

พัฒนาชุดทดสอบอุโมงค์ลมระยะที่ 2
Development of a wind tunnel: Phase II

นายเพิ่มศักดิ์	กันยาประสิทธิ์	รหัส	52361185
นายสามารถ	พรหมรินทร์	รหัส	52361406
นายเอกชัย	สุภาพล	รหัส	52361604

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 2 ต.ค. 2558
เลขทะเบียน..... 16430442
เลขเรียกหนังสือ..... 45.
มหาวิทยาลัยธนบุรี พ 041 พ 2555


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี
ปีการศึกษา 2555

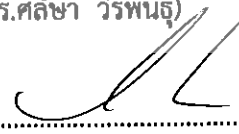


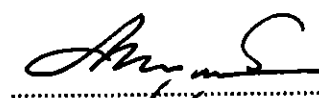
ใบรับรองปริญญาโท

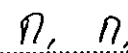
ชื่อหัวข้อโครงการ : พัฒนาชุดทดสอบอุโมงค์ลมระยะที่ 2
 ผู้ดำเนินโครงการ : นายเพิ่มศักดิ์ กันยาประสิทธิ์ รหัส 52361185
 นายสามารถ พรหมรินทร์ รหัส 52361406
 นายเอกชัย สุภาพล รหัส 52361604
 ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.ศลิษา วีรพันธุ์
 ผศ.ดร. ขวัญชัย ไกรทอง
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 ปีการศึกษา : 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรือรัมย์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงการ
 (ดร.ศลิษา วีรพันธุ์)

.....ที่ปรึกษาร่วมโครงการ
 (ผศ.ดร. ขวัญชัย ไกรทอง)

.....กรรมการ
 (ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)

.....กรรมการ
 (ผศ.ดร. กุลยา กนกจรรูจิตร)

ชื่อหัวข้อโครงการ : พัฒนาชุดทดสอบอุโมงค์ลมระยะที่ 2
 ผู้ดำเนินโครงการ : นายเพิ่มศักดิ์ กัญญาประสิทธิ์ รหัส 52361185
 นายสามารถ พรหมรินทร์ รหัส 52361406
 นายเอกชัย สุภาผล รหัส 52361604
 ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.ศลิษา วีรพันธุ์
 ผศ.ดร. ขวัญชัย ไกรทอง
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 ปีการศึกษา : 2555

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดปฏิบัติการอุโมงค์ลมต่อเนื่องจากโครงการ การพัฒนาชุดทดสอบกังหันลมขนาดเล็ก [1] ที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ทดสอบกังหันลมขนาดเล็กที่ระดับความเร็วอากาศ 3-5 m/s และสามารถติดตั้งชิ้นงานในส่วนปฏิบัติการขนาด 0.5 m x 1.15 m x 0.5 m โครงการนี้พัฒนาให้ส่วนอากาศแพร่ออกประกบติดกับชุดต้นกำลัง ได้สนิท ดัดรางเลื่อนที่ระนาบทดสอบ เพื่อความสะดวกในการวัดความเร็วลม และติดตั้งลูกถ้วยกับตัวอุโมงค์ลม เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย

เมื่อทำการปรับปรุงเสร็จได้มีการทดสอบเพื่อหาการกระจายความเร็วที่ระดับความเร็ว 3-5 m/s ผลการทดสอบพบว่าที่ระนาบทดสอบ A อยู่ห่างจากด้านหน้าของส่วนปฏิบัติการ 0.075 m และอยู่ด้านหลังรั้งผึ้ง มีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.999-4.983 m/s ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.158-0.183 ที่ระนาบทดสอบ B อยู่ห่างจากด้านหน้าของส่วนปฏิบัติการ 0.4 m และอยู่ด้านหลังรั้งผึ้ง มีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.082-5.080 m/s ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.126-0.148 ที่ระนาบทดสอบ C อยู่ห่างจากด้านหน้าของส่วนปฏิบัติการ 0.7 m และอยู่ด้านหลังรั้งผึ้ง มีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.017-5.025 m/s ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.119-0.122 จะเห็นว่าระนาบ C มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยที่สุด แสดงว่ามีความสม่ำเสมอของความเร็วอากาศที่มาก ดังนั้นจึงใช้ระนาบ C เป็นจุดติดตั้งโมเดลทดสอบ

คณะผู้จัดทำได้จัดตัวอย่างการทดลองการไหลของอากาศผ่านวัตถุ โดยใช้ดิสก์วงกลม เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของความเร็วอากาศ เมื่อไหลผ่านดิสก์วงกลม และหา Drag Coefficient ที่เกิดขึ้น โดยทำการทดลองที่ความเร็วอากาศ 5.575 m/s ($Re = 5.233 \times 10^4$) พบว่าในระยะตั้งแต่จุดกึ่งกลางจนถึงขอบดิสก์วงกลม ความเร็วด้านหลังมีค่าน้อยกว่าความเร็วด้านหน้าอยู่มาก แสดงให้เห็นว่าด้านหลังรูปทรงดิสก์วงกลมมีการไหลของอากาศที่น้อย และในช่วงขอบดิสก์วงกลม ความเร็วด้านหลังจะค่อยๆ สูงขึ้นจนมีค่าสูงกว่าความเร็วด้านหน้า คำนวณค่า Drag Coefficient ได้ 1.701 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้จากปฏิบัติการการไหลของอากาศ [2]

Project Title : DEVELOPMENT OF A WIND TUNNEL: PHASE II
Name : Mr.Phermsak Kanyapasit ID. 52361185
: Mr.Samart Phrommarin ID. 52361406
: Mr.Ekachai Supapol ID. 51361604
Project advisor : Dr.Salisa Veerapun
Asst.Prof.Dr.Kwanchai Kraitong
Major : Mechanical Engineering
Department : Mechanical Engineering
Academic year : 2012

Abstract

This project is a continuation of Development of a testing bench for small wind turbines apparatus [1]. The wind tunnel has been designed to generate the air velocity in a range of 3 to 5 m/s to enter a 0.5 m x 1.15 m x 0.5 m testing section. This project has made the improvement to; the connection between the diffusion and the power section, the adjustment of a measuring probe at four observing planes and the mobility of the apparatus.

The wind tunnel was tested under the air velocity ranging from 3 to 5 m/s and the velocity distribution at three observing planes along its longitudinal axis are observed. The result shows that: at plane A, the average velocity ranges 2.999-4.983 m/s with 0.158-0.183 standard deviation; at plane B, the average velocity are 3.082-5.080 m/s with 0.126-0.148 SD; and at plane C, the velocity distribution becomes more steady with the average velocity 3.017-5.025 m/s while having the SD 0.119-0.122. Therefore plane C is affirmed its use as the entrance to the testing section.

An experiment of the airflow over a circular disc is performed at the air velocity of 5.575 m/s ($Re=5.233 \times 10^4$) to observe the velocity distribution around the disc and calculate the Drag Coefficient. It has been found that, behind the disc, the air velocity dropped to the low of figure at the center of the disc and gradually increased at the distance from the center. It has been noticed here that the downstream air velocity was higher around the edge than that upstream. The Drag Coefficient was calculated. The experiment shows the Drag Coefficient to be 1.701 which is in accordance with 1.8 as suggested in a laboratory manual of the airflow visualization experiment data [2]

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร.ศลิษา วีรพันธุ์ และ ผศ.ดร. ขวัญชัย ไกรทอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น และตรวจสอบโครงการวิจัยฉบับนี้ให้กับคณะผู้จัดทำ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนโครงการและมอบเงินเพื่อใช้ในการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือและให้ความร่วมมือในการปฏิบัติงานจนทำให้โครงการฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ท้ายสุดนี้ขอมอบความดีของโครงการนี้ เพื่อเป็นกตเวทิตาคุณแต่บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน พร้อมกันนี้คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการฉบับนี้จะก่อประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติสืบไป

คณะผู้จัดทำโครงการ

นายเพิ่มศักดิ์	กันยาประสิทธิ์
นายสามารถ	พรหมรินทร์
นายเอกชัย	สุภาพล

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
ลำดับสัญลักษณ์	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 สถานที่ปฏิบัติงาน	2
1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน	2
1.7 งบประมาณที่ใช้	2
1.8 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 วรรณกรรมปริทัศน์	4
2.2 ประเภทของอุโมงค์ลม.....	6
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 การปรับปรุงและทดสอบอุโมงค์ลม.....	16
3.1 การปรับปรุงชุดทดสอบอุโมงค์ลม.....	16
3.2 การทดสอบเพื่อหาความเร็วเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดทดสอบในระยะต่างๆ.....	20
3.3 สรุปผลการทดสอบ.....	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผล	37
4.1 วัตถุประสงค์.....	37
4.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	37
4.3 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์.....	39
4.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	41
4.5 ผลการทดลอง	44
4.6 สรุปผลการทดลอง	52
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	53
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก ก การทดสอบเพื่อหาความเร็วเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดทดสอบในระยะต่างๆ.....	56
ภาคผนวก ข คู่มือปฏิบัติการการทดลองแรงต้านอากาศรวมของดิสก์วงกลม	61
ภาคผนวก ค ตารางสมบัติฟิสิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ.....	68
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งาน Manometer.....	70
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	79

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 อุโมงค์ลมแบบเปิด.....	7
รูปที่ 2.2 อุโมงค์ลมแบบปิด.....	8
รูปที่ 2.3 แมนอมิเตอร์รูปตัวยู.....	9
รูปที่ 2.4 แมนอมิเตอร์ดิฟเฟอเรนเชียล.....	10
รูปที่ 2.5 แมนอมิเตอร์ชนิดเวลล์.....	10
รูปที่ 2.6 แมนอมิเตอร์ชนิดอินโคลน์ เวลล์.....	11
รูปที่ 2.7 บารอมิเตอร์.....	11
รูปที่ 2.8 ท่อปิดท.....	12
รูปที่ 2.9 ท่อปิดทสถิต.....	13
รูปที่ 2.10 แมนอมิเตอร์ชนิด differential ใช้ร่วมกับท่อ pitote-static.....	14
รูปที่ 2.11 มาตรการความเร็วลมแบบลวดความร้อน.....	15
รูปที่ 3.1 ส่วนที่มีการปรับปรุง.....	16
รูปที่ 3.2 ส่วนอากาศแพร่ออกเสริมหน้าแปลนขนาด 7.5 x 7.5 m.....	17
รูปที่ 3.3 ติดตั้งรางเลื่อนเข้ากับตัวอุโมงค์ลมที่ระนาบทดสอบ.....	17
รูปที่ 3.4 ลูกล้อขนาด 3 นิ้ว.....	18
รูปที่ 3.5 ติดตั้งลูกล้อเข้ากับตัวอุโมงค์ลม.....	18
รูปที่ 3.6 ประกอบส่วนอากาศแพร่ออกเสริมหน้าแปลนเข้ากับตัวอุโมงค์ลม.....	18
รูปที่ 3.7 รางเลื่อน.....	19
รูปที่ 3.8 อุโมงค์ลมที่ปรับปรุงเสร็จสมบูรณ์.....	19
รูปที่ 3.9 พัดลมอุตสาหกรรม ขนาด 24 นิ้ว.....	20
รูปที่ 3.10 หัววัด Pitote tube.....	20
รูปที่ 3.11 เครื่องวัดमानอมิเตอร์.....	21
รูปที่ 3.12 Invertor control.....	21
รูปที่ 3.13 การกำหนดระยะของระนาบหน้าตัดที่จะทำการวัดการไหลของลม.....	22
รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งในการวัดของระนาบทดสอบ.....	22
รูปที่ 3.15 การติดตั้งหัววัด Pitote tube ในส่วนปฏิบัติงาน.....	23
รูปที่ 3.16 หัววัด Pitote tube ที่ติดตั้งเสร็จ.....	23
รูปที่ 3.17 ค่าความเร็วที่ได้จากमानอมิเตอร์.....	24
รูปที่ 3.18 แผนภาพการกระจายความเร็ว 3 m/s ที่ระนาบ A.....	24

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

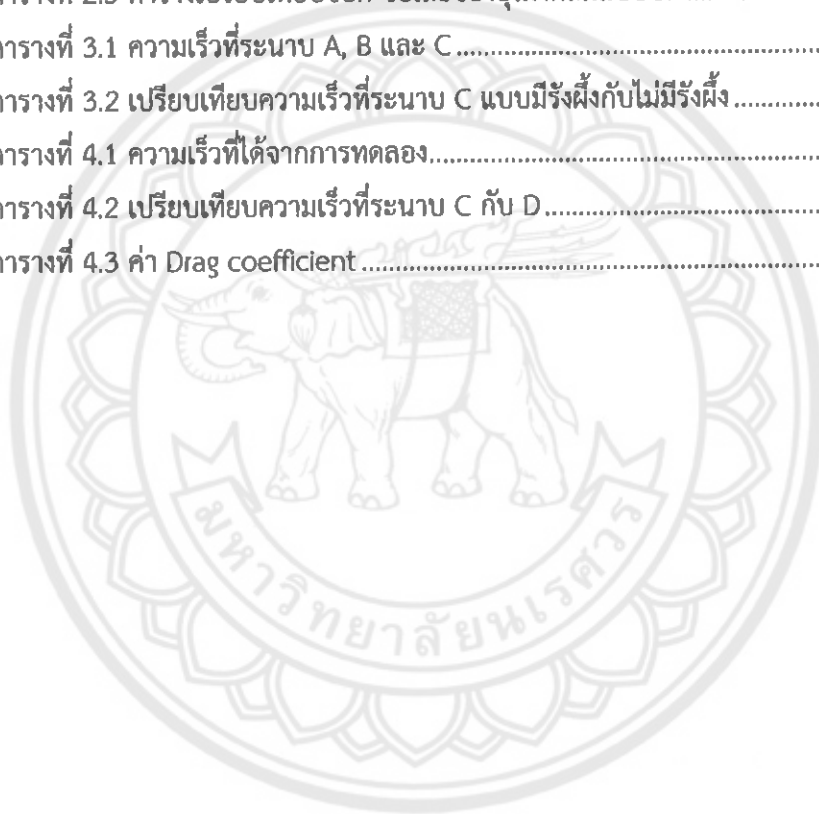
รูปที่ 3.19 แผนภาพการกระจายความเร็ว 4 m/s ที่ระนาบ A	25
รูปที่ 3.20 แผนภาพการกระจายความเร็ว 5 m/s ที่ระนาบ A	25
รูปที่ 3.21 แผนภาพการกระจายความเร็ว 3 m/s ที่ระนาบ B	26
รูปที่ 3.22 แผนภาพการกระจายความเร็ว 4 m/s ที่ระนาบ B	27
รูปที่ 3.23 แผนภาพการกระจายความเร็ว 5 m/s ที่ระนาบ B	27
รูปที่ 3.24 แผนภาพการกระจายความเร็ว 3 m/s ที่ระนาบ C	28
รูปที่ 3.25 แผนภาพการกระจายความเร็ว 4 m/s ที่ระนาบ C	29
รูปที่ 3.26 แผนภาพการกระจายความเร็ว 5 m/s ที่ระนาบ C	29
รูปที่ 3.27 กราฟเปรียบเทียบความเร็วที่ระนาบ A, B และ C	32
รูปที่ 3.28 กราฟเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระนาบ A, B และ C	32
รูปที่ 3.29 แผนภาพการกระจายความเร็ว 3 m/s ที่ระนาบ C ไม่มีรังผึ้ง	33
รูปที่ 3.30 แผนภาพการกระจายความเร็ว 4 m/s ที่ระนาบ C ไม่มีรังผึ้ง	33
รูปที่ 3.31 แผนภาพการกระจายความเร็ว 5 m/s ที่ระนาบ C ไม่มีรังผึ้ง	34
รูปที่ 3.32 กราฟเปรียบเทียบความเร็วที่ระนาบ C แบบมีรังผึ้งกับไม่มีรังผึ้ง	35
รูปที่ 3.33 กราฟเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระนาบ C แบบมีรังผึ้งกับไม่มีรังผึ้ง	35
รูปที่ 4.1 แสดงของไหลเมื่อกระทบกับผนังวางตัวในแนวตั้ง	38
รูปที่ 4.2 ดิสก์วงกลม	39
รูปที่ 4.3 หัววัดแบบ Pitote tube	39
รูปที่ 4.4 สายวัดความดัน	40
รูปที่ 4.5 เครื่องวัดมานอมิเตอร์ (manometer)	40
รูปที่ 4.6 การติดตั้งโมเดลดิสก์วงกลม	41
รูปที่ 4.7 การติดตั้ง Pitote tube	41
รูปที่ 4.8 ระนาบทดสอบ C และ D	42
รูปที่ 4.9 ระยะเวลาที่ระนาบ C และ D	42
รูปที่ 4.10 ระยะเวลาที่ซีกซ้ายและขวา	43
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความเร็วที่ระนาบ C	45
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความเร็วที่ระนาบ D	45
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบความเร็วที่ระนาบ C กับ D	47
รูปที่ 4.14 กราฟการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมที่เกิดขึ้นผ่านดิสก์วงกลม	48

รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่า Drag Coefficient ที่ Reynolds Number ต่างๆ.....51



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 งบประมาณที่ใช้.....	2
ตารางที่ 1.2 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 2.1 ผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดลอง.....	5
ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของอุโมงค์ลมแบบเปิด.....	8
ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของอุโมงค์ลมแบบปิด	9
ตารางที่ 3.1 ความเร็วที่ระนาบ A, B และ C.....	30
ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบความเร็วที่ระนาบ C แบบมีรังผึ้งกับไม่มีรังผึ้ง	34
ตารางที่ 4.1 ความเร็วที่ได้จากการทดลอง.....	44
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความเร็วที่ระนาบ C กับ D.....	46
ตารางที่ 4.3 ค่า Drag coefficient	49



ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
A	พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m^2)
D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m)
Ma	อัตราส่วนของค่าความเร็วของการไหลเฉพาะที่ (local flow) ต่ออัตราเร็วเสียง Mach Number
P	กำลังมอเตอร์ (W)
Re	ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์
V	ความเร็วของของไหล (m/s)
ρ	ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
μ	ความหนืดสัมบูรณ์ ($N \cdot s/m^2$)
Δp	ความดันต่าง (Pa)
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
m	มวล (kg)
F	แรง (N)
V	ปริมาตร (m^3)
c	อัตราเร็วเสียง (m/s)
C_d	สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

อุโมงค์ลม เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการทดสอบการไหลของของไหลผ่านรูปทรงต่างๆ ในห้องปฏิบัติการมากที่สุดชิ้นหนึ่ง เพราะการสร้างแบบจำลองขึ้นมาแล้วนำไปทดสอบพฤติกรรมของการไหลที่ไหลผ่านวัตถุ และลักษณะของความเร็วของการไหลที่เกิดขึ้น ล้วนเป็นสิ่งที่วิศวกรต้องการทราบก่อนการสร้างต้นแบบที่มีราคาแพงมากขึ้นมา

ในปี 2554 วันชัย อุ่นเพชร และคณะ [1] ได้พัฒนาชุดทดสอบกังหันลมขนาดเล็ก ซึ่งมีลักษณะเป็นอุโมงค์ลมแบบเปิด ชนิดดูดลมเข้า ใช้พัดลมอุตสาหกรรม ขนาดใบพัด 24 in. มอเตอร์ 1/3 Hp เป็นต้นกำลัง สามารถทำความเร็วลมได้ในช่วง 3-5 m/s มีขนาดส่วนปฏิบัติงาน 0.5 m x 1.15 m x 0.5 m เพื่อใช้ในการทดสอบกังหันลม ทั้งนี้ได้มีข้อเสนอแนะให้มีการพัฒนาชุดต้นกำลังติดกับส่วนอากาศแพร่ออก เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วของลม จากข้อเสนอแนะดังกล่าว จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบ และพัฒนาชุดทดสอบกังหันลมขนาดเล็ก เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของอุโมงค์ลมและอุปกรณ์การวัดความเร็วลมในอุโมงค์ลม ซึ่งคาดว่าจะสามารถนำไปปรับใช้ได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของอุโมงค์ลมและอุปกรณ์การวัดความเร็วลมในอุโมงค์ลม

1.2.2 พัฒนาชุดปฏิบัติการอุโมงค์ลมที่สามารถปรับความเร็วในช่วง 3-5 m/s

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ปรับชุดติดตั้งพัดลมกับตัวอุโมงค์ลมระยะที่ 1 เพื่อให้เคลื่อนย้ายได้

1.3.2 จัดหาอุปกรณ์วัดความดัน (pitote tube and manometer) และติดตั้งกับชุดอุโมงค์

ลม

1.3.3 ทำการทดลองและจัดทำคู่มือปฏิบัติการ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ชุดปฏิบัติการอุโมงค์ลมระดับความเร็ว 3-5 m/s ที่หน้าตัดทดสอบ
- 1.4.2 ได้แนวทางในการพัฒนาอุโมงค์ลมต่อไปในอนาคต
- 1.4.3 ได้ฝึกทักษะกระบวนการคิด การวางแผน การแก้ปัญหา และการทำงานเป็นทีม

1.5 สถานที่ปฏิบัติงาน

อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
จังหวัดพิษณุโลก

1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

- 1.6.1 พัฒลมอุตสาหกรรม ขนาด 24 นิ้ว ชนิดใบดูดกลับ
- 1.6.2 อุโมงค์ลม
- 1.6.3 เครื่องวัดความเร็วลม
- 1.6.4 หัววัด Pitote tube

1.7 งบประมาณที่ใช้

ตารางที่ 1.1 งบประมาณที่ใช้

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคา	หน่วย
1	ปรับปรุงส่วนอากาศแพร่ออก	1	500	บาท
2	ปรับปรุงรางเลื่อน	7	600	บาท
3	ลูกล้อ	4	400	บาท
4	ค่าวัสดุอุปกรณ์อื่นๆ		1000	บาท
5	ค่าทำรูปเล่ม	1	1000	บาท
	รวม	13	3,500	บาท

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของของไหลที่จะต้องพิจารณาในส่วนของการไหลในอุโมงค์ลม รวมไปถึงรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับอุโมงค์ลม ชนิด รูปแบบ รวมถึงส่วนประกอบและลักษณะพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุโมงค์ลม ที่จะใช้ประกอบการพิจารณาในการออกแบบ และจัดสร้างให้เหมาะสมกับชิ้นงานทดสอบที่กำหนด

2.1 วรรณกรรมปริทรรศน์

โครงการพัฒนาชุดทดสอบกังหันลมขนาดเล็ก [1]

ชุดทดสอบกังหันลมขนาดเล็ก เป็นอุโมงค์ลมแบบเปิด ประเภทความดันปกติ และเป็นอุโมงค์ลมชนิดดูดลมเข้า มีขนาดส่วนปฏิบัติงาน $0.5 \text{ m} \times 1.15 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ สามารถทำความเร็วลมได้ในช่วง $3\text{-}5 \text{ m/s}$ เลขมัคอยู่ที่ 0.016 ลักษณะการไหลเป็นแบบปั่นป่วน $Re = 1.536 \times 10^5$ ใช้พัดลมอุตสาหกรรม ขนาดใบพัด 24 in. มอเตอร์ $1/3 \text{ Hp}$ เป็นต้นกำลัง ที่ส่วนปฏิบัติงานใส่ชิ้นงานทดสอบ จากด้านบน สามารถทดสอบชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่สุดมีปริมาตร $0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$ มีการติดตั้งรังผึ้ง ซึ่งทำจากหลอดพลาสติก ขนาด $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ ติดไว้ที่ด้านหน้าส่วนปฏิบัติงาน เพื่อปรับการไหลให้มีความสม่ำเสมอ

