บทที่ 3

อุโมงค์ลม[6]

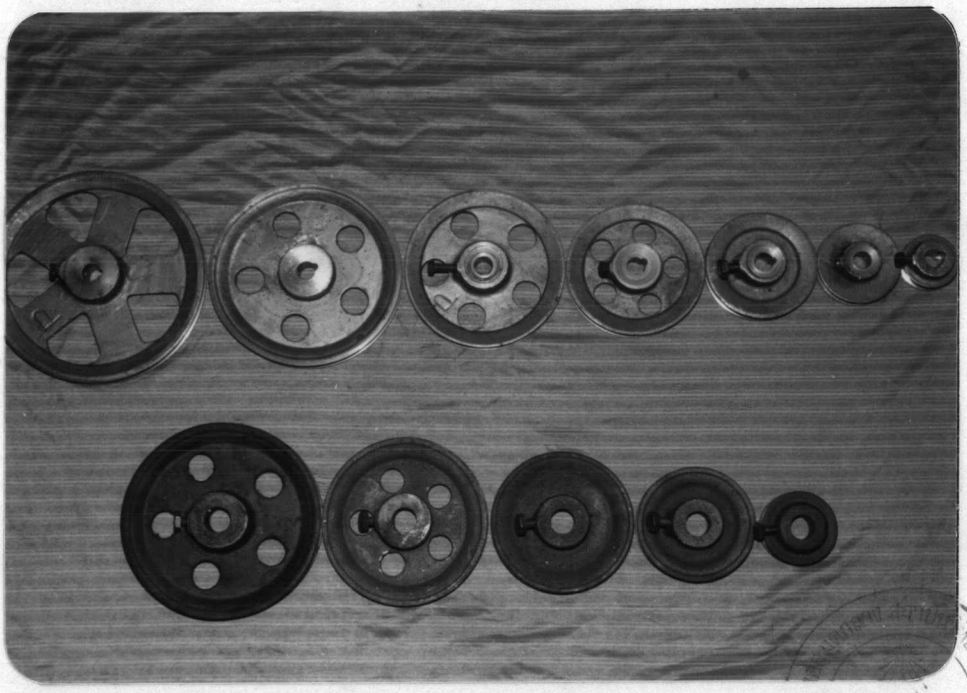
อุโมงค์ลมที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นอุโมงค์ลมแบบเปิด (open circuit) โดยใช้พัดลมดูดอากาศให้ไหลเข้าอุโมงค์ที่ปลายข้างหนึ่ง และไหลออกจากอุโมงค์ที่ปลายอีกข้างหนึ่ง

3.1 ส่วนประกอบของอุโมงค์ลม

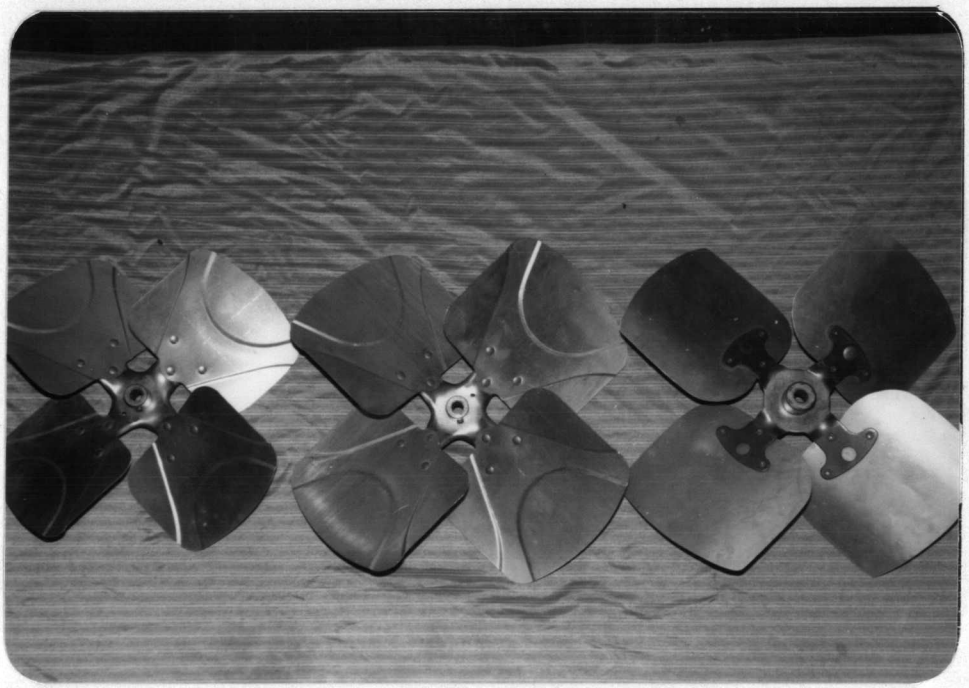
อุโมงค์ลมมีส่วนประกอบที่สำคัญ 5 ส่วน คือ

