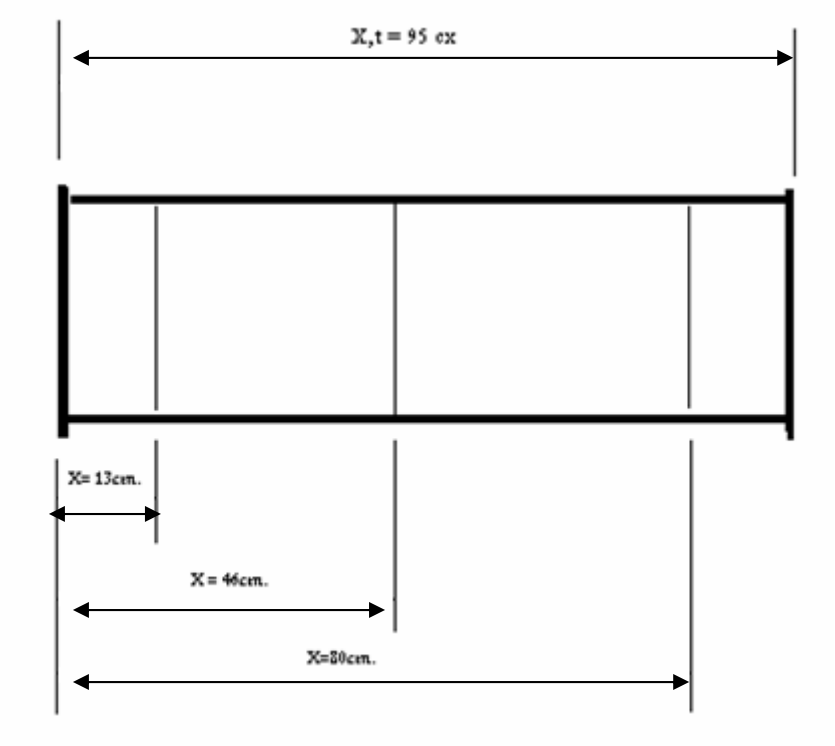
บทที่ 5
การทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบพื้นฐานการทำงานของอุโมงค์ลมความเร็วต่ำที่เราได้จัดสร้างขึ้น เพื่อหาสมรรถนะต่างๆ ของตัวอุโมงค์ลม โดยจะใช้วิธีการทดสอบที่เป็นพื้นฐานอย่างง่าย และจะใช้ตัวเปรียบเทียบที่ได้จากการผลการจำลองแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ซึ่งผลที่ได้จะทำให้เราสามารถวิเคราะห์และสรุปผลได้ในระดับหนึ่ง โดยวิธีและขั้นตอนการทดลองสามารถจัดทำได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1 การตรวจสอบสภาพการไหลในห้องทดสอบ (Test Section) โดยวิธีการวัดทางเครื่องมือ

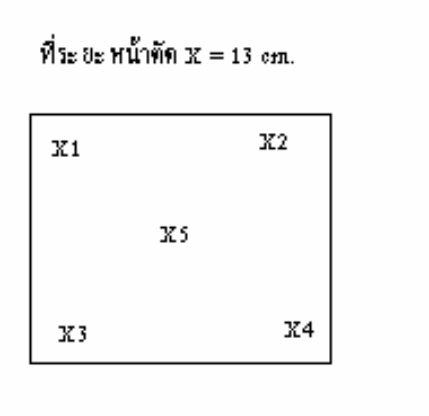
ดังที่ได้กล่าวมาในบทที่ 2 แล้วว่าการไหลของของไหลนั้นเราสามารถพิจารณาของไหลได้ตามสถานะต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติทางกายภาพหรือสถานะของจลศาสตร์ของไหล เช่น ความราบเรียบและไม่ราบเรียบของการไหล (Laminar and Turbulent Flow) หรือความสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอของการไหล เป็นต้น ซึ่งในการทดลองนี้เราจะทดสอบดูว่ามีการไหลที่มีความราบเรียบหรือมีความสม่ำเสมอหรือไม่ โดยพิจารณาการวัดที่ระนาบของหน้าตัดที่ระยะต่าง ๆ ดังรูปที่ 5.1 โดยวิธีการทดสอบจะเป็นดังนี้

