

การออกแบบ และสร้างชุดทดลองเพื่อใช้ศึกษาลักษณะการไหลของของไหล
กับเครื่อง Particle Image Velocimetry (PIV)

A Design and Construct of the Experiment Rig for Engineering Flow
Characteristics Study Using Particle Image Velocimetry (PIV)

ตามสัญญาเลขที่ 123/2548

พ.ศ. ๒๕๕๒

นาย ภาณุภูมิ ศรีธรรมรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
งานวิจัยงบประมาณรายได้มหาวิทยาลัย (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์) ปี 2548

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาการไหลของของไหล เมื่อของไหลไหลผ่านท่อลดขนาดและท่อเพิ่มขนาดโดยใช้น้ำและอากาศเป็นสารตัวกลาง ในการทดลองจะทำการทดลองที่อัตราการไหลเท่ากับ 30 และ 35 ลิตรต่อนาที และทดลองที่อัตราการไหลของอากาศที่ 28 และ 33.6 ลิตรต่อนาที ในการทดลองจะใช้เครื่องมือวัดความเร็วของของไหลด้วยเทคนิคการถ่ายภาพจากแสงเลเซอร์และอนุภาคที่ผสมเข้าไปในของไหล เพื่อศึกษาหาความเร็วและทิศทางของของไหลโดยการทำงาน ของเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลด้วยเทคนิคการถ่ายภาพจากแสงเลเซอร์ จะอาศัยการสะท้อนของแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกับอนุภาคพร้อมกับถ่ายภาพอย่างต่อเนื่องจึงทำให้ทราบถึงลักษณะการไหลของของไหลที่อยู่ในท่อ

จากการทดลองพบว่าเมื่อของไหลไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดความเร็วของ ของไหลจะลดลงและจะเกิดการหมุนวนของของไหลในบริเวณขอบของ Test Section ขึ้นด้วยและเมื่อของไหลไหลผ่านท่อลดขนาดพบว่าความเร็วของของไหลจะเพิ่มขึ้น และมีการหมุนวนของของไหลในบริเวณขอบของ Test Section บ้างเล็กน้อย ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลด้วยเทคนิคการถ่ายภาพจากแสงเลเซอร์ จะเป็นลักษณะการไหลในบริเวณระนาบที่แสงเลเซอร์ฉายไปกระทบกับอนุภาคที่อยู่ในระนาบเดียวกับแสงเลเซอร์ทั้งหมด

Abstract

This research is study of fluid flow when fluid flow through decreased and increased dimensional pipe using water and air as medium. In evaluation we use flow rate of 30 and 35 liters/minute for water medium and 28 and 33 liters/minute for air medium. Photo capture with laser technique is used as means to measure the flow rate with particles that mix into fluid. To determinate flow rate and direction by photo capture with laser technique are depend on reflection of laser that reflect from particles together with photo capture continuously, it will be make understanding how this fluid flow in pipe.

From result found that when fluid flow through increase dimensional pipe, its flow rate will decreasing and also whirl within test section. In other hand, when this fluid flow through decreased dimensional pipe, its flow rate will increasing and whirl at test section edge a few. The result from photo capture with laser technique type fluid flow rate meter show that it flow within plan that laser are exposed with particle in same plan with laser completely.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณท่าน อาจารย์ ดร. พิชัย อัมภมมงคล และท่านอาจารย์ ดร.ไพศาล นาผล
ที่กรุณาให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะต่างๆ

ขอขอบคุณ ทางคณะกรรมการพิจารณาทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงิน
รายได้มหาวิทยาลัย (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์) ทุกท่านที่ให้การสนับสนุน

ขอขอบคุณ นายพรชัย เต๊ะชัย นายณรงค์ สมบุญ และนายธรรมรงค์ ธาราสันติสุข
นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ช่วยในการสร้างชุดทดลอง และรายงาน
วิจัยฉบับสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณบิดามารดาคณาจารย์ทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่คณะ
ผู้จัดทำ จนกระทั่งสามารถทำให้คณะผู้จัดทำ สามารถทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

ขอขอบคุณบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุน
และให้การช่วยเหลือในทุกๆด้านมาโดยตลอด

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่	?
1. บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญของโครงการวิศวกรรม	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิศวกรรม	2
ขอบเขตของโครงการวิศวกรรม	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎี	4
หลักพื้นฐานของ Particle Image Velocimetry (PIV)	4
ส่วนประกอบของเครื่อง Particle Image Velocimetry	5
การใส่อนุภาคลงในระบบของไหล	7
สิ่งที่จะต้องคำนึงในการเลือกอนุภาค(Particle)	7
การกระจายแสงของอนุภาค	8
การควบคุมการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์	8
3. การออกแบบและการคำนวณ	11
หลักในการออกแบบและการทดลอง	11

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 (ต่อ)	
การออกแบบสำหรับอุปกรณ์ชุดทดลอง	11
การคำนวณและการออกแบบท่อออริฟิซ	16
การคำนวณหาอัตราการไหลของชุดทดลองที่ใช้อากาศเป็นสารตัวกลาง	17
ส่วนประกอบของชุดทดลองที่ใช้อากาศเป็นสารตัวกลาง	19
ส่วนประกอบของชุดทดลองที่ใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง	19
4. วิธีการทดลองและผลการทดลอง	21
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	55
สรุปผลการทดลอง	55
ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก แบบและภาพถ่ายโครงงานวิศวกรรม	58
ประวัติย่อผู้วิจัย	66



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของเครื่อง Particle Image Velocimetry	5
3.1 ไดอะแกรมของชุดทดลองที่ใช้อากาศเป็นสารตัวกลาง	20
3.2 ไดอะแกรมของชุดทดลองที่ใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง	20
4.1 แสดงอนุภาคที่อยู่ในระบบเมื่ออากาศไหลผ่านท่อลดขนาด	23
4.2 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่ออากาศไหลผ่านท่อลดที่อัตราการไหล 28 ลิตรต่อ นาที่	24
4.3 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section	25
4.4 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section	25
4.5 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour	26
4.6 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่ออากาศไหลผ่านท่อลดที่อัตราการไหล 33.6 ลิตรต่อ นาที่	27
4.7 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section	28
4.8 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section	28
4.9 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour	29
4.10 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของของไหล	30
4.11 แสดงอนุภาคที่อยู่ในระบบเมื่ออากาศไหลผ่านท่อเพิ่มขนาด	31
4.12 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่ออากาศไหลผ่านท่อเพิ่มที่อัตราการไหล 28 ลิตรต่อ นาที่	32
4.13 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section	33
4.14 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section	33
4.15 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour	34

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่ออากาศไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดที่อัตราการไหล 33.6 ลิตรต่อนาที	35
4.17 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section	36
4.18 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section	36
4.19 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour	37
4.20 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของของไหล	38
4.21 แสดงอนุภาคที่อยู่ในระบบเมื่อน้ำไหลผ่านท่อลดขนาด	39
4.22 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่อน้ำไหลผ่านท่อลดขนาดที่อัตราการไหล 30 ลิตร ต่อนาที	40
4.23 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section	41
4.24 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section	41
4.25 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour	42
4.26 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่อน้ำไหลผ่านท่อลดขนาดที่อัตราการไหล 35 ลิตรต่อ นาที	43
4.27 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section	44
4.28 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section	44
4.29 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour	45
4.30 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของของไหล	46
4.31 แสดงอนุภาคที่อยู่ในระบบเมื่อน้ำไหลผ่านท่อเพิ่มขนาด	47
4.32 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่อน้ำไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดที่อัตราการไหล 30 ลิตร ต่อนาที	48
4.33 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section	49
4.34 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section	49
4.35 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour	50
4.36 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่อน้ำไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดที่อัตราการไหล 35 ลิตร ต่อนาที	51
4.37 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section	52

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.38 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section	52
4.39 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour	53
4.40 กราฟเปรียบเทียบความเร็วของของไหล	54
รูปผนวกที่	หน้า
1 Synchronizer	59
2 Light Source	59
3 Dual YGA	59
4 CCD camera	60
5 Filter	60
6 Computer	60
7 ถาดคั่นขนาดอนุภาคนาขนาด 75 ไมครอน ยี่ห้อ Retsdh	61
8 อนุภาคไมโครบอลลู่น	61
9 อนุภาค Fume Silica	61
10 Inverter	62
11 เครื่องมือวัดความดันตกคร่อมที่ออริฟิซ	62
12 ท่อออริฟิซ	63
13 Test Section	63
14 ชุดทดลองที่ใช้อากาศเป็นสารตัวกลาง	64
15 ชุดทดลองที่ใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง	65

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A_o	พื้นที่ของรูบนแผ่นออริฟิซ	m^2
A	พื้นที่หน้าตัดท่อ	m^2
BHP	แรงม้าของเครื่องสูบน้ำ	-
C_o	Orifice Discharge Coefficient	-
d	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ	m
D	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกท่อ	m
f	แฟกเตอร์ของความเสียดทาน	-
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	Nm/s^2
h_f	การสูญเสียพลังงานหลัก	m
h_{Loss}	ค่าสูญเสียความดัน	m
H	ความดันสูญเสียทั้งหมด	m
K	แฟกเตอร์ของการสูญเสีย	-
L	ความยาวท่อ	m
P	ความดัน	Pa
Q	อัตราการไหล	L/s
Re	ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์	-
S.G.	ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำ	-
V	ปริมาตรจำเพาะ	m^3/kg
v	ความเร็ว	m/s
WHP	กำลังของเครื่องสูบน้ำ	W
Z	ความสูงจากระดับที่เทียบถึงจุดวิเคราะห์	m
ρ	ความหนาแน่น	kg/m^3
γ	น้ำหนักจำเพาะ	N/m^2
ν	ความหนืด	-
η	ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ	%

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ในชีวิตประจำวันเราได้พึ่งพาความรู้ด้านพลศาสตร์ของของไหล เช่น ในการออกแบบเตาไมโครเวฟ การขนส่งผลไม้ในตู้แช่แข็งไปยังตลาด การออกแบบเครื่องยนต์ของรถยนต์ หรือเครื่องบินการพยากรณ์อากาศ การขนส่งน้ำมันในท่อ การขนส่งน้ำไปยังท่อต่างๆ เหล่านี้มีประสิทธิภาพสูงสุด เราจะต้องเข้าใจถึงพลศาสตร์ของของไหลให้มากที่สุด

Particle Image Velocimetry (PIV) คือการวัดความเร็วของของไหลโดยการใช้ภาพของอนุภาคที่แขวนตัวอยู่ในของไหล เป็นวิธีการใหม่ที่นักพลศาสตร์ของไหลได้พัฒนาขึ้นในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา เพื่อใช้วิเคราะห์ปัญหาบางอย่างที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในอดีต นั่นก็คือ ทำอย่างไรจึงจะสามารถวิเคราะห์การไหลที่ซับซ้อนได้อย่างทันทีทันใด ทว่าทั้งพื้นที่การไหลที่สนใจ (Instantaneous complex flow measurement) โดยปราศจากการรบกวนหรือกีดขวางเส้นทางการไหลของของไหลในอดีตการวัดการไหลก่อนที่จะมีการคิดค้น PIV จะกระทำโดยการใช้เครื่องมือวัด (Probe) ที่เป็นแผง (Array) ยื่นเข้าไปวัดบริเวณที่ต้องการ เช่น การยื่นเข้าไปในท่อทาง หรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ของไหลไหลผ่าน หรือการใช้เครื่องมือวัดชิ้นเดียวทำการวัดซ้ำๆ กันหลายๆ ครั้งในบริเวณที่ต่างเพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลทั่วทั้งบริเวณที่ต้องการ ซึ่งทั้งสองวิธีนี้เครื่องมือวัดจะเข้าไปกีดขวางเส้นทางการไหลทำให้ผลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉพาะ วิธีหลังนั้น ลักษณะการไหลอาจเปลี่ยนไปจากเดิมในขณะที่ตำแหน่งการวัดที่ตำแหน่งอื่นๆ ดังนั้นการวัดการไหลโดยวิธีที่ใช้เครื่องมือยื่นเข้าไปกีดขวางเส้นทางการไหล ของของไหลนั้นเป็นวิธีค่อนข้างเสียเวลาและไม่ค่อยมีประสิทธิภาพเท่าที่ควรในการวัดการไหลที่ซับซ้อน

PIV เป็นเทคนิคการวัดที่สามารถวัดการไหลขณะใดขณะหนึ่งได้ โดยไม่มีการรบกวนการไหลของของไหล สามารถวัดการไหลได้ทั่วทั้งพื้นที่ที่ต้องการวัดจากการวัดเพียงครั้งเดียว การวัดที่ถือได้ว่าเป็นการวัดในขณะใดขณะหนึ่ง คือ การวัดที่ใช้เวลาในการวัดน้อยมากเมื่อเทียบกับเวลาที่ของไหลเปลี่ยนแปลงการไหลอย่างเด่นชัด วิธีการที่ใช้สำหรับ PIV จะประกอบด้วย การทำให้เห็นภาพการไหล (Flow visualization) และการวัดอัตราเร็วของของไหลขณะใดขณะหนึ่ง

เป็นจำนวนมากในบริเวณที่กว้าง ซึ่งเป็นเครื่องมือในการวัดการไหลที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพสูงสำหรับการศึกษาพลศาสตร์ของไหลในปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาลักษณะการไหลของของไหลมีหลากหลายชนิด ซึ่งเครื่อง Particle Image Velocimetry (PIV) ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ในการศึกษาลักษณะการไหลของของไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบกับซึ่งทางภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลก็มีเครื่อง Particle Image Velocimetry (PIV) อยู่แล้วซึ่งยังขาดชุดทดลองที่ใช้ร่วมกับเครื่อง Particle Image Velocimetry (PIV) ดังนั้นจึงได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองซึ่งมีลักษณะเป็นท่อที่มีการไหลแบบวนซ้ำเพื่อใช้ในการทดลอง

โดยในการทดลองจะมีการใส่อนุภาคที่เป็นของแข็ง และมีขนาดเล็กลงไปในการไหลด้วย เมื่อทำการฉายแสงเลเซอร์ก็จะไปกระทบกับอนุภาคที่เราได้ผสมลงไปในการไหลจึงเกิดการสะท้อนกับแสงเลเซอร์ และเมื่อทำการถ่ายภาพอย่างต่อเนื่องจึงทำให้ทราบทิศทางของการไหลของของไหลภายในท่อที่ลดและเพิ่มขนาดออกมาในลักษณะที่เป็นเวกเตอร์

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองที่มีท่อเพิ่มและลดขนาด โดยสามารถใช้ร่วมกับเครื่อง Particle Image Velocimetry (PIV)
2. เพื่อศึกษารูปแบบ ทิศทางและความเร็วของของไหลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะของท่อจากเทคนิคการถ่ายภาพด้วยแสงเลเซอร์

ขอบเขตของโครงการ

1. ออกแบบและสร้างชุดทดลองที่ใช้กับเครื่อง PIV ซึ่งมี 2 ชุดคือ
 - 1.1 ชุดทดลองที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการทดลอง
 - 1.2 ชุดทดลองที่ใช้อากาศเป็นตัวกลางในการทดลอง
2. ทำการทดลอง โดยทำการศึกษารูปแบบ ทิศทาง ความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านท่อลดขนาดซึ่งมีขนาด 2 นิ้ว และท่อเพิ่มขยายซึ่งมีขนาด 3 นิ้ว เมื่อของไหลคือ น้ำ และ อากาศ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นชุดทดลองที่สามารถใช้ร่วมกับเครื่อง Particle Image Velocimetry (PIV) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. เพื่อเป็นชุดทดลองที่ทำให้นิสิตที่ทำการทดลองสามารถเรียนรู้และเข้าใจรูปแบบ ทิศทางและความเร็วของของไหลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะของท่อลดขนาดและท่อเพิ่มขนาดได้



บทที่ 2

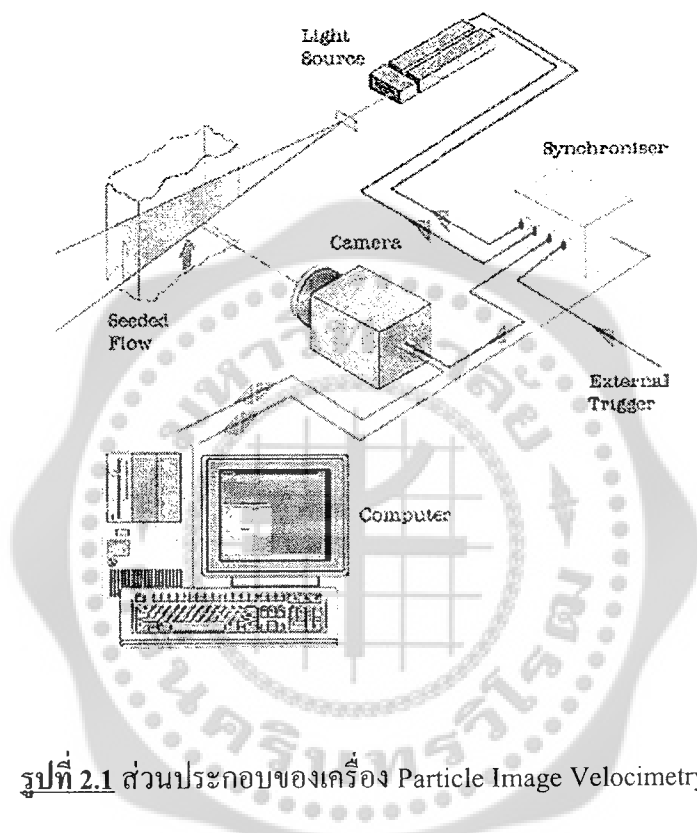
ทฤษฎี

หลักพื้นฐานของ Particle Image Velocimetry (PIV)

ในของไหลที่จะทำการวัดจะถูกใส่อนุภาคเล็กๆที่เหมาะสมลงไปจำนวนหนึ่ง ซึ่งอนุภาคนี้จะต้องสามารถสะท้อนแสงได้ดีเมื่อถูกผ่านลำแสง อนุภาคเหล่านี้จะต้องสามารถเคลื่อนที่ตามของไหลได้อย่างเที่ยงตรง หรือเรียกได้ว่าเป็นอนุภาคที่มีความถี่ในการตอบสนองสูง (High Frequency Response) เมื่อของไหลมีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ เช่น เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นอนุภาคจะต้องมีความเร็วเพิ่มขึ้นตาม ของไหลได้อย่างรวดเร็วใช้เวลาอันสั้นที่จะปรับความเร็วให้ได้เท่ากับความเร็วของไหล ในขณะที่อนุภาคถูกผ่านลำแสงก็จะสะท้อนออกมาเป็นจุดเล็กๆ ซึ่งจะคล้ายกับดวงดาวเล็กๆ บนท้องฟ้าในคืนที่มีดสนิท เมื่อแสงถูกสะท้อนออกมา การเคลื่อนที่ของก๊าซ หรือของเหลวก็จะถูกตรวจจับโดยกล้องที่อยู่ทางด้านข้างซึ่งกล้องที่การจับภาพนี้ อาจจะเป็นกล้องที่ใช้แผ่นฟิล์มความเร็วสูง หรือเป็นกล้องดิจิทัลที่มีความละเอียดสูงก็ได้

แผ่นลำแสงที่ฉายไปที่ของไหลจะถูกฉายเป็นจังหวะและกล้องก็จะถูกตั้งค่าไว้ให้จับภาพไว้ได้ในขณะที่ลำแสงถูกฉายออกไป 2 ครั้ง ติดต่อกันหรือมากกว่า ผลของการจับภาพจากแสงที่สะท้อนออกมาจากภาพเล็กๆ ที่อยู่ภายในของไหล 2 ครั้งติดต่อกัน (Double-exposed Image) หรือมากกว่า 2 ครั้ง (Multi exposed Image) จะแสดงถึงระยะกระจัดหรือระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้ ของอนุภาคเล็กๆ ภายใต้พื้นที่ที่ทำการวัดในช่วงเวลาระหว่างลำแสง 2 ครั้ง ซึ่งก็จะถูกนำมาวิเคราะห์และปรับเปลี่ยนออกมาเป็นความเร็วของของไหลขณะนั้น ข้อมูลของความเร็วที่ได้จากวิธีการนี้จะมีแนวโน้มเป็นความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง ก็ต่อเมื่อช่วงเวลาระหว่างการฉายลำแสงทั้งสองครั้งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ トラバ狄ก็ตามถ้าช่วงระยะเวลาระหว่างการฉายลำแสงและช่วงเวลาการรับแสงของกล้อง มีค่าน้อยกว่าช่วงเวลาที่น้อยที่สุดที่ของไหลจะเปลี่ยนแปลง การไหล ความเร็วที่คิดได้จากวิธีนี้จะแสดงให้เห็นถึงความเร็วขณะใดขณะหนึ่งของของไหลที่เราทำการวัดโดยทั่วๆ ไปภาพที่ได้จาก PIV จะถูกวิเคราะห์โดยการแบ่งเป็นพื้นที่เล็กๆ ขนาดของพื้นที่จะถูกเลือกให้มีจำนวนคู่ของอนุภาคเพียงพอต่อความต้องการ ในการวัดระยะกระจัดในพื้นที่นั้น แต่พื้นที่นั้นจะต้องเล็กเพียง

พอที่จะไม่ทำให้เกิดความแตกต่างกัน ของความเร็วของอนุภาค ซึ่งแต่ละอนุภาคจะไม่เกิน 5% ชุด Synchronizer และชุด Acquisition จะถูกนำมาใช้ร่วมกันเพื่อควบคุมเวลาในการปล่อยลำแสงและใช้ในการส่งสัญญาณไปยังกล้องให้จับภาพและอุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์

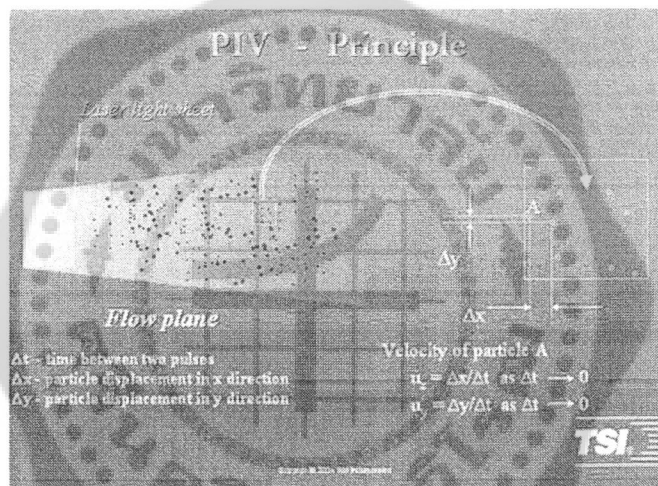


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของเครื่อง Particle Image Velocimetry

โดยชุดเครื่องมือ PIV จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1. อุปกรณ์ให้กำเนิดและส่องแสงเลเซอร์ ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ ชุดส่งลำแสงเลเซอร์ และ ชุด Light Sheet Optic ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าว ทำหน้าที่ในการส่องแสงสว่างไปยังพื้นที่หน้าตัดของลำของของไหล หรืออนุภาคในลำของของไหล ด้วยแสงเลเซอร์
2. อุปกรณ์ตรวจจับภาพ ได้แก่ กล้องดิจิทัล ชุดเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างกล้องและคอมพิวเตอร์ และ อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวทำหน้าที่ถ่ายภาพและส่งภาพไปประมวลผลไปยังคอมพิวเตอร์ และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ให้ทำงานเข้ากันได้
3. อุปกรณ์ประมวลผลและแสดงผล ได้แก่ คอมพิวเตอร์ และ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการแสดงผล ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวทำหน้าที่ในการประมวลผลเพื่อหาเวกเตอร์ความเร็วของของไหล และแสดงผลการวิเคราะห์ออกทางหน้าจอ

เครื่องมือวัดความเร็วของของไหลด้วยเทคนิคการถ่ายภาพจากแสงเลเซอร์ หรือ PIV นั้น เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับ รูปแบบ ทิศทาง และความเร็วของของไหล (อากาศ น้ำ หรือ ของไหลอื่นๆ) หลายๆ จุดในเวลาเดียวโดยอาศัยเทคนิคการถ่ายภาพสองภาพ ต่อเนื่องกันด้วยความเร็วสูง ที่น้อยกว่า 100 นาโนวินาที ซึ่งจะได้เปรียบการตรวจวัดด้วยเทคนิค Laser Doppler Velocimetry หรือ LDV ที่สามารถวัดความเร็วของของไหลได้ครั้งละจุดเดียวเท่านั้น ซึ่งภายในลำของของไหลนั้นจะต้องมีอนุภาค ซึ่งถือเป็นตัวแทนของลำของของไหลอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะสมสมควร และการวัดความเร็วของของไหลนั้นก็สามารถทำได้ด้วยการวัดการเคลื่อนที่ไปของอนุภาคในลำของของไหล ซึ่งจะสะท้อนแสงเลเซอร์ที่เราส่องเข้าไปในลำของของไหลนั่นเอง