3.1.1 ส่วนกำลัง (power section)

ส่วนนี้ทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้แก่อากาศที่ไหลผ่านอุโมงค์ลม ประกอบด้วย มอเตอร์และใบพัด ถ้าต้องการให้อากาศผ่านอุโมงค์มีอัตราเร็วสูง มอเตอร์ต้องมีกำลังม้ามากและใบพัดต้องมีขนาดใหญ่และมุมบิด (pitch angle)สูง ในการวิจัยนี้ใช้มอเตอร์ 2 ขนาดคือ ขนาด 1.5 กำลังม้า 220 โวลท์ 9 แอมแปร์ อัตราการหมุน 1,140 รอบต่อนาที และขนาด 0.5 กำลังม้า 220 โวลท์ 3.3 แอมแปร์ อัตราการหมุน 2,850 รอบต่อนาที ใช้ใบพัดชนิด 4 ใบ มี 3 ขนาดคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 , 40 และ 41 เซนติเมตร และใช้รอกสายพาน (mule-pulley) จำนวน 9 ตัว โดยใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.0 , 6.5 , 7.5 , 12.5 , 15.0 และ 18.0 เซนติเมตร ติดที่แกนมอเตอร์ และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.0 , 12.5 และ 15.0 เซนติเมตร ติดที่แกนใบพัด เพื่อเปลี่ยนอัตราเร็วเชิงมุมของใบพัด รอกสายพานและใบพัดที่ใช้ แสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายรอกสายพานขนาดต่างๆ



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายใบพัดขนาดต่างๆ

3.1.2 ส่วนอากาศแพร่เข้า (effuser)

อากาศจะผ่านส่วนนี้เป็นส่วนแรกในการเข้าอุโมงค์ ส่วนนี้มีลักษณะเป็นรูปปากแตร แล้วค่อยๆเรียวเล็กลง เพื่อให้อากาศผ่านเข้ามามีอัตราเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดมีการปั่นป่วนของอากาศที่ผ่านเข้ามา ความชันของผิวด้านในต้องไม่มากกว่า 4 องศา

3.1.3 ส่วนใช้งาน (working section)

ส่วนนี้อยู่ต่อจากส่วนอากาศแพร่เข้า และเพื่อให้อากาศที่ผ่านส่วนนี้มีอัตราเร็วเอกรูปสม่ำเสมอ ดังนั้นส่วนนี้จึงมีลักษณะเป็นพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอ เป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 40 x 40 x 45 เซนติเมตร^3 ด้านบนทำเป็นฝาปิดเปิดสำหรับใส่แบบอุปกรณ์ ทำด้วยวัสดุโปร่งใส เพื่อจะได้สังเกตุการทำงานของอุปกรณ์ที่ไว้ภายในได้

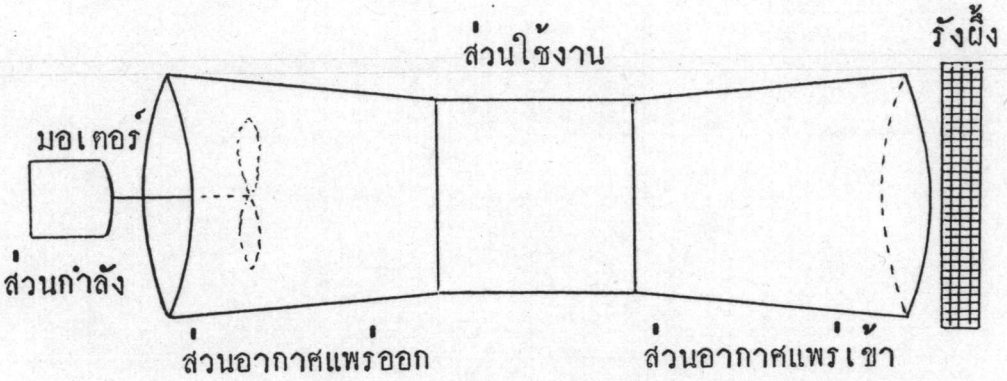
3.1.4 ส่วนอากาศแพร่ออก (diffuser)