1. กำหนดระยะ X ต่าง ๆ ตามความยาวของระยะความยาวห้องทดสอบ



รูปที่ 5.1 การกำหนดระยะของระนาบหน้าตัดที่จะวัดการไหลของลม

2. ที่ระยะระนาบต่าง ๆ กำหนดจุดที่จะวัดทั่วทั้งระนาบตามรูปที่ 5.2



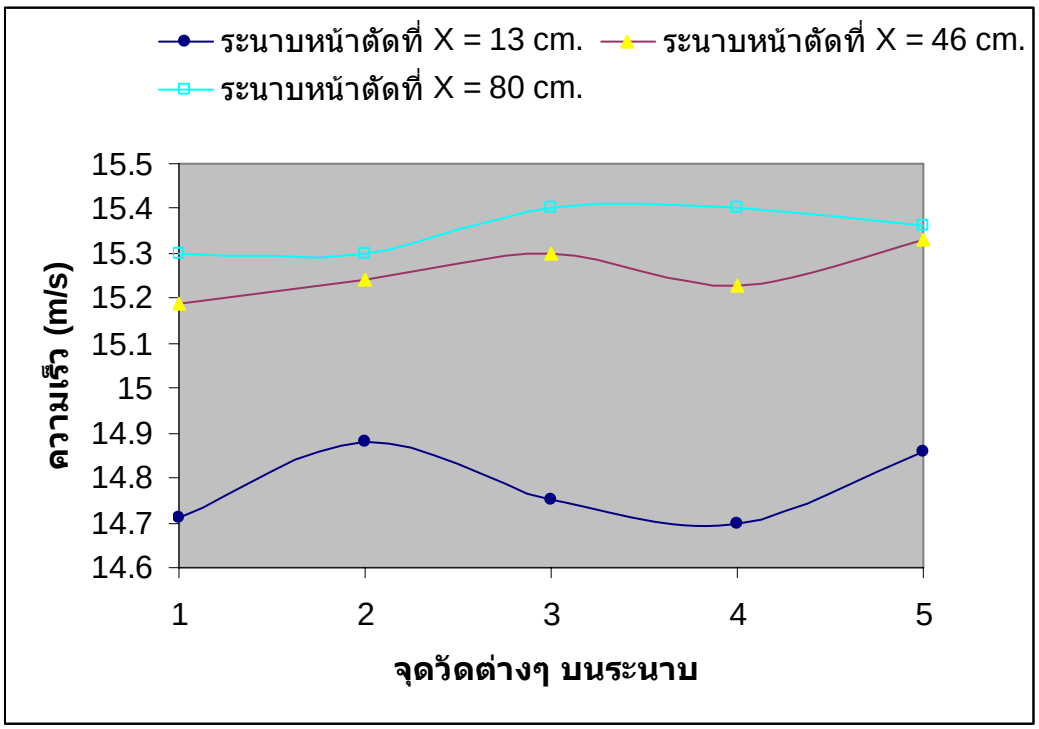
รูปที่ 5.2 การกำหนดจุดที่จะทำการวัดทั่วทั้งระนาบหน้าตัดของพื้นที่

3. ทำเหมือนขั้นตอนในข้อ 2. แต่เปลี่ยนระยะระนาบ X = 46 และ X= 80 ตามลำดับ โดยความเร็วรอบของตัวขับจะต้องคงที่เท่ากันตลอดทุกวิธีการทดลอง

4. บันทึกผลที่ได้

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองการวัดความเร็วลม ณ ตำแหน่งต่างๆ

ความเร็วที่จุดการวัดต่างๆ(m/s)	ระยะของระนาบ(X)		
	x=13 cm.	x=46 cm.	x=80 cm.
x1	14.71	15.19	15.3
x2	14.88	15.24	15.3
x3	14.75	15.3	15.4
x4	14.7	15.23	15.4
x5	14.86	15.33	15.36
เฉลี่ย	14.78	15.26	15.36



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของลมที่ตำแหน่งจุดการวัดบนระยะระนาบหน้าตัดต่างๆ

5.2 การทดสอบ Flow Visualization

เป็นการทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมต่าง ๆ ของของไหลที่ไหลผ่านแบบจำลองทางรูปทรงเลขาคณิตอย่างง่าย การทดสอบนี้จะทำให้เราเห็นทิศทางการไหล เส้นการไหลที่ไหลภายในห้องทดสอบ ซึ่งมีขั้นตอนและผลการทดสอบดังนี้

1. การทดสอบโดยนำแบบจำลองติดตั้งในห้องทดสอบ

รูปที่ 5.4 การติดตั้งแบบทดสอบ

2. นำสิ่งที่ก่อให้เกิดควัน วางไว้บริเวณด้านปากทางเข้าของลม (Smoke Test)
3. ทำการเดินเครื่องทดสอบ

