บทที่ 2
หลักการ ทฤษฎี เหตุผลและสมมุติฐาน

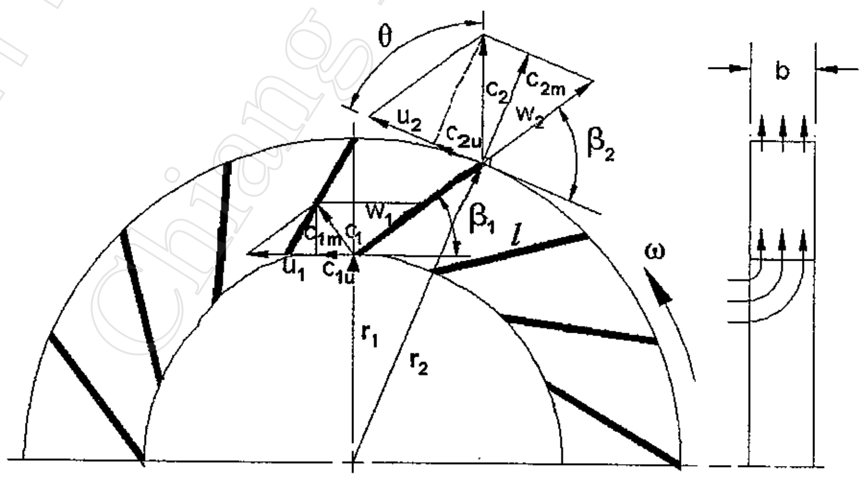
2.1 ลักษณะทางกายภาพของจานใบพัดแบบเหวี่ยงใบตรง

พัดลมเป็นเครื่องจักรสำคัญในการทำงานของระบบขับเคลื่อนอากาศ โดยปัจจุบันทุกระบบอุตสาหกรรมจะมีพัดลมใช้งานอยู่ 2 ชนิด คือ

2.1.1 พัดลมไหลตามแกน (Axial flow fan) เป็นพัดลมที่ทิศทางการไหลของอากาศไหลไปตามแกนเพลา

2.1.2 พัดลมแบบเหวี่ยง (Centrifugal fan) เป็นพัดลมที่ทิศทางการไหลของอากาศที่ไหลเข้าจะตั้งฉากกับทิศทางการไหลออกของอากาศ ซึ่งจะมีความเหมาะสมของชนิดงานต่างกันไป เช่น ใบแพนอากาศ ใบตรง ใบโค้งหน้า และใบโค้งหลัง

ซึ่งในโครงการนี้จะศึกษาจานใบพัดแบบเหวี่ยงใบตรง โดยพิจารณาสามเหลี่ยมความเร็วของการไหลผ่านใบพัดดังรูป 2.1



รูป 2.1 สามเหลี่ยมความเร็วของการไหลผ่านใบพัด

ที่มา : Eck (1973)

2.2 สัมประสิทธิ์ไร้หน่วย

ในการพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะของจานใบพัดแบบเหวี่ยงนั้นจะใช้สัมประสิทธิ์ไร้หน่วยมาเป็นตัวเปรียบเทียบซึ่งสัมประสิทธิ์ไร้หน่วยที่สำคัญ ซึ่ง Eck (1973) เสนอไว้มีดังต่อไปนี้

2.2.1 สัมประสิทธิ์เชิงปริมาตร (ϕ)

สัมประสิทธิ์เชิงปริมาตรเป็นสัมประสิทธิ์ไร้หน่วยที่กำหนดจากอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Q) ต่อปริมาณซึ่งคำนวณจากพื้นที่จานใบพัดคูณด้วยความเร็วปลายใบพัดที่ขาออก (u_2) ซึ่งคือ

$$\phi = \frac{Q}{u_2(\frac{\pi}{4})d_2^2} \tag{2.1}$$

2.2.2 สัมประสิทธิ์เชิงความดัน (ψ)

เมื่อพิจารณาจานใบพัดตามรูป 2.1 ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและความเร็วปลายใบพัดที่ขาออก เป็น d_2 และ u_2 ตามลำดับ สัมประสิทธิ์เชิงความดันจะนิยามด้วย อัตราส่วนของความดันอากาศที่เพิ่มขึ้น (ΔP) ต่อความดันไดนามิกส์โดยคิดเสมือนว่าอากาศมีความเร็วเท่ากับความเร็วปลายใบพัดที่ขาออก (u_2) จึงได้ว่า

$$\psi = \frac{\Delta P}{(\frac{\rho}{2})u_2^2} \tag{2.2}$$

2.2.3 ประสิทธิภาพ (η)

