

การศึกษาวิธีการออกแบบสำหรับท่อลมที่ทำจากผ้า

Study on Fabric Duct Design Method

ทวีพงศ์ สิริคุตตานนท์¹ และ เชิดพันธ์ วิฑูราภรณ์²¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

Email: taweephong.s@gmail.com, โทร: 080-947-3106

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

Email: chirdpun@hotmail.com

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีจุดมุ่งหมายในการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของท่อลมผ้า เพื่อนำไปสู่การพัฒนาวิธีการออกแบบท่อลมผ้าและหาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ ที่มีความสำคัญในการออกแบบ โดยมีการแบ่งงานออกเป็น 4 ส่วนคือ การทดลองเกี่ยวกับคุณลักษณะการไหลของลมผ่านท่อลมผ้า, การทดสอบเพื่อหาแรงดึงที่เกิดขึ้นในเศษชิ้นผ้าที่ทำท่อลม การจำลองการไหลด้วยโปรแกรม (Ansys Fluent v.14) และการคำนวณโดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองการไหล ซึ่งให้หาค่าความดันสถิต ความเร็วและมุมการไหลผ่านรูเปิดตามแนวท่อลม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากขาเข้าจนถึงท่อปลายปิด ในขณะที่ปัจจัยที่ส่งผลต่อความดันโดยรวมที่เกิดขึ้นในท่อลมผ้าคือ ความเสียดทานสูญเสียที่เกิดจากความขรุขระของผิวท่อ เนื่องจากชนิดของวัสดุ ลักษณะของการเจาะรูเปิด และความตึงของท่อลมที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ จากการที่วัสดุที่ใช้ทำท่อลมผ้าจะต้องมีเกณฑ์ขั้นต่ำของความเค้นที่ทำให้ท่อลมผ้าสามารถงอรูปได้ โดยค่าความเค้นดังกล่าวแปรผันตรงกับความดันสถิตที่เกิดขึ้นที่แต่ละตำแหน่งของท่อลมผ้า ทำให้การออกแบบท่อลมผ้าจำเป็นต้องให้ความสำคัญในเรื่องการกระจายตัวของความดันสถิตที่เกิดขึ้นภายในท่อลมผ้า โดยการกระจายตัวดังกล่าวสามารถหาได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้นแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับผลที่ได้จากการทดลองและการใช้โปรแกรมจำลองการไหล แต่พบว่ายังมีค่าความผิดพลาดอยู่บ้าง อันเนื่องมาจากการเลือกใช้สมการในการหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลออก ทำให้ต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองที่สร้างขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณและออกแบบได้อย่างเหมาะสม

คำหลัก: ท่อลมผ้า; ความดันสถิต; ความเร็วการไหล; ความดันสูญเสีย; แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Abstract

The purposes of this project are to study and develop the mathematical model of fabric duct in order to develop a fabric duct design method and to find variation of variables that play important roles in fabric duct design. The project is divided into 4 major parts. The first part is an experiment to study air flow characteristic through fabric duct. The second part is to find tensile stresses occurred on fabric duct material. The third part is to simulate flow characteristic using flow simulation program (Ansys Fluent v.14) and the last part is to calculate flow characteristic using mathematical model developed. Results obtained from air flow experiments show that static pressure, flow velocity, and flow direction through lateral

TSF-262

openings along the duct have a tendency to increase along the duct length. While factors that affect pressure drop in fabric duct are the friction loss from the roughness, the ratio between lateral opening area and duct cross section (aperture ratio) and flow velocity inside the duct. Moreover since material of fabric duct must have a minimum stress to maintain its shape in which this stress is varied directly with static pressure occurred at each position along the duct. Therefore it is very important to know how the static pressure is distributed along the duct. This distribution can be found from mathematical model developed. Results obtained from the model indicate similar trend of characteristic obtained from experiments and flow simulations. However there is still a small different between values obtained due to equation used for determining the discharge coefficient in the model. Therefore the mathematical model developed has to be modified for properly usage in calculation and design.