รูปที่ 2.2 แสดงหลักการของเครื่อง PIV

เมื่อได้ภาพถ่ายสองภาพที่ต่อเนื่องกันมาแล้ว ดังนั้นภาพถ่ายทั้งสองภาพจะถูกนำมาประมวลผลด้วยเทคนิค Cross correlation Algorithm โดยการแบ่งเป็นพื้นที่ย่อยๆ ซึ่งเรียกว่า Interrogation region ดังภาพ แล้วทำการหา Cross correlation function ในแต่ละ Interrogation region ย่อยๆ นั้น มาประกอบกันทำให้ได้สนามเวกเตอร์ (Vector Field) ของทั้งภาพซึ่งก็คือหน้าตัดลำของของไหลและด้วยเทคนิค Hart correlation algorithm ทำให้การประมวลผลหาสนามเวกเตอร์มีความแม่นยำสูงขึ้นและมีความละเอียดสูงกว่าการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอื่นๆ ชุดเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลด้วยเทคนิคการถ่ายภาพจากแสงเลเซอร์หรือ PIV นั้นสามารถทำการวิเคราะห์ความเร็วของของไหลทั้งในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยจะขึ้นอยู่กับตัวเลือกส่วนประกอบของเครื่องมือให้เหมาะสม

ปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีที่ก้าวไปอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆ เช่น กล้องดิจิทัลความเร็วสูง รวมไปถึงเลเซอร์ที่สามารถกำเนิดแสงได้ด้วยความถี่สูง ทำให้เกิดระบบ High Frame rate PIV system ซึ่งสามารถถ่ายภาพด้วยความเร็วสูงเพียงพอที่จะจับการเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหลได้

การใส่อนุภาคลงในระบบของไหล

การใช้เทคนิค PIV สำหรับการวัดความเร็วของของไหลนั้นจะต้องมีการเติมอนุภาคเล็กๆ ลงในระบบของของไหลเพื่อที่จะทำการวัด ซึ่งนับว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากในการใช้เทคนิค PIV มีน้อยครั้งที่สามารถใช้ PIV โดยไม่ต้องเติมอนุภาคลงไป การใช้เทคนิค PIV โดยไม่เติมอนุภาคลงไปนี้จะวัดได้โดยอาศัยสิ่งเจือปนที่อยู่ในของไหลเองเช่นฝุ่นละอองฟองอากาศเล็กๆ หรือละอองน้ำ การใส่อนุภาคลงในระบบของไหลจะใส่ผสมกับของไหลในระบบ

สิ่งที่ต้องคำนึงในการเลือกอนุภาค(Particle)

1. ประเภทของของไหลที่จะทำการวัด (น้ำหรืออากาศ)
 2. ปริมาณของอนุภาคที่ต้องเติมลงในระบบ
 3. ความเร็วของของไหล
 4. ความสามารถในการไหลไปกับของไหลอนุภาค
 5. ความสามารถในการสะท้อนแสง
 6. ขนาดของอนุภาคในภาพที่ตรวจจับได้
 7. ความปลอดภัยในการใช้งาน เช่น ความสามารถในการติดไฟ การย่อยสลาย
- การระเหย เป็นต้น
8. ราคา

ความสามารถของอนุภาคในการไหลไปกับของไหล

ขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเมื่อพิจารณาพร้อมกับ ความหนาแน่นและความหนืดของของไหล จะทำให้เราทราบถึงผลกระทบของแรงลอยตัวและความเฉื่อยของอนุภาคที่มีต่อของไหล การที่จะทำให้อนุภาคมีแรงลอยตัวเป็นศูนย์ (อนุภาคจะแขวนลอยอยู่ในของไหล) นั้นทำได้ยากแต่อย่างไรก็ตามอนุภาคจะต้องกระจายตัวอยู่ในของไหล อย่างสม่ำเสมอในระหว่างการทดลอง

การเติมอนุภาคลงในของเหลวนั้นทำได้ง่ายกว่าในอากาศ เนื่องจากของเหลวมีความหนาแน่นมากกว่าและการไหลของของเหลวส่วนใหญ่จะมีความเร็วและความเร่งต่ำกว่า จึงทำให้สามารถเลือกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และง่ายต่อการตรวจจับมากกว่า

การกระจายของแสงจากอนุภาค

แสงที่สะท้อนออกมาจากอนุภาค เป็นเพียงส่วนหนึ่งของแสงทั้งหมดที่ฉายไปยังของไหลและแสงที่สะท้อนออกมาจากอนุภาคก็จะมีเพียงบางส่วนที่ห้ามุมหักเหให้กล้องสามารถรับแสงได้ ดังนั้นขนาดและชนิดของอนุภาคซึ่งมีความสามารถในการสะท้อนแสงแตกต่างกันจะส่งผลต่อความคมชัดของอนุภาคที่ปรากฏบนภาพ ภาพของอนุภาคโดยเฉลี่ยแล้วจะต้องมีความคมชัดที่มากกว่า ระดับของพื้นหลังที่(Background) บนภาพ

การทำให้อนุภาคสะท้อนแสง

ในการบันทึกภาพของอนุภาคจะมีแหล่งกำเนิดพลังงานแสงที่เพียงพอ ในการฉายไปยังบริเวณระนาบที่จะทำการวัด และลำแสงที่ฉายไปนั้นจะต้องเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อจะได้ไม่เกิดเป็นลายเส้นของอนุภาคบนภาพที่จะบันทึก โดยช่วงระยะเวลาที่ฉายลำแสงนั้นอนุภาคจะต้องไม่เคลื่อนที่ไปมากกว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงทั่วไปสามารถนำมาใช้ได้แต่จะมีข้อจำกัดเฉพาะในการไหลที่มีความเร็วต่ำ เนื่องจากความเข้มของแสงต่ำ ดังนั้นจึงต้องใช้เวลามากขึ้นเพื่อให้แสงที่สะท้อนออกมาจากอนุภาคเพียงพอต่อการบันทึกภาพด้วยเหตุผลนี้เองระบบ PIV ส่วนใหญ่จึงจำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นอุปกรณ์เลเซอร์เพราะว่าเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มสูง และสามารถทำให้เป็นแผ่นลำแสงที่มีความหนาในระดับไมครอนได้ง่ายและสะดวกโดยการใช้เลนส์ชนิดทรงกระบอก (Cylindrical Lens) ในการเปลี่ยนลำแสงเลเซอร์ (Laser beam) เป็นแผ่นลำแสง (Laser Sheet) เครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์สามารถใช้ทั้งชนิดที่เป็นลำแสงต่อเนื่อง (Continuous wave Laser ,CW) และชนิดที่ปล่อยลำแสงเป็นช่วงๆ (Pulsed Lasers)

การควบคุมการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์

ในระบบ PIV มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบระยะเวลาที่แน่นอนในการบันทึก ภาพและการปล่อยลำแสง ดังนั้นจะต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเวลาในการทำงานของอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อให้สามารถทำงานได้สอดคล้องกันในช่วงเวลาที่เหมาะสม เช่น การบันทึกภาพและการถ่ายโอนข้อมูลของภาพจากกล้องมายังคอมพิวเตอร์จะต้องกระทำในจังหวะที่ลำแสงได้ผ่าน

ไปยังบริเวณพื้นที่ที่ทดลอง ไม่อย่างนั้นกล้องจะไม่สามารถบันทึกแสงที่ออกมาจากอนุภาคได้ทัน อุปกรณ์ทุกชิ้นอาจไม่ทำงานพร้อมกัน แต่จะมีระยะเวลาในการทำงานที่แตกต่างกันในระดับคงที่ ดังนั้นในบางครั้งก็จะต้องมีเครื่องหน่วงสัญญาณเพื่อให้สัญญาณ ที่จะต้องใช้ในการกระตุ้นให้อุปกรณ์บางชนิดทำงานถูกหน่วงไว้ และส่งสัญญาณไปหลังจากที่อุปกรณ์อื่นได้ทำงานไปแล้ว เช่น ในการปล่อยลำแสงเลเซอร์ออกไปต้องมีสัญญาณ ไปกระตุ้นให้เครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ปล่อยลำแสงออกมาแต่หลังจากถูกกระตุ้นแล้วเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ จะไม่สามารถปล่อยลำแสงได้ทันที ทันใดและความเข้มของแสงสูงสุด ไม่ได้เกิดขึ้นหลังจากที่ลำแสงถูกปล่อยออกไปทันที ดังนั้นจะเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่งที่จะต้องรอ (เป็นเวลาที่สั้นมากในระดับไมโครวินาทีหรือมิลลิวินาที) ก่อนจะส่งสัญญาณอีกสัญญาณหนึ่งไปที่อุปกรณ์บันทึกภาพ โดยจะต้องบันทึกภาพในจังหวะเดียวกับที่เลเซอร์มีความเข้มสูงสุดอุปกรณ์ที่ถูกนำไปใช้ในการหน่วงสัญญาณนี้ก็คือ Digital หรือ Pulse Delay Generator โดยจะใช้ควบคู่กับเครื่องควบคุมเวลาในการทำงาน

กล้องบันทึกภาพ

ในการเลือกใช้กล้องบันทึกภาพนั้นเป็นสิ่งสำคัญในระบบ PIV เนื่องจากการวัดความเร็วของการไหลนั้นจะอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพที่บันทึกไว้ เลนส์ที่ใช้จะต้องไม่ทำให้เกิดการกระจายของแสงที่ออกมาจากอนุภาคเพื่อที่จะให้ภาพของอนุภาคเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งจะทำให้ความเที่ยงตรงในการวัดรูปทรงและการไหลควบคุมสำหรับบันทึกภาพของกล้อง ก็มีส่วนที่สำคัญมาก ระยะเวลาในการทำงานของกล้องหลังจากที่ส่งสัญญาณให้บันทึกภาพ จนถึงเวลาที่หน้ากล้องเปิดรับแสงก็จะต้องทราบเวลาที่แน่นอนและสามารถวัดได้ จำนวนครั้งที่หน้ากล้องเปิดรับแสงนั้นก็ต้องสามารถควบคุมได้ ซึ่งคุณสมบัติและละเอียดข้อจำกัดต่างๆ เหล่านี้สามารถแก้ไขหรือหลีกเลี่ยงได้ด้วยการใช้กล้องดิจิทัล อุปกรณ์รับแสงไม่ว่าจะเป็นแผ่นฟิล์มหรือเซลล์รับแสงจะต้องมีความไวต่อความยาวคลื่นของแสง ที่สะท้อนออกมาเพื่อให้เกิดความคมชัดของภาพที่บันทึกได้

และในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่ระบบ PIV จะใช้กล้องดิจิทัลที่มีเซลล์รับแสงชนิด CCD แทนการใช้ฟิล์มถ่ายรูปเนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายอย่าง นอกจากนั้นความละเอียดของภาพและอัตราเร็วในการบันทึกภาพของกล้องก็มีความสำคัญไม่น้อย ของไหลที่มีความเร็วสูงก็จะต้องใช้กล้องที่มีอัตราเร็วในการบันทึกที่สูงด้วย (Frame rate) การใช้กล้องดิจิทัลมีข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่งคือ ผู้ใช้สามารถส่งถ่ายข้อมูลที่บันทึกไว้ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทันที ซึ่งทำให้ทราบข้อมูลและสามารถปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขการทดลองได้อย่างรวดเร็ว

ซอฟต์แวร์สำหรับและควบคุมประเมินผล

หัวใจสำคัญของการวิเคราะห์และประเมินผลของซอฟต์แวร์ในระบบ ก็คือการหาระยะ ทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ไปได้ในช่วงระยะเวลาที่ทราบแน่นอน ภาพที่บันทึกได้จะถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่เล็กๆ จำนวนมาก และในแต่ละพื้นที่จะให้ข้อมูลของระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้ เมื่อซอฟต์แวร์ได้ประมวลผลข้อมูลวิธีการที่ใช้ในการประมวลผลภาพที่บันทึกได้นั้นจะมีสองวิธีคือการติดตามอนุภาคและการประมวลผล โดยวิธี Correlation ทั้งสองวิธีต่างมีข้อได้เปรียบซึ่งกันและกันและสามารถใช้ร่วมกันได้ แต่วิธี Correlation จะเป็นวิธีที่ใช้ได้ผลดีมากกว่า

การประมวลผลโดยวิธี Correlation นั้นจะทำการวัดระยะทางเฉลี่ยของอนุภาคที่อยู่ในพื้นที่เล็กๆ ที่ถูกแบ่ง ซึ่งการประมวลผลโดยวิธี Correlation นี้ ก็จะแบ่งได้เป็นสองวิธีย่อย คือวิธี Auto-correlation และ Cross-correlation วิธีประมวลผลโดย Auto-correlation นั้นจะใช้ภาพของอนุภาคที่บันทึกไว้เพียงภาพเดียว แต่เป็นภาพที่ลำแสงถูกปล่อยออกมาสองครั้ง หรือมากกว่า ติดต่อกันในช่วงระยะเวลาสั้นๆ โดยหนึ่งอนุภาคจะปรากฏเป็นสองจุดหรือมากกว่า (ถ้าหากปล่อยลำแสงมากกว่าสองครั้ง) บนภาพที่บันทึก เมื่อนำมาประมวลผลโดยวิธี Auto-correlation จะได้ระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้ในช่วงเวลาที่ทราบแน่นอน นั่นก็คือทำให้เราทราบความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ เราไม่ทราบว่าจุดใดเป็นจุดที่เกิดขึ้นจากลำแสงครั้งแรก และจุดใดเป็นจุดที่เกิดจากลำแสงครั้งที่สอง ดังนั้นเราจะไม่สามารถทราบทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคว่ามีทิศทางใดในระหว่างทิศทางที่ได้ หรือทิศทางตรงกันข้าม (180 องศา) วิธีที่สองซึ่งเป็นวิธี Cross-correlation นั้นจะต้องประมวลผลมาจากภาพที่บันทึกไว้สองภาพ โดยแต่ละภาพนั้นจะต้องมีการปล่อยลำแสงออกมาเพียงครั้งเดียว (1 Pulse/Frame) และเนื่องจากเราทราบว่าภาพใดเป็นภาพแรก ภาพใดเป็นภาพหลัง จึงไม่เกิดการสับสนในเรื่องของทิศทางการเคลื่อนที่ นอกจากนั้นยังไม่มีข้อจำกัดในการวัดความเร็วในย่านที่มีความเร็วเป็นศูนย์

อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีการใช้ภาพที่มีความคมชัด และมีความเร็วสูงก็ยังมีข้อจำกัดในการประมวลผลโดยวิธีติดตามอนุภาค (Particle tracking) และโดยวิธี Correlation ซึ่งจะทำให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนได้นั้นก็คือจำนวนคู่ของอนุภาคไม่เพียงพอในพื้นที่เล็กๆ ที่ทำการประมวลผลอนุภาคที่เคลื่อนที่หลุดออกนอกพื้นที่ ในขณะที่ปล่อยลำแสงครั้งที่สองและการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ค่อนข้างสูงมากของของไหลและอื่นๆ ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลมาทำการประมวลผลซ้ำอีก เพื่อลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการทดลอง และวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยต่างๆ จากข้อมูลหรือตำแหน่งข้างเคียงเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

หลักในการออกแบบและการทดลอง

1. ชุดทดลองจะต้องมีมาตรวัดต่าง ๆ ที่สามารถอ่านค่าได้สะดวกเพื่อง่ายต่อการคำนวณทางทฤษฎี
2. ชุดทดลองจะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สามารถถอด และประกอบได้ง่าย เพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษาและเปลี่ยนอุปกรณ์
3. ชุดทดลองจะต้องสามารถใช้ร่วมกับเครื่อง Particle Image Velocimetry (PIV) ได้ง่ายมีประสิทธิภาพและสะดวกต่อการใช้งาน

การออกแบบอุปกรณ์สำหรับชุดทดลอง

1. ท่อลดและท่อเพิ่มขนาด ทำจากแก้วใส สามารถแสดงให้เห็นลักษณะการไหลได้อย่างชัดเจนซึ่งขนาดท่อลดขนาดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว หรือ 50.8 มิลลิเมตรและท่อเพิ่มขนาดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว หรือ 76.2 มิลลิเมตร และมีความยาวทั้งหมด 23.62 นิ้ว หรือ 600 มิลลิเมตร
2. ท่อน้ำทางคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้ท่อ PVC ซึ่งมีขนาด 2 นิ้วและ 3 นิ้วเนื่องจากท่อ PVC มีน้ำหนักเบาและสามารถถอดและประกอบได้สะดวก
3. เครื่องสูบน้ำ(pump) หรือ ปั้มน้ำที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มี 2 ประเภทคือ แบบหมุนเหวี่ยง(Centrifugal Pump) และแบบสูบชัก (Displacement Pump) ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้เลือกแบบหมุนเหวี่ยง ซึ่งเป็นปั้มน้ำที่ให้อัตราการไหลที่แรงดันคงที่ มีราคาถูกแต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพของปั้มน้ำจะไม่ครบ 100 % ตามที่คำนวณไว้ การเลือกขนาดของปั้มน้ำจากขนาดที่บอกเป็นวัตต์ (W) หรือแรงม้า (Hp) ในชุดทดลองการเกิดโพรงอากาศคณะผู้จัดทำได้คำนวณขนาดปั้มน้ำไว้ดังนี้ จากชุดทดลองประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 ท่อ PVC ขนาด 1.5 นิ้ว

เส้นผ่านศูนย์กลาง	= 0.0381 m
ความหนาแน่นของน้ำ	= 999 kg/m ³
ความหนืดเชิงจลน์	= 1.12 x 10 ⁻⁶ m ² /s
ความเร็ว	= 1 m/s
ความยาวประมาณ	= 5 m

จากสมการที่ 2.9 แทนค่า

$$R_e = \frac{(0.038 \times 1)}{1.12 \times 10^{-6}}$$

$$= 34,017.85$$

จากรูปที่ 2.3 เลือกใช้แบบ Smooth Pipe ได้ค่า f เท่ากับ 0.023
ดังนั้นจากสมการ 2.10

$$h_f = \frac{(0.023 \times 5) \times (1^2)}{(0.0381 \times 2 \times 9.81)}$$

$$= 0.15384 \text{ m}$$

ข้อต่อ 90° จำนวน 8 อันจากตารางที่ 2.1 มีค่า K เท่ากับ 0.7

จากสมการที่ 2.11

$$h_m = \frac{(0.7 \times 8) \times (1^2)}{(2 \times 9.81)}$$

$$= 0.28542 \text{ m}$$

ข้อต่อที จำนวน 1 อันจากตารางที่ 2.1 มีค่า K เท่ากับ 0.9

จากสมการที่ 2.11

$$h_m = \frac{(0.9 \times 1) \times (1^2)}{(2 \times 9.81)}$$

$$= 0.04587 \text{ m}$$

Ball Valve จำนวน 1 อันจากตารางที่ 2.1 มีค่า K เท่ากับ 0.05

จากสมการที่ 2.11

$$h_m = \frac{(0.05 \times 1) \times (1^2)}{(2 \times 9.81)}$$

$$= 0.00255 \text{ m}$$

Gate Valve จำนวน 1 อัน เนื่องจากเป็นวาล์วที่ใช้ในการปรับอัตราการไหลจึงเลือกใช้ค่า K ที่มากที่สุดจากตารางที่ 2.1 ค่า K ที่มากที่สุดของ Gate Valve อยู่ ในตำแหน่ง Gate, 3/4 closed ซึ่งมีค่าเท่ากับ 17

จากสมการที่ 2.11

$$h_m = \frac{(17 \times 1) \times (1^2)}{(2 \times 9.81)}$$

$$= 0.8666 \text{ m}$$

ส่วนที่ 2 ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว

เส้นผ่านศูนย์กลาง	= 0.0508 m
ความหนาแน่นของน้ำ	= 999 kg/m ³
ความหนืดเชิงจลน์	= $1.12 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
ความเร็ว	= 1 m/s
ความยาวประมาณ	= 2 m

จากสมการที่ 2.9 แทนค่า

$$R_e = \frac{(0.0508 \times 1)}{1.12 \times 10^{-6}}$$

$$= 45,357.14$$

จากรูปที่ 2.3 เลือกใช้แบบ Smooth Pipe ได้ค่า f เท่ากับ 0.022

ดังนั้นจากสมการ 2.10

$$h_f = \frac{(0.022 \times 2) \times (1^2)}{(0.0508 \times 2 \times 9.81)}$$

$$= 0.04415 \text{ m}$$

ข้องอ 90° จำนวน 5 อันจากตารางที่ 2.1 มีค่า K เท่ากับ 0.7

จากสมการที่ 2.11

$$h_m = \frac{(0.7 \times 5) \times (1^2)}{(2 \times 9.81)}$$

$$= 0.17839 \text{ m}$$

ข้อต่อแบบ Union จำนวน 2 อันจากตารางที่ 2.1 มีค่า K เท่ากับ 0.08
จากสมการที่ 2.11

$$h_m = \frac{(0.08 \times 2) \times (1^2)}{(2 \times 9.81)}$$

$$= 0.00815 \text{ m}$$

Ball Valve จำนวน 1 อันจากตารางที่ 2.1 มีค่า K เท่ากับ 0.05
จากสมการที่ 2.11

$$h_m = \frac{(0.05 \times 1) \times (1^2)}{(2 \times 9.81)}$$

$$= 0.00255 \text{ m}$$

ส่วนที่ 3 ท่อ PVC ขนาด 3 นิ้ว

เส้นผ่านศูนย์กลาง $= 0.0762 \text{ m}$

ความหนาแน่นของน้ำ $= 999 \text{ kg/m}^3$

ความหนืดเชิงจลน์ $= 1.12 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

ความเร็ว $= 1 \text{ m/s}$

ความยาวประมาณ $= 0.5 \text{ m}$

จากสมการที่ 2.9 แทนค่า

$$R_e = \frac{(0.0762 \times 1)}{1.12 \times 10^{-6}}$$

$$= 68,035.7$$

จากรูปที่ 2.3 เลือกใช้แบบ Smooth Pipe ได้ค่า f เท่ากับ 0.018
ดังนั้นจากสมการ 2.10

$$h_f = \frac{(0.018 \times 0.5) \times (1^2)}{(0.0762 \times 2 \times 9.81)}$$

$$= 0.00602 \text{ m}$$

การสูญเสียพลังงานทั้งหมดหาได้จากสมการที่ 2.12 แทนค่า

$$h_{loss} = 6.40642 \text{ m}$$

จากสมการที่ 2.8 แทนค่า

$$0 + 0 + 0 + H_p = 0 + 0 + 0 + 6.40642 + (101300/9810)$$

$$H_p = 16.73262$$

จากสมการที่ (2.13) แทนค่า

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= 9.810 \times 1.333 \times 16.73262 \times 1 \\ &= 218.807 \text{ W} \end{aligned}$$

ให้ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ $\approx 75\%$

แทนค่าลงในสมการ (2.14) จะได้

$$\text{BHP} = \frac{218.807}{746 \times 0.75} = 0.39 \text{ Hp}$$

ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงได้เลือกใช้ปั๊มขนาด 1 แรงม้า

4. มาตรวัดอัตราการไหล ในชุดทดลองได้เลือกใช้มาตรวัดในระบบ SI Unit เพื่อ
ง่ายต่อการอ่านค่าและสะดวกต่อการคำนวณ มาตรวัดที่ใช้คือ Rota meter ที่สามารถวัดอัตราการ
ไหลได้สูงสุด 80 ลิตร/นาที

5. ถังพักน้ำ ทำจากสแตนเลส ด้วยคุณสมบัติที่เป็นสนิมได้ยาก เพื่อป้องกันไม่ให้
สนิมปนเปื้อนไปกับน้ำในระบบ

ขนาดถังพักน้ำสามารถหาได้จากการคำนวณต่อไปนี้

ท่อน้ำขนาด 1.5 inches ในชุดทดลองยาวประมาณ	5	m
พื้นที่หน้าตัดของท่อขนาด 1.5 inches	0.00071	m ²
ท่อน้ำขนาด 2 inches ในชุดทดลองยาวประมาณ	2	m
พื้นที่หน้าตัดของท่อขนาด 2 inches	0.00203	m ²
ท่อน้ำขนาด 3 inches ในชุดทดลองยาวประมาณ	0.5	m
พื้นที่หน้าตัดของท่อขนาด 3 inches	0.01978	m ²

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรของน้ำต่อการทดลอง 1 ครั้ง} &= \text{ปริมาตรของท่อทั้งหมดรวมกัน} \\
 &= (5 \times 0.00071) + (2 \times 0.00203) + (0.5 \times 0.01978) \\
 \text{ปริมาตรของน้ำต่อการทดลอง 1 ครั้ง} &= 0.00989 \text{ m}^3 \\
 \text{กำหนดให้พื้นที่ก้นถังมีขนาด} &= 0.5 \times 0.5 \\
 &= 0.25 \text{ m}^2 \\
 \text{กำหนดปริมาตรของน้ำที่ใช้ เป็น 12 เท่า} &= 0.00989 \times 12 \\
 &= 0.12 \text{ m}^3 \\
 \text{ระดับความสูงของน้ำ} &= \text{ปริมาตรของน้ำทั้งหมด} / \text{พื้นที่ก้นถัง} \\
 &= \frac{0.12}{0.25} \\
 &= 0.47 \text{ m} \approx 0.5 \text{ m} \\
 \text{ดังนั้นปริมาตรของน้ำในถังทั้งหมด} &= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง} \\
 &= 0.5 \times 0.5 \times 0.5 \\
 &= 0.075 \text{ m}^3 = 75 \text{ Liter} \\
 \text{ขนาดของถัง} &= \begin{aligned} &\text{กว้าง} &= 0.5 \text{ m} \\ &\text{ยาว} &= 0.5 \text{ m} \\ &\text{สูง} &= \text{ระดับความสูงของน้ำ} + \text{ระดับก้นน้ำถัง} \\ & &= 0.47 + 0.03 = 0.5 \text{ m} \end{aligned}
 \end{aligned}$$