กำหนดให้แรงบิด (T) กระทำกับจานใบพัดให้จานใบพัดหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม (ω) โดยชุดจานใบพัดนี้สามารถส่งผ่านพลังงานไปยังอากาศหลังจากการสูญเสียบางส่วนทำให้อากาศที่ไหลผ่านจานใบพัดมีพลังงานเพิ่มคิดเป็นความดันในทางปฏิบัติจริง (ΔP_{actual}) โดยที่อากาศมีอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Q) ก็จะสามารถนิยามประสิทธิภาพเชิงกลของชุดจานใบพัดได้ดังนี้คือ

$$\eta = \frac{\Delta P_{actual} Q}{T\omega} \tag{2.3}$$

2.2.4 สัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะ (λ)

การเปรียบเทียบสมรรถนะของจานใบพัดแบบเหวี่ยงจะพิจารณาจากสัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะ ซึ่งสามารถนิยามได้ดังนี้

$$\lambda = \frac{\psi_{actual}\phi}{\eta} = \frac{T\omega}{(\frac{\pi}{4}) d_2^2 u_2^3 (\frac{\rho}{2})} \tag{2.4}$$

เมื่อ $\psi_{actual} = \dfrac{\Delta P_{actual}}{(\frac{\rho}{2}) u_2^2}$

2.3 สมรรถนะทางทฤษฎีของจานใบพัดแบบเหวี่ยงใบตรง

ในการพิจารณาจานใบพัดในอุดมคตินั้นจะสมมติให้จานใบพัดมีจำนวนใบพัดไม่จำกัด ไม่มีการสูญเสียเนื่องจากการไหล การไหลของอากาศอยู่ในทิศทางเดียวกับใบพัด และความหนาของใบพัดน้อยมาก เมื่อพิจารณารูป 2.1 ซึ่งจานใบพัดหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม(ω) โดยให้ความเร็วสัมบูรณ์ของอากาศเป็น c และมีความเร็วสัมบูรณ์ในแนวสัมผัสที่ขาออก (c_{2u}) เมื่อกำหนดให้ความเร็วสัมบูรณ์ในแนวสัมผัสที่ขาเข้า (c_{1u}) เป็นศูนย์ จากทฤษฎีกลศาสตร์ของไหลนั้น Eck (1973) พบว่า

$$H_{th\infty} = \frac{u_2 c_{2u}}{g} \tag{2.5}$$

เมื่อ $H_{th\infty}$ คือ ความสูงของของไหลที่พิจารณาตามทฤษฎีและสมมติว่าจำนวนใบพัดมีไม่จำกัด

จากทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความสูงของของไหลเป็น

$$\Delta P = \rho g H \tag{2.6}$$

แทนสมการ (2.5) ในสมการ (2.6) จะได้เป็น

$$\Delta P_{th\infty} = \rho u_2 c_{2u} \tag{2.7}$$

เมื่อพิจารณาในทางปฏิบัติการออกแบบจานใบพัดนั้นใบพัดต้องมีความหนาและจำนวนใบพัดต้องมีจำกัด โดยที่อากาศเมื่อไหลผ่านจานใบพัดแล้วจะทำให้เกิดความดันในทางทฤษฎีที่จำนวนใบพัดมีจำกัดและไม่คิดการสูญเสีย (ΔP_{th}) คือ, Eck (1973)

$$\Delta P_{th} = \rho u_2 \left[c_{2u} - \frac{u_2 \pi \sin \beta_2}{z} \right] \tag{2.8}$$

พิจารณาสมการ (2.7) และสมการ (2.8) จะเห็นว่า ΔP_{th} มีปริมาณน้อยกว่า $\Delta P_{th\infty}$ ซึ่งเป็นผลจากการสูญเสียเนื่องจากจำนวนใบพัดที่มีจำกัดจึงโมเดลสมการ (2.8) ใหม่

$$\Delta P_{th,k} = \rho u_2 \left[c_{2u} - \frac{k\, u_2 \pi \sin \beta_2}{z} \right] \tag{2.9}$$

เมื่อ k คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากจำนวนใบพัดมีจำกัด

