การศึกษาการไหลของอากาศในท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซี

Study of Air Flow in PVC Canvas Duct

กันต์ธกรณ์ เขาทอง[1*], วีรชัย ชัยวรพฤกษ์[2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ถนน มาลัยแมน ตำบล กำแพงแสน อำเภอ กำแพงแสน จังหวัด นครปฐม รหัสไปรษณีย์ 73140
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ถนน งามวงศ์วาน แขวง ลาดยาว เขต จตุจักร จังหวัด กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10900
*E-mail: fengkkk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาลักษณะการไหลของอากาศในท่อส่งลมของระบบปรับอากาศได้ศึกษามาอย่างต่อเนื่อง วัสดุที่นิยมใช้ทำท่อส่งลมคือแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีซึ่งมีราคาสูง ไม่ทนต่อการกัดกร่อน จึงมีการนำผ้าใบเคลือบพีวีซีหรือพลาสติกชนิดอื่นมาใช้เป็นท่อลมอย่างกว้างขวาง ข้อได้เปรียบของท่อลมพลาสติกคือ เป็นฉนวน ติดตั้งง่าย การออกแบบระบบส่งลมจำเป็นต้องทราบความดันสูญเสียรวมเพื่อนำไปเลือกใช้อุปกรณ์ งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษา ความดันสูญเสีย ของลมในท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 และ 0.35 เมตร โดยผลการศึกษาสามารถนำไปออกแบบระบบส่งลมท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซีได้

คำสำคัญ: ท่อลม, ผ้าใบ, การไหลของอากาศ, ความดันสูญเสีย

Abstract

In order to study characteristic of air flow in ducts the requirements for air conditioning systems are continuously improved. The most popular material used for air ducts is galvanized. Due to its high costs and susceptibility to corrosion processes. other materials, e.g. PVC canvas or other plastics should be used as duct materials more widely. Another advantage of plastic air duct is simple installation, as easy installations are required. Air transportations system design should know total pressure loss for select equipment. The purposes of research are to study pressure loss of air in PVC canvas duct via diameter 0.15 and 0.35 meter which can design air supply of PVC canvas duct as well.

Keywords: Air Duct , Canvas , Air Flow, Pressure Loss

1. ที่มาและความสำคัญ

ระบบปรับอากาศมีความสำคัญต่อความสบายของมนุษย์ ประเทศในเขตร้อนใช้ระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศให้มีความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสม ระบบปรับอากาศประกอบด้วย เครื่องทำน้ำเย็น หอระบายความร้อน ระบบท่อน้ำ ระบบควบคุม ท่อลม แดมเปอร์ แผงกรองอากาศ ระบบควบคุมควัน หัวจ่ายลม และพัดลม (สุรพล พฤษพานิชย์, 2529) อุปกรณ์ขนถ่ายลมจากพัดลมไปหัวจ่ายลมคือท่อลมซึ่งสร้างมาจากแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีตามข้อกำหนดของ SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association) (Wilbert and Jerold, 1982) ท่อลมประเภทนี้มีข้อด้อยคือ ราคาสูง ติดตั้งยาก เป็นตัวนำความร้อน ไม่ทนต่อการกัดกร่อน (กันต์ธกรณ์ และ คณะ, 2557)