Keywords: Fabric Duct; Static pressure; Flow velocity; Pressure loss; Mathematical model

1. บทนำ

ระบบปรับอากาศที่ใช้ในการปรับอากาศเพื่อควบคุมและรักษาสภาวะแวดล้อมของอากาศภายในบริเวณหนึ่งๆ จำเป็นต้องอาศัยระบบการกระจายลมที่ดี เพื่อสร้างความสม่ำเสมอของสภาพอากาศภายในห้อง และก่อให้เกิดภาวะสุขสบายต่อผู้อยู่อาศัยในบริเวณนั้น ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการปรับอากาศ ปัจจุบัน ระบบการกระจายลมส่วนใหญ่จะใช้ท่อลมที่ทำจากสังกะสี โดยมีการตีขึ้นรูปท่อลมที่หน้างานหรือใช้ท่อลมสังกะสีสำเร็จรูป อย่างไรก็ตาม การใช้ท่อลมดังกล่าวในบางบริเวณที่ต้องการใช้ท่อลมเพื่อการตกแต่ง จำเป็นต้องมีการทาสีปิดทับผิวท่อ ซึ่งไม่สะดวกและสวยงาม ทำให้ต้องมีการวัสดุใหม่ ๆ ที่มีความสวยงามเข้ามาแทนที่ ซึ่งท่อลมที่ทำจากผ้าสามารถที่จะตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้เป็นอย่างดีและเริ่มเข้ามามีบทบาทในงานระบบกระจายลมมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวัสดุผ้ามีความสามารถในการคงรูปที่ต่ำ ทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำวิธีการออกแบบท่อลมที่มีอยู่ในปัจจุบันมาใช้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาวิธีการออกแบบท่อลมเพื่อให้เหมาะกับท่อลมที่ทำจากผ้าโดยเฉพาะ

2. ลักษณะของท่อลมผ้า

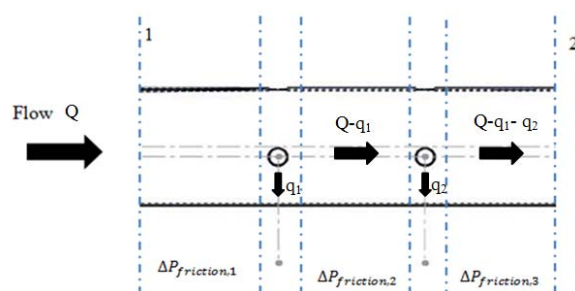
ท่อลมผ้าส่วนใหญ่จะเป็นท่อลมที่มีรูและทำด้วยวัสดุไม่คงตัว ทำให้การพิจารณาตัวแปรต่างๆภายใน

ระบบการไหลผ่านท่อลมผ้านี้ จะมีความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีตัวแปรหลายตัวที่จะทำให้ผลของการไหลนั้นแปรเปลี่ยนไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการกำหนดสมมติฐานเบื้องต้น และใช้ทฤษฎีพื้นฐานจากวิชากลศาสตร์ของไหล และกลศาสตร์วัสดุ มาพิจารณาและนำไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลผ่านท่อลมผ้า

ภาพรวมของความดันสูญเสียที่เกิดในท่อลมผ้าดังรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าผลต่างของแรงดันรวม ในการไหลผ่านท่อลมผ้า จะเกิดจากผลรวมของความดันตกจากความเสียดทานของผิวท่อ ($\Delta P_{friction}$) ในความเร็วการไหลที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการสูญเสียมวลของอากาศจากรูเปิด รวมทั้งการไหลผ่านข้อต่อต่างๆ ดังสมการที่ 1 และ 2

$$\Delta P_t = \left[\sum_{i=1}^n \Delta P_{friction} \right] + \left[\sum_{i=1}^n \Delta P_{fitting} \right] \quad (1)$$

$$(P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2) = (P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2) + \left[\sum_{i=1}^n f_i \left(\frac{1}{2} \rho V_i^2 \right) \right] + \left[\sum_{i=1}^n K_i \left(\frac{1}{2} \rho V_i^2 \right) \right] \quad (2)$$

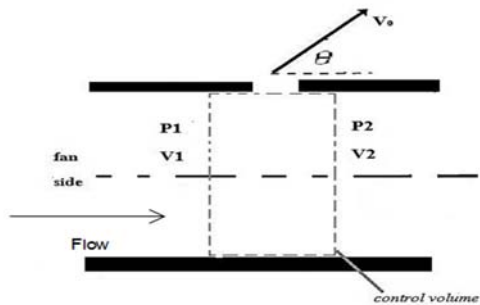


รูปที่ 1 : ความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นในการไหลผ่านท่อลมผ้า ([5] Prihoda, 2012)

TSF-262

3. ทฤษฎี และ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะพิจารณาปริมาตรควบคุมดังรูปที่ 2 ที่จะครอบคลุมถึงการไหลในท่อปกติและการไหลผ่านท่อลมผ้า ซึ่งจะนำสมการต่างๆ มาจัดเรียงเป็นขั้นตอนการคำนวณ



รูปที่ 2 : ปริมาตรควบคุมที่พิจารณาในท่อลมผ้า ([2] Gardel, 1956)

