

บทที่ 5

อุโมงค์ลม



อุโมงค์ลมเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งในการศึกษาวิชาอากาศพลศาสตร์ (aerodynamics) ในสมัยก่อนต้องศึกษาจากการปล่อยวัตถุให้ตกจากที่สูง ๆ ต่อมาปี พ.ศ.2446 เซอร์ โทมัส สแตนตัน (Sir Thomas Stanton) ได้เปลี่ยนจากการที่ให้วัตถุวิ่งผ่านอากาศมาเป็นให้อากาศวิ่งผ่านวัตถุ โดยการให้อากาศไหลผ่านท่อที่ใส่วัตถุที่ต้องการศึกษา เรียกเครื่องมือนี้ว่า "อุโมงค์ลม" (wind tunnel) ต่อมาก็ได้มีการปรับปรุงอุโมงค์ลมให้ดีขึ้น เพื่อความสะดวกและศึกษาได้กว้างขวางยิ่งขึ้น

5.1 ชนิดของอุโมงค์ลม (6)

อุโมงค์ลมที่สร้างกันมีอยู่ 2 ชนิด คือ

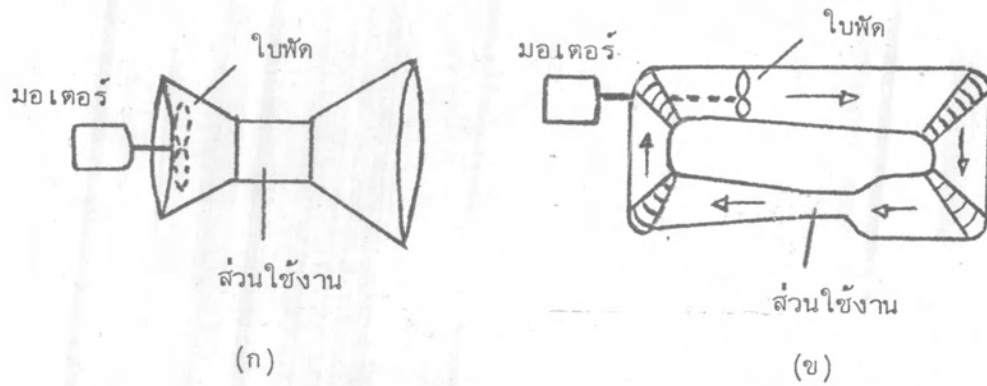
1. ชนิดใช้กับอากาศความดันปกติ (atmospheric pressure) อุโมงค์ลมชนิดนี้อากาศที่ผ่านท่อที่จะศึกษารวดมมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ ทำได้โดยใช้พัดลมดูดหรือเป่าอากาศผ่านท่อ

2. ชนิดใช้กับอากาศที่ถูกอัด (compressed air) อุโมงค์ลมชนิดนี้อากาศที่ผ่านท่อที่จะศึกษารวดมมีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ ทำได้โดยใช้หม้อหรือถังลมอัดอากาศให้มีความดันสูงแล้วปล่อยผ่านท่อ

นอกจากนี้อุโมงค์ลมทั้ง 2 ชนิดยังแบ่งออกเป็นอีก 2 แบบ คือ

ก. แบบเปิด (open circuit) แบบนี้อากาศไหลเข้าอุโมงค์ที่ปลายข้างหนึ่ง และไหลออกจากอุโมงค์ที่ปลายอีกข้างหนึ่ง

ข. แบบปิด (closed circuit) แบบนี้อากาศไหลวนเวียนอยู่ภายในอุโมงค์



รูปที่ 5.1 แสดงชนิดของจรวด (ก) แบบเปิด (ข) แบบปิด

จรวดโดยทั่วไปจะต้องสร้างให้อากาศที่ไหลผ่านท่อที่ต้องการศึกษาวัตถุมีความเร็วสม่ำเสมอ

5.2 ส่วนประกอบของจรวด

จรวดแบ่งออกเป็น 5 ส่วนที่สำคัญคือ

5.2.1 ส่วนกำลัง (power section)

ส่วนนี้ทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้แก่อากาศที่ไหลผ่านจรวด สำหรับจรวดชนิดที่ 1 ประกอบด้วยมอเตอร์และไบพัต และจรวดชนิดที่ 2 ประกอบด้วยหม้อลม ถ้าต้องการให้อากาศผ่านท่อมีความเร็วมาก มอเตอร์ต้องมีกำลังมามาก และไบพัตต้องมีมุมบิดสูง (pitch angle) หรืออากาศที่หม้อลมต้องมีความดันมาก โดยทั่วไปจรวดชนิดที่ 1 นิยมทำให้มอเตอร์และไบพัตจุดอากาศผ่านจรวด

5.2.2 ส่วนอากาศแพร่เข้า (effuser)

อากาศจะผ่านส่วนนี้เป็นส่วนแรกในการผ่านเข้าจรวด สำหรับจรวดชนิดที่ 1 แบบเปิดมักทำเป็นรูปปากแตร (trumpet shaped) แล้วค่อย ๆ เรียวเล็กลงไปเรื่อย ๆ เพื่อให้อากาศที่

เข้ามามีความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามหลักสมการของความต่อเนื่อง (2.20) และความชันของผิวด้านในจะต้องไม่มากกว่า 4 องศา เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปั่นป่วนของอากาศที่ผ่าน

5.2.3 ส่วนใช้งาน (working section)

ส่วนนี้อยู่ต่อจากส่วนอากาศแพร่เข้า และมีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอ เพื่อให้อากาศที่ผ่านส่วนนี้มีความเร็วเอกรูปสม่ำเสมอ โดยมากส่วนนี้มักทำด้วยวัสดุโปร่งใส เพื่อจะได้ดูลักษณะของอากาศที่ผ่านแบบจำลองที่ทดสอบเวลาใส่ควันเข้าไป

5.2.4 ส่วนอากาศแพร่ออก (diffuser)

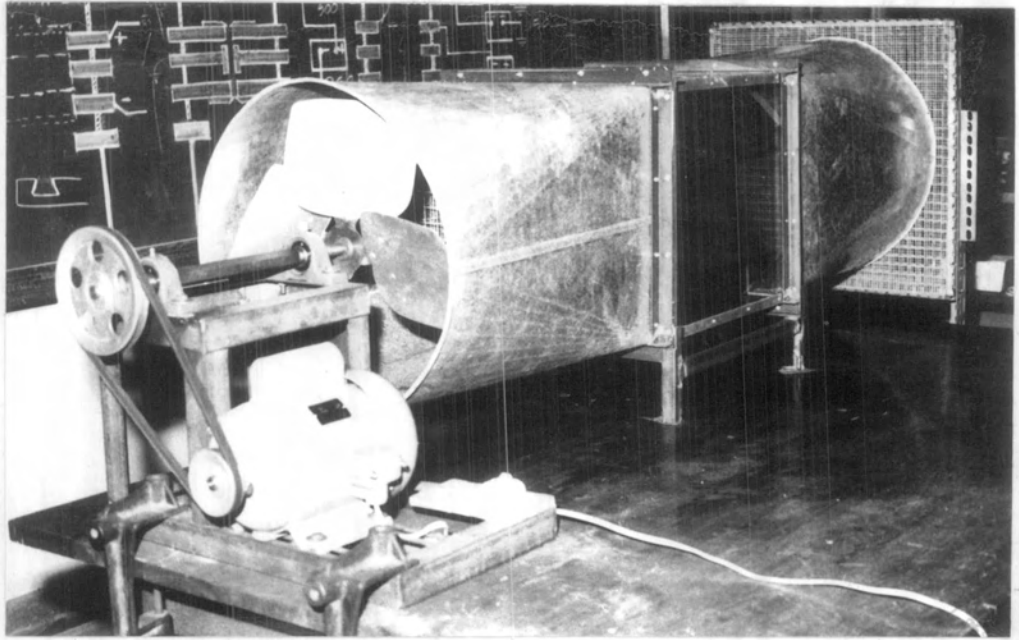
ส่วนนี้ทำเป็นรูปปากแตรเช่นกัน โดยให้ด้านปากกว้างเป็นด้านที่อากาศออก อีกด้านหนึ่งต่อกับส่วนใช้งาน ความชันของผิวด้านในจะต้องไม่มากกว่า 4 องศา เพื่อให้อากาศแพร่ออกจากอุโมงค์ไปโดยไม่เกิดการปั่นป่วน และมีการตกค้างในส่วนนี้

