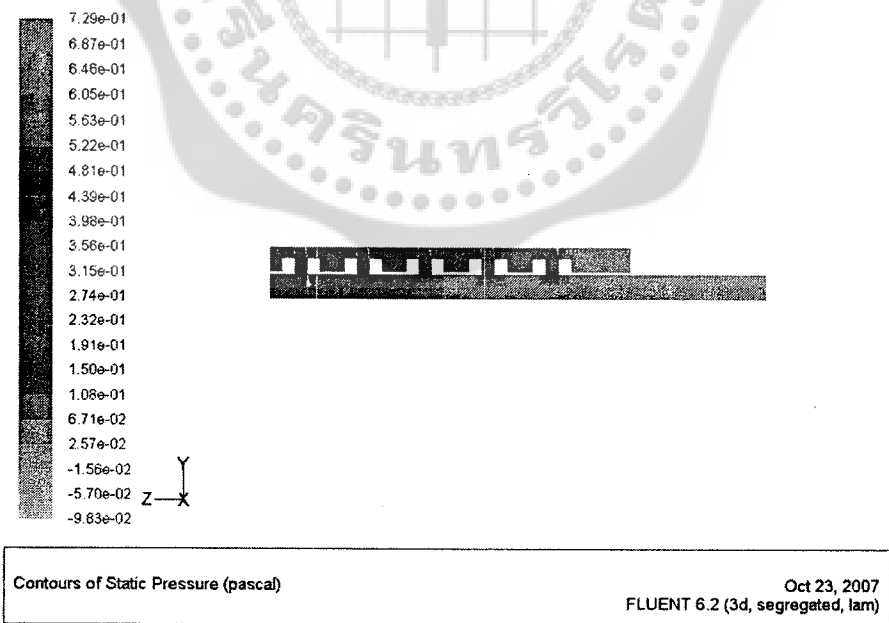


รูปที่ 3.7 แสดงระนาบหน้าตัดใน โปรแกรม Fluent

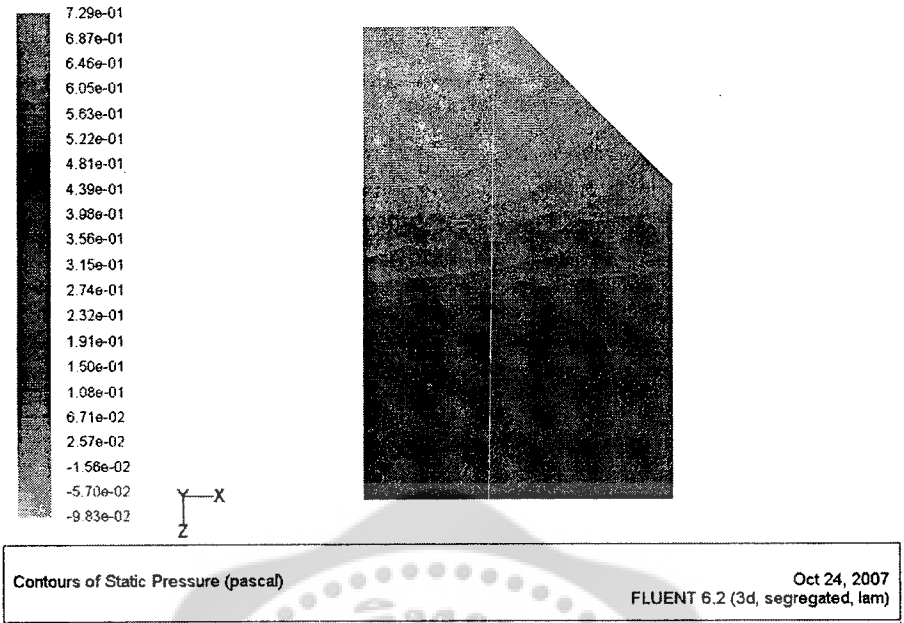
ผลการทำนายลักษณะการไหลโดยใช้โปรแกรม FLUENT ในการวิเคราะห์ผล



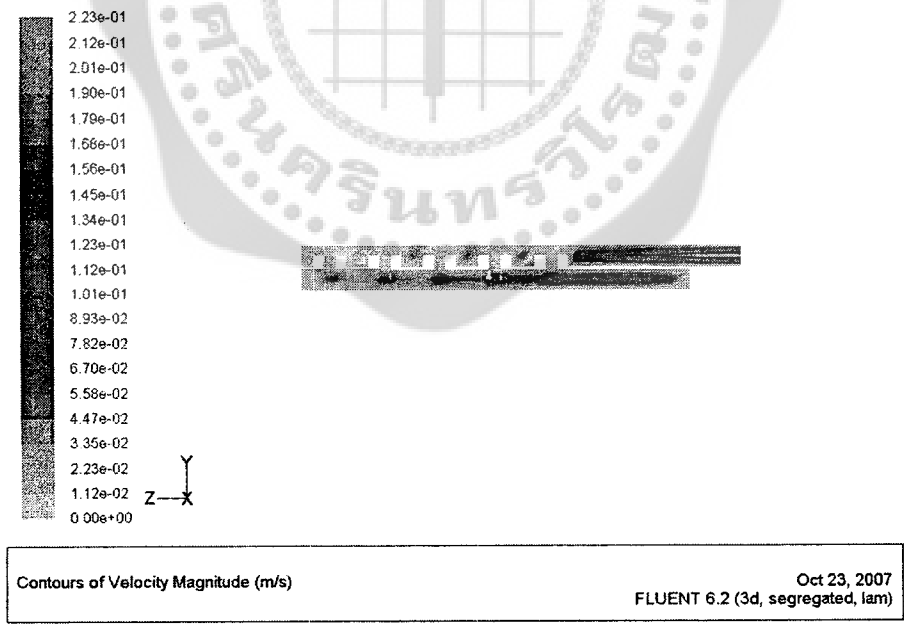
รูปที่ 3.8 ค่าการกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้นที่ ระยะ $x = 0.035\text{m}$



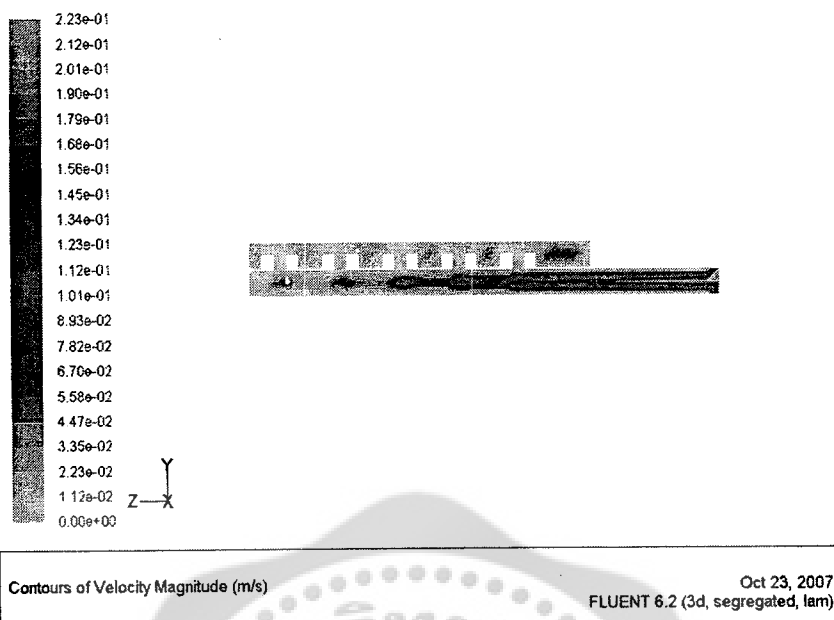
รูปที่ 3.9 ค่าการกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้นที่ ระยะ $x = 0.185\text{m}$



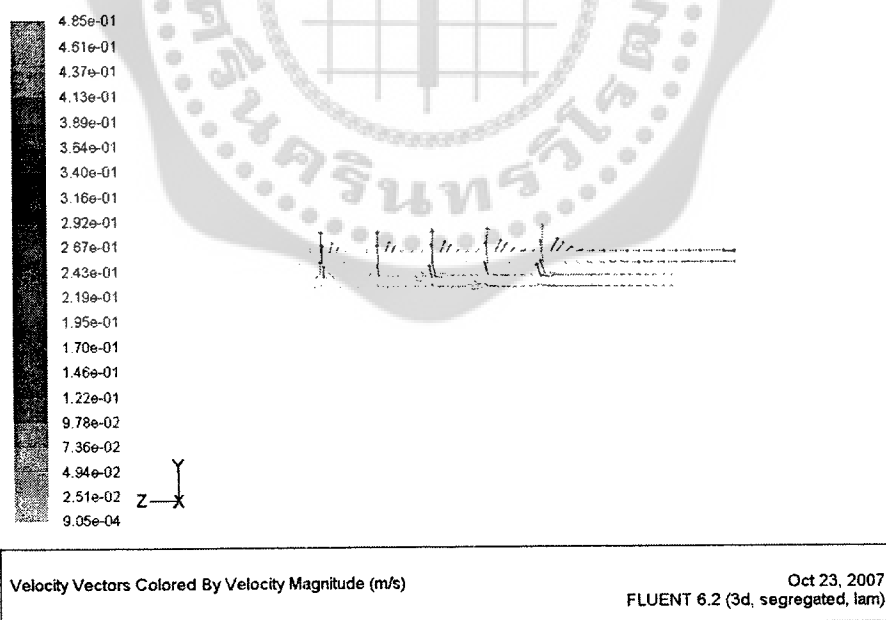
รูปที่ 3.10 ค่าการกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้นที่ ระยะ $y = 0.02$ m



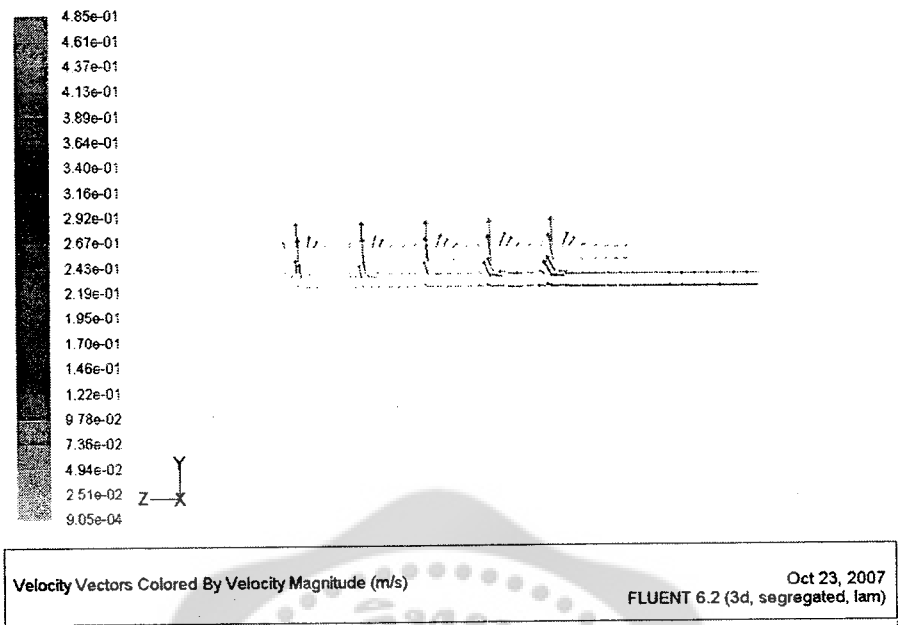
รูปที่ 3.11 ค่าการกระจายตัวของความเร็วที่เกิดขึ้นที่ ระยะ $x = 0.035$ m



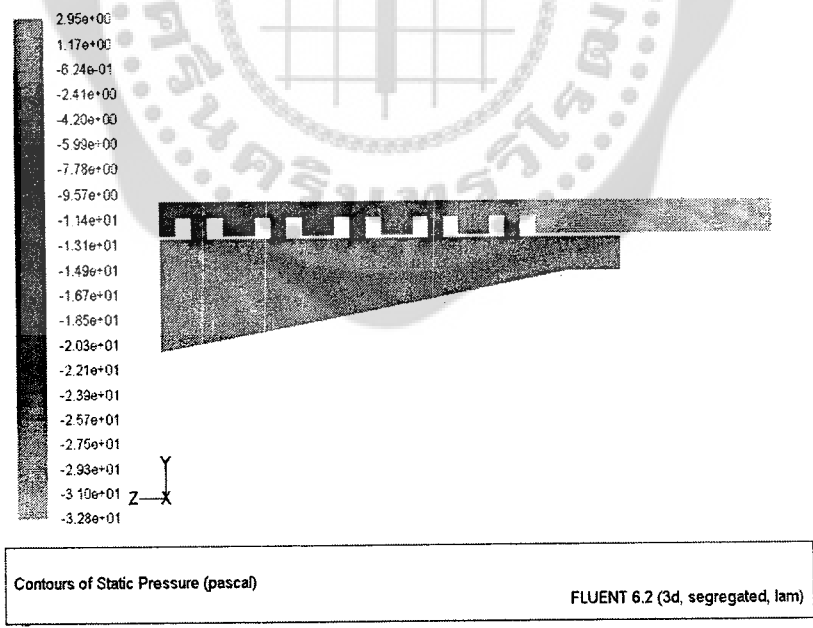
รูปที่ 3.12 ค่าการกระจายตัวของความเร็วที่เกิดขึ้นที่ ระยะ $x = 0.185$ m



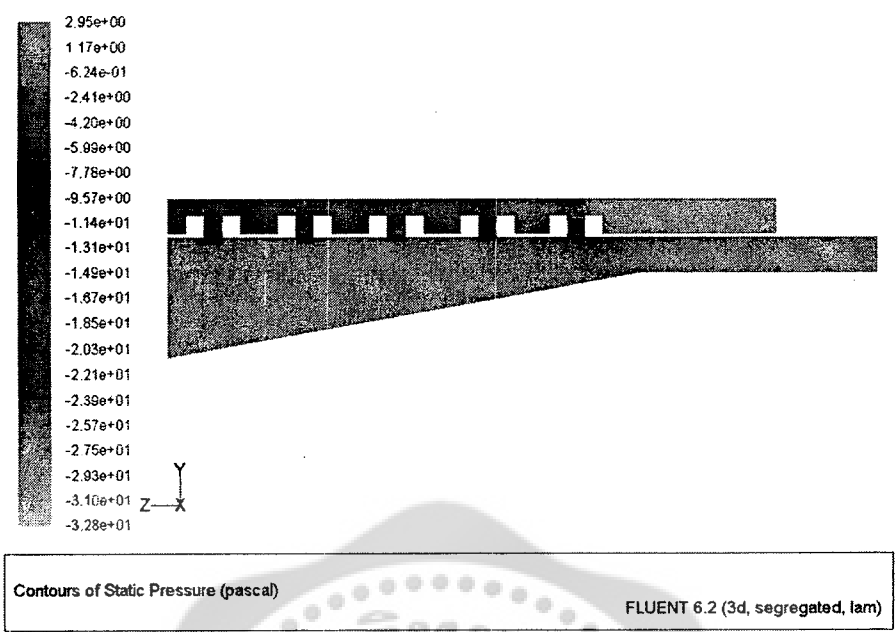
รูปที่ 3.13 ค่าเวกเตอร์ความเร็วที่เกิดขึ้นที่ ระยะ $x = 0.035$ m



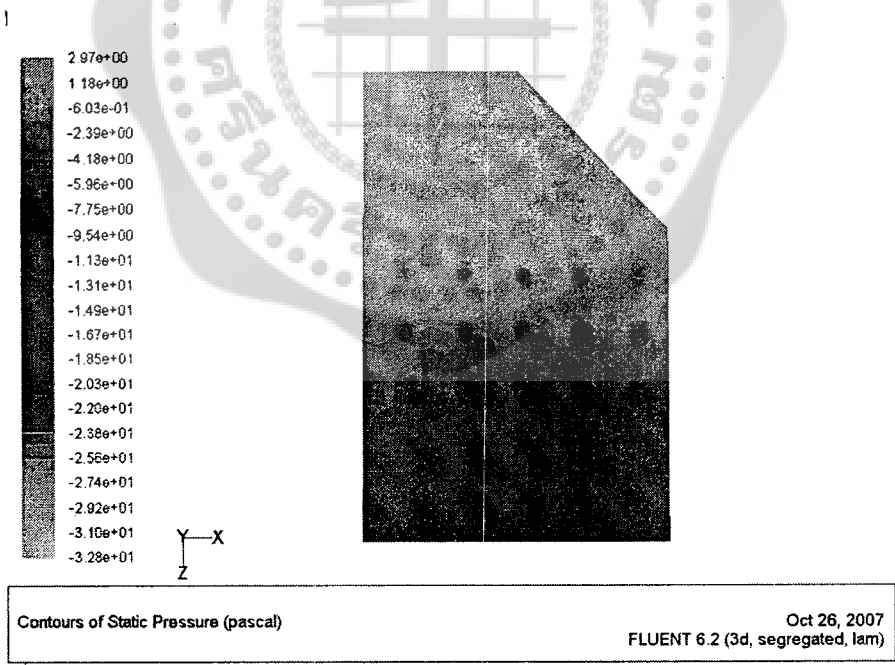
รูปที่ 3.14 ค่าเวกเตอร์ความเร็วที่เกิดขึ้นที่ ระยะ $x = 0.185$ m



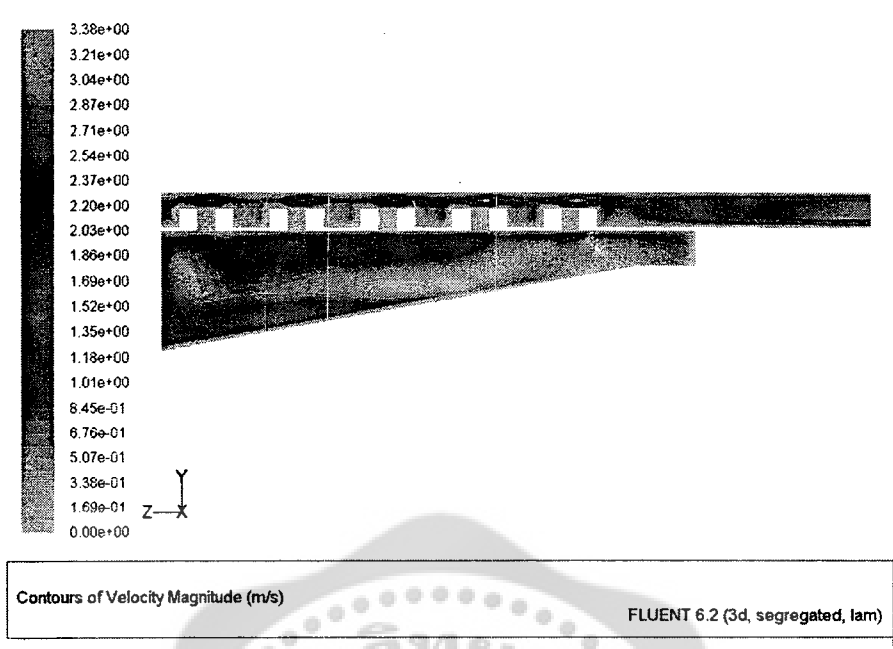
รูปที่ 3.15 แสดงการกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้นที่ระนาบหน้าตัด เส้นที่ $1x = 0.035$ m



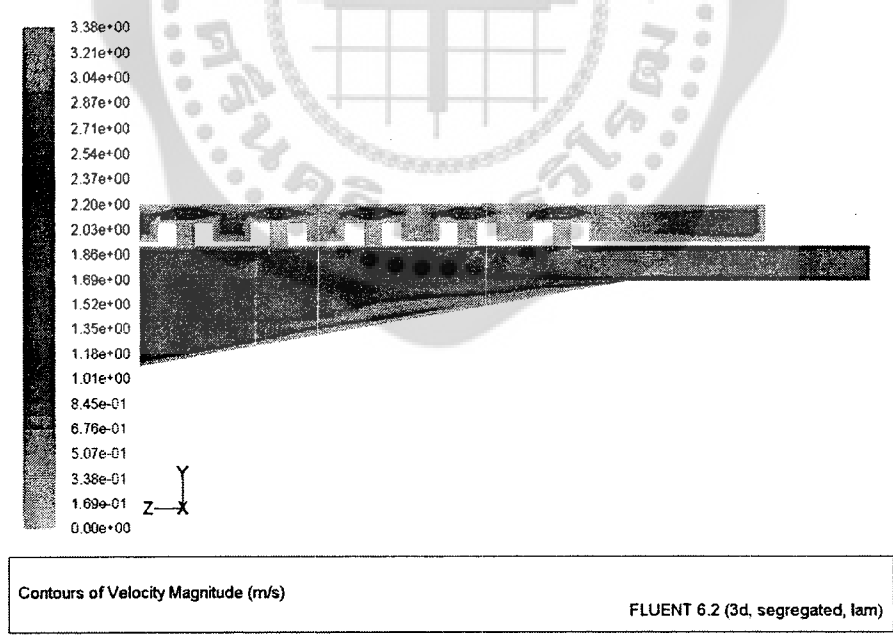
รูปที่ 3.16 แสดงการกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้นที่ระนาบหน้าตัด เส้นที่ $x = 0.185$ m