3.1 สมมุติฐานในการสร้างแบบจำลอง

- การไหลเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้
- การไหลเป็นการไหลที่พัฒนาเต็มที่
- การไหล 2 มิติ, การไหลคงตัว
- การไหลแบบปั่นป่วน
- ไม่คำนึงถึงการถ่ายเทความร้อนใดๆ
- วัสดุที่ทำท่อลมผ้าต้องไม่มีอากาศรั่วไหลออก

นอกเหนือจากตำแหน่งที่กำหนดไว้

3.2 สมการความต่อเนื่อง

เมื่อพิจารณาปริมาตรควบคุมเป็นการไหลแบบคงตัว และการไหลเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ จะทำให้อัตราการไหลเข้าเท่ากับอัตราการไหลออก

$$V_1 = V_2 + \frac{q_0}{A} \quad (3)$$

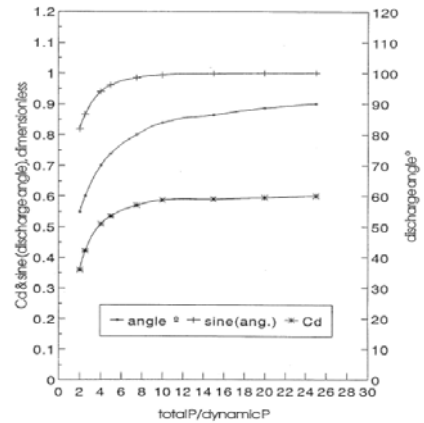
3.3 รูปเปิดของท่อลมผ้า

3.3.1 อัตราการไหลผ่านรูปเปิด

การหาอัตราการไหลผ่านรูปเปิดสามารถหาจากสมการ (4) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลออก (Discharge Coefficient, Cd) ที่ได้จากการทดลอง

$$q_0 = C_d A_0 \sqrt{\frac{2(P_x - P_{air})}{\rho}} \quad (4)$$

ซึ่งในโครงการนี้จะเลือกใช้ค่า Cd จากกราฟของนิวแมนในการคำนวณดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 : Outlet Discharge Coefficient ([2] Newman, 1989)

3.3.2 มุมของอากาศที่ไหลผ่านรูป

เนื่องจากอัตราการไหลภายในท่อมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งความยาวของท่อ ทำให้ความเร็วในการไหลผ่านรูปและมุมการไหลขาออกมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยการใช้การคำนวณจากสมการ (4) ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองจะสามารถพิจารณาหามุมการไหลผ่านรูปเปิดตามสมการ (5)

$$\cos(\theta) = \frac{V_1 + V_2}{2\sqrt{2\left(\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2}\right)}} \quad (5)$$

3.4 การสูญเสีย

การไหลภายในท่อที่ผ่านอุปกรณ์ต่างๆ จะมีการสูญเสียเกิดขึ้น เรียกว่า ค่าการสูญเสียรวม ซึ่งเป็นผลรวมของค่าการสูญเสียหลักกับค่าการสูญเสียรอง

3.4.1 การสูญเสียหลัก

เป็นค่าการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากผลของแรงเสียดทานจากการไหลที่พัฒนาเต็มที่ภายในท่อ โดยขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ความยาวท่อ ความหยาบของผิววัสดุ ความหนืดของไหล และความเร็วในการไหล ตามสมการ (6)

$$\Delta P_m = \rho f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \quad (6)$$

โดย f เป็นค่าตัวประกอบความเสียดทาน คำนวณโดยใช้สมการ (7)

$$f = 0.25 \left[\log \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{5.74}{Re_d^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad (7)$$

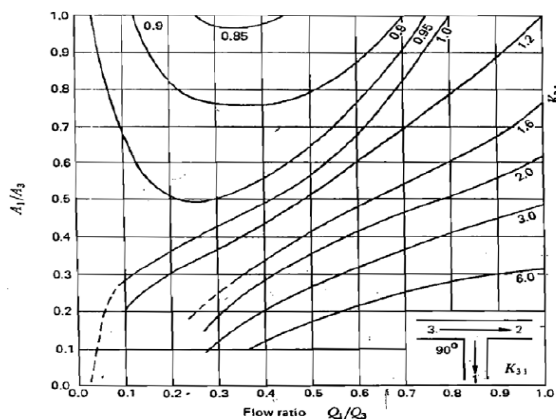
TSF-262

3.4.2 การสูญเสียแรง

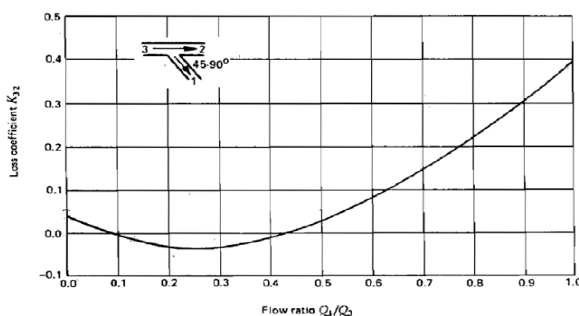
เป็นค่าการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์ท่อ หรือข้อต่อต่างๆ ซึ่งค่า K หรือ Local loss coefficient เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง เขียนอยู่ในรูปของความดันลดได้เป็น