ความเจริญก้าวหน้าทางด้านวัสดุศาสตร์ทำให้เกิดวัสดุชนิดใหม่ ผ้าทอพลาสติกเป็นนวัตกรรมสิ่งทอซึ่งถูกนำมาใช้ในการกระจายลมสำหรับระบบปรับอากาศซึ่งเรียกว่า fabric air dispersion system (FADS) มีข้อดีคือกระจายลมได้สม่ำเสมอ ความเร็วลมต่ำ และมีความสวยงาม (Chen, et al., 2013) สำหรับผ้าใบเคลือบพีวีซีถูกพัฒนาขึ้นมาจากการทอเส้นใยโพลีเอสเตอร์เคลือบด้วยพีวีซีสองชั้นและอะคริลิกอีกสองชั้นทั้งผิวบนและผิวล่างทำให้ผ้าใบชนิดนี้มีน้ำหนักเบา รับแรงดึงได้สูง ติดตั้งง่าย (Ambroziak and Klosowski, 2014) เป็นฉนวนความร้อน ทนต่อการกัดกร่อน ความร้อนจากแสงแดดและความชื้น จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในระบบส่งลม(กันต์ธกรณ์ และ คณะ, 2557) แต่การออกแบบระบบส่งลมนั้นผู้ออกแบบต้องทราบถึงปริมาณลม ความเร็วในท่อลม ขนาดท่อลม เพื่อหาความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นและใช้เป็นข้อมูลในการเลือกพัดลมส่ง งานวิจัยนี้จึงทำการทดลองหาความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นในท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซีโดยเปรียบเทียบผลการทดลองการจำลองและการคำนวณ

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวเลขเรย์โนลด์กับเฟกเตอร์ของแรงเสียดทาน ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความดันสูญเสียต่อเมตรจากการทดลอง การไหลของอากาศภายในท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 และ 0.35 เมตร

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1. ความดันสูญเสียการไหลของอากาศภายในตรง

การไหลภายในท่อเป็นการไหลแบบปั่นป่วนความดันสูญเสียหรือความดันลดลงเนื่องจากแรงเสียดทาน (H_f) สามารถหาได้จากสมการ (1) (ASHRE, 2013)

$$H_f = f\frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} = \frac{\Delta P}{\rho g} \quad (1)$$

H_f = เฮดที่สูญเสียจากแรงเสียดทานในท่อส่งลม หน่วย (m)

f = ค่าเฟกเตอร์ของแรงเสียดทาน เป็นตัวแปรไร้หน่วย

L = ความยาวของท่อน้ำหรือท่อส่งลม หน่วย(m)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อน้ำหรือท่อส่งลม หน่วย(m)

V = ความเร็วของของไหลหน่วย(m/s)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก หน่วย(9.81 m/s^2)

ΔP = ความดันสูญเสีย หน่วย (Pa)

ρ = ความหนาแน่น หน่วย (kg/m^3)

Re = ตัวเลขเรย์โนลด์ เป็นตัวแปรไร้หน่วย

ค่าแฟกเตอร์ของแรงเสียดทานจะขึ้นอยู่กับความขรุขระของท่อหรือผนังท่อส่งลม ความขรุขระที่ผิวภายในท่อจะเป็นผลทำให้ความต้านทานจากแรงเสียดทานเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นถ้าต้องการให้ค่าแรงเสียดทานลดลงจะต้องทำให้ผนังท่อเรียบ จากสมการพบว่าถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อโตขึ้นและความเร็วจะลดลงทำให้ค่าแรงเสียดทานลดลงด้วย และมีผลทำให้สิ้นเปลืองพลังงานน้อยลงแต่ว่าราคาท่อน้ำและท่อส่งลมจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากท่อมีขนาดใหญ่ขึ้น การคำนวณหาค่าแรงเสียดทานสามารถคำนวณได้จากสมการ และการอ่านค่าจากแผนภูมิ ซึ่งสามารถอ่านค่าได้ง่ายและให้ข้อมูลเหมือนกับการคำนวณเมื่อพิจารณาค่า f สามารถแสดงความสัมพันธ์กับค่าความขรุขระผิว (**ε**) ได้ดังสมการ (2)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) \quad (2)$$

ดังนั้นจะได้ค่าความขรุขระผิวของวัสดุ (**ε**) มีหน่วยมิลลิเมตร

3.2. ความยาวท่อลมยังผล

ความเร็วลมภายในท่อหลังออกพัดลมจะมีลักษณะรูปร่างการไหลเปลี่ยนไปตามระยะทาง โดยระยะทางที่ทำให้รูปร่างการไหลเต็มท่อหาจากสมการ (3) และ (4) (ASHRE, 2013)