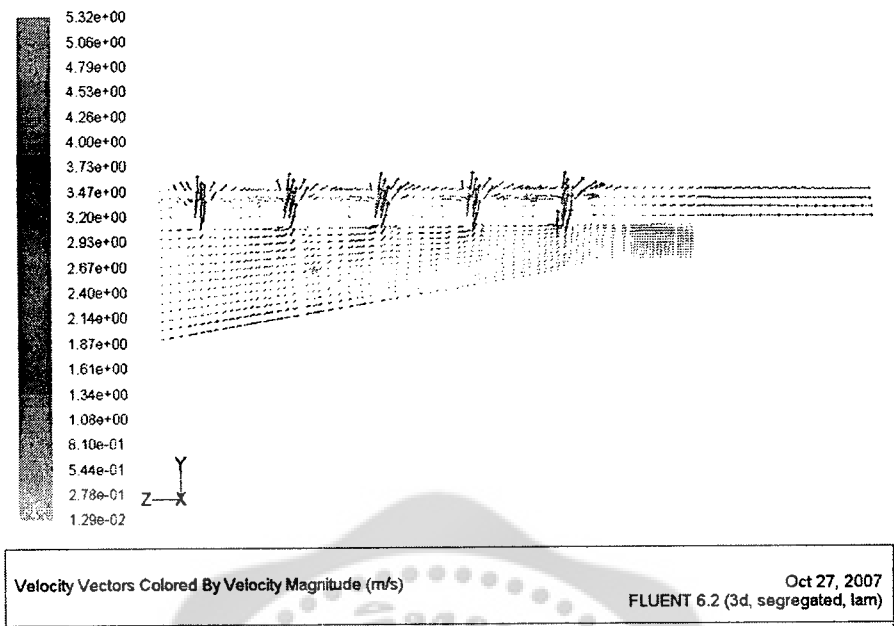
รูปที่ 3.17 แสดงการกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองที่ระนาบหน้าตัด $y = 0.02$ m



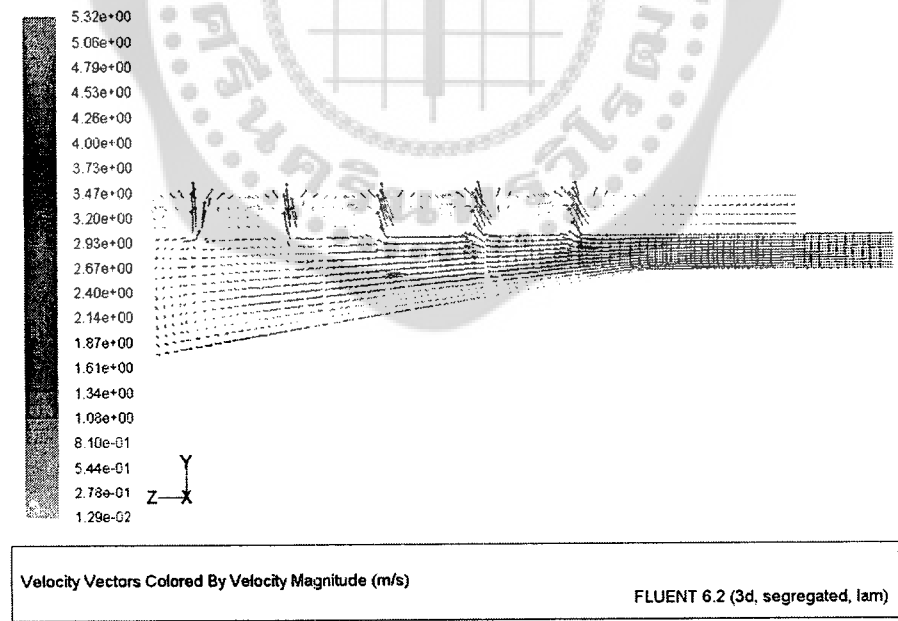
รูปที่ 3.18 แสดงการกระจายตัวของความเร็วที่เกิดขึ้นที่ระนาบหน้าตัด เส้นที่1 x = 0.035m



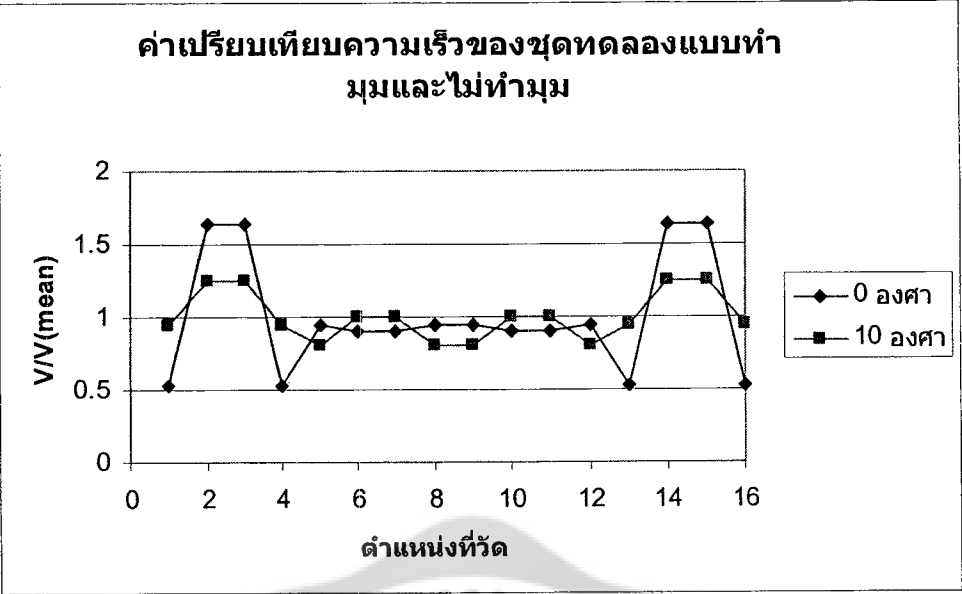
รูปที่ 3.19 แสดงการกระจายตัวของความเร็วที่เกิดขึ้นที่ระนาบหน้าตัด เส้นที่2 x = 0.185 m



รูปที่3.20 แสดงการกระจายตัวของเวกเตอร์ความเร็วที่เกิดขึ้นที่ เส้น $x = 0.035 \text{ m}$



รูปที่3.21 แสดงการกระจายตัวของเวกเตอร์ความเร็วที่เกิดขึ้น เส้นที่ 2 $x = 0.185 \text{ m}$



รูปที่ 3.22 การเปรียบเทียบความเร็วภายในชุดทดลองแบบทำมุมและไม่ทำมุม

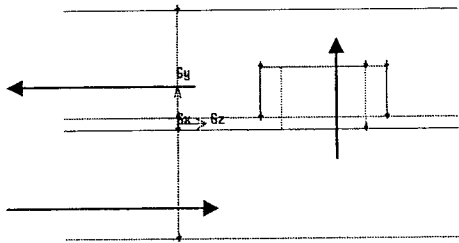
การหาเส้นความเร็วของการประมวลผลด้วยโปรแกรมและการทดลองด้วยชุดทดลอง นั้นมีวิธีที่คล้ายคลึงกัน โดยการแสดงผลจากโปรแกรมจะทำการวาดเส้นตรงบนระนาบต่างบนแบบจำลองแล้วทำการวาดเส้นตรงตามรูปที่ หลังจากนั้นก็ทำการเลือกให้โปรแกรมแสดงผลเป็นความเร็วตามเส้นที่ได้วัดไว้ โดยใช้เครื่องมือที่มีชื่อว่า XY-Plot โปรแกรมก็จะทำการแสดงผลโดยส่งผลไปที่โปรแกรม Microsoft Excel และโปรแกรม Microsoft Excel ก็จะทำการสร้างกราฟให้โดยอัตโนมัติ แล้วจึงนำเส้นกราฟที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองด้วยชุดทดลอง การหาเส้นความเร็วจากการทดลองก็กระทำในลักษณะเดียวกัน ระนาบที่ทำการทดลองคือจุดที่กำหนดลงในชุดทดลอง นำผลการทดลองทั้งหมดมาแสดงผล มาวาดลงในกราฟเดียวกันกับกราฟของโปรแกรมเพื่อเปรียบเทียบค่าความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้น ณ จุดเดียวกัน แต่ผลที่ได้จากการทดลองจะได้แค่ความเร็วที่จุดที่วัดค่าเท่านั้น

การคำนวณเพื่อตรวจสอบขอบเขตของพัคลม

จากสูตรหาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

กำหนดค่า $Re = 1250$ เปิดตารางอุณหภูมิที่ $32^{\circ}C$ $\nu = 1.32 \times 10^{-5} \text{ m}^2/s$



รูปที่ 3.23 ทิศทางการไหลของของไหลที่ไหลผ่านชุดทดลอง

หาความเร็วของที่ไหลผ่านช่องการไหลแต่ละช่อง

$$V = \frac{Re \nu}{d} = \frac{1250 \times (1.32 \times 10^{-5}) \text{ m}^2 / \text{s}}{0.01 \text{ m}} = 1.65 \text{ m/s}$$

หาอัตราการไหลที่ไหลผ่านแต่ละช่อง

$$Q = V \times A = 1.65 \text{ m/s} \times \frac{\pi}{4} \times 0.01^2 \text{ m}^2$$
$$Q = 0.000129 \text{ m}^3/\text{s}$$

อัตราการไหลรวมที่ผ่านชุดทดลอง

$$Q = 0.000129 \text{ m}^3/\text{s} \times 100 \text{ ช่อง}$$

$$Q = 0.0129 \text{ m}^3/\text{s}$$

ตรวจสอบความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในท่อ

เนื่องจากการทดลองพบว่าความดันที่ตกคร่อมที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองมีค่าน้อยมากผู้จัดทำ ได้ทำการปรับความดันตกคร่อมที่จุดที่ต้องการวัดให้สามารถอ่านได้โดยกำหนดประมาณ 4 Pa

$$\text{อัตราการไหลทั้งหมดที่ไหลผ่านชุดทดลอง} = 0.0129 \text{ m}^3/\text{s}$$

ความเร็วของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 นิ้ว หรือ 0.0508 เมตร

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.0129 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} \times 0.0508 \text{ m}^2}$$

$$V = 6.3937 \text{ m/s}$$

หาเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ที่ไหลผ่านท่อขนาด 2 นิ้ว

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

$$Re = \frac{6.3937 \text{ m/s} \times 0.0508 \text{ m}}{1.32 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 24600$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในโครงการนี้เป็นการจำลองลักษณะการไหลของอากาศภายในชุดทดลองโดยการสร้างชุดทดลอง ซึ่งจะนำความเร็วที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับจุดที่ทำการวัดค่าอื่นๆภายในชุดทดลอง เพื่อให้ช่องการไหลแต่ละช่องมีความเร็วใกล้เคียงกัน

ส่วนที่ 1 ค่าความดันตกคร่อมภายในชุดทดลอง

- ตารางแสดงผลการทดลองวัดความตกคร่อมที่เกิดขึ้นภายในท่อทางแยก

ส่วนที่ 2 นำค่าความเร็วที่เกิดขึ้นที่จุดต่างๆภายในชุดทดลองมาเปรียบเทียบกัน

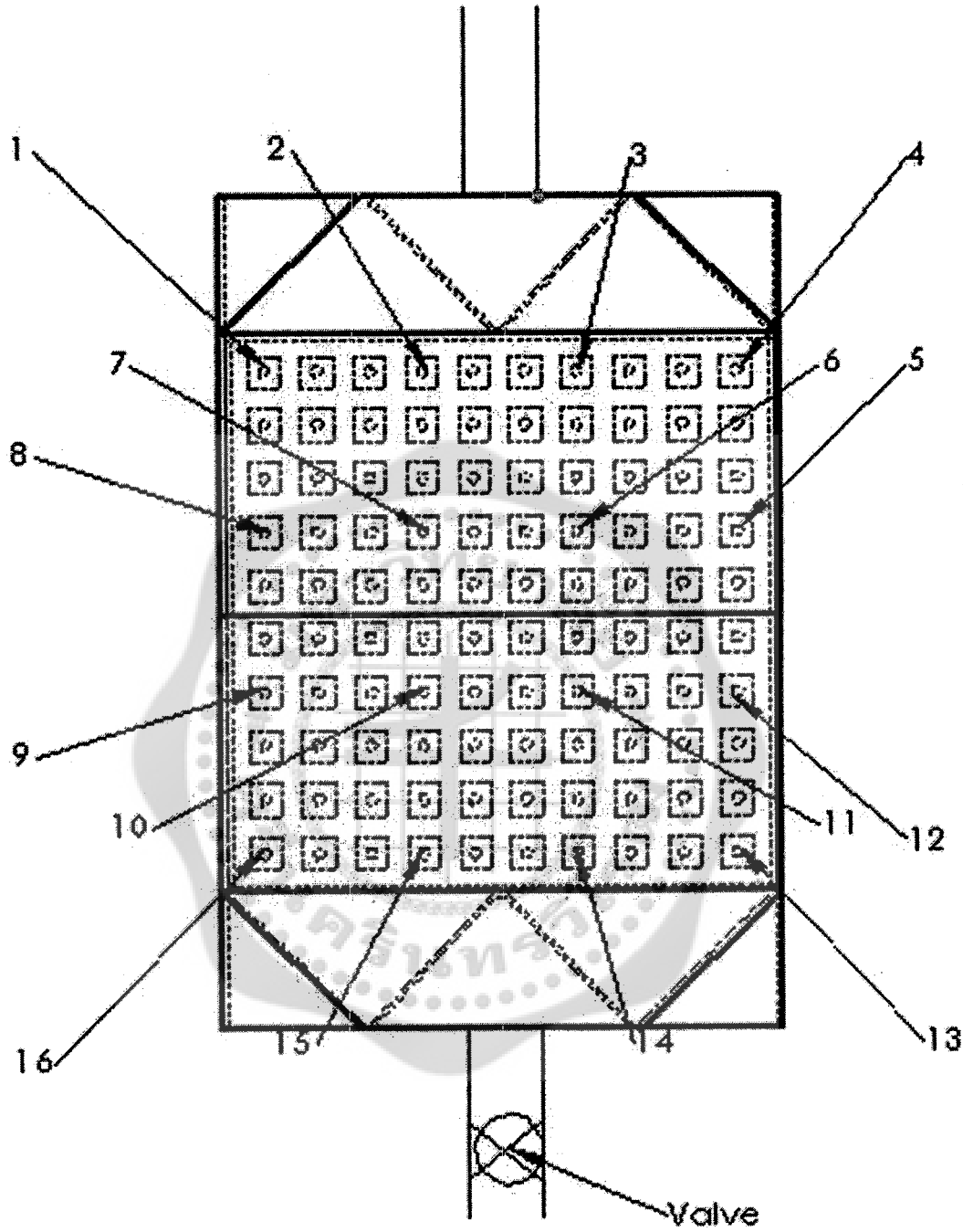
- กราฟเปรียบเทียบผลความเร็วที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลอง ณ จุดต่างๆ

ส่วนที่ 1 ค่าความดันตกคร่อมภายในชุดทดลอง

จากการคำนวณในบทที่ 3 ผู้จัดได้ปรับอินเวอร์เตอร์ที่ 68.5 Hz ซึ่งค่าความเร็วที่เกิดขึ้นจะใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ ทั้งนี้ในการเก็บค่าใหม่ทุกครั้งจะต้องทำการวัดความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น

ค่าความดันที่เกิดขึ้นจากการวัดความดันที่แตกต่างกันระหว่างท่อทางแยก ผู้จัดทำทำการทดลองปรับวาล์วลงอย่างช้าๆ โดยให้ค่าความดันตกคร่อมจะแกว่งขึ้นลงอยู่ระหว่าง +0.5 ถึง -0.5 เป็นค่าที่วัดความดันตกคร่อมเฉลี่ยในเวลา 60 วินาที การแกว่งของกราฟช่วงแรกเกิดจากเครื่องมือวัด วิ่งเข้าหาค่าที่เกิดขึ้นจริง แต่เมื่อวิ่งเข้าหาค่าดังกล่าวแล้ว ความชันของกราฟจะลดลง ดังรูป ซึ่ง ความดันที่เกิดขึ้น เฉลี่ย 10 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 0.06 Pa ดังนั้นค่าความดันท่อทางแยกจึงมีผลน้อยมาก

ค่าความดันที่ชุดทดลองทำการวัดค่า 16 ตำแหน่ง 30 กลุ่มตัวอย่าง ใช้เครื่องมือวัดความดันตกคร่อมเก็บค่าและสามารถหาค่าเฉลี่ยได้โดยจับเป็นจำนวนครั้งที่วัดได้ ซึ่งค่าจะมีการเปลี่ยนแปลงทุกวินาที หรือ วัดค่าเฉลี่ยเป็น นาฬิกา หรือ วินาทีได้



รูปที่ 4.1 แสดงจุดที่ทำการวัดความดันตกคร่อม

ค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น เป็นค่าความดันตกคร่อมที่เทียบกับท่อทางเข้าอากาศ ที่ระดับความสูงเดียวกัน เนื่องจากผู้จัดทำได้ทดสอบเทียบค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นภายในชุด ทดลองเทียบกับความดันบรรยากาศแล้ว ปรากฏว่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมาก จึงไม่สามารถเก็บค่าได้ จากสมการที่ 2.4

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

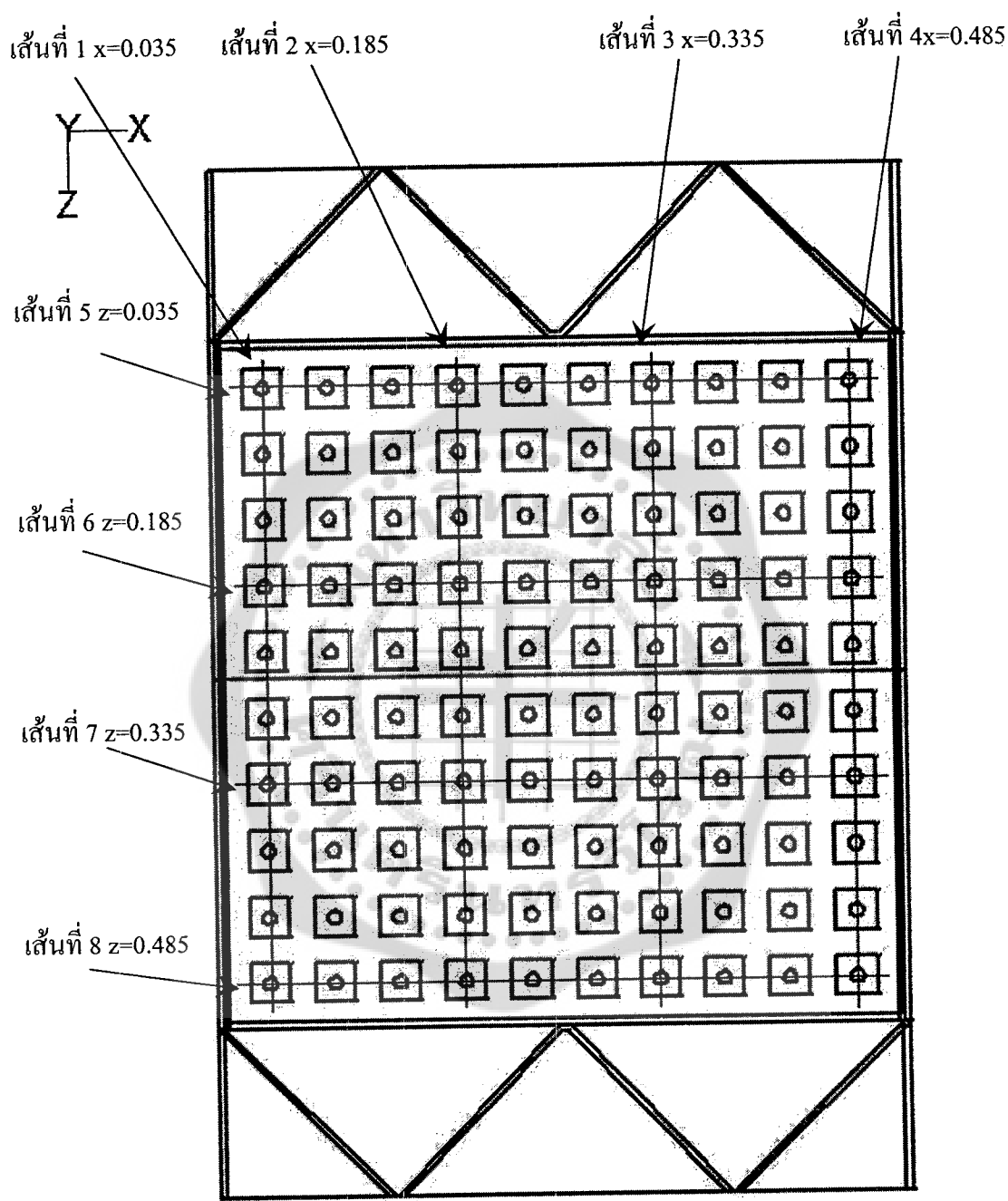
$$Z_1 = Z_2 = 0$$

$$V_1 = 6.393 \text{ m/s}$$

$$\gamma = 11.43 \text{ (N/m}^3 \text{ ที่ อุณหภูมิ } 30^\circ\text{C)}$$

ทำการย้ายข้างสมการเพื่อหาความเร็วที่เกิดขึ้น โดยเราทราบความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น 2 จุดจะได้