5.2.5 รางผึ้ง (honey comb)

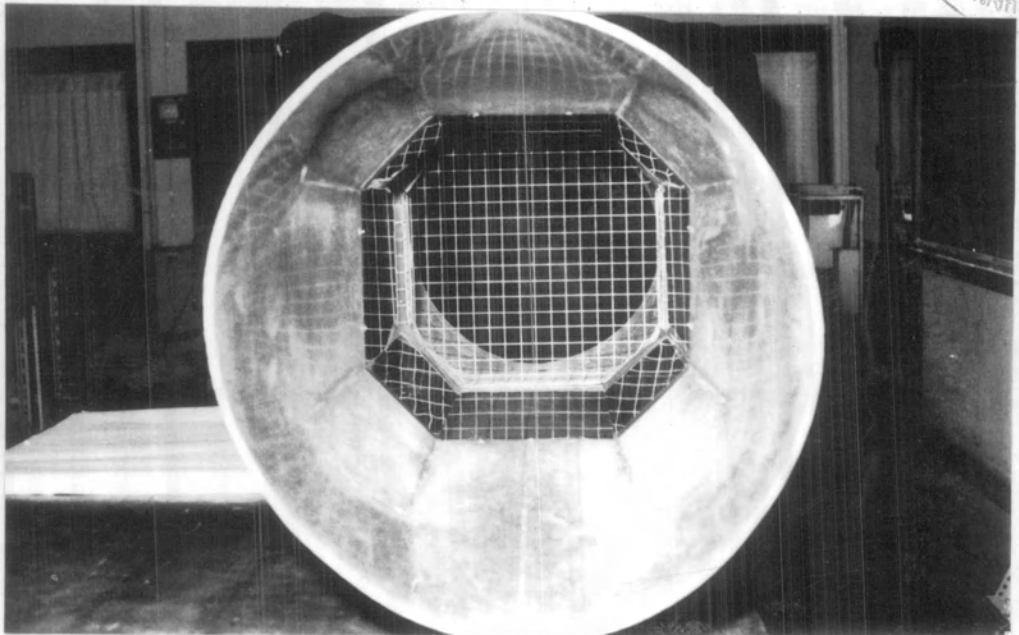
ส่วนนี้ทำเป็นตารางช่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ๆ ที่มีความหนา ส่วนนี้จะวางไว้ด้านหน้าของส่วนอากาศแพร่เข้าอุโมงค์ เพื่อให้ทำให้อากาศผ่านเข้าอุโมงค์เป็นลำเส้นกระแส และยังช่วยลดความปั่นป่วนของอากาศก่อนที่จะผ่านเข้าอุโมงค์เนื่องจากการกระโชกของอากาศภายนอก

5.3 การสร้างอุโมงค์ลมชนิดใช้กับอากาศความดันปกติแบบเปิด

อุโมงค์ลมชนิดใช้กับอากาศความดันปกติแบบเปิด เป็นอุโมงค์ลมที่สร้างง่ายและราคาไม่แพง



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.2 ภาพถ่ายโมเดลชนิดใช้กับอากาศความดันปกติแบบเปิดที่สร้างขึ้น

(ก) ด้านข้าง (ข) ด้านหน้า

5.3.1 ส่วนกำลัง

ประกอบด้วยมอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ H.P. 220 V. 2850 rev/min. ใบพัดชนิด 4 ใบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 cm. และใช้รอกสายพาน (mule-pulley) 4 ตัว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5, 12.5, 15.0 และ 20.0 cm. เพื่อเปลี่ยนความเร็วหรืออัตราเร็วเชิงมุมของใบพัด โดยใช้ขนาด 7.5 cm ติดกับแกนมอเตอร์ ส่วนแกนใบพัดใช้ขนาด 12.5, 15.0 และ 20.0 cm.

เนื่องจากว่า อัตราเร็วเชิงเส้น (linear speed) ของรอกสายพานที่ติดกับแกนมอเตอร์ และแกนใบพัดมีค่าเท่ากัน ดังนั้นสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมของแกนมอเตอร์และแกนพัดลมได้ดังนี้

ให้ ω เป็นอัตราเร็วเชิงมุมของแกนมอเตอร์

ω' เป็นอัตราเร็วเชิงมุมของแกนใบพัด

D เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของรอกสายพานที่ติดกับแกนมอเตอร์

D' เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของรอกสายพานที่ติดกับแกนใบพัด

อัตราเร็วเชิงเส้นของรอกสายพานที่ติดกับแกนมอเตอร์เป็น $\omega D/2$

และ อัตราเร็วเชิงเส้นของรอกสายพานที่ติดกับแกนใบพัดเป็น $\omega' D'/2$

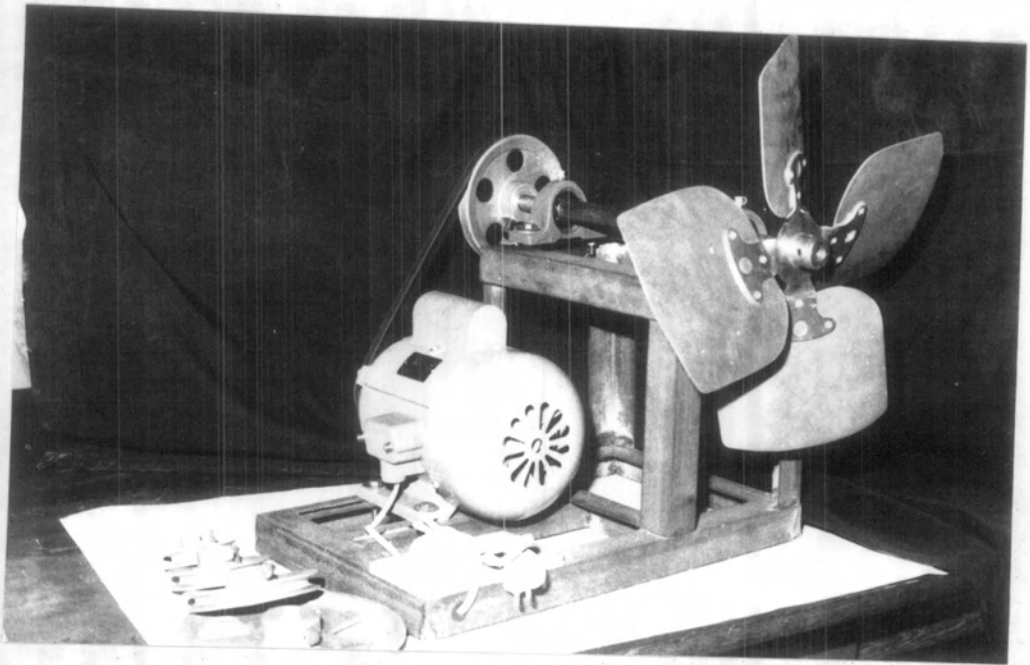
$$\frac{\omega' D'}{2} = \frac{\omega D}{2}$$