ซึ่ง Eck (1973) พบว่า เมื่อสัมประสิทธิ์เชิงปริมาตรเพิ่มขึ้นการสูญเสียเนื่องจากจำนวนใบพัดมีจำกัดจะลดลง จึงสมมติให้ k มีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์เชิงปริมาตรเป็นสมการเส้นตรงคือ

$$k = k_1 - k_2 \phi \tag{2.10}$$

แทนสมการ (2.10) ในสมการ (2.9) ได้เป็น

$$\Delta P_{th,k} = \rho u_2 \left[c_{2u} - \frac{(k_1 - k_2 \phi) u_2 \pi \sin \beta_2}{z} \right] \tag{2.11}$$

จากการพิจารณาผลของการที่อากาศไหลเข้าและออกผ่านจานใบพัดโดยจานใบพัดจะส่งผ่านพลังงานจากเพลาไปให้อากาศที่ไหลผ่านจานใบพัดและจะทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น ซึ่ง Eck (1973) พบว่า ความดันจากการสูญเสีย (ΔP_{loss}) นั้นประกอบไปด้วย

2.3.1 การสูญเสียเนื่องจากทางเข้า

การสูญเสียชนิดนี้เกิดจากการที่อากาศเปลี่ยนทิศทางการไหลเป็นมุม 90 องศาก่อนเข้าสู่ใบพัด เมื่อคิดเป็นความดันสูญเสียจะเท่ากับ $\zeta(\frac{\rho}{2})c_1^2$ ซึ่ง ζ คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากทางเข้า โดย Eck (1973) เสนอไว้ว่าน่าจะอยู่ในช่วง 0.15-0.25

2.3.2 การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในจานใบพัด

การสูญสียชนิดนี้เกิดจากผิวใบพัดที่มีความเสียดทานจะทำการต้านทานการไหลของอากาศผ่านจานใบพัด ซึ่งการสูญเสียนี้มีอยู่ 2 สาเหตุหลัก คือ การสูญเสียเนื่องจากการหน่วงที่เกิดจากอากาศที่ไหลผ่านช่องระหว่างใบพัดที่มีพื้นที่หน้าตัดการไหลเพิ่มขึ้นทำให้ความเร็วสัมพัทธ์ของอากาศลดลง เมื่อคิดเป็นความดันสูญเสียจะเท่ากับ $\xi(\frac{\rho}{2})(w_1^2 - w_2^2)$ และการสูญเสียเนื่องจากความต้านทานการไหลซึ่งเกิดจากผิวใบพัดที่มีความขรุขระจึงมีผลทำให้เกิดการต้านทานการไหลของอากาศผ่านใบพัด เมื่อคิดเป็นความดันสูญเสียจะเท่ากับ $CF_{total}\frac{\rho \overline{w}^3}{2Q}$ ซึ่ง F_{total} คือ พื้นที่ผิวของจานใบพัดที่อากาศไหลผ่าน C คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากความขรุขระของผิวใบพัด โดย Eck (1973) เสนอไว้ว่าน่าจะอยู่ในช่วง 0.004-0.0045 และ ξ คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในใบพัด โดย Eck (1973) เสนอไว้ว่าน่าจะอยู่ในช่วง 0.1-0.2

2.3.3 การสูญเสียเนื่องจากช็อก

การสูญเสียชนิดนี้เกิดจากทิศทางการไหลสัมพัทธ์ของอากาศไม่ได้อยู่แนวเดียวกันกับใบพัดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศ และทำให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศเปลี่ยนแปลงด้วย โดยเมื่อคิดเป็นความดันสูญเสียจะเท่ากับ $\mu(\frac{\rho}{2})\, u_2^2 (\frac{d_1}{d_2})^2 (\frac{Q}{Q_0} - 1)^2$ ซึ่ง Q_0 คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ทำให้การสูญเสียเนื่องจากช็อกเป็นศูนย์ และ μ คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากช็อก โดย Eck (1973) เสนอไว้ว่าน่าจะอยู่ในช่วง 0.7-0.9

เมื่อเริ่มหาความดันอากาศที่เพิ่มขึ้นจากสมมติว่าจำนวนใบพัดมีไม่จำกัด ใบพัดไม่มีความหนาและไม่มีการสูญเสียเนื่องจากการไหล แต่เมื่อมีผลของจำนวนใบพัดที่มีจำกัดทำให้ความดันอากาศที่เพิ่มขึ้นกลายเป็น $\Delta P_{th,k}$ และเมื่อนำ ΔP_{loss} ซึ่งเป็นความดันจากการสูญเสียมาคิดด้วยก็จะได้สมรรถนะทางทฤษฎีหรือความดันจากแบบจำลอง ΔP_{model} เป็นดังนี้