การทดสอบในส่วนปฏิบัติงานแบ่งออกเป็น 4 ระนาบ และใช้ชุดควบคุมกระแสไฟ (Dimmer Control) ในการปรับความเร็วรอบของพัดลมที่ระดับ 3-6 ซึ่งจะได้ความเร็วลมเฉลี่ยที่อยู่ในช่วง $3\text{-}5 \text{ m/s}$ วันชัย อุ่นเพชร และคณะ. สรุปว่าระนาบ C มีค่าการกระจายของความเร็วลมน้อยที่สุด และมีความสม่ำเสมอของการไหลดีกว่าระนาบอื่น ซึ่งสามารถใช้เป็นระนาบทดสอบได้

จากการคำนวณระยะปากทางเข้า (L_e) ได้ 16.10 m ซึ่งการคำนวณไม่ได้คิดผลจากการใส่รังผึ้ง แต่ระยะของระนาบ C อยู่หลังจากปากทางเข้า 0.7 m หลังจากที่ใส่รังผึ้ง ทำให้ระนาบ C สามารถใช้เป็นระนาบทดสอบได้ จึงสรุปได้ว่าชุดปรับเส้นทางการไหลสามารถทำให้การไหลที่ระนาบ C มีความสม่ำเสมอ

ตารางที่ 2.1 เป็นการเปรียบเทียบความเร็วแบบจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดลองที่ระนาบทดสอบ C

ตารางที่ 2.1 ผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดลองที่ระนาบทดสอบ C [1]

สิ่งเปรียบเทียบ	ความเร็วที่ตำแหน่ง (m/s)									\bar{V} (m/s)	V max (m/s)	V min (m/s)	ค่า SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
ผลการทดลอง	5.39	5.63	5.59	5.51	5.59	5.51	5.39	5.63	5.51	5.53	5.63	5.39	0.09
แบบจำลอง	6.35	6.23	6.32	6.26	6.11	6.23	6.36	6.23	6.35	6.27	6.36	6.11	0.08

การคำนวณระยะปากทางเข้า (Entrance length, L_e)
ระยะปากทางเข้า (L_e) นั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืด (เลขเลขไนด์ลด์ส์, Re) โดยพิจารณาจาก

$$\frac{L_e}{D} = 4.4Re^{1/6} \quad \text{การไหลแบบปั่นป่วน} \quad (2.1)$$

จากสมการ (2.1) จะได้

$$\frac{L_e}{D} = 4.4Re^{1/6} = 4.4(1.536 \times 10^5)^{1/6} = 32.20$$

$$L_e = 32.20(0.5) = 16.10 \text{ m}$$

ระยะปากทางเข้าเท่ากับ 16.10 m ถ้าการไหลไหลพ้นจุดนี้ไปแล้วจะเป็นการไหลเต็มท่อ

การคำนวณเลขมัค

เลขมัคคือ อัตราส่วนของค่าความเร็วของการไหลเฉพาะที่ (local flow) ต่ออัตราเร็วเสียง

$$\text{จากสมการ} \quad Ma = \frac{V}{c} \quad (2.2)$$

ความเร็วของการไหล (V) (m/s)

อัตราเร็วเสียง (c) (m/s)

จากตารางสมบัติฟิสิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ

ที่อุณหภูมิขณะทำการทดสอบ (T) = 35

$$c = 351.9 \text{ m/s}$$

ที่ระนาบทดสอบ C

ที่ Dimmer control ระดับ 6 $V=5.57 \text{ m/s}$

$$\text{จะได้} \quad \text{Ma} = \frac{5.57}{351.9} = 0.016$$

ผลจากการคำนวณที่แต่ละระนาบทดสอบ โดยใช้ Dimmer Control ระดับ 6 พบว่า เลขมัค $\text{Ma} < 1$ จึงเป็นการไหลที่ความเร็วใต้เสียง (subsonic flow)

ข้อเสนอแนะ

1. อุโมงค์ลมเครื่องนี้ไม่สามารถดูเส้นการไหลของอากาศได้ ควรจะมีการพัฒนาต่อไป
2. ถ้าต้องการให้อุโมงค์ลมมีความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น ควรจะเปลี่ยนมอเตอร์ให้มีกำลังแรงม้าและรอบที่สูงขึ้น
3. ในการออกแบบไม่ได้ออกแบบให้ชุดต้นกำลังติดกับส่วนอากาศแพร่ออก จึงส่งผลให้ 2 ส่วนนี้ปิดกันไม่สนิท ควรจะมีการพัฒนาต่อไป

2.2 ประเภทของอุโมงค์ลม

2.2.1 แบ่งตามความดัน

2.2.1.1 ประเภทความดันปกติ อุโมงค์ลมประเภทนี้จะใช้อากาศที่มีความดันเท่ากับ ความดันบรรยากาศซึ่งทำได้โดยการใช้พัดลมดูดหรือเป่าอากาศผ่านวัสดุทดสอบ

2.2.1.2 ประเภทความดันสูง อุโมงค์ลมประเภทนี้จะใช้อากาศที่มีความดันสูงกว่า ความดันบรรยากาศทำได้โดยการใช้ถังลมอัดอากาศแล้วเป่าผ่านวัสดุทดสอบ

2.2.2 แบ่งตามอัตราเร็วของลมที่ตัวอุโมงค์สามารถทำได้

2.2.2.1 อุโมงค์ลมชนิด V/STOL เป็นอุโมงค์ลมชนิดพิเศษที่จะมีส่วนการทดลอง (Test section) ขนาดใหญ่ที่มีอัตราเร็วต่ำมากเพื่อใช้ทำการทดลองเครื่องบินที่สามารถ เคลื่อนที่ขึ้นและเคลื่อนที่ลงในแนวตั้ง และเครื่องบินที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นและลงใน ระยะทางที่สั้น (Vertical/Short Takeoff and Landing) อัตราเร็วของลมในส่วนการ ทดลอง (Test section) มักจะมีค่าเลขมัคตั้งแต่ 0.026 ถึง 0.13

2.2.2.2 อุโมงค์ลมชนิดอัตราเร็วต่ำ เป็นอุโมงค์ที่สามารถสร้างอัตราเร็วของลมอยู่ ในช่วงค่าเลขมัคไม่เกิน 0.39

2.2.2.3 อุโมงค์ลมชนิด transonic เป็นอุโมงค์ลมที่สามารถสร้างอัตราเร็วของลมใน ส่วนการทดลอง (Test section) ให้มีค่าเลขมัคอยู่ในช่วง 0.7 ถึง 1.4 ส่วนการทดลอง (Test section) ของอุโมงค์ลมชนิดนี้จะถูกล้อมรอบด้วยห้อง (plenum chamber) ขนาดใหญ่ และผนังของส่วนการทดลองจะมีการออกแบบให้มีช่องระบาย (ventilation slot) เพื่อให้

ตัวคลื่นช็อก (shock wave) สามารถเกิดขึ้นบริเวณแบบจำลองเมื่ออัตราเร็วของการไหลเข้าใกล้อัตราเร็วเสียง

2.2.2.4 อุโมงค์ลมชนิด supersonic เป็นอุโมงค์ลมที่สามารถสร้างอัตราเร็วของลมในส่วนการทดลอง (Test section) ให้มีค่าตัวเลขมักอยู่ในช่วง 1.0 ถึง 5

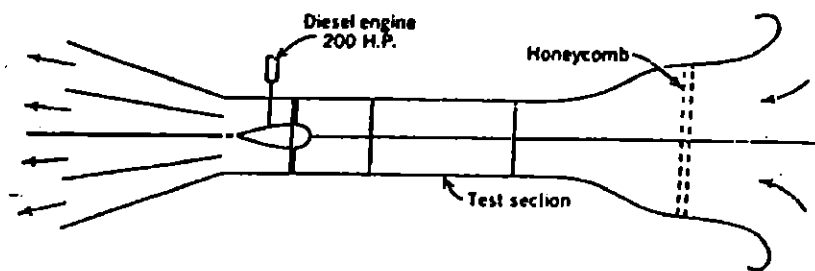
2.2.2.5 อุโมงค์ลมชนิด hypersonic เป็นอุโมงค์ลมที่สามารถสร้างอัตราเร็วของลมในส่วนการทดลอง (Test section) ให้มีค่าตัวเลขมักอยู่ในช่วง 5 ถึง 15 โดยในระหว่างการขยายการไหลก็จะทำให้เกิดความร้อนที่เกิดขึ้น ดังนั้นจำเป็นต้องมีการป้องกันการลอมละลายที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ด้วย

2.2.2.6 อุโมงค์ลมชนิด nonaeronautical เป็นอุโมงค์ลมที่ถูกออกแบบเพื่อทำการทดลองผลของลมที่มีต่ออาคาร รถยนต์และวัตถุที่ไม่บิน (nonflying object) อื่นๆ อุโมงค์ลมชนิดนี้จะมีขนาดและรูปร่างพิเศษ เช่น อุโมงค์ลมสำหรับงานอุตุนิยมวิทยา (meteorological wind tunnel) ที่มีส่วนการทดลองยาวเป็น 10 ถึง 15 เท่า ของความสูงของส่วนการทดลอง เป็นต้น

2.2.2.7 อุโมงค์ลมชนิด hypervelocity เป็นอุโมงค์ลมที่สามารถสร้างอัตราเร็วและอุณหภูมิของลมสูงกว่าความสามารถของอุโมงค์ลมชนิด hypersonic อัตราเร็วของลมในส่วนการทดลอง (Test section) ที่สามารถสร้างได้จะอยู่ในช่วงตัวเลขมักจาก 1 ถึง 25

2.2.3 แบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่

2.2.3.1 อุโมงค์ลมแบบเปิด คืออุโมงค์ลมที่มีบริเวณส่วนทางเข้าและทางออกของลมเปิดสู่สภาพแวดล้อมภายนอก ซึ่งอาจอยู่ภายในหรือภายนอกตัวอาคารที่ใช้ก่อสร้าง มีข้อดีคือประหยัดงบประมาณและพื้นที่ในการก่อสร้าง แต่ต้องมีพื้นที่ยาวมากและบริเวณรอบๆ จะต้องไม่มีลมกระแทบมายังทางเข้าและทางออกขณะทดสอบได้ และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในบริเวณรอบๆ ก็จะมีผลถึงการทดสอบทันทีเนื่องจากเป็นระบบเปิด การสร้างอุโมงค์ลมแบบนี้สามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ อุโมงค์ลมชนิดเป่า (Blower tunnel) พัดลมจะอยู่บริเวณต้นทางก่อนเข้าสู่ส่วนทดสอบ และอุโมงค์ลมชนิดลมดูด (Suction tunnel) พัดลมจะอยู่บริเวณด้านหลังส่วนทดสอบ ซึ่งมีข้อดีคือกระแสลมที่เข้ามาหาส่วนทดสอบจะปั่นป่วนน้อยกว่าการนำพัดลมไว้ด้านหน้า ดังรูปที่ 2.1

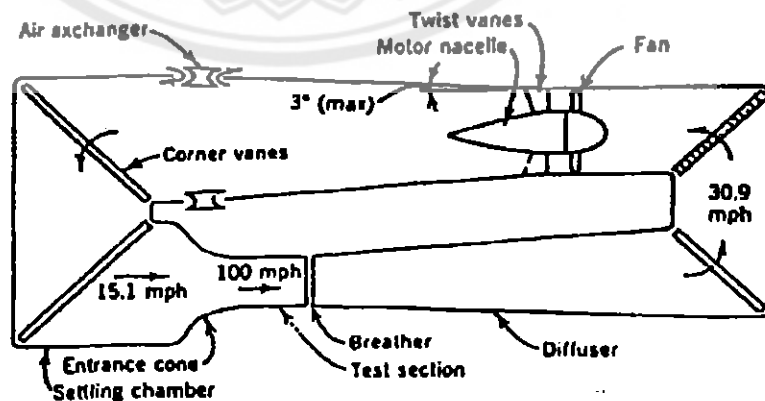


รูปที่ 2.1 อุโมงค์ลมแบบเปิด [3]

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของอุโมงค์ลมแบบเปิด [1]

ข้อดี	ข้อเสีย
<ol style="list-style-type: none"> 1. งบประมาณในการจัดสร้างน้อยกว่าอุโมงค์ลมแบบปิด 2. ถ้าหากมีการทดสอบโดยใช้แบบควัน (Smoke Test) ก็สามารถสร้างควันปล่อยที่ส่วนอากาศแพร่เข้าได้เลย 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ในกรณีห้องสถานที่ตั้งอุโมงค์ลม จำเป็นต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับตัวอุโมงค์ลม และมีฉากกันสภาวะของลมตามธรรมชาติ เพื่อจะได้ประสิทธิภาพในการทดสอบ 2. ขนาด และความเร็วภายในอุโมงค์ลม จะต้องใช้พลังงานในการเดินเครื่องมากกว่าอุโมงค์ลมแบบปิด 3. เกิดเสียงดังกว่าอุโมงค์แบบปิด

2.2.3.2 อุโมงค์ลมแบบปิด เป็นอุโมงค์ลมที่นำเอาลมที่พัดผ่านแบบจำลองในส่วนทดสอบไปแล้ววนกลับมาบริเวณทางเข้าโดยใช้พัดลมตัวเดียว ทำให้ไม่ต้องรับอากาศจากภายนอกเข้ามากระแสน้ำอากาศที่ได้จึงมีความราบเรียบ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดค่าต่างๆ สูงกว่าอุโมงค์ลมแบบเปิดเนื่องจากสามารถควบคุมการไหลของลมที่ไหลกลับมาใหม่ได้ และไม่ได้รับผลกระทบจากอากาศบริเวณรอบๆ อุโมงค์ลมชนิดนี้ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิขณะทำการทดสอบได้ แต่การก่อสร้างต้องใช้งบประมาณสูง และต้องมีพื้นที่กว้างในการรองรับโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 อุโมงค์แบบปิด [3]

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของอุโมงค์ลมแบบปิด [1]

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ใช้พลังงานในการสร้างความเร็วลมให้กับห้องทดสอบน้อย 2. ไม่มีเสียงดัง	1. งบประมาณในการจัดสร้างค่อนข้างสูง

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 แมนอมิเตอร์ (Manometer)

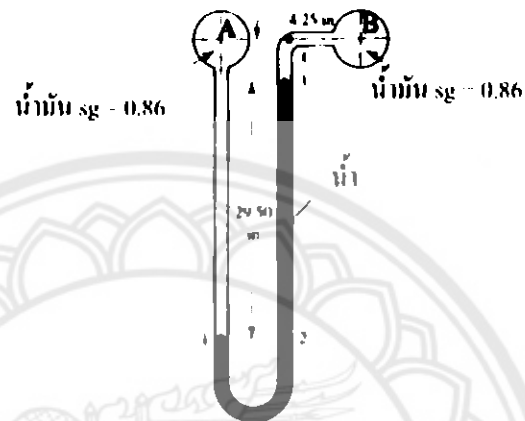
เป็นอุปกรณ์ใช้วัดความดันบนหลักการความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนความดันและความสูงของของไหลที่อยู่นิ่ง โดยใช้สมการ ดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 แมนอมิเตอร์รูปตัวยู [4]

เมื่อต่อด้านหนึ่งของหลอดรูปตัวยูเข้ากับความดันที่ต้องการวัด อีกด้านหนึ่งจะเปิดสู่บรรยากาศ ภายในหลอดรูปตัวยูบรรจุของเหลวซึ่งไม่ผสมกับของเหลวที่ต้องการวัดความดันของเหลวที่นิยมใช้คือ น้ำ ปรอท และน้ำมันเบาที่ใสสี ความดันของของไหลที่ต้องการวัดทำให้ของเหลวในแมนอมิเตอร์ถูกแทนที่ไปจากตำแหน่งเดิมจนกระทั่งอยู่นิ่ง คำนวณความดันที่เกิดขึ้นตลอดแมนอมิเตอร์โดยวิธีพีซคณิต เขียนสมการ หาค่าความดันจากแมนอมิเตอร์ที่จุดต่างๆ เริ่มจากจุดที่รู้ความดัน และเขียนสัญลักษณ์กำกับ เช่น p_A หมายถึงความดันที่จุด A ไปยังจุดที่ต้องการวัดความดัน ต้องใช้เครื่องหมายทางพีซคณิตอย่างระมัดระวังและถูกต้องสำหรับแต่ละเทอมของสมการ แล้วจึงแทนค่าตัวแปรที่ทราบ และหาค่าความดันที่ต้องการ

2.3.1.1 แมนอมิเตอร์ดิฟเฟอเรนเชียล (differential manometer) ใช้ชี้ความแตกต่างระหว่างความดันสองจุด ได้แก่ที่ A และ B ดังรูป 2.4 ซึ่งไม่ได้นำไปใช้วัดค่าความดันที่แท้จริงของจุดใดจุดหนึ่ง



รูปที่ 2.4 แมนอมิเตอร์ดิฟเฟอเรนเชียล [4]

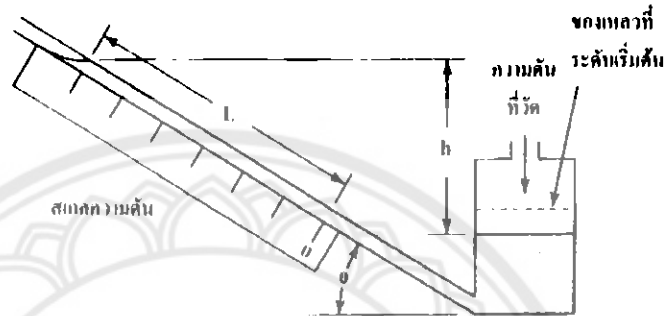
2.3.1.2 แมนอมิเตอร์ชนิดเวลล์ (well-type manometer) ความดันที่ถูกวัดทำให้ระดับของของไหลในหลอดใหญ่ลดลงเพียงเล็กน้อย แต่ส่งผลต่อความสูงของหลอดเล็กทางขวามือเป็นอย่างมาก และความดันเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของพื้นที่ของหลอดใหญ่กับหลอดเล็ก เมื่อทำการเปรียบเทียบแล้วจะได้เกลาอ่านค่าความดันได้โดยตรงที่หลอดเล็กทางขวามือ ดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 แมนอมิเตอร์ชนิดเวลล์ [4]

2.3.1.3 แมนอมิเตอร์ชนิดอินไคลด์ เวลล์ (inclined well-type manometer) คล้ายกับชนิดเวลล์ ซึ่งมีความไวในการวัดความดันมากกว่าชนิดเวลล์ตรงที่คอลัมน์เล็ก ที่ใช้

เอียงทำมุมต่ำลงมา ความยาวของคอลัมน์เพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันกับมุม θ ที่เอียงลงไปทำมุมกับหลอดใหญ่ที่ใช้วัดความดันของไหล ดังรูป 2.6 อัตราส่วนความสูงของแมนอมิเตอร์ h กับความยาวของคอลัมน์เล็ก $\frac{h}{L} = \sin \theta$

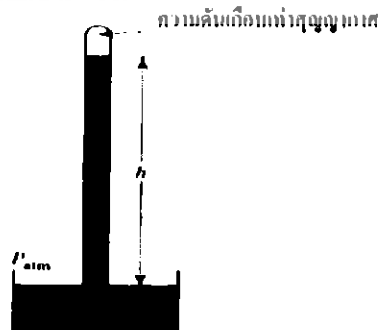


รูปที่ 2.6 แมนอมิเตอร์ชนิดอินโคลน์ เวลล์ [4]

ถ้า θ ทำมุม 15° จะได้ $\frac{L}{h} = \frac{1}{\sin \theta} = \frac{1}{\sin 15^\circ} = \frac{1}{0.259} = 3.86$

ทำการเปรียบเทียบความดันกับความสูงเพื่ออ่านจากสเกลได้โดยตรง

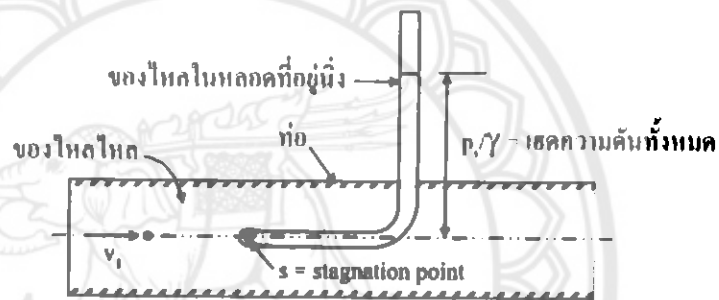
2.3.1.4 บารอมิเตอร์ (barometer) บารอมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันบรรยากาศ ดังรูป 2.7 ประกอบด้วยคอลัมน์ยาวปลายด้านหนึ่งปิดและมีปรอทอยู่เต็ม ปลายอีกด้านหนึ่งเปิดและถูกคว่ำอยู่ในอ่างบรรจุปรอท ความดันบรรยากาศดันปรอทเข้าไปในหลอด ที่สภาวะสมดุลเกิดช่องว่างขึ้นตรงปลายด้านบนสุดของคอลัมน์ ความดันที่ผิวในของคอลัมน์เข้าใกล้ความดันสุญญากาศ ซึ่งคือความดันไอของปรอทเท่ากับ 0.17 Pa ที่ 20°C



รูปที่ 2.7 บารอมิเตอร์ [4]

2.3.2 หัววัดความเร็ว (velocity probe)

อุปกรณ์วัดความเร็วเฉพาะจุดที่ไม่ใช่วัดความเร็วเฉลี่ยใช้อุปกรณ์ เรียกว่า ท่อปีตอท (pitote tube) เมื่อของไหลเคลื่อนที่และถูกทำให้หยุดเมื่อมีวัตถุไปกั้นไว้ ความดันเกิดขึ้นมากกว่าความดันของลำของไหล ขนาดของความดันเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับความเร็วของการเคลื่อนที่ของของไหล ท่อปีตอทใช้หลักการนี้เพื่อบอกค่าความเร็วดังรูป 2.8 ท่อปีตอทเป็นท่อเล็กกลางวางอยู่ในตำแหน่งด้านปลายเปิดด้านหนึ่งอยู่ในลำของไหลโดยตรง ความดันปลายท่ออ่านได้จากของไหลที่ไหลเข้าสู่คอลัมน์ ปลายท่อเป็นของไหลอยู่นิ่ง (stationary หรือ stagnant) และจุดนี้เรียกว่า stagnation point



รูปที่ 2.8 ท่อปีตอท [4]

สมการพลังงานทั่วไปแสดงความสัมพันธ์ของความดันคงที่ stagnation point กับความเร็วของของไหล ถ้าจุด 1 คือลำของไหลก่อนเข้าไปในท่อปีตอทและจุด S คือ stagnation point