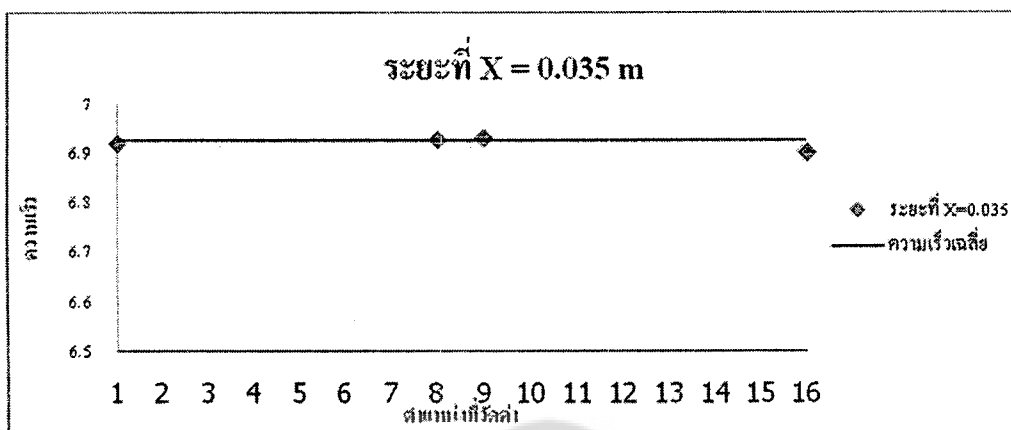
$$V_2 = \sqrt{\left\{ \left[\left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right) (2)(9.81) \right] + [V_1^2] \right\}}$$



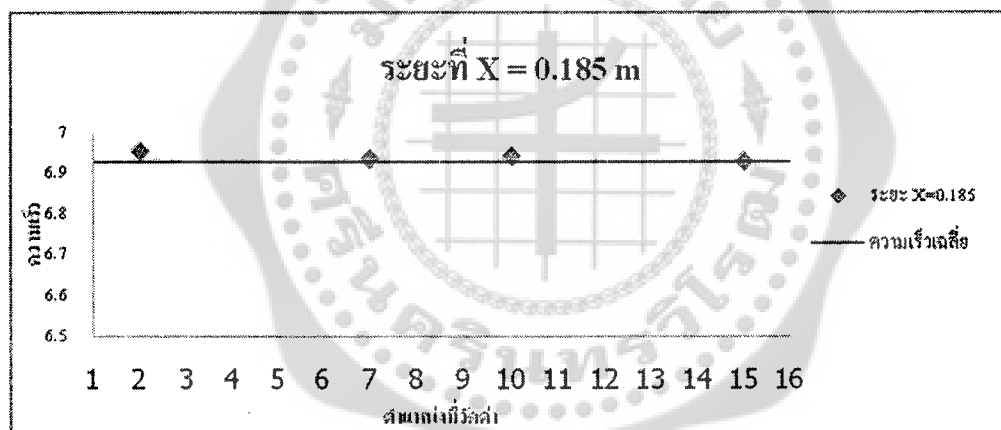
รูปที่ 4.2 แสดงระนาบหน้าตัดที่ใช้อ้างอิงในชุดทดลอง

การวิเคราะห์ผลนั้น จะแบ่งเป็นระนาบโดยทำการแบ่งเป็น 2 ระนาบคือ ระนาบตามแนวลึกของชุดทดลอง (แกนX) และระนาบตามแนวขวางของชุดทดลอง (แกนZ) ดังรูปที่ 4.2

ส่วนที่ 2 นำค่าความเร็วที่เกิดขึ้นที่จุดต่างๆภายในชุดทดลองมาเปรียบเทียบกับความเร็วเฉลี่ย

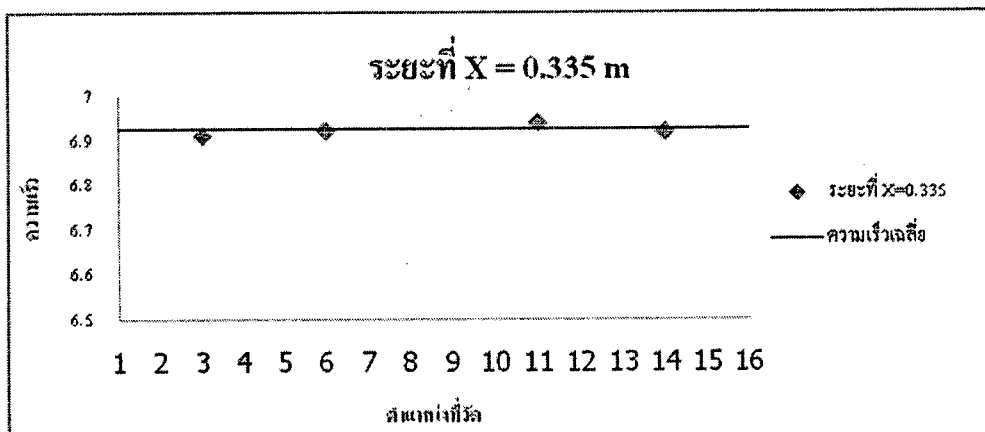


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นที่ระยะ $X=0.035$ (เส้นที่ 1)

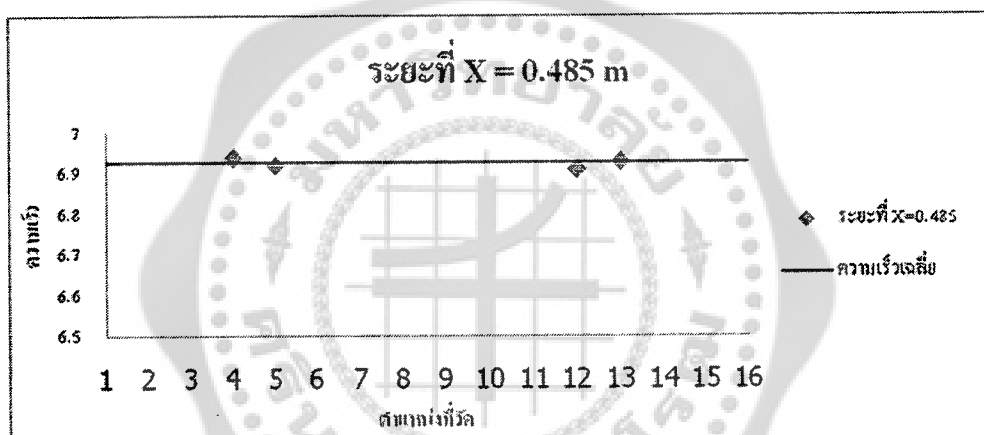


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นระยะที่ $X=0.185$ (เส้นที่ 2)

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงความเร็วของอากาศเมื่อไหลผ่านช่องการไหลที่มีขนาดเล็ก โดยจุดแต่ละจุดหมายถึงตำแหน่งที่ทำการวัดความเร็วที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองว่าเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะวัดค่าตามแนวหลักของชุดทดลอง ค่าความเร็วจากกราฟที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองจำนวน 16 จุด จุดที่ 1 มีความเร็ว 6.918 m/s, จุดที่ 2 มีความเร็ว 6.951 m/s, จุดที่ 7 มีความเร็ว 6.932 m/s, จุดที่ 8 มีความเร็ว 6.928 m/s, จุดที่ 9 มีความเร็ว 6.930 m/s, จุดที่ 10 มีความเร็ว 6.938 m/s, จุดที่ 15 มีความเร็ว 6.926 m/s และ จุดที่ 16 มีความเร็ว 6.90 m/s จะสังเกตได้ว่า ค่าความเร็วที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเร็วเฉลี่ยทั้ง 16 จุด คือ 6.9252 m/s

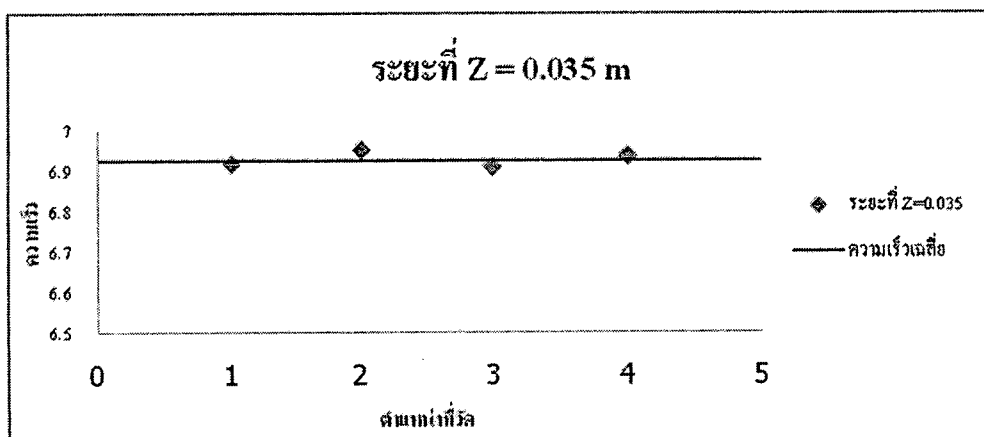


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นระยะที่ $X=0.335$ (เส้นที่ 3)

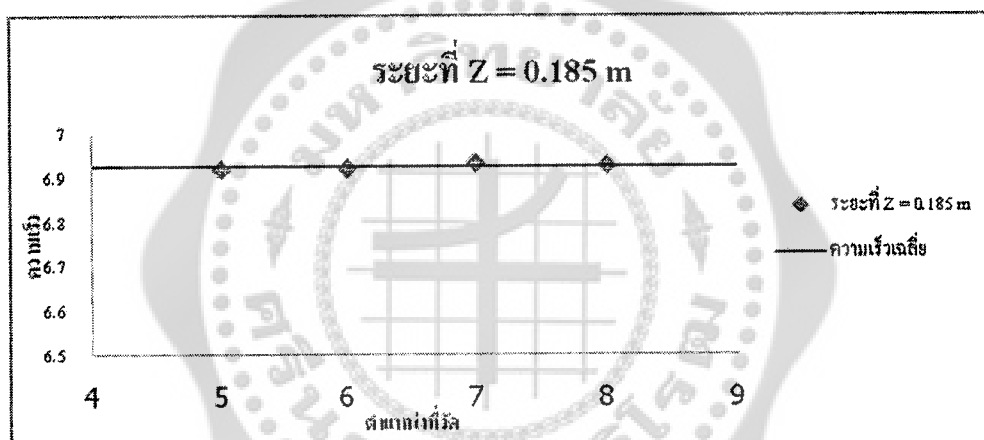


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นระยะที่ $X=0.485$ (เส้นที่ 4)

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงความเร็วของอากาศเมื่อไหลผ่านช่องการไหลที่มีขนาดเล็ก โดยจุดแต่ละจุดหมายถึงตำแหน่งที่ทำการวัดความเร็วที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองว่าเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะวัดค่าตามแนวลึกของชุดทดลอง ค่าความเร็วจากกราฟที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองจำนวน 16 จุด จุดที่ 3 มีความเร็ว 6.909 m/s, จุดที่ 4 มีความเร็ว 6.936 m/s, จุดที่ 5 มีความเร็ว 6.919 m/s, จุดที่ 6 มีความเร็ว 6.919 m/s, จุดที่ 11 มีความเร็ว 6.938 m/s, จุดที่ 12 มีความเร็ว 6.908 m/s, จุดที่ 13 มีความเร็ว 6.927 m/s และ จุดที่ 14 มีความเร็ว 6.917 m/s จะสังเกตได้ว่า ค่าความเร็วที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเร็วเฉลี่ยทั้ง 16 จุด คือ 6.9252 m/s

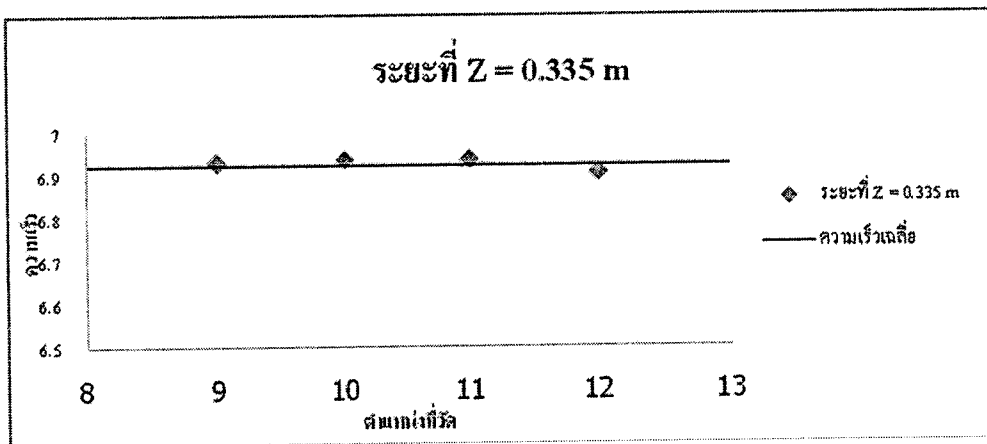


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นระยะที่ $Z=0.035$ (เส้นที่ 5)

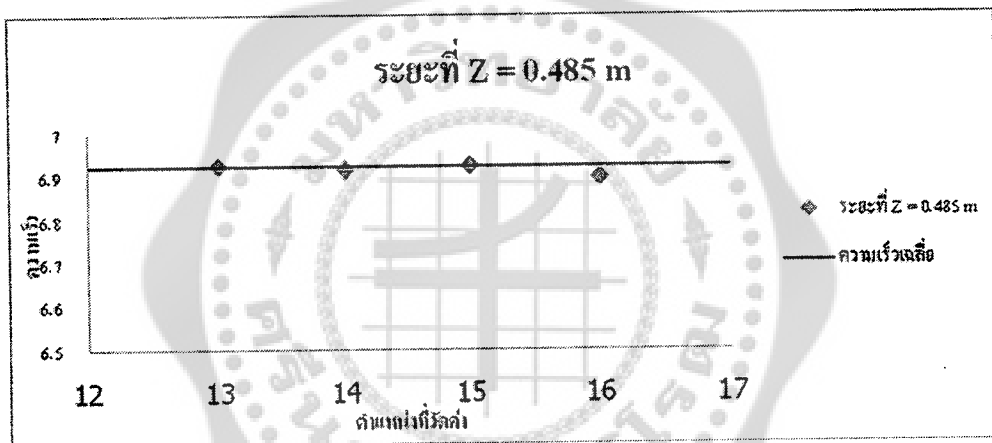


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นระยะที่ $Z=0.185$ (เส้นที่ 6)

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงความเร็วของอากาศเมื่อไหลผ่านช่องการไหลที่มีขนาดเล็ก โดยจุดแต่ละจุดหมายถึงตำแหน่งที่ทำการวัดความเร็วที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองว่าเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะวัดค่าตามแนวขวางของชุดทดลอง ค่าความเร็วจากกราฟที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองจำนวน 16 จุด จุดที่ 1 มีความเร็ว 6.918 m/s, จุดที่ 2 มีความเร็ว 6.951 m/s, จุดที่ 3 มีความเร็ว 6.932 m/s, จุดที่ 4 มีความเร็ว 6.928 m/s, จุดที่ 5 มีความเร็ว 6.916 m/s, จุดที่ 6 มีความเร็ว 6.919 m/s, จุดที่ 7 มีความเร็ว 6.932 m/s และ จุดที่ 8 มีความเร็ว 6.928 m/s จะสังเกตได้ว่า ค่าความเร็วที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเร็วเฉลี่ยทั้ง 16 จุด คือ 6.9252 m/s

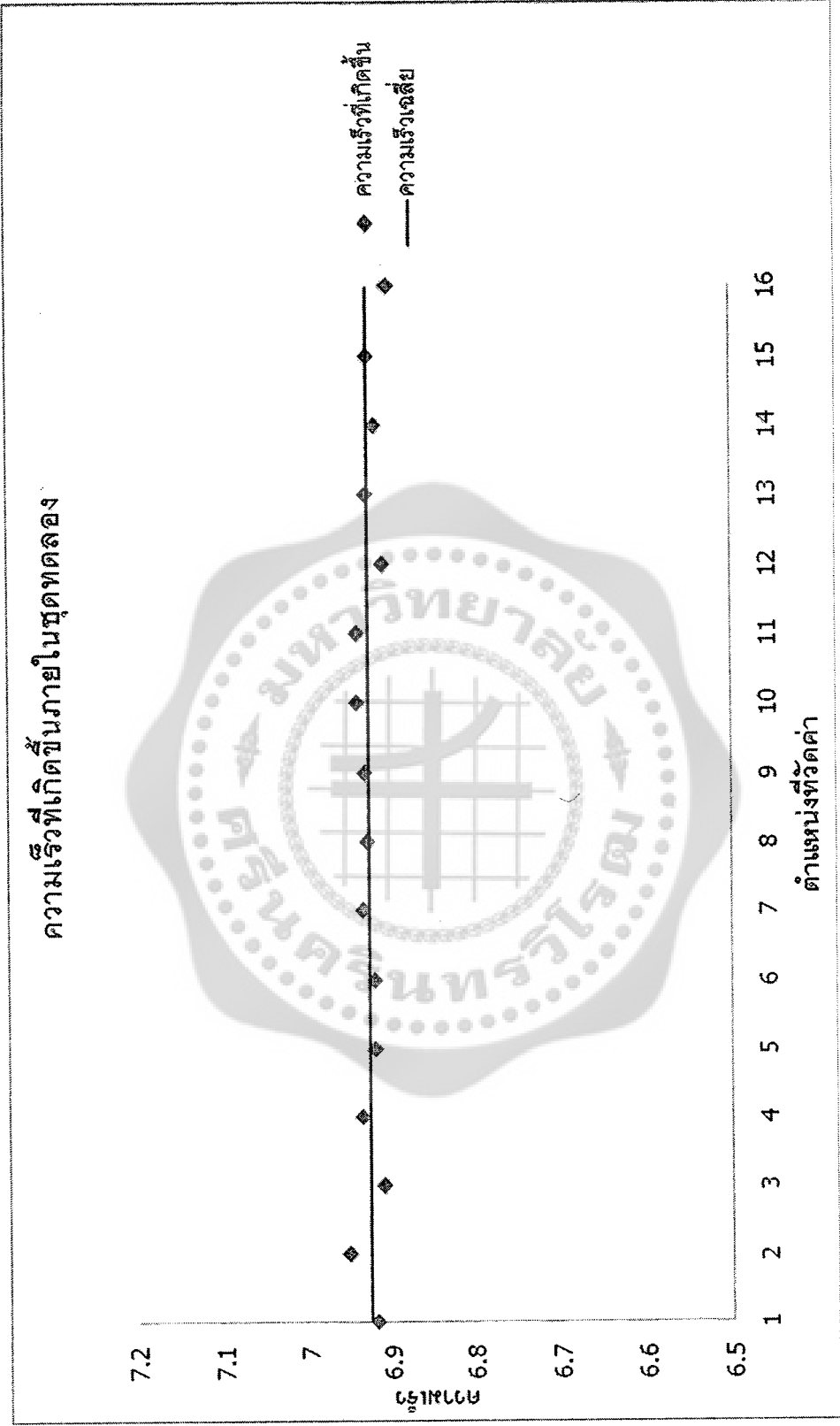


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นระยะที่ $Z=0.335$ (เส้นที่ 7)



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นระยะที่ $Z=0.485$ (เส้นที่ 8)

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงความเร็วของอากาศเมื่อไหลผ่านช่องการไหลที่มีขนาดเล็ก โดยจุดแต่ละจุดหมายถึงตำแหน่งที่ทำการวัดความเร็วที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองว่าเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะวัดค่าตามแนวขวางของชุดทดลอง ค่าความเร็วจากกราฟที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองจำนวน 16 จุด จุดที่ 9 มีความเร็ว 6.930 m/s, จุดที่ 10 มีความเร็ว 6.938 m/s, จุดที่ 11 มีความเร็ว 6.938 m/s, จุดที่ 12 มีความเร็ว 6.908 m/s, จุดที่ 13 มีความเร็ว 6.927 m/s, จุดที่ 14 มีความเร็ว 6.917 m/s, จุดที่ 15 มีความเร็ว 6.926 m/s และ จุดที่ 16 มีความเร็ว 6.90 m/s จะสังเกตได้ว่า ค่าความเร็วที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเร็วเฉลี่ยทั้ง 16 จุด คือ 6.9252 m/s ซึ่งค่าทั้งหมดสามารถนำมาเขียนกราฟเทียบกับความเร็วเฉลี่ยได้ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่4.11 กราฟแสดงความถี่ที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลอง

บทที่ 5

สรุป

สรุปผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการจำลองลักษณะการไหลด้วยโปรแกรมคาดคะเนลักษณะการไหลนั้น สามารถนำไปใช้คาดคะเนคุณลักษณะของการไหลได้ เนื่องจากสามารถเห็นแนวโน้มความเร็วที่เกิดขึ้นได้ด้วยการทดลอง ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้การวัดความดันตกคร่อม แม้ว่าผลที่ได้จากการทดลองอาจส่งผลให้กราฟในบางช่วงมีค่าแตกต่างกันอยู่บ้างคือ ในจุดที่ 2,4,9,10 และ 11 มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งจุดที่ 2 เป็นจุดที่มีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยมากที่สุด มีค่า 6.951 m/s และในจุดที่ 3,12,14 และ 16 มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งในจุดที่ 16 มีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 6.900 m/s โดยค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นคือ 6.925 m/s ซึ่งถือว่าไม่มากนัก ทั้งนี้เป็นเพราะในการทดลองจริงมีปัจจัยหลายส่วนที่เป็นตัวแปรทำให้เกิดความแตกต่าง การทดลองจริงเป็นการทดลองที่สภาวะสิ่งแวดล้อมในขณะนั้นๆ ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงขณะทำการทดลอง แต่ในการจำลองลักษณะการไหลโดยใช้โปรแกรมนั้นจะเป็นการกำหนดสภาวะคงตัวและมีความเสถียรภาพตลอดทั้งระบบ

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า เมื่อของไหลไหลผ่านชุดทดลอง ที่ความเร็วของโบเวอร์(Blower) ใดๆก็ตามจะไม่มีผลในการวัดความดันตกคร่อมที่ชุดทดลองมากนัก เนื่องจากมีการสูญเสียส่วนใหญ่ที่ชุด Manifold ที่มีช่องการไหลขนาดเล็ก เมื่อพิจารณา เลขเรย์โนลด์ที่ 1250 โดยมีค่าความเร็วของอากาศบริเวณท่อทางเข้าเป็น 6.4 m/s และทำการพิจารณาความเร็วดังกล่าวโดยใช้อากาศเป็นสารตัวกลาง

