บทที่ 2

วิธีการออกแบบท่อลมทั่วไป

ในปี ค.ศ. 1986 Tsal และ Behl ได้กำหนดเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับความเหมาะสมต่อการใช้งานของระบบท่อลมไว้ดังนี้

1. พัดลมจะต้องทำงานที่ความดันที่เหมาะสมต่อการใช้งานของระบบ ซึ่งค่าความดันที่เหมาะสมนี้จะให้ค่าผลรวมของค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานกับค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบต่ำที่สุด

2. การปรับสมดุลของความดันในระบบ (Pressure Balancing) จะต้องเกิดจากการเปลี่ยนขนาดของท่อลม ไม่ใช่เกิดจากการใช้บานปรับลม หรือ อุปกรณ์ใดๆ

3. ความเร็วในท่อลมทุกท่อน จะต้องอยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสม

จากการศึกษาวิธีการออกแบบท่อลม 4 วิธี ซึ่งได้แก่วิธี Equal Friction, Static Regain, Velocity Reduction และ Constant Velocity พบว่าการออกแบบระบบท่อลมทั้ง 4 วิธีนี้ไม่สามารถทำตามเงื่อนไขเหล่านี้ได้ทั้งหมด ด้วยเหตุผลต่างๆในแต่ละวิธี ดังนี้

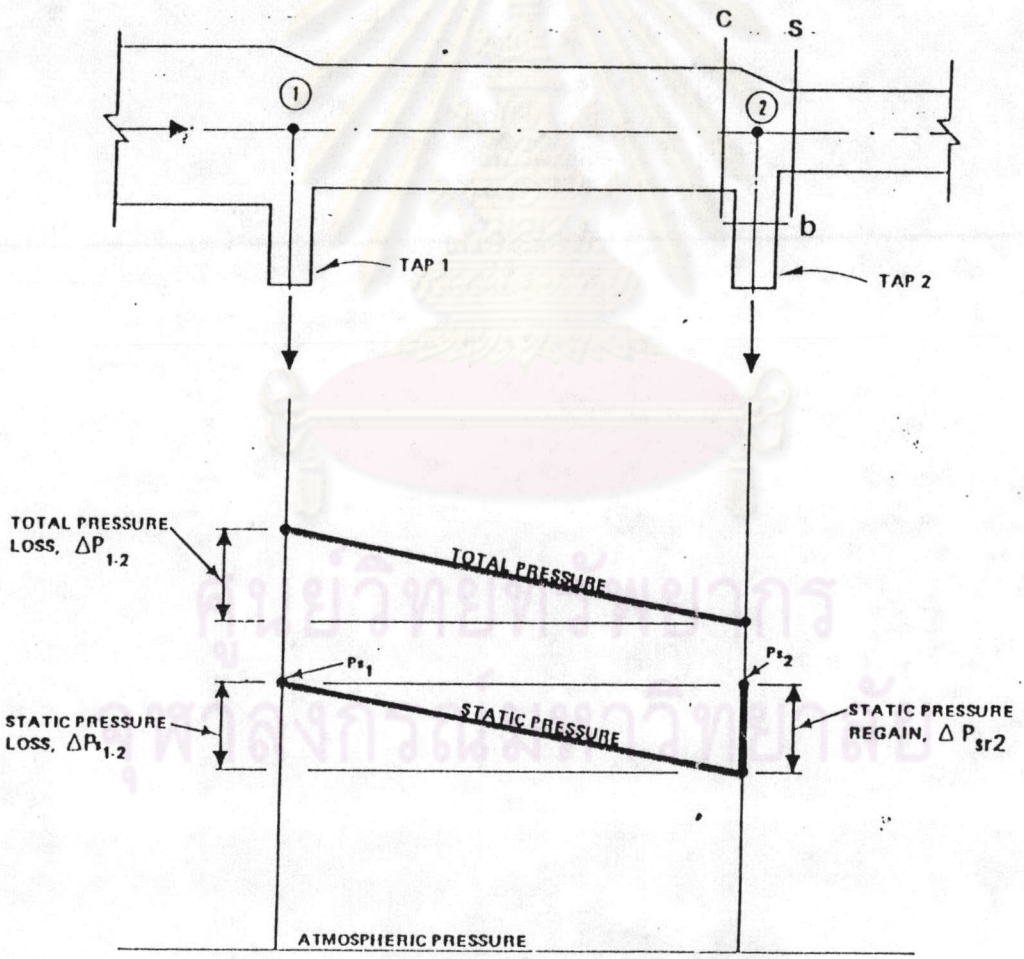
1. <u>วิธี Equal Friction</u> มีข้อกำหนดในการออกแบบ คือ จะเลือกขนาดของท่อลมแต่ละท่อน โดยมีค่าความดันสูญเสีย ต่อหน่วยความยาวเท่ากันตลอดทั้งระบบท่อลม ดังสมการ

$$\frac{\Delta P_1}{L_1} = \frac{\Delta P_2}{L_2} = \ldots = \frac{\Delta P_n}{L_n} \qquad (2.1)$$