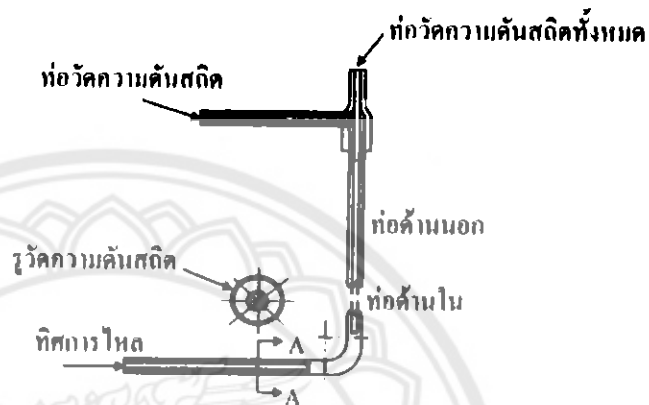
$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = \frac{p_s}{\gamma} + z_s + \frac{v_s^2}{2g} \quad (2.3)$$

โดยที่ p_1 คือความดันสถิตในลำของไหลหลัก, $\frac{p_1}{\gamma}$ คือเสดความดันสถิตย์, p_s คือความดัน stagnation หรือความดันทั้งหมด, $\frac{p_s}{\gamma}$ คือเสดความดันทั้งหมด และ $\frac{v_1^2}{2g}$ คือเสดความเร็ว

เมื่อ $v_s=0$, $z_1=z_s$ และ $h_L=0$ เสดความดันทั้งหมดเท่ากับผลรวมของเสดความดันสถิต และเสดความเร็วย้ายข้างหา v_1 จะได้

$$v_1 = \sqrt{\frac{2g(p_s - p_1)}{\gamma}} \quad (2.4)$$

ความเร็วที่ต้องการคำนวณใช้เพียงความแตกต่างระหว่าง p_s และ p_1 เท่านั้น ด้วยเหตุผลนี้จึงสร้างท่อปิดเพื่อวัดความดันสถิตและความดันที่ stagnation point พร้อมกันในอุปกรณ์เพียงชิ้นเดียวเรียกว่า pitot-static tube ดังรูป 2.9



รูปที่ 2.9 ท่อปิดทาสติต [4]

ท่อเล็กปลายเปิดอยู่ตรงกลางภายในท่อใหญ่กว่าทำงานเหมือนกับท่อปิดทาสติตเพียงท่อเดียว วัดความดันทั้งหมดและส่งผ่านท่อไปยังปลายท่อที่ต่ออยู่กับอุปกรณ์วัดความดัน ท่อปิดทาสติตอยู่ตรงกลางท่อของไหลทำให้เกิดช่องว่างวงแหวนระหว่างตรงกลางและด้านนอกของท่อปิดทาสติต ส่วนแนว A-A แสดงรูขนาดเล็ที่เจาะตรงด้านนอกของท่อปิดทาสติตแต่ไม่ทะลุไปถึงท่อที่อยู่ตรงกลาง เมื่อวางท่อในทิศการไหล รูรอบท่อเหล่านี้ตั้งฉากกับการไหลและส่งความดันสถิตออกมาเรียกว่า p_1 สังเกตว่าตัววัดความดันสถิตที่ปลายสุดอีกด้านหนึ่งของท่อปิดทาสติตต่อเข้ากับเครื่องมือวัด เครื่องมือวัดไม่ต้องการวัดทั้ง p_s หรือ p_1 อย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ต้องการวัดความแตกต่างของความดัน ($p_s - p_1$) นั่นคือ สิ่งที่ต้องการทราบในสมการ (2.3)

ถ้าใช้แมนอมิเตอร์วัดความแตกต่างความดัน ดังรูป 2.10 โดยอ่านค่าความแตกต่างของความสูงของของไหลในแมนอมิเตอร์ h แล้วนำไปสัมพันธ์กับความเร็ว เขียนสมการแสดงความแตกต่างระหว่าง p_s และ p_1 โดยเริ่มที่รูความดันสถิตซึ่งอยู่ด้านนอกของท่อผ่านแมนอมิเตอร์และไปสิ้นสุดที่ปลายเปิดของท่อที่จุด s เขียนสมการความแตกต่างของความดันจากแมนอมิเตอร์ได้เป็น

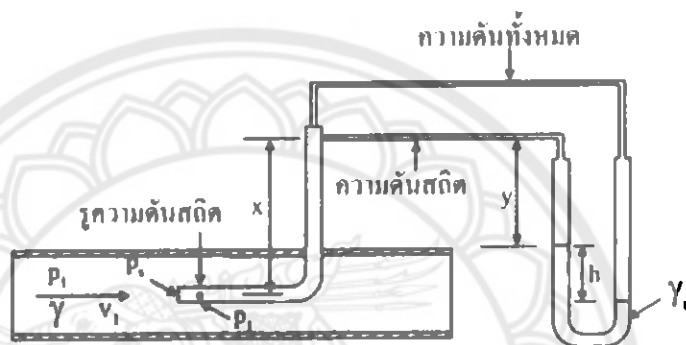
$$p_1 - \rho x + \rho y + \gamma_g h - \rho h - \rho y + \rho x = p_s \quad (2.5)$$

เทอมที่ไม่รู้ค่า x และ y ตัดกันเอง หากความแตกต่างความดันได้

$$p_s - p_1 = \gamma_g h - \rho h = h(\gamma_g - \rho) \quad (2.6)$$

แทนสมการ (2.4) ลงในสมการ (2.3) ได้

$$v_1 = \sqrt{\frac{2gh(\gamma_g - \gamma)}{\gamma}} \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.10 แมนอมิเตอร์ชนิด differential ใช้ร่วมกับท่อ pitote-static [4]

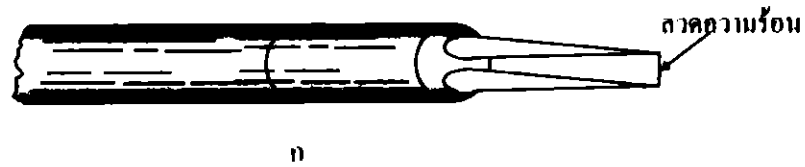
2.3.3 การวัดการไหลแบบอื่นๆ

2.3.3.1 มาตรการเร็วลมแบบลวดความร้อน

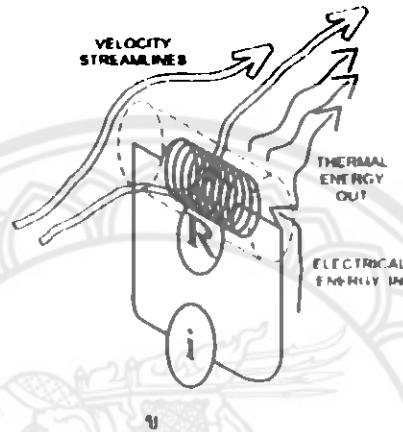
หัววัดความเร็วใช้ลวดความร้อนขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 12 μm ให้กระแสไฟฟ้าผ่านลวดที่ติดตั้งอยู่บนฐานตั้งสองขาเข้าไปวางในลำของไหลให้กระแสไฟฟ้าผ่านลวดความร้อนของไหลเคลื่อนที่พาความร้อนออกไปทำให้ลวดเย็นลง สามารถแบ่งการทำงานได้เป็น

การควบคุมให้อุณหภูมิของลวดความร้อนคงที่ เมื่อของไหลไหลผ่านลวดความร้อนจะเย็นลง ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนหนึ่งควบคุมให้อุณหภูมิคงที่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้แปรผันโดยตรงกับความเร็วของไหล

การควบคุมให้กระแสไฟฟ้าคงที่ เมื่อของไหลไหลผ่านลวดความร้อนจะเย็นลงวัดความแตกต่างอุณหภูมิของไหลและลวดความร้อน (ΔT) ความเร็วลมของไหลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ $(\Delta T)^2$



ก



รูปที่ 2.11 มาตรการเร็วลมแบบลวดความร้อน [4]

2.3.4 เลขมัค

สภาพยวบยตัวได้ในการไหลของของไหลจะถูกกำหนดด้วยเลขมัค (Mach number, Ma) เลขมัคคือ อัตราส่วนของค่าความเร็วของการไหลเฉพาะที่ (local flow) ต่ออัตราเร็วเสียง สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$Ma = \frac{V}{c} \quad (2.8)$$

พิจารณาการไหลแบบยวบยตัวได้ ความเร็วของการไหล (V) อาจต่ำกว่าหรือสูงกว่าอัตราเร็วเสียง (c) ถ้าการไหลที่มี $Ma < 1$ พบว่าเป็นการไหลที่ความเร็วได้เสียง (subsonic flow) และถ้าการไหลที่มี $Ma > 1$ พบว่าเป็นการไหลที่ความเร็วเหนือเสียง (supersonic flow)

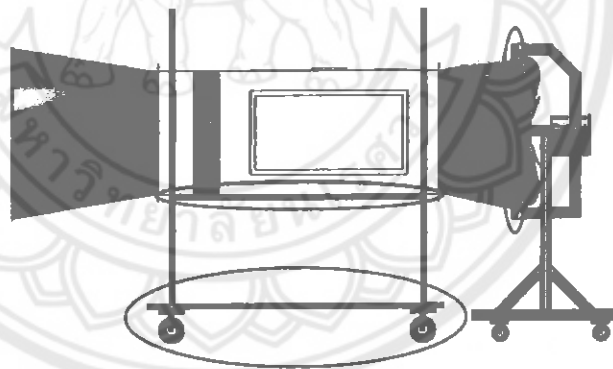
บทที่ 3

การปรับปรุงและทดสอบอุโมงค์ลม

ในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินงานโครงการพัฒนาชุดทดสอบอุโมงค์ลมระยะที่2 โดยจะแบ่งการดำเนินงานเป็น 2 ส่วน คือ 1. การปรับปรุงชุดทดสอบอุโมงค์ลม 2. การทดสอบอุโมงค์ลม เพื่อวัดค่าความเร็วลมในส่วนปฏิบัติงาน

3.1 การปรับปรุงชุดทดสอบอุโมงค์ลม

จากการพัฒนาอุโมงค์ลมซึ่งพัฒนาโดย วันชัย อุ่นเพชร และคณะ [1] มีข้อเสนอแนะให้มีการพัฒนาชุดต้นกำลังติดกับส่วนอากาศแพร่ออก เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วของลม จากการศึกษาการทำงานของอุโมงค์ลม พบว่าควรจะมีการปรับปรุง ดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 ส่วนที่มีการปรับปรุง

3.1.1 ส่วนอากาศแพร่ออก

ปรับปรุงเพื่อให้ส่วนอากาศแพร่ออกประกบติดกับชุดต้นกำลัง โดยทำให้ 2 ส่วนนี้ปิดกันสนิท และสามารถถอดออกจากกันได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการรั่วของลมที่น้อยที่สุด ดังรูปที่ 3.2 และเมื่อทำการประกอบเข้ากับตัวอุโมงค์ลมจะมีลักษณะ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.2 ส่วนอากาศแพร์ออก เสริมหน้าแปลนขนาด 7.5 x 7.5 เมตร

3.1.2 รวงเลื่อน

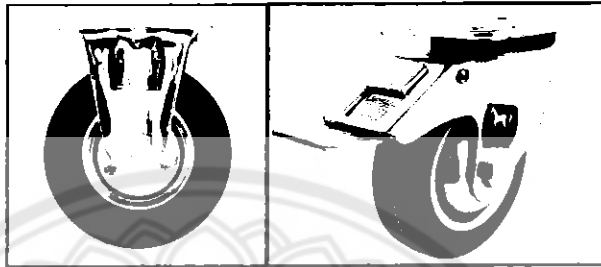
รูปที่ 3.3 แสดงการติดตั้งรวงเลื่อนซึ่งจะติดตั้งไว้ที่ระนาบทดสอบ A, B และ C โดยมีระยะห่างจากด้านหน้าส่วนปฏิบัติงาน 0.075, 0.4 และ 0.7 ตามลำดับ เพื่อความสะดวกในการเปลี่ยนตำแหน่งการวัดความเร็วลมในแต่ละระนาบ เมื่อทำการติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.3 ติดตั้งรวงเลื่อนเข้ากับตัวอุโมงค์ลมที่ระนาบทดสอบ

3.1.3 ลูกล้อยาง ขนาด 3 นิ้ว

รูปที่ 3.4 แสดงลูกล้อยางขนาด 3 นิ้ว แบบล้อตายและล้อเบรก เมื่อติดตั้งเข้ากับตัวอุโมงค์ลมจะแสดงดังรูปที่ 3.5 เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย



รูปที่ 3.4 ลูกล้อยาง ขนาด 3 นิ้ว

3.1.4 การประกอบส่วนที่ปรับปรุงเข้ากับอุโมงค์ลม



รูปที่ 3.5 ติดตั้งลูกล้อยางเข้ากับตัวอุโมงค์ลม



รูปที่ 3.6 ประกอบส่วนอากาศแพร์ออกเสริมหน้าแปลนเข้ากับตัวอุโมงค์ลม



รูปที่ 3.7 รางเลื่อน

3.1.5 รูปแบบของอุโมงค์ลมที่ปรับปรุงเสร็จสมบูรณ์

อุโมงค์ลมที่ปรับปรุงเสร็จสมบูรณ์ ดังรูปที่ 3.8 สามารถเคลื่อนย้ายได้ตามต้องการ ส่วนอากาศแพร่ออกกับชุดต้นกำลังปิดกันสนิท อีกทั้งสามารถถอดออกจากกันได้ และรางเลื่อนแต่ละระนาบสามารถเปลี่ยนตำแหน่งการวัดได้สะดวก ราคาวัสดุที่ใช้สร้างรวมทั้งหมด 2,500 บาท



รูปที่ 3.8 อุโมงค์ลมที่ปรับปรุงเสร็จสมบูรณ์

3.2 การทดสอบเพื่อหาความเร็วเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดทดสอบในระยะต่างๆ

3.2.1 วัตถุประสงค์การทดสอบ

3.2.1.1 เพื่อหาความเร็วลมในตำแหน่งต่างๆ ภายในส่วนปฏิบัติงาน

3.2.1.2 นำค่าความเร็วเฉลี่ยไปหาการกระจายตัวในแต่ละระนาบ

3.2.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.2.1 พัดลมอุตสาหกรรม ชนิดใบดुकกลับ ขนาด 24 นิ้ว มอเตอร์ขนาด 1/3 แรงม้า ดังรูป 3.9



รูปที่ 3.9 พัดลมอุตสาหกรรม ขนาด 24 นิ้ว

3.2.2.2 หัววัดแบบ Pitote tube ดังรูป 3.10 เพื่อนำไปใช้วัดความเร็วลม



รูปที่ 3.10 หัววัด Pitote tube

3.2.2.3 เครื่องวัดमानอมิเตอร์ (manometer) รุ่น Testo 510 ดังรูป 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดमानอมิเตอร์

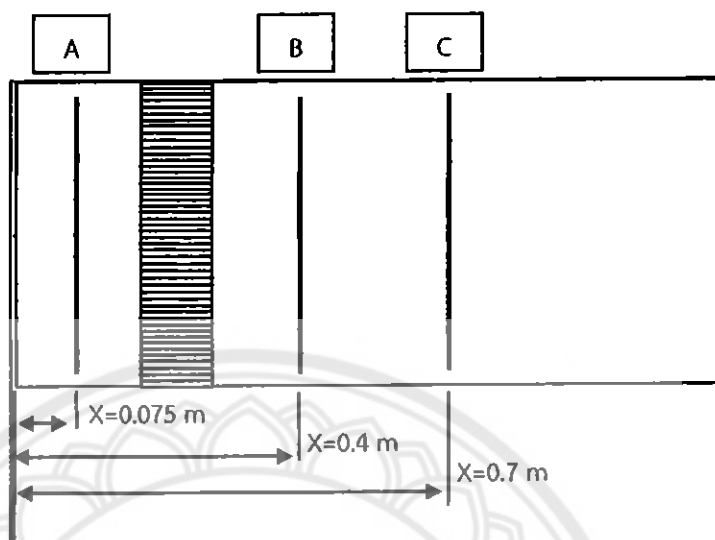
3.2.2.4 เครื่องปรับความถี่ INVERTOR มีความถี่สูงสุด 50 Hz ดังรูป 3.12



รูปที่ 3.12 Invertor control

3.2.3 ขั้นตอนการทดสอบ

3.2.3.1 ตั้งชื่อระนาบทดสอบ A, B และ C และกำหนดระยะทดสอบต่างๆ ตามความยาวของระยะความยาวส่วนปฏิบัติงาน โดยมีระยะห่างจากด้านหน้าส่วนปฏิบัติงาน 0.075, 0.4 และ 0.7 m ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.13



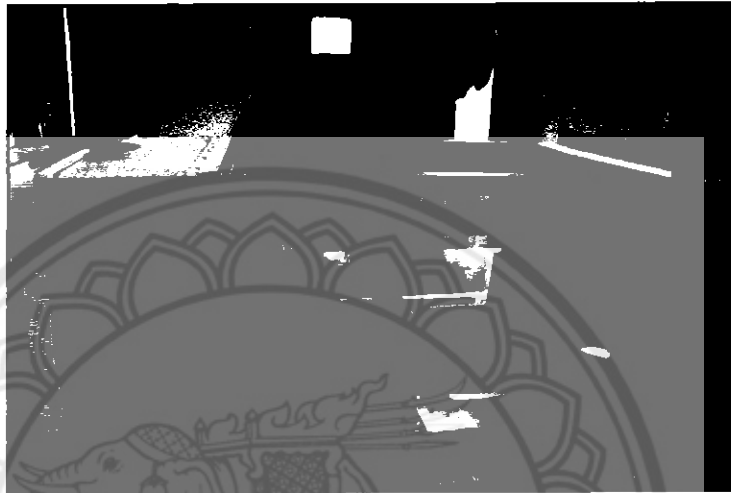
รูปที่ 3.13 การกำหนดระยะของระนาบหน้าตัดที่จะทำการวัดการไหลของลม

3.2.3.2 ที่ระนาบทดสอบ A, B และ C กำหนดจุดที่จะวัดทั่วทั้งระนาบ 121 จุด แต่ละจุดห่างกัน 4.167 cm ดังรูปที่ 3.14 และจะใช้ INVERTOR ปรับความเร็วรอบของพัดลม 3 ระดับ โดยแต่ละระดับจะใช้ INVERTOR ที่ความถี่ 33, 37 และ 42 Hz ซึ่งจะวัดค่าความเร็วเฉลี่ยได้ 3, 4 และ 5 m/s ตามลำดับ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										

รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งในการวัดของระนาบทดสอบ

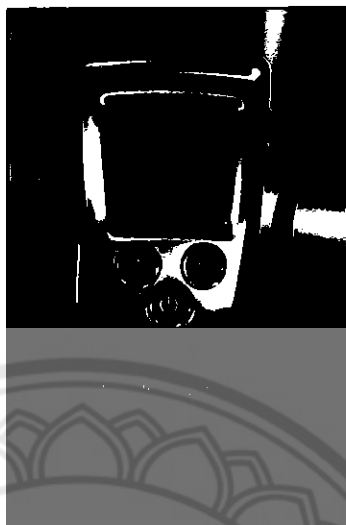
3.2.3.3 นำหัววัด Pitote tube ที่ต่อเข้ากับமானอมิเตอร์ไปติดตั้งที่ระนาบ A, B และ C ดังรูปที่ 3.15 เมื่อติดตั้งเสร็จจะแสดงดังรูปที่ 3.16 ค่าความเร็วลมที่วัดได้แสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.15 การติดตั้งหัววัด Pitote tube ในส่วนปฏิบัติงาน