ค่าที่ได้จากการวัดความดันตกคร่อมนั้นค่อนข้างน้อยมาก ผู้จัดจึงเลือกเทียบค่าความดันตกคร่อมกับท่อทางเข้าของอากาศสู่ชุดทดลอง เพราะความดันที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองเกิดขึ้นน้อยมาก เมื่อเทียบความดันกับบรรยากาศแล้ว จึงไม่สามารถคำนวณหาความเร็วที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองได้ ซึ่งหากเพิ่มมุมลาดเอียงมากขึ้นจะช่วยให้ค่าความเร็วที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นด้วย

ข้อเสนอแนะ

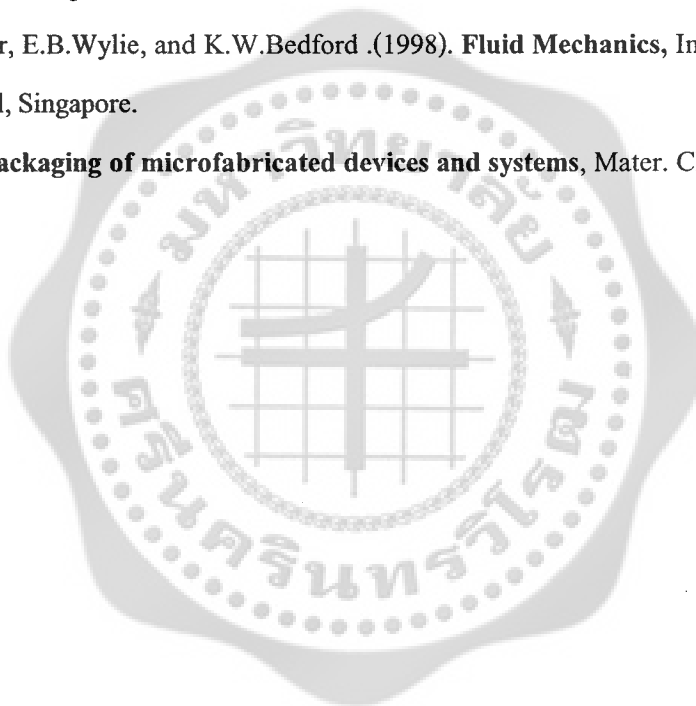
1. ในการทำการทดลองควรแน่ใจว่าเครื่องมือที่ใช้ถูกปรับตั้งไว้ที่ ประมาณ 0 Pa โดยค่าประมาณจะแกว่งตั้งแต่ +0.5 ถึง - 0.5 ซึ่งหากค่าไม่เป็นไปตามนี้ ให้ทำการปิดเครื่องแล้วเปิดใหม่ เพราะเครื่องมือจะสอบเทียบตัวเองทุกครั้งที่เปิดเครื่องใหม่ และควรเลือกใช้เครื่องมือที่ให้ค่าละเอียดเพื่อให้ได้ผลที่คลาดเคลื่อนน้อย
2. ในการทดลองควรรอให้โบเวอร์ทำงานสักพักหนึ่ง เพราะต้องรอให้ชุดการทดลองทำการปรับความดันให้เต็มระบบเสียก่อนแล้วจึงค่อยทำการทดลอง
3. หากมีการปรับขนาดความกว้างของช่องการไหลขนาดเล็กแบบแปรผันตามระยะทางจะได้ค่าการกระจายตัวของความเร็วที่ดีกว่านี้ เนื่องจากการทำมุมลาดเอียงเพื่อเพิ่มพื้นที่ภายในชุดทดลองทำให้แรงดันภายในลดลง



บรรณานุกรม

1. สุนันท์ ศรีนันทย์. 2547.กลศาสตร์ของไหล. พิมพ์ครั้งที่ 6. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ
2. มนตรี พิรุณเกษตร.2545. กลศาสตร์ของไหล. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
3. ขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์.2538. กลศาสตร์ของไหล. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ
4. B.R.Munsun, D.F.Young, and T.H.Okiishi.(1990). **Fundamentals of Fluid Mechanics** International Edition. Wiley, Singapore.
5. E.V. Rebrov, S.A. Duinkerke, M.H.J.M. de Croon, J.C. Schouten, **Optimization of heat transfer characteristics, flow distribution, and reaction processing for a microstructured reactor/heat-exchanger for optimal performance in platinum catalyzed ammonia oxidation**, Chem. Eng. J. 93 (2003) 201-216.
6. H.H. Bau, **Optimization of conduits' shape in micro heat exchangers**, Int. J. Heat Mass Transfer 41 (1998) 2713-2717.
7. H.Becker, L.E. Locascio, **Polymer microfluidic devices**, Talanta 56 (2002) 267-287.
8. H. Herwig, O. Hausner, **Critical view on "new results in micro-fluid mechanics" : an example**, Int. J. heat Mass transfer 46 (2003) 935-937.
9. H. Lowe, W.Ehrfeld, **State-of-the-art in microreaction technology : concepts, Manufacturing and applications**, Electrochim. Acta 44 (1999) 3679-3689.
10. I.M. Hsing, R. Srinivasan, M.P. Harold, K.F. Jensen, M.A. Schmidt, **Simulation of micromachined chemical reactors for heterogeneous partial oxidation reactors**, Chem. Eng. Sci. 55 (2000) 3-13.
11. K.F. Jensen, **Microreaction engineering – is small better?**, Chem. Eng. Sci. 56 (2001) 293-303.
12. O. Tonomura, S. Tanaka, M. Noda, M. Kano, S. Hasebe, I. Hashimoto, **CFD-based optimal design of manifold in plate-fin microdevices**, Chem. Eng. J. 101 (2004) 397-402.

13. P.D.I. Fletcher, S.J. Haswell, E. Pombo-Villar, B.H. Warrington, P. Watts, S.Y.F. Wong, X. Zhang, **Micro reactors: principles and applications in organic synthesis**, Tetrahedron 58 (2002) 4735-4757.
14. P. Schneider, A. Schneider, P. Schwarz, **A modular approach for simulation-based optimization of MEMS**, Microelectron. J. 33 (2002) 29-38.
15. Richard S. F. and Donald E. Beasley, **Theory and Design for Mechanical Measurements**, 2001, John Wiley & Sons, Inc., 3 rd Ed.
16. St. Ehlers, K.Elgeti, T. Menzel, G. WieBmeier, **Mixing in the offstream of a microchannel system**, Chem. Eng. Proc. 39 (2000) 291-298.
17. V.L. Streeter, E.B.Wylie, and K.W.Bedford .(1998). **Fluid Mechanics**, International Edition. McGrawHill, Singapore.
18. W.H. Ko, **Packaging of microfabricated devices and systems**, Mater. Che. Phys. 42 (1995) 169-175.





ภาคผนวก ก
ข้อมูลจากการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก1 ความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นบริเวณท่อทางแยกค่าเฉลี่ยที่วัดได้ภายในเวลา60วินาที

ครั้งที่	ค่าที่วัดได้ที่ 60 วินาที
1	-0.08
2	0.05
3	-0.01
4	0.2
5	0.1
6	0.02
7	0.06
8	0.02
9	0.21
10	0.03
ค่าเฉลี่ย	0.06

ตารางผนวกที่ ก2 แสดงความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นในจุดต่างของชุดทดลอง

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	4.11	4.19	3.89	4.19	4.06	4.06	4.34	4.11
2	4.17	4.22	3.83	4.2	4.06	4.04	4.32	4.1
3	4.16	4.29	3.8	4.21	4.07	4.03	4.33	4.08
4	4.15	4.31	3.79	4.21	4.07	4.01	4.32	4.06
5	4.14	4.41	3.84	4.21	4.07	3.99	4.26	4.04
6	4.12	4.51	3.83	4.21	4.07	3.98	4.25	4.01
7	4.12	4.57	3.87	4.21	4.07	3.97	4.28	3.99
8	4.1	4.6	3.89	4.22	4.08	3.95	4.23	4.26
9	4.19	4.1	3.9	4.22	4.07	3.94	4.24	4.24
10	4.08	4.19	3.91	4.22	4.07	3.92	4.24	4.22
11	4.07	4.22	3.94	4.22	4.08	3.91	4.22	4.15
12	4.06	4.31	3.95	4.23	4.08	3.89	4.2	4.08
13	4.06	4.4	3.97	4.23	4.08	3.88	4.16	4.09
14	4.05	4.46	3.98	4.23	4.09	3.86	4.15	4.1
15	4.04	4.49	3.99	4.23	4.09	3.84	4.15	4.12
16	4.04	4.53	4.01	4.23	4.09	3.81	4.14	4.13
17	4.03	4.61	4.02	4.23	4.09	4.1	4.14	4.14
18	4.04	4.68	4.03	4.22	4.09	4.2	4.14	4.15
19	4.03	4.08	4.03	4.22	4.09	4.16	4.12	4.16
20	4.03	4	4.06	4.21	4.08	4.06	4.11	4.18
21	4.03	4.1	4.07	4.21	4.09	4.12	4.13	4.21
22	4.03	4.18	4.06	4.21	4.09	4.13	4.13	4.24
23	4.03	4.24	4.09	4.2	4.09	4.14	4.12	4.28
24	4.03	4.26	4.11	4.2	4.08	4.18	4.13	4.38
25	4.03	4.28	4.13	4.2	4.08	4.23	4.12	4.43
26	4.04	4.34	4.14	4.2	4.08	4.27	4.12	4.17
27	4.04	4.34	4.15	4.2	4.08	4.32	4.12	4.11
28	4.04	4.35	4.17	4.19	4.07	4.4	4.13	4.03
29	4.05	4.37	4.17	4.19	4.07	4.46	4.12	4.06
30	4.05	4.41	4.18	4.18	4.07	4.55	4.11	4.11

ตารางผนวกที่ ก2(ต่อ) แสดงความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นในจุดต่างของชุดทดลอง

	9	10	11	12	13	14	15	16
1	4.11	4.19	3.89	4.19	4.06	4.06	4.34	4.11
2	4.17	4.22	3.83	4.2	4.06	4.04	4.32	4.1
3	4.16	4.29	3.8	4.21	4.07	4.03	4.33	4.08
4	4.15	4.31	3.79	4.21	4.07	4.01	4.32	4.06
5	4.14	4.41	3.84	4.21	4.07	3.99	4.26	4.04
6	4.12	4.51	3.83	4.21	4.07	3.98	4.25	4.01
7	4.12	4.57	3.87	4.21	4.07	3.97	4.28	3.99
8	4.1	4.6	3.89	4.22	4.08	3.95	4.23	4.26
9	4.19	4.1	3.9	4.22	4.07	3.94	4.24	4.24
10	4.08	4.19	3.91	4.22	4.07	3.92	4.24	4.22
11	4.07	4.22	3.94	4.22	4.08	3.91	4.22	4.15
12	4.06	4.31	3.95	4.23	4.08	3.89	4.2	4.08
13	4.06	4.4	3.97	4.23	4.08	3.88	4.16	4.09
14	4.05	4.46	3.98	4.23	4.09	3.86	4.15	4.1
15	4.04	4.49	3.99	4.23	4.09	3.84	4.15	4.12
16	4.04	4.53	4.01	4.23	4.09	3.81	4.14	4.13
17	4.03	4.61	4.02	4.23	4.09	4.1	4.14	4.14
18	4.04	4.68	4.03	4.22	4.09	4.2	4.14	4.15
19	4.03	4.08	4.03	4.22	4.09	4.16	4.12	4.16
20	4.03	4	4.06	4.21	4.08	4.06	4.11	4.18
21	4.03	4.1	4.07	4.21	4.09	4.12	4.13	4.21
22	4.03	4.18	4.06	4.21	4.09	4.13	4.13	4.24
23	4.03	4.24	4.09	4.2	4.09	4.14	4.12	4.28
24	4.03	4.26	4.11	4.2	4.08	4.18	4.13	4.38
25	4.03	4.28	4.13	4.2	4.08	4.23	4.12	4.43
26	4.04	4.34	4.14	4.2	4.08	4.27	4.12	4.17
27	4.04	4.34	4.15	4.2	4.08	4.32	4.12	4.11
28	4.04	4.35	4.17	4.19	4.07	4.4	4.13	4.03
29	4.05	4.37	4.17	4.19	4.07	4.46	4.12	4.06
30	4.05	4.41	4.18	4.18	4.07	4.55	4.11	4.11

ตารางผนวกที่ ก3 ค่าการคำนวณความเร็วที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลอง

	ช่อง 1	ช่อง 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5	ช่องที่ 6	ช่องที่ 7	ช่องที่ 8
1	6.924	6.933	6.896	6.933	6.917	6.917	6.952	6.924
2	6.931	6.937	6.889	6.935	6.917	6.915	6.950	6.922
3	6.930	6.946	6.890	6.936	6.919	6.914	6.951	6.920
3	6.928	6.948	6.891	6.936	6.919	6.911	6.950	6.917
4	6.927	6.961	6.890	6.936	6.919	6.909	6.942	6.915
5	6.925	6.973	6.889	6.936	6.919	6.907	6.941	6.911
6	6.925	6.980	6.894	6.936	6.919	6.906	6.945	6.909
7	6.922	6.984	6.896	6.937	6.920	6.904	6.938	6.942
8	6.933	6.922	6.897	6.937	6.919	6.902	6.940	6.940
9	6.920	6.933	6.899	6.937	6.919	6.900	6.940	6.937
10	6.919	6.937	6.902	6.937	6.920	6.899	6.937	6.928
11	6.917	6.948	6.904	6.938	6.920	6.896	6.935	6.920
12	6.917	6.959	6.906	6.938	6.920	6.895	6.930	6.921
13	6.916	6.967	6.907	6.938	6.921	6.892	6.928	6.922
14	6.915	6.970	6.909	6.938	6.921	6.890	6.928	6.925
15	6.915	6.975	6.911	6.938	6.921	6.890	6.927	6.926
16	6.914	6.985	6.912	6.938	6.921	6.922	6.927	6.927
17	6.915	6.994	6.914	6.937	6.921	6.935	6.927	6.928
18	6.914	6.920	6.914	6.937	6.921	6.930	6.925	6.930
19	6.914	6.910	6.917	6.936	6.920	6.917	6.924	6.932
20	6.914	6.922	6.919	6.936	6.921	6.925	6.926	6.936
21	6.914	6.932	6.917	6.936	6.921	6.926	6.926	6.940
22	6.914	6.940	6.921	6.935	6.921	6.927	6.925	6.945
23	6.914	6.942	6.924	6.935	6.920	6.932	6.926	6.957
24	6.914	6.945	6.926	6.935	6.920	6.938	6.925	6.963
25	6.915	6.952	6.927	6.935	6.920	6.943	6.925	6.931
26	6.915	6.952	6.928	6.935	6.920	6.950	6.925	6.924
27	6.915	6.953	6.931	6.933	6.919	6.959	6.926	6.914
28	6.916	6.956	6.931	6.933	6.919	6.967	6.925	6.917
29	6.916	6.961	6.932	6.932	6.919	6.978	6.924	6.924
30	6.919	6.951	6.909	6.936	6.920	6.920	6.933	6.928

ตารางผนวกที่ ก3(ต่อ) ค่าการคำนวณความเร็วที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลอง

	ช่องที่ 9	ช่องที่ 10	ช่องที่ 11	ช่องที่ 12	ช่องที่ 13	ช่องที่ 14	ช่องที่ 15	ช่องที่ 16
1	6.901	6.916	6.899	6.904	6.889	6.890	6.906	6.906
2	6.973	6.907	6.904	6.911	6.896	6.957	6.889	6.895
3	6.962	6.968	6.907	6.910	6.890	6.921	6.907	6.890
3	6.901	6.968	6.907	6.900	6.889	6.917	6.900	6.891
4	6.904	6.963	6.911	6.897	6.896	6.917	6.899	6.890
5	6.915	6.963	6.919	6.895	6.904	6.914	6.900	6.890
6	6.919	6.967	6.924	6.897	6.902	6.906	6.911	6.890
7	6.919	6.961	6.928	6.902	6.906	6.901	6.917	6.892
8	6.921	6.957	6.932	6.906	6.924	6.897	6.919	6.894
9	6.914	6.963	6.935	6.911	6.910	6.894	6.921	6.892
10	6.931	6.968	6.936	6.919	6.922	6.921	6.917	6.889
11	6.937	6.973	6.943	6.922	6.922	6.933	6.921	6.890
12	6.942	6.982	6.948	6.921	6.972	6.928	6.920	6.890
13	6.948	6.901	6.961	6.925	6.940	6.921	6.921	6.890
14	6.951	6.902	6.969	6.930	6.931	6.915	6.922	6.890
15	6.954	6.917	6.977	6.932	6.933	6.911	6.925	6.892
16	6.959	6.927	6.985	6.935	6.938	6.911	6.928	6.892
17	6.967	6.933	6.911	6.937	6.943	6.911	6.932	6.892
18	6.972	6.940	6.931	6.906	6.950	6.911	6.935	6.895
19	6.905	6.947	6.948	6.922	6.953	6.911	6.937	6.896
20	6.906	6.953	6.954	6.921	6.957	6.911	6.940	6.897
21	6.917	6.962	6.964	6.890	6.970	6.911	6.943	6.899
22	6.926	6.985	6.970	6.890	6.984	6.914	6.945	6.902
23	6.926	6.991	6.968	6.890	6.921	6.917	6.948	6.919
24	6.926	6.889	6.990	6.890	6.930	6.921	6.952	6.925
25	6.925	6.890	6.975	6.890	6.931	6.926	6.954	6.932
26	6.926	6.890	6.951	6.897	6.931	6.928	6.956	6.922
27	6.926	6.890	6.940	6.897	6.926	6.931	6.940	6.922
28	6.925	6.891	6.941	6.899	6.925	6.932	6.958	6.920
29	6.926	6.902	6.938	6.896	6.928	6.933	6.942	6.925
30	6.931	6.939	6.942	6.908	6.927	6.917	6.927	6.900

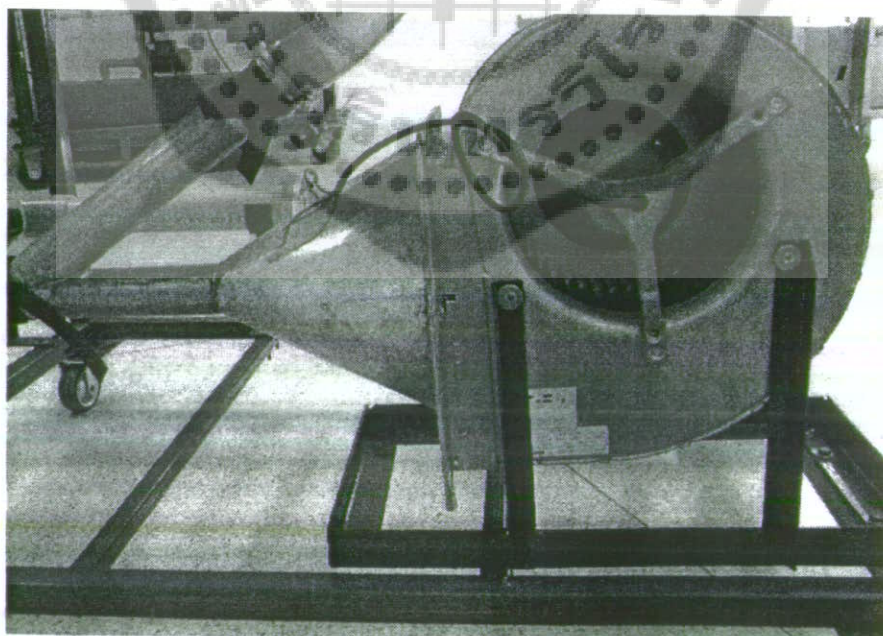
ตารางผนวกที่ ก4 ความเร็วเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในชุดทดลอง

ตำแหน่งที่วัดค่า	ความเร็วที่ได้เฉลี่ยจากชุดทดลอง (m/s)
1	6.918
2	6.951
3	6.909
4	6.936
5	6.919
6	6.919
7	6.932
8	6.928
9	6.930
10	6.938
11	6.938
12	6.908
13	6.927
14	6.917
15	6.926
16	6.900