$$\Delta P_{model} = \Delta P_{th,k} - \Delta P_{loss} \tag{2.12}$$

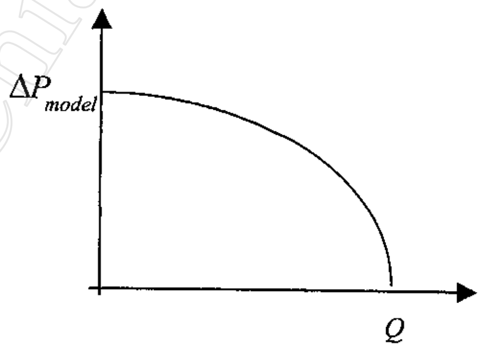
นำสมการ (2.11) และความดันจากการสูญเสียต่างๆ มาแทนในสมการ (2.12) จะได้เป็น

$$\Delta P_{model} = \rho u_2^2 \left[1 - \frac{d_2 \phi}{4b \tan \beta_2} - \frac{(k_1 - k_2 \phi)\pi \sin \beta_2}{z} \right] - \left[\zeta \frac{\rho}{2} c_1^2 + \xi \frac{\rho}{2}(w_1^2 - w_2^2) + CF_{total} \frac{\rho \overline{w}^3}{2Q} + \mu \frac{\rho}{2} u_2^2 (\frac{d_1}{d_2})^2 (\frac{Q}{Q_0} - 1)^2 \right] \tag{2.13}$$

เมื่อ

$$\Delta P_{loss} = \left[\zeta \frac{\rho}{2} c_1^2 + \xi \frac{\rho}{2}(w_1^2 - w_2^2) + CF_{total} \frac{\rho \overline{w}^3}{2Q} + \mu \frac{\rho}{2} u_2^2 (\frac{d_1}{d_2})^2 \left(\frac{Q}{Q_0} - 1\right)^2 \right]$$

ในที่นี้ได้แสดงกราฟความดันจากแบบจำลองกับอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ ดังรูป 2.2



รูป 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันจากแบบจำลอง
กับอัตราการไหลเชิงปริมาตร
ที่มา : Eck (1973)

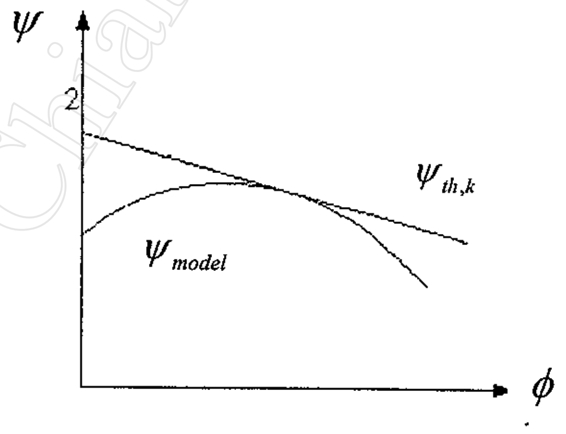
ถ้าเขียนสมการ (2.13) ในปริมาณของสัมประสิทธิ์ไร้หน่วยจะได้ว่า

$$\psi_{model} = \left[2 - \frac{2d_2\phi}{4b\tan\beta_2} - \frac{(k_1 - k_2\phi)2\pi\sin\beta_2}{z} \right] - \left[\zeta\left(\frac{d_2^2\phi}{4bd_1}\right)^2 + \xi\left\{ \left(\frac{d_1}{d_2\cos\beta_1}\right)^2 - \left(\frac{d_2\phi}{4b\sin\beta_2}\right)^2 \right\} + \frac{CF_{total}}{2\pi d_2^2\phi}\left(\frac{d_1}{d_2\cos\beta_1} + \frac{d_2\phi}{4b\sin\beta_2}\right)^3 + \mu\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2\left(\frac{\phi}{\phi_0} - 1\right)^2 \right] \qquad (2.14)$$

เมื่อ ϕ_0 คือ สัมประสิทธิ์เชิงปริมาตรที่ทำให้การสูญเสียเนื่องจากช็อกเป็นศูนย์ และการสูญเสียในเชิงความดันถ้าเขียนให้อยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์ไร้หน่วยก็จะได้ว่า

$$\psi_{loss} = \left[\zeta\left(\frac{d_2^2\phi}{4bd_1}\right)^2 + \xi\left\{ \left(\frac{d_1}{d_2\cos\beta_1}\right)^2 - \left(\frac{d_2\phi}{4b\sin\beta_2}\right)^2 \right\} + \frac{CF_{total}}{2\pi d_2^2\phi}\left(\frac{d_1}{d_2\cos\beta_1} + \frac{d_2\phi}{4b\sin\beta_2}\right)^3 + \mu\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2\left(\frac{\phi_x}{\phi} - 1\right)^2 \right]$$