การคำนวณและการออกแบบท่อออริฟิซ (Orifice)

ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ 60 mm และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในของท่อ 54 mm

1. หาขนาดของความหนาของออริฟิซแผ่นบาง (E) จากสมการที่ 2.17

$$E = 0.05 \times 54$$

$$E = 2.7 \text{ mm}$$

2. หาความหนาของขอบแผ่นออริฟิซ (e) จากสมการที่ 2.16

$$e = 0.005 \times 54$$

$$e = 0.27 \text{ mm}$$

3.หาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) ของออริฟิซ จากสมการ 2.18 และกำหนด

ให้ $\beta = 0.4$

$$\beta = \frac{d}{D} = 0.4$$

$$d = 0.4 \times 54$$

$$d = 22 \text{ mm}$$

4. หาความยาวของการเจาะรู (tapping) ที่ผนังท่อ L_1 จากสมการที่ 2.19

$$L_1 = 54 \text{ mm}$$

5. หาความยาวของการเจาะรู (tapping) ที่ผนังท่อ L_2 จากสมการที่ 2.20

$$L_2 = 0.5 \times 54$$

$$L_2 = 27 \text{ mm}$$

6. ระดับของมุม (F) เลือกใช้ค่า 45°

การคำนวณหาอัตราการไหลของชุดทดลองที่ใช้อากาศเป็นสารตัวกลาง

1. การคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศโดยปรับอินเวอร์เตอร์ให้มีความถี่ของ

โบเวอร์ที่ 40 Hz

ผลต่างความดันเฉลี่ยที่วัดได้

$$\Delta P = 1.43333 \text{ Pa}$$

ค่าความหนาแน่นของอากาศ

$$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นออริฟิซ

$$d = 25 \text{ mm}$$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

$$D = 54 \text{ mm}$$

ค่าความหนืด

$$\mu = 1.8 \times 10^{-5}$$

ความเร็วลม

$$V = 1.0 \text{ m/s}$$

$$\beta = d/D$$

$$\beta = 0.46296$$

พื้นที่หน้าตัดแผ่นออริฟิซ

$$\begin{aligned} A_0 &= \frac{\pi}{4} d^2 \\ &= \frac{\pi}{4} 0.025^2 \\ &= 0.00049 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 2.9

$$\begin{aligned} R_e &= \frac{\rho DV}{\mu} \\ &= \frac{1.225 \times 0.054 \times 1}{1.8 \times 10^{-5}} \\ &= 3675 \end{aligned}$$

นำค่าเรโนลด์เบอร์และค่า β
ไปเปิดกราฟได้ค่า
อัตราการไหลจะมีค่าเท่ากับ

$$C_o = 0.617$$

$$Q = 0.617 \times 0.00049 \sqrt{\frac{2 \times 1.433333}{1.255 \times (1 - 0.46296^4)}}$$

$$Q = 28 \text{ ลิตรต่อนาที}$$

2. การคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศโดยปรับอินเวอร์เตอร์ให้มีความถี่ของ

โบเวอร์ที่ 50 Hz

ผลต่างความดันเฉลี่ยที่วัดได้

$$\Delta P = 1.98653 \text{ Pa}$$

ค่าความหนาแน่นของอากาศ

$$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นออริฟิซ

$$d = 25 \text{ mm}$$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

$$D = 54 \text{ mm}$$

ค่าความหนืด

$$\mu = 1.8 \times 10^{-5}$$

ความเร็วลม

$$V = 1.0 \text{ m/s}$$

$$\beta = d/D$$

$$\beta = 0.46296$$

พื้นที่หน้าตัดแผ่นออริฟิ

$$\begin{aligned} A_o &= \frac{\pi}{4} d^2 \\ &= \frac{\pi}{4} 0.025^2 \\ &= 0.00049 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 2.9

$$\begin{aligned} R_e &= \frac{\rho DV}{\mu} \\ &= \frac{1.225 \times 0.054 \times 1}{1.8 \times 10^{-5}} \\ &= 3675 \end{aligned}$$

นำค่าเรโนลด์เบอร์และค่า β
ไปเปิดกราฟได้ค่า

$$C_o = 0.617$$

อัตราการไหลจะมีค่าเท่ากับ

$$Q = 0.617 \times 0.00049 \sqrt{\frac{2 \times 1.98653}{1.255 \times (1 - 0.46296^4)}}$$

$$Q = 33.6 \text{ ลิตรต่อนาที}$$

วัสดุที่ใช้เป็นอนุภาค

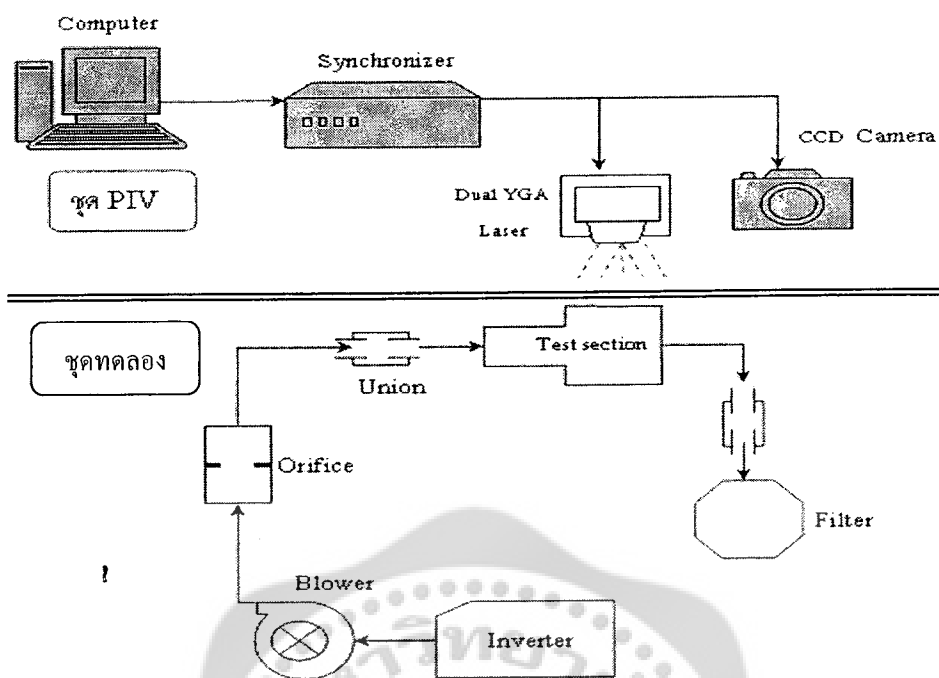
- การไหลของอากาศ – Micro Balloon ขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน
การไหลของน้ำ – Fume Silica ขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน

ส่วนประกอบของชุดทดลองที่ใช้อากาศเป็นสารตัวกลาง

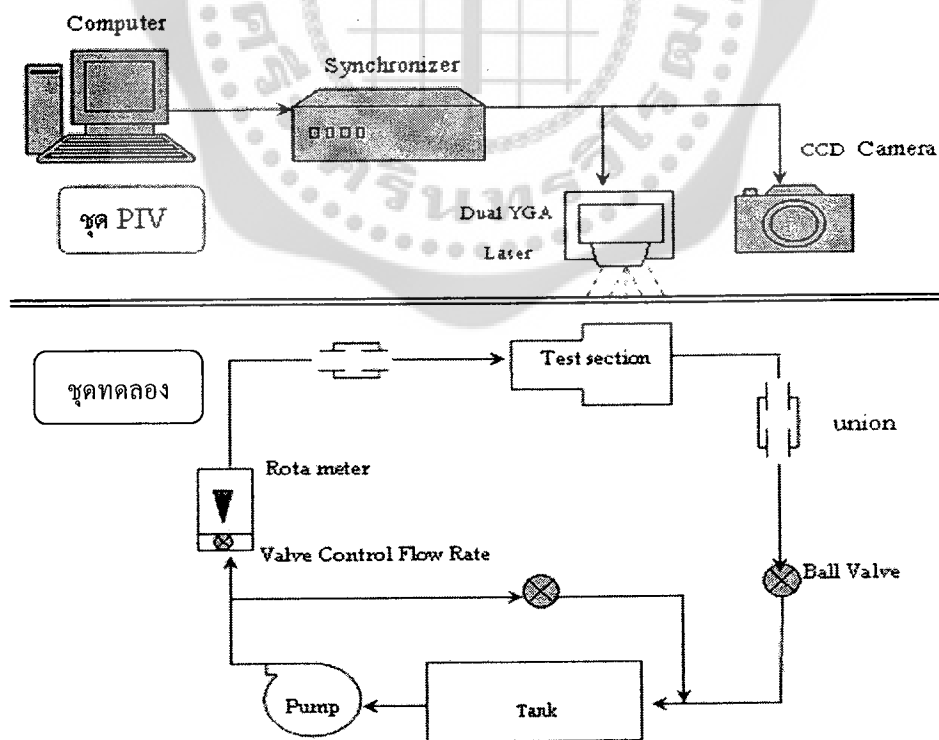
1. เครื่องมือวัดความเร็วของของไหลด้วยเทคนิคการถ่ายภาพจากแสงเลเซอร์ (Particle Image Velocimetry , PIV)
2. ชุดออริฟิซ (Orifice)
3. โบเวอร์ (Blower)
4. ชุดทดสอบ (Test Section)
5. อนุภาค (Particle)
6. ชุดกรองอนุภาค (Air Filter)
7. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

ส่วนประกอบของชุดทดลองที่ใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง

1. เครื่องมือวัดความเร็วของของไหลด้วยเทคนิคการถ่ายภาพจากแสงเลเซอร์ (Particle Image Velocimetry , PIV)
2. ชุดทดสอบ (Test Section)
3. โรตاميเตอร์ (Rota meter)
4. ปั๊มน้ำ (Pump)
5. อนุภาค (Particle)



รูปที่ 3.1 โค้ดแกรมของชุดทดลองที่ใช้ก๊าซเป็นสารตัวกลาง



รูปที่ 3.2 โค้ดแกรมของชุดทดลองที่ใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง

บทที่ 4

วิธีการทดลองและผลการทดสอบ

วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1 การไหลของของไหลผ่านท่อลดขนาดโดยใช้อากาศเป็นสารตัวกลาง

1. ติดตั้ง Test Section เข้ากับชุดทดลองที่ใช้อากาศเป็นสารตัวกลางโดยให้ชุดทดลองมีลักษณะการไหลแบบท่อลดขนาด

2. เปิดสวิตช์ชุดควบคุม

3. ปรับความถี่ของโบเวอร์(Blower)โดยเริ่มต้นที่ 40 Hz

4. ทำการวัดความดันตกคร่อม(Pressure Drop) ที่ออริฟิซ(Orifice)

5. ทำการใส่อนุภาค(Particle) เข้าไปในชุดทดลอง

6. รอให้อนุภาคกระจายเข้าไปผสมกับอากาศ

7. ทำการทดลองและบันทึกผลด้วยเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลด้วย

เทคนิคการถ่ายภาพจากแสงเลเซอร์(Particle Image Velocimetry , PIV)

8. ปรับความถี่ของโบเวอร์(Blower) เป็น 50 Hz

9. ทำการทดลองซ้ำตามข้อที่ 4,5,6 และ 7 ซ้ำ

การทดลองที่ 2 การไหลของของไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดโดยใช้อากาศเป็นสารตัวกลาง

1. ติดตั้ง Test Section เข้ากับชุดทดลองที่ใช้อากาศเป็นสารตัวกลางโดยให้ชุดทดลองมีลักษณะการไหลแบบท่อเพิ่มขนาด

2. เปิดสวิตช์ชุดควบคุม

3. ปรับความถี่ของโบเวอร์(Blower)โดยเริ่มต้นที่ 40 Hz

4. ทำตามข้อที่ 4 ถึง ข้อที่ 9 ของการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 3 การไหลของของไหลผ่านท่อลดขนาดโดยใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง

1. ติดตั้ง Test Section เข้ากับชุดทดลองที่ใช้น้ำเป็นสารตัวกลางโดยให้ชุดทดลองมีลักษณะการไหลแบบท่อลดขนาด

2. เปิดสวิตช์ปั้มน้ำ

3. ปรับอัตราการไหลของน้ำให้อยู่ที่ 30 ลิตรต่อนาที

4. ทำการใส่อนุภาค(Particle) เข้าไปในชุดทดลอง

5. รอให้อนุภาคกระจายเข้าไปผสมกับน้ำในระบบ

6. ทำการทดลองและบันทึกผลด้วยเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลด้วย

เทคนิคการถ่ายภาพจากแสงเลเซอร์(Particle Image Velocimetry , PIV)

7. ปรับอัตราการไหลของน้ำให้อยู่ที่ระดับ 35 ลิตรต่อนาที

8. ทำการทดลองและบันทึกผลด้วยเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลด้วย

เทคนิคการถ่ายภาพจากแสงเลเซอร์(Particle Image Velocimetry , PIV)

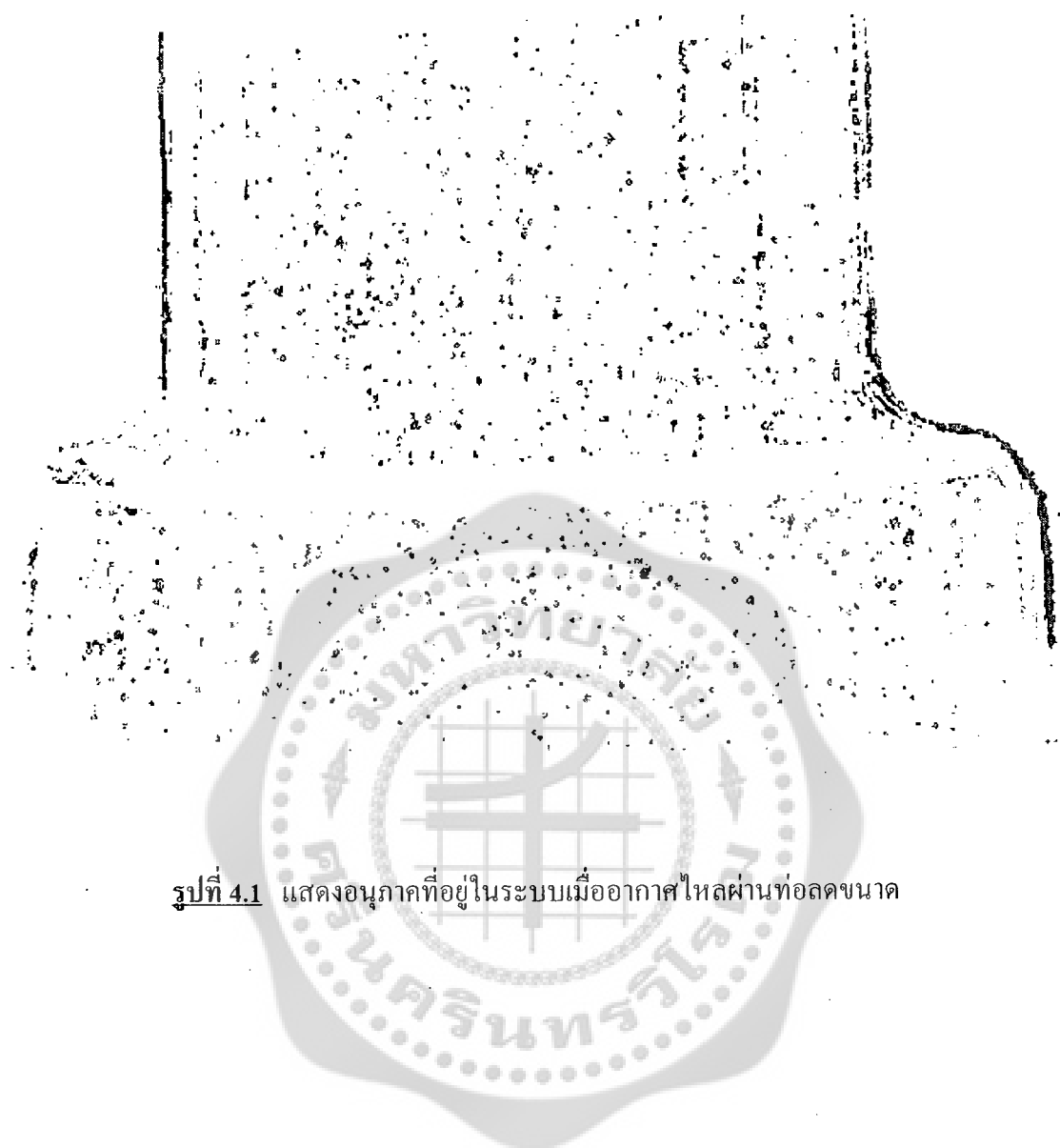
การทดลองที่ 4 การไหลของของไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดโดยใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง

1. ติดตั้ง Test Section เข้ากับชุดทดลองที่ใช้น้ำเป็นสารตัวกลางโดยให้ชุดทดลองมีลักษณะการไหลแบบท่อเพิ่มขนาด

2. เปิดสวิตช์ปั้มน้ำ

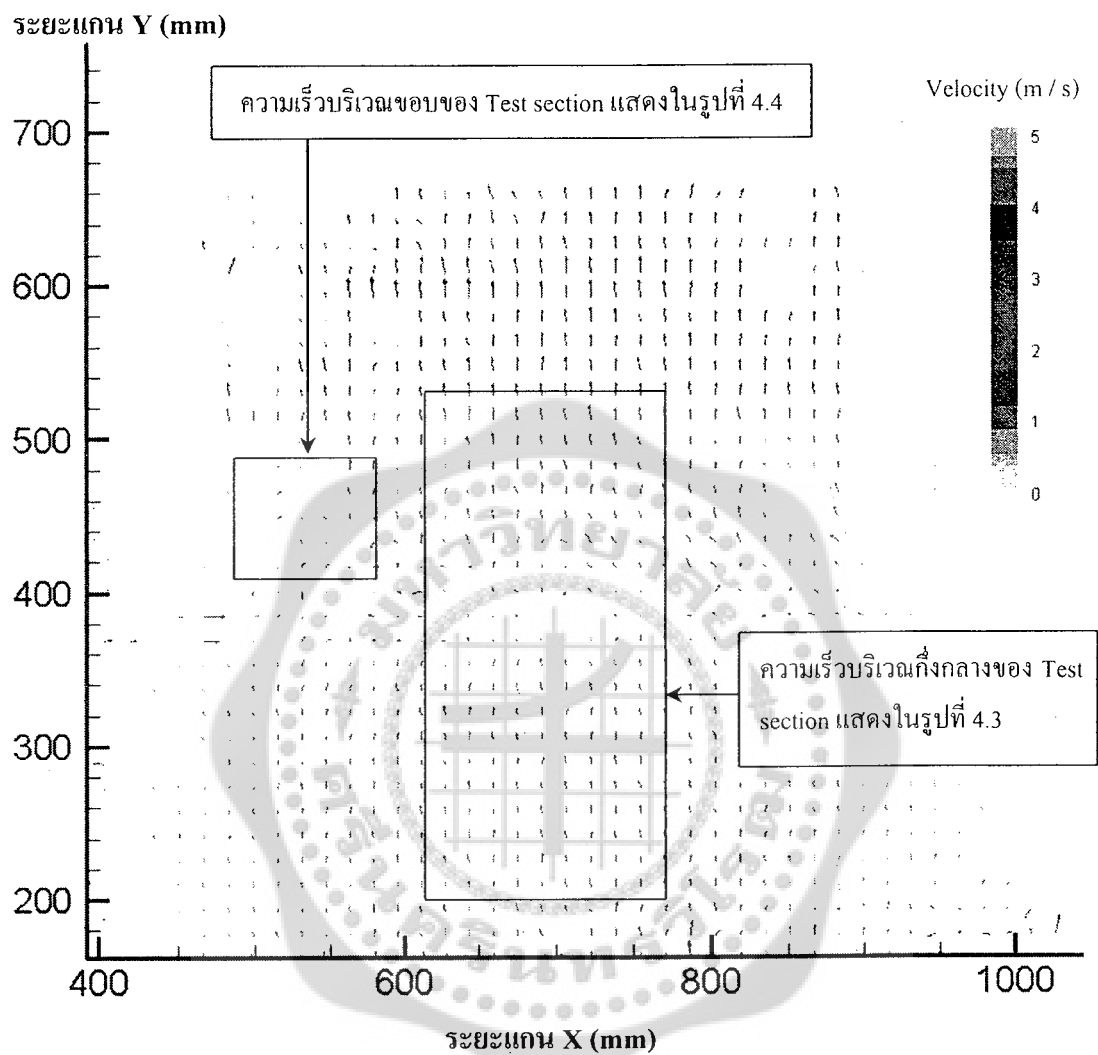
3. ปรับอัตราการไหลของน้ำให้อยู่ที่ 30 ลิตรต่อนาที

4. ทำตามข้อที่ 4 ถึง ข้อที่ 9 ของการทดลองที่ 3

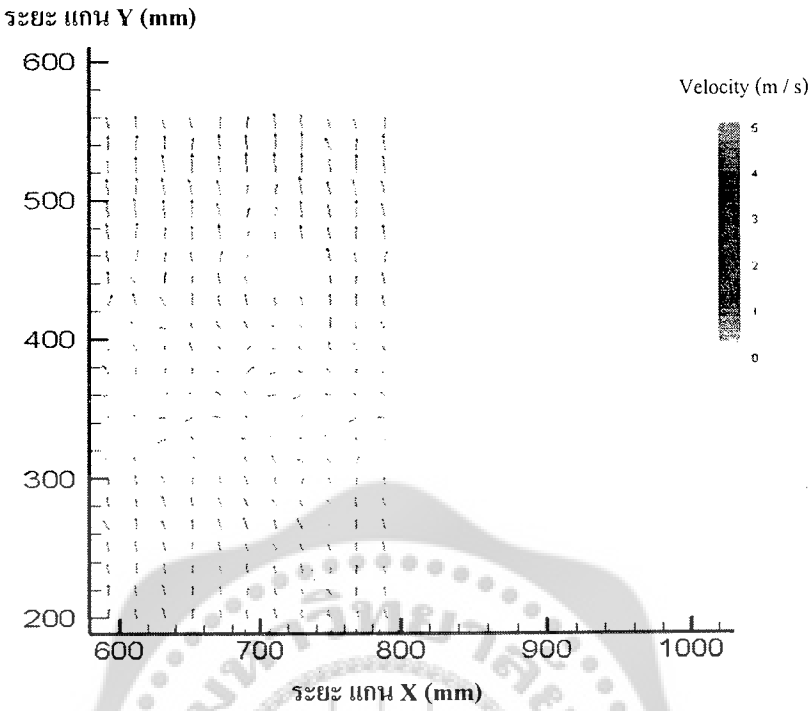


รูปที่ 4.1 แสดงอนุภาคที่อยู่ในระบบเมื่ออากาศไหลผ่านท่อลดขนาด

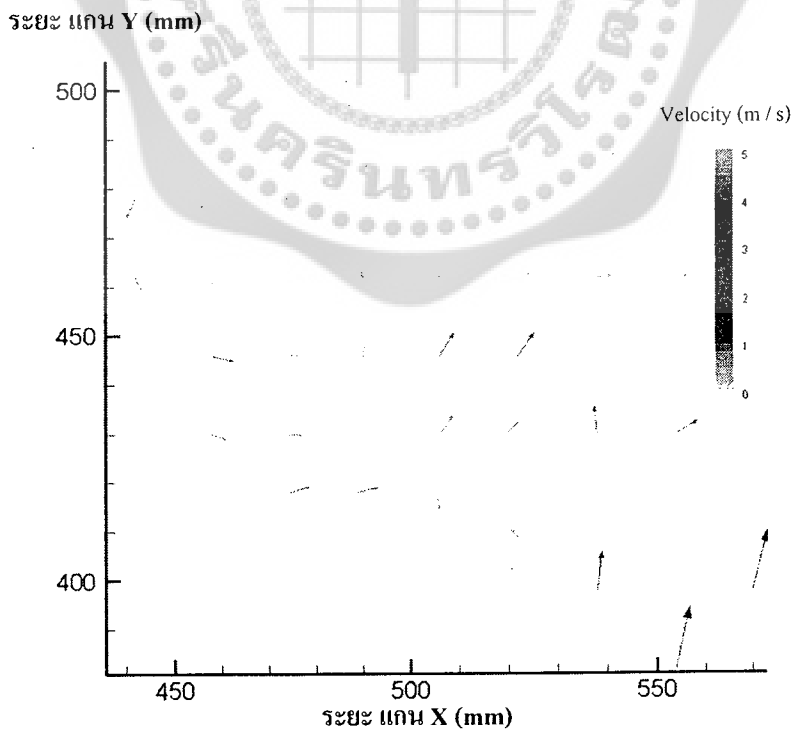
กราฟแสดงผลการทดลองที่ 1



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่ออากาศไหลผ่านท่อลดที่อัตราการไหล 28 L/min