$$\omega' = \frac{D}{D'} \omega \quad (5.1)$$

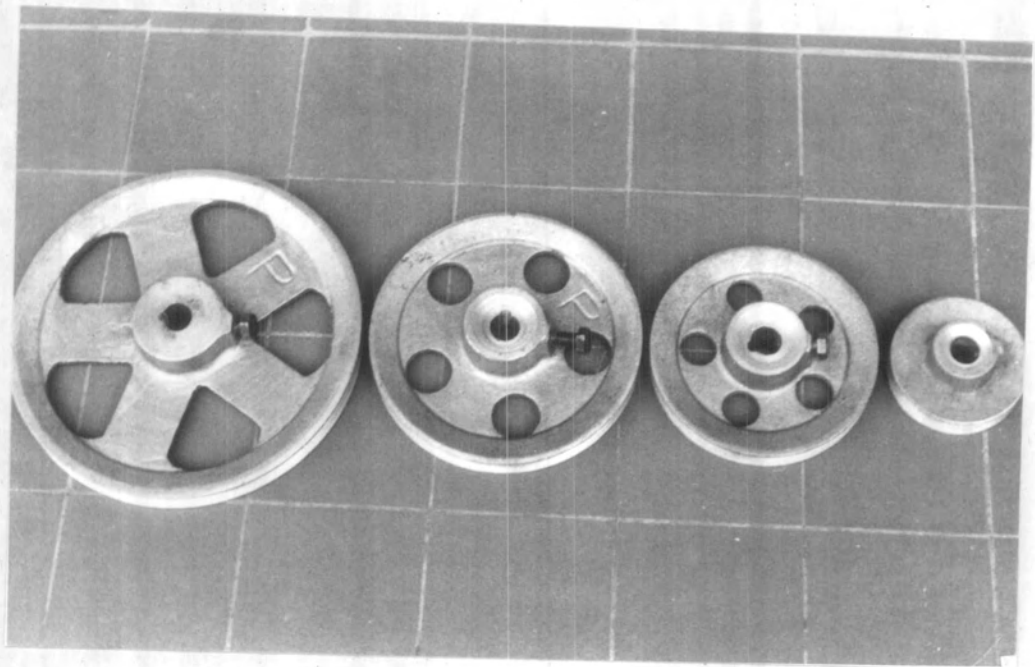
เมื่อใช้ $D = 7.5$ cm $\omega = 2850$ rev/min. $D' = 12.5, 15.0$ และ 20.0 cm. จะได้ ω' ดังนี้

D' (cm)	12.5	15.0	20.0
ω' (rev/min)	1710	1425	1060

ส่วนกำลังนี้วางไว้ด้านอากาศออกของส่วนอากาศเพร่อก เพื่อทำหน้าที่ดูดอากาศผ่านอุโมงค์



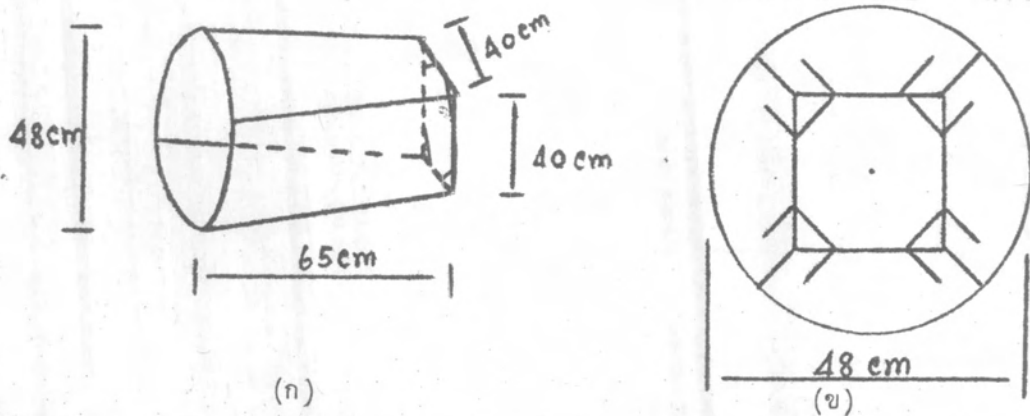
รูปที่ 5.3 ภาพถ่ายส่วนกำลัง



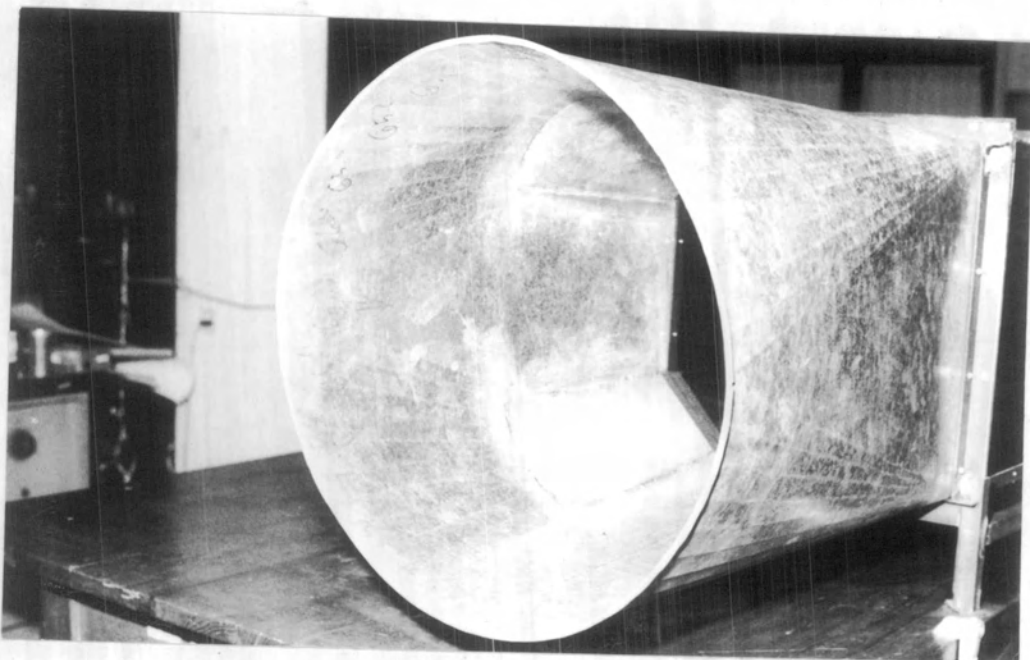
รูปที่ 5.4 ภาพถ่ายรอกสายพานที่ใช้กับส่วนกำลัง