ซึ่งถ้านำสมการ (2.14) มาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์เชิงความดันกับสัมประสิทธิ์เชิงปริมาตรจะได้ดังรูป 2.3



รูป 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์เชิงความดันกับสัมประสิทธิ์เชิงปริมาตร

ที่มา : Eck (1973)

2.4 สมการการออกแบบจานใบพัดแบบเหวี่ยงใบตรงเชิงประมาณการ

จากการศึกษาการออกแบบของจานใบพัดแบบเหวี่ยงโดย Bleier (1998) Eck (1973) และ Osborn (1977) แล้ว สมการที่ใช้ใน*การออกแบบเชิงประมาณการ*สำหรับจานใบพัดแบบเหวี่ยง ซึ่ง Eck (1973) เสนอไว้โดยไม่ได้แยกชนิดของใบพัดดังนี้

2.4.1 ความกว้างใบพัด (b) ที่เหมาะสมเชิงประมาณการ

สภาพของอากาศขณะไหลเข้าจานใบพัดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการคำนวณขนาดของความกว้างใบพัด กล่าวคือ ก่อนที่อากาศจะไหลเข้าสู่ใบพัดนั้นอากาศจะเปลี่ยนทิศทางการไหลเป็นมุม 90 องศาโดยประมาณกับแนวแกนด้านดูด ซึ่งเหตุการณ์นี้เป็นอิทธิพลให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากการไหลย้อนกลับ (Back flow) หรือการไหลแบบแยกตัว (Separation) ซึ่งถ้าความกว้างใบพัดมีขนาดเล็กเกินไปอาจเกิดการไหลแบบแยกตัวได้ ส่วนถ้าความกว้างใบพัดมีขนาดใหญ่เกินไปอาจเกิดลักษณะการไหลย้อนกลับได้ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ดังกล่าวต้องออกแบบให้พื้นที่ทางเข้าของใบพัด $\pi d_1 b$ น้อยกว่าพื้นที่ที่อากาศไหลเข้า $\frac{\pi}{4}d_1^2$ เมื่อ ς คือ อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ แล้วจะได้ว่า

$$\frac{\pi}{4}d_1^2 \approx \varsigma \pi d_1 b$$

เมื่อกำหนดให้ความเร่งของของไหลเพิ่มขึ้น 20% จะได้ $\varsigma = 1.2$

$$b \approx \frac{d_1}{4\varsigma} \approx \frac{d_1}{4(1.2)} \approx \frac{d_1}{4.8} \tag{2.15}$$

2.4.2 เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (d_1) และมุมใบพัดขาเข้า (β_1) ที่เหมาะสมเชิงประมาณการ

จากรูป 2.1 เมื่อพิจารณาสามเหลี่ยมความเร็วขาเข้าแล้วจะได้

$$w_1 = \frac{u_1 - c_{1u}}{\cos\beta_1}$$

แต่เมื่อกำหนดความเร็วสัมบูรณ์ในแนวสัมผัสที่ขาเข้า (c_{1u}) เป็นศูนย์ ซึ่งจะได้ว่า

$$w_1 = \frac{u_1}{\cos\beta_1} \quad \text{หรือ} \quad w_1^2 = \frac{u_1^2}{\cos^2\beta_1} \tag{2.16}$$

นำ $u_1 = \dfrac{\pi d_1 N}{60}$ มาแทนในสมการ (2.16) จะได้ว่า

$$w_1^2 = \frac{\pi^2 d_1^2 N^2}{60^2 \cos^2\beta_1} \tag{2.17}$$

โดยสามารถหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่เข้าใบพัดได้จาก

$$Q = c_{1m}\pi b d_1 \tag{2.18}$$

หรือ $d_1^2 = (\dfrac{Q}{c_{1m}\pi b})^2$ และนำไปแทนในสมการ (2.17) จะได้เป็น

$$w_1^2 = \frac{\pi^2 N^2}{60^2 \cos^2\beta_1}(\frac{Q}{c_{1m}\pi b})^2 \tag{2.19}$$