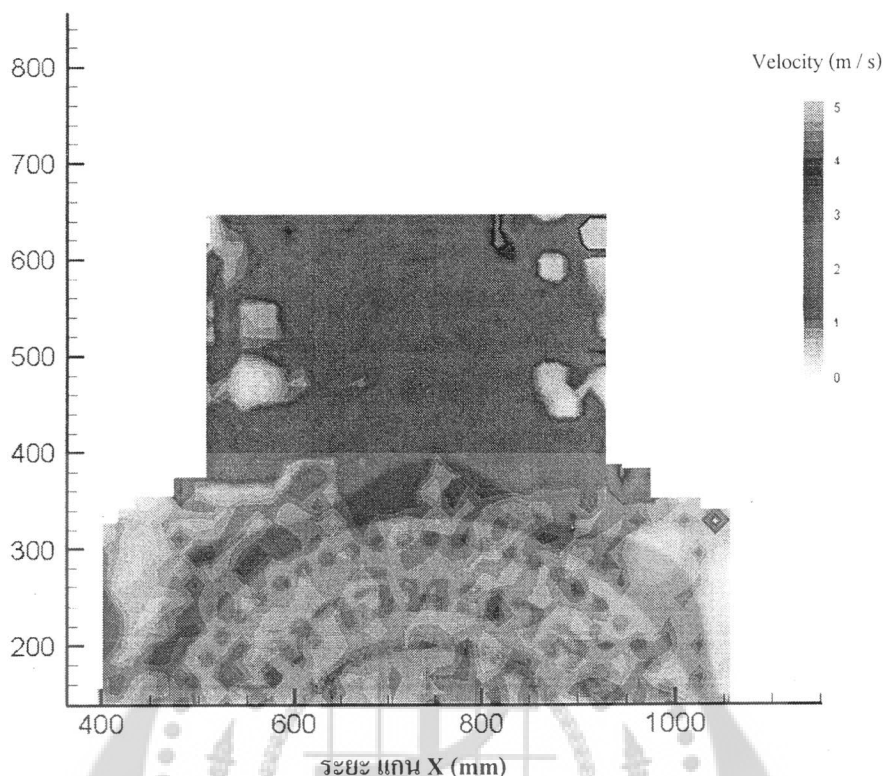


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section

ระยะ แกน Y (mm)

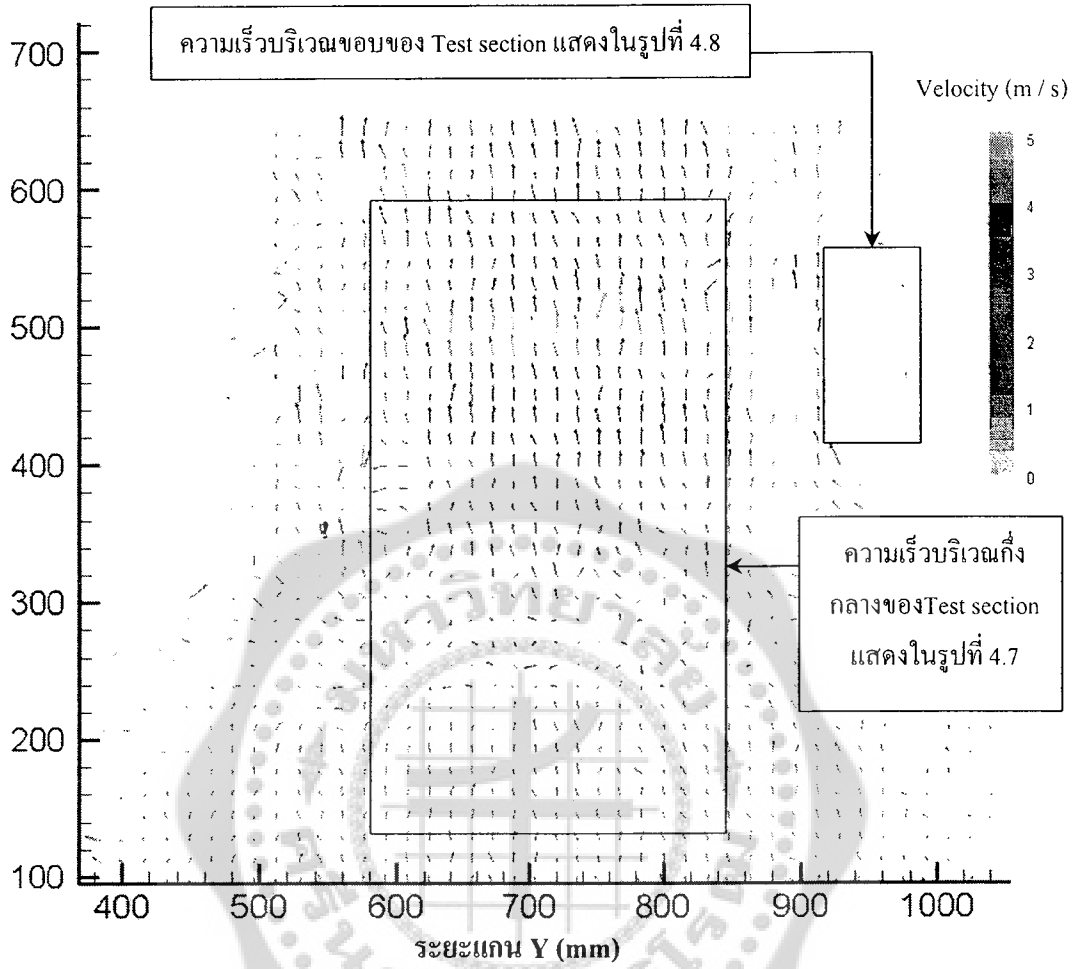


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour

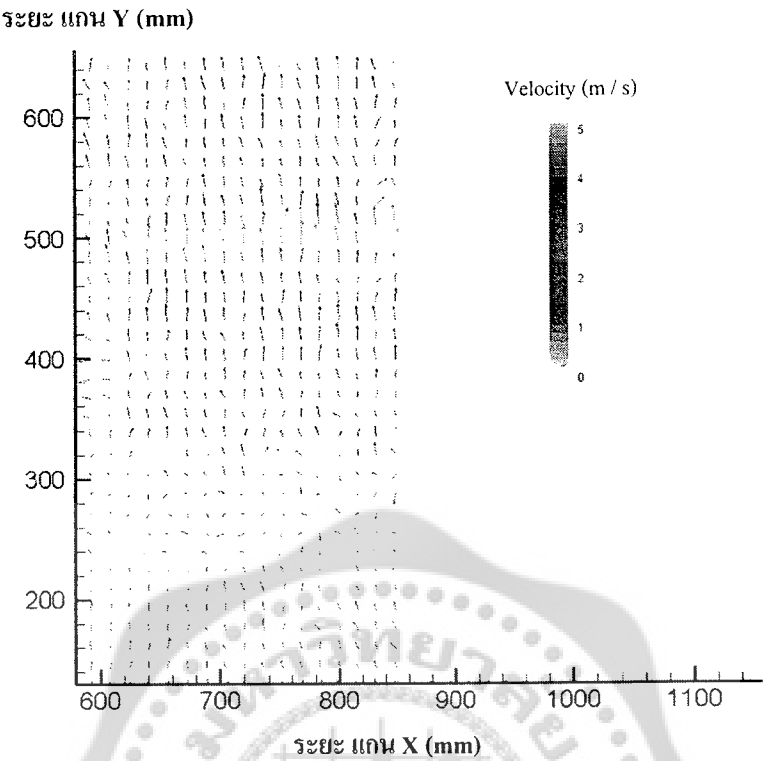
จากรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศเมื่อไหลผ่านท่อลดขนาดที่อัตราการไหล 28 ลิตรต่อวินาที โดยสีแต่ละสีจะหมายถึงปริมาณความเร็วที่เกิดขึ้นว่าเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด และสังเกตได้ว่าสีของเวกเตอร์บริเวณกึ่งกลางของ Test Section ส่วนใหญ่มีสีชมพูและสีแดงซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 1-2 m/s และสีของเวกเตอร์บริเวณขอบของ Test Section เป็นสีส้มซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 0-1 m/s เมื่อเปรียบเทียบความเร็วที่ท่อใหญ่ของ Test Section กับความเร็วบริเวณท่อเล็กของ Test Section พบว่าความเร็วที่บริเวณท่อใหญ่ของ Test Section มีความเร็วต่ำกว่าบริเวณท่อเล็กของ Test Section และพบว่าที่บริเวณขอบของ Test Section มีการวกกลับของเวกเตอร์ความเร็วอยู่ด้วย แสดงว่าเกิดการหมุนวนของน้ำอยู่ในบริเวณขอบของ Test Section อีกด้วย

จากรูปที่ 4.5 เป็นการแสดงความเร็วในแบบ Contour ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อเล็กมีความเร็วกว่าในท่อใหญ่ โดยจะเห็นว่าโทนสีของพื้นที่บริเวณท่อเล็กจะอยู่ในช่วงความเร็วที่มากกว่าท่อใหญ่

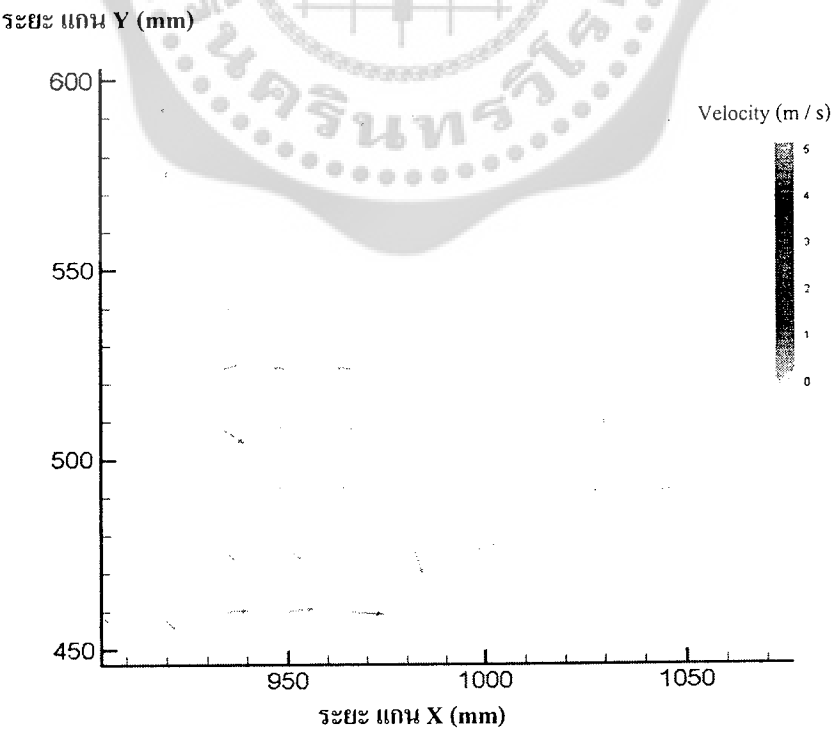
ระยะแกน Y (mm)



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่ออากาศไหลผ่านท่อลดที่อัตราการไหล 33.6 L/min

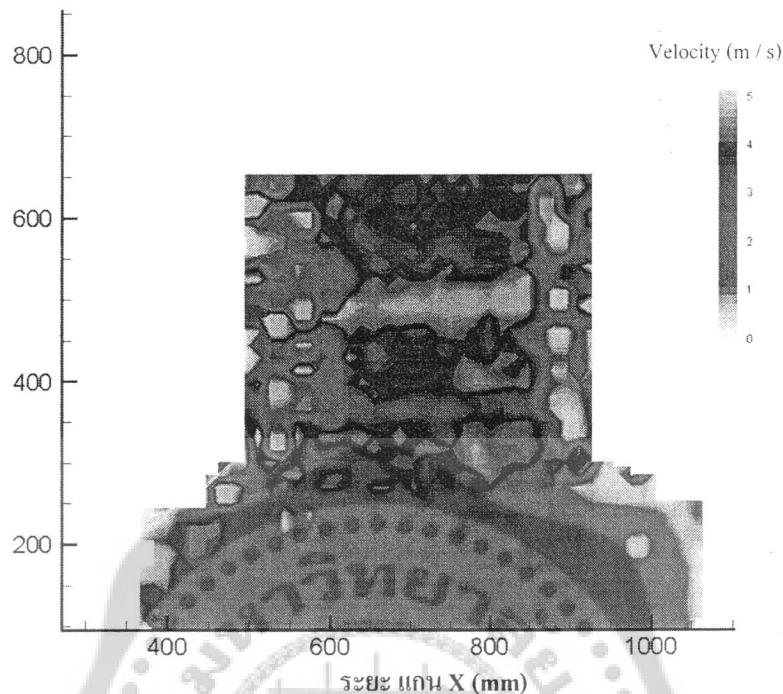


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section

ระยะ แกน Y (mm)



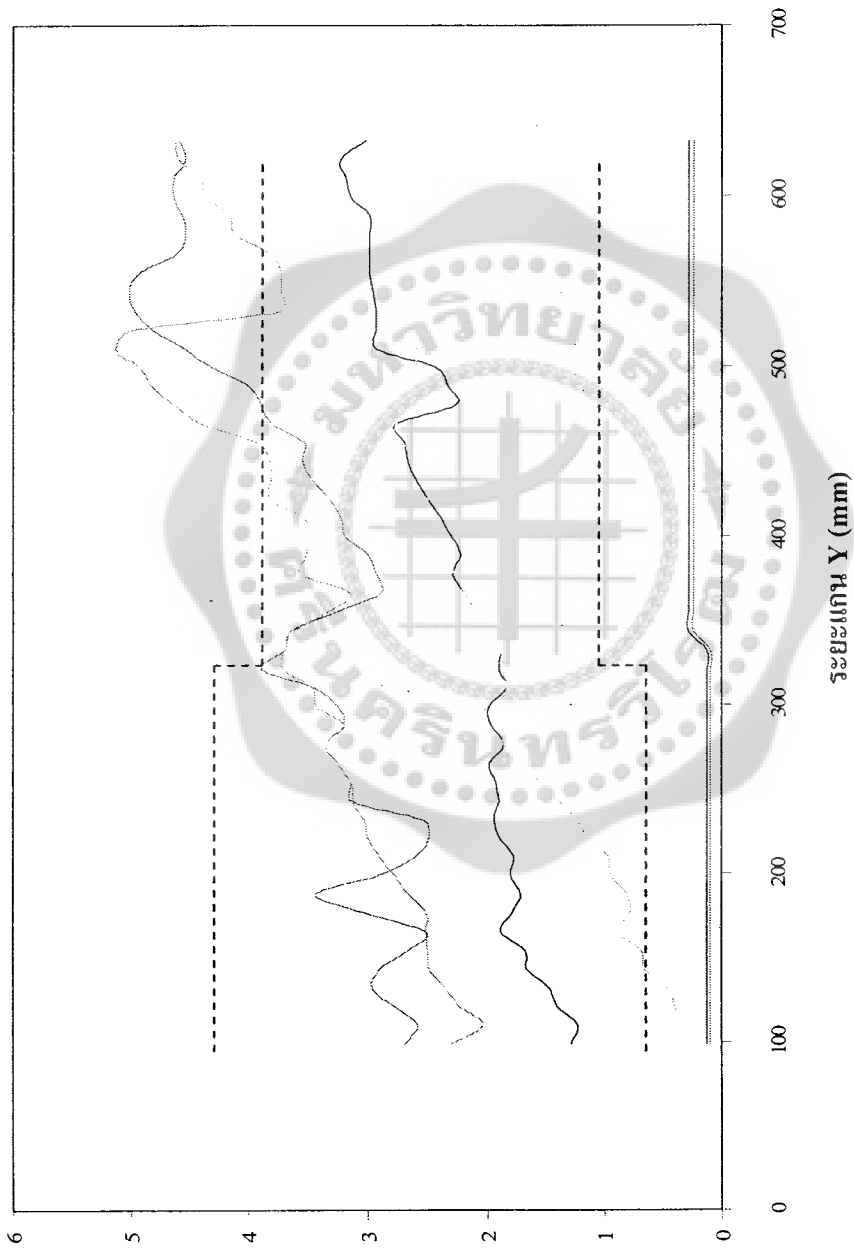
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour

จากรูปที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศเมื่อไหลผ่านท่อลดขนาดที่อัตราการไหล 33.6 ลิตรต่อวินาที สังเกตได้ว่าสีของเวกเตอร์บริเวณกึ่งกลางของ Test Section ส่วนใหญ่มีสีชมพูจนถึงสีน้ำเงินเข้มซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 2.5-4.5 m/s และสีของเวกเตอร์บริเวณขอบของ Test Section เป็นสีส้มจนถึงสีชมพูซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 1-2.5 m/s เมื่อเปรียบเทียบความเร็วที่ท่อใหญ่ของ Test Section กับความเร็วบริเวณท่อเล็กของ Test Section พบว่าความเร็วที่บริเวณท่อใหญ่ของ Test Section มีความเร็วน้อยกว่าบริเวณท่อเล็กของ Test Section และพบว่าที่บริเวณขอบของ Test Section มีการวกกลับของเวกเตอร์ความเร็วอยู่ด้วย แสดงว่าเกิดการหมุนวนของน้ำอยู่ในบริเวณขอบของ Test Section อีกด้วย

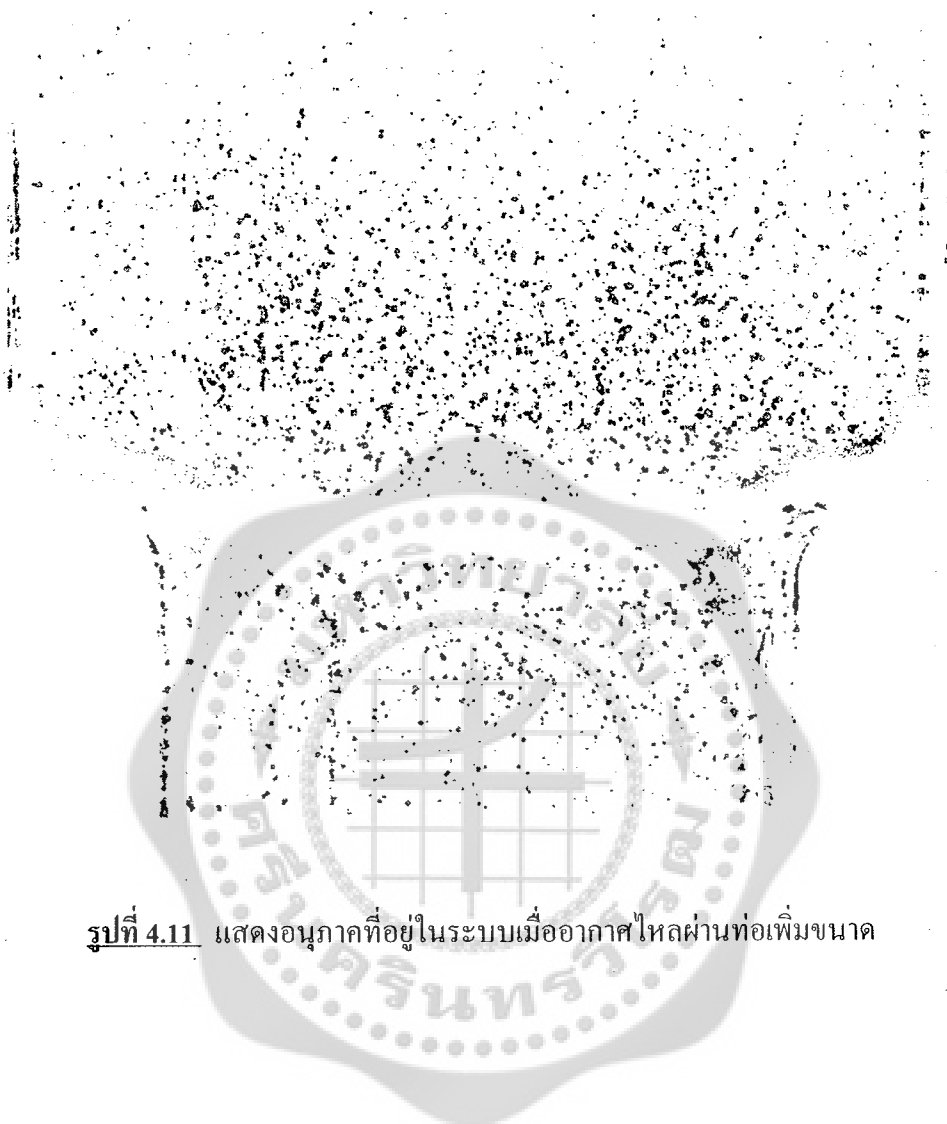
จากรูปที่ 4.9 เป็นการแสดงความเร็วในแบบ Contour ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อเล็กมีความเร็วมากกว่าในท่อใหญ่ โดยจะเห็นว่าโทนสีของพื้นที่บริเวณท่อเล็กเป็นสีน้ำเงินในบริเวณกลางท่อและสีชมพูในบริเวณริมท่อซึ่งจะอยู่ในช่วงความเร็วที่มากกว่าท่อใหญ่ที่อยู่ในโทนสีส้มและชมพูเท่านั้น

จากผลการทดลองที่ 1 สามารถนำมาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบความเร็วเมื่ออากาศไหลผ่านท่อลดขนาดที่อัตราการไหล 28 และ 33.6 ลิตรต่อวินาทีได้ดังนี้

ความเร็ว (m/s)



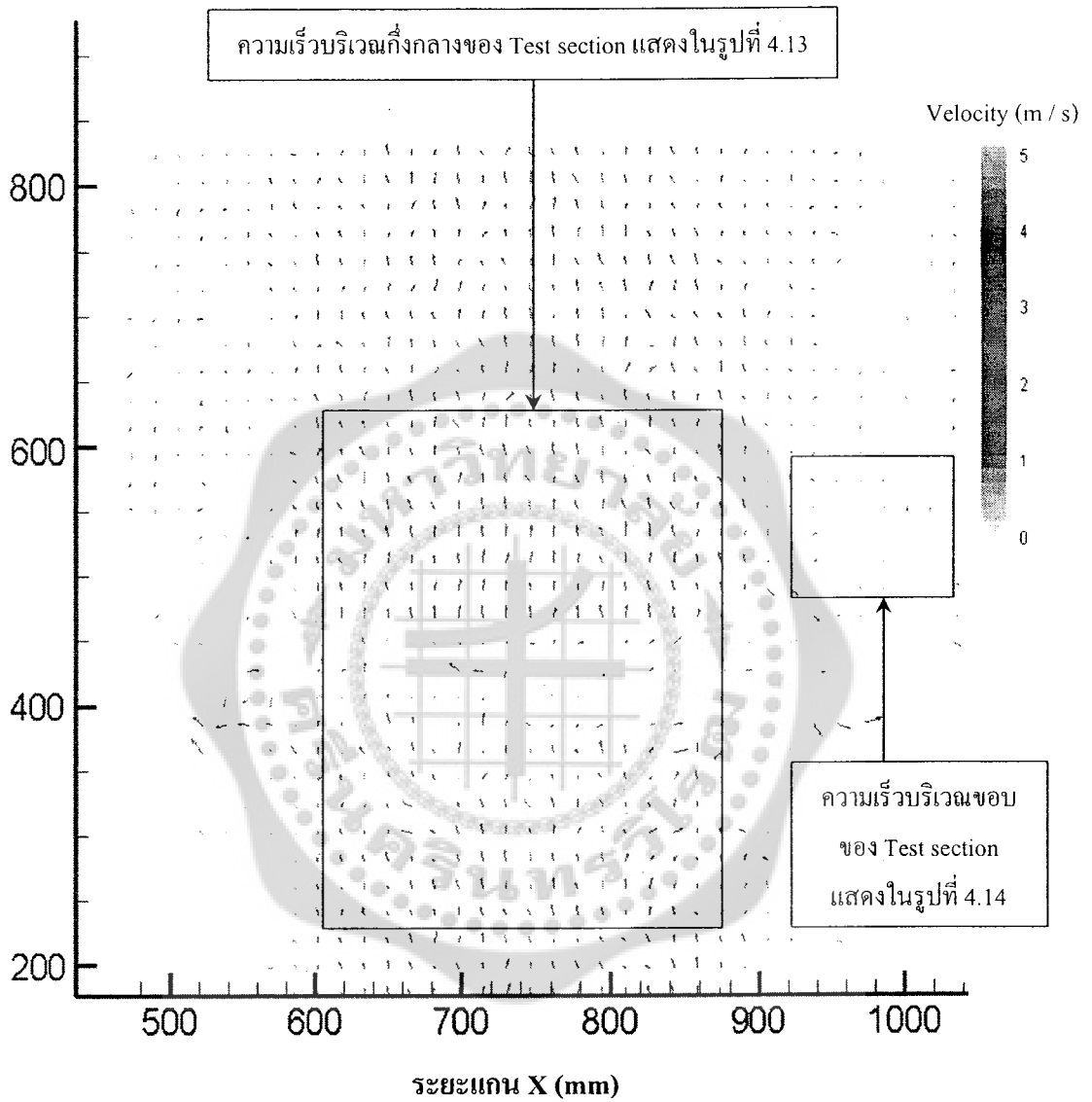
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของไหล



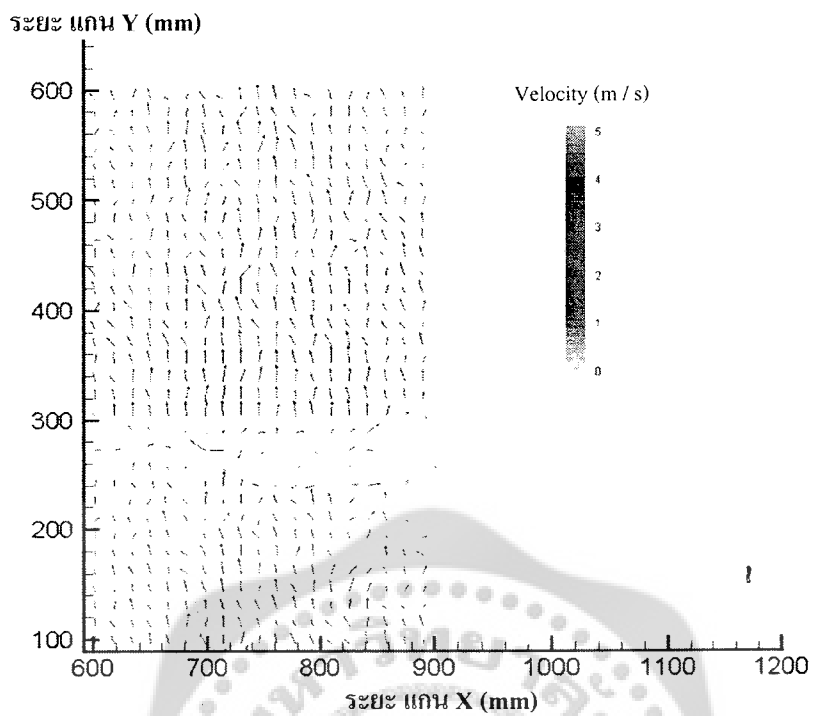
รูปที่ 4.11 แสดงอนุภาคที่อยู่ในระบบเมื่ออากาศไหลผ่านท่อเพิ่มขนาด

กราฟแสดงผลการทดลองที่ 2

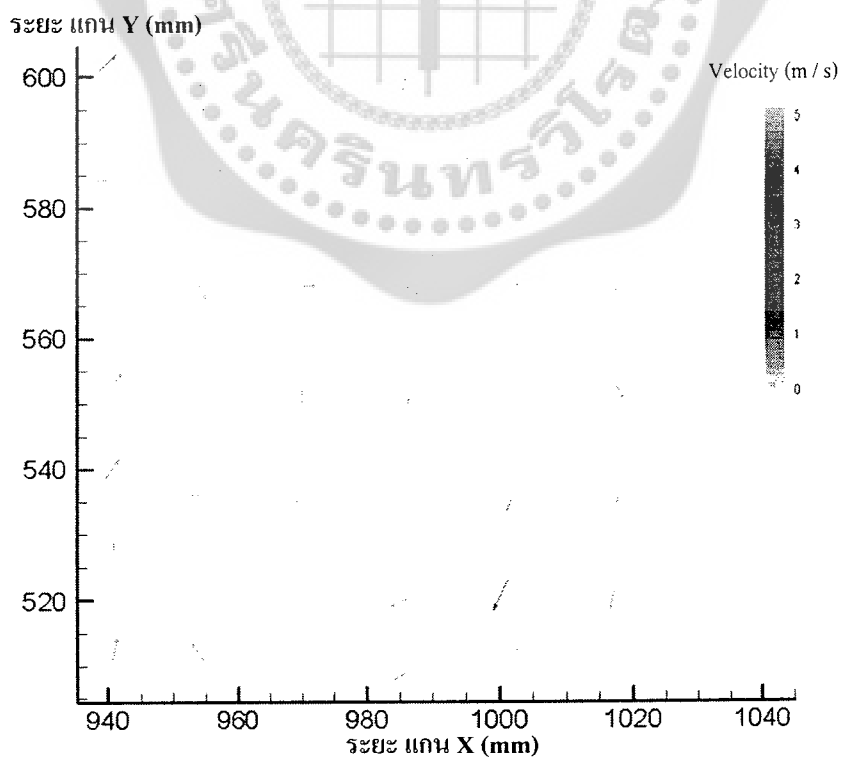
ระยะแกน Y (mm)



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่ออากาศไหลผ่านท่อเพิ่มที่อัตราการไหล 28 L/min

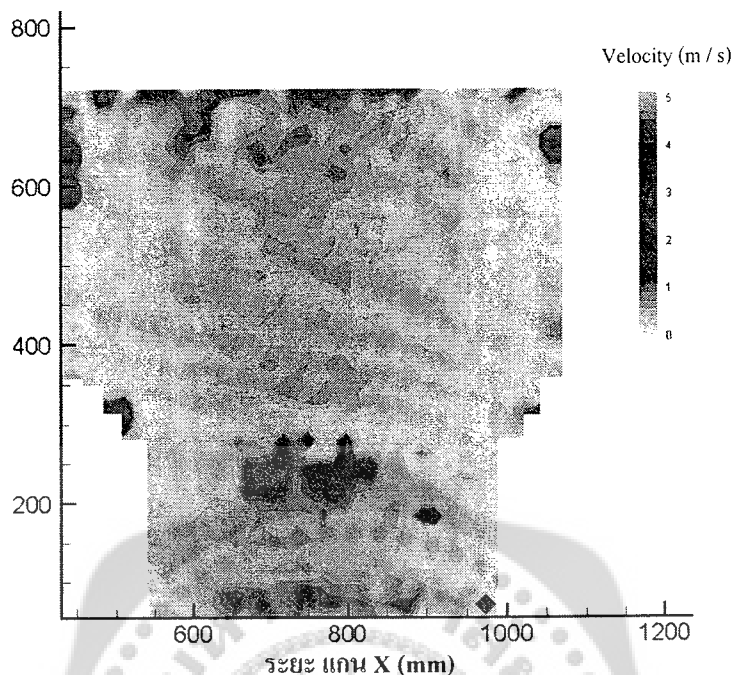


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section

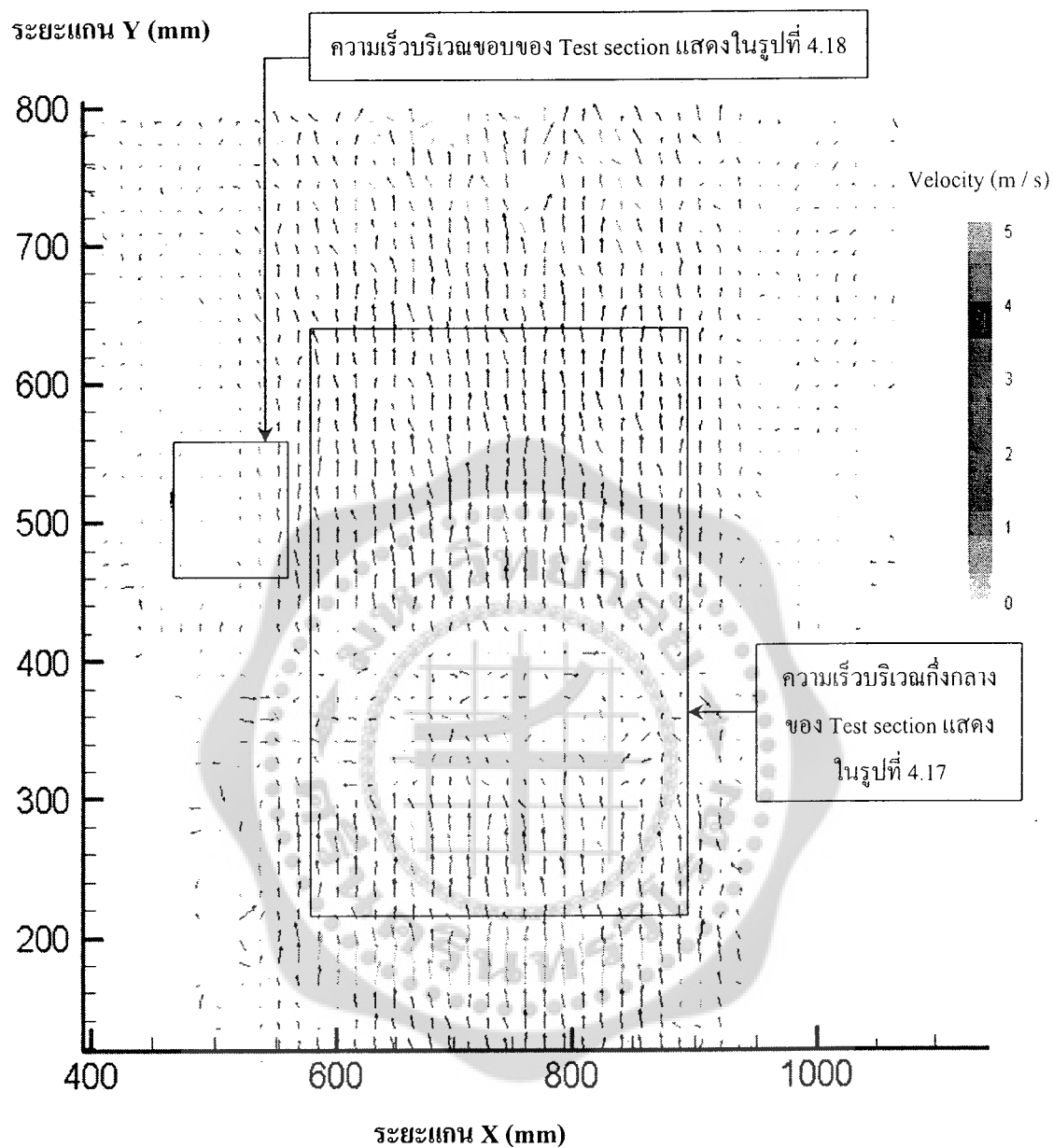
ระยะ แกน Y (mm)



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour

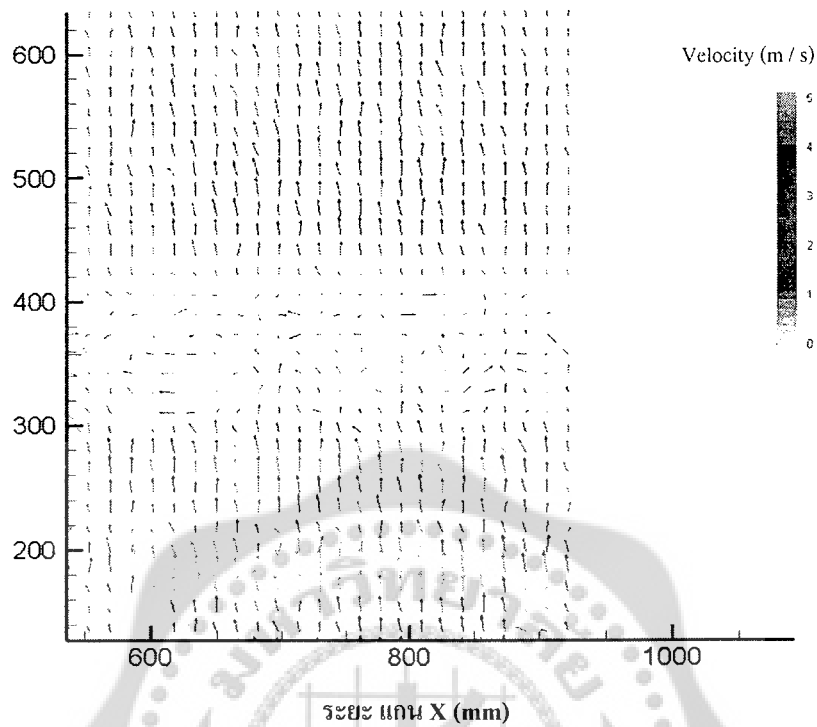
จากรูปที่ 4.12, 4.13 และ 4.14 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศเมื่อไหลผ่านท่อลดขนาดที่อัตราไหล 28 ลิตรต่อวินาที สังเกตได้ว่าสีของเวกเตอร์บริเวณกึ่งกลางของ Test Section ส่วนใหญ่มีสีชมพูจนถึงสีม่วงซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 2-3 m/s และสีของเวกเตอร์บริเวณขอบของ Test Section เป็นสีส้มซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 0.5-1 m/s เมื่อเปรียบเทียบความเร็วที่ท่อใหญ่ของ Test Section กับความเร็วบริเวณท่อเล็กของ Test Section พบว่าความเร็วที่บริเวณท่อใหญ่ของ Test Section มีความเร็วน้อยกว่าบริเวณท่อเล็กของ Test Section และพบว่าที่บริเวณขอบของ Test Section มีการวกกลับของเวกเตอร์ความเร็วอยู่ด้วย แสดงว่าเกิดการหมุนวนของน้ำอยู่ในบริเวณขอบของ Test Section อีกด้วย

จากรูปที่ 4.15 เป็นการแสดงความเร็วในแบบ Contour ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อเล็กมีความเร็วกว่าในท่อใหญ่ โดยจะเห็นว่าโทนสีของพื้นที่บริเวณท่อเล็กเป็นสีชมพูในบริเวณกลางท่อและสีส้ม ในบริเวณริมท่อซึ่งจะอยู่ในช่วงความเร็วที่มากกว่าท่อใหญ่ที่อยู่ในโทนสีส้มและชมพูเล็กน้อยเท่านั้น



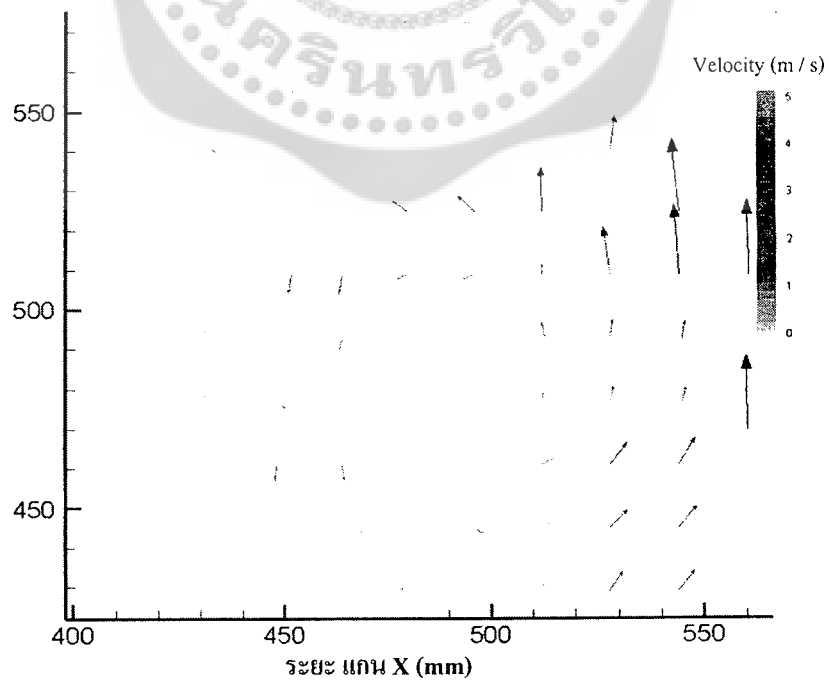
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่ออากาศไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดที่
อัตราการไหล 33.6 L/min

ระยะ แกน Y (mm)



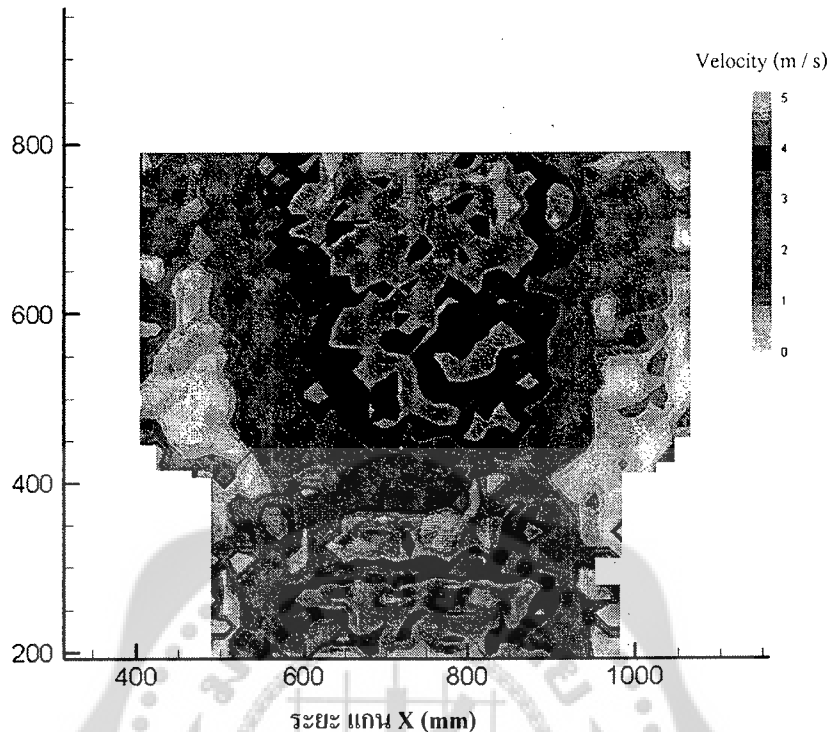
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section

ระยะ แกน Y (mm)



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section

ระยะ แกน Y (mm)

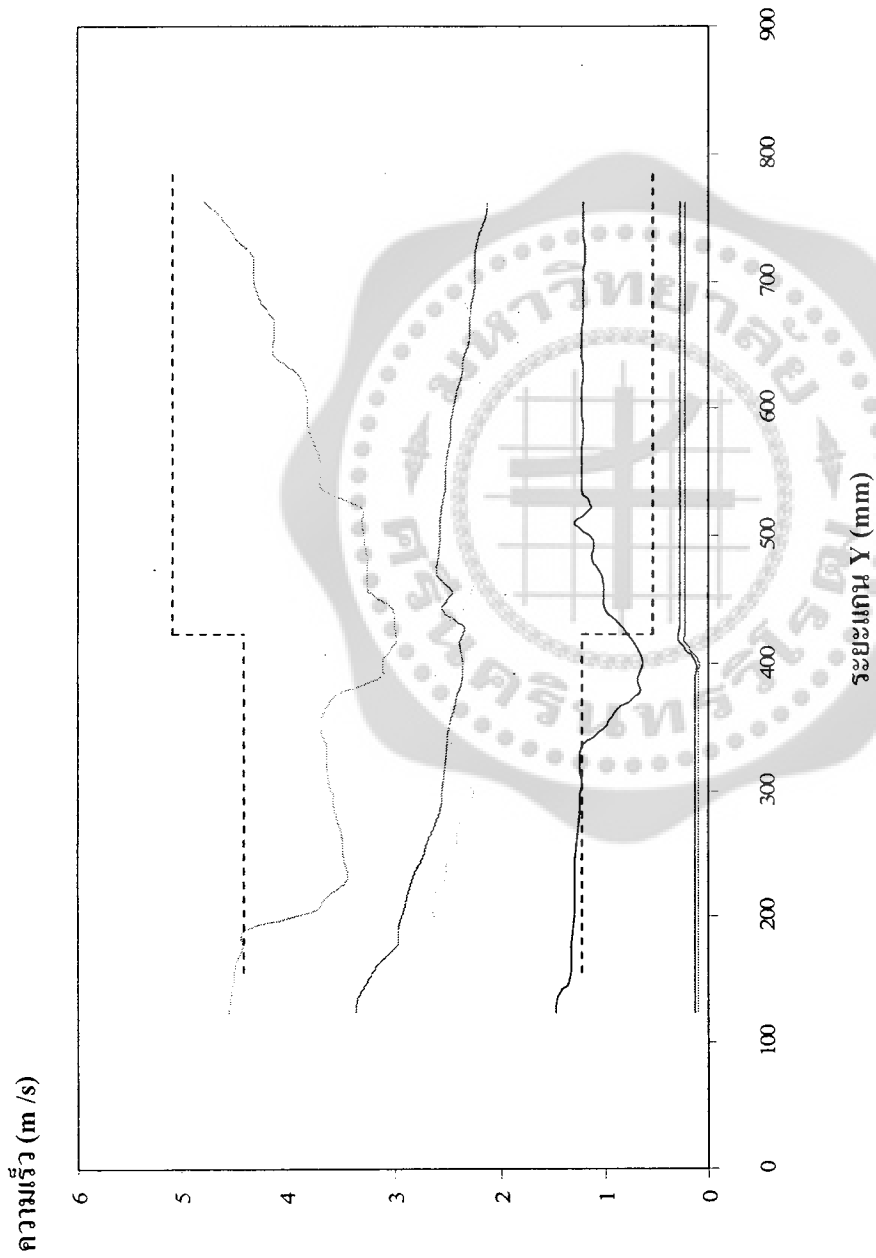


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour

จากรูปที่ 4.16, 4.17 และ 4.18 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศเมื่อไหลผ่านท่อลดขนาดที่อัตราการไหล 33.6 ลิตรต่อวินาที สังเกตได้ว่าสีของเวกเตอร์บริเวณกึ่งกลางของ Test Section ส่วนใหญ่มีสีม่วงจนถึงสีน้ำเงินเข้มและมีสีชมพูปนอยู่เล็กน้อยซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 2.5-4.5 m/s และสีของเวกเตอร์บริเวณขอบของ Test Section เป็นสีส้มซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 0.5-1 m/s เมื่อเปรียบเทียบความเร็วที่ท่อใหญ่ของ Test Section กับความเร็วบริเวณท่อเล็กของ Test Section พบว่าความเร็วที่บริเวณท่อใหญ่ของ Test Section มีความเร็วต่ำกว่าบริเวณท่อเล็กของ Test Section และพบว่าที่บริเวณขอบของ Test Section มีการวกกลับของเวกเตอร์ความเร็วอยู่ด้วย แสดงว่าเกิดการหมุนวนของน้ำอยู่ในบริเวณขอบของ Test Section อีกด้วย

จากรูปที่ 4.19 เป็นการแสดงความเร็วในแบบ Contour ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าความเร็วที่เกิดขึ้นในบริเวณกึ่งกลางท่อจะมีความเร็วที่ใกล้เคียงกันดังสังเกตได้จากโทนสี บริเวณกลางท่อที่มีสีน้ำเงินจนถึงสีฟ้าเหมือนกันในท่อเล็กและท่อใหญ่

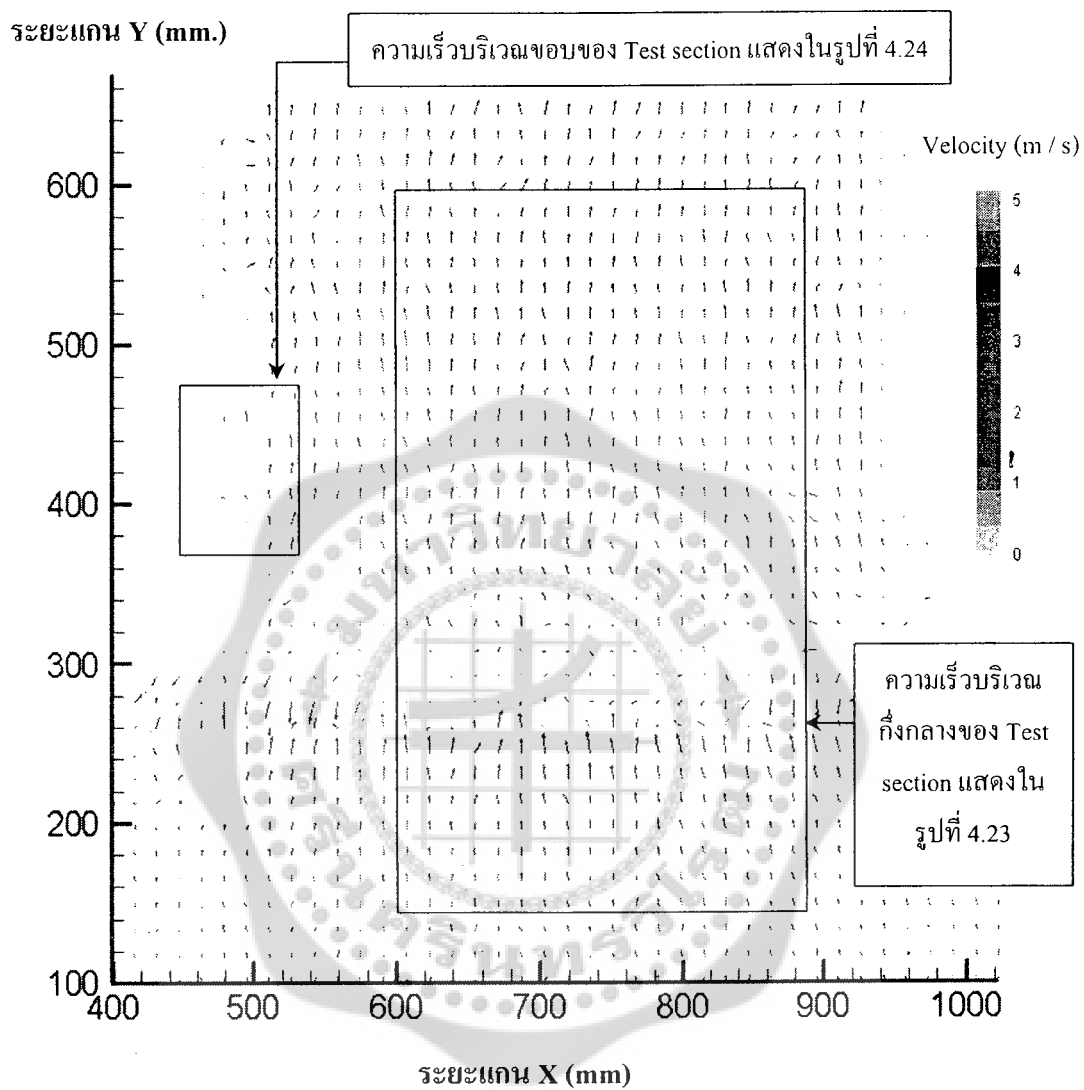
จากผลการทดลองที่ 2 สามารถนำมาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบความเร็วเมื่ออากาศอากาศไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดที่อัตราการไหล 28 และ 33.6 ลิตรต่อวินาทีได้ดังนี้