สำหรับ $V_0 > 13$ m/s ; $L_e = \frac{V_0\sqrt{A_0}}{4500}$ (3)

สำหรับ $V_0 \leq 13$ m/s ; $L_e = \frac{\sqrt{A_0}}{350}$ (4)

V_0=ความเร็วในท่อส่งลม (m/s)

L_e= ระยะสามยาวท่อยังผล (m)

A_0 = พื้นที่หน้าตัดท่อ (mm^2)

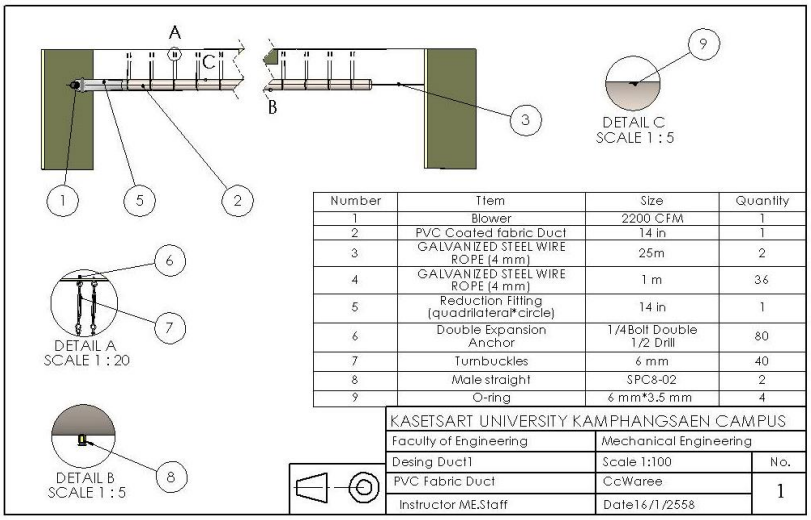
3.3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาการไหลของอากาศในท่อลมที่สร้างจากวัสดุจำพวกพลาสติก อาทิ ทวีพงศ์และเชิดพันธ์ (2557) ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การไหลของอากาศในท่อลมผ้า ผลการศึกษาพบว่าความดันสถิต ความเร็ว และมุมการไหลผ่านรูเปิดตามแนวท่อลม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากขาเข้าจนถึงปลายปิด สำหรับความดันสูญเสียจะแปรผันตามตัวเลขเรย์โนลด์ โดยปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความดันสูญเสียคือค่าความขรุขระของผิวท่อ นอกจากนี้ Gladyszewska-Fiedorukและคณะ (2011) ทำการวัดการกระจายตัวความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านท่อพีวีซีใสตามแนวภาคตัดเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Colebrooke-White, Blasius, Prosnak และ Walden พบว่าแบบจำลองของ Blasius ให้ความคลาดเคลื่อนมากสุดส่วนแบบจำลองของ Colebrooke-White ให้ความคลาดเคลื่อนน้อยสุด ในปีเดียวกัน Chenและคณะ (2011) ทอลองและจำลองการแพร่ของลมผ่านท่อหน้าตัดครึ่งวงกลมในระบบส่งลมแบบ FADS โดยการทดลองและการจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ พบว่าความเร็วลมในทิศตั้งฉากจะต่ำกว่าในแนวขนานท่อ ต่อมา Chen และคณะ (2013) ทดลองและจำลองหาความเร็ว ความดันสถิต ความดันรวม ของลมที่ตำแหน่งต่างๆของท่อหน้าตัดครึ่งวงกลมในระบบส่งลมแบบ FADS ผลการศึกษาพบว่าความเร็วลม ความดันสถิต ความดันรวม แปรผกผันกับความยาวท่อ หากพิจารณาความเร็ว physical พบว่าแปรผกผันกับความพรุนของท่อ ส่วนความเร็ว superficial จะมีค่าสูงสุดที่ความพรุนท่อประมาณ 0.67 จากการตรวจเอกสารพบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดศึกษาการไหลของอากาศภายในท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซี

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1. ชุดทดลอง

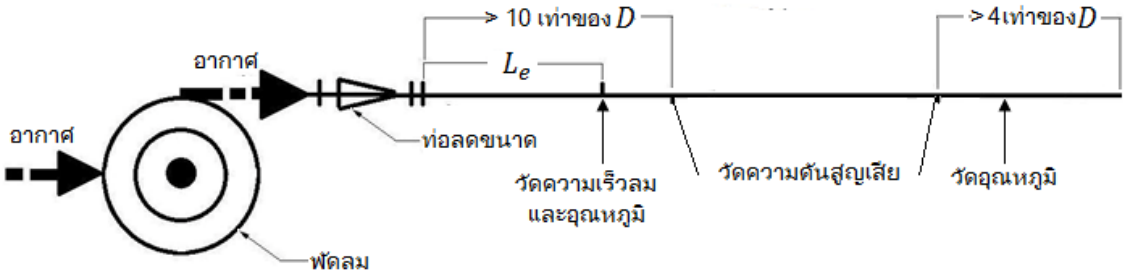
งานวิจัยนี้สร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาการไหลของอากาศภายในท่อผ้าใบเคลือบพีวีซีการติดตั้งท่อลมแสดงตามรูปที่ 1 ท่อลมถูกแขวนไว้กับผนังด้วย Turnbuckles ปลายท่อลมถูกยึดด้วยลวดสลิงโดยใช้แสงเลเซอร์ปรับระดับของท่อลมตลอดแนวความยาว



Number	Item	Size	Quantity
1	Blower	2200 CFM	1
2	PVC Coated fabric Duct	14 in	1
3	GALVANIZED STEEL WIRE ROPE (4 mm)	25m	2
4	GALVANIZED STEEL WIRE ROPE (4 mm)	1 m	36
5	Reduction Fitting (quadrilateral*circle)	14 in	1
6	Double Expansion Anchor	1/4Bolt Double 1/2 Drill	80
7	Turnbuckles	6 mm	40
8	Male straight	SPC8-02	2
9	O-ring	6 mm*3.5 mm	4

รูปที่ 1: การติดตั้งท่อลมสำหรับการทดลอง

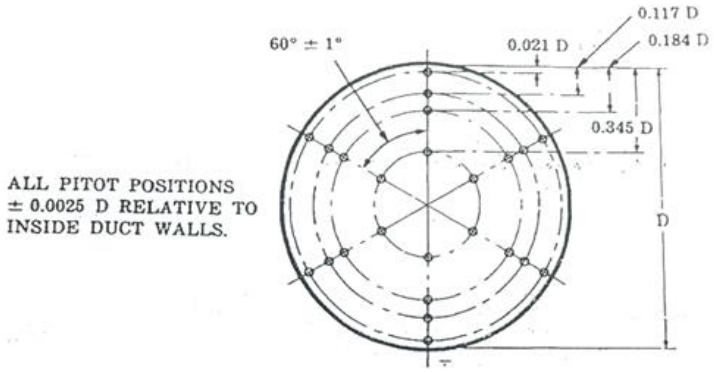
การทดลองใช้แอนนิโมมิเตอร์วัดความเร็วและอุณหภูมิ ส่วนความดันสูญเสียใช้มิเตอร์ความดันเป็นเครื่องมือวัด ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดแสดงตามรูปที่ 2