รูปที่ 3.16 หัววัด Pitote tube ที่ติดตั้งเสร็จ

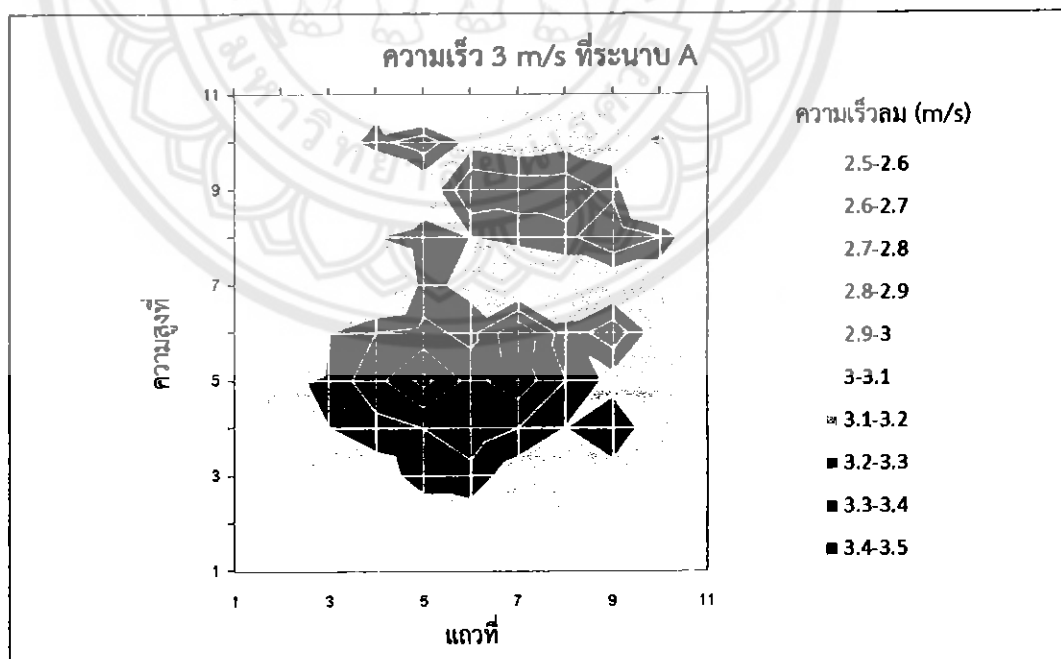


รูปที่ 3.17 ค่าผลต่างของความดันที่ได้จากมานอมิเตอร์

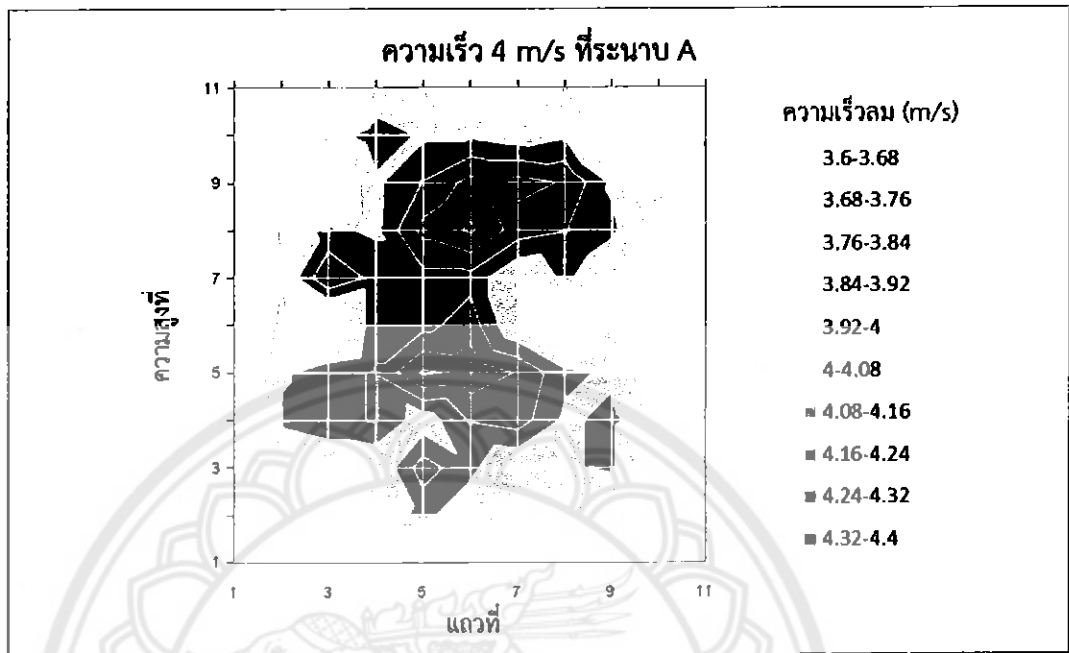
3.2.3.4 บันทึกค่าความเร็วที่ได้

3.2.4 ผลการทดสอบความเร็ว

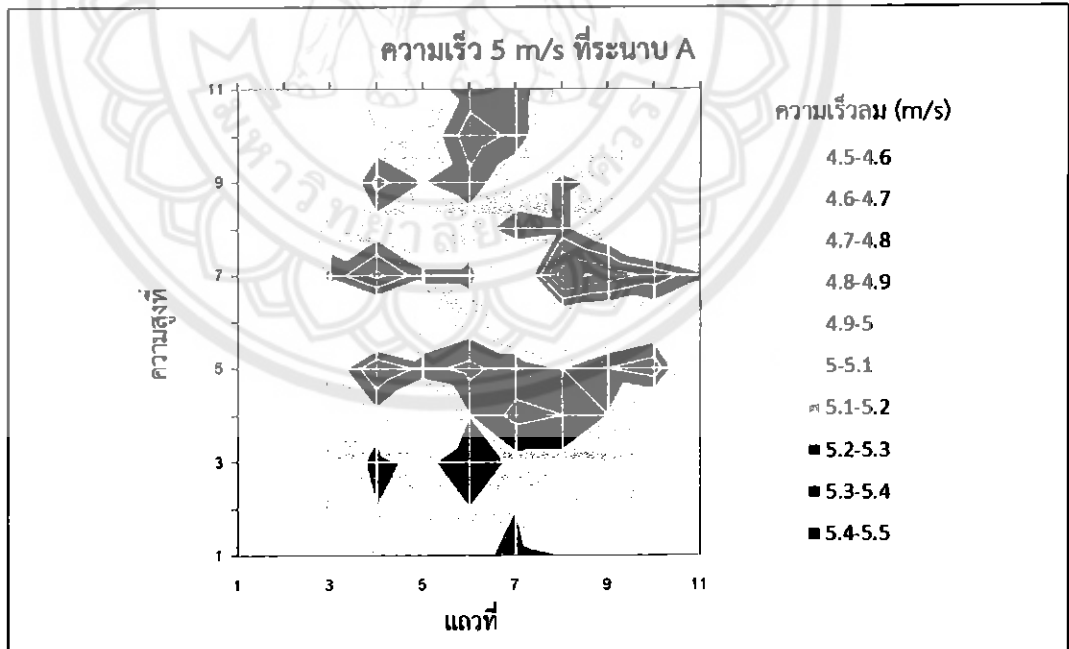
3.2.4.1 ความเร็วที่ระนาบ A



รูปที่ 3.18 แผนภาพการกระจายความเร็ว 3 m/s ที่ระนาบ A



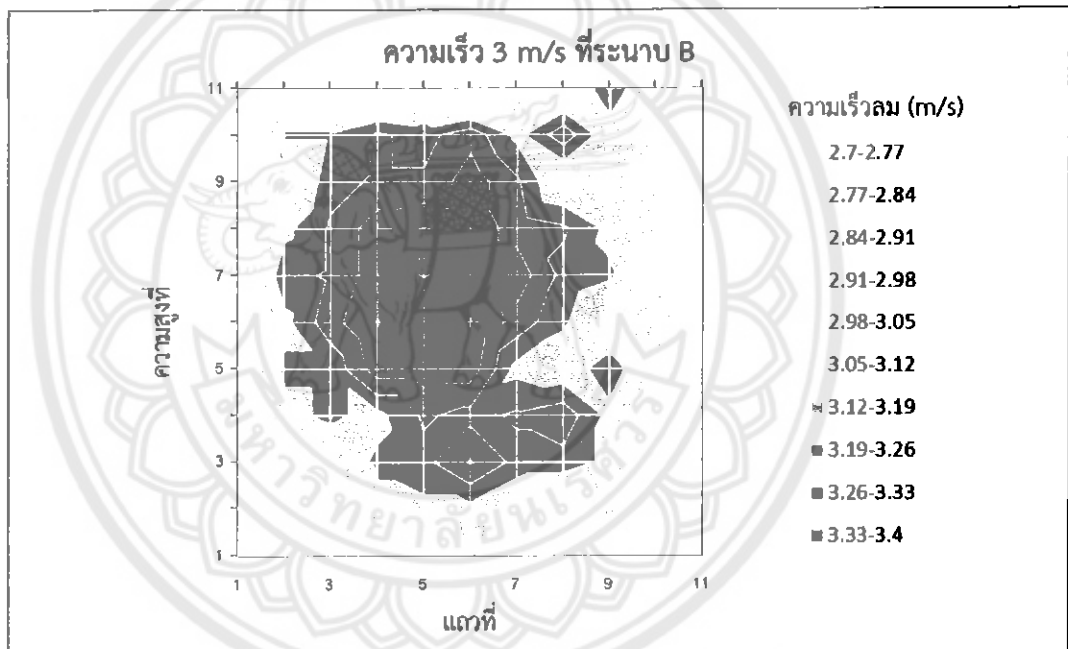
รูปที่ 3.19 แผนภาพการกระจายความเร็ว 4 m/s ที่ระนาบ A



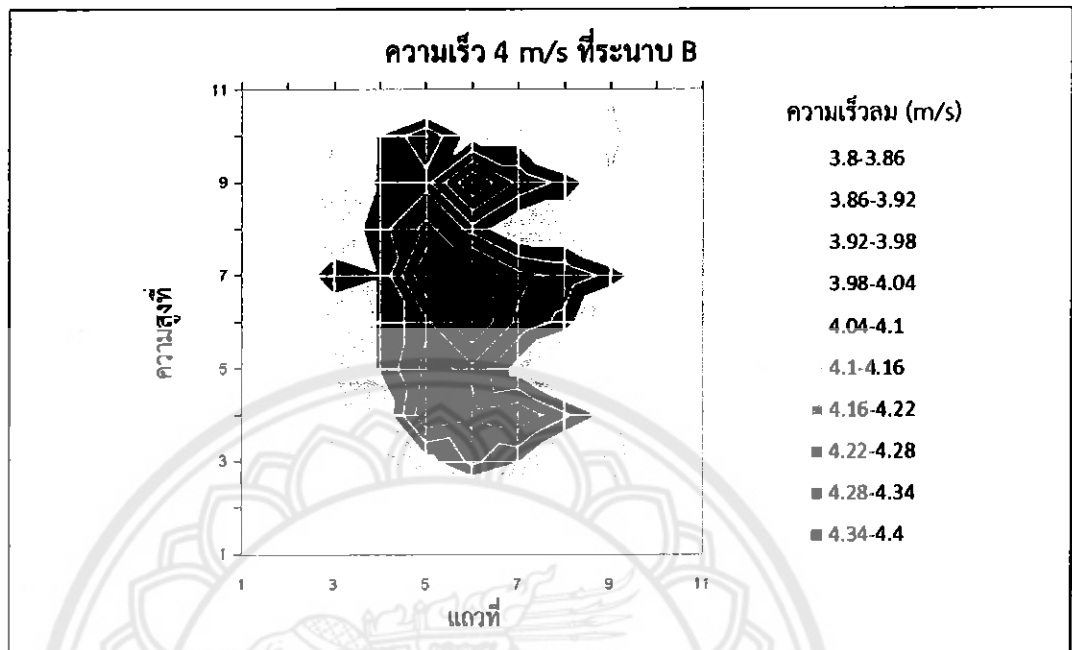
รูปที่ 3.20 แผนภาพการกระจายความเร็ว 5 m/s ที่ระนาบ A

จากแผนภาพการกระจายความเร็ว 3 m/s ดังรูปที่ 3.18 ค่าความเร็วสูงสุดจะอยู่บริเวณตรงกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.433 m/s และค่าความเร็วต่ำสุดจะอยู่บริเวณขอบซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 2.5 m/s แผนภาพการกระจายความเร็ว 4 m/s ดังรูปที่ 3.19 ค่าความเร็วสูงสุดจะอยู่บริเวณตรงกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.333 m/s และค่าความเร็วต่ำสุดจะอยู่บริเวณขอบซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 3.633 m/s แผนภาพการกระจายความเร็ว 5 m/s ดังรูปที่ 3.20 ค่าความเร็วสูงสุดจะอยู่บริเวณตรงกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.467 m/s และค่าความเร็วต่ำสุดจะอยู่บริเวณขอบซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 4.567 m/s จะเห็นว่าระนาบ A ที่ความเร็ว 3-5 m/s การกระจายความเร็วยังไม่ค่อยสม่ำเสมอ

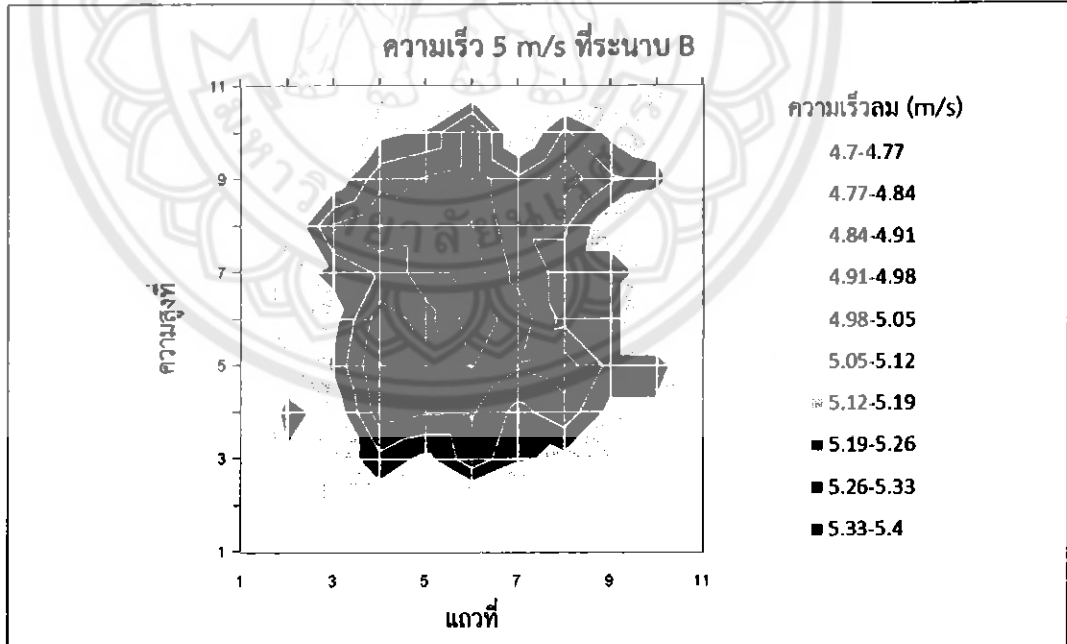
3.2.4.2 ความเร็วที่ระนาบ B



รูปที่ 3.21 แผนภาพการกระจายความเร็ว 3 m/s ที่ระนาบ B



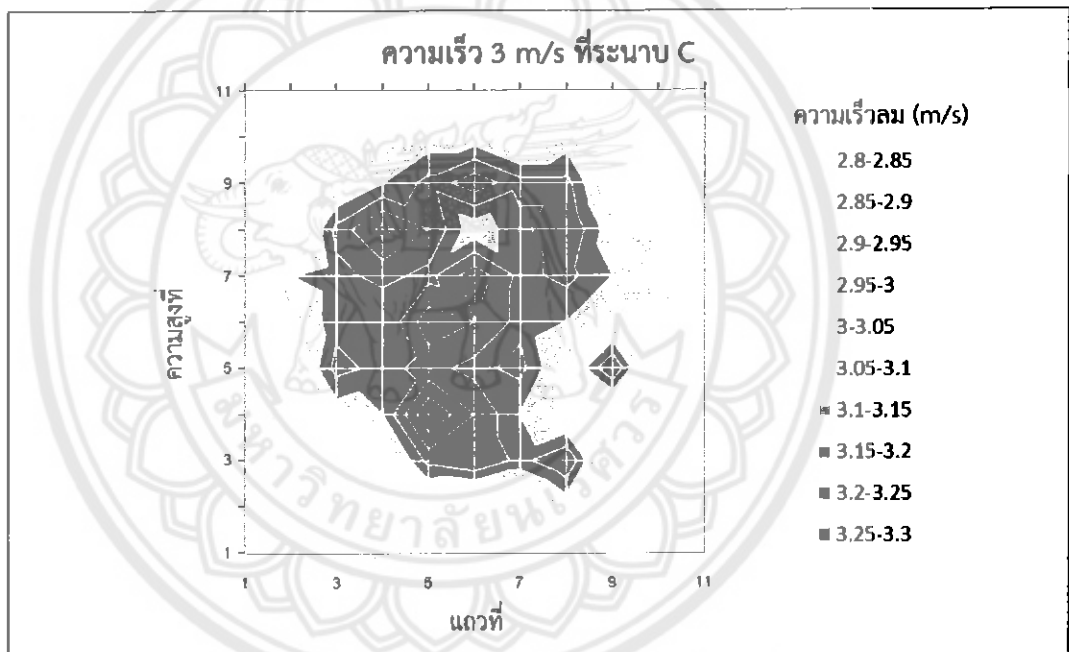
รูปที่ 3.22 แผนภาพการกระจายความเร็ว 4 m/s ที่ระนาบ B



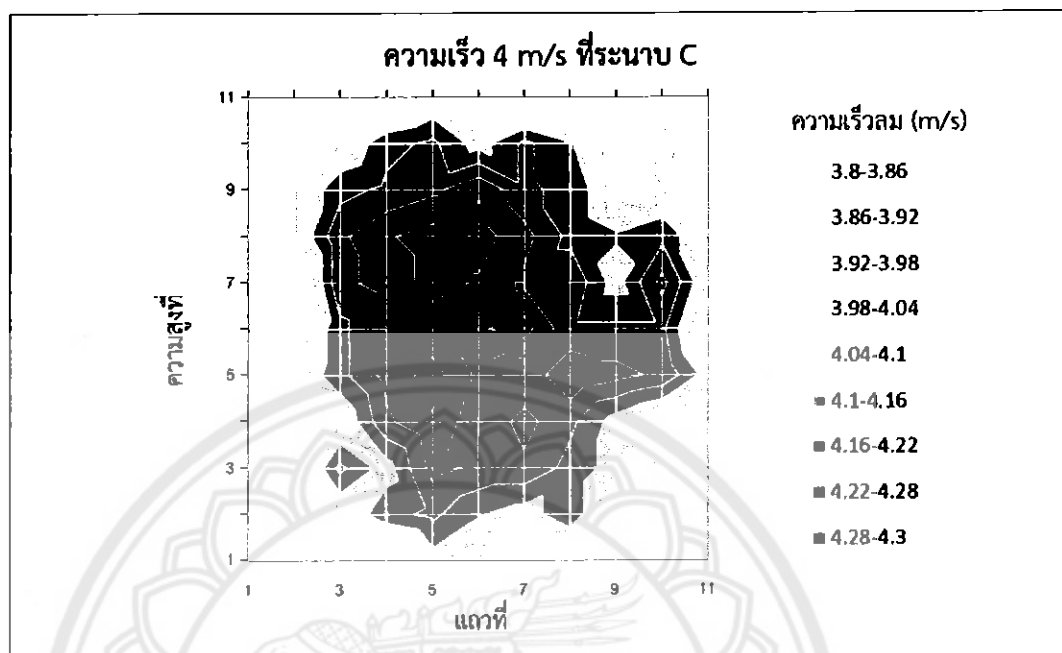
รูปที่ 3.23 แผนภาพการกระจายความเร็ว 5 m/s ที่ระนาบ B

จากแผนภาพการกระจายความเร็ว 3 m/s ดังรูปที่ 3.21 ค่าความเร็วสูงสุดจะอยู่บริเวณตรงกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.333 m/s และค่าความเร็วต่ำสุดจะอยู่บริเวณขอบซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 2.7 m/s แผนภาพการกระจายความเร็ว 4 m/s ดังรูปที่ 3.22 ค่าความเร็วสูงสุดจะอยู่บริเวณตรงกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.4 m/s และค่าความเร็วต่ำสุดจะอยู่บริเวณขอบซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 3.867 m/s แผนภาพการกระจายความเร็ว 5 m/s ดังรูปที่ 3.23 ค่าความเร็วสูงสุดจะอยู่บริเวณตรงกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.367 m/s และค่าความเร็วต่ำสุดจะอยู่บริเวณขอบซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 4.767 m/s จะเห็นว่าระนาบ B ที่ความเร็ว 3-5 m/s การกระจายความเร็วจะเริ่มมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

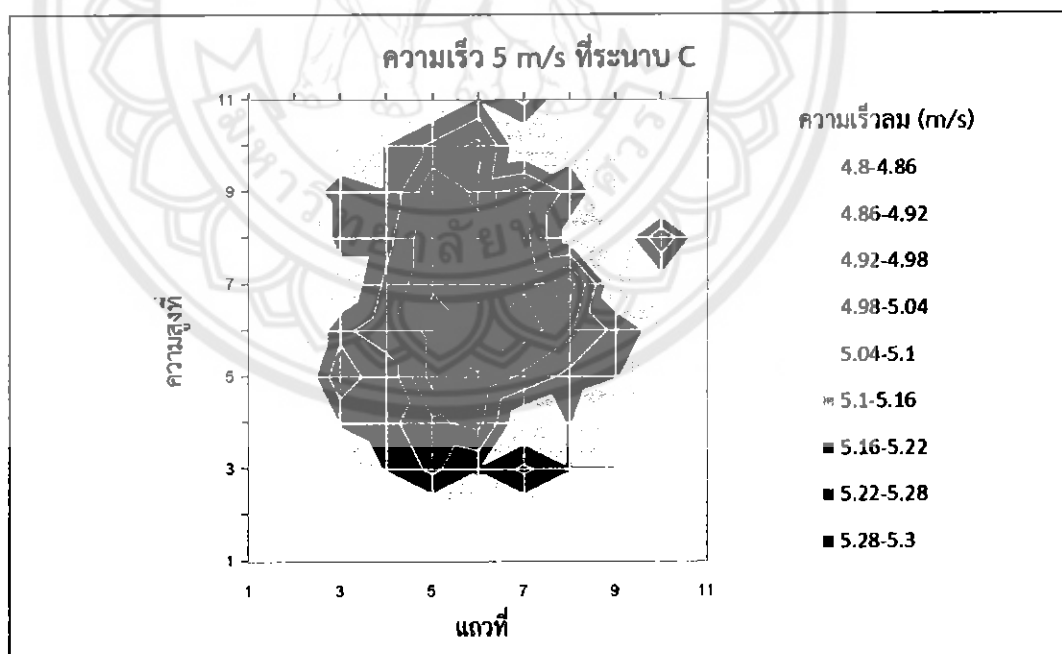
3.2.4.3 ความเร็วที่ระนาบ C



รูปที่ 3.24 แผนภาพการกระจายความเร็ว 3 m/s ที่ระนาบ C



รูปที่ 3.25 แผนภาพการกระจายความเร็ว 4 m/s ที่ระนาบ C



รูปที่ 3.26 แผนภาพการกระจายความเร็ว 5 m/s ที่ระนาบ C

จากแผนภาพการกระจายความเร็ว 3 m/s ดังรูปที่ 3.24 ค่าความเร็วสูงสุดจะอยู่บริเวณตรงกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.3 m/s และค่าความเร็วต่ำสุดจะอยู่บริเวณขอบซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 2.8 m/s แผนภาพการกระจายความเร็ว 4 m/s ดังรูปที่ 3.25 ค่าความเร็วสูงสุดจะอยู่บริเวณตรงกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.267 m/s และค่าความเร็วต่ำสุดจะอยู่บริเวณขอบซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 3.833 m/s แผนภาพการกระจายความเร็ว 5 m/s ดังรูปที่ 3.26 ค่าความเร็วสูงสุดจะอยู่บริเวณตรงกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.3 m/s และค่าความเร็วต่ำสุดจะอยู่บริเวณขอบซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 4.8 m/s จะเห็นว่าระนาบ C ที่ความเร็ว 3-5 m/s การกระจายความเร็วมีความสม่ำเสมอมากกว่าระนาบ A และ B

ตารางที่ 3.1 ความเร็วที่ระนาบ A, B และ C

ระนาบ ทดสอบ	ความเร็ว (m/s)	ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	ความเร็วสูงสุด (m/s)	ความเร็วต่ำสุด (m/s)	ค่า SD
A	3	2.999	3.433	2.500	0.183
	4	3.992	4.333	3.633	0.158
	5	4.983	5.467	4.567	0.178
B	3	3.082	3.333	2.700	0.139
	4	4.084	4.400	3.867	0.126
	5	5.080	5.367	4.767	0.148
C	3	3.017	3.300	2.800	0.122
	4	4.050	4.267	3.833	0.119
	5	5.025	5.300	4.800	0.120

จากตารางที่ 3.1 ที่ความเร็ว 3-5 m/s ระนาบ A ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะอยู่ในช่วง 0.158-0.183 ระนาบ B ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะอยู่ในช่วง 0.139-0.148 ระนาบ C ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะอยู่ในช่วง 0.119-0.122 จะเห็นว่าระนาบ C จะมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด แสดงว่ามีความสม่ำเสมอของการไหลที่ดี

3.2.5 การคำนวณเลขมัค

เลขมัคคือ อัตราส่วนของค่าความเร็วของการไหลเฉพาะที่ (local flow) ต่ออัตราเร็วเสียง

จากสมการที่ 2.8
$$Ma = \frac{V}{c}$$

ความเร็วของการไหล (V) (m/s)

อัตราเร็วเสียง (c) (m/s)

จากตารางสมบัติฟิสิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ

ที่อุณหภูมิขณะทำการทดสอบ (T) = 30 °C

$$c = 349.1 \text{ m/s}$$

ที่ระนาบทดสอบ A

ปรับ Invertor ที่ความถี่ 42 Hz $V = 5.467 \text{ m/s}$

$$\text{จะได้ } Ma = \frac{5.467}{349.1} = 0.015$$

ที่ระนาบทดสอบ B

ปรับ Invertor ที่ความถี่ 42 Hz $V = 5.367 \text{ m/s}$

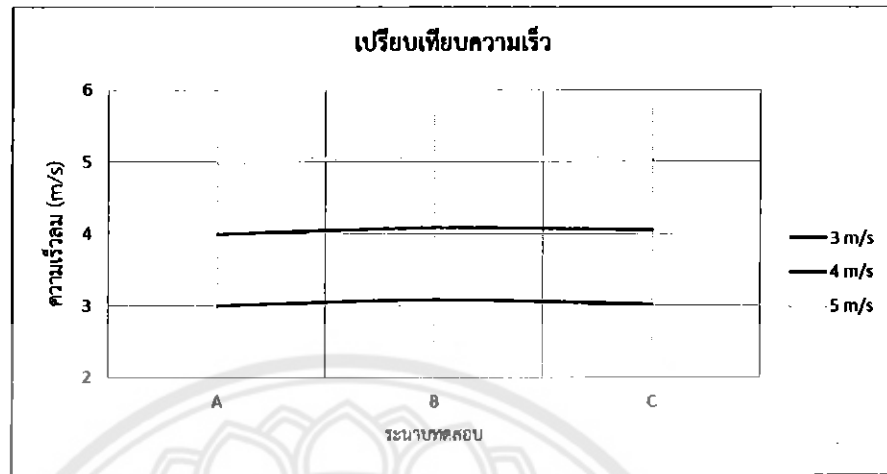
$$\text{จะได้ } Ma = \frac{5.367}{349.1} = 0.015$$

ที่ระนาบทดสอบ C

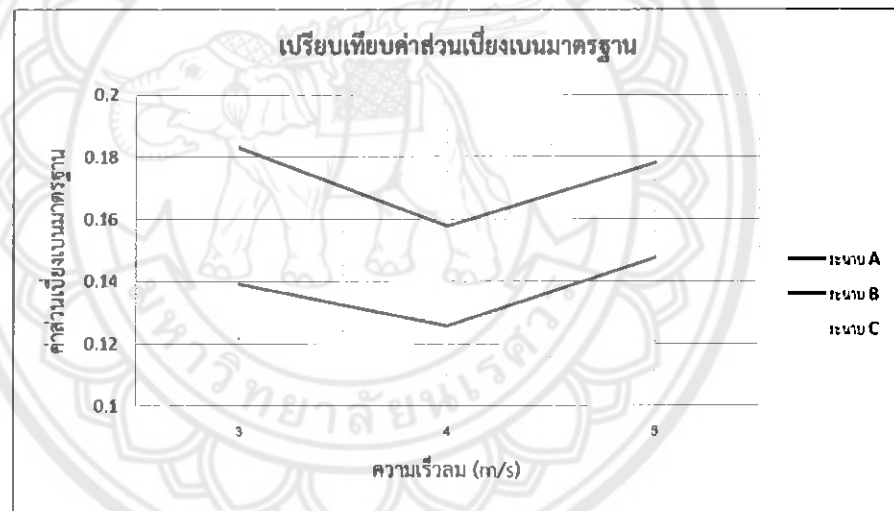
ปรับ Invertor ที่ความถี่ 42 Hz $V = 5.3 \text{ m/s}$

$$\text{จะได้ } Ma = \frac{5.3}{349.1} = 0.015$$

ผลจากการคำนวณเลขมัคที่แต่ละระนาบทดสอบ โดยใช้ Invertor ที่ความถี่ 42 Hz พบว่าเป็นการไหลชนิดอัตราเร็วต่ำ ซึ่งมีช่วงค่าเลขมัคไม่เกิน 0.39



รูปที่ 3.27 กราฟเปรียบเทียบความเร็วที่ระนาบ A, B และ C

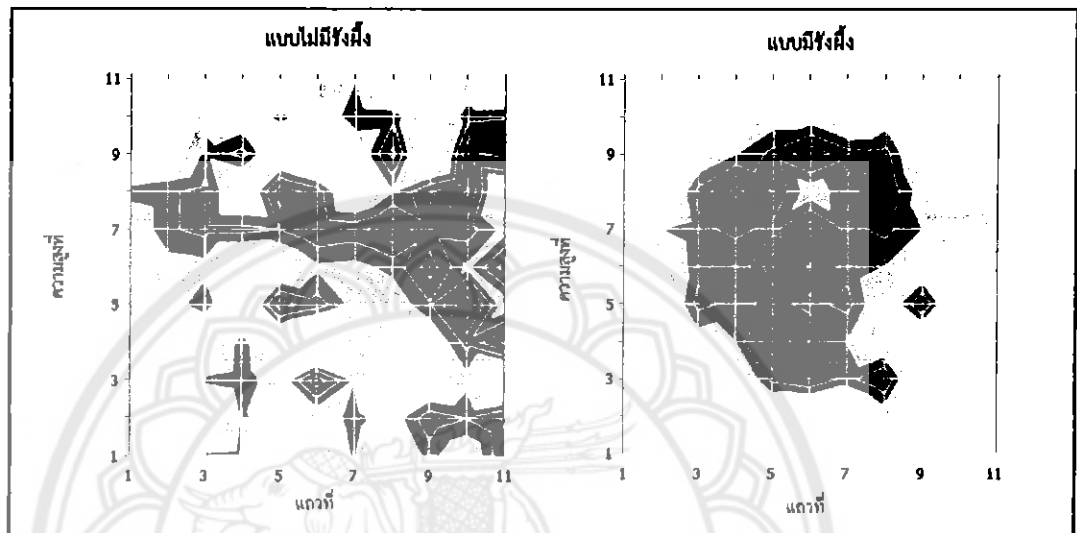


รูปที่ 3.28 กราฟเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระนาบ A, B และ C

จากรูปที่ 3.27 ที่ระนาบ A, B และ C มีค่าความเร็วเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน โดยระนาบ B จะมีความเร็วเฉลี่ยที่สูงกว่าระนาบอื่นๆ และรูปที่ 3.28 จะเห็นว่าที่ความเร็ว 3-5 m/s ที่ระนาบ C มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าน้อยกว่าระนาบ A และ B ดังนั้นจึงใช้ระนาบ C เป็นจุดติดตั้งโมเดลทดสอบ

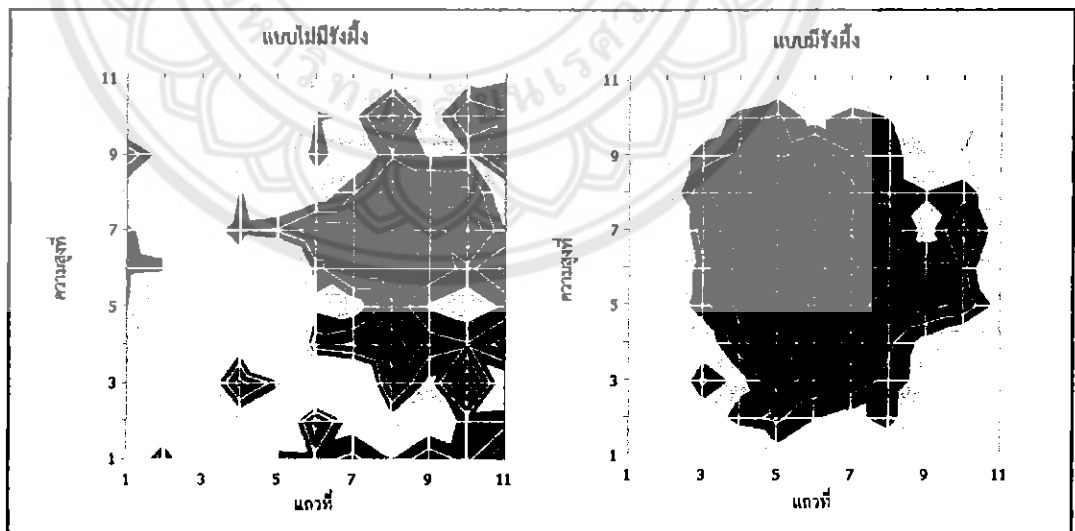
3.2.6 เปรียบเทียบความเร็วที่ระนาบ C แบบมีรังผึ้งกับไม่มีรังผึ้ง

3.2.6.1 ความเร็ว 3 m/s



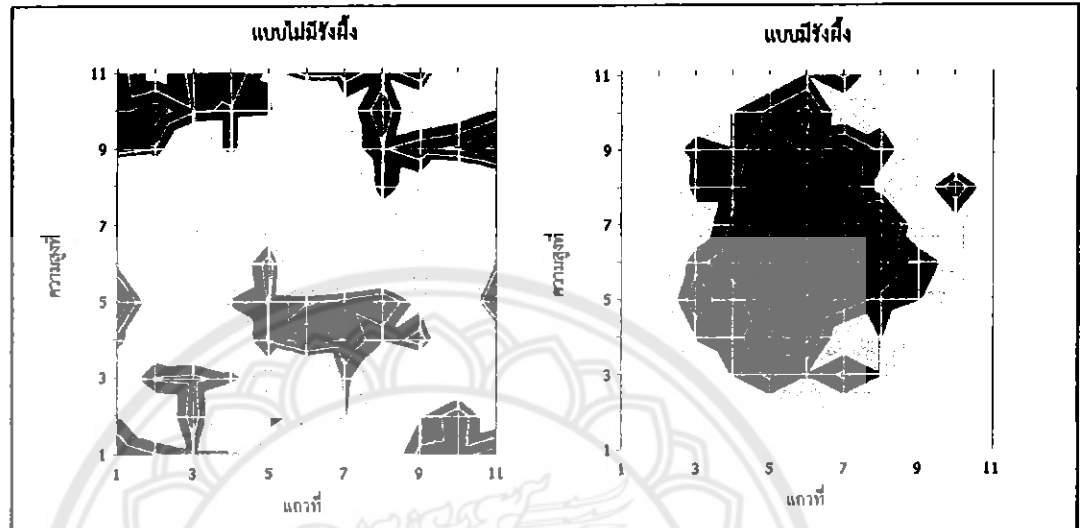
รูปที่ 3.29 แผนภาพการกระจายความเร็ว 3 m/s ที่ระนาบ C แบบมีรังผึ้งกับไม่มีรังผึ้ง

3.2.6.2 ความเร็ว 4 m/s



รูปที่ 3.30 แผนภาพการกระจายความเร็ว 4 m/s ที่ระนาบ C แบบมีรังผึ้งกับไม่มีรังผึ้ง

3.2.6.3 ความเร็ว 5 m/s



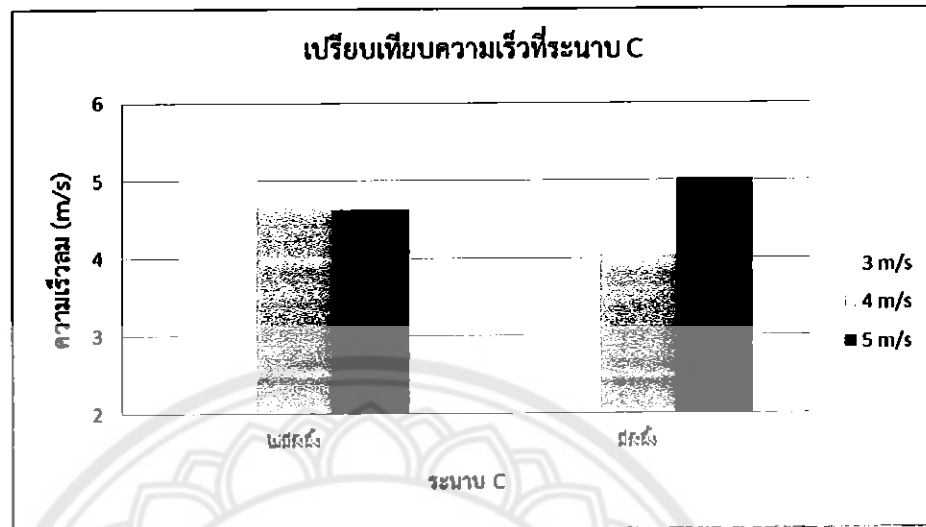
รูปที่ 3.31 แผนภาพการกระจายความเร็ว 5 m/s ที่ระนาบ C แบบมีรังผึ้งกับไม่มีรังผึ้ง

จากรูป 3.29-3.31 พบว่าการกระจายความเร็ว 3-5 m/s แบบไม่มีรังผึ้ง มีการกระจายความเร็วที่ปั่นป่วนสูง เมื่อเปรียบเทียบกับ การกระจายความเร็ว 3-5 m/s แบบมีรังผึ้ง ที่มีการกระจายความเร็วที่เป็นระเบียบและสม่ำเสมอกว่า แสดงให้ทราบว่ารังผึ้งช่วยให้การกระจายความเร็วที่ระนาบทดสอบ C มีความสม่ำเสมอ

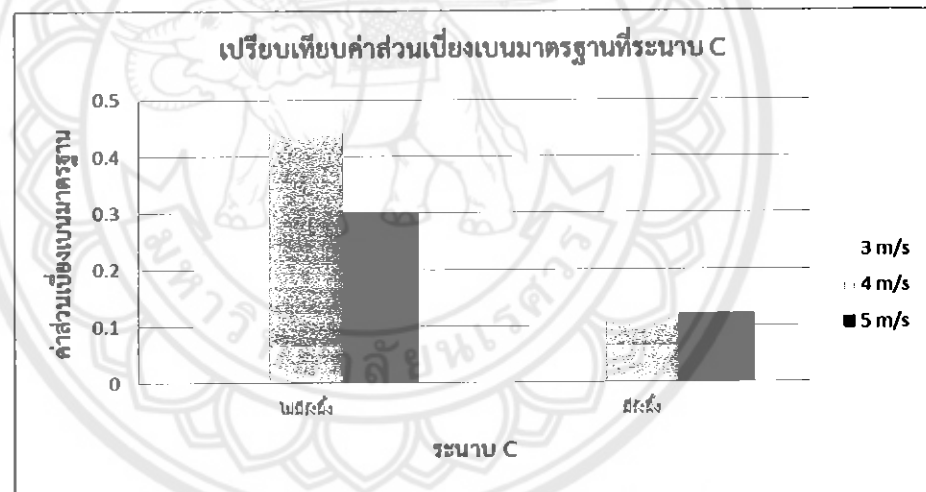
ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบความเร็วที่ระนาบ C แบบมีรังผึ้งกับไม่มีรังผึ้ง

ระนาบทดสอบ		ความเร็ว (m/s)	ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	ความเร็วสูงสุด (m/s)	ความเร็วต่ำสุด (m/s)	ค่า SD
C	มีรังผึ้ง	3	3.017	3.300	2.800	0.122
		4	4.050	4.267	3.833	0.119
		5	5.025	5.300	4.800	0.120
	ไม่มีรังผึ้ง	3	5.417	6.300	4.300	0.387
		4	4.679	5.600	3.467	0.442
		5	4.620	5.233	3.867	0.301

จากตารางที่ 3.2 ระนาบ C ที่ความเร็ว 3-5 m/s เมื่อวัดค่าความเร็วโดยใส่รังผึ้งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะอยู่ในช่วง 0.119-0.122 แต่เมื่อวัดค่าความเร็วโดยไม่ใส่รังผึ้งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะอยู่ในช่วง 0.301-0.442 จะเห็นว่าเมื่อวัดค่าความเร็วโดยใส่รังผึ้งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่าน้อยกว่า แสดงว่ามีความสม่ำเสมอของการไหลที่ดี



รูปที่ 3.32 กราฟเปรียบเทียบความเร็วที่ระนาบ C แบบมีรังผึ้งกับไม่มีรังผึ้ง



รูปที่ 3.33 กราฟเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระนาบ C แบบมีรังผึ้งกับไม่มีรังผึ้ง

จากรูปที่ 3.32 พบว่าที่ระนาบ C เมื่อวัดค่าความเร็วโดยมีรังผึ้ง และไม่มีรังผึ้ง ค่าความเร็วที่ได้จะมีความแตกต่างกันมาก โดยค่าความเร็วที่วัดได้เมื่อใส่รังผึ้งจะมีค่าใกล้เคียงความเร็วที่กำหนดมากกว่า และรูปที่ 3.33 จะเห็นว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้เมื่อใส่รังผึ้งมีค่าน้อย แสดงว่ามีความสม่ำเสมอของความเร็วที่มากกว่าการวัดความเร็วโดยไม่มีรังผึ้ง

3.3 สรุปผลการทดสอบ

3.3.1 การปรับปรุงชุดทดสอบอุโมงค์ลม

ผลที่ได้จากการปรับปรุงชุดทดสอบอุโมงค์ลม คือสามารถเคลื่อนย้ายได้ตามต้องการ ส่วนอากาศแพร่ออกกับชุดต้นกำลังปิดกันสนิท อีกทั้งสามารถถอดออกจากกันได้ และรางเลื่อนแต่ละระนาบสามารถเปลี่ยนตำแหน่งการวัดได้สะดวก

3.3.2 การทดสอบเพื่อหาความเร็วเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดทดสอบในระยะต่างๆ

ที่ระนาบทดสอบ A ปรับ Inverter ที่ความเร็ว 3-5 m/s มีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.999-4.983 m/s ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.158-0.183

ที่ระนาบทดสอบ B ปรับ Inverter ที่ความเร็ว 3-5 m/s มีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.082-5.080 m/s ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.126-0.148

ที่ระนาบทดสอบ C ปรับ Inverter ที่ความเร็ว 3-5 m/s มีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.017-5.025 m/s ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.119-0.122

พบว่าระนาบ C ที่ความเร็ว 3-5 m/s มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยที่สุด แสดงว่ามีความสม่ำเสมอของความเร็วอากาศที่มากกว่าระนาบอื่น ดังนั้นจึงใช้ระนาบ C เป็นจุดติดตั้งโมเดลทดสอบ

บทที่ 4

การทดลองและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของความเร็วอากาศ เมื่อผ่านรูปทรงดิสก์วงกลม และหาค่าแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้น

4.1 วัตถุประสงค์

4.1.1 เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลม เมื่อผ่านรูปทรงดิสก์วงกลม

4.1.2 เพื่อหาค่าแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้น

4.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

4.2.1 สมการโมเมนตัม (Momentum Equation)

สมการโมเมนตัมนั้นพัฒนามาจากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ซึ่งลักษณะที่เป็นพื้นฐานมากที่สุดคือ การวิเคราะห์โมเมนตัมเชิงเส้น (Linear Momentum)

$$\bar{F} = \frac{d(m\bar{v})}{dt} \quad (4.1)$$

จากสมการ Reynolds Transport เมื่อแทน B ด้วยโมเมนตัมเชิงเส้น $m\bar{v}$ และ b ซึ่งคือ intensive properties ของคุณสมบัติตัวนั้นแทนด้วยโมเมนตัมเชิงเส้นต่อมวล $\frac{p\bar{v}}{\rho}$

แทนลงในสมการดังกล่าวจะได้

$$\int_{\text{system}} \frac{dB}{dt} = \int_{\text{control volume}} \frac{dB}{dt} + \int_{\text{control surface}} b\rho\bar{v} dA$$

$$\int_{\text{system}} \frac{dB}{dt} = \int_{\text{control volume}} \rho b dV + \int_{\text{control surface}} b \cdot \rho\bar{v} dA$$

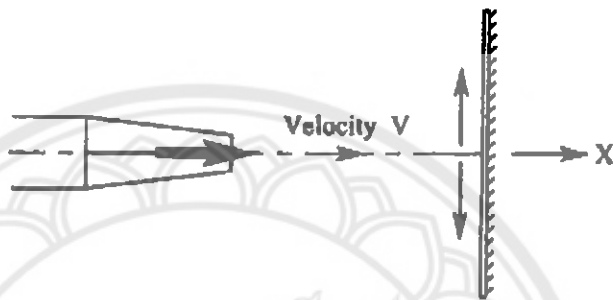
$$\frac{dm\bar{v}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{\text{control volume}} \rho\bar{v} dV + \int_{\text{control surface}} \bar{v}\rho\bar{v} dA$$

$$\text{จะได้} \quad \Sigma F = \frac{dm\bar{v}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{\text{control volume}} \rho\bar{v} dV + \int_{\text{control surface}} \rho\bar{v}\bar{v} dA \quad (4.2)$$

การประยุกต์ใช้สมการโมเมนตัม

ปัญหาลำของไหลกระทบผนังอยู่กับที่

การที่แรงกระทำต่อผนังตรงนั้น แรงที่กระทำต่อผนังในทิศทาง y จะมีค่าเท่ากับ 0 ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 4.1 แสดงของไหลเมื่อกระทบกับผนังวางตัวในแนวตั้ง [5]

$$\Sigma F = \frac{dm\bar{v}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{\text{control volume}} \rho \bar{v} dV + \int_{\text{control surface}} \rho \bar{v} \bar{v} dA$$

$$-F_x = \frac{d}{dt} \int_{\text{control volume}} \rho v_x dV + \int_{\text{control surface}} \rho \bar{v} v_x dA$$

$$-F_x = \int_{\text{out cs}} \rho \bar{v} v_x dA - \int_{\text{in cs}} \rho \bar{v} v_x dA$$

สังเกตว่ามีลำของไหล แยกออกเป็นสองทางเท่า ๆ กัน ลำของไหลที่ผ่าน control surface ออกไปจะมี 2 ส่วน ส่วนละเท่า ๆ กัน

$$-F_x = \int_{A_2} \rho \bar{v} v_{2x} dA + \int_{A_3} \rho \bar{v} v_{3x} dA - \int_{A_1} \rho \bar{v} v_{0x} dA$$

$$-F_x = 2 \int_{A_2} \rho \bar{v} v_{2x} dA - \int_{A_1} \rho \bar{v} v_{0x} dA$$

จากสมการความต่อเนื่อง จะได้

$$\sum_{\text{FlowoutCS}} \rho v A = \sum_{\text{FlowinCS}} \rho v A \quad (4.3)$$

$$\rho v_2 A_2 + \rho v_1 A_1 = \rho v_0 A_0$$

$$2\rho v_2 A_2 = \rho v_0 A_0$$

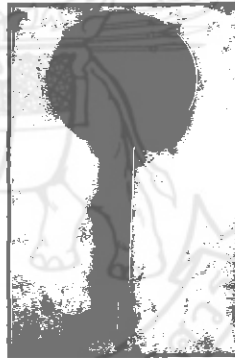
ความเร็วของลำของไหลที่สัมผัสผนังเท่ากับ 0

$$-F_x = 2 \int_{A_2} \rho \bar{v} v_0 dA - \int_{A_1} \rho \bar{v} v_{0x} dA$$

$$F_x = \rho v^2 A \quad (4.4)$$

4.3 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

4.3.1 ดิสก์วงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 cm ดังรูป 4.2



รูปที่ 4.2 ดิสก์วงกลม

4.3.2 หัววัดแบบ Pitote tube ดังรูป 4.3 เพื่อนำไปใช้วัดความเร็วลม



รูปที่ 4.3 หัววัดแบบ Pitote tube

4.3.3 สายวัดความดัน ยาว 1.5 m ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 cm ดังรูป 4.4



รูปที่ 4.4 สายวัดความดัน

4.3.4 เครื่องวัดमानอมิเตอร์ (manometer) รุ่น testo 510 ดังรูป 4.5



รูปที่ 4.5 เครื่องวัดमानอมิเตอร์ (manometer)