รูปที่ 5.5 การทดสอบ Smoke Test

5.3 การทดสอบหาสมรรถนะการทำงานของอุโมงค์ลม

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบโดยใช้แบบจำลองทางรูปทรงเลขาคณิตอย่างง่าย เพื่อนำเอาผลที่สามารถหาได้ต่างๆ จากการทดลองจริง เช่น ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน (Drag Coefficient, C_D) ค่า Reynolds Number (Re) เป็นต้น แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้ นำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือแม้แต่ข้อมูลต่างๆ ที่สามารถอ้างอิงได้ โดยขั้นตอนและวิธีการทดลองต่างๆ รวมถึงผลการทดลอง เป็นดังต่อไปนี้

อุปกรณ์การทดสอบ

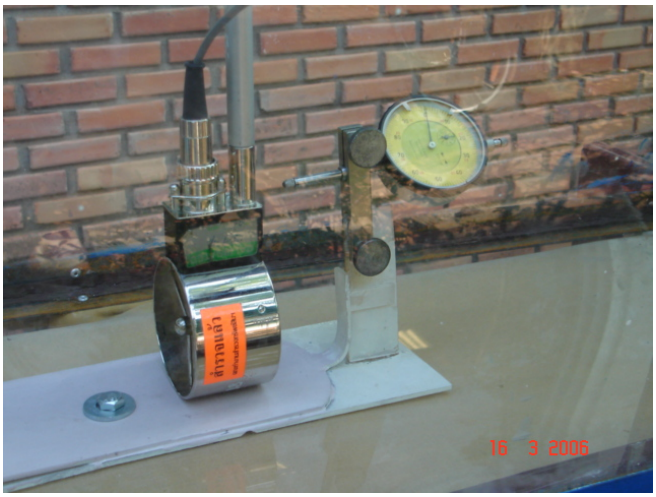
1. แบบจำลองเรขาคณิตรูปทรงอย่างง่าย คือ ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 ซม. และทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด $9 \times 14 \times 4$ ซม.
2. เครื่องมือวัดแรงซึ่งประดิษฐ์จากตัววัด ไดรอัน เกจ ซึ่งมีค่า k = 12.426 N/m (แสดงการคำนวณค่าคงที่ของสปริงไว้ในภาคผนวก)
3. เครื่องมือวัดความเร็วลม (Flow Meters)

วิธีการทดสอบ

1. การทดสอบโดยนำแบบจำลองติดตั้งเข้ากับตัวสปริงเพื่อวัดแรง

รูปที่ 5.6 การติดตั้งแบบจำลองเข้ากับเครื่องมือวัดแรง

2. ติดตั้งเครื่องมือวัดความเร็วลม (Flow Meters)



รูปที่ 5.7 การวัดความเร็วลมภายในห้องทดสอบที่ตำแหน่งทดสอบ

3. ทำการเดินเครื่องที่ความเร็วค่าหนึ่ง จากนั้นบันทึกความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ของเข็มจากเครื่องมือวัด

4. เปลี่ยนแปลงความเร็วเพิ่มขึ้น บันทึกความเร็วและระยะของเข็มที่เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นด้วย

5. ทำการหาแรงที่กระทำต่อหน้าตัดแบบจำลองโดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการ

$$F = -kX \tag{4.1}$$

โดยที่ F คือ แรงที่ทำให้สปริงเคลื่อนที่เข้าเป็นระยะ X เมตร(นิวตัน)

k คือ ค่าคงที่ของสปริง (นิวตัน/เมตร)

X คือ ระยะที่สปริงเคลื่อนที่หดเข้า (เมตร)

โดยค่าแรงที่ได้ จะให้เป็นแรงต้านของแบบจำลองแรงต้าน (Drag Force,F_D)

การคำนวณหาค่า Drag Coefficient (C_D)

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \tag{4.2}$$

โดยที่ F_D คือ ค่า Drag Force สามารถหาได้จากการทดลอง

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ

v คือ ค่าความเร็วของอากาศ ณ เวลาใด ๆ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแบบจำลอง

การหาค่า Reynolds Number

$$Re_D = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{vD}{\nu} \tag{4.3}$$

เมื่อ ρ คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ

v คือ ความเร็ว ณ ตำแหน่งใดๆ

μ คือ ความหนืดของอากาศ

ν คือ ค่า Kinematics Viscosity

6. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 แต่เปลี่ยนแบบจำลองเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมที่เตรียมไว้แทน

