

การจำลองการไหลของลมในท่อลมผ้า (Airflow Simulation in Fabric Duct)

โดย: นาย ทวีพงศ์ สิริคุตตานนท์ และ ดร. เชิดพันธ์ วิฑูรารภณ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.0 บทนำ

ในปัจจุบัน ระบบการกระจายลมส่วนใหญ่จะใช้ท่อลมที่ทำจากสังกะสี โดยมีการตีขึ้นรูปท่อลมที่หน้างานหรือใช้ท่อลมสังกะสีสำเร็จรูป แต่ในบางโครงการสถาปนิกต้องการจะแสดงท่อลมเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการตกแต่งพื้นที่ ทำให้ต้องมีการใช้ท่อลมแบบหุ้มฉนวนภายใน หรือใช้ท่อลมที่มีการหุ้มด้วยแผ่นสังกะสีภายนอกอีกชั้นเพื่อให้สามารถทาสีปิดทับผิวท่อได้ ทำให้การประกอบขึ้นรูปท่อลมต้องใช้เวลารวมทั้งค่าใช้จ่ายมากขึ้นและอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพได้ในกรณีที่มีการหุ้มฉนวนภายใน ทำให้ต้องมีการใช้วัสดุใหม่ ๆ ที่มีความสวยงามเข้ามาแทนที่ ซึ่งท่อลมที่ทำจากผ้าสามารถที่จะตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้เป็นอย่างดีไม่ว่าจะเป็นสีที่สวยงาน การติดตั้งที่สะดวก รวดเร็วและไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพ

แนวทางการออกแบบระบบท่อลมผ้าจะคล้ายกับระบบท่อลมโลหะ กล่าวคือ เดินแนวท่อลมให้ง่ายและมีความสมมาตรที่สุด รวมทั้งการพิจารณาถึงความดันลมภายในท่อ ความเร็วลมและระดับเสียงให้เหมาะสม สิ่งที่แตกต่างกันคือการจ่ายลมจากท่อลมซึ่งท่อลมผ้าสามารถอาศัยการเจาะรูเพื่อสร้างการกระจายลมภายในห้องให้มีความทั่วถึงกันโดยไม่ต้องอาศัยหัวจ่ายลม อย่างไรก็ตาม ปัญหาความไม่คงรูปของท่อลมผ้าที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อลักษณะการไหลและการกระจายตัวของลมที่เกิดขึ้นด้วย ดังนั้น เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการไหลของลมในท่อลมผ้า การใช้โปรแกรมจำลองการไหลจึงมีบทบาทที่สำคัญงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมจำลองการไหลสำเร็จรูป Ansys Fluent V.14 มาช่วยจำลองเพื่อให้เห็นสภาพ

การไหลที่เกิดขึ้นในท่อลมผ้าและทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับการทดลอง

2.0 เปรียบเทียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD)

การอธิบายปรากฏการณ์การไหลสามารถกระทำการวิเคราะห์ 3 สมการหลักคือ สมการอนุรักษ์มวล, สมการอนุรักษ์โมเมนตัม และสมการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier–Stokes equations)

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 \vec{u} + \rho \vec{g} \quad (1)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล [kg/m^3],

u คือ ความเร็ว [m/s],

t คือ เวลา [s],

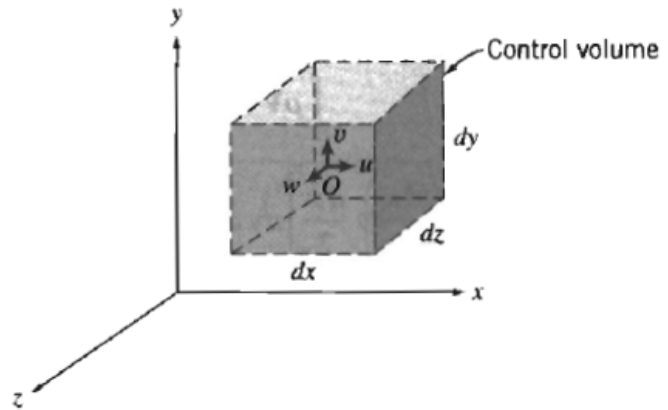
P คือ ความดัน [Pa],

μ คือ ความหนืดของของไหล [kg/m.s],

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก [m/s^2]

การหาผลเฉลยแม่นยำตรงของการไหลนั้นกระทำได้ยากหรืออาจไม่สามารถหาผลเฉลยได้ ทำให้เกิดการพัฒนาวิธีการหาคำตอบโดยประมาณ โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมาช่วยในการคำนวณ และเรียกการแก้ปัญหสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยโดยการปรับระบบสมการให้เป็นระบบสมการทางพีชคณิตของการไหลว่า “ระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD)”

ในการวิเคราะห์การไหลเพื่อให้ทราบการกระจายตัวของตัวแปรต่าง ๆ ในปริมาตรควบคุมที่พิจารณานั้น มักจะใช้ข้อมูลที่ขอบเขตของปริมาตรควบคุมมาประกอบการพิจารณา เนื่องจากเป็น



รูปที่ 1 ปริมาตรควบคุมขนาดเล็ก [6]

ปริมาณที่สามารถทราบค่าได้โดยง่าย และการแก้ปัญหาโดยใช้ปริมาตรควบคุมขนาดเล็กมาก ๆ มาวิเคราะห์กับปัญหาการไหล จะทำให้ทราบถึงสนามการไหลภายในระบบ

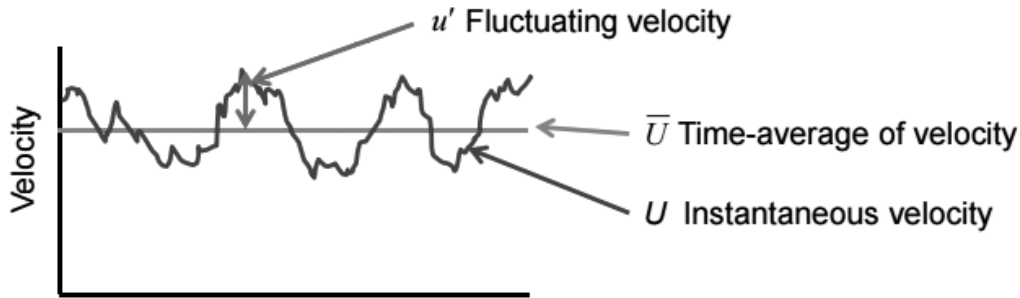
เทคนิคการแก้สมการทางพลศาสตร์ของไหลสำหรับระบบที่มีการไหลแบบปั่นป่วนจะแบ่งออกได้เป็น 4 เทคนิค ดังนี้

• Direct Numerical Simulation (DNS)

เป็นการแก้ชุดสมการนาเวียร์-สโตกส์ โดยตรงด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยไม่ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนมาพิจารณา ทำให้ต้องใช้ขนาดเอลิเมนต์ของไหลขนาดเล็ก ๆ จำนวนมาก เพื่อให้สอดคล้องกับรูปแบบการไหลของกระแสมุขวนที่เกิดขึ้น ทำให้เป็นวิธีการที่ใช้เวลาและสิ้นเปลืองทรัพยากรของคอมพิวเตอร์อย่างมาก

• Large Eddy Simulation (LES)