$$\Delta P_{ml} = K\rho \frac{V^2}{2} \quad (8)$$

การเลือกค่า K มาใช้ในการคำนวณสามารถเลือกได้จากตารางของ Ashrae Fitting Database หรืออาจใช้กราฟของ Gardel^[2] ที่มองเป็นลักษณะการไหลผ่านข้อต่อ 3 ทางในกรณีการไหลแยกกัน (Dividing Flow) ดังรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 4 : ค่า K ของการไหลแบบแยก ที่มีมุม 90 องศา ([1]Newman, 1989)



รูปที่ 5 : ค่า K ของการไหลแบบแยก ที่มีมุม 45-90 องศา ([1]Newman, 1989)

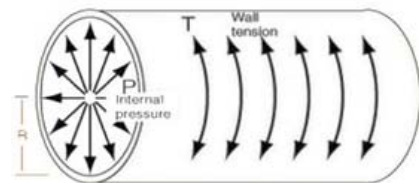
3.5 ความตึงของวัสดุ ไม่คงตัว

จากการที่วัสดุทำท่อลมผ้าทำจากวัสดุไม่คงรูป หากปล่อยให้ท่อลมมีค่าความตึงผิวของวัสดุน้อยเกินไป จะส่งผลให้รูปร่างของท่อที่ทำจากวัสดุนั้นไม่ได้อุปสรรคตามที่ต้องการ และยังมีผลกระทบต่อตัวแปร

อื่นๆ ด้วย ดังนั้นการพิจารณาการไหลเพื่อหาค่าความตึงของวัสดุที่เหมาะสมและไม่กระทบต่อการไหลจึงเป็นสิ่งสำคัญ

3.5.1 สมการความเค้นของท่อลมผ้า

เมื่อพิจารณาท่อลมที่มีปลายปิด จะสามารถสมมติให้มีลักษณะคล้ายถึงเก็บความดันรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 6 ซึ่งความดันที่ระยะใดๆ จะมีค่าเท่ากับทุกจุดในแนวรัศมี



รูปที่ 6 : Cylindrical Pressure Vessel

จากสมการสมดุลของแรง จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างHoop Stress และความดันภายในท่อที่ตำแหน่งใดๆของท่อ ดังนี้

$$\sigma_h = \frac{PR}{t} \quad (9)$$

3.5.2 การพิจารณาความตึงของท่อลมผ้า

การบอกว่าท่อลมผ้า ณ ขณะนั้นมีความตึงที่เหมาะสมหรือไม่นั้นกระทำได้ยาก เนื่องจากการมองด้วยสายตาอย่างเดียวอาจไม่สามารถบ่งบอกได้ หรือหากใช้ความพึงพอใจของแต่ละบุคคลจะไม่สามารถบ่งบอกลักษณะที่เหมาะสมได้อย่างแท้จริง จึงได้กำหนดเกณฑ์ในการพิจารณาความตึงของท่อลมผ้าไว้ 3 เกณฑ์ ดังนี้

- ใช้สายตาพิจารณา: เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการบอกคร่าวๆได้ว่าท่อลมผ้าขณะนั้นตึงหรือไม่ ด้วยการมองว่าท่อลมผ้าไม่มีรอยย่นของผ้าอย่างเห็นได้ชัด และยังสามารถคงรูปได้ดี ไม่มีส่วนใดหย่อนลงมา

- ใช้เข็มวัดวัดเป็นเกณฑ์อ้างอิง: ขณะที่ส่งลมไปตามท่อลมผ้า หากนำเข็มวัดวัดขนาดเท่ากับขนาดของท่อลมผ้า ไปไว้ ณ ตำแหน่งใดๆของท่อลมผ้า เมื่อทำการส่งลมไปตามท่อลมผ้า หากตึงจะพบว่าระยะเผื่อของผ้ากับเข็มวัดวัดนั้นจะน้อย แต่หากไม่ตึงแสดงว่าระยะเผื่อของผ้ากับเข็มวัดวัดนั้นจะมาก