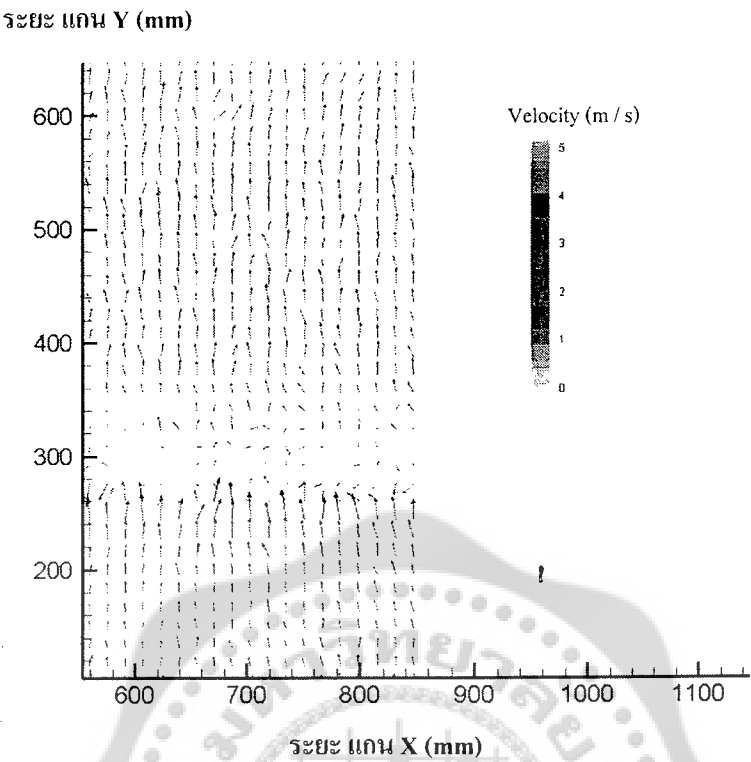
รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของไหล

รูปที่ 4.21 แสดงอนุภาคที่อยู่ในระบบเมื่อน้ำไหลผ่านท่อลดขนาด

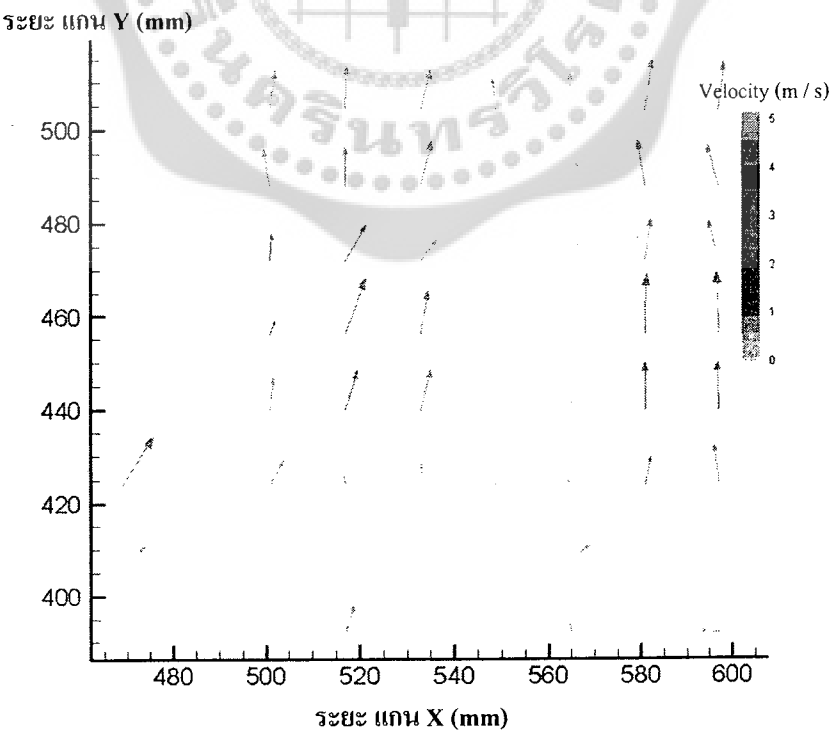
กราฟแสดงผลการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่อน้ำไหลผ่านท่อลดขนาดที่อัตราการไหล 30 L/min

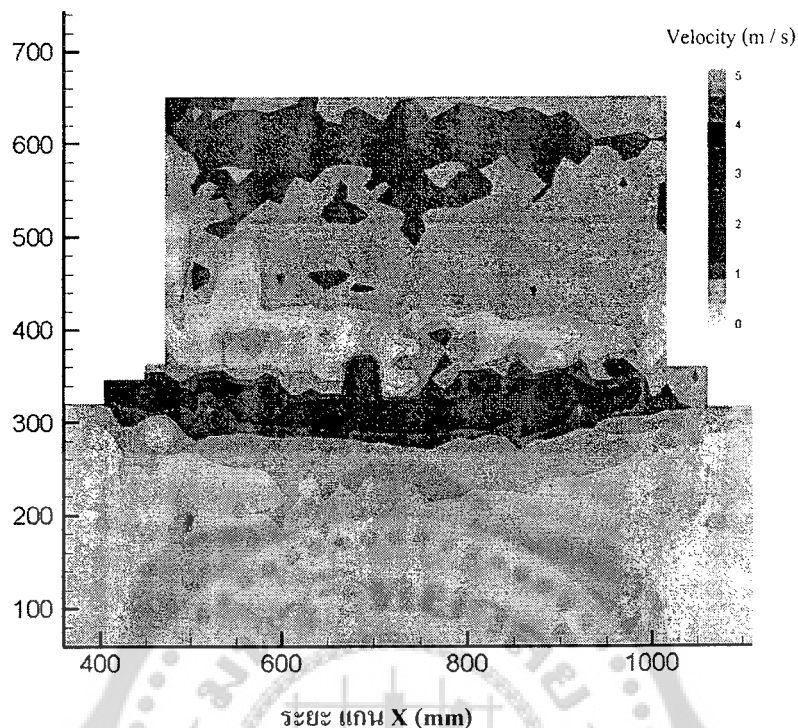


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section

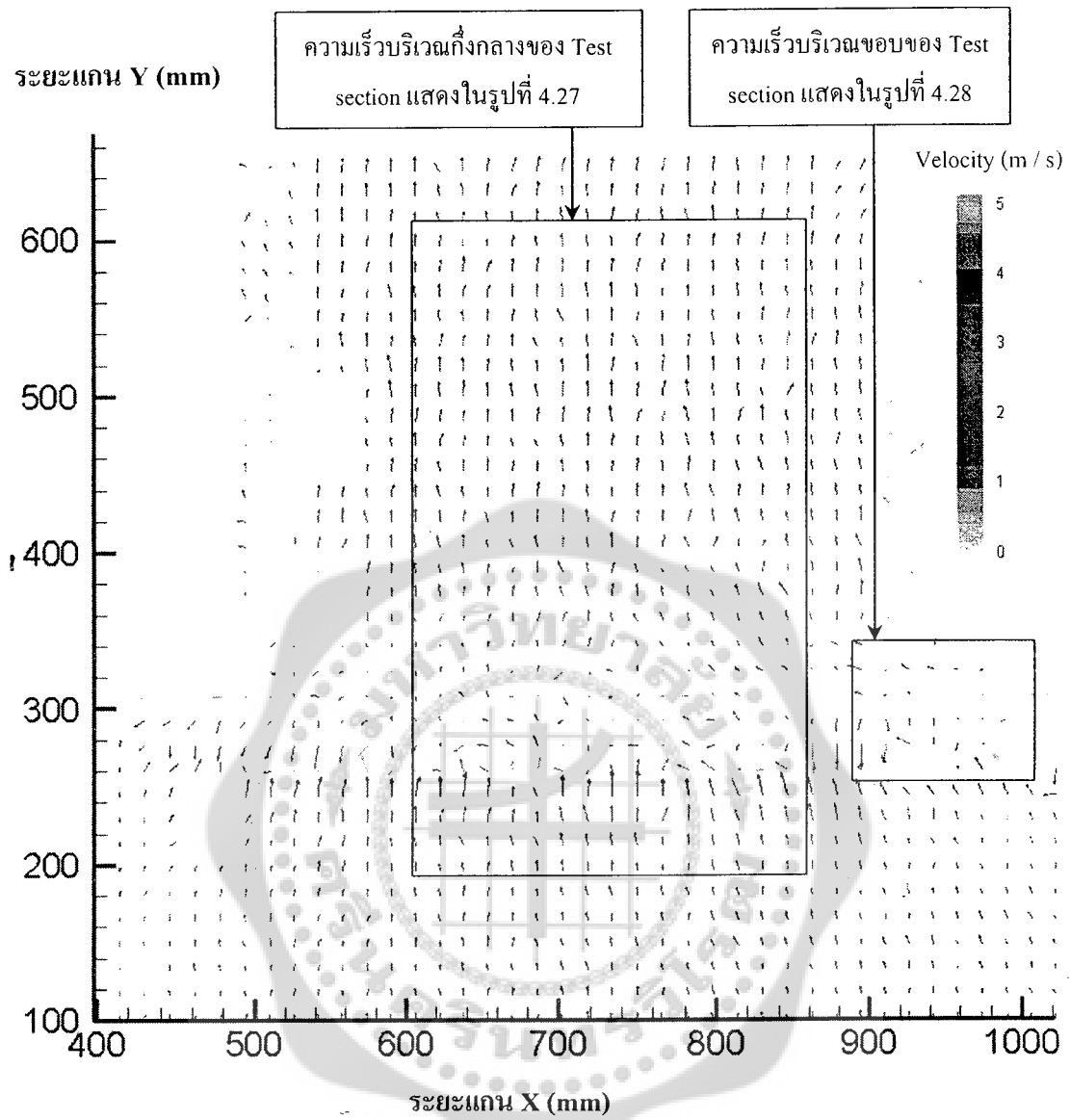
ระยะ แกน Y (mm)



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour

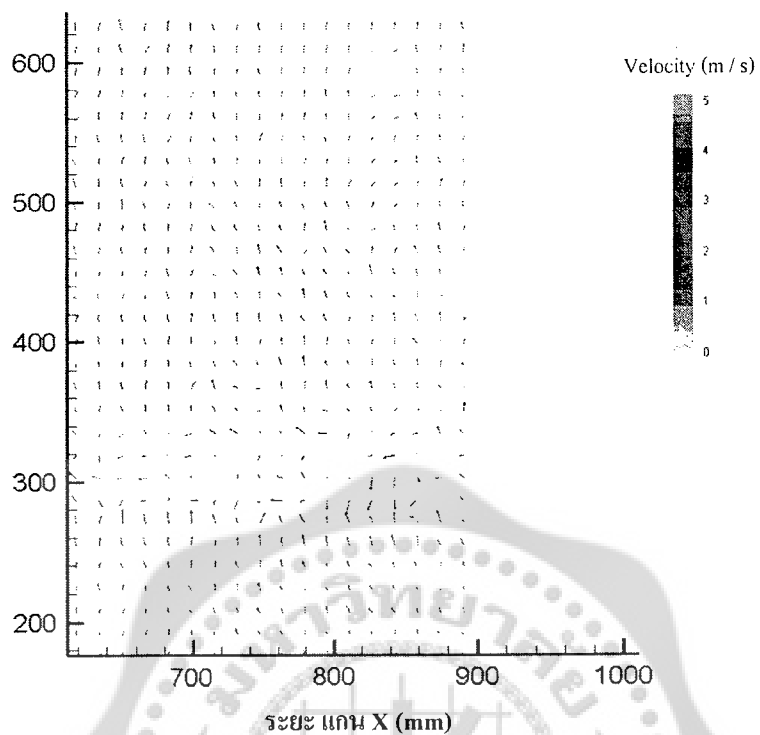
จากรูปที่ 4.22, 4.23 และ 4.24 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของน้ำเมื่อไหลผ่านท่อลดขนาดที่อัตราการไหล 30 ลิตรต่อวินาที โดยสีแต่ละสีจะหมายถึงปริมาณความเร็วที่เกิดขึ้นว่าเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด และสังเกตได้ว่าสีของเวกเตอร์บริเวณกึ่งกลางของ Test Section ส่วนใหญ่มีสีชมพู และสีแดงเป็นส่วนใหญ่ซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 1-2.5 m/s และสีของเวกเตอร์บริเวณขอบของ Test Section เป็นสีส้มและสีแสดซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 1-1.5 m/s เมื่อเปรียบเทียบความเร็วที่บริเวณกึ่งกลางของ Test Section กับความเร็วบริเวณขอบของ Test Section พบว่าความเร็วที่บริเวณกึ่งกลางของ Test Section มีความเร็วกว่าบริเวณขอบของ Test Section และพบว่าที่บริเวณขอบของ Test Section มีการวกกลับของเวกเตอร์ความเร็วอยู่ด้วย แสดงว่าเกิดการหมุนวนของน้ำอยู่ในบริเวณขอบของ Test Section อีกด้วย

จากรูปที่ 4.25 เป็นการแสดงความเร็วในแบบ Contour ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อเล็กมีความเร็วกว่าในท่อใหญ่ โดยจะเห็นว่าโทนสีของพื้นที่บริเวณท่อเล็กจะอยู่ในช่วงความเร็วที่มากกว่าท่อใหญ่



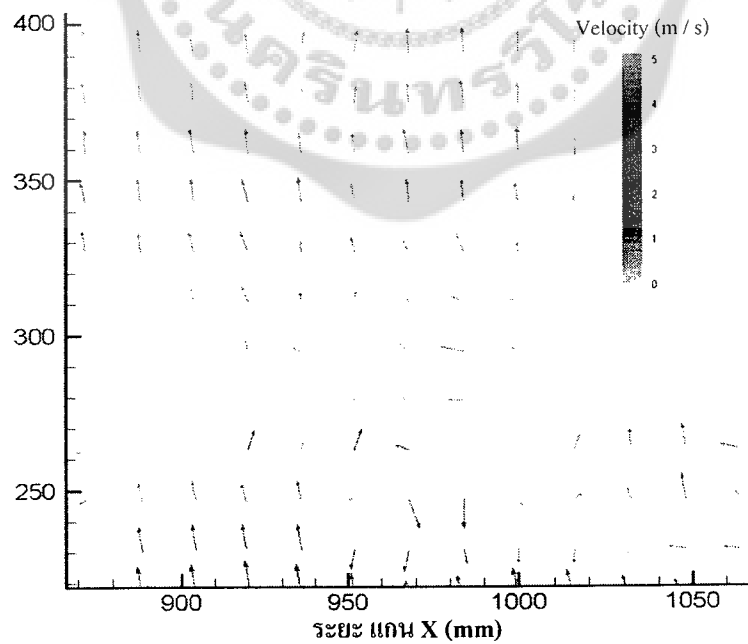
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่อน้ำไหลผ่านท่อลดขนาด
ที่อัตราการไหล 35 L/min

ระยะ แกน Y (mm)



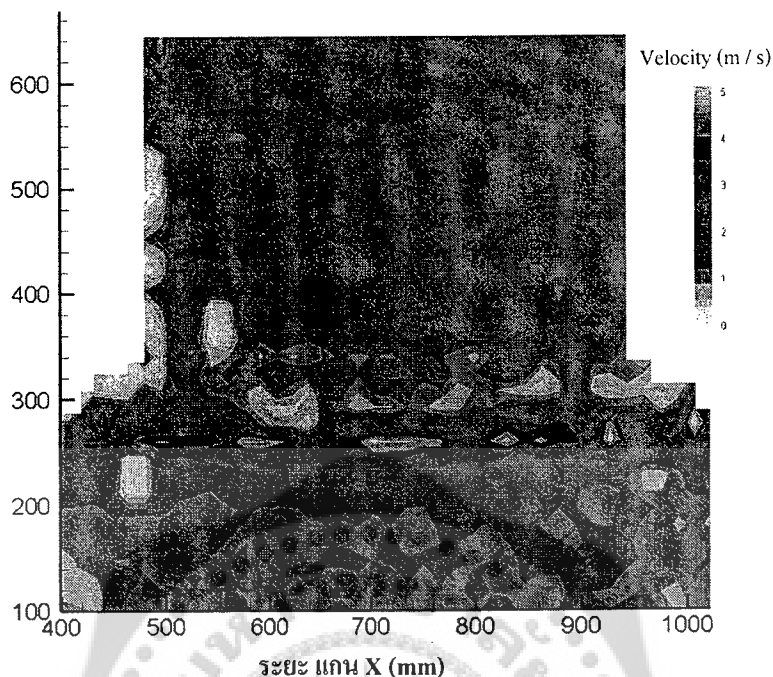
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section

ระยะ แกน Y (mm)



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section

ระยะ แกน Y (mm)



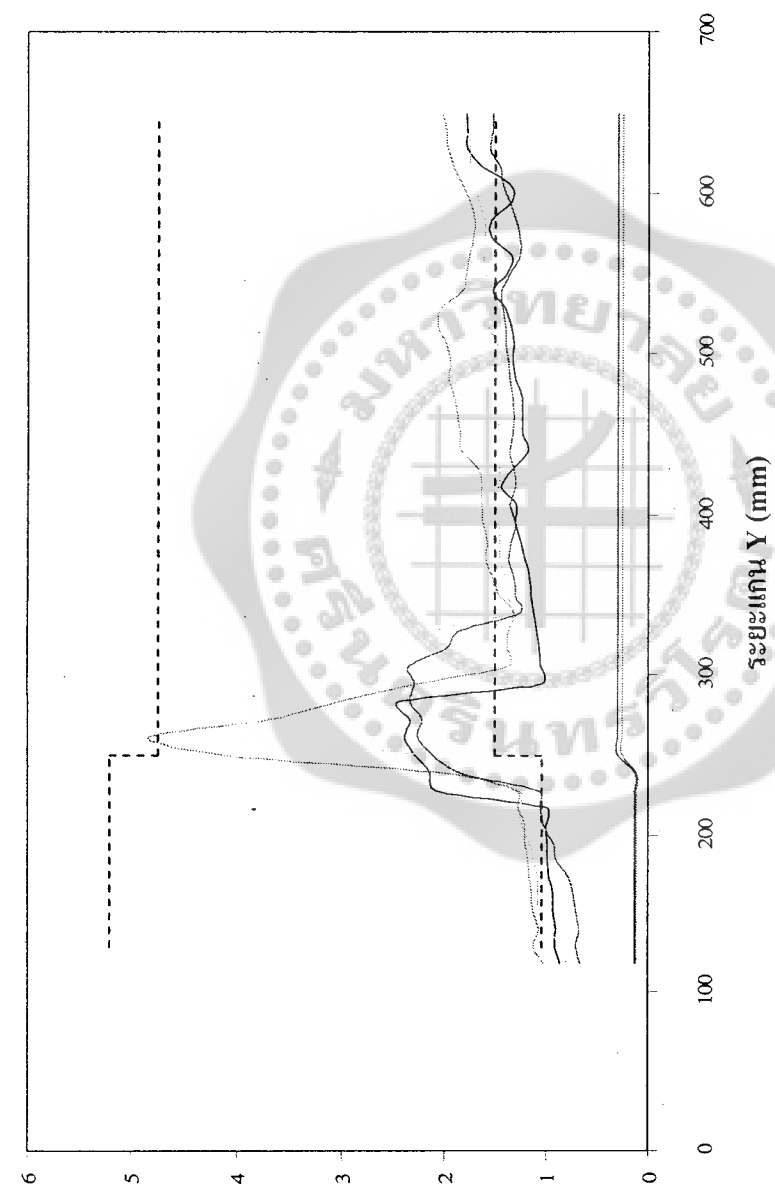
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour

จากรูปที่ 4.26, 4.27 และ 4.28 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของน้ำเมื่อไหลผ่านท่อลดขนาดที่อัตราการไหล 35 ลิตรต่อนาที สามารถสังเกตได้ว่าสีของเวกเตอร์บริเวณกึ่งกลางของ Test Section ส่วนใหญ่มีสีชมพูถึงสีม่วงซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 2-3 m/s และสีของเวกเตอร์บริเวณขอบของ Test Section เป็นสีส้มและสีแดงซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 1-1.5 m/s เมื่อเปรียบเทียบความเร็วที่บริเวณกึ่งกลางของ Test Section กับความเร็วบริเวณขอบของ Test Section พบว่าความเร็วที่บริเวณกึ่งกลางของ Test Section มีความเร็วกว่าบริเวณขอบของ Test Section

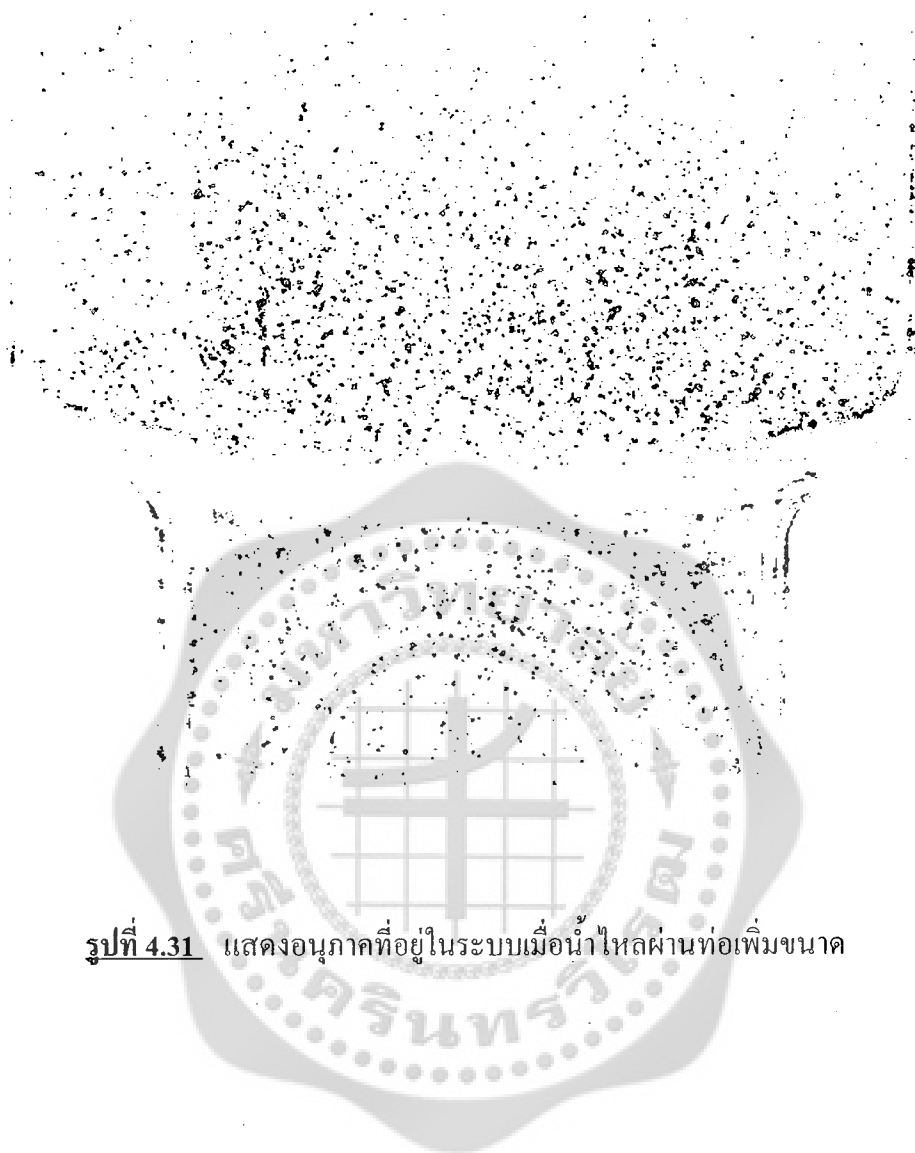
จากรูปที่ 4.29 เป็นการแสดงความเร็วในแบบ Contour ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อเล็กมีความเร็วกว่าในท่อใหญ่ โดยจะเห็นว่าโทนสีของพื้นที่บริเวณท่อเล็กจะอยู่ในช่วงความเร็วที่มากกว่าท่อใหญ่

จากผลการทดลองที่ 3 สามารถนำมาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบความเร็วเมื่อน้ำไหลผ่านท่อลดขนาดที่อัตราการไหล 30 และ 35 ลิตรต่อนาทีได้ดังนี้

ความเร็ว (m /s)