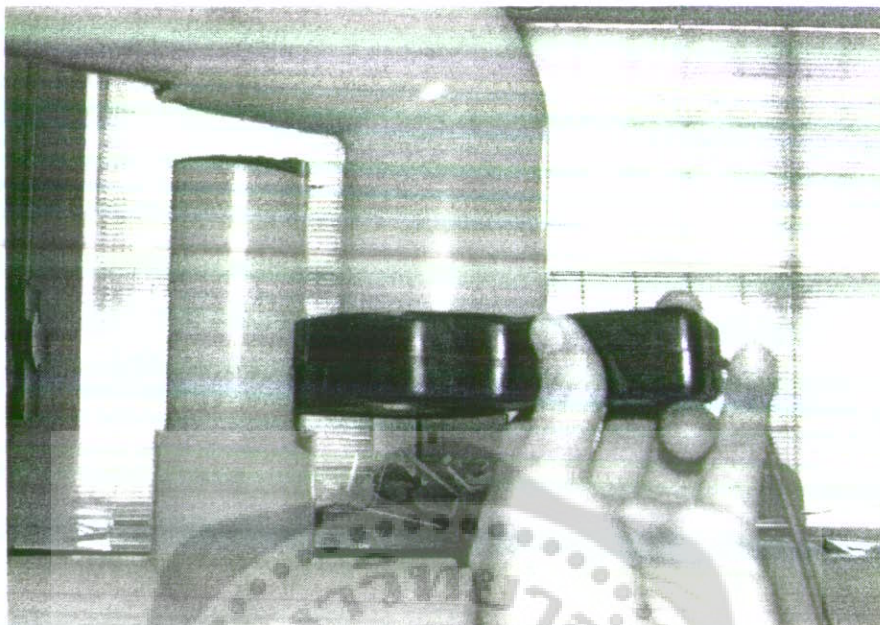




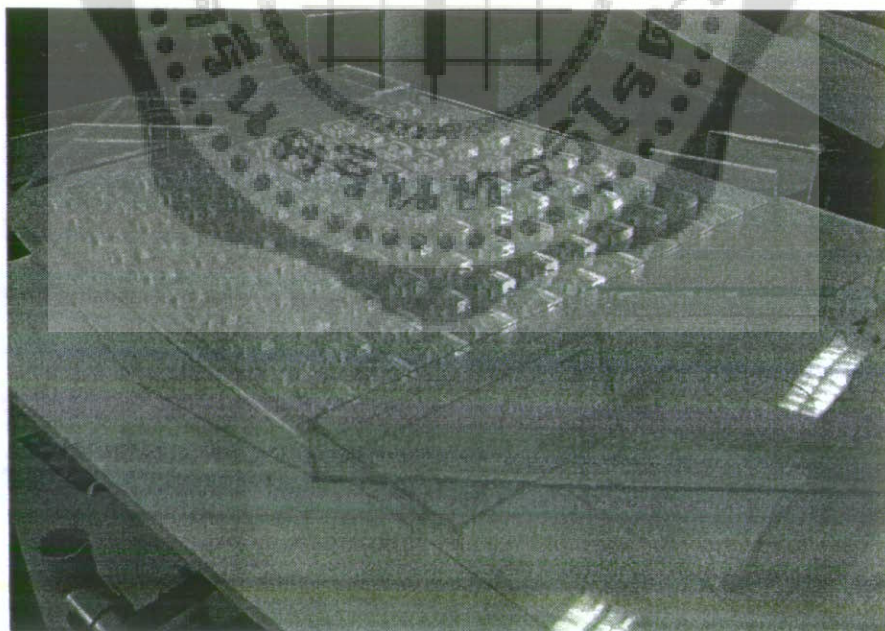
รูปผนวกที่ ข1 Inverter



รูปผนวกที่ ข2 Blower



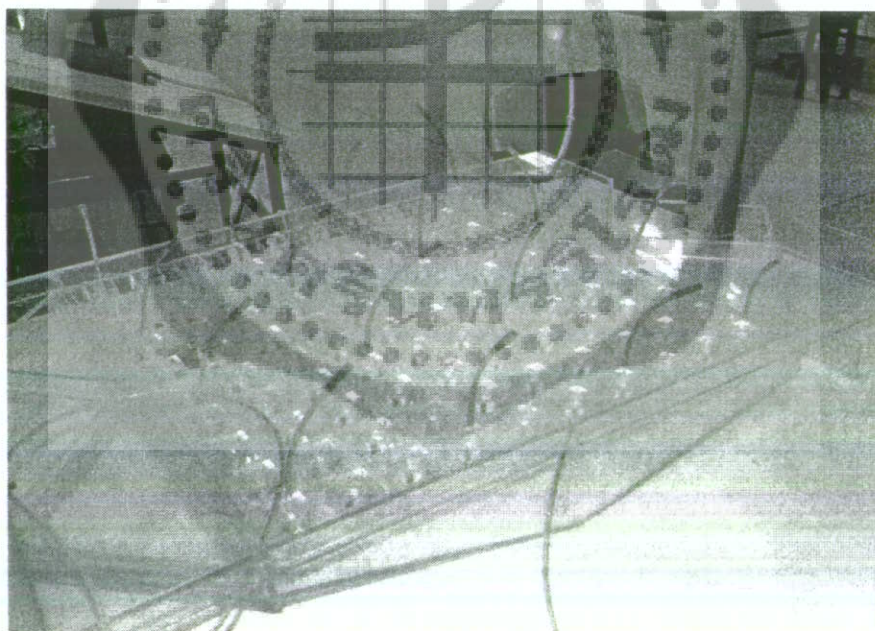
รูปผนวกที่ ข3 การวัดความเร็วลมที่เกิดบริเวณท่อทางเข้าชุดทดลอง



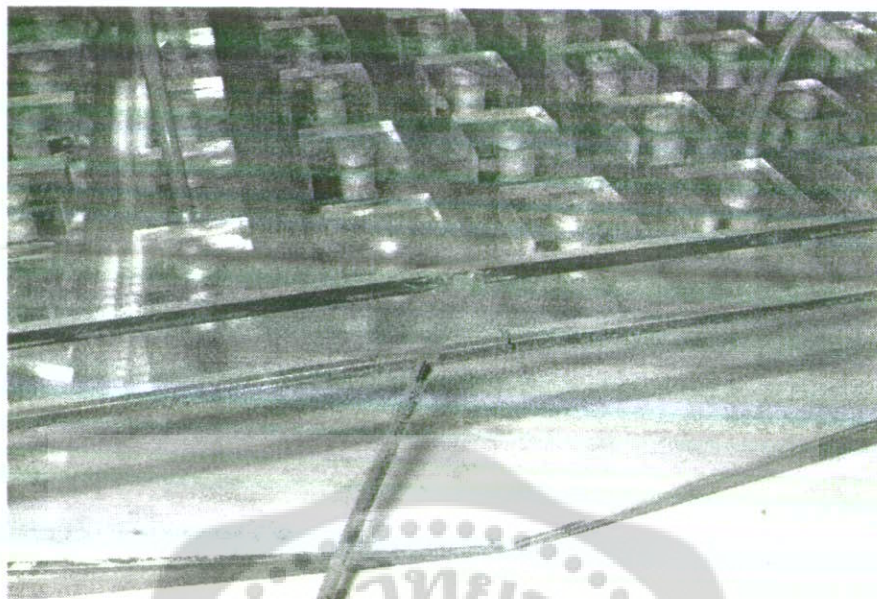
รูปผนวกที่ ข4 ชุดทดลองแบบ Manifold ที่มีช่องการไหลขนาดเล็ก



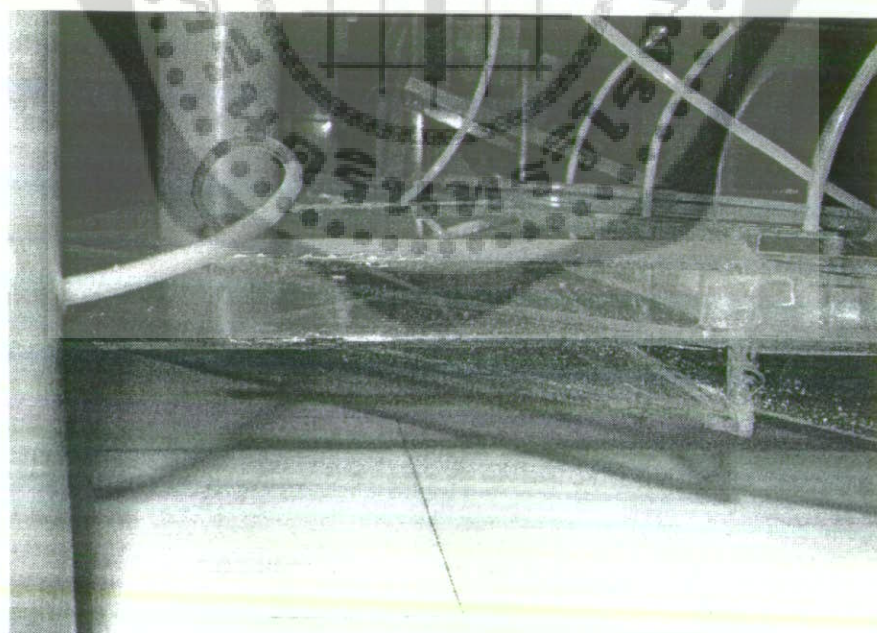
รูปผนวกที่ ข5 Digital Manometer



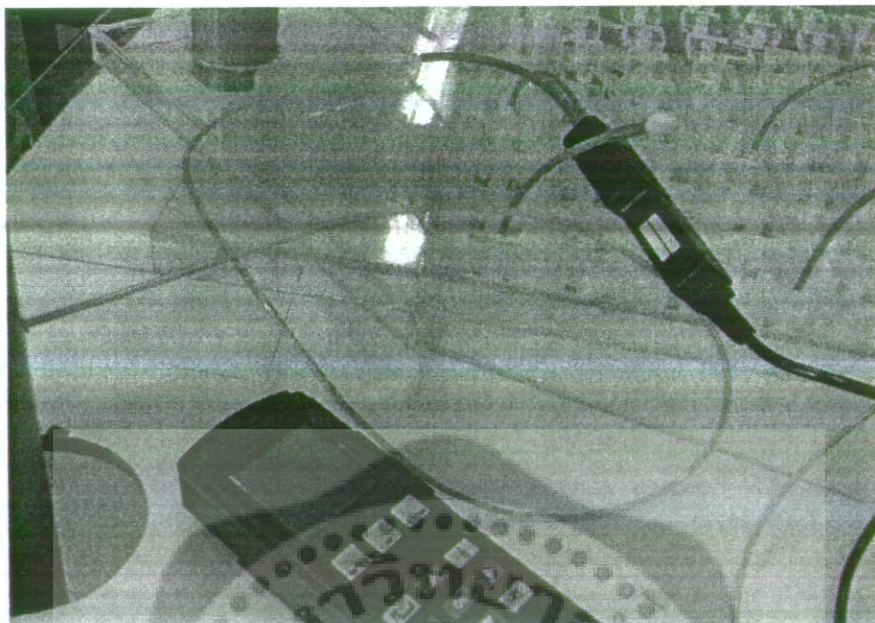
รูปผนวกที่ ข6 ชุดทดลองแบบ Manifold ที่มีการติดตั้งท่อสำหรับวัดความดันตกคร่อม



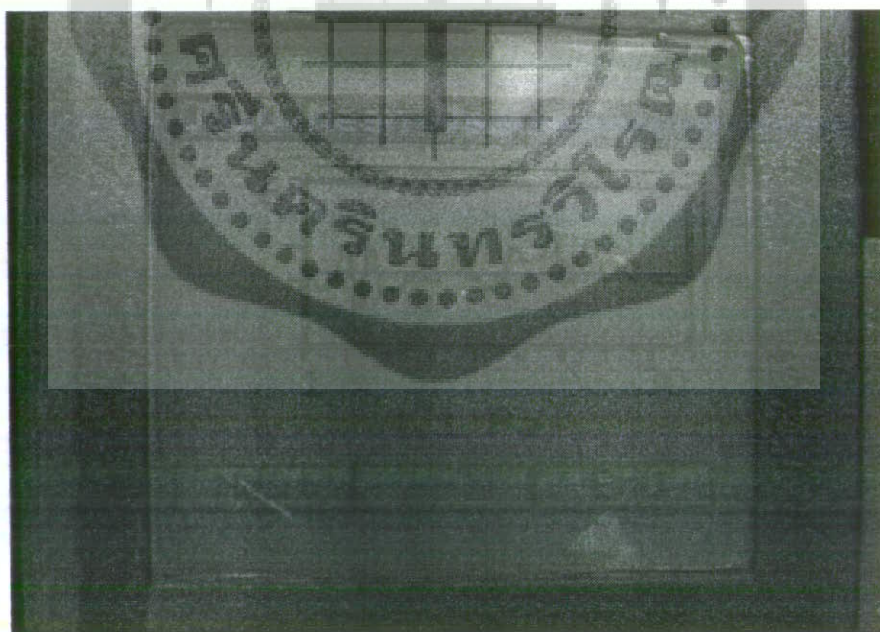
รูปผนวกที่ ข7 ระดับความสูงที่อ้างอิงระหว่างชุดทดลองเทียบกับบรรยากาศที่มีความสูงเท่ากัน



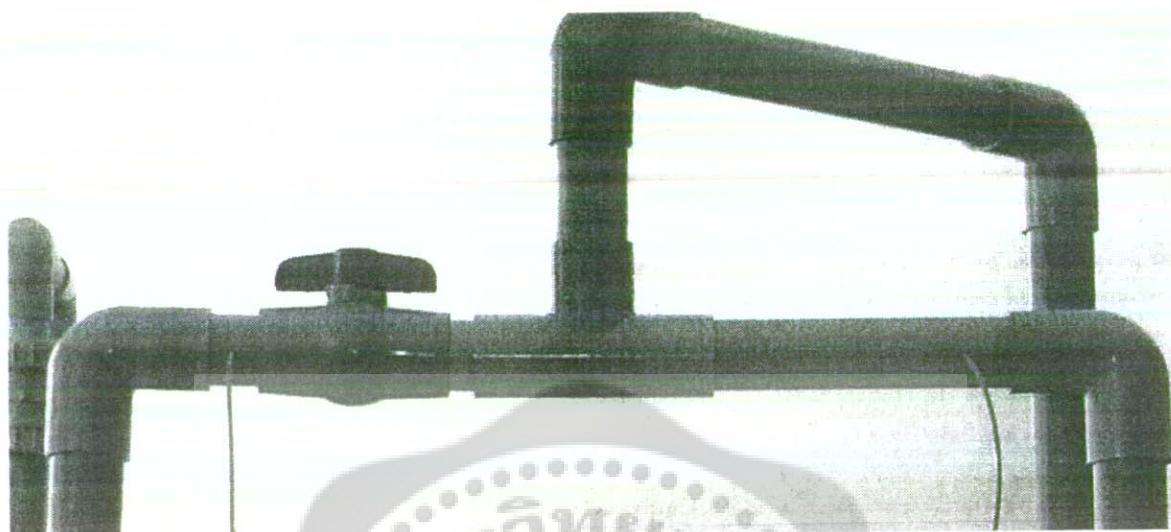
รูปผนวกที่ ข8 ระดับความสูงที่อ้างอิงระหว่างชุดทดลองเทียบกับท่อทางเข้าที่มีความสูงเท่ากัน



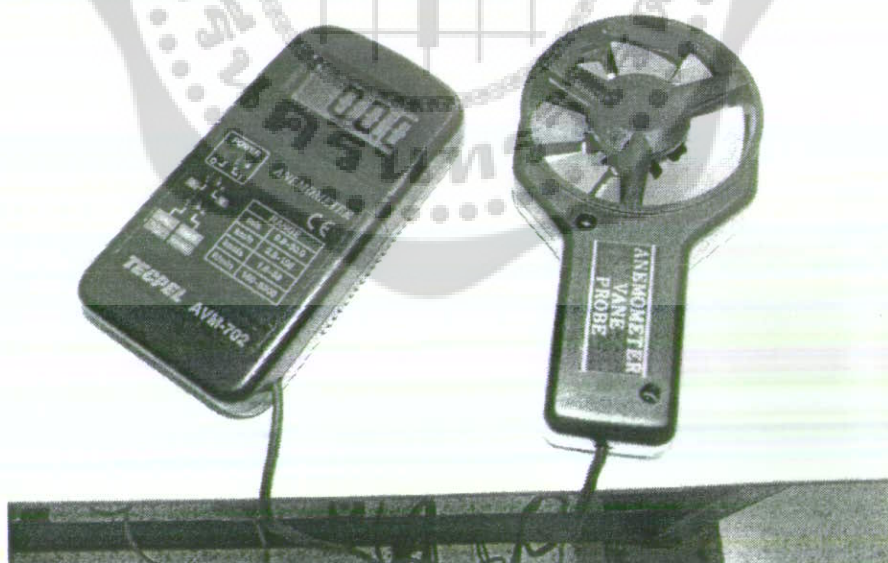
รูปผนวกที่ ข๑ การวัดความต้านดกร้อมระหว่างชุดทดลองเทียบกับท่อทางเข้า



รูปผนวกที่ ข10 ค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากเครื่องมือวัดความต้านดกร้อมโดยแสดงเป็นกราฟ ครึ่ง/เวลา



รูปผนวกที่ ข11 การวัดค่าความดันตกคร่อมเปรียบเทียบของไหลให้เท่ากันสองฝั่ง



รูปผนวกที่ ข12 เครื่องมือวัดความเร็วของอากาศ



รูปผนวกที่ ข13 ชุดทดลอง

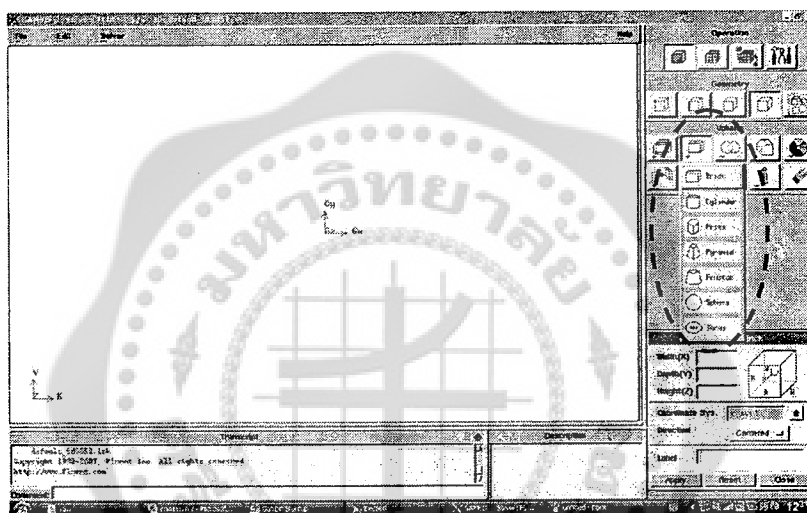


ภาคผนวก ค
การใช้งานโปรแกรม GAMBIT และ FLUENT เบื้องต้น

การใช้งาน GAMBIT

การใช้งาน GAMBIT จะต้องมีพื้นฐาน ระบบพิกัด (Coordinate system) เนื่องจาก การเขียนแบบโดยใช้โปรแกรม GAMBIT จะต้องกำหนดจุดที่ต้องการแล้วจึงทำการเขียนตาม ระนาบ X,Y,Z ซึ่งการเขียนแบบจะสามารถเขียนได้ 2 วิธี กรณิรูปทรงเป็นแบบมาตรฐาน (ทรงกระบอก และ สี่เหลี่ยม)

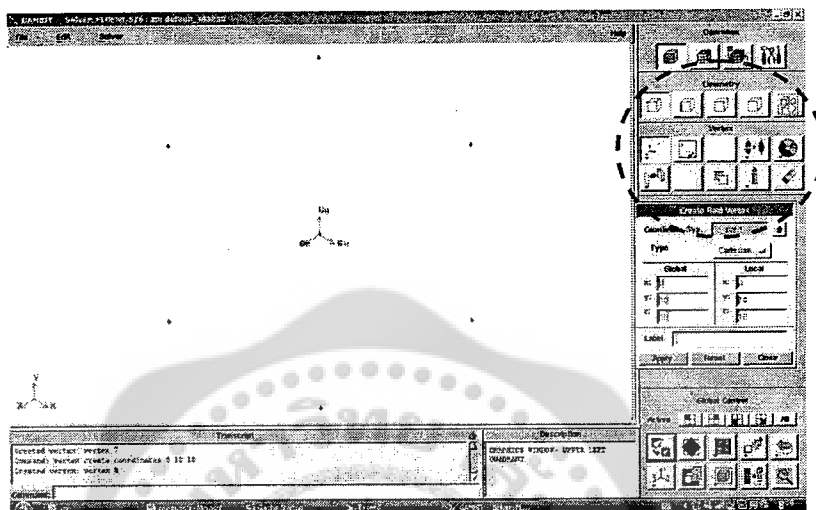
1. กำหนดรูปร่างมาตรฐานโดยสามารถเลือกที่ Geometry>Create Volume ทำ การคลิกเมาส์ด้านขวาเพื่อเลือกรูปทรงแบบต่างๆ ดังรูป



รูปผนวกที่ ค1 การเลือกรูปร่างมาตรฐาน

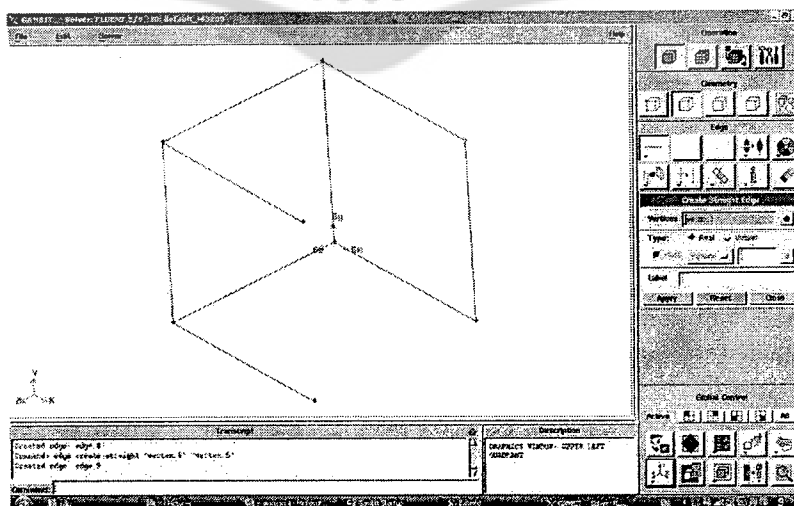
และโค้งไม่เท่ากันดังนั้นการสร้างแบบจะต้องสร้างกล่าเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. สร้างจุดแต่ละจุดโดยอ้างอิงจากระบบพิกัด Coordinate เลือกที่ Geometry>Vertex>Create Real Vertex กำหนดจุดต่างๆที่ลงไป