TSF-262

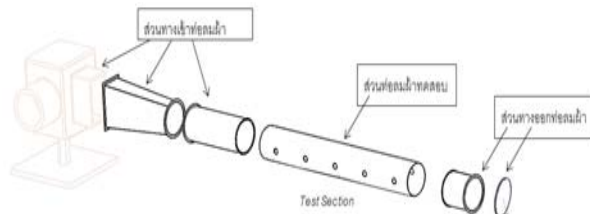
- ใช้เกจวัดความเครียด (Strain Gauge): เป็นวิธีที่สามารถบอกความตึงได้เป็นตัวเลขด้วยค่าความเครียด หากท่อลมผ้าตึง ค่าความเครียดที่เครื่องอ่านได้จะต้องมีค่ามากกว่าค่าเริ่มต้นของตัว Strain Gauge นั้น

3.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะนำสมการจากหัวข้อที่ 3.1 ถึง 3.5 มาใช้ในการคำนวณกับระบบที่ต้องการ โดยแบ่งระบบเป็นช่วงการไหลต่างๆ ตามลักษณะของรูเปิดที่เกิดขึ้น

4. การทดลอง

งานวิจัยนี้ ได้จัดทำชุดทดลองขึ้น เพื่อทำการทดลองการไหลของอากาศผ่านท่อลมผ้า โดยชุดทดลองจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนทางเข้าท่อลมผ้า ส่วนท่อลมผ้าทดสอบ และส่วนทางออกท่อลมผ้า (รูปที่ 7) ซึ่งส่วนที่เป็นท่อลมผ้าทดสอบจะทำด้วยวัสดุคล้ายกับร่มชูชีพ(parachute) ในขณะที่ส่วนอื่นๆจะเป็นท่อลมเหล็ก



รูปที่ 7 : ชุดทดสอบท่อลมผ้า

4.1 ส่วนท่อลมผ้าทดสอบ

ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใช้เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆของการไหลผ่านท่อลม โดยส่วนนี้จะมีลักษณะของท่อลมที่ทำด้วยวัสดุไม่คงรูป ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้เป็นท่อลมที่ทำจากผ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อประมาณ 254 มิลลิเมตร(10 นิ้ว) และความยาวสูงสุด 5.3 เมตร

ตารางที่ 4-1 ท่อลมผ้าทดสอบ

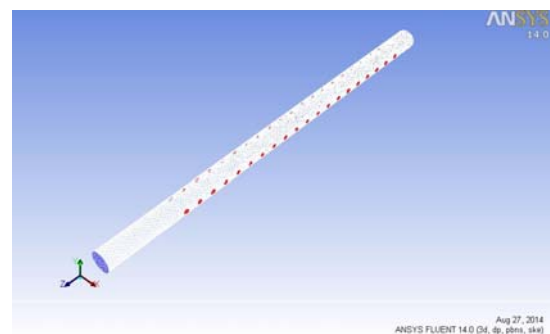
ท่อลมผ้า	ขนาดท่อ [นิ้ว]	ความยาว [เมตร]	ขนาดรูเปิด [นิ้ว]	จำนวน	AR.
แบบที่ 1	10	5.3	2.5	10	0.625
แบบที่ 2	10	5.3	2.5	20	1.25
แบบที่ 3	10	5.3	2.5	40	2.5

หมายเหตุ Aperture Ratio (A.R.)= อัตราส่วนพื้นที่รูเปิดทั้งหมดต่อพื้นที่หน้าตัดของท่อ

4.2 แนวทางการทดลอง

ตัวแปรที่จะทำการศึกษา ซึ่งเกี่ยวข้องกับการไหลภายในท่อลมผ้าที่มีลักษณะรูเปิดแตกต่างกัน ได้แก่ ค่าความดันลด ค่าความเค้นที่เหมาะสม การกระจายตัวของตัวแปรต่างๆ ซึ่งจะทำให้การทดสอบกับท่อลมผ้ารูปแบบที่ 1 ถึง 3 โดยจะทำการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของพัดลม 7 ค่าคือ 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 เฮิร์ต รวมทั้งทำการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และจำลองการไหลด้วยโปรแกรม Ansys Fluent v.14 (รูปที่ 8)

ในการพิจารณาตัวแปรต่างๆ จะสนใจการทดลองที่ความถี่ 60 เฮิร์ตของท่อลมผ้าทั้ง 3 รูปแบบ เนื่องจากเป็นช่วงที่ท่อลมผ้ามีความคงรูปอย่างเหมาะสม



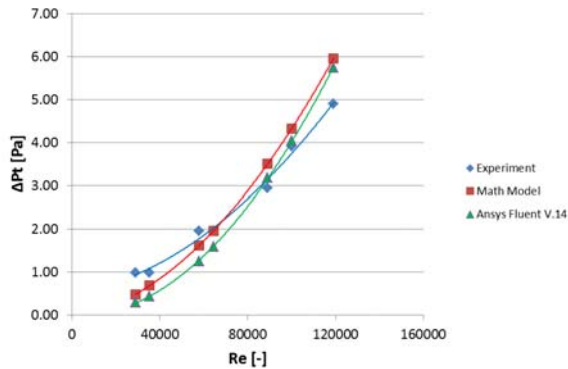
รูปที่ 8 : ทดสอบท่อลมผ้า 3 มิติด้วยโปรแกรม Ansys Fluent v.14