5.3.2 ส่วนอากาศแพร่เข้า

ส่วนนี้ทำด้วยสังกะสีแผ่นเรียบหนา 0.005 cm พับเป็นรูปปากแตร ด้านหน้าพับเป็นรูปวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 48.0 cm แล้วค่อย ๆ ให้เรียวเล็กลง โดยพับเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $40.0 \times 40.0 \text{ cm}^2$ ที่ปลายอีกข้างหนึ่ง และที่มุมทั้ง 4 ภายในจะปิดด้วยสังกะสีแผ่นเรียบ ทำให้พื้นที่หน้าตัดเป็นรูปแปดเหลี่ยม ความชันผิวใน 3.5 องศา ส่วนนี้ยาว 65.0 cm



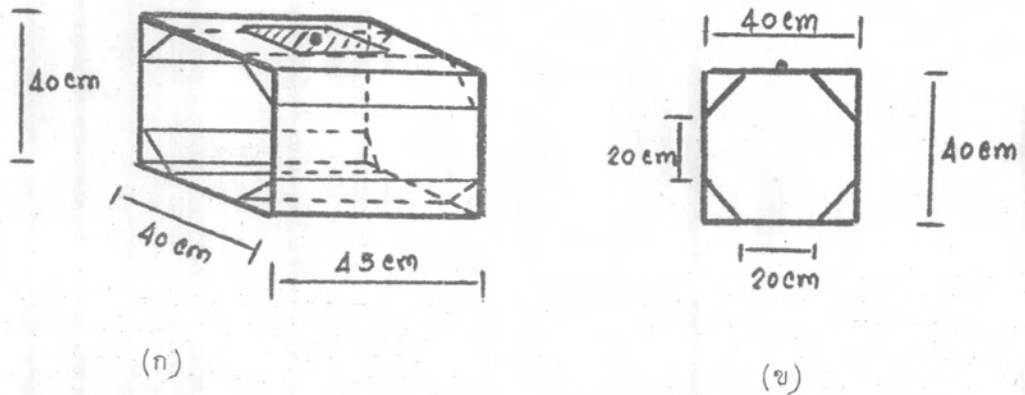
รูปที่ 5.5 แสดงขนาดของส่วนอากาศแพร่เข้า (ก) ด้านข้าง (ข) ด้านหน้า



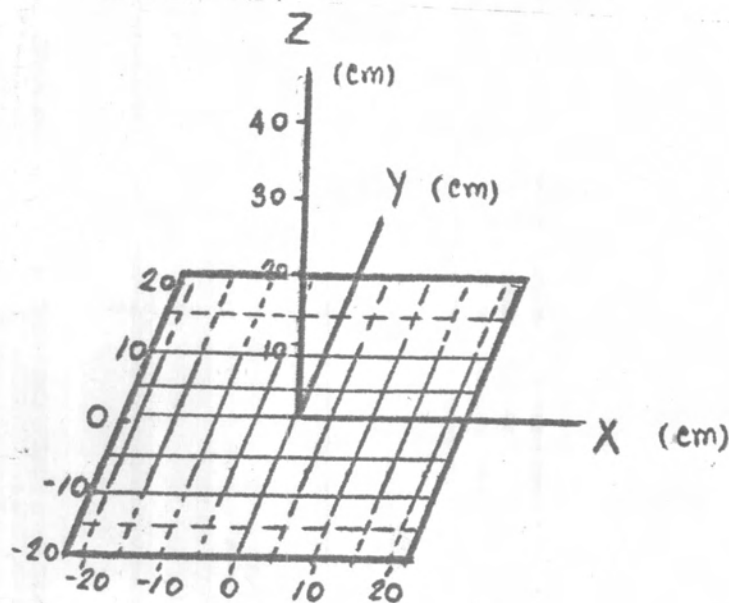
รูปที่ 5.6 ภาพถ่ายส่วนอากาศแพร่เข้า

5.3.3 ส่วนใช้งาน

ส่วนนี้ทำด้วยแผ่นพีวีซีใสหนา 0.5 cm ประกอบเป็นกล่องสี่เหลี่ยมขนาด $40.0 \times 40.0 \times 45.0 \text{ cm}^3$ ด้านบนทำเป็นฝาปิด-เปิดได้สำหรับใส่แบบจำลองและอุปกรณ์ ด้านล่างตีเป็นตารางสากขนาดช่องละ $5.0 \times 5.0 \text{ cm}^2$ ดังรูปที่ 5.8 ภายในกล่องจะทำเป็นรูปแปดเหลี่ยม โดยการเอาแผ่นพีวีซีใสหนา 0.2 cm ขนาด $14.0 \times 45.0 \text{ cm}^2$ ปิดที่มุมทั้ง 4 ภายในกล่อง เพื่อลดพื้นที่หน้าตัดลงอันจะเป็นผลให้อากาศที่ผ่านส่วนนี้มีความเร็วเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.7 แสดงขนาดของส่วนใช้งาน (ก) ด้านข้าง (ข) ด้านหน้า



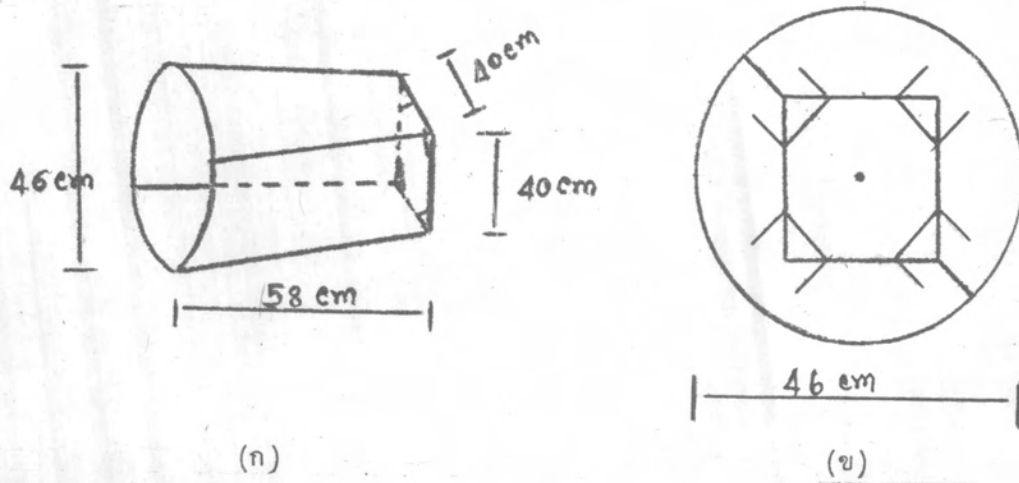
รูปที่ 5.8 แสดงโคออร์ดิเนต (coordinate) ในส่วนใช้งาน