4.4 ขั้นตอนการทดลอง

4.4.1 ติดตั้งโมเดลดิสก์วงกลมบนฐานของส่วนทดสอบและตั้งฉากกับแกนของการไหล ดังรูป

4.6



รูปที่ 4.6 การติดตั้งโมเดลดิสก์วงกลม

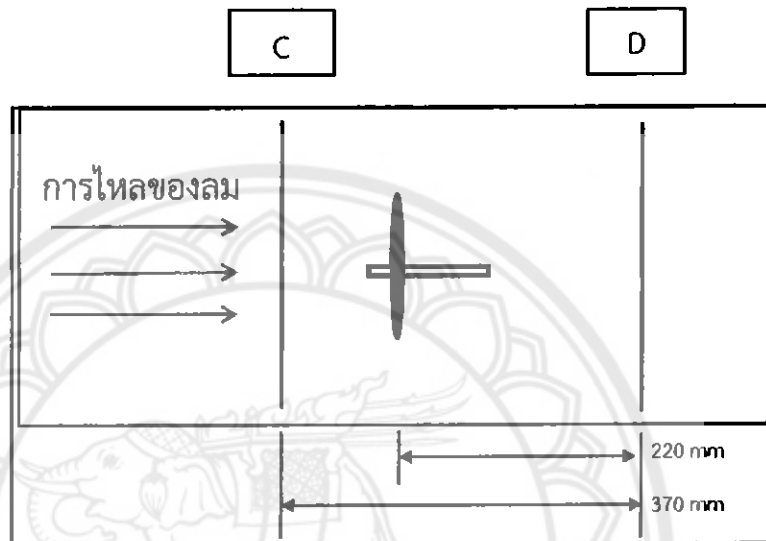
4.4.2 ติดตั้ง Pitote tube ที่ส่วนทดสอบโดยตั้งฉากกับการไหลของอากาศ และใช้สายวัดความดันต่อเชื่อม Pitote tube เข้ากับเครื่องวัดความเร็วลม ดังรูป 4.7



รูปที่ 4.7 การติดตั้ง Pitote tube

4.4.3 เปิดสวิตช์พัดลม โดยให้พัดลมทำงานที่ความเร็วสูงสุดไว้ประมาณ 1 นาที

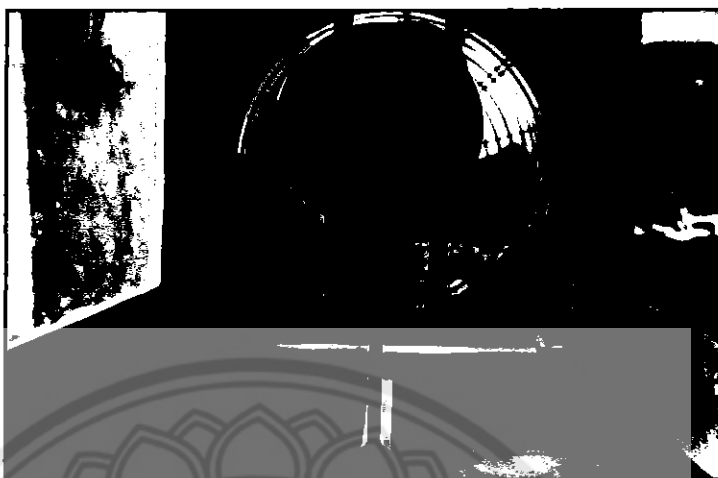
4.4.4 วัดความเร็วที่ระนาบ C และ D โดยมีการไหลของลมจากด้านหน้าของส่วนปฏิบัติงาน ตามที่แสดงในรูป 4.8 และทำการวัดค่าตามระยะรัศมี ซีกซ้าย 1, 3, 5, ... , 21 cm และซีกขวา 2, 4, 6, ... , 22 cm ตามลำดับ ดังรูป 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.8 ระนาบทดสอบ C และ D



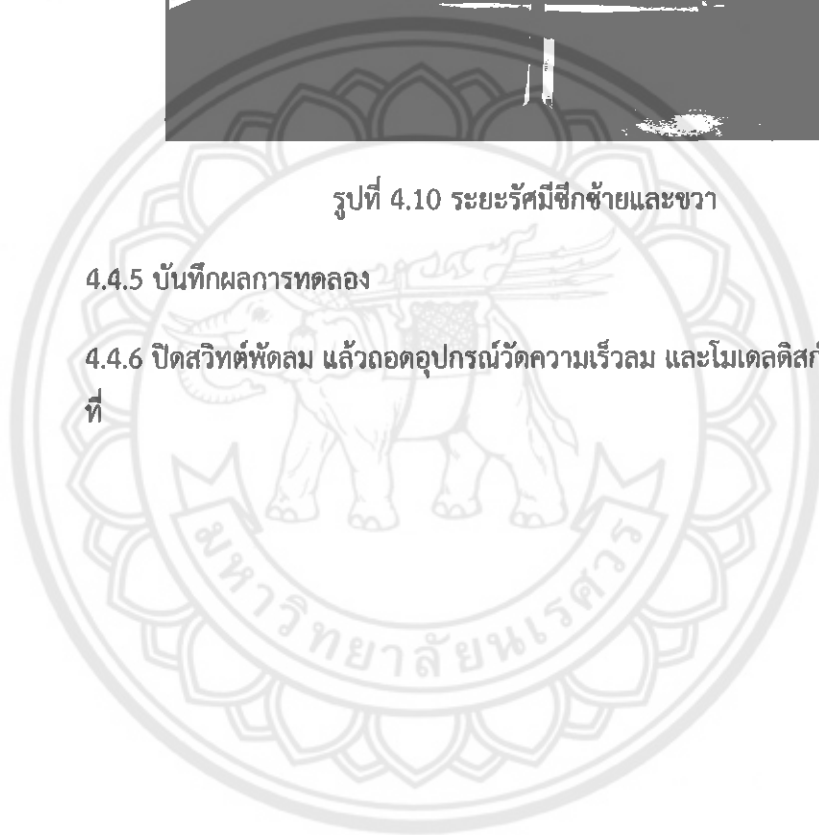
รูปที่ 4.9 ระยะรัศมีที่ระนาบ C และ D



รูปที่ 4.10 ระยะรัศมีซีกซ้ายและขวา

4.4.5 บันทึกผลการทดลอง

4.4.6 ปิดสวิตช์พัคลม แล้วถอดอุปกรณ์วัดความเร็วลม และโมเดลตีสกัวงกลมออกมาเก็บเข้า
ที่



4.5 ผลการทดลอง

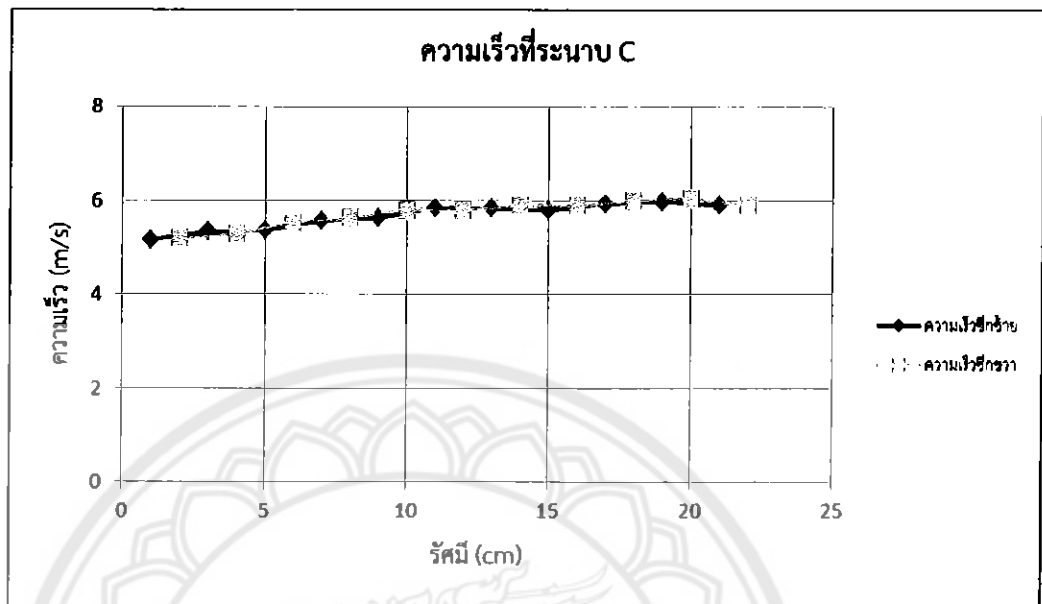
4.5.1 ความเร็วที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ความเร็วที่ได้จากการทดลอง

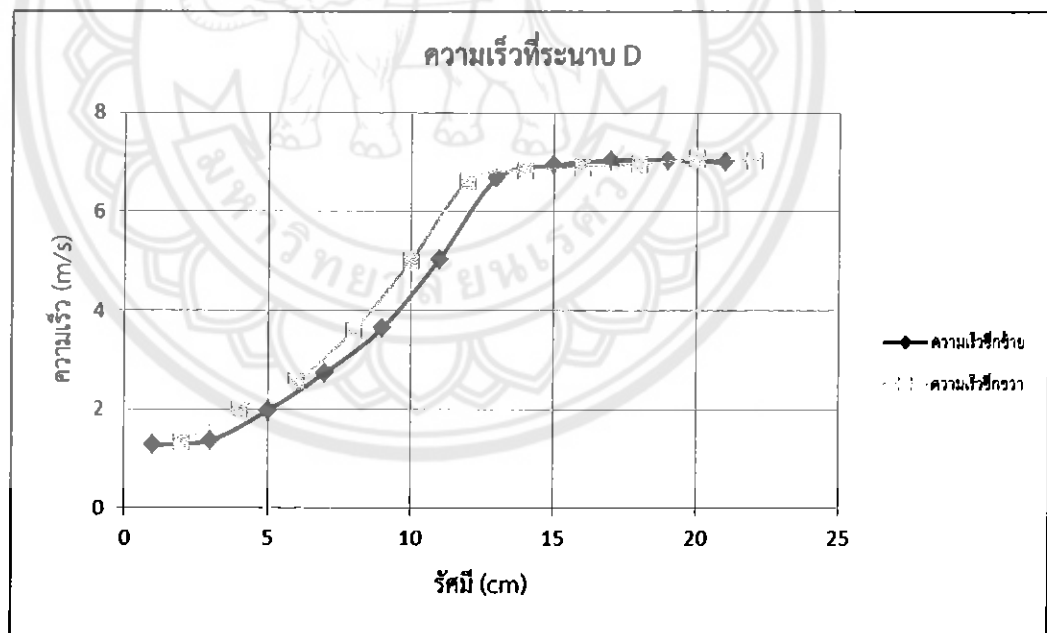
อุณหภูมิ : 30 °C
 ความหนาแน่นอากาศ : 1.164 kg/m³
 เส้นผ่าศูนย์กลางคิสก์ : 0.15 m
 พื้นที่คิสก์ : 0.0177 m²
 ความหนืด : 1.86 × 10⁻⁵ kg/ms

ความเร็ว (m/s)	รัศมี (m)	ความเร็วที่ระนาบ C (m/s)				ความเร็วที่ระนาบ D (m/s)				rv(u-v)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
5.575	0.21	5.8	5.9	6.0	5.900	7.1	7.0	6.9	7.000	-1.617
	0.19	5.8	6.1	6.0	5.967	7.0	7.2	6.9	7.033	-1.425
	0.17	5.9	5.9	6.0	5.933	7.0	7.1	7.0	7.033	-1.315
	0.15	5.9	5.7	5.8	5.800	6.9	7.1	6.8	6.933	-1.179
	0.13	5.8	5.7	6.0	5.833	6.5	6.8	6.7	6.667	-0.722
	0.11	5.8	6.0	5.7	5.833	5.0	5.3	4.8	5.033	0.443
	0.09	5.5	5.6	5.8	5.633	3.5	3.3	4.1	3.633	0.654
	0.07	5.6	5.7	5.4	5.567	2.1	3.3	2.8	2.733	0.542
	0.05	5.4	5.4	5.3	5.367	1.9	2.1	1.9	1.967	0.334
	0.03	5.5	5.2	5.3	5.333	0.0	1.9	2.2	1.367	0.163
	0.01	5.0	5.3	5.2	5.167	0.0	0.0	1.9	1.267	0.049
	0.02	5.0	5.4	5.2	5.200	2.1	1.9	0.0	1.333	0.103
	0.04	5.4	5.2	5.3	5.300	1.9	2.2	2.3	2.000	0.264
	0.06	5.6	5.5	5.5	5.533	2.8	2.2	2.5	2.567	0.457
	0.08	5.7	5.6	5.6	5.633	3.6	3.7	3.5	3.600	0.586
	0.10	5.8	5.9	5.7	5.800	5.2	5.0	4.8	5.000	0.400
	0.12	5.9	5.8	5.7	5.800	6.7	6.6	6.5	6.600	-0.634
	0.14	5.9	6.0	5.8	5.900	7.0	6.7	6.8	6.833	-0.893
	0.16	6.0	5.9	5.8	5.900	6.9	6.8	7.0	6.900	-1.104
0.18	6.0	6.1	5.9	6.000	6.9	7.0	6.9	6.967	-1.212	
0.20	6.1	5.9	6.1	6.033	6.9	7.2	7.1	7.067	-1.460	
0.22	5.8	5.9	6.0	5.900	7.1	6.9	7.1	7.033	-1.754	
				รวม	5.697			4.844	-9.320	

จากตารางที่ 4.1 พบว่าความเร็วที่ระนาบ C มีความเร็วเฉลี่ยทั้งระนาบ 5.697 m/s และ
 ความเร็วที่ระนาบ D มีความเร็วเฉลี่ยทั้งระนาบ 4.844 m/s



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความเร็วที่ระนาบ C



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความเร็วที่ระนาบ D

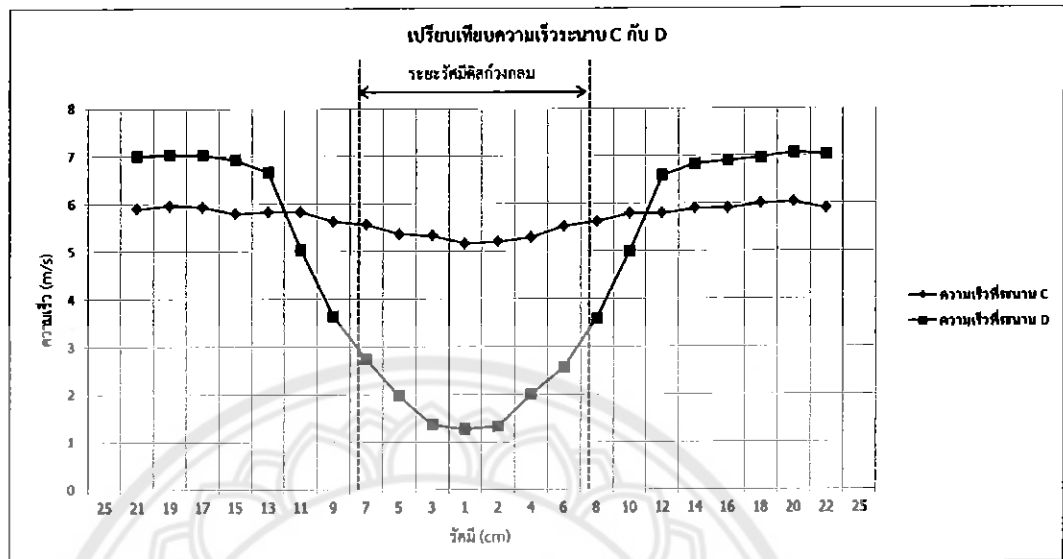
จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 จะเห็นว่าความเร็วเชิงซ้าย และขวาของดิสก์มีแนวโน้มไปในแนวเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าความเร็วที่ได้สมมาตรกัน

4.5.2 เปรียบเทียบความเร็วที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความเร็วที่ระนาบ C กับ D

ความเร็ว (m/s)	รัศมี (m)	ความเร็วที่ระนาบ C	ความเร็วที่ระนาบ D
5.575	21	5.900	7.000
	19	5.967	7.033
	17	5.933	7.033
	15	5.800	6.933
	13	5.833	6.667
	11	5.833	5.033
	9	5.633	3.633
	7	5.567	2.733
	5	5.367	1.967
	3	5.333	1.367
	1	5.167	1.267
	2	5.200	1.333
	4	5.300	2.000
	6	5.533	2.567
	8	5.633	3.600
	10	5.800	5.000
	12	5.800	6.600
	14	5.900	6.833
	16	5.900	6.900
	18	6.000	6.967
	20	6.033	7.067
	22	5.900	7.033
รวม		5.697	4.844

จากตารางที่ 4.1 เป็นการแสดงค่าความเร็วของระนาบ C และ D ที่ระยะรัศมีที่กำหนด ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งความเร็วที่ระนาบ C มีความเร็วเฉลี่ยทั้งระนาบ 5.697 m/s และความเร็วที่ระนาบ D มีความเร็วเฉลี่ยทั้งระนาบ 4.844 m/s เพื่อนำไปเปรียบเทียบ ดังกราฟที่ 4.13

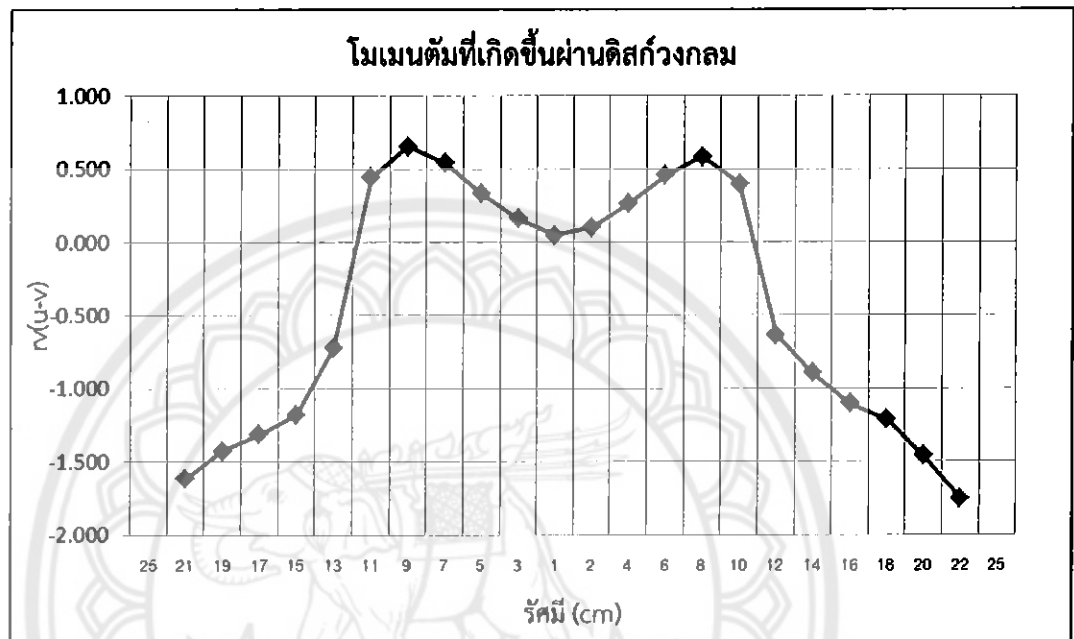


รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบความเร็วที่ระนาบ C กับ D

จากกราฟ ดังรูป 4.13 พบว่าในช่วงรัศมี 0-8 cm ระนาบ C มีค่าความเร็วที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยค่าความเร็วต่ำสุดอยู่ที่ 5.167 m/s และระนาบ D มีค่าความเร็วน้อยกว่าระนาบ C อยู่มาก เนื่องจากรูปทรงดิสก์วงกลมมีรัศมี 7.5 cm ซึ่งเป็นความเร็วที่วัดได้จากด้านหลังรูปทรงดิสก์วงกลม เห็นว่าด้านหลังรูปทรงดิสก์วงกลมมีการไหลของอากาศที่น้อยมาก โดยมีความเร็วต่ำสุดอยู่ที่ 1.267 m/s แต่ในช่วงรัศมี 8-13 cm ความเร็วที่ระนาบ C จะค่อยๆ มีความสม่ำเสมอมากขึ้นจนเริ่มที่จะมีแนวโน้มไปในแนวเดียวกัน ขณะที่ความเร็วระนาบ D มีความชันมากจนมีความเร็วสูงกว่าระนาบ C เนื่องจากในช่วงนี้เป็นความเร็วที่ได้จากบริเวณขอบรูปทรงดิสก์วงกลม อาจเกิดการไหลวนของอากาศ ทำให้การไหลด้านหลังรูปทรงดิสก์วงกลมมีความเร็วมากกว่าด้านหน้า และในช่วงรัศมี 13-22 cm ทั้ง 2 ระนาบมีความเร็วสม่ำเสมอมากที่สุด โดยระนาบ C มีค่าความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 6.033 m/s และระนาบ D มีค่าความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 7.067 m/s

4.5.3 การคำนวณหาค่า Drag Coefficient

4.5.3.1 ผลการคำนวณหาค่า Drag Coefficient



รูปที่ 4.14 กราฟการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ที่เกิดขึ้นผ่านดิสก์วงกลม

จากกราฟการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ที่เกิดขึ้นผ่านดิสก์วงกลม ดังรูป 4.14 สามารถนำพื้นที่ใต้กราฟด้านบวกไปใช้ในสมการที่ 4.7 เพื่อหา Drag force ซึ่งได้มาจากการประยุกต์ใช้สมการโมเมนต์ เพื่อนำผลการคำนวณที่ได้ไปใช้หาค่า Drag Coefficient

ตารางที่ 4.3 ค่า Drag coefficient

อุณหภูมิ	: 30 °C
ความหนาแน่นอากาศ	: 1.164 kg/m ³
เส้นผ่าศูนย์กลางดิสก์	: 0.15 m
พื้นที่ดิสก์	: 0.0177 m ²
ความหนืด	: 1.86×10 ⁻⁵ kg/ms
ความเร็ว	: 5.575 m/s
ตัวเลขเรย์โนลด์	: 5.233×10 ⁴

ความเร็ว (m/s)	รัศมี (cm)	รัศมี (m)	ความเร็วที่ ระนาบ C (m/s)	ความเร็วที่ ระนาบ D (m/s)	v(u-v)	พื้นที่ได้กราฟ (m ²)
5.575	11.8	0.118	5.833	5.833	0.000	0.002
	11.0	0.110	5.833	5.033	0.443	0.011
	9.0	0.090	5.633	3.633	0.654	0.012
	7.0	0.070	5.567	2.733	0.542	0.009
	5.0	0.050	5.367	1.967	0.334	0.005
	3.0	0.030	5.333	1.367	0.163	0.002
	1.0	0.010	5.167	1.267	0.049	0.000
	2.0	0.020	5.200	1.333	0.103	0.001
	4.0	0.040	5.300	2.000	0.264	0.004
	6.0	0.060	5.533	2.567	0.457	0.007
	8.0	0.080	5.633	3.600	0.586	0.010
	10.0	0.100	5.800	5.000	0.400	0.010
	10.8	0.108	5.800	5.800	0.000	0.002
					รวม	0.074

Drag Force : 0.545 N
 Drag Coefficient: 1.701

4.5.3.2 วิธีการคำนวณค่า Drag Coefficient

1.) การคำนวณหาพื้นที่ได้กราฟ รูปที่ 4.13 โดยคิดเฉพาะค่าที่เป็นบวก

$$\text{จากสมการ การหาพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมู} \quad A = \frac{1}{2} \times (\text{ผลบวกด้านคู่ขนาน}) \times \text{สูง} \quad (4.5)$$