ส่วนนี้เป็นรูปปากแตรเช่นกัน โดยให้ด้านปากกว้างเป็นด้านที่อากาศออก อีกด้านหนึ่งต่อกับส่วนใช้งาน ความชันของผิวด้านในจะต้องไม่มากกว่า 4 องศา เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปั่นป่วนของอากาศที่แพร่ออกจากอุโมงค์และเกิดการตกค้างของอากาศในส่วนนี้ด้วย

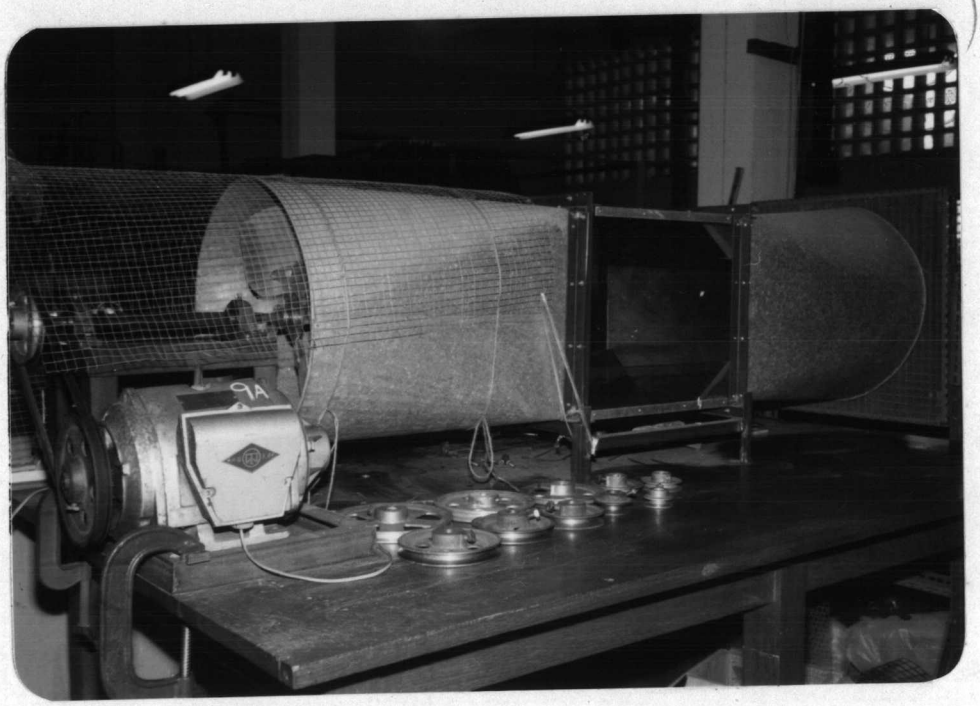
3.1.5 รังผึ้ง (honey comb)

ส่วนนี้ทำเป็นตารางช่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กๆที่มีความหนา และจะวางไว้ด้านหน้าของส่วนอากาศแพร่เข้า เพื่อทำให้อากาศผ่านเข้าอุโมงค์เป็นลำเส้นกระแส และยังช่วยลดความปั่นป่วนของอากาศก่อนที่จะผ่านเข้าอุโมงค์เนื่องจากการกระโชกของอากาศภายนอกด้วย

ลักษณะของอุโมงค์ลมที่ใช้ในการวิจัย แสดงได้ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของส่วนต่างๆของอุโมงค์ลม



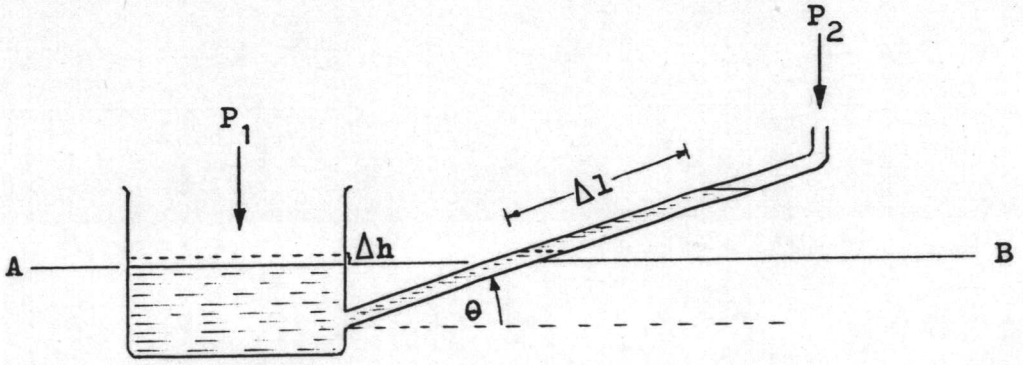
รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายอุโมงค์ลม