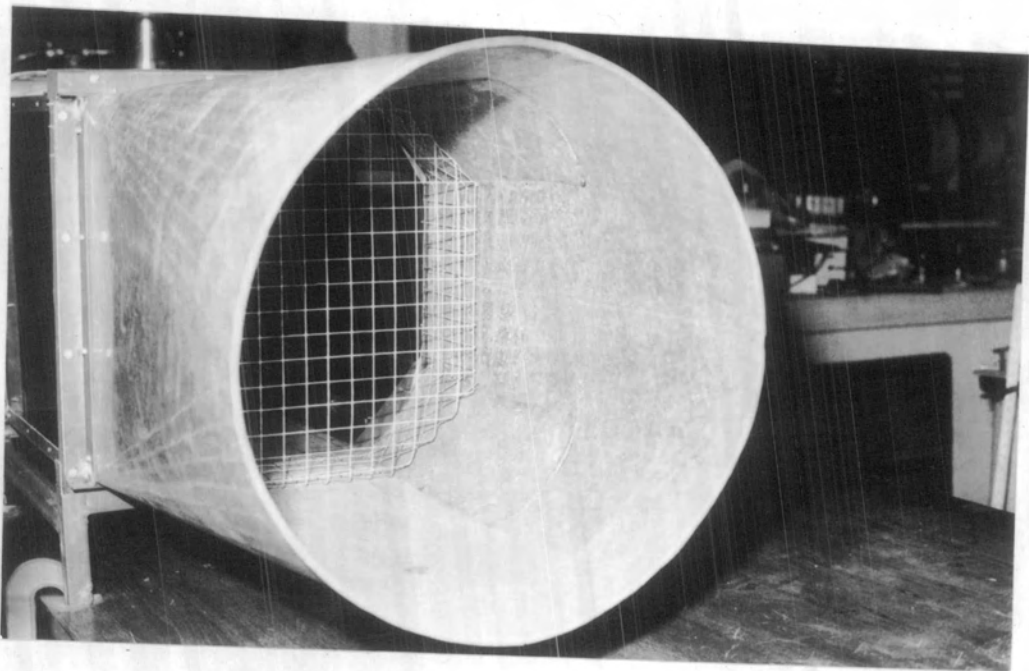
รูปที่ 5.9 ภาพถ่ายส่วนใช้งาน

5.3.4 ส่วนอากาศแพร์ออก

ส่วนนี้ทำด้วยสังกะสีแผ่นเรียบหนา 0.005 cm พับเป็นรูปปากแตร ด้านที่ต่อกับส่วนใช้งาน พับเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $40.0 \times 40.0 \text{ cm}^2$ และที่มุมทั้ง 4 ภายในปิดด้วยสังกะสีแผ่นเรียบ ทำให้พื้นที่หน้าตัดเป็นรูปแปดเหลี่ยม เพื่อที่จะได้ต่อกับส่วนใช้งานได้สนิท และที่ตรงรอยต่อนี้มีลวดตาข่ายปิดเอาไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งของผ่านไปถูกกับใบพัด ซึ่งอยู่ที่ปลายอีกข้างหนึ่ง จากด้านสี่เหลี่ยมจัตุรัสพับให้กว้างออกไปจนปลายอีกข้างหนึ่งเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 46.0 cm ความชันที่ผิวใน 35 องศา ส่วนนี้ยาว 58.0 cm



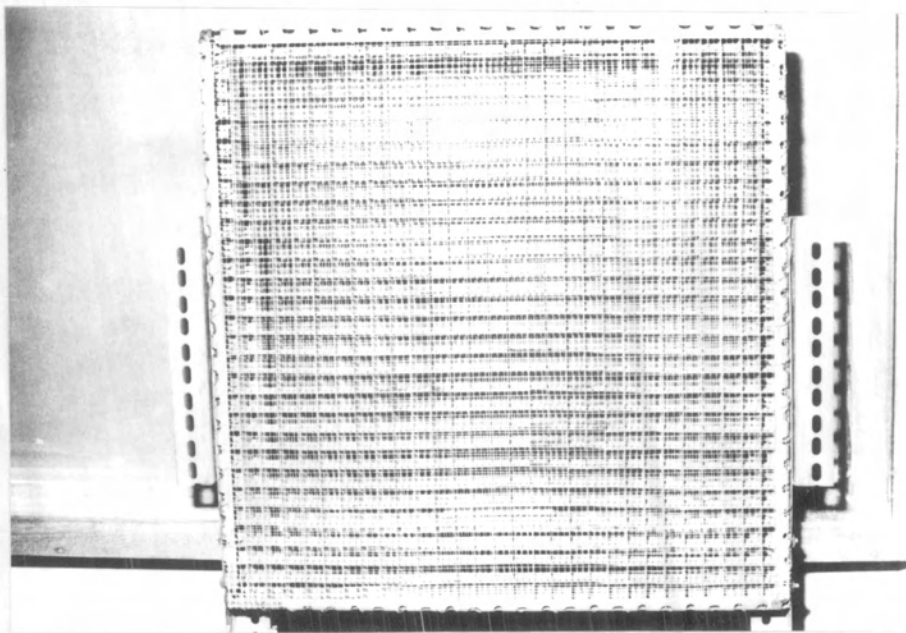
รูปที่ 5.10 แสดงขนาดของส่วนอากาศแพร์ออก (ก) ด้านข้าง (ข) ด้านหน้า



รูปที่ 5.11 ภาพถ่ายส่วนอากาศแพร์ออก

5.3.5 รังผึ้ง

ส่วนนี้ทำด้วยสังกะสีแผ่นเรียบหนา 0.005 cm ตัดเป็นแผ่นเรียบขนาด 4.0×59.0 cm^2 จำนวน 60 แผ่น แล้วนำมาสานกันเป็นรังผึ้ง ขนาดของช่องเล็ก ๆ แต่ละช่องเป็น 2.0×2.0 cm^2 บรรจุในกรอบเหล็กขนาด 60.0×60.0 cm^2 ด้านหน้าและหลังของรังผึ้ง ปิด ด้วยลวดตาข่ายตารางเล็ก ๆ ขนาด 0.5×0.5 cm^2 เพื่อช่วยให้อากาศผ่านเข้าอุโมงค์เป็น ลำเส้นกระแสขึ้น



รูปที่ 5.12 ภาพถ่ายรังผึ้ง

5.4 การหาบริเวณที่มีความเร็วลมรอบรูปสมำเสมอ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราเร็วลมในส่วนใช้งานของอุโมงค์ลมคือท่อปีตอต-สแตติก โดยการวัดผลต่างของความดัน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในแต่ละเส้นกระแส ผลต่างของความดันอ่านได้จากแมโนมิเตอร์แบบเอียง แล้วนำมาแทนค่าในสมการของเบอร์นูลลี (2.43) ก็สามารถหาความเร็วของอากาศได้ โดยความหนาแน่นของอากาศหาได้จาก (2.6) คือ

$$\rho_t = \frac{4.6 P}{(273+t)}$$

จาก (4.14) $v = \left[151.3 \times \frac{\Delta l}{\rho_t} \tan \theta \right]^{1/2}$