เป็นการแก้ไขและปรับปรุงการจำลองแบบ DNS ให้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น โดยทำการคำนวณสมการนาเวียร์-สโตกส์เฉพาะจุดที่มีการไหลแบบกระแสมุขวนที่มีขนาดใหญ่ และในส่วนของกระแสมุขวนขนาดเล็กจะทำการคำนวณจากแบบจำลองความปั่นป่วน



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของความเร็วในการไหลแบบปั่นป่วน[6]

• Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS)

เป็นการคำนวณด้วยการปรับปรุงรูปแบบสมการนาเวียร์-สโตกส์ โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วนทั้งหมด และแยกตัวแปรการไหลเป็น 2 เทอมคือ เทอมที่เป็นค่าเฉลี่ย ($\bar{u}(x)$) และเทอมที่เป็นค่าความปั่นป่วนที่เกิดขึ้น ($u'(x,t)$) ดังสมการ

$$u(x,t) = \bar{u}(x) + u'(x,t) \quad (2)$$

โดยที่ \bar{u} คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหล [m/s]

u' คือ ค่าความปั่นป่วนของความเร็วเฉลี่ย
[m/s]

u คือ ความเร็วของของไหล [m/s]

ในการคำนวณการไหลแบบปั่นป่วนจะใช้แบบจำลองความปั่นป่วนเข้ามาช่วยเพื่อจำลองสภาพการไหล เช่น แบบจำลองซึ่งประกอบไปด้วยสมการขนส่ง (Transport Equation) 2 สมการ โดยจะต้องหาคำตอบของสมการดังกล่าวไปพร้อม ๆ กับการแก้สมการอนุรักษ์มวลและสมการอนุรักษ์โมเมนตัม

• Detached Eddy Simulation (DES)

เป็นการคำนวณที่ใช้เทคนิค RANS และ LES ร่วมกัน โดยขณะที่เกิดช่วงขนาดความปั่นป่วนน้อยจะใช้เทคนิค RANS ในการหาคำตอบ และเมื่อขนาด

ของความปั่นป่วนสูงขึ้นจะใช้เทคนิค LES ในการคำนวณ ซึ่งเทคนิคนี้จะช่วยย่นระยะเวลาในการคำนวณลง

3.0 แบบจำลองการปั่นป่วน

(Turbulent Models): Standard k - ϵ

การคำนวณการไหลแบบปั่นป่วนที่มีผลต่อความถูกต้องของผลลัพธ์นั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของแบบจำลองความปั่นป่วน ซึ่งในปัจจุบันมีแบบจำลองหลากหลายแบบ เช่น แบบจำลองของ Spalart-Allmaras , แบบจำลอง k- ϵ , แบบจำลอง k- ω และ แบบจำลองความเค้นของเรย์โนลด์ เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ k- ϵ เนื่องจากแบบจำลองนี้จะใช้ได้ดีกับการไหลภายในและการไหลที่มีผลต่างความดันต่ำ ซึ่งตรงกับพฤติกรรมของการไหลที่เกิดขึ้นในท่อลมฝานอกจากนี้ยังเป็นแบบจำลองที่ให้ค่าความถูกต้องในการคำนวณเป็นที่น่าพอใจและใช้เวลาในการคำนวณไม่มากเกินไป

สมการอนุรักษ์มวลและสมการอนุรักษ์โมเมนตัมของการไหลแบบปั่นป่วนจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธีการเฉลี่ยของเรย์โนลด์ (Reynolds Averaging) และทำการวิเคราะห์การไหลเป็นการไหลแบบคงตัว, อัดตัวไม่ได้ และไม่มีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น ทำให้สามารถนำสมการมาเขียนในรูปของ

เทนเซอร์ (Tensor) ดังนี้

$$\text{สมการอนุรักษ์มวล: } \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (3)$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = & -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial x_i} (-\rho \overline{u_i u_j}) \end{aligned} \quad (4)$$

การใช้วิธีการเฉลี่ยของค่าเรย์โนลด์จะมีพจน์พิเศษที่แตกต่างจากการไหลแบบราบเรียบเพิ่มขึ้นมา คือ ความเค้นเรย์โนลด์ (Reynolds Stresses, $\overline{u_i u_j}$) และจากสมมุติฐานของ Boussinesq พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ของความเค้นเรย์โนลด์จะแปรผันเชิงเส้นกับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียด ดังสมการ (5)

$$-\rho \overline{u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \rho k + \mu_t \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \quad (5)$$

โดยที่ μ_t คือ ค่าความหนืดของความปั่นป่วน (eddy viscosity) [kg/m.s]

ค่าความหนืดของความปั่นป่วน เป็นความสัมพันธ์ของค่าพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (k) และอัตราการลดลงของค่าพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (ϵ) ดังนี้

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

การพิจารณาถึงแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด Standard k— ϵ ทำให้สามารถเขียนสมการของค่าพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนและอัตราการลดลงของค่าพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนได้ดังสมการ

(7) และ (8) ตามลำดับ

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + \quad (8)$$

$$\left(C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{\epsilon 3} G_b) \right) \frac{\epsilon}{k} - \rho C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon}{k}$$

$$\text{โดยที่ } G_k = -\rho \overline{u_i u_j} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad G_b = -g_i \left(\frac{\mu_t}{\rho \beta T} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \right)$$

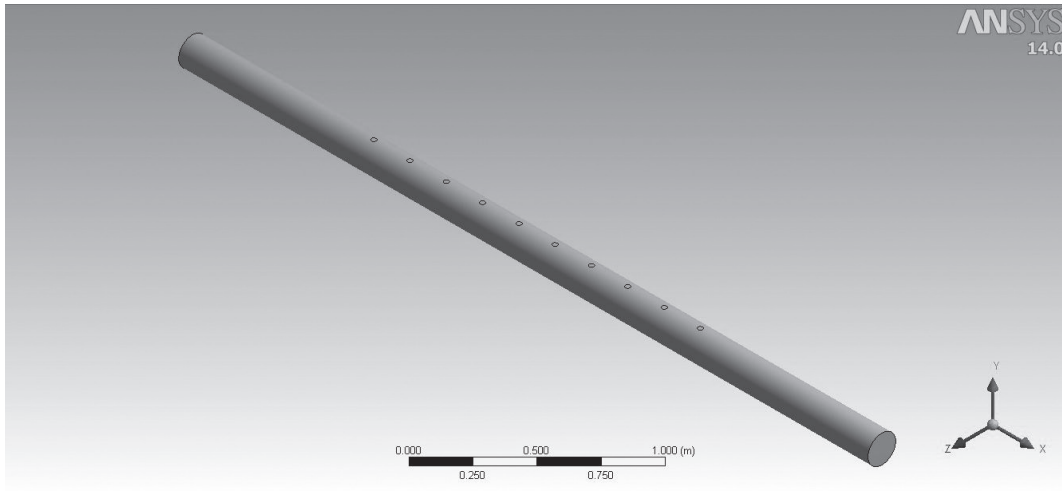
ในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าคงที่ของการไหลแบบปั่นป่วนชนิด Standard k— ϵ จากค่าคงที่ในแบบจำลองของ Launder-Sharma (1974) เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ให้ผลลัพธ์ความถูกต้องของการกระจายตัวของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (ϵ) และความเค้นเรย์โนลด์ ณ บริเวณตำแหน่งใกล้ชั้นขอบเขตของผิวท่อ (near wall boundary) ได้แม่นยำกว่าแบบจำลองอื่นๆ รวมทั้งยังเป็นแบบจำลองที่ทำความเข้าใจได้ง่ายและใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยค่าคงที่ที่ใช้มีดังนี้

$$C_\mu = 0.09, \quad C_{\epsilon 1} = 1.44, \quad C_{\epsilon 2} = 1.92$$

$$C_{\epsilon 3} = 1, \quad \sigma_k = 1, \quad \sigma_\epsilon = 1.3, \quad \sigma_T = 0.9$$