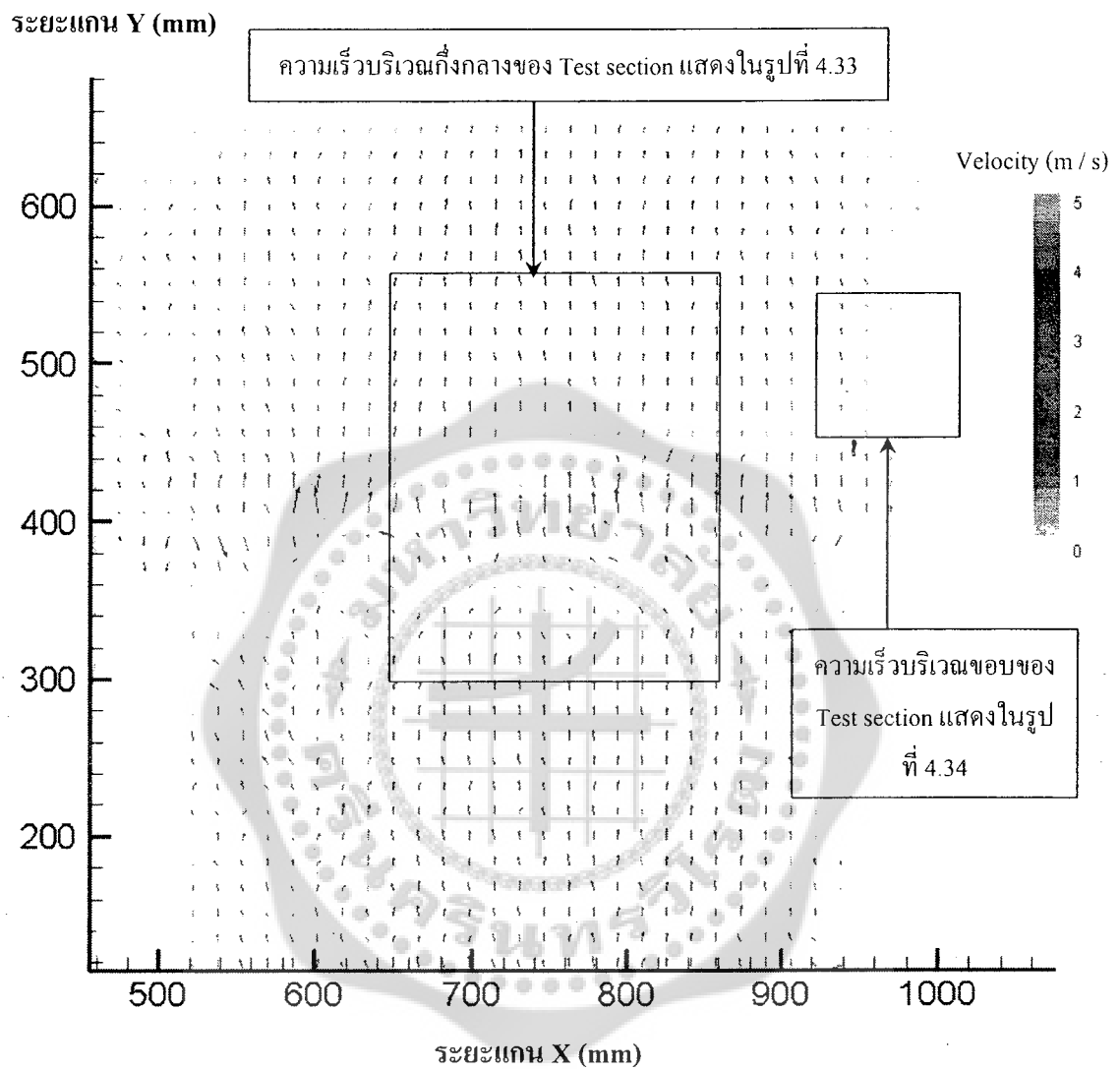


รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของไหล



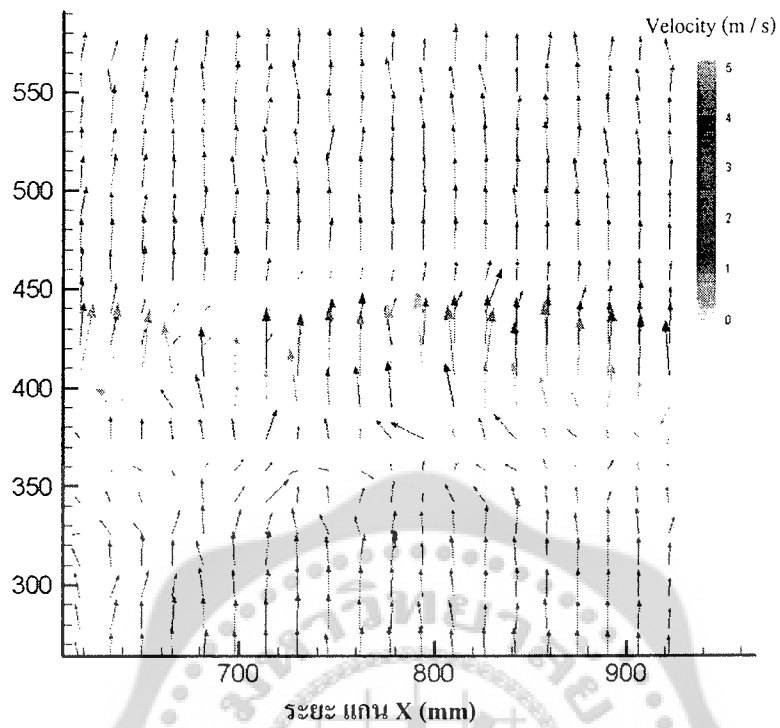
รูปที่ 4.31 แสดงอนุภาคที่อยู่ในระบบเมื่อน้ำไหลผ่านท่อเพิ่มขนาด

กราฟแสดงผลการทดลองที่ 4



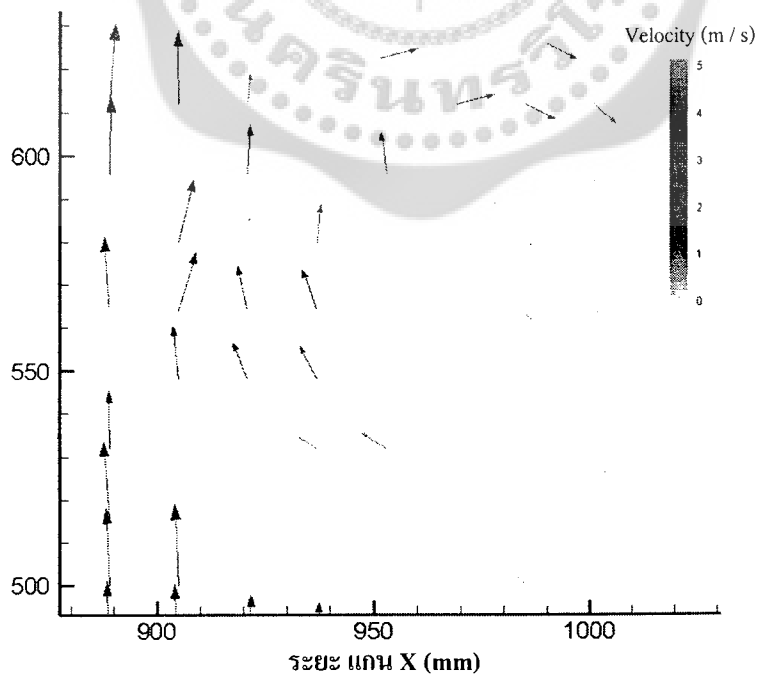
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่อน้ำไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดที่
อัตราการไหล 30 L/min

ระยะ แกน Y (mm)

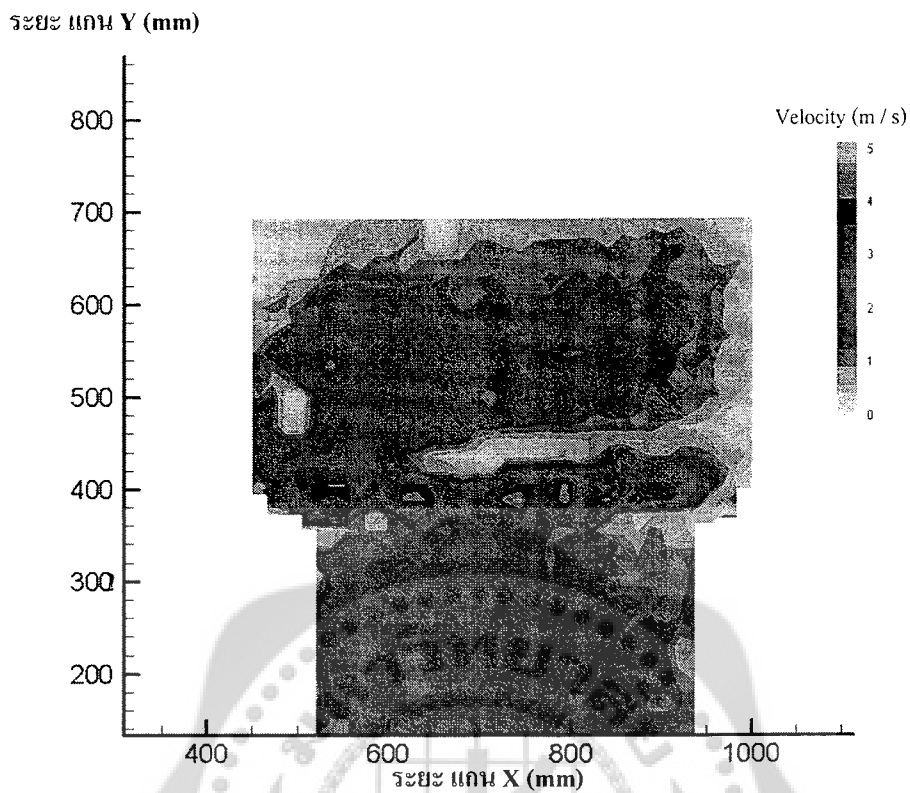


รูปที่ 4.33 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section

ระยะ แกน Y (mm)



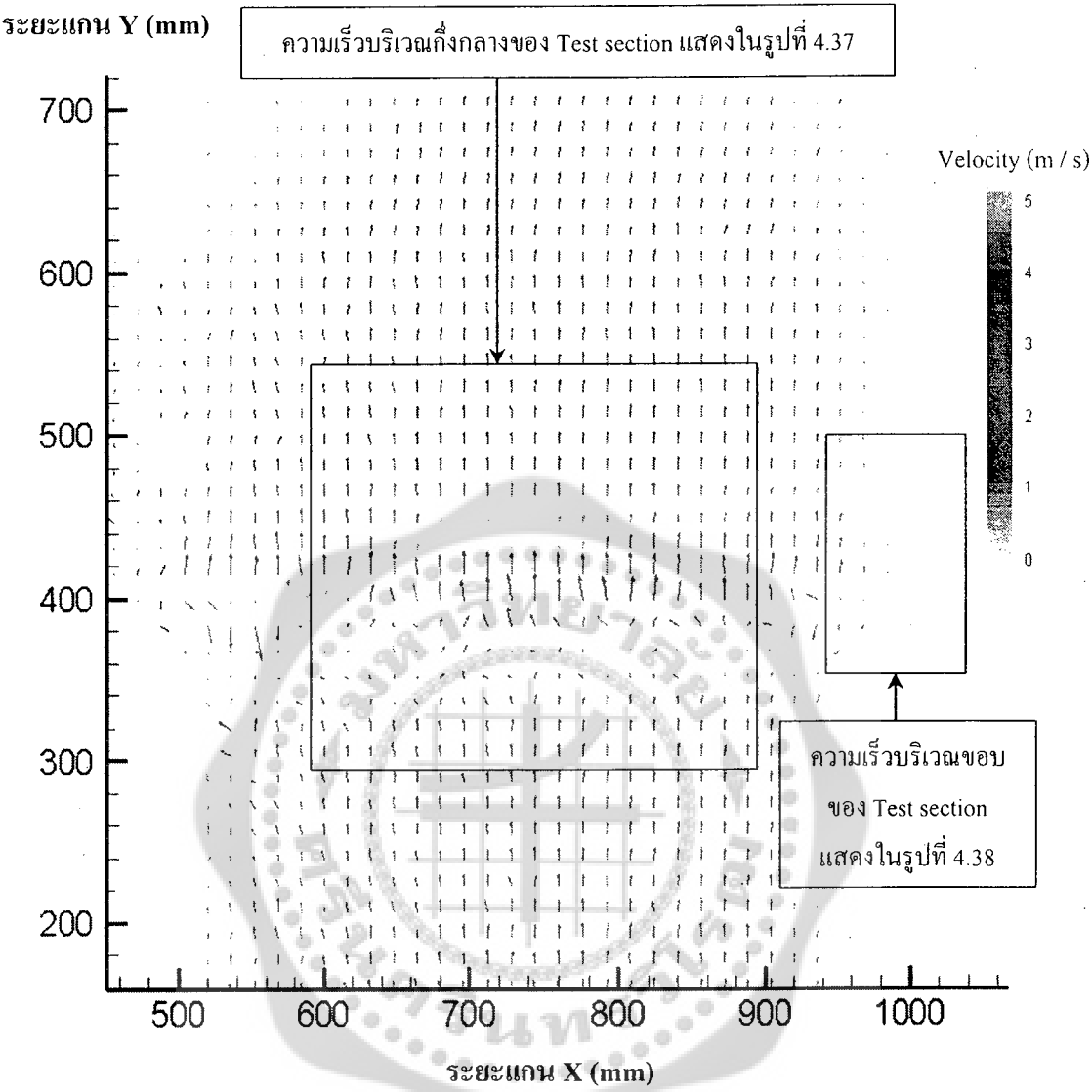
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour

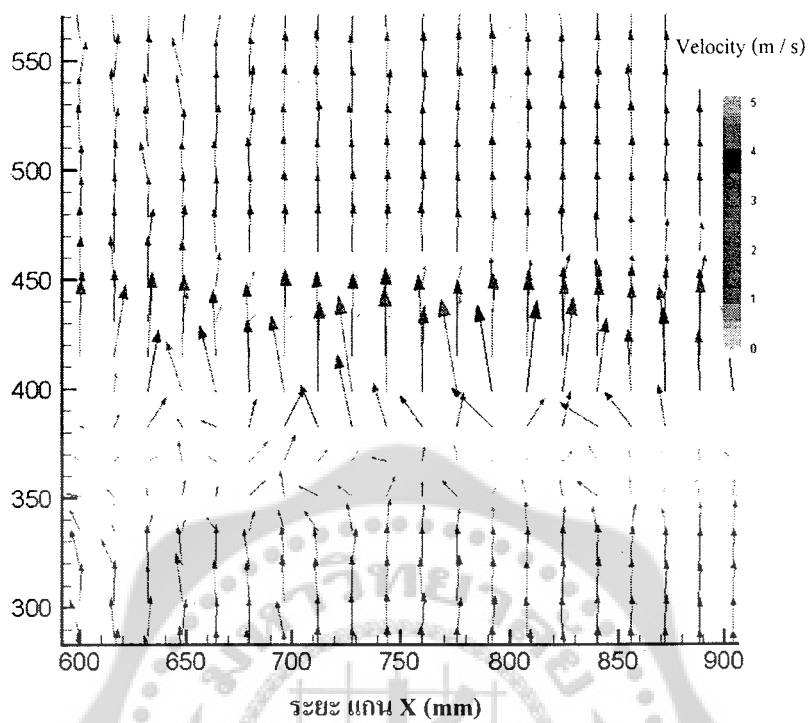
จากรูปที่ 4.32, 4.33 และ 4.34 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของน้ำเมื่อไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดที่อัตราการไหล 30 ลิตรต่อวินาที สามารถสังเกตได้ว่าสีของเวกเตอร์บริเวณกึ่งกลางของ Test Section ส่วนใหญ่มีสีชมพูและสีแดงซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 1.5-2.5 m/s และสีของเวกเตอร์บริเวณขอบของ Test Section เป็นสีส้มซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 0.5-1 m/s เมื่อเปรียบเทียบความเร็วที่บริเวณกึ่งกลางของ Test Section กับความเร็วบริเวณขอบของ Test Section พบว่าความเร็วที่บริเวณกึ่งกลางของ Test Section มีความเร็วกว่าบริเวณขอบของ Test Section และพบว่าที่บริเวณขอบของ Test Section มีการวกกลับของเวกเตอร์ความเร็วอยู่ด้วย แสดงว่าเกิดการหมุนวนของน้ำอยู่ในบริเวณขอบของ Test Section อีกด้วย

จากรูปที่ 4.35 เป็นการแสดงความเร็วในแบบ Contour ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อเล็กมีความเร็วกว่าในท่อใหญ่ โดยจะเห็นว่าโทนสีของพื้นที่บริเวณท่อเล็กจะอยู่ในช่วงความเร็วที่มากกว่าท่อใหญ่



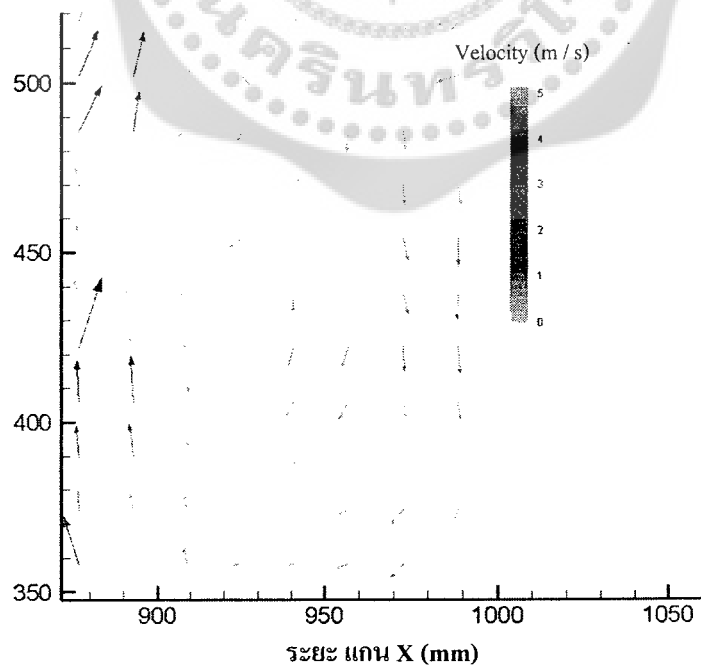
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่อน้ำไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดที่ อัตราการไหล 35 L/min

ระยะ แกน Y (mm)



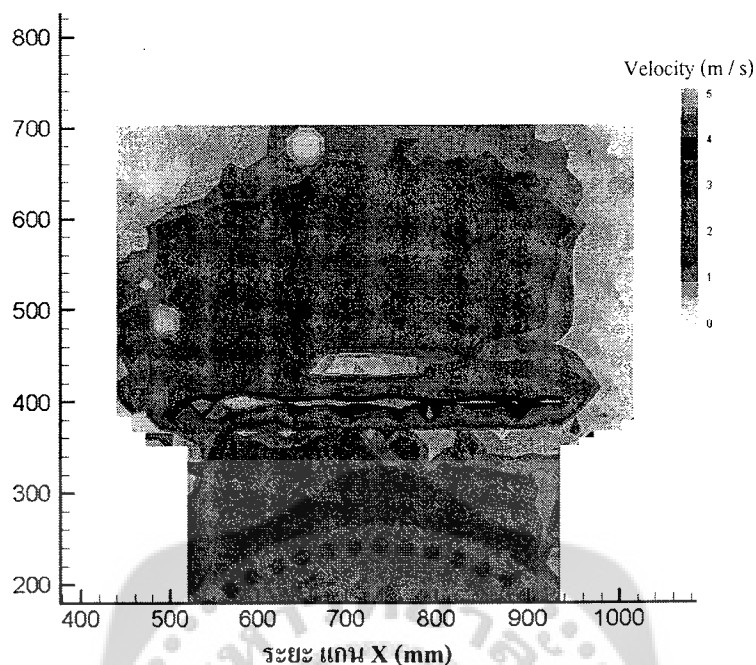
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณกึ่งกลางของ Test Section

ระยะ แกน Y (mm)



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงเวกเตอร์ความเร็วบริเวณขอบของ Test Section

ระยะ แกน Y (mm)



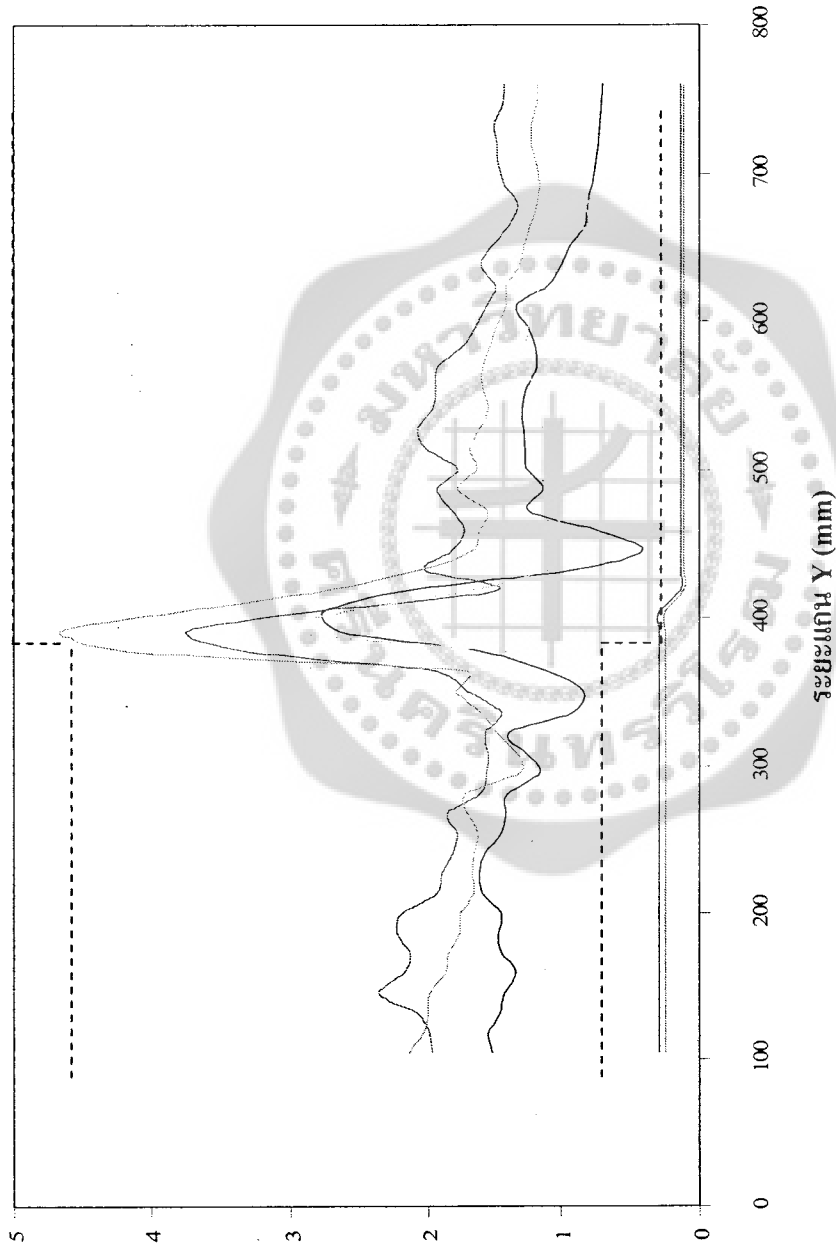
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความเร็วแบบ Contour

จากรูปที่ 4.36, 4.37 และ 4.38 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของน้ำเมื่อไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดที่อัตราการไหล 35 ลิตรต่อวินาที สามารถสังเกตได้ว่าสีของเวกเตอร์บริเวณกึ่งกลางของ Test Section ส่วนใหญ่มีสีชมพูและสีแดงซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 1.5-2.5 m/s และสีของเวกเตอร์บริเวณขอบของ Test Section เป็นสีแดงซึ่งหมายความว่าความเร็วจะอยู่ในช่วง 1.5-2 m/s เมื่อเปรียบเทียบความเร็วที่บริเวณกึ่งกลางของ Test Section กับความเร็วบริเวณขอบของ Test Section พบว่าความเร็วที่บริเวณกึ่งกลางของ Test Section มีความเร็วมากกว่าบริเวณขอบของ Test Section และพบว่าที่บริเวณขอบของ Test Section มีการวกกลับของเวกเตอร์ความเร็วอยู่ด้วย แสดงว่าเกิดการหมุนวนของน้ำอยู่ในบริเวณขอบของ Test Section อีกด้วย

จากรูปที่ 4.39 เป็นการแสดงความเร็วในแบบ Contour ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อเล็กมีความเร็วมากกว่าในท่อใหญ่ โดยจะเห็นว่าโทนสีของพื้นที่บริเวณท่อเล็กจะมีสีแดงและชมพูซึ่งอยู่ในช่วงความเร็วที่มากกว่าท่อใหญ่ที่มีแต่สีแดงและสีส้มเท่านั้น

จากผลการทดลองที่ 4 สามารถนำมาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบความเร็วเมื่อน้ำไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดที่อัตราการไหล 30 และ 35 ลิตรต่อวินาทีได้ดังนี้

ความเร็ว (m / s)