5. การวิเคราะห์ผล และ เปรียบเทียบผล

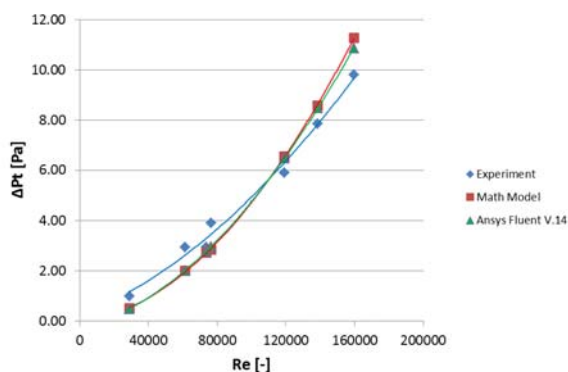
5.1 ผลลัพธ์ของค่าความดันลดรวมที่เกิดขึ้น

หากพิจารณารูปที่ 9 ถึง 11 จะพบว่าเมื่อตัวเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความดันลดมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการความเร็วการไหลและความขรุขระของผิวในท่อแต่ละส่วนที่เกิดขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 วิธีคือ การทดลอง การจำลองการไหลด้วยโปรแกรมและการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันและมีค่าความผิดพลาดในระดับที่ยอมรับได้

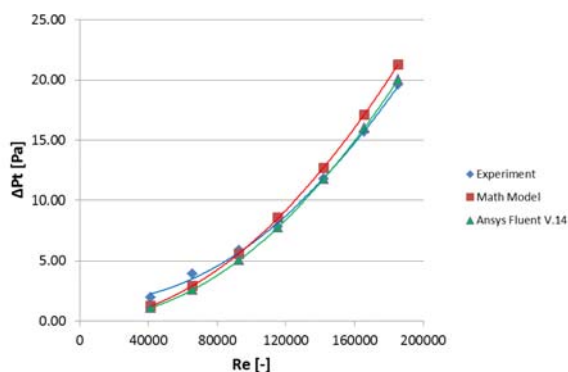
TSF-262



รูปที่ 9 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดันสูญเสียรวมต่อตัวเลขเรย์โนลด์ สำหรับแบบที่ 1



รูปที่ 10 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดันสูญเสียรวมต่อตัวเลขเรย์โนลด์ สำหรับแบบที่ 2

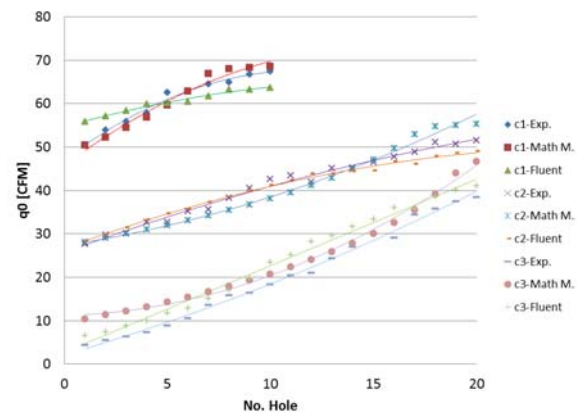


รูปที่ 11 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดันสูญเสียรวมต่อตัวเลขเรย์โนลด์ สำหรับแบบที่ 3

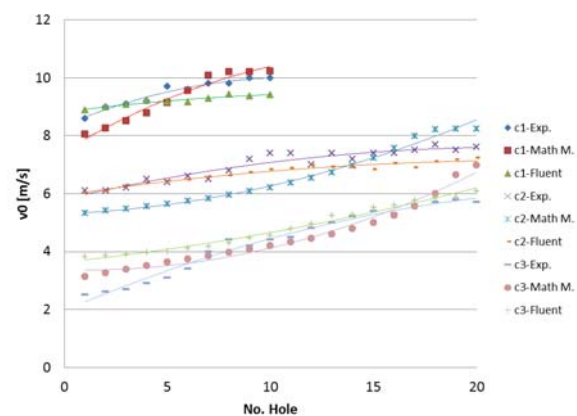
5.2 ผลลัพธ์ของการกระจายตัวของตัวแปรต่าง ๆ ภายในการไหลผ่านท่อลมผ้า

จากรูปที่ 12 ถึง 14 พบว่าเมื่อลมไหลผ่านท่อที่มีรูที่อยู่ตำแหน่งห่างจากแหล่งจ่ายลมซึ่งในที่นี้คือพัดลม ยิ่งอยู่ห่างมากเท่าไร ก็จะมีค่าอัตราการไหลออก