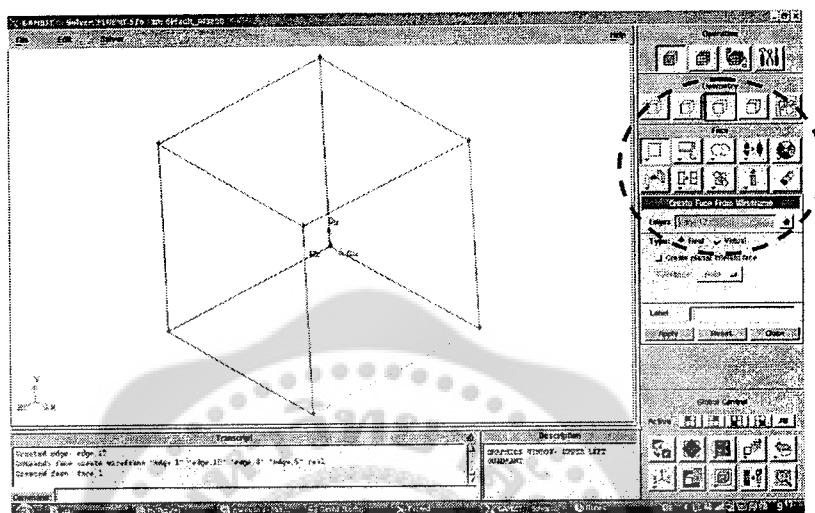
รูปผนวกที่ ค4 การกำหนดขนาดที่ต้องการจะสร้างเป็นจุดในระนาบ x,y,z

2. นำจุดที่สร้างขึ้นมาต่อเป็นเส้นโดยทำการเลือกที่ Geometry EDGE Command>Create Straight Edge ทำการกด Shift ค้างไว้ แล้วเลือกจุดที่ต้องการจะสร้าง ควรกำหนดที่ละ 2 จุดเพื่อง่ายต่อการแก้ไข จากนั้นกด Apply



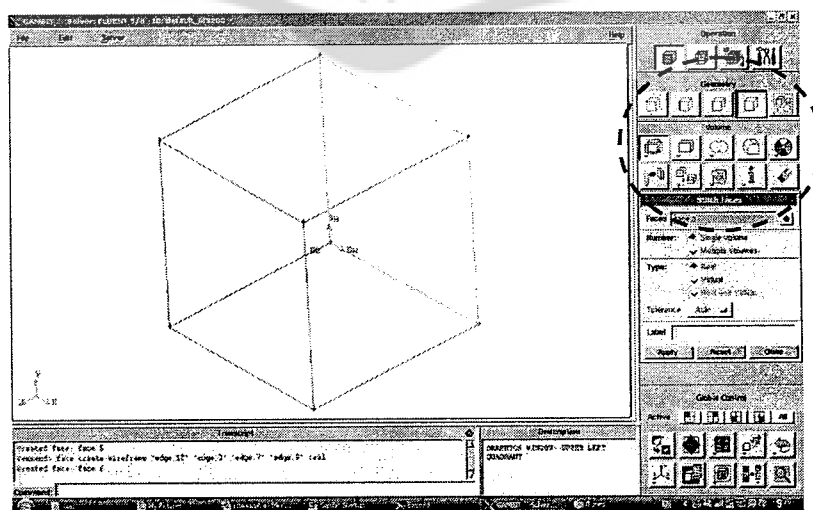
รูปผนวกที่ ค5 การกำหนดเส้นที่ต้องการจะสร้างโดยอ้างอิงจากจุดในระนาบ x,y,z

3. ทำการรวมแต่ละเส้นเพื่อที่จะกำหนดพื้นที่ โดยเลือกที่ Geometry Face Command>Create Face From Wireframe ทำการกด Shift ค้างไว้แล้วเลือกเส้นที่ต้องการสร้างเป็นพื้นที่ เมื่อเรากำหนดเป็นพื้นที่สีของเส้นจะเปลี่ยนไปอีกสีหนึ่ง



รูปผนวกที่ ค6 การกำหนดพื้นที่ที่ต้องการจะสร้างโดยอ้างอิงจากเส้นในระนาบ x,y,z

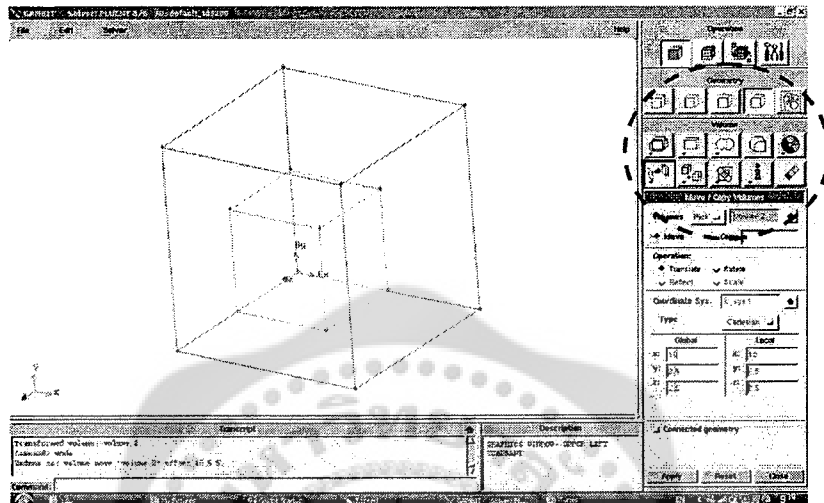
4. นำพื้นที่ต่างได้มารวมกันเป็นปริมาตร เลือกที่ Geometry Volume Command>Stitch Faces ทำการเลือกพื้นที่ที่ต้องการทำเป็นปริมาตร โดยกดปุ่ม Shift ค้างไว้เลือกพื้นที่ที่ต้องการให้ครบกด Apply



รูปผนวกที่ ค7 การกำหนดปริมาตรที่ต้องการจะสร้างโดยอ้างอิงจากพื้นที่ในระนาบ x,y,z

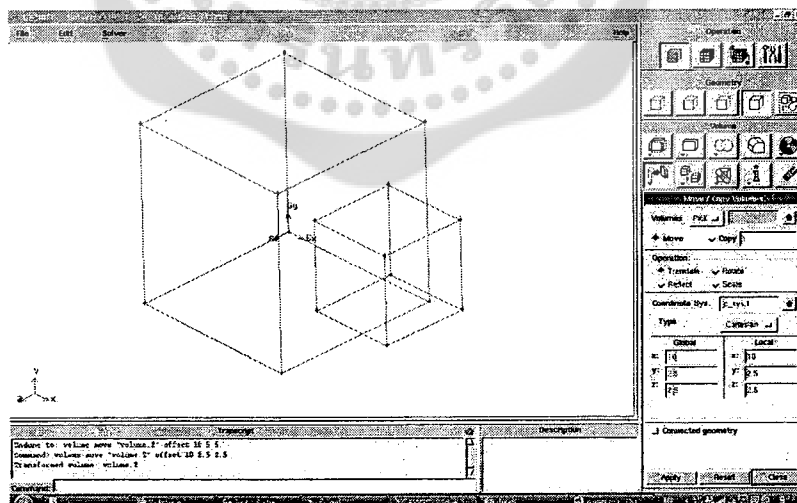
การย้ายตำแหน่ง

1. เลือกที่ Geometry Volume Command>Move/Copy กด Shift เพื่อเลือกปริมาตรที่ต้องการย้ายดังรูป



รูปผนวกที่ ค8 การกำหนดเลือกปริมาตรที่ต้องการจะย้ายโดยอ้างอิงจากพื้นที่ในระนาบ x,y,z

2. ทำการกำหนดจุดปลายทางที่ต้องการจะย้ายแล้วกด Apply

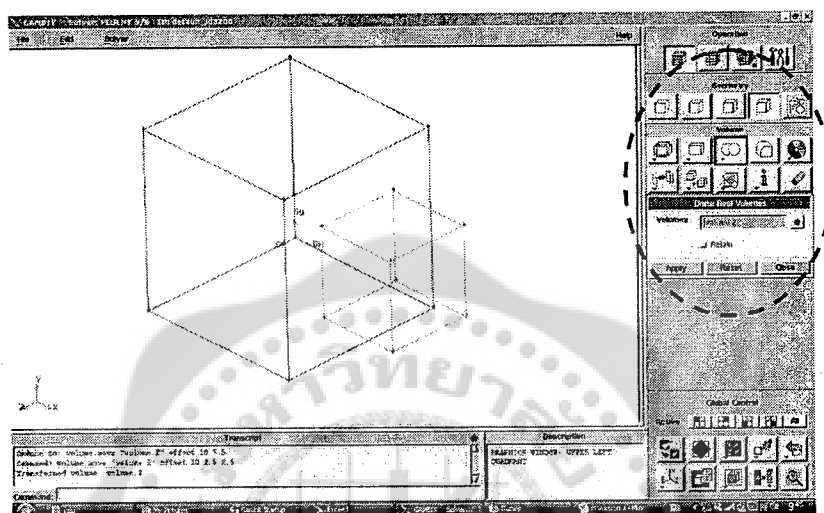


รูปผนวกที่ ค9 การกำหนดปลายทางที่ต้องการจะย้ายโดยอ้างอิงจากพื้นที่ในระนาบ x,y,z

ในโปรแกรม Gambit จะนำไปวิเคราะห์ผลได้นั้นปริมาตรจะต้องมีปริมาตรเดียว จึงมีเข้าสั่งในการรวมกันหรือตรงกันข้ามกันดังนี้

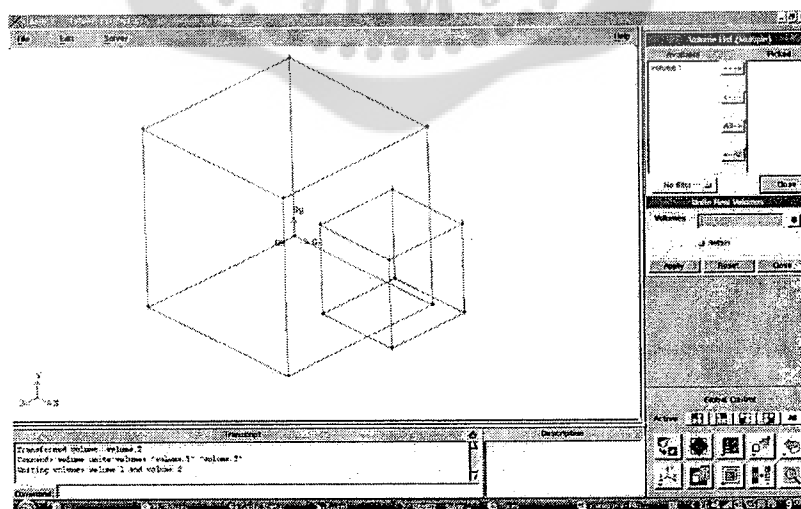
การ Unite

1. เลือกที่ Geometry Volume Command>Boolean Operation ทำการคลิกขวา เพื่อเลือก Unite >เลือกปริมาตรที่ต้องการ โดยทำการกด Shift ค้างไว้แล้วคลิกเมาส์ด้านซ้ายมือ จากนั้นกด Apply



รูปผนวกที่ ค10 การกำหนดปลายทางที่ต้องการจะย้ายโดยอ้างอิงจากพื้นที่ในระนาบ x,y,z

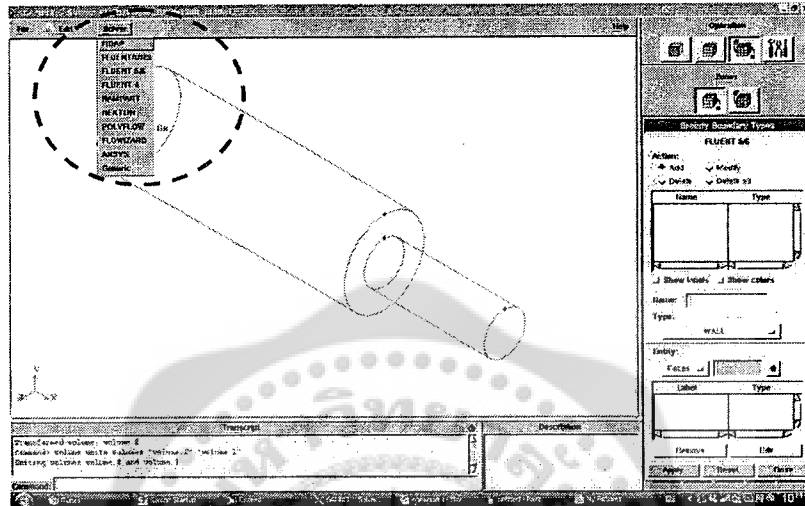
2. เมื่อเราเลือกคู่ที่ปริมาตรจะเป็นได้ว่าจะเหลือเพียงปริมาตรเดียวดังรูป



รูปผนวกที่ ค11 การรวมปริมาตรทั้งสองให้เป็นปริมาตรเดียว

การกำหนดขอบเขตที่จะวิเคราะห์ผล

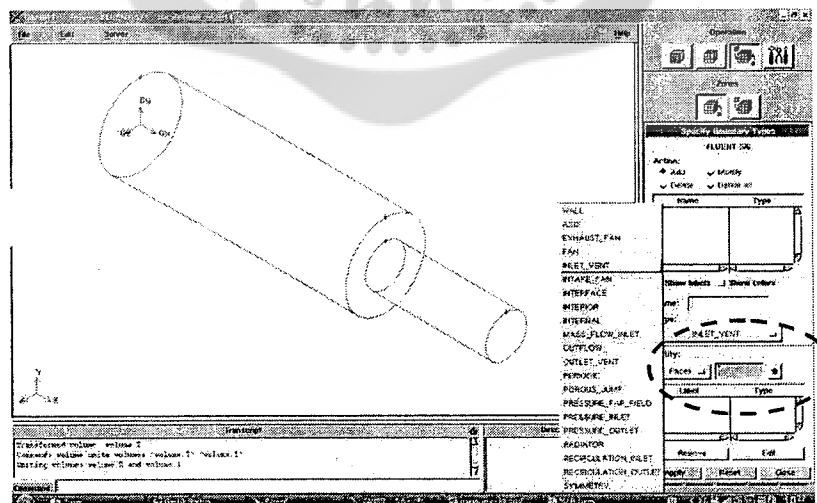
1. การกำหนดขอบเขตในที่นี่จะใช้โปรแกรม Fluent ในการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้น โดยเลือกที่ menu bar>Solver>Fluent 5/6



รูปผนวกที่ ค12 การกำหนดโปรแกรมที่จะใช้ในการประมวลผล

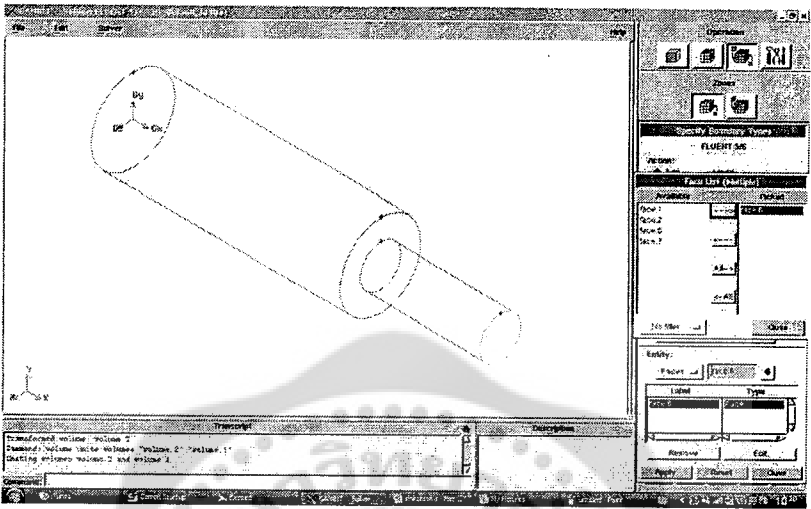
2. เลือกกำหนดขอบเขตต่างๆเลือกที่ Zone Command > Specify Boundary

Types



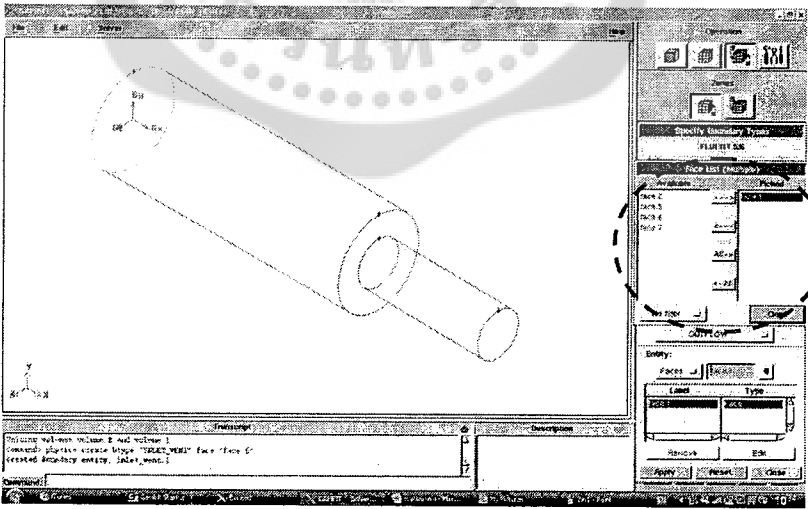
รูปผนวกที่ ค13 การกำหนดขอบเขตที่ใช้ในการประมวลผล

2.1. การกำหนดทางเข้า เลือกที่ Entity>เลือกพื้นที่ที่ต้องการกำหนดเป็นทางเข้าดังรูป



รูปผนวกที่ ค14 การกำหนดขอบเขตทางเข้าที่ใช้ในการประมวลผล

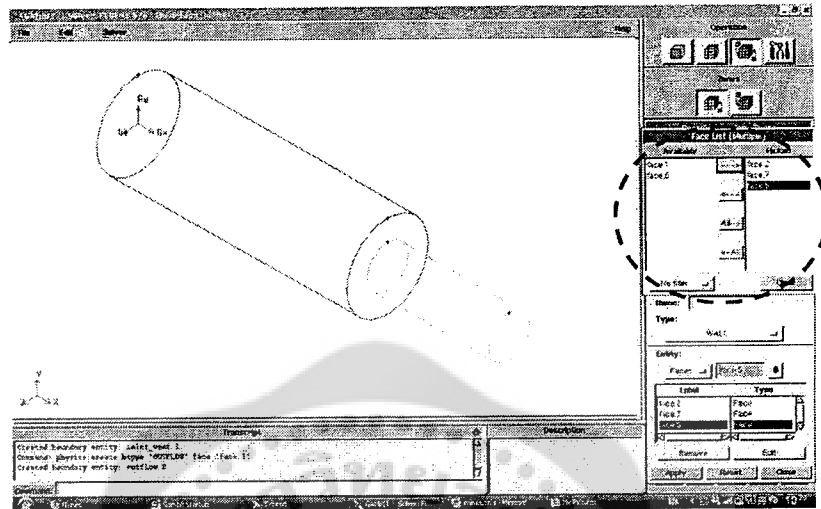
2.2. การกำหนดทางออก เลือกที่ Entity>เลือกพื้นที่ที่ต้องการกำหนดเป็นทางออกดังรูป



รูปผนวกที่ ค15 การกำหนดขอบเขตทางออกที่ใช้ในการประมวลผล

2.3. การกำหนดผนัง เลือกที่ Entity>เลือกพื้นที่ที่ต้องการกำหนดเป็นผนัง

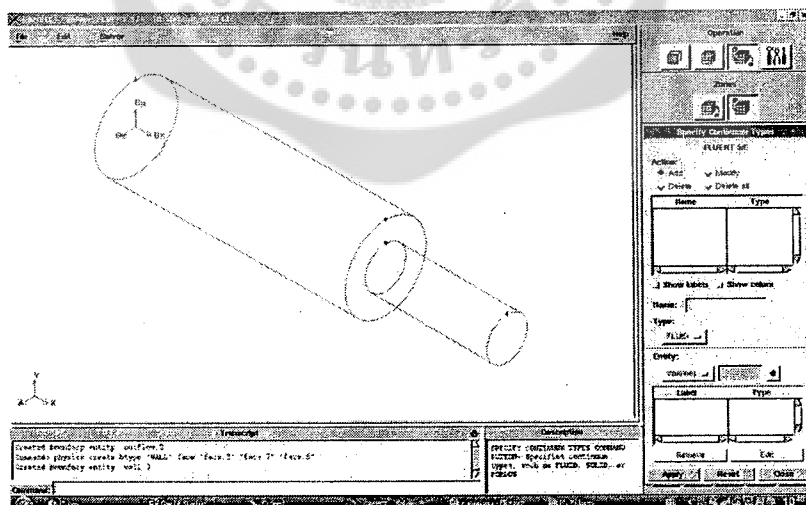
ดังรูป



รูปผนวกที่ ค16 การกำหนดขอบเขตผนังที่ใช้ในการประมวลผล

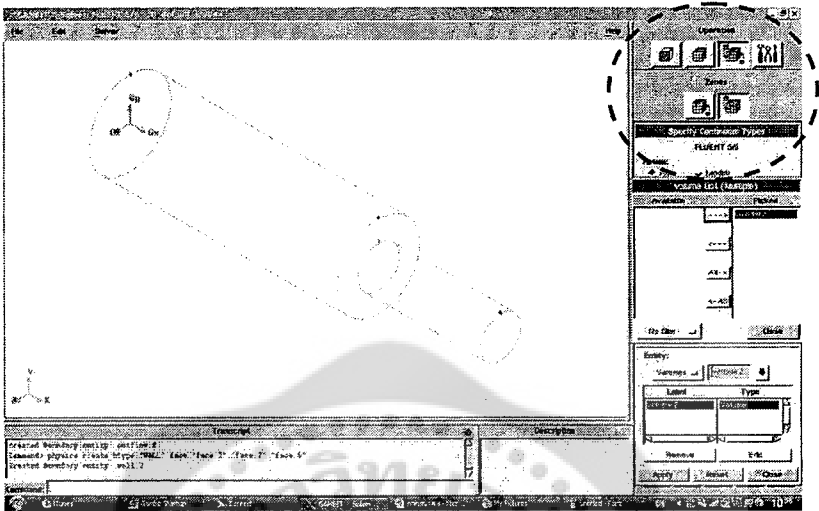
3. เลือกกำหนดขอบเขตต่างๆเลือกที่ Zone Command > Specify Continuum