รูปที่ 2: การทดลองหาความดันสูญเสียในท่อลมเหล็กเคลือบสังกะสีเนื่องจากความเสียดทาน

4.2. แนวทางการทดลอง

การหาค่าความเร็วลมจะทดสอบตามคำแนะนำของสมาคมวิศวกรความร้อน ความเย็นและการปรับอากาศของสหรัฐอเมริกา (ASHRE, 1987) ได้กำหนดมาตรฐานตำแหน่งการวัดความเร็วภายในท่อไว้ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3: ตำแหน่งการวัดความเร็วลมภายในท่อตาม ASHRAE standard 41.2-1987

การทดลองหาความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานการไหลของอากาศภายในท่อผ้าใบเคลือบพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 และ 0.35 เมตร ที่อัตราการไหล 0.07 ถึง 0.42 โดยทุกการทดลองจะทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ผลการทดลองนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎีและผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์

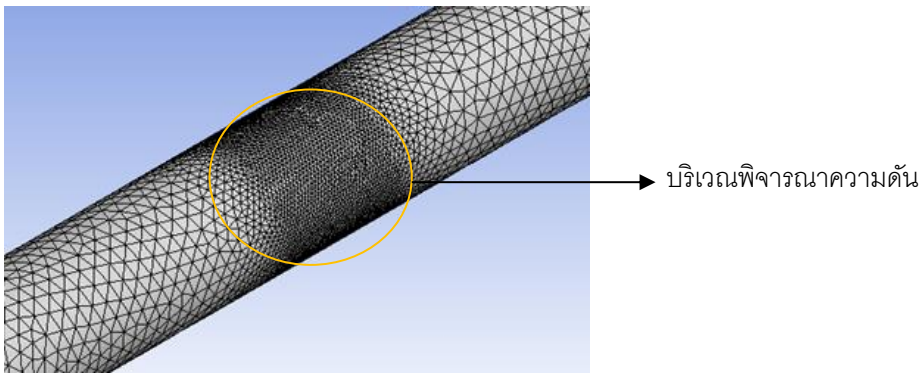
4.3. การคำนวณ

ค่าเฟกเตอร์ของแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลของอากาศภายในท่อสามารถคำนวณได้จากสมการ (2) โดยค่าความขรุขระผิวของผ้าใบเคลือบพีวีซีเท่ากับ 0.008 มิลลิเมตร จากนั้นนำค่าเฟกเตอร์ไปหาค่าความดันสูญเสียแทนจากสมการ (1)

4.4. การจำลอง

การจำลองทางคอมพิวเตอร์ใช้วิธีการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS ถูกนำมาวิเคราะห์ความดันสูญเสียการไหลของอากาศภายในท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซี โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วน k-ε กำหนดคุณสมบัติของอากาศ

ดังนี้ อุณหภูมิเท่ากับ 30 ^{0}C ความหนืดจลน์การไหลเท่ากับ 16.04 m^2/s ความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ 1.116 kg/m^3 และค่าความขรุขระของผิวท่อเท่ากับ 0.008 มิลลิเมตร โครงสร้างตาข่ายของแบบจำลองตำแหน่งพิจารณาความดันสูญเสียแสดงตามรูปที่ 4