4. โปรแกรมจำลองการไหล Ansys Fluent V.14

การใช้งานโปรแกรมจำลองการไหล Ansys Fluent V.14 นั้นต้องมีการตั้งค่าส่วนต่าง ๆ ของโปรแกรมให้ตรงกับเงื่อนไขการทดลอง โดยมีรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 3 แสดงรูปร่าง 3 มิติของท่อลมผ้า

4.1 รูปร่าง (Geometry)

รูปร่างของท่อลมผ้าจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก 3 มิติ ดังรูปที่ 3 ที่มีจำนวนช่องเปิดตามรูปแบบของท่อลมผ้า โดยกำหนดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D), ขนาดช่องเปิด (d), จำนวนช่องเปิด (N), และระยะห่างระหว่างช่องเปิด (L_h) ซึ่งมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละการทดลอง

ลักษณะของเมชเป็นแบบ Tetrahedron mesh โดยการกำหนดขนาดของเมชจะพิจารณาจากขนาดสเกลของการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence Length Scale, $L_{turb,s}$) ซึ่งสำหรับการไหลแบบพัฒนาเต็มที่ ขนาดของสเกลการไหลแบบปั่นป่วนสามารถประมาณได้จากเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (hydraulic diameter, D_h) ดังสมการ

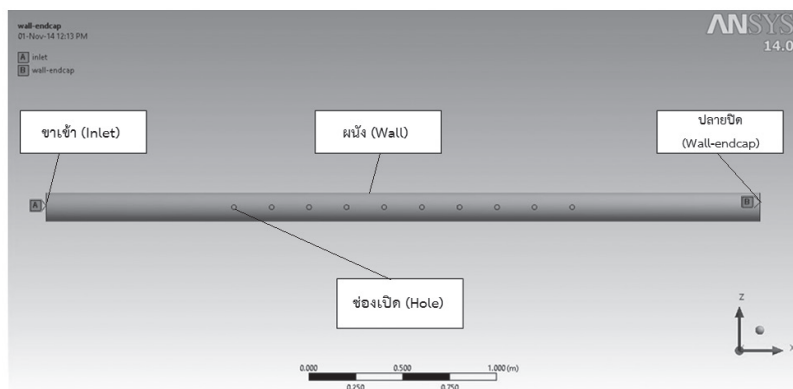
$$L_{turb,s} = 0.07D_h \quad (9)$$

4.2 การแบ่งเมช (Meshing)

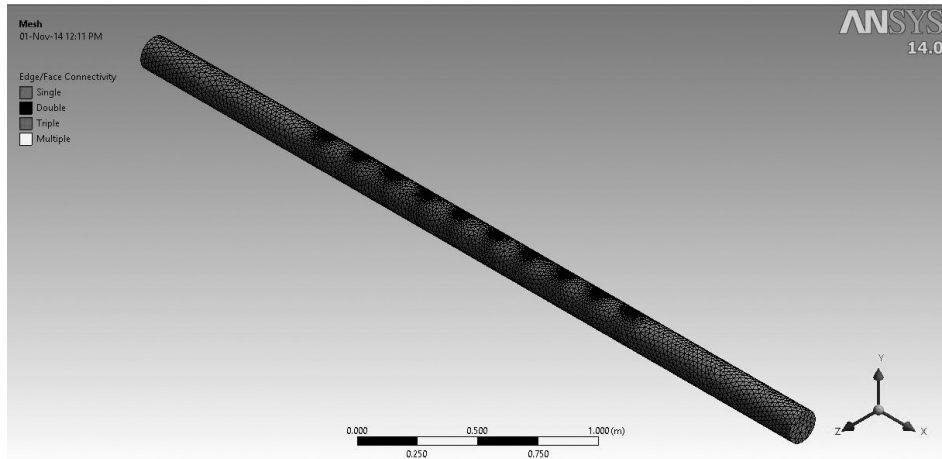
ก่อนที่จะเริ่มต้นแบ่งเมช จะต้องกำหนดขอบริเวณต่าง ๆ ในรูปร่างของท่อลมผ้าก่อนซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนขาเข้า (inlet), ส่วนขาออก (outlet), ส่วนผนังท่อ (wall) และส่วนช่องเปิด (holes) ดังแสดงในรูปที่ 4

4.3 การตั้งค่าโปรแกรม

ตั้งค่าโดยการกำหนดส่วนต่าง ๆ ในโปรแกรมจำลองการไหลให้ใกล้เคียงกับสภาวะของการทดลองมากที่สุด เพื่อให้ผลการจำลองการไหลนั้น สามารถ



รูปที่ 4 แสดงชื่อของบริเวณต่าง ๆ ของท่อลม

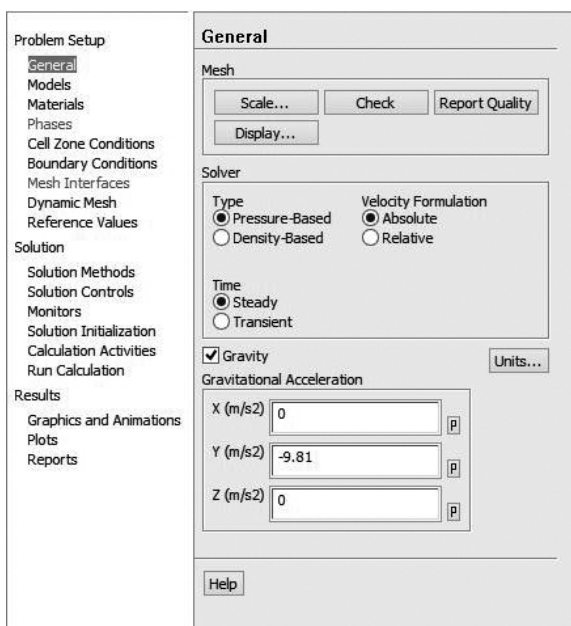


รูปที่ 5 ลักษณะของเมชที่สร้างขึ้น

นำไปตรวจสอบและเปรียบเทียบกับผลการทดลองได้ ซึ่งประกอบด้วย 7 หัวข้อของการตั้งค่า ดังนี้

4.3.1 หัวข้อทั่วไป (General)

กำหนดให้เป็นการไหลผ่านท่อทรงกระบอก 3 มิติที่มีช่องเปิด ณ สภาวะคงตัว (Steady State) และมีความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกในทิศทาง $-Y$



รูปที่ 6 แสดงการตั้งค่าโปรแกรมในหัวข้อทั่วไป (General)

4.3.2 หัวข้อแบบจำลอง (Model)