ที่รัศมี 1 กับ 3

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } A &= \frac{1}{2} \times (0.163+0.049) \times (0.03-0.01) \\ &= 0.002 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2.) การคำนวณหาค่า Reynolds Number

$$\text{จากสมการ } Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (4.6)$$

กำหนดให้ ความเร็วของอากาศ = 5.575 m/s

เส้นผ่าศูนย์กลางดิสก์วงกลม = 0.15 m

จากตาราง คุณสมบัติของอากาศที่ความดันบรรยากาศ ที่ อุณหภูมิ (T) = 30 °C

$$\rho = 1.164 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1.86 \times 10^{-5} \text{ N.s / m}^2$$

จะได้

$$Re = \frac{1.164 \times 5.575 \times 0.15}{1.86 \times 10^{-5}}$$

$$= 5.233 \times 10^4$$

3.) การคำนวณ Drag Force

$$\text{จากสมการ } D = 2 \pi \rho \int_0^R r v (u - v) dr \quad (4.7)$$

$$= 2 \pi \rho \times \text{พื้นที่ใต้กราฟด้านบวก}$$

$$= 2 \times 1.164 \times 0.074$$

$$= 0.544 \text{ N}$$

4.) การคำนวณ Drag Coefficient

$$\text{จากสมการ } C_d = \frac{2D}{\rho V^2 A} \quad (4.8)$$

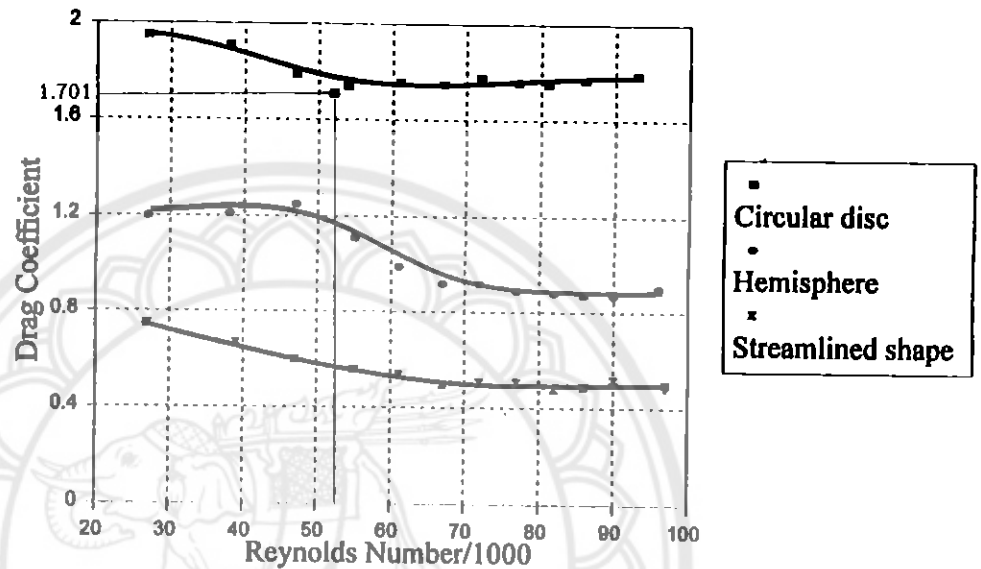
$$\text{โดยพื้นที่ของดิสก์ } A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} \times 0.15^2 = 0.018 \text{ m}^2$$

จะได้

$$C_d = \frac{2 \times 0.544}{1.164 \times (5.575)^2 \times 0.018}$$

$$= 1.701$$

4.5.4 เปรียบเทียบค่า Drag Coefficient ที่ได้จากการคำนวณกับผลการทดลองที่ได้จากปฏิบัติการการไหลของอากาศ [2]



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่า Drag Coefficient ที่ Reynolds Number ต่างๆ

จากการคำนวณค่า Reynolds Number ที่ได้เท่ากับ 5.233×10^4 และค่า Drag Coefficient เท่ากับ 1.701 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.15 พบว่าเมื่อค่า Reynolds Number เท่ากับ 5.233×10^4 จะได้ค่า Drag Coefficient จากผลการทดลองที่ได้จากปฏิบัติการการไหลของอากาศ [2] ประมาณ 1.8 จะเห็นว่าค่า Drag Coefficient ที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้จากปฏิบัติการการไหลของอากาศ [2]

4.6 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองและวิเคราะห์ผล เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของความเร็ว และหาค่าแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้น เมื่อผ่านรูปทรงดิสก์วงกลม ที่ความเร็ว 5.575 m/s ซึ่งแบ่งระนาบทดสอบออกเป็น 2 ระนาบ ซึ่งวัดความเร็วที่ระนาบ C และ D ตามระยะรัศมี ซีกซ้าย 1, 3, 5, ... , 21 cm และซีกขวา 2, 4, 6, ... , 22 cm ตามลำดับ ผลการทดลอง พบว่าในช่วงรัศมี 0-8 cm ระนาบ D มีค่าความเร็วต่ำกว่าระนาบ C อยู่มาก เนื่องจากรูปทรงดิสก์วงกลมมีรัศมี 7.5 cm แสดงให้เห็นว่าด้านหลังรูปทรงดิสก์วงกลมมีการไหลของอากาศที่น้อยมาก ในช่วงรัศมี 8-13 cm ความเร็วระนาบ D มีความชันมากจนมีความเร็วสูงกว่าระนาบ C เนื่องจากในช่วงนี้เป็นความเร็วที่ได้จากบริเวณขอบรูปทรงดิสก์วงกลม อาจเกิดการไหลวนของอากาศทำให้การไหลด้านหลังรูปทรงดิสก์วงกลมมีความเร็วมากกว่าด้านหน้า และในช่วงรัศมี 13-22 cm ทั้ง 2 ระนาบมีความเร็วสม่ำเสมอมากที่สุด

เมื่อนำความเร็วที่ได้จากระนาบ C และ D มาคำนวณหาค่า Drag Coefficient พบว่าเมื่อ Reynolds Number มีค่าเท่ากับ 5.233×10^4 จะได้ค่า Drag Coefficient จากผลการทดลองที่ได้จากปฏิบัติการการไหลของอากาศ [2] ประมาณ 1.8 ซึ่งจากการคำนวณหาค่า Drag Coefficient ที่ได้จากการทดลอง จะได้เท่ากับ 1.701 จะเห็นว่าค่า Drag Coefficient ที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้จากปฏิบัติการการไหลของอากาศ [2]

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การพัฒนาชุดปฏิบัติการอุโมงค์ลม โดยพัฒนาต่อเนื่องจากโครงการพัฒนาชุดทดสอบ กังหันลมขนาดเล็กของนายวันชัย และคณะ ที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ทดสอบกังหันลมขนาดเล็กที่ระดับ ความเร็วลม 3-5 m/s และสามารถติดตั้งชิ้นงานในส่วนปฏิบัติการขนาด 0.5 m x 1.15 m x 0.5 m พบว่า

เพื่อให้ได้ชุดทดสอบอุโมงค์ลมที่มีประสิทธิภาพ การใช้งานไม่ยุ่งยากซับซ้อน จึงได้ทำการ ปรับปรุงโดยการติดตั้งลูกถ้วยเข้ากับตัวอุโมงค์ลม เสริมหน้าแปลนที่ส่วนอากาศแพร่ออกขนาด 7.5 x 7.5 เมตร และติดตั้งรางเลื่อนเข้ากับตัวอุโมงค์ลมที่ระนาบทดสอบ ผลที่ได้จากการปรับปรุงชุด ทดสอบอุโมงค์ลม คือสามารถเคลื่อนย้ายได้ตามต้องการ ส่วนอากาศแพร่อกกับชุดต้นกำลังปิดกัน สนิท อีกทั้งสามารถถอดออกจากกันได้ และรางเลื่อนแต่ละระนาบสามารถเปลี่ยนตำแหน่งการวัดได้ สะดวก

การทดสอบหาการกระจายตัวของความเร็วอากาศในแต่ละนาบ เพื่อใช้เป็นจุดติดตั้งโมเดล ทดสอบ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ระนาบ และใช้ INVERTOR ในการปรับความเร็วรอบของพัด ลม พบว่าทั้ง 3 ระนาบ มีค่าความเร็วเฉลี่ยทั้งหน้าตัดที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่ระนาบ C มีค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานที่น้อยที่สุด แสดงว่ามีความสม่ำเสมอของความเร็วอากาศที่มากกว่าระนาบอื่น ดังนั้นจึงใช้ ระนาบ C เป็นจุดติดตั้งโมเดลทดสอบ

การทดลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของความเร็วอากาศ เมื่อผ่านรูปทรงดิสก์วงกลม และหา ค่าแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้น ที่ความเร็ว 5.575 m/s ซึ่งทำการทดลองโดยแบ่งระนาบทดสอบออกเป็น 2 ระนาบ คือระนาบ C และ D หรือความเร็วด้านหน้าและหลังดิสก์วงกลม ผลการทดลองพบว่าใน ระยะตั้งแต่จุดกึ่งกลางจนถึงขอบดิสก์วงกลม ความเร็วที่ระนาบ D มีค่าความเร็วน้อยกว่าระนาบ C อยู่มาก แสดงให้เห็นว่าด้านหลังรูปทรงดิสก์วงกลมมีการไหลของอากาศที่น้อยมาก และในช่วงขอบ ดิสก์วงกลม ความเร็วที่ระนาบ D จะค่อยๆมีความเร็วสูงขึ้นจนมีค่าสูงกว่าระนาบ C เนื่องจากอาจเกิด การไหลวนของอากาศทำให้การไหลด้านหลังบริเวณขอบของรูปทรงดิสก์วงกลมมีความเร็วมากกว่า ด้านหน้า

เมื่อนำความเร็วที่ได้จากระนาบ C และ D มาคำนวณหาค่า Drag Coefficient พบว่าเมื่อ Reynolds Number มีค่าเท่ากับ 5.233×10^4 ค่า Drag Coefficient จากผลการทดลองที่ได้จาก ปฏิบัติการการไหลของอากาศ [2] มีค่าประมาณ 1.8 ซึ่งจากการคำนวณหาค่า Drag Coefficient ที่

ได้จากการทดลอง จะได้เท่ากับ 1.701 จะเห็นว่าค่า Drag Coefficient ที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้จากปฏิบัติการการไหลของอากาศ [2]

ข้อเสนอแนะ

1. อุโมงค์ลมเครื่องนี้ไม่สามารถดูเส้นการไหลของอากาศได้ ควรจะมีการพัฒนาต่อไป
2. เนื่องจากมีการทดลองโมเดลเพียงชนิดเดียว ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของความเร็วอากาศแค่รูปทรงเดียว ควรเปลี่ยนโมเดลเป็นรูปทรงอื่นๆ
3. ถ้าต้องการดูการเปลี่ยนแปลงของความเร็วอากาศที่ความเร็วสูงขึ้น ควรจะเปลี่ยนมอเตอร์ให้มีกำลังแรงม้าและรอบที่สูงขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] วันชัย อุ่นเพชร, สุพิศ แพงสี และสิริวัฒน์ เสาร์แดน. (2554). การพัฒนาชุดทดสอบกึ่งหัตถมขนาดเล็ก. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- [2] TE 43 MODULAR AIR FLOW LABORATORY EXPERIMENTAL MANUAL. Plint & Partners Limited, Oaklands Park, Wokingham, RG41 2FD, UK
- [3] อธิกร นิลโกศล และเอกลักษณ์ รุจิพรวสิน. (2547). การออกแบบและสร้างอุโมงค์ลมเพื่อใช้ในการทดลอง. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- [4] ผ่องศรี ศิวราศักดิ์. (2551). กลศาสตร์ของไหลประยุกต์. กรุงเทพฯ: ทริปเปิ้ล เอ็ดดูเคชั่น. ISBN: 978-974-09-1943-8.
- [5] กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics). สืบค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2556, จาก http://www.elearning.msu.ac.th/opencourse/0300365/content_WEB/unit3/unit3_4.html





ภาคผนวก ก

การทดสอบเพื่อหาความเร็วเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดทดสอบในระยะต่างๆ

ผลการทดสอบความเร็วอากาศ

ตารางที่ 1 แสดงผลความเร็วที่ได้จากการวัด

ที่ความเร็ว 3 m/s

ระนาบทดสอบ	ความเร็วที่ตำแหน่ง(m/s)											\bar{V} (m/s)	Vmax (m/s)	Vmh (m/s)	ค่า SD
A	2.5	2.8	2.83	3.03	2.8	3.07	3.11	3	3.03	2.93	2.87	2.999	3.433	2.5	0.183
	2.67	2.93	3	3.07	3.27	3.07	3.03	3.07	3.03	3.13	2.9				
	2.7	2.73	2.87	2.83	3	3.03	3.27	3.27	3.17	2.8	2.83				
	2.6	2.77	2.9	3.11	3.17	3.11	3.13	3.17	3.11	3.12	2.93				
	2.67	2.9	2.87	2.9	3.13	3.07	2.97	3	3	3	2.87				
	2.97	2.8	3.11	3.17	3.27	3.17	3.11	3.13	3.27	3.03	3.07				
	2.9	3.07	3.13	3.27	3.11	3.27	3.11	3.13	3.07	3.17	3				
	2.87	3.03	3.11	3.17	3.27	3.27	3.11	3.13	3.17	3.03	2.83				
	2.9	3.07	3.03	3.03	3.17	3.17	3.03	3.03	3.07	3	2.73				
	2.73	2.93	2.87	2.97	3	3.03	3	3	2.93	2.93	2.63				
	2.63	2.77	2.77	2.8	2.97	2.87	2.9	2.93	2.77	2.73	2.67				
B	2.77	3	3	2.93	3	2.9	3.03	3	3.27	3	2.77	3.082	3.333	2.7	0.139
	2.9	3.13	3.13	3.17	3.17	3.27	3.11	3.27	3.07	3.07	2.97				
	3	3	3.17	3.27	3.27	3.11	3.27	3.03	3.11	3.03	3.03				
	2.9	3.11	3.17	3.11	3.11	3.27	3.27	3.11	3.11	3					
	2.93	3.17	3.17	3.11	3.11	3.11	3.17	3.13	3.03	2.9					
	2.93	3.11	3.17	3.11	3.17	3.11	3.13	3.03	3.11	2.97					
	2.97	3.13	3.13	3.11	3.11	3.11	3.07	3.17	3.03	2.97					
	2.93	3.11	3.13	3.11	3.17	3.27	3.27	3.11	3	2.93					
	2.93	3.03	3.07	3.13	3.17	3.17	3.17	3.11	3.11	3	2.97				
	2.93	3	2.97	3.11	3.11	3.03	2.97	3.07	2.93	2.97					
	2.7	2.83	2.9	2.9	2.9	3.07	2.97	2.9	3	2.97	2.73				
C	2.9	2.87	2.9	2.83	2.87	2.97	2.87	2.87	2.93	2.8	2.83	3.017	3.3	2.8	0.122
	2.97	2.9	3	3.03	3.07	3.07	3	3.07	3	2.97	2.87				
	2.9	2.93	3.03	3.11	3.17	3.27	3.17	3.17	3	2.9	2.9				
	2.9	2.97	3.17	3.27	3.27	3.07	3.13	3.17	3.07	3.11	3.07				
	2.93	3.11	3.13	3.17	3.13	3.27	3.13	3.17	3.11	3.11	3.03				
	2.87	3.03	3.13	3.11	3.27	3.27	3.13	3.11	3.03	3.03	3.07				
	3	3	3.17	3.13	3.17	3.13	3.17	3.03	3.27	2.97	3				
	2.9	2.9	3.07	3.11	3.11	3.11	3.11	3.03	3	2.87	2.9				
	2.87	2.9	2.97	3	3.17	3.27	3.13	3.27	2.97	2.9	2.83				
	2.9	2.9	2.93	2.87	3	2.97	2.97	3.07	2.93	2.93	2.93				
	2.9	2.9	3	2.9	2.93	2.83	3	2.87	2.83	2.8	2.87				

ที่ความเร็ว 4 m/s

ระนาบทดสอบ	ความเร็วที่ตำแหน่ง(m/s)											\bar{V} (m/s)	Vmax (m/s)	Vmin (m/s)	ค่า SD
A	3.73	3.67	3.77	4	4	3.9	3.9	4.1	3.9	3.87	3.77	3.992	4.333	3.633	0.158
	3.63	3.83	4.03	4.03	4.07	4.07	4.03	4.07	3.83	3.9	4.03				
	3.83	3.83	3.87	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.03	3.93				
	3.7	4.03	4.03	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.03	3.97	3.93				
	3.77	4	4.03	4.03	4.03	4.03	4	4.03	4	3.97	3.7				
	3.83	4.03	3.9	4.03	4.03	4.03	4	3.9	4	3.8	3.9				
	3.93	4.07	4.03	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	3.93	3.9				
	3.83	4.03	4.03	4.07	4.03	4.07	4.07	4.07	4.03	4.03	4.03				
	3.8	3.97	4	4	4.03	4.03	4	4.07	4.03	3.9	3.8				
	3.73	3.87	3.9	4.03	4.03	4.03	4.03	3.93	3.9	3.77					
	3.67	3.8	3.93	3.93	3.9	3.87	3.97	3.87	3.77	3.7	3.7				
	B	3.93	3.93	4.03	3.9	4	3.97	3.97	4.1	4.1	4				
3.97		4	4.1	4.17	4.17	4.13	4.13	4	4.13	4	4				
3.97		4.07	4.13	4.17	4.17	4.17	4.17	4.1	4.07	4.03					
4		4.07	4.1	4.17	4.13	4.17	4.1	4.1	4	4.1	4				
3.93		4.1	4.17	4.17	4.17	4.13	4.17	4.17	4.1	4					
3.87		4.07	4.1	4.17	4.17	4.17	4.17	4.03	4.07	4					
3.9		4.03	4.1	4.17	4.13	4.17	4.13	4	4	4.03	4				
4		4.07	4.17	4.1	4.13	4.13	4.13	4.13	4.13	4.07	3.9				
3.9		3.97	4.07	4.13	4.13	4.17	4.03	4.17	4	4	4				
3.93		4	4.1	4.03	4.03	4	4.13	4.07	4.03	3.9	3.9				
3.97		3.93	3.93	3.97	4.07	4.03	3.97	3.97	4	3.9	3.87				
C		3.83	3.93	3.97	3.93	4	3.93	3.9	3.93	4	3.9	3.93	4.05	4.267	3.833
	3.83	3.9	4	4.1	4.03	4.03	4.07	3.97	4.07	3.9					
	3.97	4	4.1	4.03	4.07	4.07	4.03	4	4	3.9					
	3.83	4	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4					
	3.87	3.9	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.03	4.07	4					
	4.03	3.97	4.03	4.07	4.07	4.07	4.03	4.03	4.03	3.93					
	3.9	4	4.1	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.03					
	3.9	3.93	4	4.07	4.03	4.03	4.07	4.03	3.97	4.07					
	3.97	3.93	4.03	4.03	4.07	4.07	4.07	4.03	4	3.97					
	3.87	3.9	4	4.1	4.03	4.07	4.03	4	3.97	3.93	3.93				
	3.83	3.93	3.97	3.9	4.03	4	3.93	3.97	3.97	3.87	3.9				

ที่ความเร็ว 5 m/s

ระนาบทดสอบ	ความเร็วที่ตำแหน่ง(m/s)											\bar{V} (m/s)	Vmax (m/s)	Vmin (m/s)	ค่า SD
A	4.57	4.6	4.9	5.07	5.07	5.13	5.17	4.97	4.87	4.87	4.63	4.983	5.467	4.567	0.178
	4.67	4.77	4.93	5	5	5.22	5.17	4.93	5.07	4.97	4.77				
	4.73	4.87	4.87	5.22	5.1	5.17	5	5.13	5.07	4.87	4.83				
	4.7	4.77	5.07	5.03	4.93	5.03	5.17	5.13	4.97	4.73	4.77				
	4.67	4.93	5.13	5.13	5.13	5.13	4.9	5.17	5.22	5.13					
	4.8	5.03	4.97	4.8	4.97	5.03	5.03	4.93	4.9	4.97	4.9				
	4.7	4.8	5	5.13	5.17	5.22	5.13	5.1	5.22	5.22	4.83				
	4.77	5	5.07	5.07	4.87	5.1	5.22	5.22	5.1	4.9	4.73				
	4.83	4.83	5	5.13	5.07	5.22	5.07	5.07	5.1	4.97	4.87				
	4.8	4.73	5.03	5.1	5.1	5.1	5.1	4.97	5.07	4.93	4.73				
	4.67	4.83	4.7	5.03	5	5.07	5.13	5.1	4.97	4.8	4.77				
B	4.8	4.9	5	5.03	4.97	5.03	5.03	5	5.07	5.1	4.8	5.08	5.367	4.767	0.148
	4.9	4.9	4.9	5.1	5.13	5.13	5.03	5.22	5.1	5.03	4.97				
	4.9	4.93	5.07	5.22	5.22	5.13	5.22	5.13	5.2	5.17	4.93				
	4.93	5.03	5.22	5.22	5.13	5.22	5.22	5.22	5.07	4.97	4.93				
	4.93	5.1	5.13	5.22	5.13	5.22	5.22	5.17	5.17	5.07	4.9				
	5	5.1	5.1	5.13	5.22	5.22	5.13	5.17	5.17	4.97	4.97				
	4.97	5.03	5.13	5.1	5.13	5.22	5.22	5.13	5.17	5.17	5				
	4.9	5.17	5.07	5.13	5.22	5.22	5.17	5.22	5.1	5.1	4.97				
	4.93	5.1	5.07	5.17	5.1	5.22	5.13	5.1	5.1	4.97	4.87				
	4.83	5	5.07	5.07	5	5	5	5.03	4.93	5.03	4.87				
	4.87	4.83	4.93	4.97	4.93	4.93	4.97	4.93	4.9	4.9	4.77				
C	4.83	4.93	5	4.93	5	5.07	5.13	5	4.9	4.93	4.87	5.025	5.3	4.8	0.12
	4.93	4.9	5	5.07	5.13	5.22	5	5.03	5	5	4.87				
	4.83	5	5.1	5.07	5.22	5.17	5.22	5.1	5	4.93	4.97				
	4.97	4.9	5.1	5.13	5.22	5.22	5.22	5.03	5	5.17	5				
	4.83	4.93	5	5.13	5.22	5.22	5.22	5.22	5	5.03	4.9				
	4.97	4.97	5.1	5.17	5.22	5.22	5.22	5.22	5.1	5.03	5				
	4.87	4.97	5.17	5.07	5.22	5.22	5.17	5.13	5.07	5	4.93				
	4.87	5	5.07	5.1	5.17	5.22	5	5.07	4.97	4.93	4.9				
	5	4.97	5	5.07	5.13	5.07	5.13	5.07	5.07	4.93	4.87				
	4.87	4.93	5	4.93	5	5.03	5	5	4.93	4.97	4.9				
	4.83	4.93	4.8	4.9	4.93	4.97	4.87	4.8	4.9	4.83	4.93				