โดยทั่วไประบบท่อลมที่ต้องการมักจะมีความยาวในแต่ละสาย (path) ไม่เท่ากันทำให้ค่าความดันสูญเสียในแต่ละสายไม่เท่ากันด้วย และเมื่อนำมาใช้งานระบบท่อลมที่ได้จะปรับสมดุลเองตามธรรมชาติเพื่อให้ค่าความดันสูญเสียทุกสายเท่ากัน ทำให้อัตราการไหลในแต่ละสายไม่เป็นไปตามที่ต้องการจึงจำเป็นต้องใช้บานปรับลมช่วยในการปรับสมดุล

2. <u>วิธี Static Regain</u> มีแนวคิดในการออกแบบ คือเลือกขนาดของท่อลมในระบบที่ทำให้ความดันสถิตย์ที่แต่ละจุดแยกภายในระบบท่อมีค่าเท่ากันดังรูปที่ 2.1 โดยการพิจารณาให้ค่าความดันที่สูญเสียที่เกิดขึ้นในท่อลมท่อนใดๆ ได้กลับคืนมาในรูปของความดันสถิตย์เนื่องจากการลดความเร็วของอากาศที่จุดแยกก่อนที่จะส่งเข้าท่อลมท่อนต่อไป ซึ่งก็คือการเปลี่ยนจากความดันความเร็วของอากาศมาเป็นความดันสถิตย์ได้คืน จากแนวคิดนี้ทำให้การออกแบบด้วยวิธีนี้ใช้ได้กับท่อลมส่งเท่านั้น สำหรับสมการความดันสถิตย์ได้คืนที่นิยมใช้ คือ

$$\Delta P_r = R(V_i^2 - V_{i+1}^2)\frac{\rho}{2}, \qquad i = 1, 2, \ldots, n-1 \qquad (2.2)$$



รูปที่ 2.1 แสดงความดันสถิตย์ได้คืนในระบบท่อที่มีจุดแยก

สมการ (2.2) ได้มาจากการใช้สมการ Bernoulli กับเส้นการไหลใดๆ (Streamline) ในระบบท่อเส้นเดียว (Single duct system) ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมวลของอากาศที่จุดแยก แต่ในทางปฏิบัติระบบท่อลมโดยทั่วไปมักจะเป็นระบบที่มีความซับซ้อน (Multiple duct system) และมีจุดแยกมากมาย ค่าความดันสถิตย์ที่ได้คืนจึงไม่เป็นไปตามสมการ (2.2) โดยสมการความดันสถิตย์ได้คืนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมวลของอากาศที่จุดแยก ที่ได้จากการใช้สมการพลังงานกับระบบท่อลมในรูปที่ 2.1 คือ

$$\Delta P_r = R\left[\frac{Q_s}{Q_c}(V_c^2 - V_s^2) + \frac{Q_b}{Q_c}(V_c^2 - V_b^2)\right]\frac{\rho}{2} \qquad (2.3)$$

จากสมการ Darcy-Weisbach ซึ่งเป็นสมการแสดงค่าความดันสูญเสียของท่อลม ตามที่ได้แนะนำไว้ใน ASHRAE Fundamental Handbook (1993) จะได้สมการแสดงค่าความดันสูญเสียของท่อรวม c ในรูปที่ 2.1 เป็น

$$\Delta P_c = \left[\frac{fL_c}{D_c} + \sum C\right]\frac{\rho V_c^2}{2} \qquad (2.4)$$

ซึ่งค่า f ในสมการ (2.4) หาได้จาก

$$f' = 0.11\left(\frac{\varepsilon}{D_c} + \frac{68}{Re_c}\right)^{0.25} \qquad (2.5)$$

โดย ถ้า $f' \geq 0.018 : f = f'$

หรือถ้า $f' < 0.018 : f = 0.85f' + 0.0028$

จากความต้องการของวิธี Static Regain แทนสมการ (2.3) เท่ากับ (2.4) จะได้

$$R = \frac{\left[(fL_c / D_c) + \sum C\right]V_c^2 Q_c}{V_c^2 Q_c - (V_s^2 Q_s + V_b^2 Q_b)} \qquad (2.6)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และจากสมการ (2.6) แสดงให้เห็นว่าค่าของ R นั้นยากต่อการทำนายเนื่องจากค่า V_s และ V_b ไม่สามารถที่จะกำหนดได้ก่อนการคำนวณ นอกจากนี้ค่า ΣC ในสมการนี้ยังขึ้นกับขนาดของท่อ s และท่อ b ที่ยังไม่ทราบค่าอีกด้วย

ในปี ค.ศ. 1966 Shataloff ได้กล่าวเอาไว้ว่า " การเปลี่ยนแปลงความเร็วไปเพียงเล็กน้อยประมาณ 1 - 3% จะมีผลทำให้ค่าของ R เปลี่ยนไปประมาณ 20% ซึ่งค่าความดันสถิตย์ได้คืนก็จะเปลี่ยนไป 20% เช่นกัน "