การจำลองไม่คิดผลของการถ่ายเทความร้อน จึงไม่มีการพิจารณาสมการพลังงาน และให้การไหลในท่อลมผ้าเป็นแบบปั่นป่วนที่มีความหนืด เลือกใช้แบบจำลอง Standard $k-\epsilon$ โดยใช้ค่าคงที่จากโมเดลของ Launder-Sharma (1974)

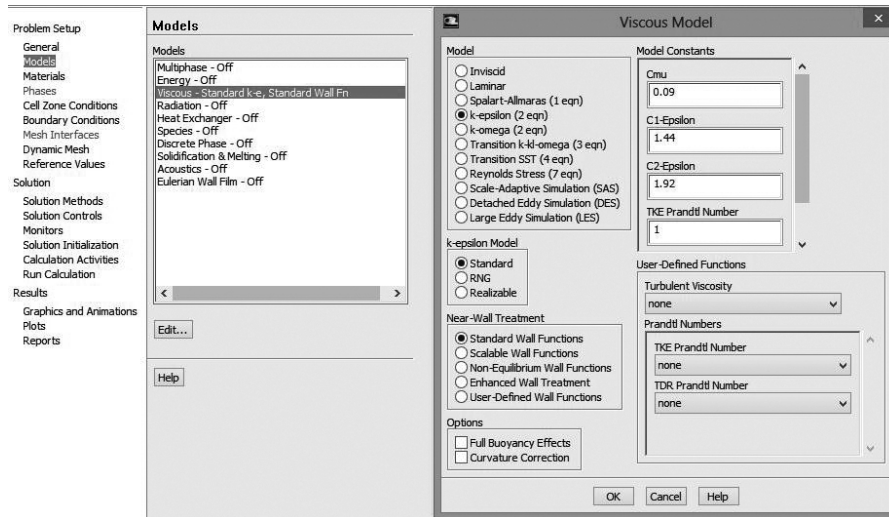
4.3.3 หัวข้อวัสดุ (Material)

ของไหลที่ไหลภายในท่อลมคืออากาศ (Air) ซึ่งคุณสมบัติของอากาศจะอ้างอิงจากการทดลอง ความหนาแน่น 1.14 kg/m^3 และความหนืด $1.86 \times 10^{-5} \text{ kg/m-s}$ ส่วนวัสดุที่ใช้ทำท่อลมเป็นวัสดุผ้า

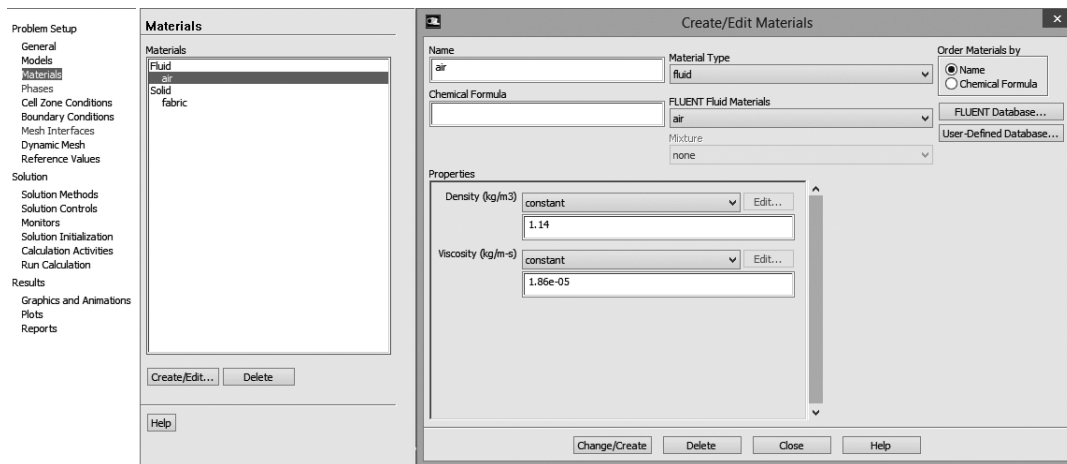
4.3.4 หัวข้อเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

ในส่วนนี้จะทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของบริเวณต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ขณะแบ่งเมช โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

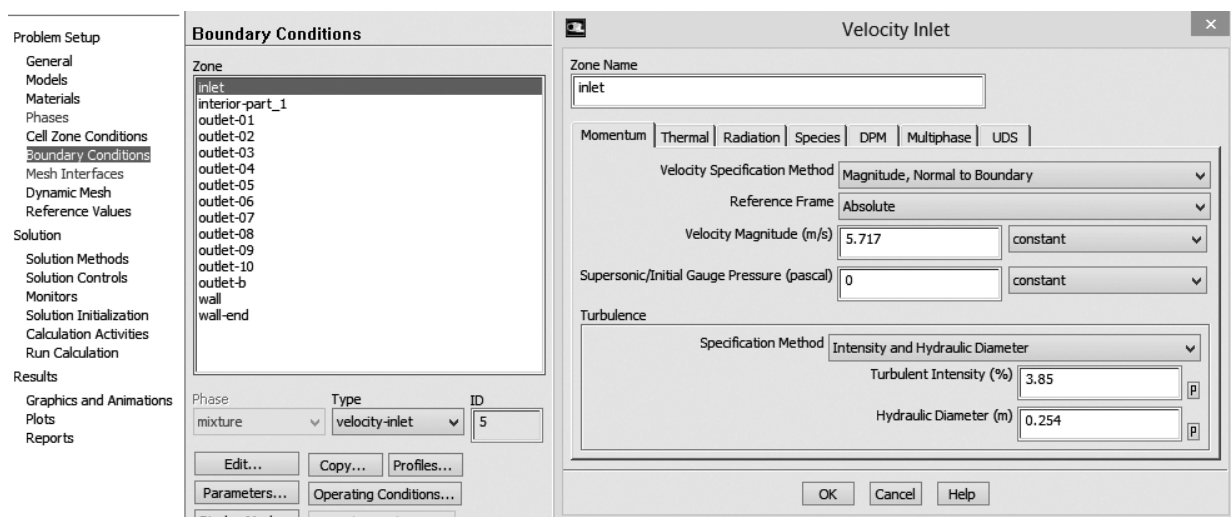
ก. เงื่อนไขความเร็วขาเข้า กำหนดค่าความเร็วขาเข้าในแนวแกนและเนื่องจากเป็นการไหลปั่นป่วน และมีความหนืด ทำให้ต้องพิจารณาค่าระดับความ



รูปที่ 7 แสดงการตั้งค่าโปรแกรมในหัวข้อแบบจำลอง (Model)



รูปที่ 8 แสดงการตั้งค่าโปรแกรมในหัวข้อวัสดุ (Materials)



รูปที่ 9 แสดงการตั้งค่าในส่วนความเร็วขาเข้า (Inlet Velocity)

เข้มข้นของความปั่นป่วน (Turbulent Intensity) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$I_{turb} = 0.16 (\text{Re})^{-1/8} \quad (10)$$

ข. เงื่อนไข Wall และ Wall-end พิจารณาในส่วนของผิวท่อและปลายท่อปิดว่าเป็นวัสดุท่อลมผ้า โดยกำหนดค่าความขรุขระของวัสดุ (Roughness Height) เท่ากับ 0.00011 เมตร ซึ่งอ้างอิงจากผู้ผลิตท่อลมผ้า (DUCTSOX)[4]