คูณสมการ (2.19) ด้วย w_1

$$w_1^3 = \frac{N^2 Q^2}{60^2 b^2 \cos^2\beta_1 (\frac{c_{1m}}{w_1}) c_{1m}}$$

$$= \frac{N^2 Q^2}{60^2 b^2 \cos^2\beta_1 \sin\beta_1}(\frac{\pi b d_1}{Q})$$

$$= \frac{\pi N^2 Q}{60^2 \cos^2 \beta_1 \sin \beta_1} (\frac{d_1}{b})$$

$$w_1^3 = \frac{\pi N^2 Q}{60^2 \cos^2 \beta_1 \sin \beta_1} (4\varsigma) \tag{2.20}$$

ในการออกแบบใบพัดนั้นต้องให้ความเร็วสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้า (w_1) มีค่าต่ำเพื่อที่จะทำให้เกิดความสูญเสียในใบพัดน้อย ดังนั้นเพื่อหาค่าต่ำสุดของมุมใบพัดขาเข้าจึงหาอนุพันธ์ของความเร็วสัมพัทธ์ขาเข้าเทียบกับมุมใบพัดขาเข้าแล้วให้เท่ากับศูนย์ ซึ่ง Eck (1973) พบว่า

$$\frac{d(w_1^3)}{d\beta_1} = 0$$

จะได้ว่า

$$\tan \beta_1 \approx \frac{1}{\sqrt{2}} \tag{2.21}$$

และในการหาขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางขาเข้าจะแทน

$$c_{1m} = u_1 \tan \beta_1 = \frac{N\pi d_1}{60} \tan \beta_1$$ ลงในสมการ (2.18)

จะได้เป็น

$$d_1 = \frac{60Q}{N\pi d_1 \tan \beta_1 \pi b}$$

หรือ

$$Q = \frac{d_1^2 \pi^2 N \tan \beta_1}{60} b$$

$$Q = \frac{d_1^2 \pi^2 N \tan \beta_1}{60} \frac{d_1}{4\varsigma} \tag{2.22}$$

จากสัมประสิทธิ์ไร้หน่วย ซึ่ง $Q = \phi u_2 \frac{\pi d_1^2}{4}$ และ $u_2 = \frac{N\pi d_2}{60}$ ทำให้ได้

$$Q = \frac{N\pi^2 d_2^3}{240} \phi \tag{2.23}$$

ซึ่งเมื่อพิจารณาสมการ (2.22) และสมการ (2.23) จะได้ว่า

$$(\frac{d_1}{d_2})^3 = \frac{\phi\varsigma}{\tan\beta_1} \tag{2.24}$$

ในการทดสอบการสูญเสียของใบพัดนั้นยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลาง (d_1/d_2) ซึ่งการลดอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางจะเป็นผลให้ใบพัดมีลักษณะแคบและยาว และเพื่อหลีกเลี่ยงผลดังกล่าวจะคูณสมการ (2.24) ด้วย $\varsigma = 1.2$ ซึ่งจะได้

$$\frac{d_1}{d_2} \approx 1.194 \sqrt[3]{\phi} \tag{2.25}$$

ในการออกแบบใบพัดจะพิจารณาให้มุมใบพัดขาเข้ามีค่าสูงสุดและอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางมีค่าต่ำสุด ทำให้ได้สมการเป็น

$$\beta_1 \leq 35.26^\circ \tag{2.26}$$

$$\frac{d_1}{d_2} \geq 1.194 \sqrt[3]{\phi} \tag{2.27}$$

เมื่อพิจารณาจานใบพัดตามรูป 2.1 โดยที่ใบพัดตรงเป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดในการออกแบบใบพัด จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมใบพัดขาเข้า (β_1) กับมุมใบพัดขาออก (β_2) ดังนี้