Types



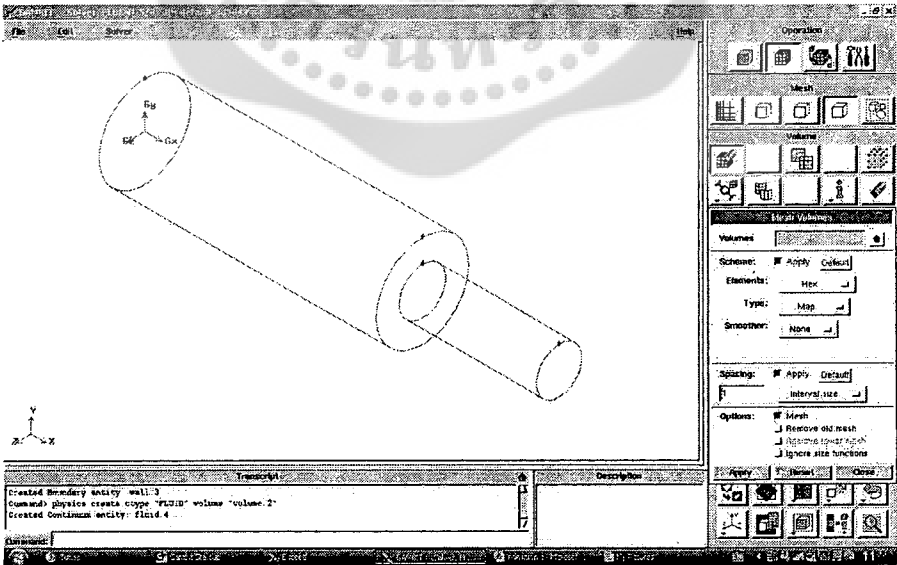
รูปผนวกที่ ค17 การกำหนดขอบเขตที่ใช้ในการประมวลผล

3.1. การกำหนดขอบเขตที่ต้องการให้ของเหลวอยู่โดยทำการเลือก
ปริมาตร



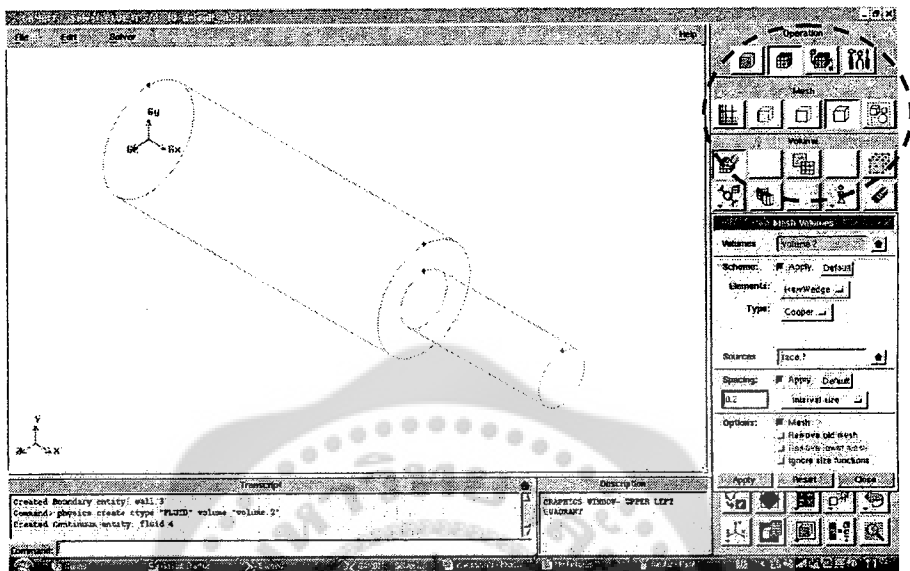
รูปผนวกที่ ค18 การกำหนดขอบเขตของของเหลวที่ใช้ในการประมวลผล

4. การตีเส้นความละเอียดในการวิเคราะห์ผล(Mesh)
4.1. เลือกที่ Mesh Command>Volume Command



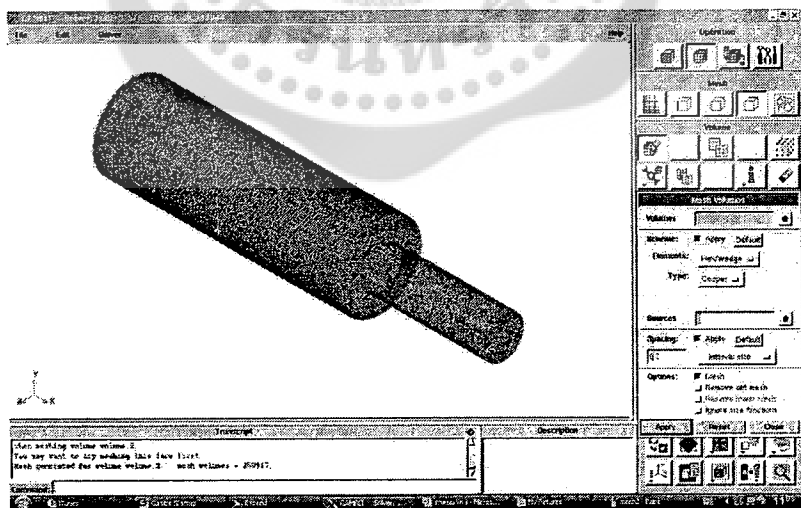
รูปผนวกที่ ค19 การกำหนดขอบเขตความละเอียดที่ใช้ในการประมวลผล

4.2. ทำการเลือกปริมาตร โดยคลิกคลิกเมาส์ด้านซ้ายแล้วเลือกที่แบบ จากนั้นกำหนดช่วงความละเอียดที่ 0.2 ดังรูป



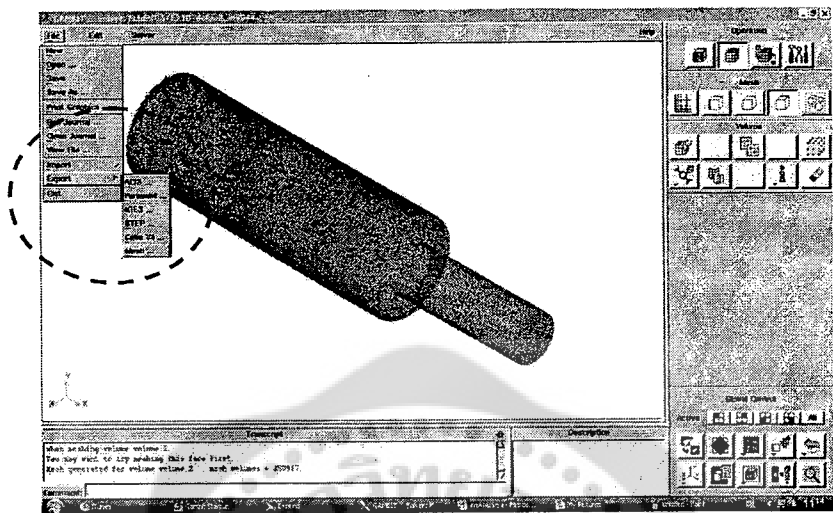
รูปผนวกที่ ค 20 การเลือกปริมาตรที่ใช้กำหนดความละเอียดในการประมวลผล

4.3. เมื่อเรากำหนดความละเอียดในการวิเคราะห์ผลเสร็จจะได้ดังรูป



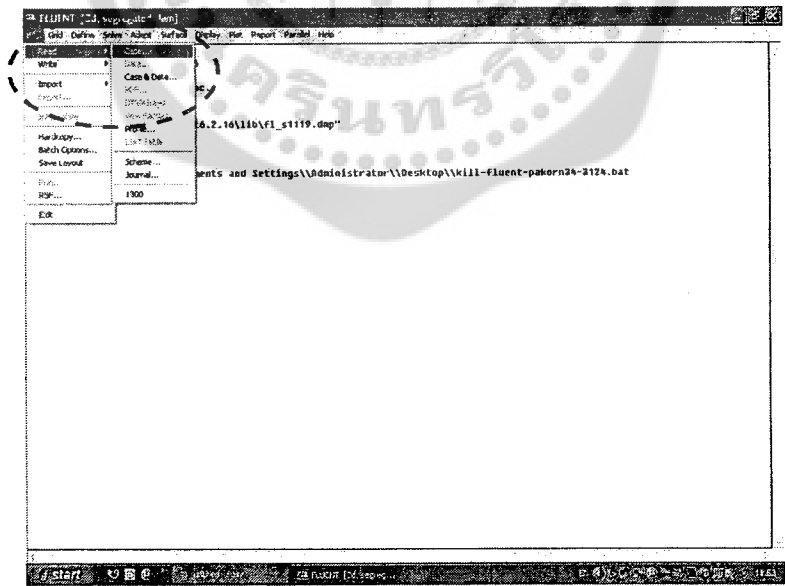
รูปผนวกที่ ค 21 แสดงผลลัพธ์ในการกำหนดความละเอียดในการประมวลผล

5. การส่งออกโปรแกรมเพื่อที่จะใช้ในการประมวลผลในโปรแกรม Fluent
เลือกที่ File>Export>Mesh....



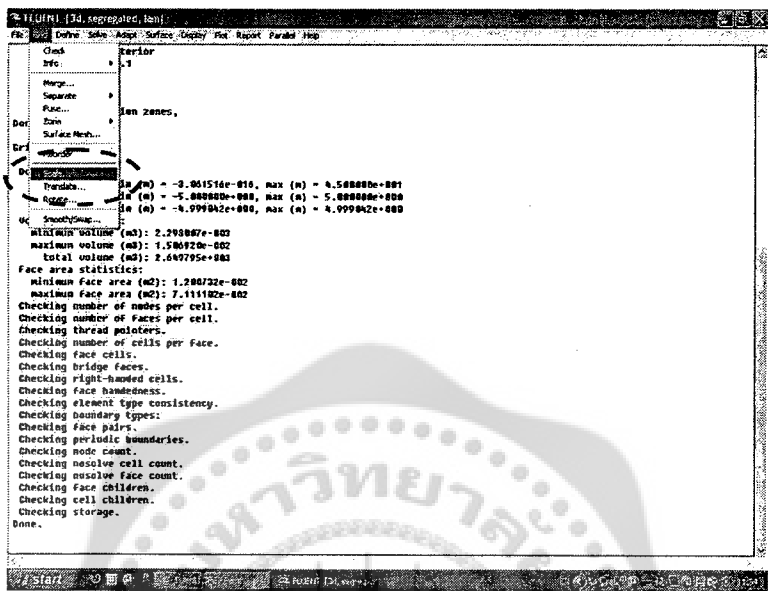
รูปผนวกที่ ค 22 การส่งแบบออกไปใช้ในโปรแกรมวิเคราะห์
การใช้งาน Fluent

1. เปิดโปรแกรม Fluent เลือกที่ File > Read > Case.. ดังรูป



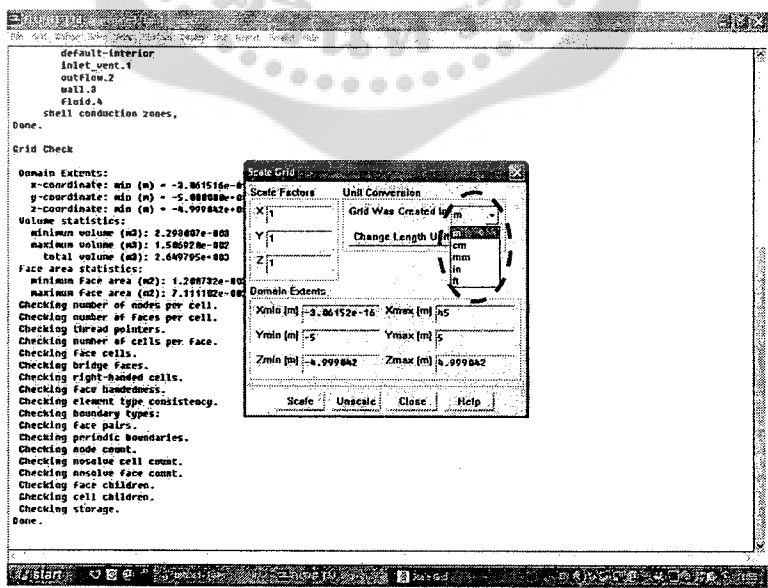
รูปผนวกที่ ค23 แสดงการเลือกแบบที่ส่งออกจาก Gambit

2. เลือกการปรับขนาดเนื่องจากการเขียนมาจาก Gambit ยังไม่มีหน่วย โดยเราสามารถเลือกได้ที่ Menu bar > Grid > Scale... ดังรูป



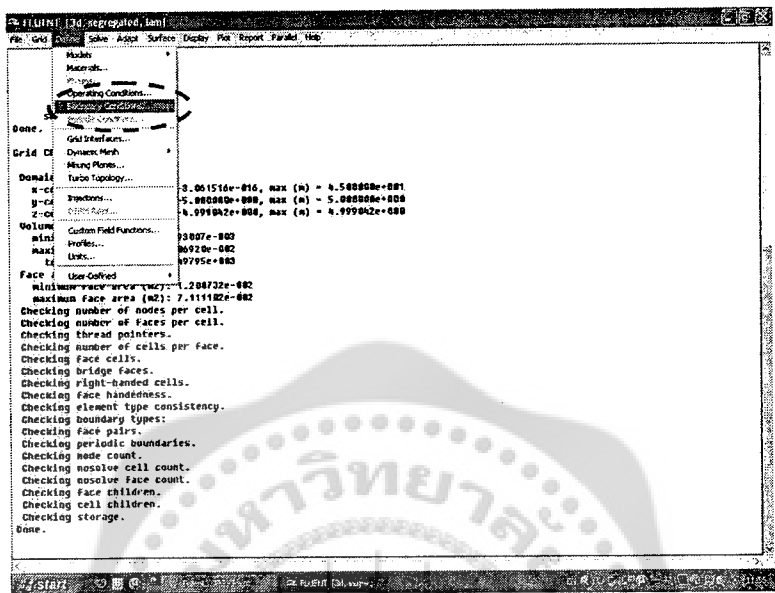
รูปผนวกที่ ค24 การเลือกหน่วยที่ใช้

3. ทำการปรับหน่วยซึ่งสามารถปรับได้ดังรูป



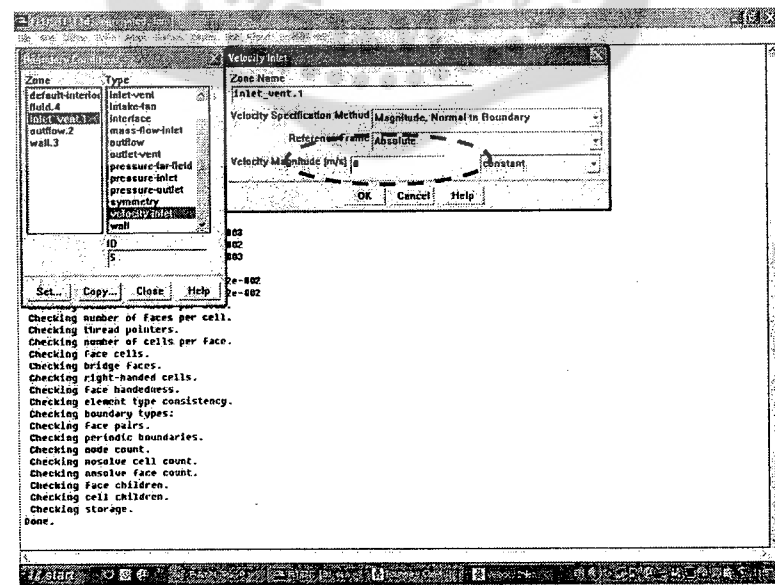
รูปผนวกที่ ค25 การเลือกหน่วยที่ใช้สามารถปรับได้ทั้ง อังกฤษ และ SI

4. การกำหนดขอบเขตต่างๆสามารถเข้าไปกำหนดที่ Define > Boundary Conditions...



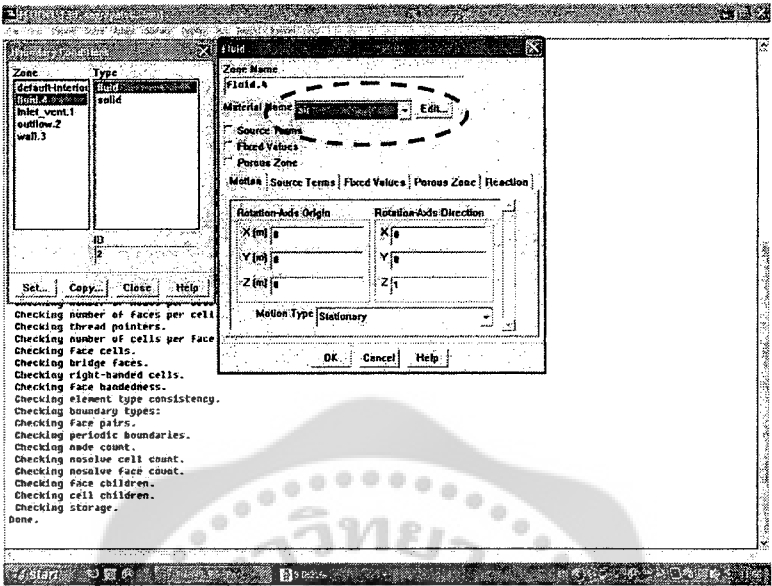
รูปผนวกที่ ค26 การกำหนดขอบเขตต่างๆในแบบ

5. เลือกความเร็วที่ต้องการวิเคราะห์ดังรูป



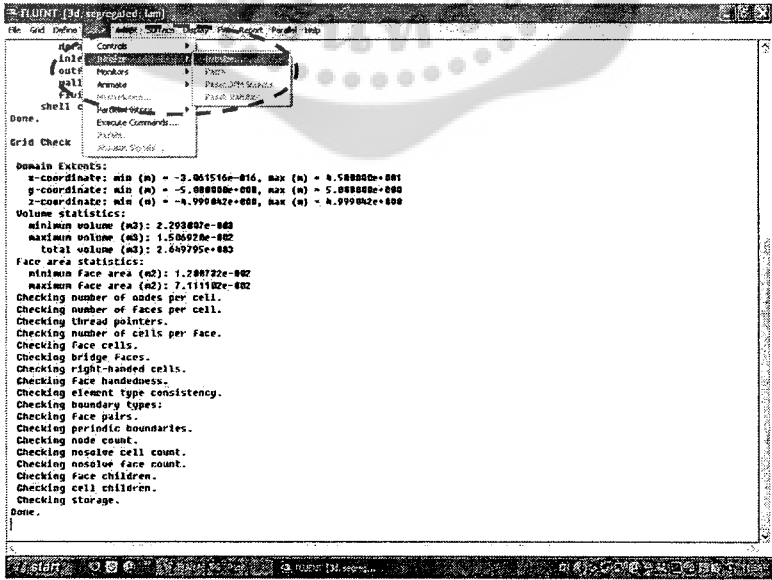
รูปผนวกที่ ค27 การกำหนดขอบเขตความเร็วที่ใช้ในแบบ

6. กำหนดของเหลวที่ใช้ในแบบ

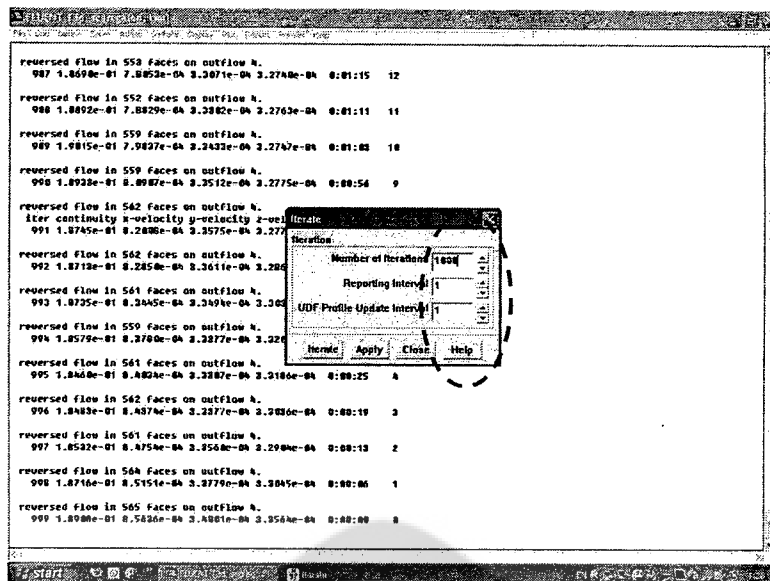


รูปผนวกที่ ค28 การกำหนดขอบเขตของเหลวที่ใช้ในแบบ

7. เลือกส่วนการช่วงการวิเคราะห์ผล เลือกที่ Solve > Initialize > Initialize.. ดังรูปที่ ค 29 และเลือกความดันที่เกิดขึ้น ช่วงการวิเคราะห์ทั้งหมด และความเร็วที่เกิดขึ้นเฉพาะ แกน x,y,z ดังรูปที่ ค30