ค. เงื่อนไข pressure-outlet เป็นการตั้งค่าส่วนของช่องเปิด (holes) เนื่องจากเป็นบริเวณที่สัมผัสกับบรรยากาศโดยตรง ซึ่งมีความดันคงที่เป็นศูนย์ และสามารถคำนวณค่าระดับความเข้มข้นของความปั่นป่วน ได้จากสมการ (10)

4.3.5 หัวข้อค่าเริ่มต้นของการคำนวณ (Solution Initialization)

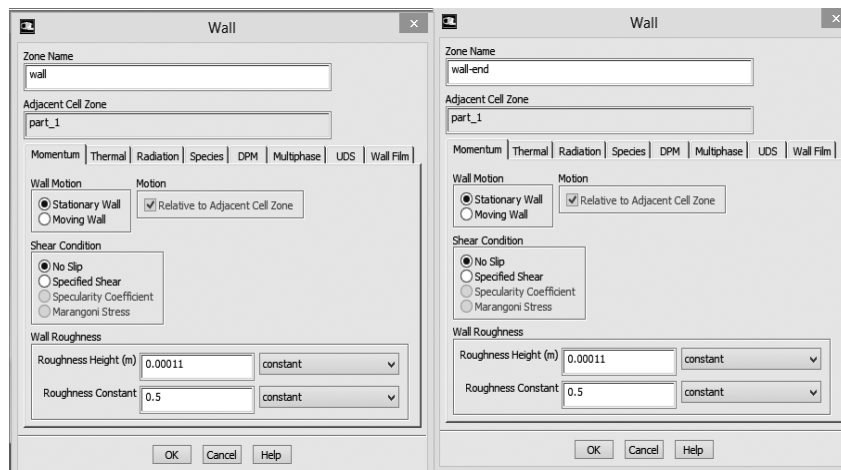
กำหนดให้เริ่มการคำนวณจากบริเวณตำแหน่งขาเข้า และสามารถคำนวณค่า Turbulent Kinetics Energy และ Turbulent Dissipation Rate ตามสมการ

Turbulent Kinetics Energy

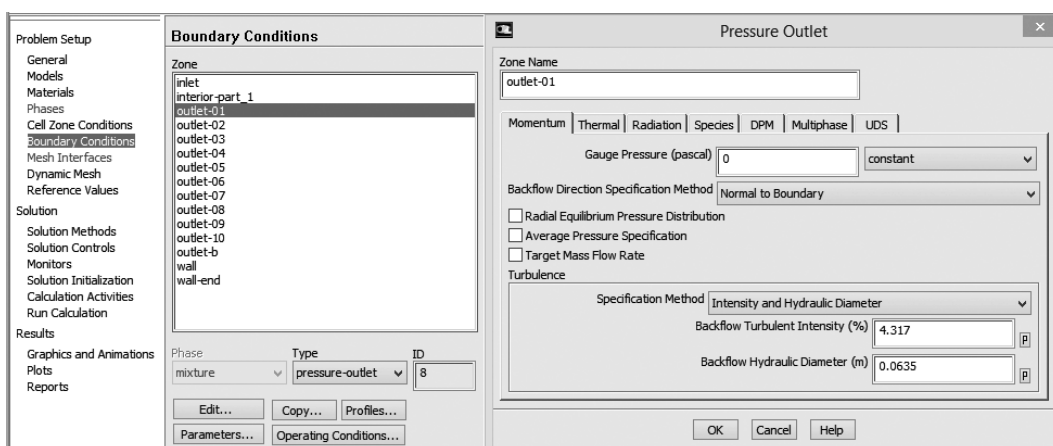
$$k_{turb} = \frac{3}{2} (u I_{turb})^2 \quad (11)$$

Turbulent Dissipation Rate

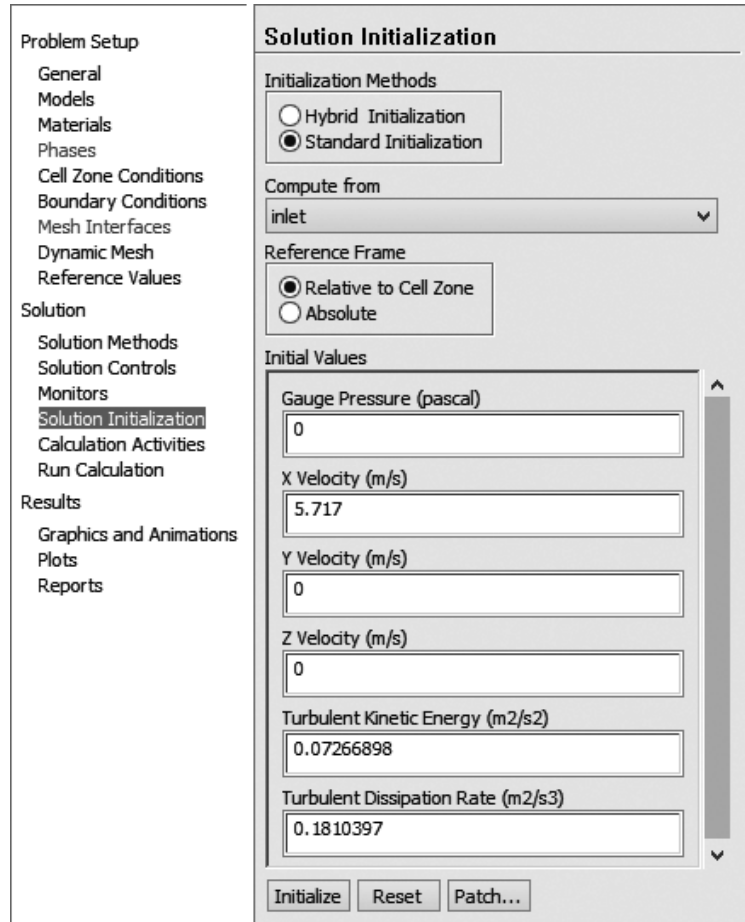
$$\varepsilon_{turb} = C_\mu^{3/4} \frac{k^{3/2}}{L_{turb,s}} \quad (12)$$



รูปที่ 10 แสดงการตั้งค่าโปรแกรมในหัวข้อเงื่อนไข Wall และ Wall end



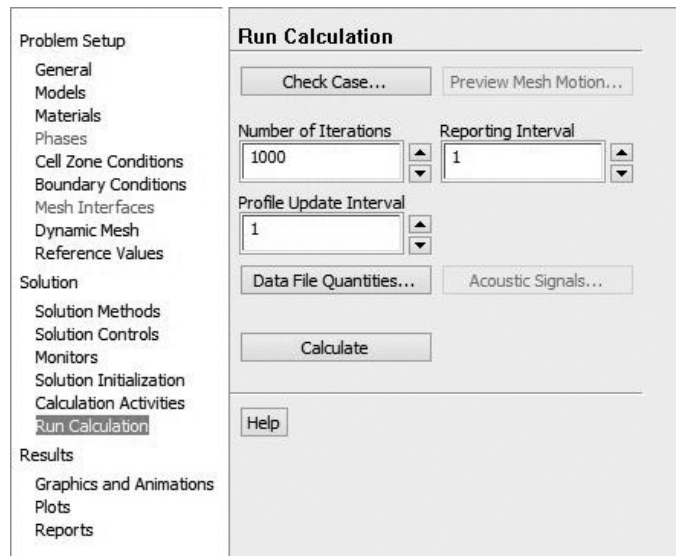
รูปที่ 11 แสดงการตั้งค่าโปรแกรมในหัวข้อเงื่อนไข Pressure-outlet