ตารางที่ 2 ผลความเร็วที่ได้จากการวัดโดยไมโครสแต็ท

ที่ระนาบ C

ระนาบทดสอบ	ความเร็วที่ตำแหน่ง(m/s)												\bar{V} (m/s)	Vmax (m/s)	Vmh (m/s)	ค่า SD
C	5.03	4.77	5.17	4.9	4.6	5.33	5.5	4.87	5.17	5.3	4.87	5.417	6.3	4.3	0.387	
	4.97	4.83	5.43	5.3	5.6	5.27	5.67	5.63	5.13	5.63	5.67					
	5.07	5.1	5.57	5.77	5.13	4.8	5.27	5.97	4.87	6.07	6.2					
	5.6	5.67	5.77	5.1	6.03	5.8	5.1	5.5	5.9	5.8	5					
	5.27	5.67	5.77	5.77	5.77	5.9	5.83	6.07	5.77	5.8	5.43					
	5.13	5.4	5.43	5	5.17	5.47	5.43	5.57	6	5.47	6					
	5.5	5.33	5.67	5.07	6	5.8	5.43	5.33	5.67	5.8	5.37					
	4.77	5.07	5	5.63	5.07	4.67	5.43	5.43	5.23	5.77	6.13					
	5.13	5.2	5.57	5.67	5.33	6.03	5.5	4.97	5.13	5.43	4.83					
	5.1	4.9	4.93	5.53	5.4	5.3	5.6	5.37	5.83	5.57	5.93					
5.13	5.13	5.87	5.6	4.3	5.2	5.53	5.13	5.6	5.27	5.87						

ระนาบทดสอบ	ความเร็วที่ตำแหน่ง(m/s)												\bar{V} (m/s)	Vmax (m/s)	Vmh (m/s)	ค่า SD
C	4.13	4.13	4.03	3.83	4.2	4.6	4.33	4.53	4.63	4.63	4.7	4.679	5.6	3.467	0.442	
	4.23	4.43	3.47	4.47	4.07	4.77	4.7	4.8	4.6	5.17	5.5					
	5.11	4.6	4.53	4.43	4.33	4.87	4.47	4.9	4.7	4.73	5.4					
	4.53	4.33	4.2	4.77	4.33	4.53	4.93	5.27	5.27	5.27	4.47					
	4.77	4.6	4.57	4.87	4.97	5.31	5.3	5.37	5.03	5.3	4.73					
	4.53	4.77	4.23	4.57	3.93	4.63	4.83	4.77	5.1	4.87	5.23					
	4.77	4.33	3.8	4.03	4.23	4.67	4.57	5.13	4.7	4.57	4.77					
	4.57	4.47	3.9	4.6	3.5	5.07	4.77	5.07	4.97	5.27	5.27					
	4.43	4.4	4.33	5.27	4.83	3.93	4	4.67	5.3	4.5	4.5					
	4.5	4.43	4.53	4.5	4.17	5.27	4.6	4.63	4.53	4.8	4.83					
4.43	4.93	4.3	3.83	4.9	4.87	4.5	4.73	5.1	4.87	5.4						

ระนาบทดสอบ	ความเร็วที่ตำแหน่ง(m/s)												\bar{V} (m/s)	Vmax (m/s)	Vmh (m/s)	ค่า SD
C	4.97	4.63	4.9	4.97	4.67	4.93	4.93	4.77	4.97	4.27	4.47	4.62	5.233	3.867	0.301	
	4.97	5.31	4.87	4.83	4.8	4	4.6	4.97	4.47	4.57	4.73					
	4.97	4.83	4.33	4.83	4.13	4.4	4.6	4.83	4.97	4.13	4.83					
	3.87	4.3	3.97	4.17	4.37	4.5	4.37	4.8	4.57	4.1	4.37					
	4.13	4.33	4.7	4.2	4.53	4.3	4.33	4.57	4.43	4.57	4.37					
	4.7	4.57	4.3	4.47	4.93	4.07	4.17	4.2	4.67	4.33	4.77					
	4.77	4.5	4.57	4.73	4.67	4.83	4.9	5.03	4.63	4.17	4.83					
	4.77	4.5	4.4	4.5	4.87	5	4.73	4.93	4.23	4.37	4.37					
	4.5	4.87	4.9	4.77	4.53	4.1	4.77	4.43	4.2	4.43	4.3					
	4.73	4.43	4.93	4.3	4.73	4.67	4.73	4.47	4.7	4.97	4.53					
4.5	4.87	4.77	4.77	4.63	4.6	4.4	4.5	4.8	4.93	5.1						



ภาคผนวก ข

คู่มือปฏิบัติการการทดลองแรงต้านอากาศรวมของดิสก์วงกลม

การทดลอง : แรงต้านอากาศรวมของดิสก์วงกลม

วัตถุประสงค์ : เพื่อวัดแรงต้านอากาศรวมบนรูปทรงดิสก์วงกลม

เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ :

1. อุโมงค์ลม



รูปที่ 1 อุโมงค์ลม

2. ดิสก์วงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 60 mm



รูปที่ 2 ดิสก์วงกลม

3. Pitote tube



รูปที่ 3 หัววัดแบบ Pitote tube

4. สายวัดความดัน



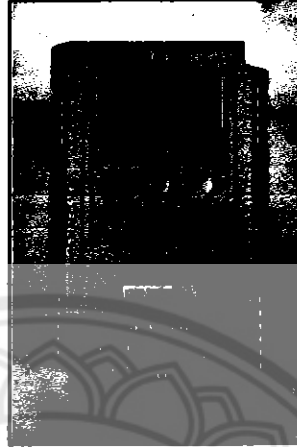
รูปที่ 4 สายวัดความดัน

5. เครื่องวัดमानอมิเตอร์ (manometer) รุ่น testo 510



รูปที่ 5 เครื่องวัดमानอมิเตอร์ (manometer)

6. เครื่องปรับความถี่ Invertor



รูปที่ 6 Invertor control

ทฤษฎี :

สมการโมเมนตัม (Momentum Equation)

สมการโมเมนตัมนั้นพัฒนามาจากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ซึ่งลักษณะที่เป็นพื้นฐานมากที่สุดคือ การวิเคราะห์โมเมนตัมเชิงเส้น (Linear Momentum)

$$\bar{F} = \frac{d(m\bar{v})}{dt} \quad (1)$$

จากสมการ Reynolds Transport เมื่อแทน B ด้วยโมเมนตัมเชิงเส้น $m\bar{v}$ และ b ซึ่งคือ intensive properties ของคุณสมบัติตัวนั้นแทนด้วยโมเมนตัมเชิงเส้นต่อมวล $\frac{\rho v}{\rho}$ แทนลงในสมการดังกล่าวจะได้

$$\int_{\text{system}} \frac{dB}{dt} = \int_{\text{control volume}} \frac{dB}{dt} + \int_{\text{control surface}} b\rho\bar{v} dA$$

$$\int_{\text{system}} \frac{dB}{dt} = \int_{\text{control volume}} \rho b dV + \int_{\text{control surface}} b \cdot \rho\bar{v} dA$$

$$\frac{dm\bar{v}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{\text{control volume}} \rho\bar{v} dV + \int_{\text{control surface}} \bar{v} \rho\bar{v} dA$$

$$\text{จะได้ } \Sigma F = \frac{dm\bar{v}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{\text{control volume}} \rho\bar{v} dV + \int_{\text{control surface}} \rho\bar{v}\bar{v} dA \quad (2)$$

แรงต้านอากาศบนรูปทรงตามแกนสมมาตรมีการคำนวณในลักษณะที่คล้ายคลึงกับรูปทรงสองมิติโดยการใช้ทฤษฎีโมเมนต์ในการควบคุมปริมาตร

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของโมเมนต์ พบว่าการรวมการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของโมเมนต์ผ่านวงกลมรัศมี r , กว้าง dr :

r = รัศมีของดิสก์วงกลม

R = ค่าสุดท้ายของ r

u = ความเร็วด้านหน้า

v = ความเร็วด้านหลัง

D = แรงต้านอากาศ

ได้ว่า

$$D = \int_0^R 2\pi r \rho v(u - v) dr \quad (3)$$

ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (C_d) สามารถหาได้จากสมการ

$$D = \frac{1}{2} C_d \rho V^2 A \quad (4)$$

โดย D = แรงต้านอากาศ

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ

V = ความเร็วอิสระของอากาศ

A = พื้นที่ฉายด้านหน้าของรูปทรง

C_d = สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ

ขั้นตอนการทดลอง :

1. ติดตั้งโมเดลดิสก์วงกลมบนฐานของส่วนทดสอบและตั้งฉากกับแกนของการไหล
2. ติดตั้ง Pitote tube ที่ส่วนทดสอบโดยตั้งฉากกับการไหลของอากาศ และใช้สายวัดความดันต่อเชื่อม Pitote tube เข้ากับเครื่องวัดความเร็วลม
3. เปิดสวิตช์พัดลม โดยให้พัดลมทำงานที่ความเร็วสูงสุดไว้ประมาณ 1 นาที
4. วัดความเร็วที่ระนาบ C และ D ตามรัศมี ซีกซ์ 1, 3, 5, ... , 21 cm และซีกซ์ 2, 4, 6, ... , 22 cm ตามลำดับ
5. บันทึกผลตามตารางต่อไปนี้

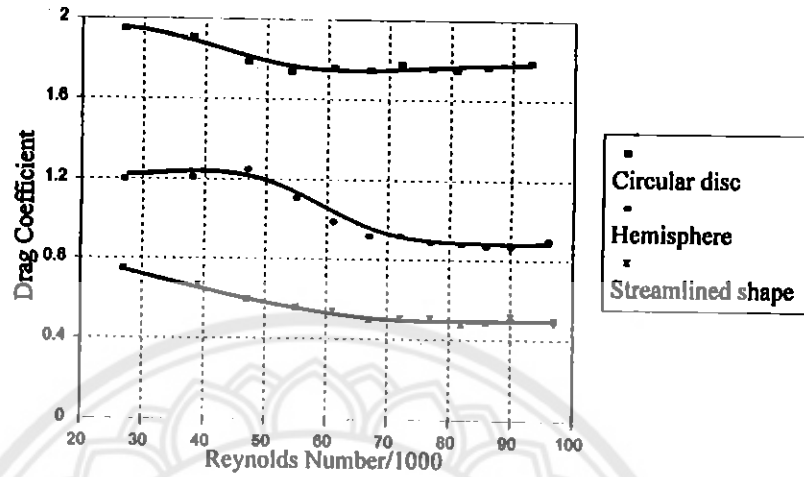
ตารางบันทึกผล

ความเร็ว (m/s)	รัศมี (m)	ความเร็วที่ระนาบ C (m/s)				ความเร็วที่ระนาบ D (m/s)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5.575	0.21								
	0.19								
	0.17								
	0.15								
	0.13								
	0.11								
	0.09								
	0.07								
	0.05								
	0.03								
	0.01								
	0.02								
	0.04								
	0.06								
	0.08								
	0.10								
	0.12								
	0.14								
	0.16								
	0.18								
0.20									
0.22									

6. ปิดสวิตช์ Invertor และพัคลม แล้วถอดอุปกรณ์วัดความเร็วลมกับโมเดลตีสก๊วกลง
ออกมาเก็บเข้าที่

วิเคราะห์ผลการทดลอง :

นำค่าที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่า Drag Force และค่า Drag Coefficient แล้ว
วิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากปฏิบัติการการไหลของอากาศ [2]



กราฟแสดงค่า Drag Coefficient ที่ Reynolds Number ต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] TE 43 MODULAR AIR FLOW LABORATORY EXPERIMENTAL MANUAL. Plint & Partners Limited, Oaklands Park, Wokingham, RG41 2FD, UK

[2] กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics). สืบค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2556, จาก

http://www.elearning.msu.ac.th/opencourse/0300365/content_WEB/unit3/unit3_4.html



ภาคผนวก ค

ตาราง สมบัติพิลึกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ

ตาราง สมบัติทางฟิสิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ (หน่วยเอสไอ)

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น ρ (kg/m ³)	น้ำหนักจำเพาะ γ (N.s/m ³)	ความหนืด พลวัต μ (N.s/m ²)	ความหนืดจลน์ ν (m ² /s)	อัตราเร็วเสียง c (m/s)
-20	1.395	13.68	1.63×10^{-5}	1.17×10^{-5}	319.1
0	1.292	12.67	1.71×10^{-5}	1.32×10^{-5}	331.4
5	1.269	12.45	1.73×10^{-5}	1.36×10^{-5}	334.4
10	1.247	12.23	1.76×10^{-5}	1.41×10^{-5}	337.4
15	1.225	12.01	1.80×10^{-5}	1.47×10^{-5}	340.4
20	1.204	11.81	1.82×10^{-5}	1.51×10^{-5}	343.3
25	1.184	11.61	1.85×10^{-5}	1.56×10^{-5}	346.3
30	1.164	11.43	1.86×10^{-5}	1.60×10^{-5}	349.1
40	1.127	11.05	1.87×10^{-5}	1.66×10^{-5}	354.7
50	1.109	10.88	1.95×10^{-5}	1.76×10^{-5}	360.3
60	1.060	10.40	1.97×10^{-5}	1.86×10^{-5}	365.7
70	1.060	10.09	2.03×10^{-5}	1.97×10^{-5}	371.2
80	0.999	9.803	2.07×10^{-5}	2.07×10^{-5}	376.6
90	0.972	9.533	2.14×10^{-5}	2.20×10^{-5}	381.7
100	0.946	9.278	2.17×10^{-5}	2.29×10^{-5}	386.9
200	0.746	7.317	2.53×10^{-5}	3.39×10^{-5}	434.5
300	0.616	6.040	2.98×10^{-5}	3.48×10^{-5}	476.3

ที่มา Bruce R. Munson and Others, Fundamentals of Fluid Mechanics, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994.



ภาคผนวก ง

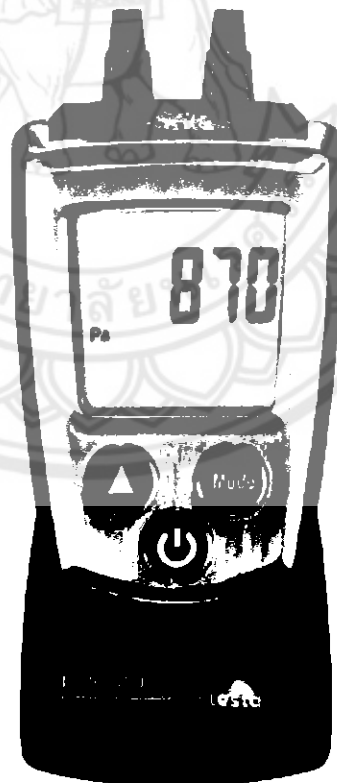
คู่มือการใช้งาน Manometer

Testo 510

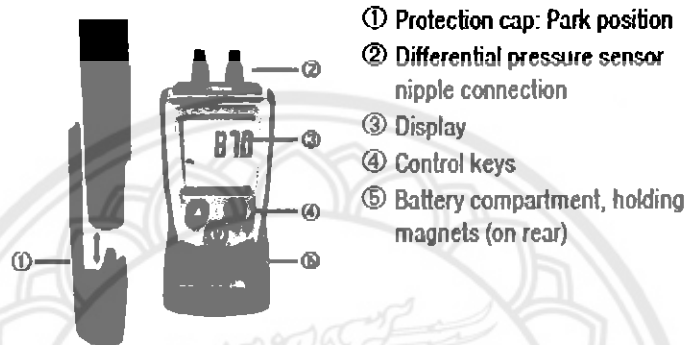
มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจวม

The logo consists of the word "testo" in a white, lowercase, sans-serif font, centered within a solid black circle. A horizontal line passes through the middle of the circle and extends to the right edge of the page.**testo 510**

Bedienungsanleitung	de
Instruction manual	en
Mode d'emploi	fr
Manual de instrucciones	es
Manuale di istruzioni	it
Manual de instruções	pt



Short manual testo 510



Use

Basic settings

Instrument off > press and hold 2s > select with (▲), confirm with (←):

Unit of pressure/velocity: hPa, mbar, Pa, mmH₂O, mmHg, psi, inH₂O, inHG, m/s, fpm
 > Density of the medium (Density) > Auto off function: OFF, ON

Switching the instrument on

Press .

Switching the display light on (for 10s)

Instrument on > press .

Select display mode

Instrument on > select with :

Current reading > Hold: Readings are held > Max: Maximum values > Min: Minimum values > Hold Avg: Timed mean value calculation, see below

Timed mean value calculation for flow


Press several times, until Hold and Avg appear > Hold down until ---- appears > Releasing starts mean value calculation, the current readings are displayed > End measurement: press , the mean value is displayed.

Switching the instrument off:

Instrument on > press and hold 2s.

Safety and the environment

About this document

- › Please read this documentation through carefully and familiarise yourself with the product before putting it to use. Keep this document to hand so that you can refer to it when necessary. Hand this documentation on to any subsequent users of the product.
- › Pay particular attention to information emphasised by the following symbols:
 -  Important.

Avoid personal injury/damage to equipment

- › Only operate the measuring instrument properly, for its intended purpose and within the parameters specified in the technical data. Do not use force.
 - › Never store the product together with solvents, acids or other aggressive substances.
 - › Only carry out the maintenance and repair work that is described in the documentation. Follow the prescribed steps when doing so. Use only OEM spare parts from Testo.
-



Strong magnets. Damage to other instruments!

- › Keep a safe distance from products which could be damaged by magnetism (e.g. monitors, computers, pacemakers, credit cards).
-

Protecting the environment

- › Take faulty rechargeable batteries as well as spent batteries to the collection points provided for them.
- › Send the product back to Testo at the end of its useful life. We will ensure that it is disposed of in an environmentally friendly manner.

Specifications

en

Functions and use

The testo 510 is a differential pressure measuring instrument. It is normally used to measure small differences in pressure (e.g. to check filter permeability), gas flow pressure measurement, fine draught measurement as well as flow velocity measurement with a Pitot tube.

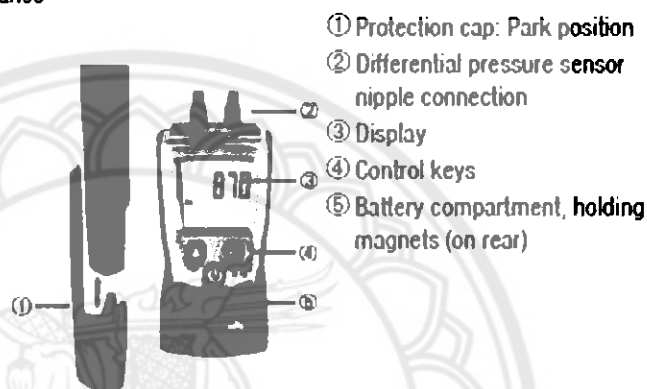
Technical data

Measurement data	Further instrument data
<ul style="list-style-type: none"> • Sensor: Differential pressure sensor • Parameters: Pa, hPa, mbar, mmH₂O, mmHg, inHG, inH₂O, psi, m/s, fpm • Measuring ranges: 0...100 hPa, 0...40.15 inH₂O • Resolutions: 0.01 hPa, 0.01 inH₂O • Accuracies (Nominal temperature 22 °C, ±1 Digit): ±0.03 hPa (0...0.30 hPa), ±0.05 hPa (0.31...1.00 hPa), ±(0.1 hPa+1.5 % of reading) (rest of range), ±0.01 inH₂O (0...0.12 inH₂O), ±0.02 inH₂O (0.13...0.40 inH₂O), ±(0.04 inH₂O +1.5 % of reading) (rest of range) • Measuring rate: 0.5 s 	<ul style="list-style-type: none"> • Protection class: IP40 • Ambient conditions: 0...50 °C, 32...122 °F • Storage/transport conditions: -40...70 °C, -40...158 °F • Voltage supply: 2x 1.5 V type AAA • Battery life: 50 h (without display light) • Dimensions: 119x46x25 mm (inc. protection cap) • Weight: 90 g (inc. batteries and protection cap)
	Directives, standards and tests <ul style="list-style-type: none"> • EC Directive: 89/336/EEC
	Warranty <ul style="list-style-type: none"> • Duration: 2 years • Warranty conditions: see guarantee card

14 Product description

Product description

At a glance



First steps


> Inserting batteries:

- 1 To open the battery compartment, push the battery cover down.
- 2 Insert batteries (2x 1.5 V type AAA). Observe the polarity!
- 3 To close the battery compartment, push the battery cover back on.

> Basic settings (configuration mode):

Adjustable functions

- Unit of pressure/velocity: hPa, mbar, Pa, mmH₂O, mmHg, psi, inH₂O, inHG, m/s, fpm
 - Only if a unit of velocity is selected:
 Density of the medium (Density): Adjust flashing numbers with ▲, change to the next number with ●.
 - Auto off function: OFF, ON (instrument switches off automatically if no key is pressed for 10 minutes)
- 1 When switching the instrument on, press and hold ● until ▲ and ← appear on the display (configuration mode).
 - The adjustable function is displayed. The current setting flashes.
 - 2 Press ▲ several times until the desired setting flashes.

- 3 Press  (←) to confirm the input.
- 4 Repeat steps 2 and 3 for all functions.
 - The instrument changes to measuring mode.

en


Using the product

I For velocity to be measured, the unit of density and density value must be set correctly, see chapter 'First steps', section 'Basic settings (configuration mode)'.


> Switching the instrument on:

- > Press :
 - Measuring mode is opened.

> Switching the display light on:


- ✓ The instrument is switched on.
- > Press :
 - The display light goes out automatically if no key is pressed for 10 seconds.

> Zeroing the measuring instrument:

- I** The instrument can only be zeroed in the range up to 10 hPa.
- > Press :
 - Zeroing takes place.







> Changing the display view:

Adjustable views



- Current reading
- Hold: Readings are held.
- Max: Maximum values since the instrument was last switched on or last reset.
- Min: Minimum values since the instrument was last switched on or last reset.
- Hold Avg: Timed mean value calculation, see below.
- > Press  several times until the desired view appears.

16 Using the product

> Timed mean value calculation for flow:

- 1 Press  several times, until Hold and Avg appear in the display. The last result of mean value calculation is displayed.
- 2 Hold  down until ---- appears. Releasing  starts mean value calculation automatically, the current readings are displayed.
- 3 End measurement: press . The mean value is displayed.
- 4 For further mean value calculation: hold down .
- 5 End mean value calculation: press  briefly.

> Resetting Max/Min values:

- 1 Press  several times until the desired view appears.
- 2 Press  and hold until ---- appears.
- 3 Repeat steps 1 and 2 for all values that are to be reset.

> Switching the instrument off:

- > Press  and hold until the display goes out.

Maintaining the product

> Changing batteries:

- 1 To open the battery compartment, push the battery cover down.
- 2 Remove used batteries and insert new batteries (2x 1.5 V type AAA). Observe the polarity!
- 3 To close the battery compartment, push the battery cover back on.


> Cleaning the housing:

- > Clean the housing with a moist cloth (soap suds) if it is dirty. Do not use aggressive cleaning agents or solvents!

Tips and assistance

en

Questions and answers

Question	Possible causes/solutions
Hi or Lo	<ul style="list-style-type: none"> Readings outside the measuring range (too high, too low): Keep to the permitted measuring range.
	<ul style="list-style-type: none"> Residual capacity <:10 min: Change batteries.

If we could not answer your question, please contact your dealer or Testo Customer Service. Contact details can be found on the guarantee card or on the Internet at: www.testo.com

Accessories and spare parts

Accessories and spare parts can be found in the product catalogues and brochures or in the internet at: www.testo.com