3.2 การวัดอัตราเร็วลม

ส่วนที่จะวัดอัตราเร็วลมคือ ส่วนใช้งาน อุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราเร็วลม ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

3.2.1 แมโนมิเตอร์แบบเอียง (inclined manometer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดผลต่างของความดัน ที่มีความไวมากที่สุด ขาข้างหนึ่งทำเป็นกระเปาะใหญ่ และขาอีกข้างหนึ่งเป็นท่อแก้วต่อกับกระเปาะอยู่อย่างเอียงๆ แสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของแมโนมิเตอร์แบบเอียง

ก่อนที่จะนำแมโนมิเตอร์แบบเอียงไปใช้วัดค่าผลต่างความดัน จะต้องปรับให้แมโนมิเตอร์แบบเอียงนี้อยู่ในแนวระดับเสียก่อน

ให้ a_1 และ a_2 เป็นพื้นที่หน้าตัดของกระเปาะและท่อแก้วตามลำดับ

ρ' เป็นความหนาแน่นของของเหลวที่บรรจุ

θ เป็นมุมที่ท่อแก้วเอียงทำกับแนวระดับ

เมื่อความดัน P_1 กระทำต่อของเหลวด้านกระเปาะ จะทำให้ระดับของของเหลวลดลง Δh หรือปริมาตรของของเหลวลดลง $a_1 \Delta h$ อันเป็นผลทำให้ลำของเหลวในท่อแก้วเพิ่มขึ้น Δl หรือปริมาตรเพิ่มขึ้น $a_2 \Delta l$

ดังนั้น
$$a_1 \Delta h = a_2 \Delta l \qquad (3.1)$$

$$\Delta h = \frac{a_2}{a_1} \Delta l \qquad (3.2)$$

ที่ระดับ AB ระดับของเหลวในกระเปาะและท่อแก้วเอียง ต่างกันตามแนวดิ่งเป็น h

และ
$$h = \Delta h + \Delta l \sin \theta \qquad (3.3)$$

จากสมการ (3.2) และ (3.3) จะได้

$$h = \Delta l \left(\sin \theta + \frac{a_2}{a_1} \right) \qquad (3.4)$$

เมื่อคิดความดันที่ระดับ AB จะได้

$$P_1 = P_2 + \rho' g \Delta l \left(\sin \theta + \frac{a_2}{a_1} \right) \qquad (3.5)$$

เนื่องจาก $a_1 \gg a_2$ จะได้ $\frac{a_2}{a_1} \ll 1$

และถ้ามุม θ มีค่าน้อยๆ จะได้ $\sin \theta = \tan \theta$

ดังนั้นสมการ (3.5) จึงเขียนเป็น

$$P_1 \approx P_2 + \rho' g \Delta l \tan \theta \qquad (3.6)$$

หรือ
$$P_1 - P_2 \approx \rho' g \Delta l \tan \theta \qquad (3.7)$$

เพื่อให้แมโนมิเตอร์แบบเอียงมีความไวมากขึ้น ของเหลวที่ใช้บรรจุ จะต้องมีความหนาแน่นน้อย และไม่ติดกับผิวแก้ว ในที่นี้ใช้น้ำมันก๊าด ซึ่งมีความหนาแน่น 772

กิโลกรัม/เมตร^3 และค่า g ประมาณ 9.8 เมตร/วินาที^{2}

ดังนั้นสมการ (3.7) จึงเขียนเป็น

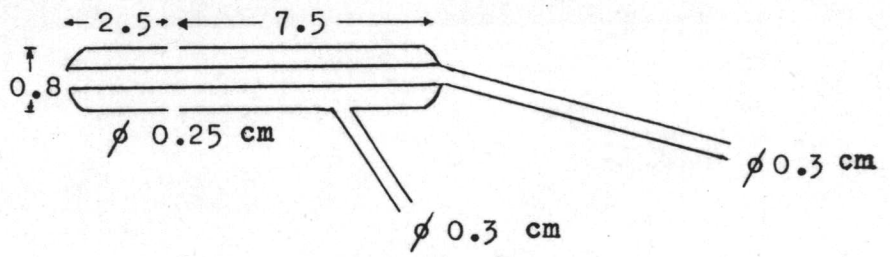
$$P_1 - P_2 = 7565.6 \Delta l \tan \theta \qquad (3.8)$$