รูปที่ 12 แสดงการตั้งค่าเริ่มต้นการคำนวณ (Solution Initialization)

4.3.6 หัวข้อการดำเนินการคำนวณ (Run Calculation)

กำหนดจำนวนรอบของการคำนวณซ้ำ (Number of iterations) ไว้ที่ 1000 รอบ และรายงานผลทุก ๆ การคำนวณ 1 รอบ ซึ่งจำนวนรอบของการคำนวณจะมีการปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสมเพื่อให้เกิดการลู่เข้าของคำตอบ



รูปที่ 13 แสดงการตั้งค่าการดำเนินการคำนวณ
(Run Calculation)

5. การทดลอง

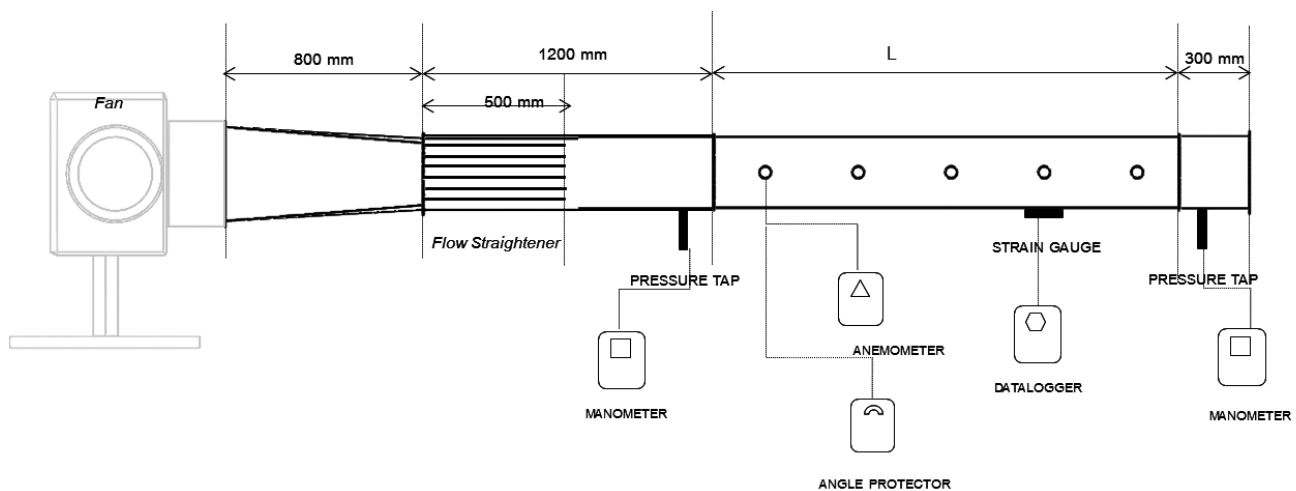
ท่อลมผ้าที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว จำนวน 3 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 1 ทดลอง โดยปรับเปลี่ยนปริมาณลมไหลเข้าท่อลมผ้าจำนวน 7 ค่า ด้วยการปรับความถี่พัดลมหรือบานปรับลม

รวมจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 21 การทดลอง ทำการ วัดค่าความดันสถิต ความดันรวม วัดความเร็วการ ไหลผ่านช่องเปิดที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยที่ท่อลมผ้ายังคงรูปอยู่

ตารางที่ 1 ท่อลมผ้าทดสอบ

ท่อลมผ้า	ขนาดท่อ [m (inch)]	ความยาว [m]	ขนาดช่องเปิด [m (inch)]	จำนวนช่อง เปิด	d_0/D [-]
รูปแบบที่ 1	0.254 (10")	5.30	0.0635 (2.5")	10	0.791
รูปแบบที่ 2	0.254 (10")	5.30	0.0635 (2.5")	20	1.118
รูปแบบที่ 3	0.254 (10")	5.30	0.0635 (2.5")	40	1.581

โดยที่ d_0 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของช่องเปิดทั้งหมด [m]



รูปที่ 14 แสดงภาพ 2 มิติของชุดทดลองและอุปกรณ์การวัด

ผลลัพธ์จากการทดลองทั้งหมดแสดงไว้ในตาราง ก.1 ในภาคผนวก

6. ผลลัพธ์ของการจำลองการไหลผ่านท่อลมผ้า

ผลลัพธ์การจำลองการไหลผ่านโปรแกรม Ansys Fluent v.14 ได้นำไปเปรียบเทียบและตรวจสอบแนวโน้มของผลลัพธ์ที่ได้จากผลการทดลอง โดยในที่นี้จะนำเสนอการเปรียบเทียบกับผลการทดลองกรณี ที่ 1.4 ในตาราง ก.1 ในภาคผนวก ดังนี้

6.1 ลักษณะของเส้นระดับที่เกิดขึ้นในการไหลผ่านท่อลมผ้า

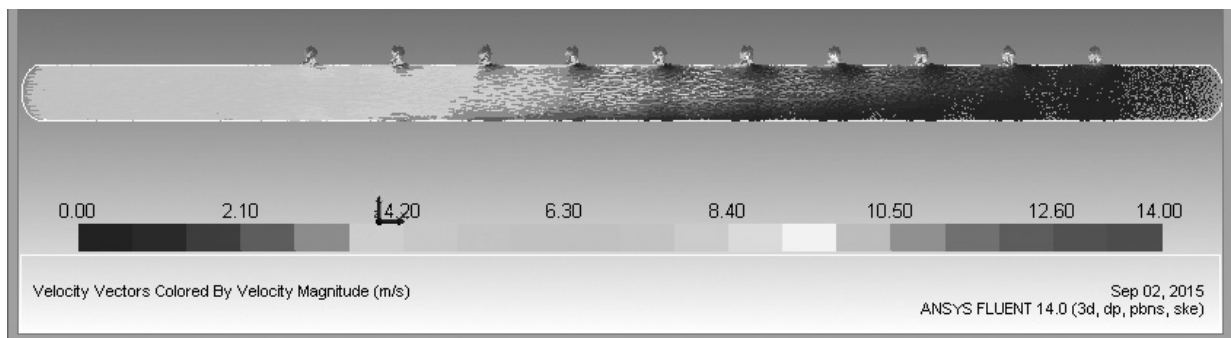
ตัวอย่างเส้นระดับที่ได้จากการไหลผ่านท่อลมผ้า กรณีที่ 1.4 แสดงให้เห็นว่า การกระจายตัวของความเร็วการไหลในท่อจะมีลักษณะของสีจากสีเทาอ่อนไปเป็นสีดำเข้ม ซึ่งหมายถึงการลดลงของความเร็วการไหลในท่อที่เกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุมาจากอัตราการไหลผ่านช่องเปิดในแต่ละช่อง ทำให้แนวโน้มของความเร็วการไหลในท่อนั้นมีค่าลดลง