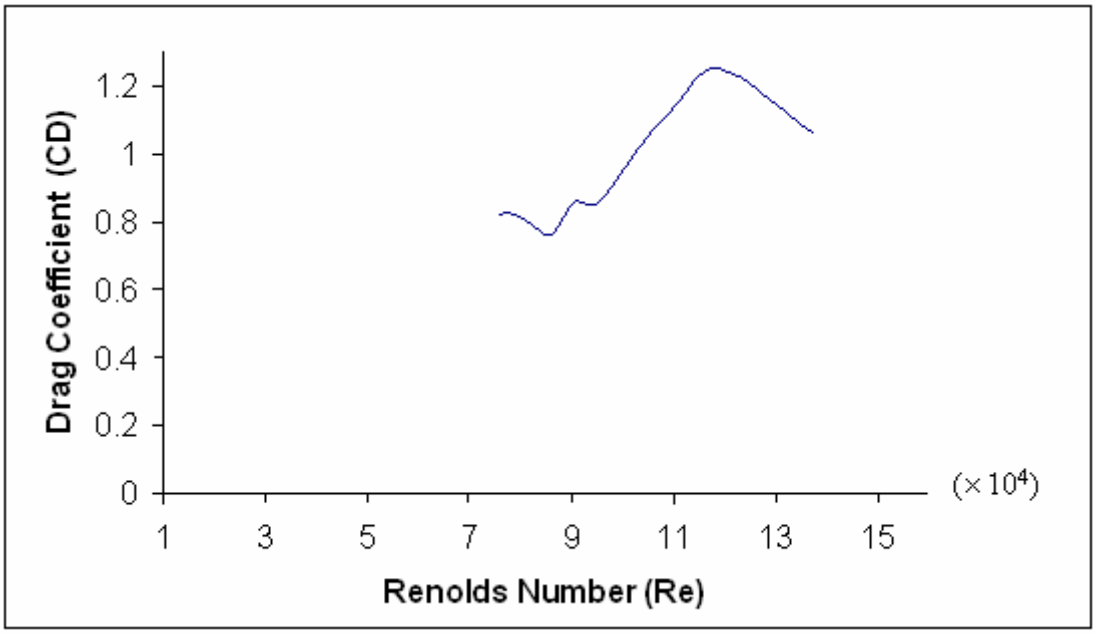
รูปที่ 5.8 การทดสอบโดยใช้รูปทรงเรขาคณิตสี่เหลี่ยม

ผลการทดลองจากการทดสอบกับอุโมงค์ลม

1. ผลการทดสอบแบบจำลองเรขาคณิตทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 cm.

ตารางที่ 5.2 ค่าการคำนวณต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง
(วิธีการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก)

v (m/s)	F_D (N.)	C_D	$Re*10^{-4}$
8.3	0.498	0.8196	7.5914
8.5	0.526	0.8254	7.7743
8.8	0.554	0.8111	8.0487
9.4	0.593	0.7609	8.5976
9.9	0.744	0.8607	9.0548
10.4	0.815	0.8543	9.5122
11.5	1.235	1.059	10.5182
12	1.441	1.1346	10.9756
13	1.873	1.2566	11.8902
15	2.112	1.0642	13.7195