รูปที่ 4.40 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของไหล

บทที่ 5

สรุป

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า เมื่อของไหลไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของพื้นที่หน้าตัดอย่างทันทีทันใดจะทำให้ความเร็วของของไหลลดลง ซึ่งตรงกันข้ามกับเมื่อของไหลไหลผ่านท่อลดขนาด ที่ของไหลมีความเร็วเพิ่มมากขึ้น และเมื่อพิจารณาอัตราการไหลของของไหลที่ไหลในชุดทดลอง โดยทำการพิจารณาอัตราการไหลของน้ำที่ 30 ลิตรต่อวินาที และ 35 ลิตรต่อวินาที ส่วนอัตราการไหลของอากาศที่ 28 ลิตรต่อวินาที และ 33.6 ลิตรต่อวินาที พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำที่ 35 ลิตรต่อวินาที น้ำจะมีความเร็วกว่าอัตราการไหลของน้ำที่ 30 ลิตรต่อวินาที และที่อัตราการไหลของอากาศที่ 33.6 ลิตรต่อวินาที อากาศจะมีความเร็วกว่าอัตราการไหลที่ 30 ลิตรต่อวินาที ไม่ว่าจะเป็นการไหลผ่านท่อเพิ่มขนาดหรือลดขนาดก็ตาม ดังนั้นแสดงว่าอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นส่งผลกระทบต่อความเร็วของของไหลอีกด้วย

และเมื่อทำการพิจารณาความเร็วที่บริเวณกึ่งกลาง และที่บริเวณขอบของ Test-Section พบว่าความเร็วที่บริเวณกึ่งกลาง จะมีความเร็วกว่าบริเวณขอบของ Test Section อีกทั้งยังพบว่าที่บริเวณขอบของ Test Section จะเกิดการหมุนวนของของไหลอีกด้วย

เมื่อนำเวกเตอร์ความเร็วที่บริเวณกึ่งกลางของ Test Section ของแต่ละอัตราการไหลมาเปรียบเทียบกับก็พบว่าที่บริเวณกึ่งกลางของ Test Section ของอัตราการไหลที่สูงกว่า จะมีความเร็วกว่าบริเวณกึ่งกลางของ Test Section ของอัตราการไหลที่ต่ำกว่า

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองควรรอให้อนุภาคกระจายเข้าสู่ระบบเสียก่อนแล้วจึงค่อยทำการทดลอง
2. ในทำการทดลองต้องแน่ใจว่าอนุภาคต้องมีขนาดตามที่ได้กำหนดไว้ทั้งนี้เพื่อให้อนุภาคมีขนาดที่เท่ากันและป้องกันไม่ให้เกิดการทดลองคลาดเคลื่อน
3. ในการใส่อนุภาคเข้าในชุดทดลองที่ใช้น้ำเป็นสารตัวกลางควรผสมอนุภาคกับน้ำส่วนหนึ่งก่อน แล้วค่อยใส่เข้าไปในถังเก็บน้ำทั้งนี้เพื่อทำให้อนุภาคกระจายไปในระบบได้ดียิ่งขึ้น



บรรณานุกรม

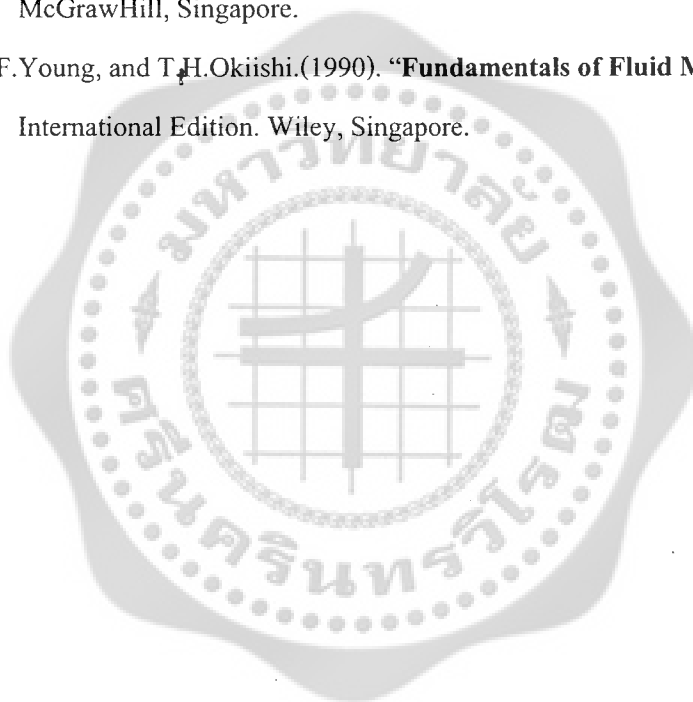
สุนันท์ ศรีนยนิษฐ์. 2547.กลศาสตร์ของไหล. พิมพ์ครั้งที่ 6. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น,
กรุงเทพฯ

มนตรี พิรุณเกษตร.2545. กลศาสตร์ของไหล. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์.2538. กลศาสตร์ของไหล. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด,
กรุงเทพฯ

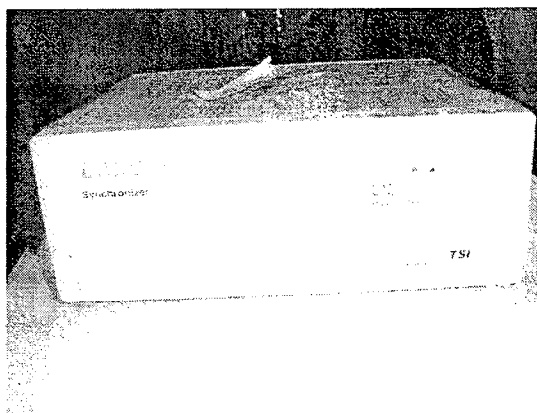
V.L. Streeter, E.B.Wylie, and K.W.Bedford .(1998). **“Fluid Mechanics”** International Edition.
McGrawHill, Singapore.

B.R.Munsun, D.F.Young, and T.H.Okiishi.(1990). **“Fundamentals of Fluid Mechanics”**
International Edition. Wiley, Singapore.

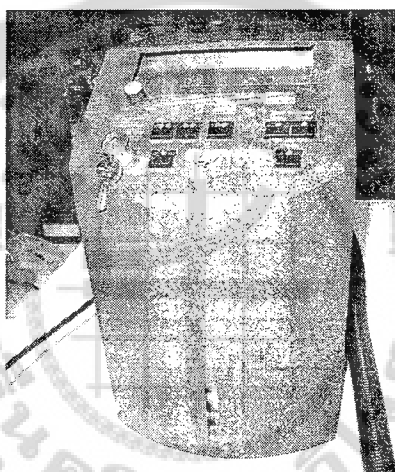


!

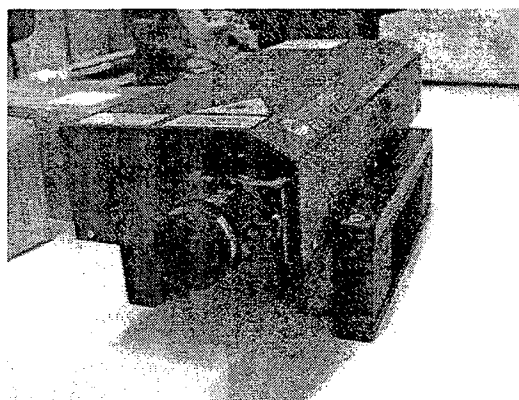




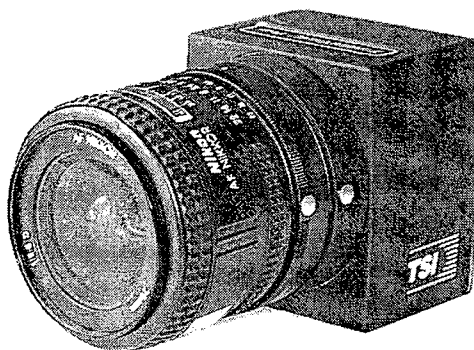
รูปผนวกที่ 1 Synchronizer



รูปผนวกที่ 2 Light Source



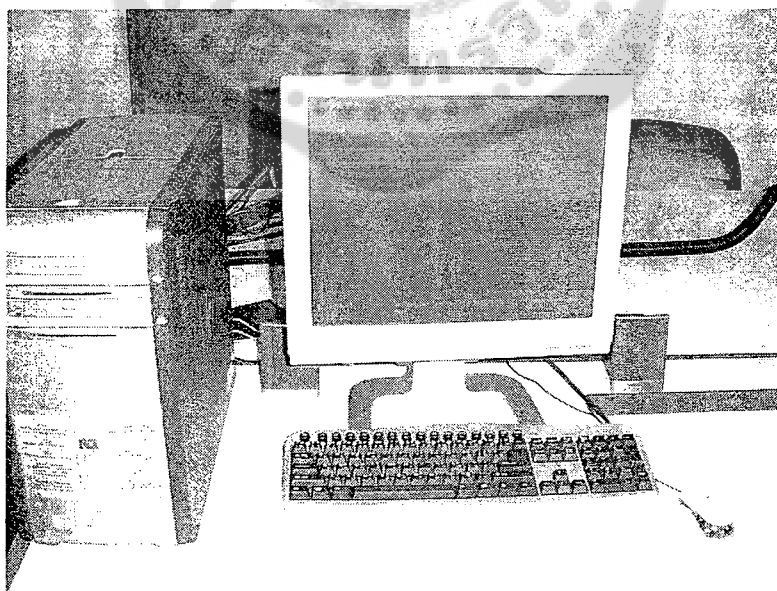
รูปผนวกที่ 3 Dual YGA



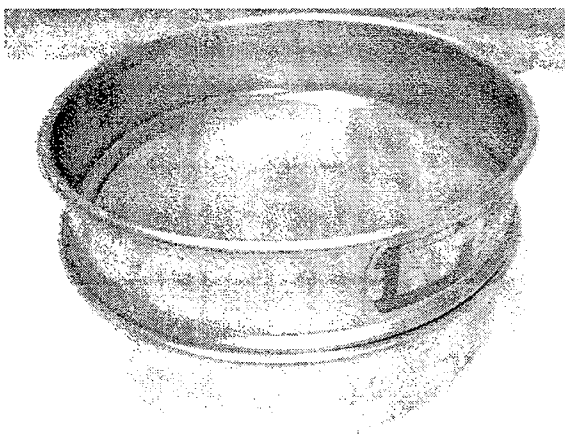
รูปผนวกที่ 4 CCD camera



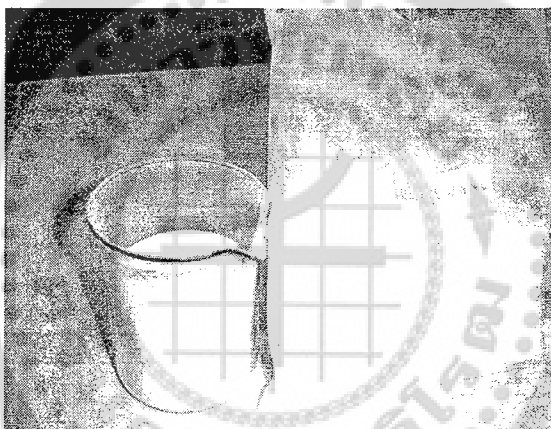
รูปผนวกที่ 5 Filter



รูปผนวกที่ 6 Computer



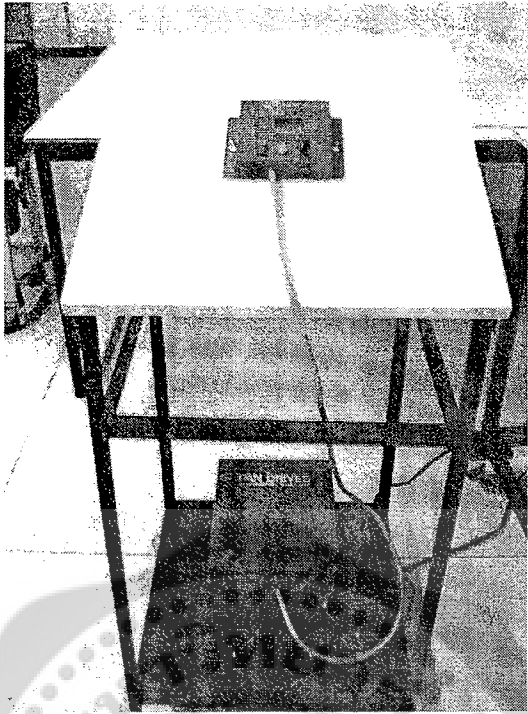
รูปผนวกที่ 7 ถาดคัดขนาดอนุภาคขนาด 75 ไมครอน ยี่ห้อ Retsdh



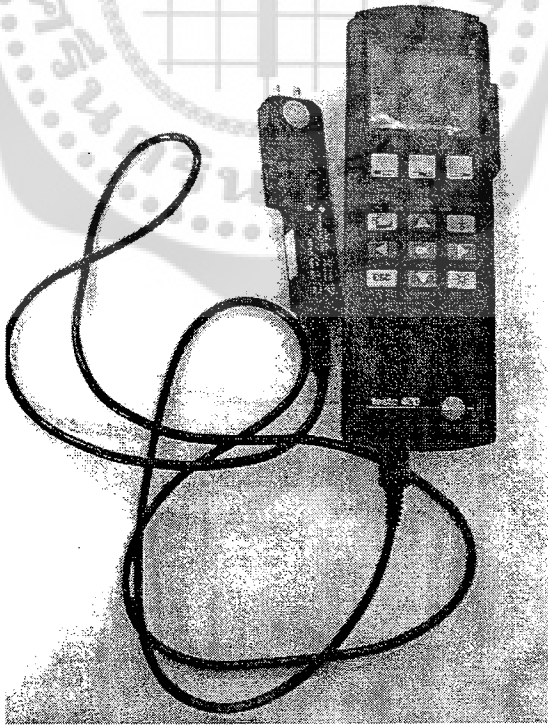
รูปผนวกที่ 8 อนุภาคไมโครบอลูน



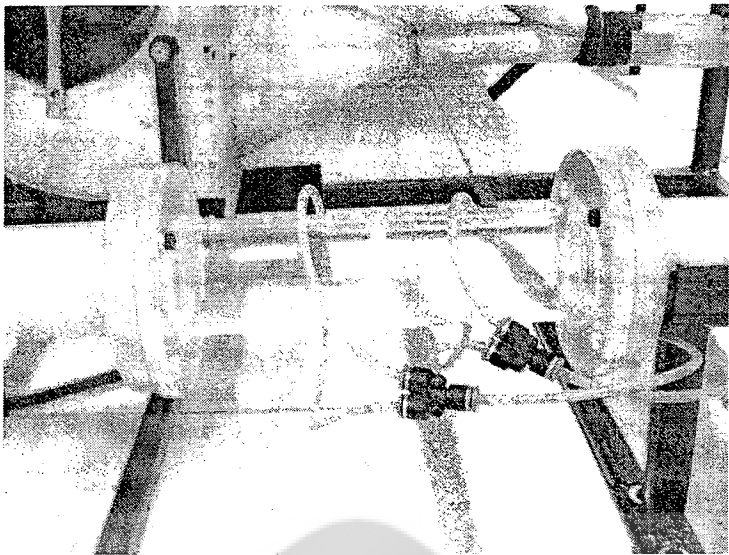
รูปผนวกที่ 9 อนุภาค Fume Silica



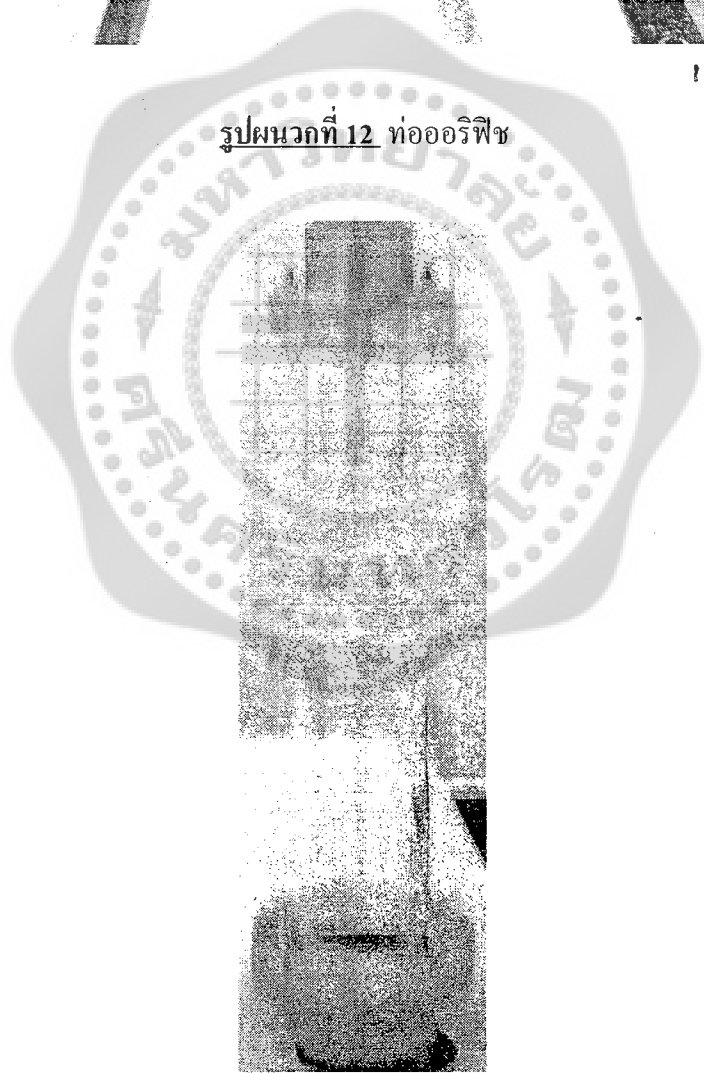
รูปผนวกที่ 10 Inverter



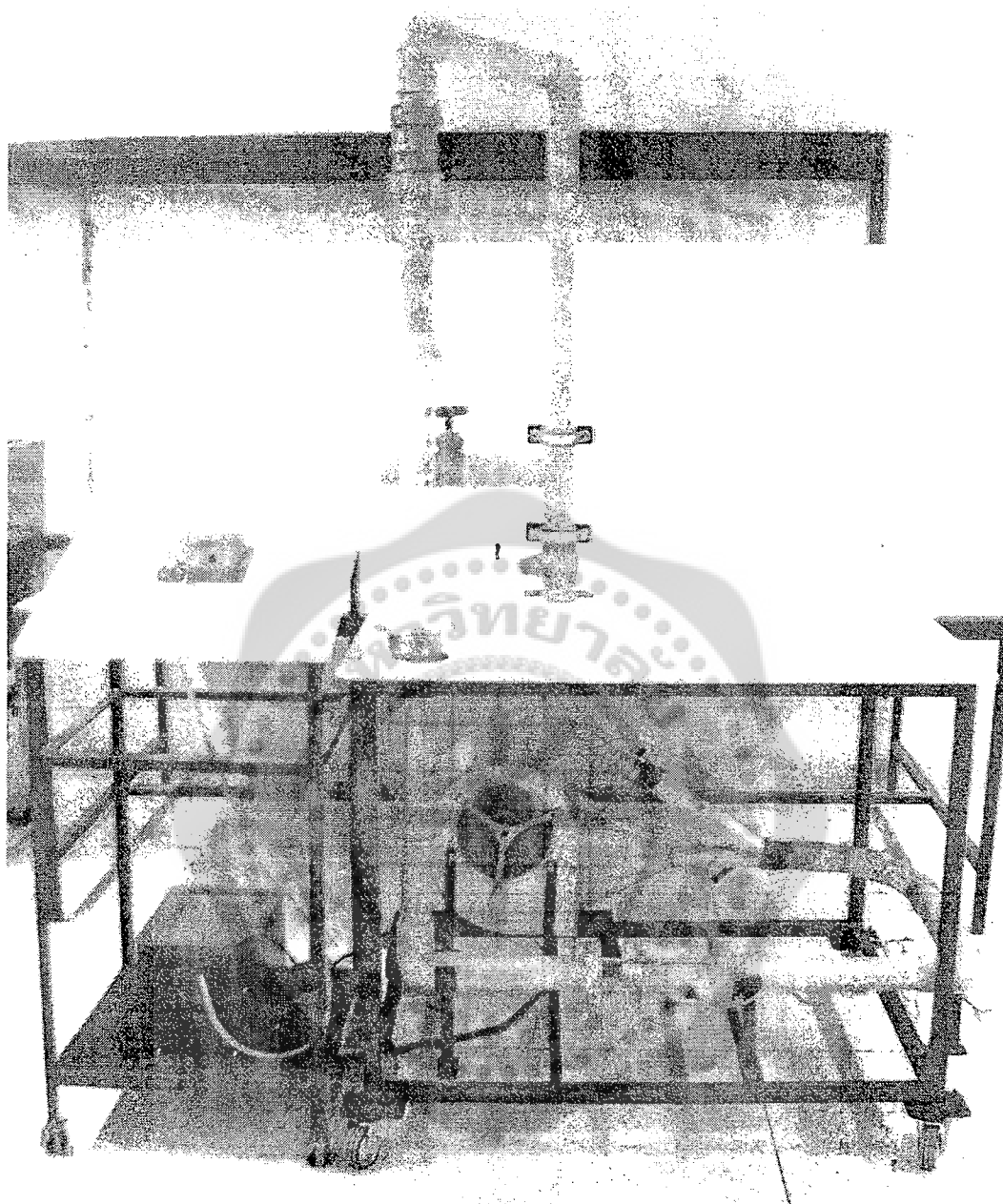
รูปผนวกที่ 11 Digital Manometer



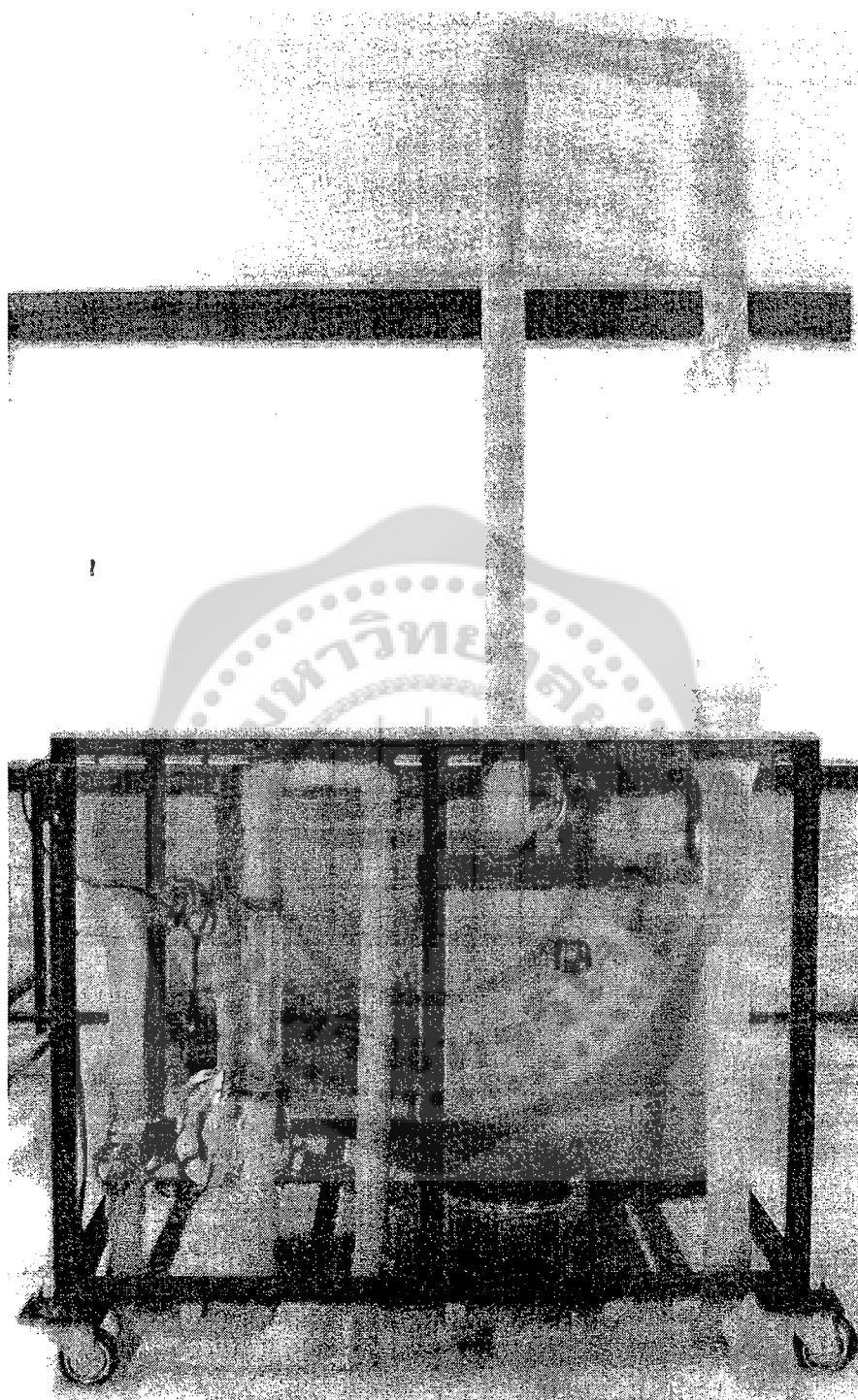
รูปผนวกที่ 12 ท่อออริฟิซ



รูปผนวกที่ 13 Test Section



รูปผนวกที่ 14 ชุดทดลองที่ใช้อากาศเป็นสารตัวกลาง



รูปผนวกที่ 15 ชุดทดลองที่ใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง

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)



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. คณะวิทยากรฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน

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. การพาความร้อนแบบเดือดแบบพุซของ 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-ε model, วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2547

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล (ไทย) ภาคมภูมิ ศรีรมริน
(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	ชื่อผู้สมัคร	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