เมื่อ P_1 , P_2 มีหน่วยเป็น N/m^2

Δl มีหน่วยเป็น m

3.2.2 <u>ท่อปิตอต–สแตติก</u> (pitot-static tube)

เป็นท่อที่สามารถวัดความดันสถิตและความดันรวมได้พร้อมกัน โดยนำเอาท่อที่วัดความดันสถิตและความดันรวม มารวมอยู่ด้วยกัน มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกขนาดเล็ก 2 ท่อซ้อนกัน ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



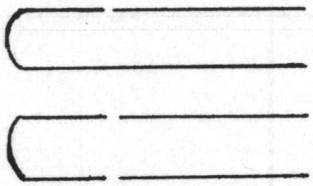
รูปที่ 3.6 แสดงขนาดของท่อปิตอต–สแตติก

ค่าความดันที่วัดได้แบ่งเป็น 2 ค่า คือ

3.2.2.1 <u>ความดันสถิต</u> (static pressure)

ความดันสถิตเป็นความดันที่กระทำบนพื้นผิวในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิว ความดันสถิต ณ จุดๆหนึ่งที่มีของไหลไหลผ่าน สามารถวัดได้โดยใช้ท่อทรงกระบอกกลวงเล็กๆ เจาะรูบนผิวทรงกระบอก ปลายข้างหนึ่งปิด อีกข้างหนึ่งเปิด โดยวางในทิศทางเดินของของไหล ให้แนวแกนท่อขนานกับทิศของการไหล โดยเอาด้านปิดชี้ไปทางทิศที่ของไหลไหลเข้า ต่อปลายเปิดเข้ากับเครื่องวัดความดัน ค่าที่วัดได้จะเป็นค่าความดันสถิต

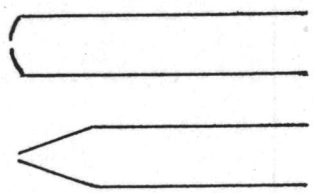
ลักษณะของท่อวัดความดันสถิต แสดงได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของท่อวัดความดันสถิต (ก) เจาะรูเดียว (ข) เจาะสองรู

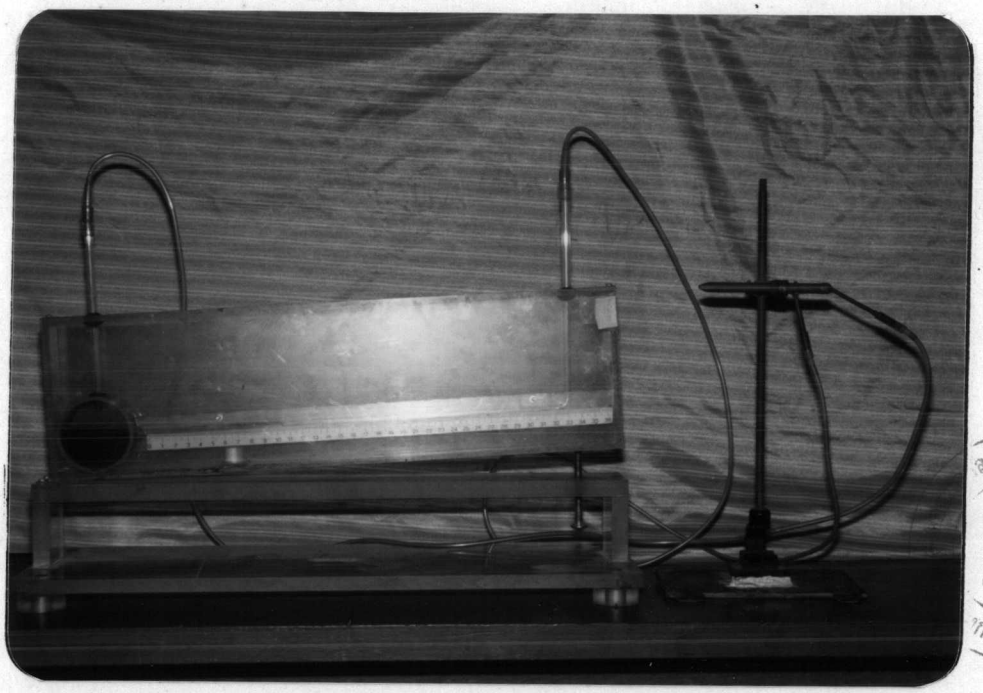
3.2.2.2 <u>ความดันรวม</u> (total pressure)