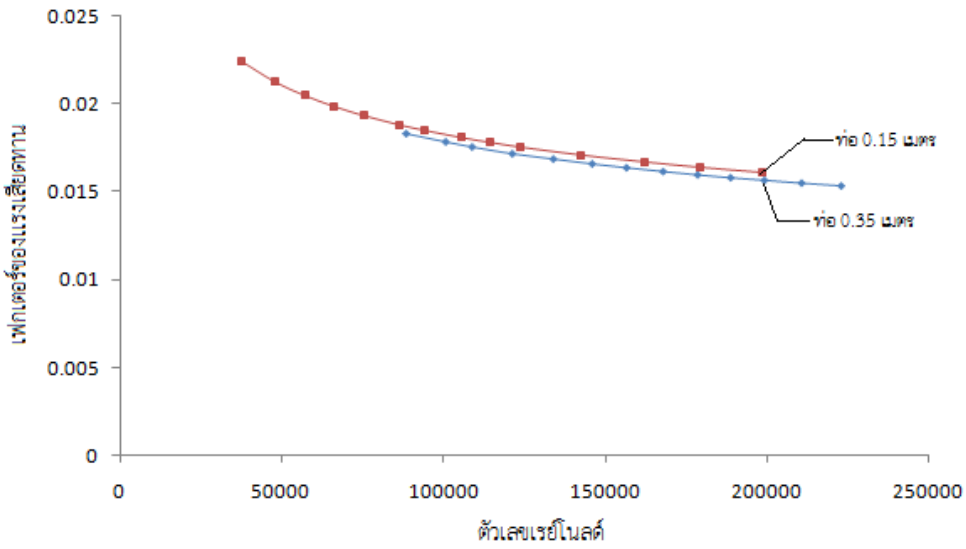


รูปที่ 4: โครงสร้างตาข่ายตำแหน่งพิจารณาความดันสูญเสีย

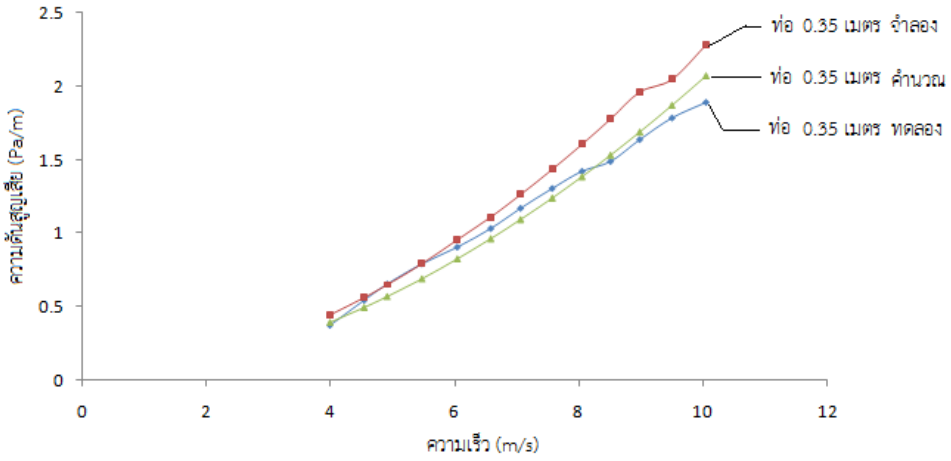
5. ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1. ผลทดลอง

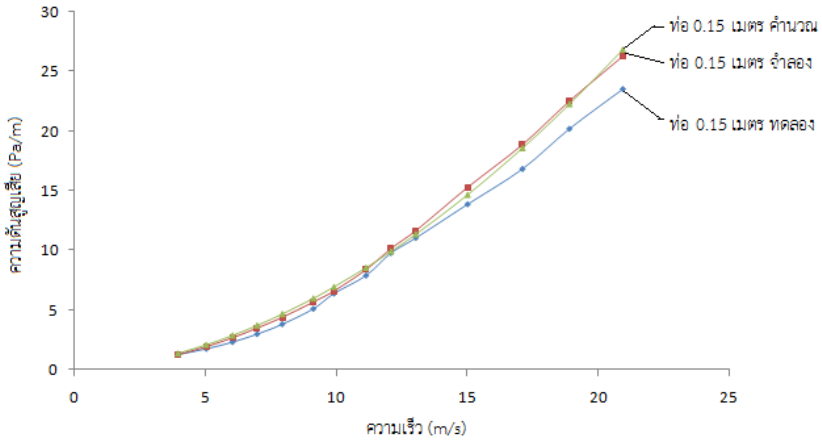
ตัวอย่างผลการทดลองและคำนวณหาความสัมพันธ์ของตัวเลขเรย์โนลด์กับเฟกเตอร์ของแรงเสียดทาน ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความดันสูญเสียต่อเมตรจากการทดลอง การคำนวณ และการจำลองท่อขนาด 0.15 และ 0.35 เมตรแสดงตามรูปที่ 5, 6 และ 7 ตามลำดับ โดยระดับชั้นสีของความดันสูญเสียของท่อขนาด 0.15 และ 0.35 เมตรจากการจำลอง แสดงตามรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ



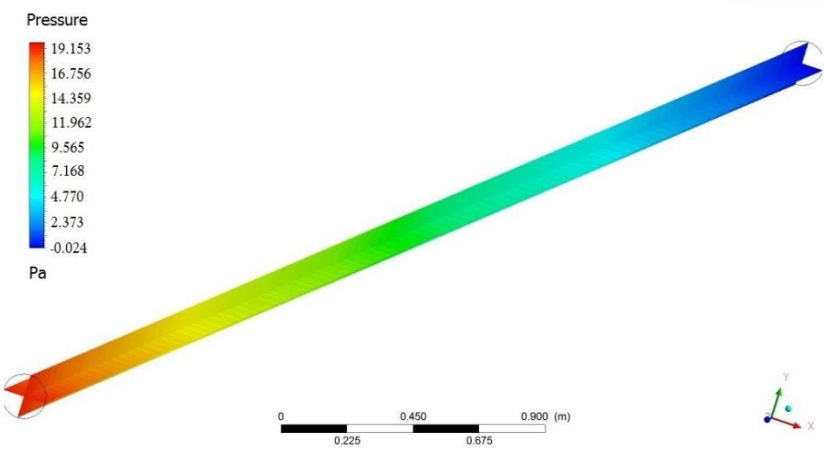
รูปที่ 5: การสูญเสียในท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซีเนื่องจากความเสียดทาน



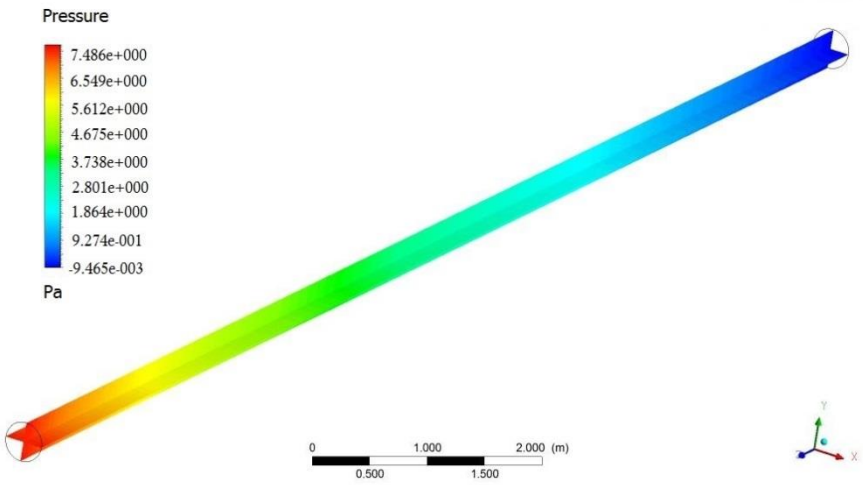
รูปที่ 6: ความเร็ว ความดันสูญเสียต่อเมตรจากการทดลอง การคำนวณ และการจำลอง ของท่อขนาด 0.35 เมตร



รูปที่ 7: ความเร็ว ความดันสูญเสียต่อเมตรจากการทดลอง การคำนวณ และการจำลอง ของท่อขนาด 0.15 เมตร



รูปที่ 8: ระดับชั้นความดันที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาทีของท่อขนาด 0.15 เมตร



รูปที่ 9: ระดับชั้นความดันที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาทีของท่อขนาด 0.35 เมตร