เมื่อใช้ $\tan \theta = \frac{2}{45}$ จะได้

$$v = \left[6.73 \times \frac{\Delta l}{\rho_t} \right]^{1/2} \tag{5.2}$$

v ที่ได้เป็นค่าของความเร็วของอากาศ ณ ตำแหน่ง (x,y,z)เมื่อท่อปอดต-สแตติก อยู่ที่ตำแหน่ง (x,y,z) ในตอนแรกจะหาค่าของความเร็ว ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในเส้นกระแสโดยให้ z คงที่ แล้วนำค่าของความเร็วที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นค่าความเร็วเฉลี่ย (\bar{v}) ของเส้นกระแส (x,y) ในระนาบ X Y

5.4.1 เมื่ออัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดเป็น 1710 rev/min โดยใช้ D = 7.5 cm D' = 12.5cm ขณะทดลอง t = 31°C , P = 75.967 cm of Hg., $\rho_{31} = 1.16 \text{ kg/m}^3$, l_o = 17.7 cm , $\tan \theta = \frac{2}{45}$

จากการใช้ท่อปอดต-สแตติก วัดความดัน ณ จุดต่าง ๆ ของแต่ละเส้นกระแสในส่วนใช้งาน ได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.1 และเมื่อนำมาหาอัตราเร็วลมโดยใช้ (5.2) จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.2

l_o เป็นความยาวของลำน้ำมันก๊าดในท่อเอียงของแมนอมิเตอร์ขณะยังไม่ได้วัดความดัน

ตารางที่ 5.1.2

Z = 5 cm		Δl (cm)						
x(cm) \ y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15
		15	6.8	6.7	6.6	6.6	6.7	6.6
10	9.6	9.7	9.7	9.9	9.7	9.8	9.6	
5	10.0	10.1	10.0	10.1	10.0	10.1	9.9	
0	10.3	10.2	10.2	10.3	10.2	10.2	10.2	
-5	10.0	9.9	9.9	9.9	10.1	10.0	9.8	
-10	9.6	9.6	9.7	9.8	9.8	9.7	9.6	
-15	6.5	6.6	6.6	6.6	6.5	6.4	6.5	

ตารางที่ 5.2.2

Z = 5 cm		v(m/s)							\bar{v} (m/s)
x(cm) \ y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15	
		15	6.3	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
10	7.5	7.5	7.5	7.6	7.5	7.5	7.5	7.5	
5	7.6	7.7	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	
0	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	
-5	7.6	7.6	7.6	7.7	7.6	7.6	7.5	7.6	
-10	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	
-15	6.1	6.2	6.2	6.2	6.1	6.1	6.1	6.1	

ตารางที่ 5.1.6

Z = 25 cm		Δl (cm)						
x(cm) \ y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15
		20	6.7	6.8	7.0	6.9	6.9	6.7
15	10.3	10.4	10.5	10.5	10.6	10.4	10.5	
10	11.0	11.2	11.2	11.2	11.2	11.1	11.0	
5	11.2	11.3	11.3	11.4	11.3	11.3	11.3	
0	11.3	11.3	11.4	11.5	11.5	11.4	11.3	
-5	11.2	11.3	11.2	11.3	11.3	11.3	11.2	
-10	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.1	11.1	
-15	10.4	10.4	10.6	10.6	10.6	10.6	10.4	
-20	6.8	6.8	7.0	6.9	6.9	6.8	6.8	

ตารางที่ 5.2.6

Z = 25 cm		v(m/s)							v (m/s)
x(cm) \ y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15	
		20	6.2	6.3	6.4	6.3	6.3	6.2	6.3
15	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	
10	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.0	8.0	8.1	
5	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	
0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	
-5	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	
-10	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.0	8.0	8.1	
-15	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	
-20	6.3	6.3	6.4	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	

ตารางที่ 5.1.7

Z = 30 cm		Δl (cm)						
x(cm) \ y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15
20		6.6	6.6	6.8	6.8	6.8	6.7	6.6
15		8.6	8.5	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
10		10.6	10.6	10.7	10.7	10.7	10.6	10.7
5		10.8	10.9	11.0	11.0	10.9	10.8	10.8
0		11.2	11.1	11.1	11.2	11.1	11.2	11.2
-5		10.7	10.7	10.7	10.8	10.7	10.7	10.6
-10		10.5	10.4	10.6	10.5	10.5	10.4	10.4
-15		8.4	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
-20		6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.8	6.7

ตารางที่ 5.2.7

Z = 30 cm		v(m/s)						v (m/s)	
x(cm) \ y(cm)		15	10	5	0	-5	-10		-15
20		6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.2	6.2	6.2
15		7.1	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
10		7.8	7.8	7.9	7.9	7.9	7.8	7.9	7.9
5		7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	7.9	7.9	8.0
0		8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
-5		7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.8	7.9
-10		7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
-15		7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
-20		6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.3	6.2	6.2

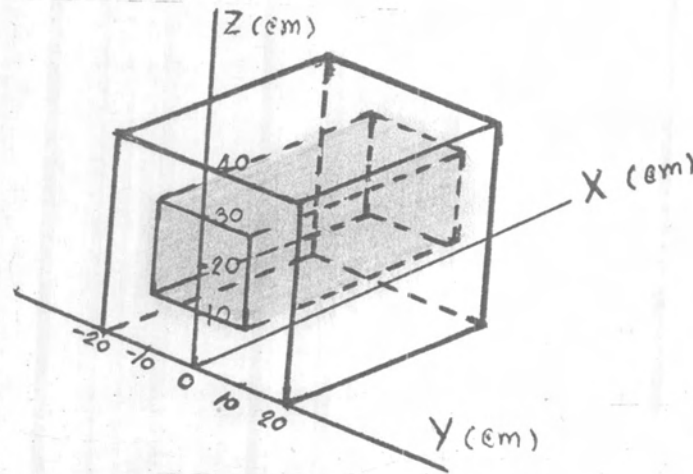
ตารางที่ 5.1.8

Z = 35 cm		Δl (cm)						
x(cm) y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15
15		6.5	6.6	6.6	6.5	6.6	6.6	6.5
10		9.7	9.7	9.8	9.8	9.8	9.7	9.7
5		10.0	9.9	10.0	10.1	10.0	10.0	9.9
0		10.1	10.2	10.3	10.3	10.2	10.1	10.1
-5		9.8	9.9	10.0	10.0	9.9	10.0	9.8
-10		9.6	9.7	9.7	9.8	9.7	9.7	9.7
-15		6.4	6.6	6.6	6.6	6.5	6.5	6.5

ตารางที่ 5.2.8

Z = 35 cm		v(m/s)						\bar{v} (m/s)	
x(cm) y(cm)		15	10	5	0	-5	-10		-15
15		6.1	6.2	6.2	6.1	6.2	6.2	6.1	6.2
10		7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
5		7.6	7.6	7.6	7.7	7.6	7.6	7.6	7.6
0		7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
-5		7.5	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.5	7.6
-10		7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
-15		6.1	6.2	6.2	6.2	6.1	6.1	6.1	6.1

จากตารางความเร็วพบว่าบริเวณที่ลมมีความเร็วไม่ต่างกันมากนักพอที่จะใช้ทดสอบหรือศึกษาแบบจำลองได้อยู่ในบริเวณกลาง ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 แสดงบริเวณที่มีความเร็วลมสม่ำเสมอใน ส่วนใช้งาน