$$\cos\beta_2 = \frac{r_1}{r_2}\cos\beta_1 \tag{2.28}$$

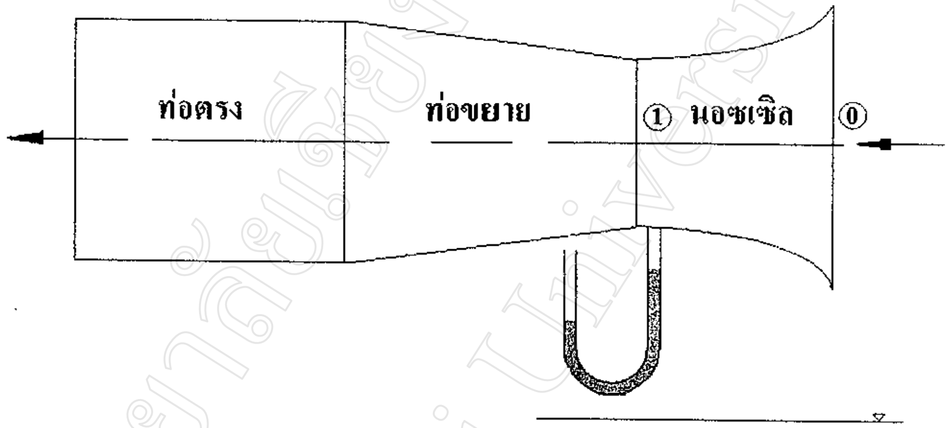
2.4.3 จำนวนใบพัด (z) เชิงประมาณการ

ในการหาจำนวนใบพัดสำหรับใบพัดตามแนวรัศมีนั้น โดยปรกติจะได้มาจากการออกแบบและทดสอบจริงเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าจำนวนใบพัดจะขึ้นอยู่กับมุมใบพัดขาออก (β_2) และอัตราส่วนรัศมี (r_1/r_2) ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ ได้ดังนี้

$$z \approx \frac{8.5\sin\beta_2}{1-\frac{r_1}{r_2}} \tag{2.29}$$

2.5 การวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร

พิจารณารูป 2.4 โดยที่อากาศจะไหลจากตำแหน่ง 0 ผ่านเครื่องมือวัดอัตราการไหลไปยังตำแหน่ง 1 ซึ่งเมื่อพิจารณาเครื่องมือวัดอัตราการไหลเป็นปริมาตรควบคุม อากาศที่ไหลผ่านเป็นการไหลแบบไม่อัดตัวและไม่มีการสูญเสียเนื่องจากการไหล



รูป 2.4 การไหลของอากาศผ่านเครื่องมือวัดอัตราการไหล

เมื่อพิจารณาสมการเบอร์นูลีที่ตำแหน่ง 0 และ 1 จะได้ว่า

$$\frac{P_0}{\rho g}+\frac{v_0^2}{2g}+H_0=\frac{P_1}{\rho g}+\frac{v_1^2}{2g}+H_1$$

ซึ่งจะเห็นว่าที่ตำแหน่ง 0 เป็นแหล่งอากาศขนาดใหญ่แล้วความเร็วอากาศที่ตำแหน่ง 0 (v_0) จะเท่ากับศูนย์ และเนื่องจากนอซเซิลอยู่ในระดับเดียวกัน ดังนั้น $H_0 = H_1$ ฉะนั้นจะได้สมการใหม่เป็น

$$v_1=\sqrt{2\left(\frac{P_0-P_1}{\rho}\right)} \tag{2.30}$$

ในการหาอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Q) นั้นจะเท่ากับผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดนอซเซิล (A) กับความเร็วอากาศที่ตำแหน่ง 1 (v_1) แต่ในความเป็นจริงอัตราการไหลเชิงปริมาตรจะไม่เท่ากับที่กล่าวมาซึ่งจะต้องมีสัมประสิทธิ์การขยาย (C_D) คูณด้วยดังนี้