ความเร็วและมุมการไหลผ่านรูเปิดเพิ่มมากขึ้นสำหรับขนาดท่อลมที่คงที่ ซึ่งเป็นผลมาจากการมีการไหลผ่านรูเปิด ทำให้มวลของอากาศลดลง ความดันจลน์ลดลง และถูกแปรเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของความดันสถิตที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมากกว่าความดันที่สูญเสียไปจากการไหลภายในท่อ ส่งผลให้ความดันสถิตเพิ่มขึ้นตลอดความยาวท่อและมีค่ามากที่สุดที่ปลายท่อ ซึ่งเป็นปลายปิดความเร็วจะเป็นศูนย์ นอกจากนี้ จากสมการเบอร์นูลลี ความเร็วผ่านรูเปิดจะขึ้นอยู่กับความดันตกคร่อมรูเปิด ทำให้ความดันตกคร่อมในท่อลมยิ่งสูง จะทำให้ความเร็วและมุมการไหลผ่านรูเปิดสูงตามไปด้วย ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดลอง

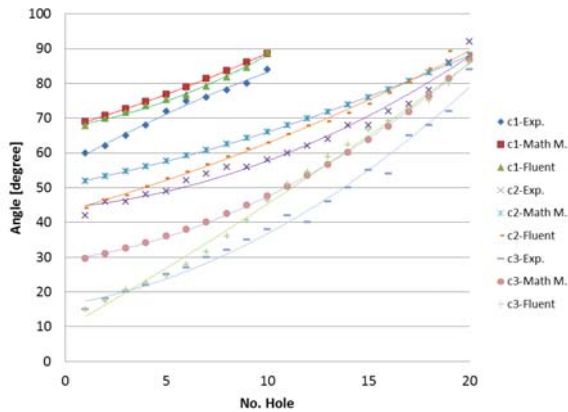


รูปที่ 12: แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลออกต่อตำแหน่งรูเปิด ในท่อรูปแบบที่ 1 ถึง 3 ความถี่ 60 Hz



รูปที่ 13: แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรูเปิดต่อตำแหน่งรูเปิด ในท่อรูปแบบที่ 1 ถึง 3 ความถี่ 60 Hz

TSF-262

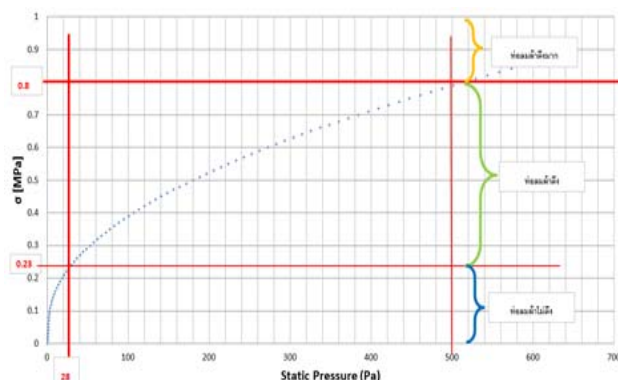


รูปที่ 14: แสดงความสัมพันธ์ของมุมการไหลผ่านรูเปิด ต่อตำแหน่งรูเปิดในท่อรูปแบบที่1ถึง3 ความถี่ 60Hz

5.3 ผลลัพธ์ของการทดสอบแรงดึงของผ้า

เนื่องจากผ้าจัดว่าเป็นวัสดุยืดหยุ่น ดังนั้น จึงใช้วิธี 0.2% Offset ในการพิจารณาหาความเค้นครากและยัง โมดูลัสที่มีความสำคัญในการออกแบบใช้งานวัสดุ ได้ ผลลัพธ์ว่าผ้าที่ใช้มีค่ายังโมดูลัส 172 MPa และค่า ความเค้นคราก 20 MPa ซึ่งค่าความเค้นครากนี้มีความใกล้เคียงกับลักษณะของผ้าที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแรงดึง

รูปที่ 15 แสดงให้เห็นว่าสำหรับเกณฑ์ในการ ออกแบบท่อลมผ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว จำเป็นต้องใช้ความดันขั้นต่ำที่ 28 Pa เพื่อให้ความเค้นที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับที่สูงกว่า 0.23 MPa รวมทั้งยังมีความจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดเกณฑ์ขั้นสูงไว้ เพราะหากเพิ่มความดันไปเรื่อยๆ ท่อลมผ้าจะเกิดการครากขึ้นที่จุดความเค้นคราก(20MPa) ซึ่งในโครงการนี้ได้กำหนดเกณฑ์ความเค้นขั้นสูงสุดที่จะเกิดขึ้นได้เท่ากับ 0.8 MPa ที่ค่าความปลอดภัย(Safety Factor) = 25