ดังรูปที่ 15

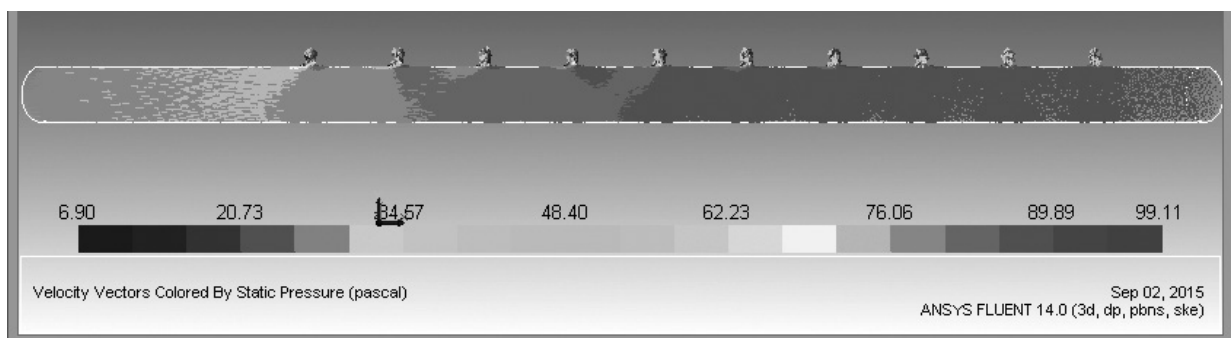
รูปที่ 16 แสดงถึงความดันสถิตในท่อลมผ้า กรณีที่ 1.4 ซึ่งมีแนวโน้มการกระจายตัวในท่อจากสีเทาอ่อนไปเป็นสีดำเข้มที่ปลายท่อ ซึ่งหมายถึงการเพิ่มขึ้นของความดันสถิตในท่อ เนื่องจากอัตราการไหลในท่อลดลงแต่ขนาดท่อลมผ้ายังคงเท่าเดิม ทำให้เกิดการได้คั้นของความดันสถิตขึ้น

6.2 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับการทดลอง

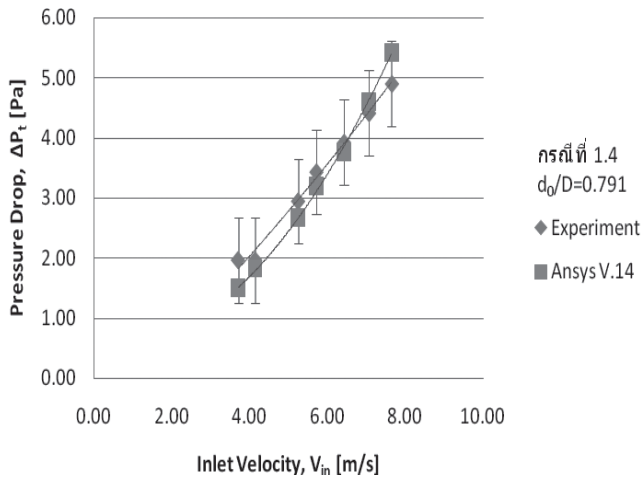
การเปรียบเทียบผลของการใช้โปรแกรมจำลองการไหลกับการทดลองนั้น จะแสดงในรูปของกราฟ โดยเมื่อพิจารณาตัวอย่างท่อลมผ้ารูปแบบที่ 1 ดังรูปที่ 17 พบว่าแนวโน้มของความดันรวมลดที่ได้จากการการทดลองและโปรแกรมจำลองการไหลจะมีลักษณะคล้ายกัน โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วการไหลเข้าท่อลมมาก



รูปที่ 15 เวกเตอร์เส้นระดับของความเร็วการไหลในการไหลผ่านท่อลมผ้า กรณีที่ 1.4



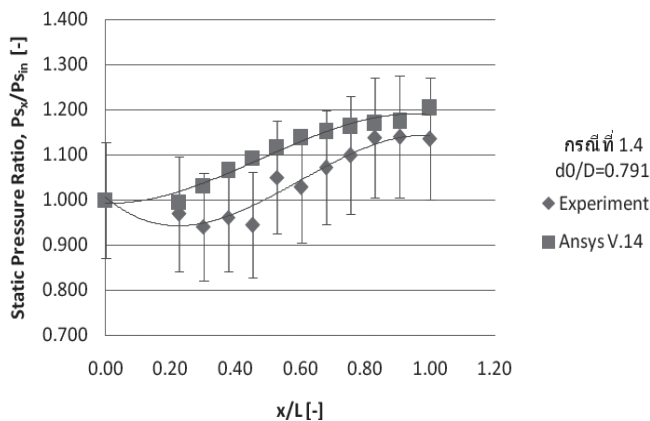
รูปที่ 16 เวกเตอร์เส้นระดับของความดันสถิตในการไหลผ่านท่อลมผ้า กรณี 1.4



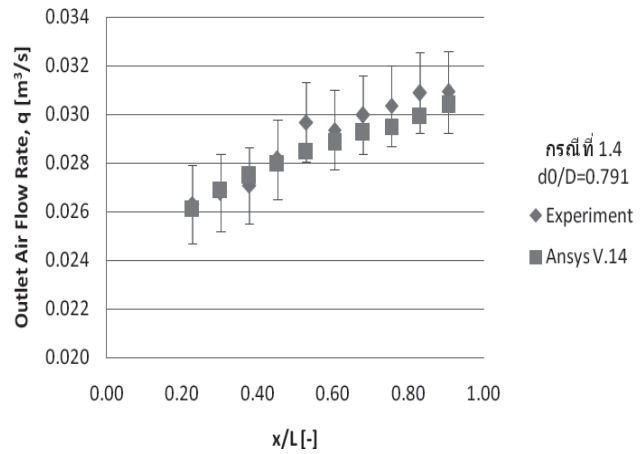
รูปที่ 17 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ความดันรวมลดต่อความเร็วไหลเข้าท่อลม จากการทดลองและโปรแกรมจำลองการไหล ในท่อลมผ้ารูปแบบที่ 1

รูปที่ 18 แสดงถึงอัตราส่วนความดันสถิตที่เกิดขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มในลักษณะเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงที่สุดที่ปลายท่อเช่นเดียวกันกับการทดลอง

การกระจายตัวของความดันสถิตนี้จะส่งผลต่อไปยังการกระจายตัวของอัตราการไหลผ่านช่องเปิด ดังรูปที่ 19 ที่แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการกระจายตัวเช่นเดียวกันกับผลการทดลอง

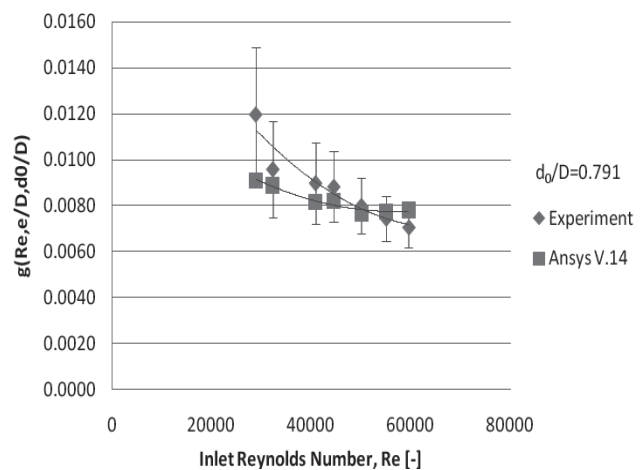


รูปที่ 18 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของอัตราส่วนความดันสถิตต่อสัดส่วนระยะทางท่อลม จากการทดลองและโปรแกรมจำลองการไหล ในท่อลมผ้า กรณีที่ 1.4