อย่างไรก็ตามได้มีการกำหนดให้ค่าดังกล่าวเป็นค่าคงที่ในการออกแบบ เพื่อให้สามารถทำการออกแบบได้โดยสะดวก ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง และได้มีการเสนอไว้เป็นลำดับดังนี้

- Carrier et al. (1940) ได้แนะนำให้ใช้ R = 0.7 - 0.8 ภายใต้สภาวะอุดมคติ และ 0.5 สำหรับการออกแบบจริง
- Ashley et al. (1956) ได้แนะนำให้ใช้ R = 0.9 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลองของเขาที่ได้ค่าแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วง 0.63 - 1.15
- ASHRAE Guide (1958) ได้แนะนำให้ใช้ R = 0.75
- Carrier' s System Design Manual (1960) ได้แนะนำให้ใช้ R = 0.75
- Trane' s Air Conditioning Manual (1965) ได้แนะนำให้ใช้ R = 0.75
- SHASE' s Air Condition and Sanitary Handbook (1981) ได้แนะนำให้ใช้ R = 0.8
- Inoue' s Air Conditioning Handbook (1981) ได้แนะนำให้ใช้ R = 0.5 - 0.8

จากสมการ (2.3) และ (2.6) จะเห็นได้ว่าในการหาค่าของ R นั้น จะต้องสมมุติค่าความเร็วในท่อต่างๆ ขึ้นมาก่อน แล้วจึงใช้เทคนิคการคำนวณซ้ำ เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องหรือใกล้เคียงในการออกแบบ ซึ่งเป็นไปได้ยากมากในทางปฏิบัติ

ดังนั้นวิศวกรหรือผู้ออกแบบจึงนิยมออกแบบโดยใช้สมการ (2.2) และกำหนดให้ R มีค่าคงที่ ซึ่งพบว่าระบบที่ได้มักจะไม่เป็นไปตามที่ต้องการ กล่าวคือค่าความดันสถิตย์ที่จุดแยกแต่ละจุดภายในระบบท่อลมมีค่าไม่เท่ากัน และตั้งแต่ปี ค.ศ. 1985 - 1993 ASHRAE Guide ก็ไม่ได้แนะนำค่าของ R อีกเลย

3. วิธี Velocity Reduction มีแนวคิดในการออกแบบคือ เลือกขนาดของท่อลมในระบบที่ทำให้ความเร็วของอากาศที่ไหลภายในท่อลดน้อยลงเป็นลำดับจากท่อต้นทางไปยังท่อปลายทางซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$V_{i+1} = uV_i \ , \qquad i = 1, 2, \ldots, n-1 \qquad (2.7)$$

ทั้งนี้เพื่อลดความสูญเสียทางพลศาสตร์ (dynamic loss) และป้องกันการเกิดเสียงรบกวนจากท่อลม

แต่วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากผู้ออกแบบจะต้องมีประสบการณ์พอสมควร เกี่ยวกับการที่จะเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การลดความเร็ว, u ซึ่งมีการแนะนำค่าให้อยู่ในช่วง 0.6 - 1.0

จะเห็นได้ว่าการออกแบบโดยวิธีนี้มีข้อบังคับที่ค่อนข้างแน่นอน คือมีการกำหนดค่าของ u ซึ่งคล้ายคลึงกับวิธี Equal friction ที่มีการกำหนดค่า $\Delta P/L$

Carrier Handbook of Air Conditioning System Design (1965) ได้กล่าวถึงวิธีนี้ว่าใช้ได้ดีกับระบบท่อที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และจำเป็นต้องมีการใช้บานปรับแบ่งลม (Spliter Damper) ช่วยในการปรับสมดุลความดัน

4. วิธี Constant Velocity จะเห็นได้ว่าวิธีนี้เป็นกรณีหนึ่งของวิธี Velocity Reduction ซึ่งใช้ค่า u=1 เพื่อให้ความเร็วของอากาศในท่อมีค่าคงที่ โดยทั่วไปมักใช้กับงานส่งอนุภาคหรือฝุ่นละอองทางท่อลม ซึ่งจะต้องมีการกำหนดค่าความเร็วต่ำสุดค่าหนึ่งที่สามารถส่งอนุภาคหรือฝุ่นละอองไปโดยไม่ทำให้มันเกิดการตกค้างในท่อลม

จากผลที่ได้ทำการสำรวจและวิเคราะห์นี้ พอที่จะสรุปได้ว่า แนวคิดในการออกแบบระบบท่อลมด้วยวิธีทั้ง 4 นี้ ไม่ได้มีการพิจารณาถึงเงื่อนไขที่จะทำให้เกิดสภาวะเหมาะสมเลย เพราะว่าในแต่ละวิธีมีกฎเกณฑ์ที่ค่อนข้างแน่นอนดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าระบบท่อลมซึ่งเป็นผลที่ได้จากการออกแบบในแต่ละวิธีที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จำเป็นต้องมีการใช้บานปรับลมช่วยในการปรับสมดุลเสมอ