จากรูปที่ 5.13 บริเวณที่แรงเงาเป็นบริเวณที่มีความเร็วค่อนข้างสม่ำเสมอ คืออยู่ในช่วง 7.8 - 8.1 m/s ดังนั้นความเร็วเฉลี่ยบริเวณนี้ประมาณ 8.0 m/s

5.4.2 เมื่ออัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดเป็น 1425 rev/min โดยใช้ $D = 7.5\text{ cm}$, $D' = 15.0\text{ cm}$ ขณะทดลอง $t = 30^{\circ}\text{C}$, $P = 75.749\text{ cm of Hg.}$, $\rho_{30} = 1.16\text{ kg/m}^3$, $l_o = 17.7\text{ cm}$, $\tan\theta = \frac{2}{45}$

จากการใช้ท่อปิดตอ-สแตติกวัดความดัน ณ จุดต่าง ๆ ของแต่ละเส้นกระแสใน ส่วนใช้งาน จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.3 และเมื่อนำมาหาอัตราเร็วลมโดยใช้ (5.2) จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.3.1

$Z = 2 \text{ cm}$		$\Delta l \text{ (cm)}$						
$x(\text{cm})$		15	10	5	0	-5	-10	-15
$y(\text{cm})$								
10		6.2	6.2	6.3	6.3	6.2	6.3	6.2
5		7.0	7.1	7.0	7.0	6.9	7.0	6.9
0		7.0	7.0	7.1	6.9	7.0	7.0	7.0
-5		6.9	6.9	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
-10		6.1	6.2	6.1	6.3	6.2	6.2	6.2

ตารางที่ 5.4.1

$Z = 2 \text{ cm}$		$V(\text{m/s})$						\bar{v} (m/s)	
$x(\text{cm})$		15	10	5	0	-5	-10		-15
$y(\text{cm})$									
10		6.0	6.0	6.1	6.1	6.0	6.1	6.0	6.0
5		6.4	6.4	6.4	6.4	6.3	6.4	6.3	6.4
0		6.4	6.4	6.4	6.3	6.4	6.4	6.4	6.4
-5		6.3	6.3	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
-10		6.0	6.0	6.0	6.1	6.0	6.0	6.0	6.0

ตารางที่ 5.3.2

Z = 5 cm		Δl (cm)							
x(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15	
y(cm)									
15		5.3	5.1	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
10		7.1	7.1	7.3	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
5		7.9	7.9	8.0	8.1	8.0	8.0	8.0	8.0
0		8.1	8.2	8.2	8.3	8.2	8.3	8.2	8.2
-5		7.9	7.8	7.9	8.0	7.9	7.8	7.8	7.8
-10		7.2	7.1	7.1	7.2	7.1	7.0	7.2	7.2
-15		5.1	5.2	5.2	5.1	5.2	5.1	5.2	5.2

ตารางที่ 5.4.2

Z = 5 cm		v (m/s)						\bar{v} (m/s)	
x(cm)		15	10	5	0	-5	-10		-15
y(cm)									
15		5.5	5.4	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
10		6.4	6.4	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
5		6.8	6.8	6.8	6.9	6.8	6.8	6.8	6.8
0		6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
-5		6.8	6.7	6.8	6.8	6.8	6.7	6.7	6.8
-10		6.5	6.4	6.4	6.5	6.4	6.4	6.5	6.4
-15		5.4	5.5	5.5	5.4	5.5	5.4	5.5	5.5

ตารางที่ 5.3.3

Z = 10 cm		Δl (cm)						
x(cm) y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15
20		4.7	4.7	4.9	4.7	4.8	4.7	4.7
15		6.7	6.9	6.8	6.9	6.9	6.8	6.8
10		8.3	8.2	8.3	8.3	8.2	8.3	8.3
5		8.5	8.4	8.5	8.5	8.4	8.4	8.4
0		8.7	8.7	8.8	8.8	8.8	8.8	8.7
-5		8.4	8.4	8.5	8.5	8.4	8.3	8.4
-10		8.3	8.4	8.2	8.2	8.1	8.2	8.1
-15		6.8	6.8	6.7	6.9	6.8	6.8	6.7
-20		4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.7	4.6

ตารางที่ 5.4.3

Z = 10 cm		v (m/s)						\bar{v}	
x(cm) y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15	(m/s)
20		5.2	5.2	5.3	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2
15		6.2	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3
10		6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
5		7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
0		7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
-5		7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
-10		6.9	7.0	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
-15		6.3	6.3	6.2	6.3	6.3	6.3	6.2	6.3
-20		5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.2	5.2	5.2

ตารางที่ 5.3.4

Z = 15 cm		Δl (cm)						
x(cm) y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15
20		5.1	5.0	5.0	5.1	5.0	5.0	5.0
15		8.4	8.5	8.5	8.4	8.4	8.3	8.4
10		8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7
5		8.7	8.8	8.7	8.8	8.7	8.8	8.7
0		8.7	8.8	8.8	8.7	8.7	8.8	8.7
-5		8.8	8.7	8.8	8.7	8.6	8.7	8.7
-10		8.6	8.6	8.7	8.7	8.6	8.7	8.6
-15		8.3	8.3	8.4	8.4	8.4	8.3	8.4
-20		5.0	4.9	5.0	5.1	5.0	5.1	5.0

ตารางที่ 5.4.4

Z = 15 cm		v (m/s)						\bar{v} (m/s)	
x(cm) y(cm)		15	10	5	0	-5	-10		-15
20		5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
15		7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	6.9	7.0	7.0
10		7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
5		7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
0		7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
-5		7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
-10		7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
-15		6.9	6.9	7.0	7.0	7.0	6.9	7.0	7.0
-20		5.4	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4

ตารางที่ 5.3.7

Z = 30 cm		Δl (cm)						
x(cm) y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15
20		4.7	4.6	4.7	4.8	4.7	4.7	4.6
15		6.8	6.8	6.8	6.8	6.9	6.8	6.8
10		8.2	8.2	8.3	8.4	8.4	8.2	8.2
5		8.5	8.4	8.5	8.6	8.4	8.6	8.4
0		8.7	8.7	8.7	8.8	8.7	8.7	8.6
-5		8.4	8.5	8.5	8.5	8.6	8.5	8.5
-10		8.1	8.3	8.2	8.3	8.3	8.3	8.2
-15		6.7	6.8	6.8	6.8	6.7	6.7	6.7
-20		4.6	4.7	4.8	4.8	4.8	4.7	4.7

ตารางที่ 5.4.7

Z = 30 cm		v (m/s)						\bar{v}	
x(cm) y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15	(m/s)
20		5.2	5.2	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2
15		6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3
10		6.9	6.9	6.9	7.0	7.0	6.9	6.9	6.9
5		7.0	6.9	7.0	7.1	6.9	7.1	6.9	7.0
0		7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
-5		6.9	7.0	7.0	7.0	7.1	7.0	7.0	7.0
-10		6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
-15		6.2	6.3	6.3	6.3	6.2	6.2	6.2	6.2
-20		5.2	5.2	5.3	5.3	5.3	5.2	5.2	5.2

จากตารางความเร็วพบว่าบริเวณที่ลมมีความเร็วไม่ต่างกันมากนัก พอที่จะใช้ทดสอบและศึกษาแบบจำลองได้อยู่ในบริเวณกลาง ๆ ดังรูปที่ 5.13 เช่นกัน ความเร็วลมในบริเวณนี้อยู่ในช่วง 6.9 - 7.3 m/s ดังนั้นความเร็วเฉลี่ยบริเวณนี้ประมาณ 7.1 m/s