รูปที่ 19 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของอัตราการไหลผ่านช่องเปิดต่อตำแหน่งช่องเปิดตามสัดส่วนระยะทางท่อลม จากการทดลองและโปรแกรมจำลองการไหล ในท่อลมผ้า กรณีที่ 1.4

รูปที่ 20 แสดงถึงความเสียหายสำหรับท่อลมผ้าที่เกิดในท่อลมผ้ารูปแบบที่ 1 ซึ่งให้แนวโน้มของค่าความเสียหายที่คล้ายกัน



รูปที่ 20 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ฟังก์ชันความเสียหายสำหรับท่อลมผ้าต่อตัวเลขเรย์โนลด์สขาเข้า จากการทดลองและโปรแกรมจำลองการไหล ในท่อลมผ้ารูปแบบที่ 1

7. สรุป

จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการไหลของลมในท่อลมผ้านั้นมีคุณลักษณะเด่นคือค่าความดันสถิตที่เพิ่มขึ้นตามระยะทางในท่อลมผ้า ซึ่งเป็นผลมาจากความเร็วการไหลที่ลดลงอันเนื่องมาจากอัตราการไหลในท่อลมผ้าที่ลดลงเรื่อย ๆ โดยที่ขนาดของท่อลมยังคงเท่าเดิม ดังนั้น วิธีการออกแบบท่อลมผ้าให้เหมาะสมนั้นจึงควรที่จะเลือกใช้วิธีความดันสถิตที่ได้คืบมา (Static Regain Method)

นอกจากนี้โดยการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองเทียบกับแบบจำลองการไหลที่กำหนดขึ้นพบว่า แบบจำลองการไหลที่กำหนดขึ้นสามารถใช้จำลองสภาพการไหลที่เกิดขึ้นจริงในท่อลมผ้าได้ โดยแบบจำลองการไหลจะให้ทั้งแนวโน้มสภาพการไหลและค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลใกล้เคียงกับที่ได้จากการทดลอง

8. เอกสารอ้างอิง

1. Wang, S., *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. 2000: McGraw-Hill Education
2. MacKinnon, I.R., *Air distribution from ventilation ducts, in Agricultural Engineering*. 1990, Macdonald College of McGill University
3. Wang, X. and A. Li, *Experimental Investigation of Airflow Pattern of Fabric Air Dispersion System, in Proceedings of the 8th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning*, A. Li, Y. Zhu, and Y. Li, Editors. 2014, Springer Berlin Heidelberg. p. 429-438.
4. DUCTSOX, *DUCTSOX Engineering and Design Manual*. 2014
5. Su, Z. and J.S. Gudmundsson, *Friction Factor of Perforation Roughness in Pipes*. Society of Petroleum Engineers
6. หล้าอมรชัยกุล, ว., *Application of K-epsilon (k-ε) and K-omega (k-ω) Turbulence Model for Rotation Analysis of Vertical Axis Water Turbine Generator* การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2554, 2011.
7. Hunter, A.J., *Approximate analysis of the variation of static pressure along seed bulk aeration ducts*. Journal of Agricultural Engineering Research, 1986. 34(1): p. 17-39

ภาคผนวก

ตารางที่ ก1 แสดงผลลัพธ์การทดลองของการไหลผ่านท่อลมผ้ารูปแบบที่ 1 ถึง 3

CASE	Q_{in} [m ³ /s]	V_{in} [m/s]	Re	d_o/D	L/D	$\epsilon_{function}$	$P_{z,in}$ [Pa]	$P_{z,in}$ [Pa]	$P_{z,out}$ [Pa]	$P_{z,av}$ [Pa]	SPR	ΔP_t [Pa]	$g(Re, \epsilon/D, d_o/D)$ [-]	Uncertainty of g [-]
1.1	0.188	3.71	57756	0.791	20.87	208	47.07	54.92	7.85	50.01	5.88	1.96	0.0120	0.00293
1.2	0.210	4.15	64573	0.791	20.87	233	76.49	86.30	9.81	80.41	7.85	1.96	0.0096	0.00211
1.3	0.266	5.25	81701	0.791	20.87	220	101.00	116.70	15.70	107.38	12.76	2.94	0.0090	0.00178
1.4	0.290	5.72	89007	0.791	20.87	217	112.78	131.41	18.63	120.38	15.20	3.43	0.0088	0.00155
1.5	0.326	6.43	100036	0.791	20.87	257	154.95	178.48	23.54	164.75	19.61	3.92	0.0080	0.00121
1.6	0.358	7.06	109963	0.791	20.87	228	159.85	188.29	28.44	171.86	24.03	4.41	0.0074	0.00100
1.7	0.388	7.65	119066	0.791	20.87	223	196.13	229.48	33.34	210.35	28.44	4.90	0.0070	0.00087
2.1	0.240	4.73	73624	1.118	20.87	217	20.59	33.34	12.75	30.40	9.81	2.94	0.0111	0.00209
2.2	0.290	5.72	89007	1.118	20.87	260	26.48	45.11	18.63	33.83	14.71	3.92	0.0101	0.00198
2.3	0.312	6.15	95729	1.118	20.87	247	45.13	66.69	21.55	53.70	17.14	4.41	0.0098	0.00130
2.4	0.388	7.65	119066	1.118	20.87	258	49.03	82.38	33.34	62.76	27.46	5.88	0.0085	0.00085
2.5	0.415	8.19	127521	1.118	20.87	242	54.92	93.16	38.25	70.61	31.38	6.86	0.0086	0.00074
2.6	0.451	8.90	138493	1.118	20.87	192	65.70	110.82	45.11	102.97	37.27	7.85	0.0083	0.00063
2.7	0.519	10.24	159483	1.118	20.87	262	82.38	142.20	59.82	107.38	50.01	9.81	0.0079	0.00048
3.1	0.453	8.93	139077	1.581	20.87	212	11.77	57.26	45.49	29.42	35.30	10.19	0.0107	0.00126
3.2	0.470	9.27	144389	1.581	20.87	258	12.75	61.78	49.03	31.87	38.25	10.79	0.0105	0.00095
3.3	0.488	9.64	150053	1.581	20.87	224	13.73	66.69	52.96	34.81	42.17	10.79	0.0098	0.00078
3.4	0.502	9.90	154165	1.581	20.87	266	14.71	70.61	55.90	36.77	44.13	11.77	0.0101	0.00065
3.5	0.532	10.49	163357	1.581	20.87	283	15.69	78.45	62.76	40.70	50.01	12.75	0.0097	0.00056
3.6	0.564	11.13	173267	1.581	20.87	251	17.65	88.26	70.61	46.09	56.88	13.73	0.0093	0.00048
3.7	0.594	11.73	182639	1.581	20.87	237	19.61	98.07	78.45	51.48	63.74	14.71	0.0090	0.00038