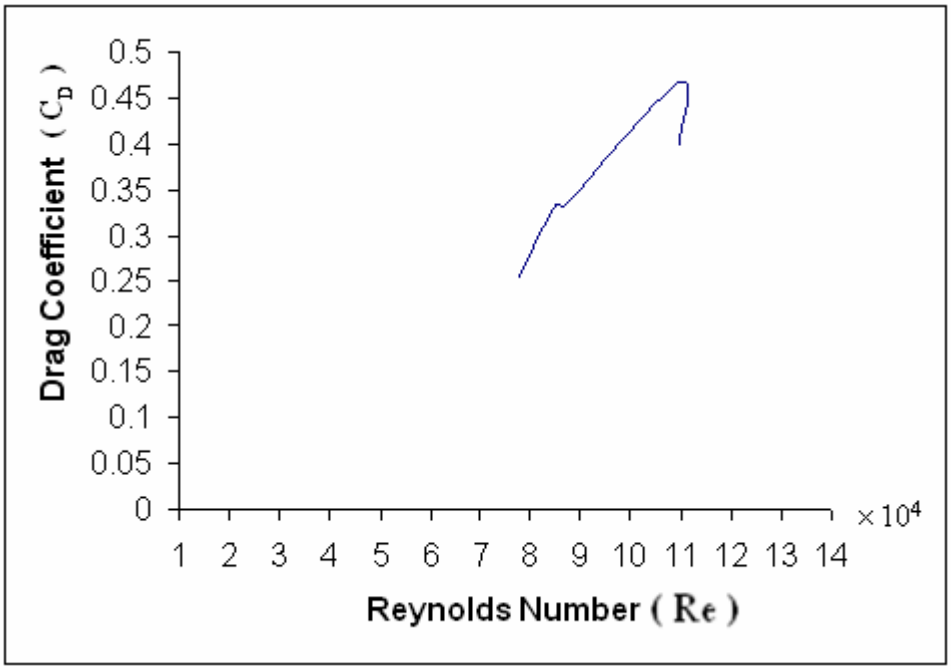


รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Drag Coefficient กับค่า Reynolds Number ของแบบจำลองทรงกลม

2. ผลการทดสอบแบบจำลองเรขาคณิตทรงสี่เหลี่ยม

ตารางที่ 5.3 ค่าการคำนวณต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง

v (m/s)	F_D(N.)	C_D	Re*10^{-4}
8.5	0.945	0.2536	7.7743
9.3	1.488	0.3335	8.507
9.5	1.542	0.3312	8.689
10	2.414	0.4679	10.9756
12	2.951	0.3972	10.9756



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Drag Coefficient กับค่า Reynolds Number ของแบบจำลองทรงสี่เหลี่ยม

ในการทดลองนั้นเราจำเป็นต้องมีตัวเทียบวัดผลการทดลองกับข้อมูลต่างๆ ที่มีการยอมรับเป็นมาตรฐานหรือสามารถเชื่อถือได้โดยค่าความสัมพันธ์ที่เรานำเทียบวัดนั้นเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Drag Coefficient กับค่า Reynolds Number ซึ่งข้อมูลนี้เป็นค่ามาตรฐานที่สามารถยอมรับได้และข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