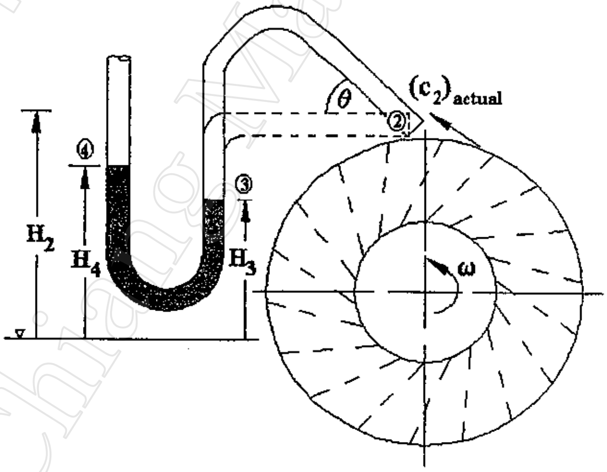
$$Q=C_D A v_1$$

นำสมการ (2.30) มาแทนจะได้สมการเป็น

$$Q = C_D A \sqrt{(\frac{2}{\rho})(P_0 - P_1)} \tag{2.31}$$

2.6 การวัดความดันในทางปฏิบัติจริงของจานใบพัดแบบเหวี่ยงใบตรง

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาจานใบพัดแบบเหวี่ยงใบตรงซึ่งจะไม่มีเสื้อหุ้มใบพัด ซึ่งการที่จะวัดความดันในทางปฏิบัติจริง (ΔP_{actual}) ของจานใบพัดแบบเหวี่ยงใบตรงได้นั้นจำเป็นต้องมีการสร้างชุดวัดความเร็วอากาศที่ปลายใบพัดขาออกขึ้นมาเพื่อทำการวัดความเร็วสัมบูรณ์ที่ขาออกในทางปฏิบัติจริง $(c_2)_{actual}$ โดยจะมีท่อปีตอต (Pitot tube) เป็นตัววัดซึ่งต่ออยู่กับมานอมิเตอร์ โดยเมื่อปรับมุมท่อปีตอตไปยังตำแหน่งใดๆแล้วอากาศที่ไหลเข้าท่อปีตอตก็จะเป็นความเร็วอากาศที่ตำแหน่งนั้นๆ และเมื่อปรับมุมท่อปีตอตไปยังตำแหน่งที่ให้ความดันอากาศสูงที่สุดซึ่งพิจารณาได้จากความสูงของน้ำในมานอมิเตอร์แล้วความเร็วอากาศที่ตำแหน่งนี้ก็จะเป็นความเร็วสัมบูรณ์ที่ขาออกในทางปฏิบัติจริง ดังรูป 2.5



รูป 2.5 การไหลของอากาศผ่านท่อปีตอตที่ต่อกับมานอมิเตอร์

เมื่อ H_2 H_3 H_4 คือ ระดับความสูงที่ตำแหน่ง 2 3 และ 4 เมื่อเทียบกับระดับอ้างอิงตามลำดับ

พิจารณารูป 2.5 ซึ่งอากาศที่ตำแหน่ง 2 จะไหลเข้าท่อปีตอตที่ต่อกับมานอมิเตอร์ แล้วจะทำให้เกิดความแตกต่างของระดับน้ำที่ตำแหน่ง 3 กับตำแหน่ง 4 ซึ่งเมื่อพิจารณาอากาศที่ไหลเข้า

ท่อปิตอตที่ต่อกับมานอมิเตอร์เป็นการไหลแบบไม่อัดตัว มีการไหลแบบสม่ำเสมอและไม่มีความหนืด ก็จะพิจารณาเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

พิจารณาสมการเบอร์นูลีที่ตำแหน่ง 2 และ 3 เมื่อของเหลวในมานอมิเตอร์เป็นอากาศจะได้ว่า

$$\frac{P_2}{\rho g}+\frac{(c_2)^2_{actual}}{2g}+H_2=\frac{P_3}{\rho g}+\frac{v_3^2}{2g}+H_3 \tag{2.32}$$

เมื่อ P_2 คือ ความดันบรรยากาศ และ $v_3=0$

พิจารณาสมการเบอร์นูลีที่ตำแหน่ง 3 และ 4 เมื่อของเหลวในมานอมิเตอร์เป็นน้ำจะได้ว่า

$$\frac{P_3}{\rho_w g}+\frac{v_3^2}{2g}+H_3=\frac{P_4}{\rho_w g}+\frac{v_4^2}{2g}+H_4 \tag{2.33}$$

เมื่อ P_4 คือ ความดันบรรยากาศ v_3 และ $v_4=0$

ซึ่งจากสมการ (2.33) จะได้ว่า $P_3=\rho_w g(H_4-H_3)+P_4$ และนำไปแทนในสมการ (2.32) จะได้

$$(c_2)_{actual}=\sqrt{2g(\frac{\rho_w}{\rho})(H_4-H_3)+2g(H_3-H_2)} \tag{2.34}$$

และเมื่อพิจารณาจานใบพัดดังรูป 2.1 จะได้ $c_{2u}=c_2\cos\theta$ ซึ่งก็คือ

$$(c_{2u})_{actual}=(c_2)_{actual}\cos\theta \tag{2.35}$$

เมื่อ $(c_{2u})_{actual}$ คือ ความเร็วสัมบูรณ์ในแนวสัมผัสที่ขาออกในทางปฏิบัติจริง; m/s
$(c_2)_{actual}$ คือ ความเร็วสัมบูรณ์ที่ขาออกในทางปฏิบัติจริง; m/s
θ คือ มุมของท่อปิตอตที่ให้ความดันอากาศสูงที่สุด; degree

และก็จะทำให้ได้ความดันในทางปฏิบัติจริง (ΔP_{actual}) ของจานใบพัดดังนี้

$$\Delta P_{actual}=\rho u_2(c_{2u})_{actual} \tag{2.36}$$