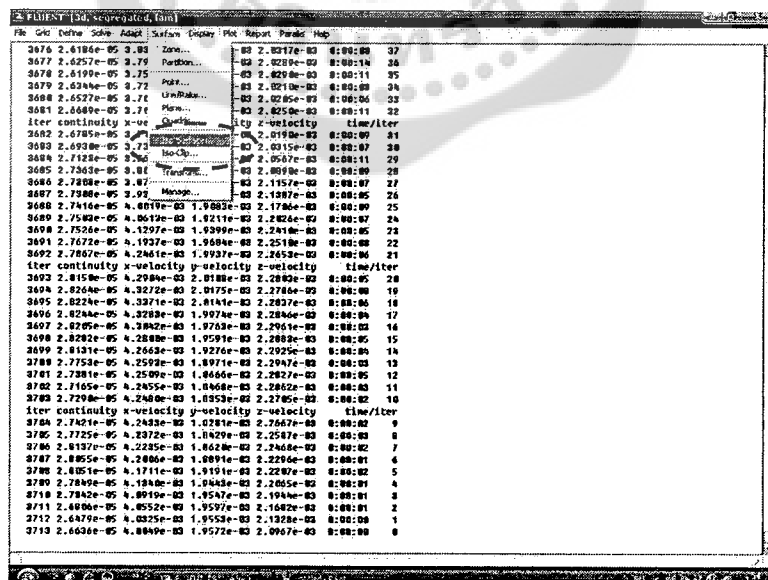


รูปผนวกที่ ค29 เลือกช่วงการวิเคราะห์ผล

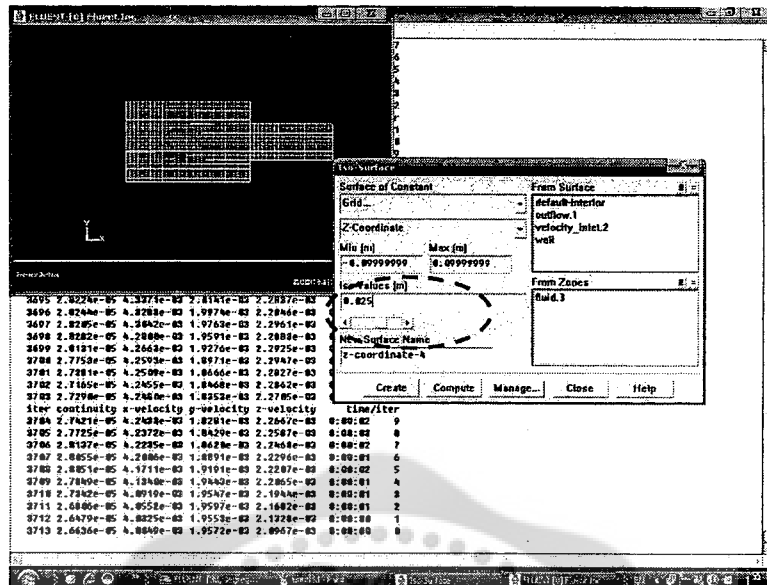


รูปผนวกที่ ค32 การเลือกจำนวนรอบในการวิเคราะห์ข้อมูล

9. ทำการเลือกที่ Menu Bar เลือก Surface>Iso-Surface ดังรูปที่ผนวกที่ ค 33 เพื่อกำหนด พื้นที่ตัดที่ต้องการวิเคราะห์การไหล ดังรูปที่ ผนวกที่ ค34

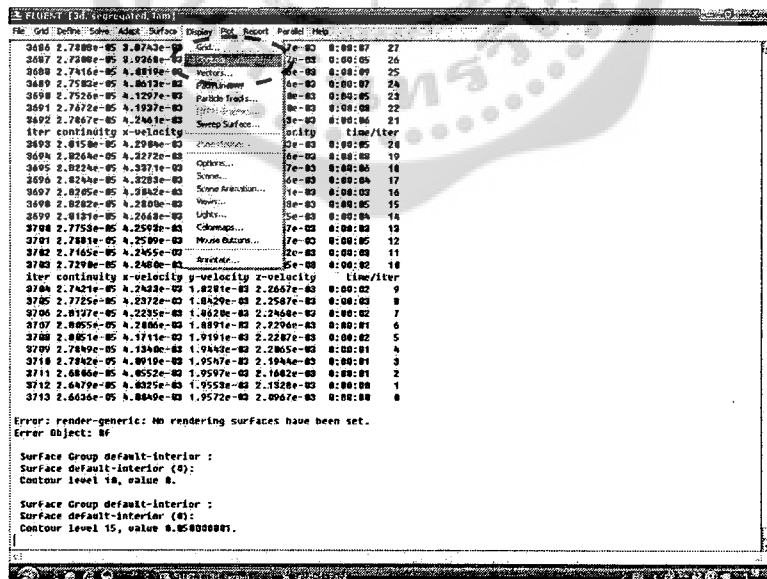


รูปผนวกที่ ค33 การเลือกคำสั่งสร้างระนาบหน้าตัด

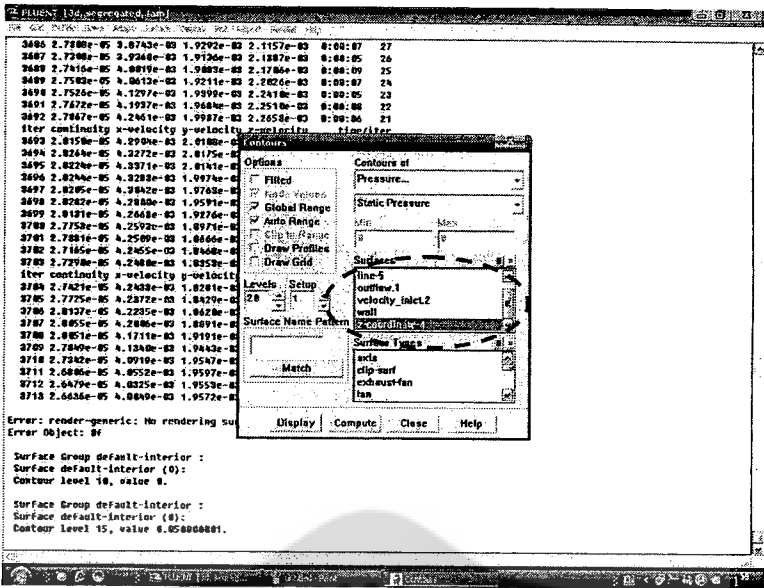


รูปผนวกที่ ค34 ภาพแสดงการกำหนดค่าดังเพื่อเลือกระนาบหน้าตัดตามต้องการ

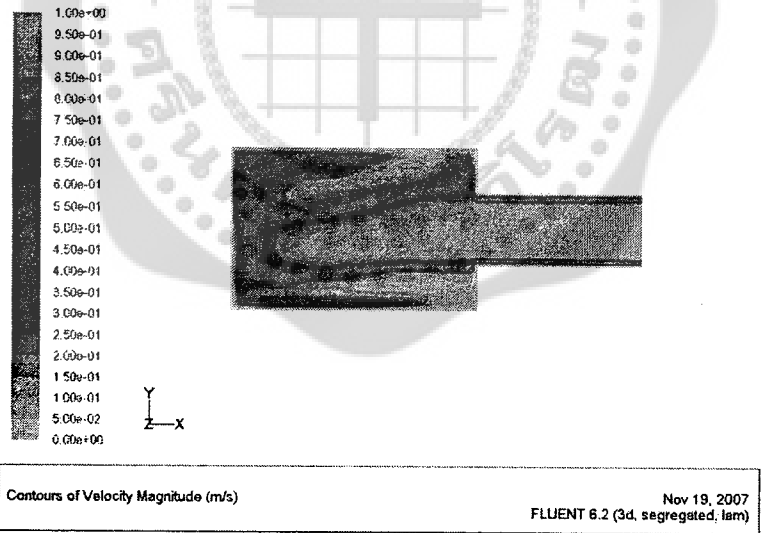
10. ทำการเลือกที่ Menu Bar เลือก Display>Contours.... ดังรูปที่ผนวกที่ ค 35 เพื่อเลือกระนาบที่ต้องการแสดงผล ดังรูปที่ ผนวกที่ ค 36



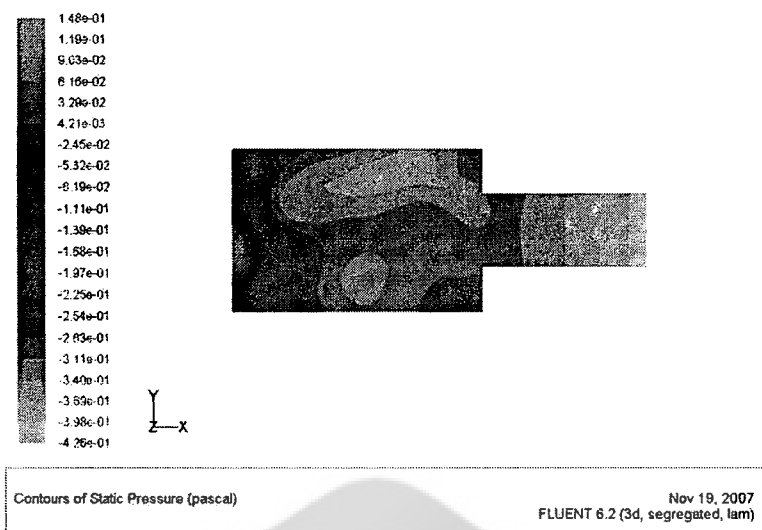
รูปผนวกที่ ค 35 รูปแสดงการเลือกคำสั่งแสดงผลทิศทางไหล



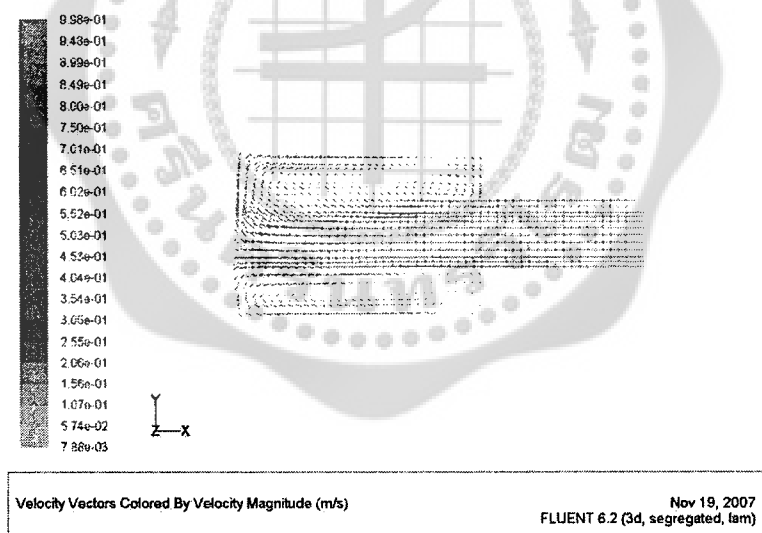
รูปผนวกที่ ค 36 รูปแสดงการเลือกกระนาบที่ต้องการแสดงผลทิศทางการไหล



รูปผนวกที่ ค 37 รูปแสดงผลการกระจายตัวของความเร็วในระนาบ

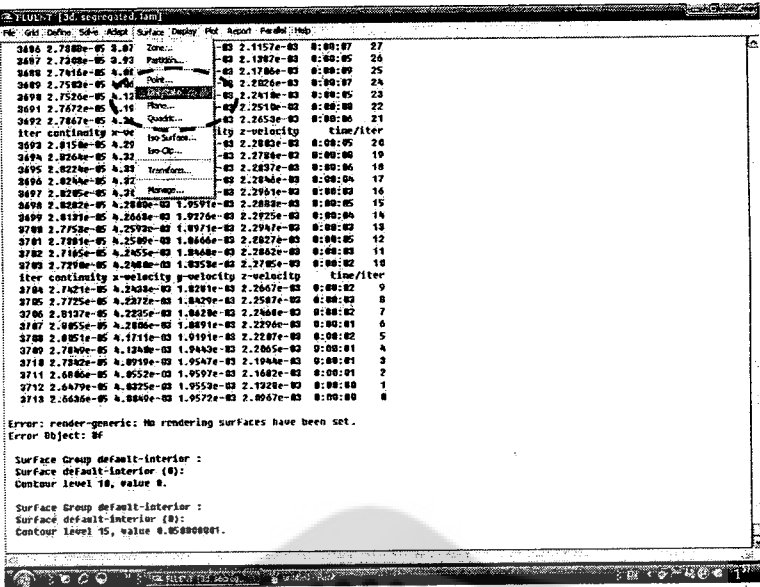


รูปผนวกที่ ค 38 รูปแสดงผลการกระจายตัวของความดันในระนาบ



รูปผนวกที่ ค 39 รูปแสดงผลเวกเตอร์ของความเร็วในระนาบ

11. ทำการเลือกที่ Menu Bar เลือก Surface>Line/Rake... ดังรูปที่ผนวกที่ ค 40 เพื่อกำหนด เส้นที่ต้องการวิเคราะห์การไหล

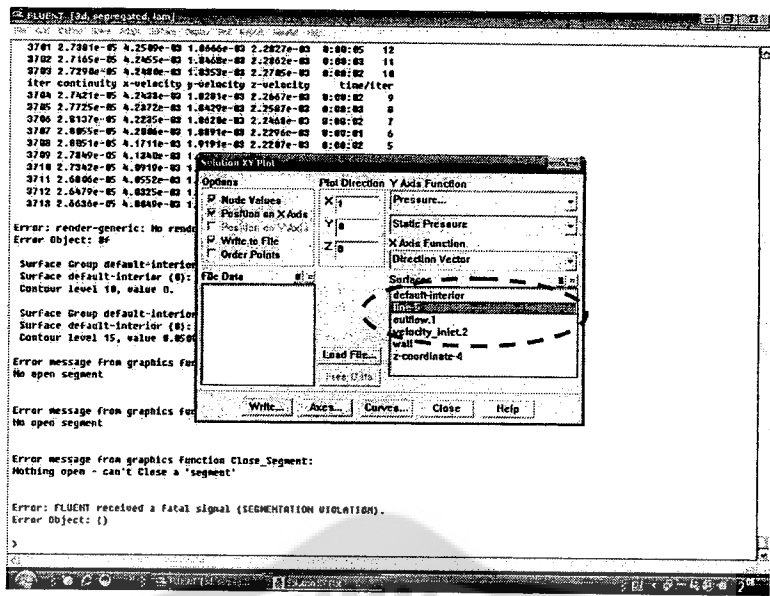


รูปผนวกที่ ค40 รูปแสดงการเลือกค่าสร้างเส้น

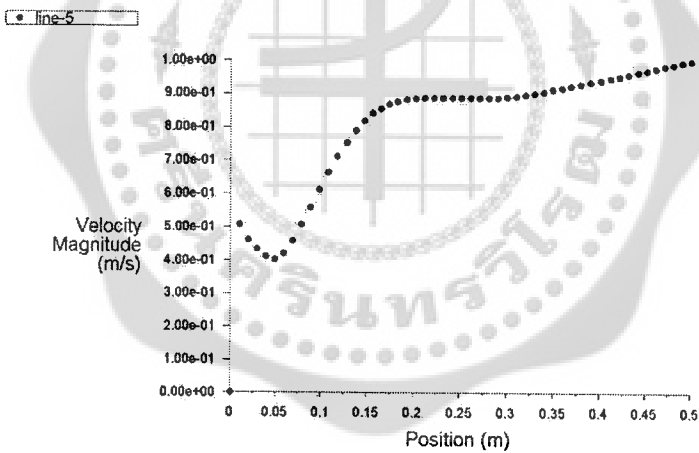
12. ทำการเลือกที่ Menu Bar เลือก Plot>XY Plot.... ดังรูปที่ผนวกที่ ค 41 เพื่อเลือกกระนาบที่ต้องการแสดงผล ดังรูปที่ ผนวกที่ ค 42



รูปผนวกที่ ค 41 รูปแสดงการเลือกค่าสั่งแสดงผลใน XY Plot



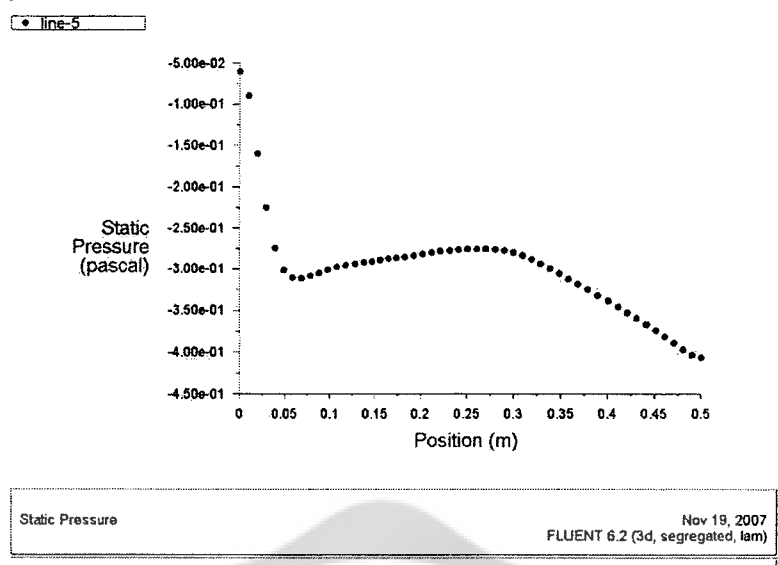
รูปผนวกที่ ค42 รูปแสดงการเลือกเส้นที่ใช้ในการแสดงผลใน XY Plot



Velocity Magnitude

Nov 19, 2007
FLUENT 6.2 (3d, segregated, lam)

รูปผนวกที่ ค43 รูปกราฟแสดงผลความเร็วที่เกิดขึ้นบนเส้นในระบะต่างๆ



รูปผนวกที่ ค44 รูปกราฟแสดงผลความดันที่เกิดขึ้นบนเส้นในระยะต่างๆ

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล (ไทย) ภาคภูมิ ศรีมรินทร์
(English) Parkpoom Sriromreun

ที่อยู่ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ถ. รังสิต-นครนายก อ. องค์กรักษ์
จ. นครนายก 26120
โทรศัพท์ 037-322625-35 ext 2064; โทรสาร 037-322609

Address Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Srinakharinwirot University, Rangsit-Nakhonnayok Rd., Ongkarak,
Nakhonnayok, Thailand, 26120
Tel.: 6637-322625-35 ext ; Fax.: 6637-322609

E-mail address prakpum@swu.ac.th

ประวัติการศึกษา

ระดับ	ชื่อผู้จบ	สาขา	มหาวิทยาลัย	ประเทศ	ปี
ป. ตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	มศว.	ไทย	2539
ป. โท	วศ.ม.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย	2546
ป. เอก					

ประวัติการทำงาน

บริษัทหรือหน่วยงาน	สถานที่	ปี พ.ศ.	ตำแหน่ง
1. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มศว.	มศว.องค์กรักษ์ จ.นครนายก	2540	อาจารย์
2.			
3.			

การฝึกอบรม หรือการเข้าร่วมสัมมนาทางวิชาการ

1. ผู้รับผิดชอบด้านอนุรักษ์พลังงาน (ผชพ.) PREs สามัญ

สาขาที่เชี่ยวชาญ

Fluid mechanics, Heat transfer, CFD

งานวิจัยที่กำลังทำ

1. ออกแบบ และสร้างชุดทดลองประกอบเครื่อง PIV
2. โปรแกรมการให้น้ำทางเกษตรทฤษฎีใหม่

ทุนวิจัยที่ได้รับ

1. โครงการวิจัย เรื่อง การออกแบบ และสร้างชุดทดลองเพื่อใช้ศึกษาลักษณะการไหลของของไหลกับเครื่อง Particle Image Velocimetry (PIV) เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 60,000 บาท เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี 2548 ตามสัญญาเลขที่ 123/2548 ลงวันที่ 19 กันยายน 2548 ระยะเวลา 1 ปี

อื่น ๆ

1. คณะวิทยาการฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน
-

งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

วารสารนานาชาติ

1. Single-Phase Heat Transfer and Pressure Drop in the Micro-fin Tubes with Coiled Wire Insert, International Communications Heat Mass Transfer, 2005

วารสารภายในประเทศ

1. ศึกษาลักษณะการไหลของน้ำในถังด้วย Particle Image Velocimetry, วารสารวิชาการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 2005
2. การพาความร้อนขณะเดือดแบบฟลูของ R-134a, วารสารวิชาการวิศวกรรม พลังงานและสิ่งแวดล้อม , 2005
3. Thermal Performance of the Double Pass Flat-Plat Solar Air Heater with Fins, Journal of Technology Thonburi, Vol. 4, No. 1, pp. 52-59.
4. การทำนายคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการไหลปั่นป่วนในท่อในช่วงเลขเรย์โนลด์ต่ำโดยใช้ k-E model, วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2547

งานประชุมวิชาการนานาชาติ

1. Analysis of Heat Transfer Characteristics of the Annular Fin under Partially Wet Surface Conditions, 4th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics (HEFAT), 19-22 September 2005, Cairo, Egypt.

งานประชุมวิชาการภายในประเทศ

1. โปรแกรมคำนวณการให้น้ำในการเกษตร, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 2548

อนุสิทธิบัตร/สิทธิบัตร

เอกสารประกอบการสอน/หนังสือ

1. เอกสารประกอบคำสอนวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 2 (วศก 391)
2. เอกสารประกอบคำสอนวิชาโปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ (วศฟ 160)