ค่าเฟกเตอร์ความเสียดทานการไหลของอากาศในท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซีมีค่าผกผันกับตัวเลขเรย์โนลด์และท่อขนาดใหญ่จะมีค่าเฟกเตอร์ความเสียดทานน้อยกว่าท่อขนาดเล็กที่ตัวเลขเรย์โนลด์เดียวกันตามรูปที่ 5 ส่วนความดันสูญเสียจะแปรผันตามความเร็วแต่แปรผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางท่อตามรูปที่ 6 และ 7 ผลการเปรียบเทียบการทดลอง การจำลองและการคำนวณ พบว่า ผลการทดลองแตกต่างเฉลี่ย ผลการคำนวณกับผลการทดลองและผลการคำนวณกับผลการจำลอง 3.41 % , 3.15% ตามลำดับ ส่วนผลการคำนวณแตกต่างจากผลการทดลองกับผลการจำลอง 3.26%

6. สรุปผล

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบ ติดตั้งท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซีเพื่อศึกษาการสูญเสียในท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซีเนื่องจากความเสียดทานเฟกเตอร์ของแรงเสียดทานในช่วงตัวเลขเรย์โนลด์ 35,000 ถึง 225,000 มีค่า 0.015 ถึง 0.023 และค่าความดันสูญเสียในช่วงความเร็ว 4 ถึง 20 เมตรต่อวินาที มีค่า 0.3 ถึง 26 ปาสคาลต่อเมตร โดยผลการทดลองเปรียบเทียบกับผลการจำลองและผลการคำนวณให้ผลการศึกษาสอดคล้องกัน ดังนั้นการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการสร้างแผนภาพโนโมแกรมของความเร็ว อัตราการไหล ขนาดท่อและความดันสูญเสีย เพื่อให้ผู้ออกแบบท่อลมผ้าใบเคลือบพีวีซีสามารถออกแบบระบบส่งลมได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (เลขอ้างอิง 5610163000/2556) ที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับสถานที่ดำเนินงาน

8. บรรณานุกรม

[1] กันต์ธกรณ์ เขาทองและคณะ, 2557, รายงานการวิจัยการออกแบบและพัฒนาสร้างท่อลมผ้าใบสำหรับระบบปรับอากาศ, สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[2] สุรพล พฤษพานิชย์, 2529, การปรับอากาศ หลักการและระบบ, ฟิสิกส์เซนเตอร์.

[3] ทวีพงศ์ สิริคุตตานนท์, เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์, 2557, "การศึกษาวิธีการออกแบบสำหรับท่อลมที่ทำจากผ้า," การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28, 1561-1568.

[4] Andrzej Ambroziak, Pawel Klosowski., 2014, Mechanical properties for preliminary design of structures made from PVC coated fabric, Construction and Building Materials, 74-81.

[5] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers., 1987, Standard Methods for Laboratory Airflow Measurement. ASHRAE Standard, 41.2-1987.

[6] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers., 2009, DUCT DESIGN. ASHRAE HANDBOOKFUNDAMENTALS, 529-595.

[7] Fujiang Chen, Huanxin Chen, Junlong Xie, Zhaohui Shu, Jiani Mao., 2011, Air distribution in room ventilated by air dispersion system, Building and environment, 2121-2129.

[8] Fujiang Chen, Huanxin Chen, Hong Wang, Shuli Wang, Jinliang Wang, Xiaobing Wang, Zhong Qian., 2013, Parametrical Analysis on Characteristics of Aiflow generated by fabric air dispersion system in penetration system in penetration mode, 365-373.

[9] Katarzyna Gladyszewska-Fiedoruk, Anna B. Demianiuk, Andrzej Gajewski, Anna., 2011, Measurement of velocity distribution for air flow through perforated plastic foil, 374-378.

[10] Wilbert F. Stoecker, Jerold W. Jones, 1982, Refrigeration and Air Conditioning, Mc Graw Hill.