5.4.3 เมื่ออัตราเร็วเชิงมุมของใบพัดเป็น 1069 rev./min. โดยใช้

$$D = 7.5 \text{ m/s} , \quad D' = 20.0 \text{ cm} \quad \text{ขณะทดลอง } t = 29^{\circ}\text{C} ,$$

$$P = 75.749 \text{ cm of Hg.}, \quad \rho_{29} = 1.16 \text{ kg/m}^3 , \quad l_0 = 17.6 \text{ cm} ,$$

$$\tan \theta = \frac{2}{45}$$

จากการใช้ท่อปิดต-สแตติกวัดความดัน ณ จุดต่าง ๆ ของแต่ละเส้นกระแสในส่วนใช้งาน จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.5 และเมื่อนำมาหาอัตราเร็วโดยใช้ (5.2) จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.5.1

Z = 2 cm		$\Delta 1$ (cm)						
x(cm) y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15
10		3.6	3.5	3.5	3.5	3.6	3.5	3.5
5		4.1	4.2	4.1	4.1	4.1	4.0	4.1
0		4.3	4.2	4.3	4.3	4.2	4.3	4.2
-5		4.0	4.1	4.1	4.2	4.1	4.0	4.1
-10		3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4

ตารางที่ 5.6.1

Z = 2 cm		v (m/s)						\bar{v} (m/s)	
x(cm) y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15	
10		4.6	4.5	4.5	4.5	4.6	4.5	4.5	4.5
5		4.8	4.9	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
0		5.0	4.9	5.0	5.0	4.9	5.0	4.9	5.0
-5		4.8	4.8	4.8	4.9	4.8	4.8	4.8	4.8
-10		4.5	4.4	4.5	4.5	4.5	4.4	4.4	4.5

ตารางที่ 5.5.2

$Z = 5 \text{ cm}$		$\Delta l \text{ (cm)}$						
$x(\text{cm})$ $y(\text{cm})$	15	10	5	0	-5	-10	-15	
15	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2
10	4.0	4.1	4.1	4.0	4.1	4.0	4.1	4.1
5	4.7	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
0	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.7
-5	4.6	4.8	4.7	4.7	4.6	4.7	4.6	4.6
-10	4.2	4.1	4.1	4.0	4.1	4.0	4.1	4.1
-15	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.2	3.2	3.2

ตารางที่ 5.6.2

$Z = 5 \text{ cm}$		$v \text{ (m/s)}$						\bar{v}
$x(\text{cm})$ $y(\text{cm})$	15	10	5	0	-5	-10	-15	(m/s)
15	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	4.4
10	4.8	4.9	4.9	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9
5	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
0	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.2	5.3
-5	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
-10	4.9	4.9	4.9	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9
-15	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.3	4.3	4.3

ตารางที่ 5.5.4

Z = 15 cm		Δl (cm)						
x(cm) y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15
20		3.6	3.7	3.8	3.7	3.6	3.7	3.6
15		4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.6	4.6
10		5.3	5.4	5.3	5.4	5.4	5.3	5.3
5		5.3	5.4	5.3	5.4	5.3	5.3	5.3
0		5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
-5		5.3	5.3	5.2	5.4	5.3	5.4	5.3
-10		5.3	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3	5.2
-15		4.7	4.7	4.8	4.7	4.7	4.6	4.7
-20		3.8	3.6	3.7	3.8	3.6	3.7	3.6

ตารางที่ 5.6.4

Z = 15 cm		v (m/s)						\bar{v}	
x(cm) y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15	(m/s)
20		4.6	4.6	4.7	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
15		5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
10		5.5	5.6	5.5	5.6	5.6	5.5	5.5	5.5
5		5.5	5.6	5.5	5.6	5.5	5.5	5.5	5.5
0		5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
-5		5.5	5.5	5.5	5.6	5.5	5.6	5.5	5.5
-10		5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
-15		5.2	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
-20		4.7	4.6	4.6	4.7	4.6	4.6	4.6	4.6

ตารางที่ 5.5.5

Z = 20 cm		Δl (cm)						
x(cm) y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15
20		3.7	3.5	3.4	3.6	3.4	3.5	3.5
15		4.8	4.8	4.8	4.9	4.8	4.8	4.8
10		5.3	5.3	5.3	5.4	5.3	5.4	5.3
5		5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
0		5.5	5.4	5.4	5.5	5.4	5.5	5.4
-5		5.3	5.4	5.4	5.4	5.3	5.3	5.4
-10		5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
-15		4.8	4.8	4.9	4.9	4.8	4.8	4.8
-20		3.6	3.5	3.6	3.7	3.6	3.4	3.5

ตารางที่ 5.6.5

Z = 20 cm		v (m/s)						\bar{v}	
x(cm) y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15	(m/s)
20		4.6	4.5	4.4	4.6	4.4	4.5	4.5	4.5
15		5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
10		5.5	5.5	5.5	5.6	5.5	5.6	5.5	5.5
5		5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
0		5.7	5.6	5.6	5.7	5.6	5.7	5.6	5.6
-5		5.5	5.6	5.6	5.6	5.5	5.5	5.6	5.6
-10		5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
-15		5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
-20		4.6	4.5	4.6	4.6	4.6	4.4	4.5	4.5

ตารางที่ 5.5.6

Z = 25 cm		Δl (cm)						
x(cm) \ y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15
20		3.7	3.5	3.4	3.6	3.4	3.5	3.5
15		4.8	4.8	4.8	4.9	4.8	4.8	4.8
10		5.3	5.3	5.3	5.4	5.3	5.4	5.3
5		5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
0		5.5	5.4	5.4	5.5	5.4	5.5	5.4
-5		5.3	5.4	5.4	5.4	5.3	5.3	5.4
-10		5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
-15		4.8	4.8	4.9	4.9	4.8	4.8	4.8
-20		3.6	3.5	3.6	3.7	3.6	3.4	3.4

ตารางที่ 5.6.6

Z = 25 cm		v (m/s)						\bar{v}	
x(cm) \ y(cm)		15	10	5	0	-5	-10	-15	(m/s)
20		4.5	4.5	4.6	4.6	4.5	4.4	4.5	4.5
15		5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
10		5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.3	5.4	5.4
5		5.6	5.6	5.7	5.7	5.6	5.7	5.6	5.6
0		5.5	5.7	5.6	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6
-5		5.5	5.6	5.6	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6
-10		5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
-15		5.1	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
-20		4.5	4.5	4.5	4.6	4.5	4.5	4.5	4.5

จากตารางความเร็วพบว่าบริเวณที่ลมมีความเร็วไม่ต่างกันมากนัก พอที่จะใช้ทดสอบและศึกษาแบบจำลองได้อยู่บริเวณตอนกลาง ๆ ดังรูปที่ 5.13 เช่นกัน ความเร็วลมในบริเวณนี้อยู่ในช่วง 5.4 - 5.6 m/s ดังนั้นความเร็วเฉลี่ยบริเวณนี้ประมาณ 5.5 m/s