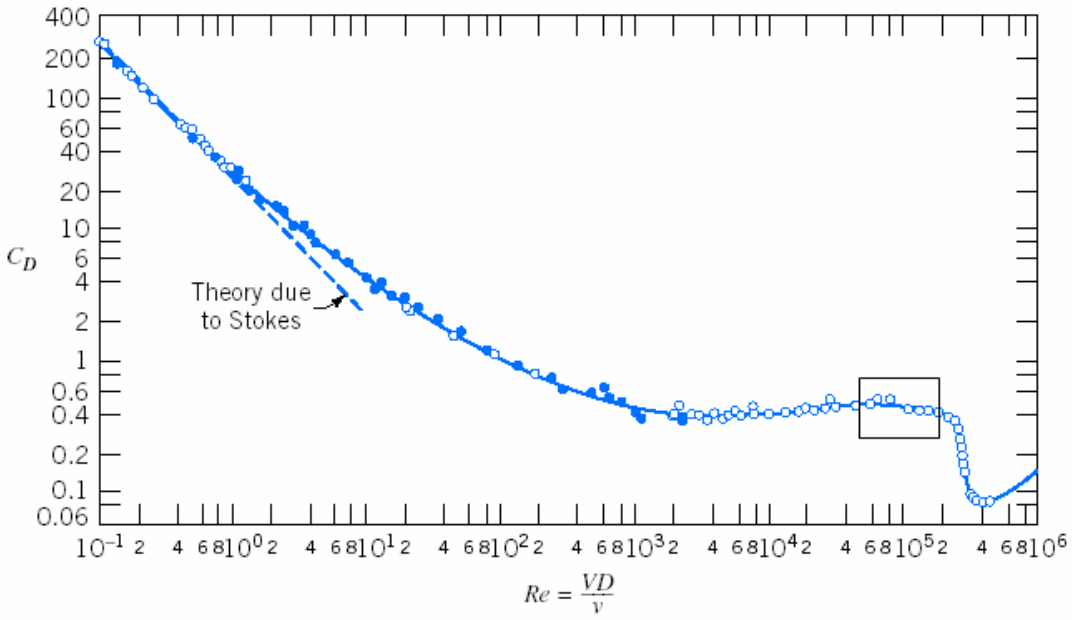
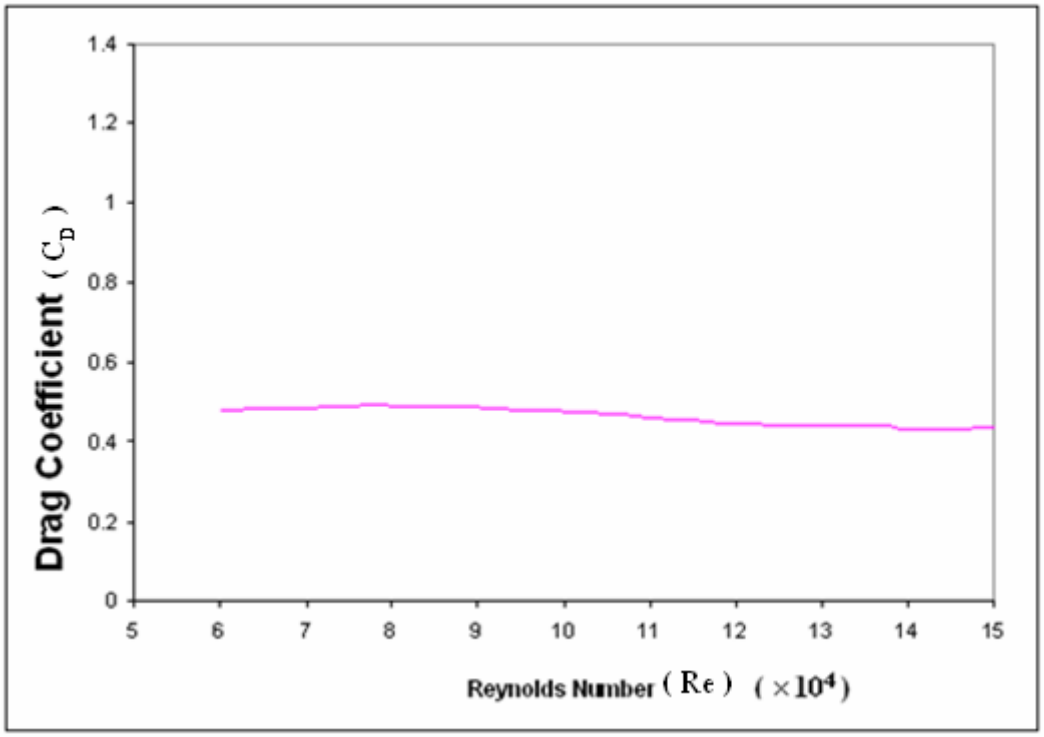


Fig. 9.11 Drag coefficient of a smooth sphere as a function of Reynolds number [3].

รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Drag Coefficient กับค่า Reynolds Number ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลของการทดลอง

เมื่อเราพิจารณาช่วงของค่า Reynolds Number ที่มีค่าช่วงเดียวกันกับการทดลอง และสามารถนำข้อมูลมาเทียบวัดโดยแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลเทียบวัดได้ดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Drag Coefficient กับค่า Reynolds Number ของค่ามาตรฐานของทรงกลม ในช่วงที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลของการทดลอง

โดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกใช้เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงของแบบจำลองกับตัวอุโมงค์ลมแล้วจะนำมาวิเคราะห์เพื่อสรุปผลต่อไป

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

ในเนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงการนำเอาผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานหรือข้อมูลที่สามารถยอมรับได้ โดยการวิเคราะห์ผลการทดลองจะทำการวิเคราะห์และสรุปผลตามแต่ละหัวข้อของการทดลองเป็นข้อ ๆ ดังนี้

6.1 สรุปผลการตรวจสภาพการไหลโดยวิธีการวัดทางเครื่องมือ

1) จากตารางที่ 5.1 ผลการทดลองการวัดการไหลที่ตำแหน่งหน้าต่างๆ ที่ระยะความยาวของห้องทดสอบใดๆ (Test Section) จะเห็นว่าที่ระยะความยาวของห้องทดสอบ (Test Section) X = 46 cm. และ X = 80 cm จะมีความเร็วลมเฉลี่ยทั่วหน้าตัดทั้งสองบริเวณใกล้เคียงกัน ดังนั้นสรุปได้ว่า ที่บริเวณ X = 46 cm. และ X = 80 cm นี้ เป็นระยะที่ความเร็วลมมีขนาดที่คงที่มากกว่าบริเวณระยะอื่น ๆ

2) จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าค่าความเร็วลมที่บริเวณหน้าตัด X = 46 cm. และ X = 80 cm จะมีค่าการกระจายตัวของค่าความเร็วลมที่น้อยสุด ดังนั้นบริเวณที่เริ่มจาก X = 46 cm.ถึง X = 80 cm จึงมีความสม่ำเสมอของการไหลที่มากสุด

สรุป จากคำกล่าวข้างต้นทั้งสองข้อนี้เราจึงสรุปว่า บริเวณ X = 46 cm. เหมาะแก่การเป็นบริเวณติดตั้งแบบจำลองมากที่สุด

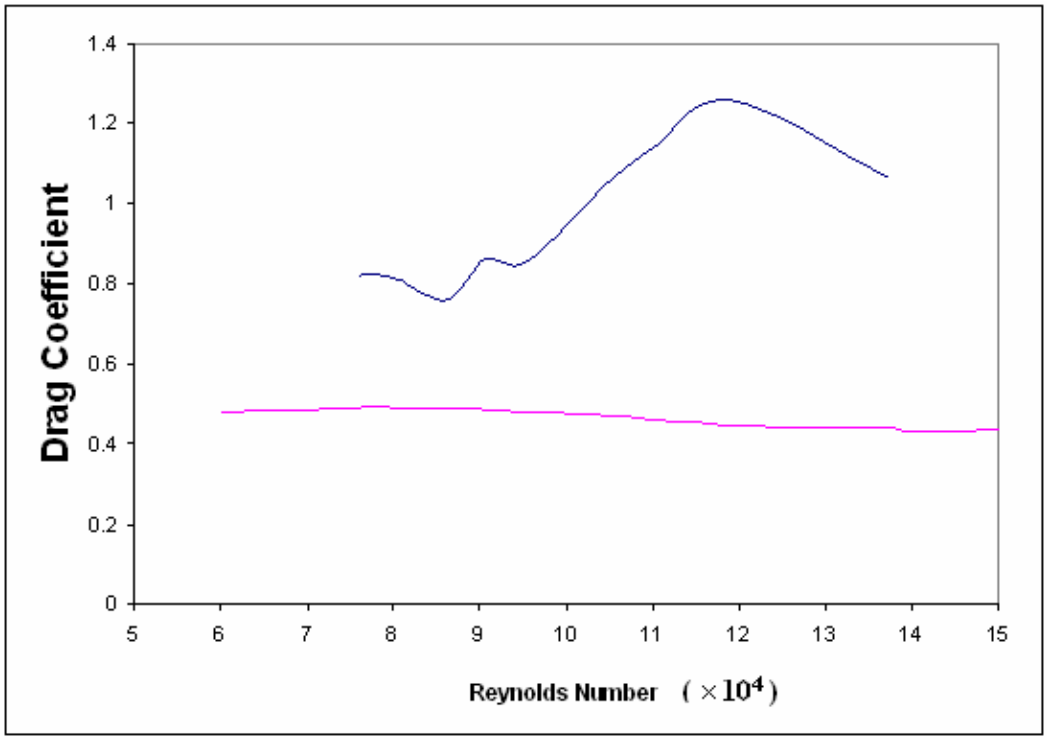
6.2 สรุปผลการทดสอบ Flow Visualization

การทดสอบดังกล่าวเป็นการทำให้เห็นถึงเส้นทางการไหลและสภาพการไหลในเบื้องต้น ดังรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าบริเวณส่วนด้านหลังของลูกบอลจะมีเส้นการไหลที่ไหลวน คล้ายกับเส้นการไหลที่ไหลดันลูกบอลกลับ ซึ่งแรงดังกล่าวนี้จะมีผลต่อการสั่นของลูกบอลในเวลาที่เราเพิ่มความเร็วรอบของชุดขับลม

เส้นการไหลที่ปรากฏเวลา ณ ที่เพิ่มความเร็วรอบของชุดขับ จะเห็นว่าเส้นการไหลภายในห้องทดสอบ(Test Section) จะเป็นเส้นที่ไม่ตรง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เมื่อความเร็วการไหลเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้เกิดการไหลที่ไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform Flow) และมีความไม่ราบเรียบ (Turbulent Flow) เพิ่มขึ้นไปด้วย

6.3 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบแบบจำลองเพื่อหาสมรรถนะการทำงานผลของอุโมงค์ลม

จากผลการทดลองและรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.12 สามารถนำเอาข้อมูลมาเพื่อหาความสัมพันธ์และเปรียบเทียบได้ดังนี้



รูปที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ในการเปรียบเทียบข้อมูลจากการทดลอง และข้อมูลเปรียบเทียบมาตรฐาน