ความดันรวมเป็นความดัน ณ จุดนิ่ง ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความดันนิ่ง (stagnation pressure : P_{st}) ความดันรวมสามารถวัดได้โดย ใช้ท่อทรงกระบอกกลวงเล็กๆ ปลายข้างหนึ่งปิด ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งเปิด ที่ตรงกลางปลายด้านปิดนี้จะเจาะรูเล็กๆ เมื่อต้องการวัดความดันนำท่อนี้วางในทางเดินของของไหล ให้แกนท่อขนานกับทิศของการไหล โดยเอาด้านที่เจาะรูชี้ไปทางทิศที่ของไหลไหลเข้า ต่อปลายด้านเปิดเข้ากับเครื่องวัดความดัน ค่าที่ได้จะเป็น ค่าความดันรวม ลักษณะของท่อวัดความดันรวมแสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของท่อวัดความดันรวม (ก) ปลายมน (ข) ปลายแหลม

เมื่อนำท่อปิตอต-สแตติก ต่อเข้ากับแมโนมิเตอร์แบบเอียง ก็สามารถนำไปวัดและคำนวณหาอัตราเร็วลมในอุโมงค์ลมได้ ลักษณะของท่อปิตอต-สแตติกที่ต่อกับแมโนมิเตอร์แบบเอียง แสดงได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ภาพถ่ายท่อปิตอต–สแตติกและแมโนมิเตอร์แบบเอียง

จากสมการ (3.8) จะได้ ค่า P_1 เป็น ความดันรวม และค่า P_2 เป็น ความดันสถิต ดังนั้นสมการ (3.8) จึงเขียนได้เป็น

$$P_{st} - P = 7565.6\,\Delta l \tan\theta \qquad (3.9)$$

จากสมการของเบอร์นูลี (Bernoulli's equation) สามารถหาอัตราเร็วในเส้นกระแสของของไหลได้จาก

$$v = \left[\frac{2}{\rho}(P_{st} - P)\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (3.10)$$

เมื่อ v เป็นอัตราเร็วของเส้นกระแสของของไหล หน่วยเป็น m/s

ρ เป็นความหนาแน่นของของไหล หน่วยเป็น kg/m^3

P_{st} เป็นความดันรวม หน่วยเป็น N/m^2

P เป็นความดันสถิต หน่วยเป็น N/m^2

ดังนั้น จากสมการ (3.9) และ (3.10) จะได้ว่า

$$v = \left[151.3 \frac{\Delta l \tan \theta}{\rho}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (3.11)$$

เมื่อ v มีหน่วยเป็น m/s

Δl มีหน่วยเป็น cm.

และ ρ มีค่า 1.165 kg/m^3 ที่อุณหภูมิ 30° ซ.

เมื่อต้องการให้อัตราเร็วลมภายในอุโมงค์ มีค่าแตกต่างกันออกไป จะต้องเปลี่ยนขนาดมอเตอร์ ขนาดรอกสายพาน และขนาดใบพัด ต่างกันออกไปด้วย จากการตรวจสอบค่าอัตราเร็วลมต่างๆ ได้ดังที่แสดงไว้ตามตารางที่ 3.1

เส้นผ่าศูนย์กลางรอกสายพาน(cm)		เส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด(cm)	ขนาดมอเตอร์ (H.P)	อัตราเร็วลม (m/s)
ที่ติดแกนมอเตอร์	ที่ติดแกนใบพัด			
6.5	10.0	41	1.5	4.0
15.0	15.0	40	1.5	4.4–4.5
15.0	12.5	35	1.5	4.7–4.8
18.0	15.0	40	1.5	5.1–5.3
12.5	10.0	40	1.5	5.6–5.8
18.0	12.5	40	1.5	6.0–6.2
5.0	10.0	41	0.5	6.3
18.0	10.0	35	1.5	6.7–6.9
7.5	12.5	41	0.5	7.3–7.5
12.5	10.0	41	1.5	7.8–7.9
18.0	12.5	41	1.5	8.4–8.6
15.0	10.0	41	1.5	8.9

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าอัตราเร็วลมต่างๆเมื่อเปลี่ยนขนาดมอเตอร์ รอกสายพานและใบพัด