รูปที่ 15 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นต่อความดันที่เหมาะสมของวัสดุท่อลม ผ้าในโครงการนี้



รูปที่ 16 : ลักษณะของท่อลมผ้าที่เหมาะสม(ซ้าย) ไม่เหมาะสม(ขวา)

5.4 ผลลัพธ์การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาคำนวณเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการทดลองและการจำลองการไหลด้วยโปรแกรม พบว่าแนวโน้มค่าความดันลด อัตราการไหลออก ความเร็วและมุมการไหลผ่านรูเปิดจากการทดลอง การใช้โปรแกรมและแบบจำลองมีแนวโน้มทางเดียวกัน แต่ผลลัพธ์ที่ได้ยังมีค่าความผิดพลาดอยู่ เนื่องจากการคำนวณแบบประมาณการ ทำให้มีความคลาดเคลื่อนในระดับหนึ่ง รวมทั้งยังอาจเป็นผลมาจากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านรูเปิดของนิวแมนที่ใช้ในการคำนวณ

6. สรุปผล

โครงการนี้เป็นโครงการที่ทำการศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการไหลภายในท่อลมผ้า โดยผลลัพธ์จากการทดลองและการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อความดันสูญเสียในการไหลภายในท่อลมผ้า ได้แก่ อัตราส่วนพื้นที่รูเปิดต่อพื้นที่หน้าตัดของท่อ ความเร็วลม โดยอัตราส่วนพื้นที่ที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ความดันสูญเสียมีค่าเพิ่มมากขึ้น

TSF-262

ในขณะที่ความเร็วที่สูงขึ้นจะส่งผลให้เกิดความสูญเสียมากขึ้นเช่นกัน

2. ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อลักษณะความคงรูปของท่อลมฟ้าที่เกิดขึ้นในการไหล คือ ความดันสถิตและเส้นผ่านศูนย์กลางท่อลม โดยค่าความดันสถิตนั้นจะต้องไม่สูงเกินกว่าค่าความเค้นคราก ทั้งนี้ จะต้องมีการกระจายตัวของความดันสถิตภายในท่อลมฝ้านั้นต่ำที่ทำให้ความเค้น ณ ตำแหน่งใด ๆ มากกว่าหรือเท่ากับความเค้นขั้นต่ำที่ทำให้ท่อลมฝ้านั้นคงรูปได้

3. ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเช่นเดียวกับผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองและการใช้โปรแกรม แต่ค่าที่ได้ยังคงมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ทำให้ต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองที่สร้างขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณและออกแบบได้อย่างเหมาะสม

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เชิดพันธ์ วิทยุราภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา และ แนะนำแนวทางการทำโครงการที่ถูกต้อง รวมทั้งแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำงาน อันนำมาซึ่งความสมบูรณ์ของการทำโครงการ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, กลศาสตร์ของไหล, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2552.
- [2] Gardel, A., Chambres d'Equilibre, Lausanne, Switzerland, 1956.
- [3] Newman B G, A Hydrographic Solution for Flow leaving a Manifold through a slit, Canadian Aeronautics and Space Journal, 1989
- [4] Ductsox, Discover the advantages of ductsox air disoersion, DuctSox Corporation, 2009
- [5] Prihoda, Technical data for distributors, Prihoda, 2012.

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

V	=	อัตราเร็ว (m/s)
P	=	ความดันสถิต (Pa)
Pt	=	ความดันรวม (Pa)
D	=	เส้นผ่าศูนย์กลาง (m)
d	=	เส้นผ่าศูนย์กลางรูเปิด (m)
L	=	ความยาว (m)
R	=	รัศมี (m)
e	=	ความขรุขระ (m)
t	=	ความหนา (m)
Cd	=	สัมประสิทธิ์การจ่าย (Discharge Coefficient)
Q	=	อัตราการไหล (m ³ /s)
q	=	อัตราการไหลผ่านรูเปิด (m ³ /s)
Re	=	ตัวเลขเรย์โนลด์ (-)
f	=	Friction Factor (-)
K	=	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียรอง (-)
μ	=	ความหนืดพลศาสตร์ (kg/m.s)
ρ	=	ความหนาแน่น (kg/m ³)
θ	=	มุมของความเร็วขณะไหลผ่านรูเปิด (°)
σ	=	ค่าความเค้น [MPa]
1	=	ตำแหน่ง 1
2	=	ตำแหน่ง 2
o	=	รูเปิด
x	=	ตำแหน่งใดๆ
air	=	อากาศภายนอก