การรูปที่ 6.1 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

1. ผลจากการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Drag Coefficient กับค่า Reynolds Number โดย ค่าจากการทดลองของทรงกลม ยังมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลเปรียบเทียบมาตรฐาน

2. ผลการทดลองจากรูปที่ 5.10 ทิศทางเส้นกราฟของแบบจำลองทรงสี่เหลียมมีแนวโน้วการเพิ่มขึ้นเหมือนกับแบบจำลองทรงกลม คือ มีค่า CD ของเพิ่มขึ้นตามค่า Re และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง Re = 11×10^4 ถึง 12×10^4

2. ค่าที่ได้จากการทดลอง เมื่อดูรูปที่ 5.11 ที่เป็นข้อมูลมาตรฐานแล้ว ทิศทางแนวโน้มของเส้นกราฟโดยพิจารณาในช่วง Reynolds Number = 10^5 ซึ่งจะมีค่า Drag Coefficient ที่ลดลงมากสุดจะมีแนวโน้มของเส้นกราฟที่มีทิศทางเดียวกัน ดังนั้นจึงถือได้ว่าผลการทดลองนี้สามารถใช้ได้เช่นกัน

สรุป

อุโมงค์ลมความเร็วต่ำที่สร้างขึ้น สามารถใช้ประโยชน์ในการทดลองแบบจำลองได้ตามวัตถุประสงค์ แต่ผลที่ได้อาจมีความคลาดเลื่อนอยู่บ้าง ซึ่งเราสามารถลดความคลาดเคลื่อนนี้ได้จากวิธีทางการทดลอง โดยเพิ่มความละเอียดในขบวนการและวิธีทางการทดลองให้ละเอียดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือวัดทางการทดลอง หรือความแม่นยำเองของผู้ทำการทดลอง ซึ่งส่วนที่กล่าวมานี้จะเป็นการเพิ่มผลการทดลองที่ได้ให้มีความแม่นยำมากขึ้นด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. ในการออกแบบอุโมงค์ลมความเร็วต่ำในส่วนของส่วนอากาศแพร่เข้า (Contraction) นิยมออกแบบโดยใช้อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของ Contraction ต่อ พื้นที่หน้าตัดของส่วนห้องทดสอบ (Test Section) ที่ 10-12 : 1

2. รูปร่างหรือลักษณะต่าง ๆ ของส่วนอากาศแพร่เข้า (Contraction) เช่น ส่วนโค้งเว้า ซึ่งในการคำนวณการออกแบบส่วนนี้เป็นเรื่องที่ไม่แน่นอน และเป็นเรื่องยากสำหรับการออกแบบ ดังนั้น จึงขอแนะนำให้ใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองส่วนนี้ โปรแกรมที่ใช้ได้ง่ายและดี เช่น CFD ถ้าหากมีการออกแบบส่วนนี้ได้ดีแล้ว ก็จะเป็นการช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ของอากาศที่ไหลเข้าสู่อุโมงค์ลม

3. ส่วนของห้องทดสอบเป็นส่วนที่เราต้องการความสม่ำเสมอของอากาศที่ไหลผ่านเข้ามาเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ดี ดังนั้นในการออกแบบควรออกแบบให้ส่วนนี้มีขนาดที่ยาวขึ้น ซึ่งจะช่วยลดความปั่นป่วนของลมก่อนที่จะไหลมาปะทะกับชิ้นงานทดสอบ

4. การลดความปั่นป่วนและเพิ่มความสม่ำเสมอของอากาศที่ไหลเข้าสู่ห้องทดสอบ (Test Section) อีกวิธีและได้ผลดีคือ การมีส่วนของรังผึ้งติดไว้ที่ปลายส่วนของ Contraction ก่อนที่จะเข้ามาสู่ส่วน Contraction และ ห้องทดสอบ (Test Section) ตามลำดับ

5. ส่วนของต้นกำลังขับใบพัดนั้น เราต้องมีการออกแบบใบพัด และการคำนวณหาความต้องการด้านกำลังให้ดี และควรมีชุดควบคุมส่วนของต้นกำลังด้วย เนื่องจากการทำงานของใบพัดในอุโมงค์ลมนั้น ตัวขับต้นกำลังเช่น มอเตอร์จะทำงานที่สภาวะโหลดที่สูงกว่าปกติ ดังนั้นควรมีการป้องกันที่ดีในส่วนของต้นกำลังนี้