

บทความวิจัย

การศึกษาแบบจำลองพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านทรงกระบอกตันแบบ 2 มิติ ด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

A STUDY OF TWO-DIMENSIONAL MODELING OF BEHAVIOR OF AIR FLOW THROUGH THE CYLINDER BY COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS TECHNIQUE (CFD)

ฉันทบูรณ์ ถาวรรณ*

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

Tanyaboon Tawonwan*

Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000

*Email: Tawonwan@hotmail.com

บทคัดย่อ

เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) เป็นเทคนิคที่ช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านพลศาสตร์ของไหล ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเอาหลักการและวิธีการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) มาเป็นเครื่องมือเพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านทรงกระบอกตันผิวเรียบในสองมิติ และจากผลงานวิจัยนี้จะได้มีการนำเอาข้อมูลไปใช้ประกอบการสร้างอุโมงค์ลมและออกแบบแท่งดูดความชื้นของระบบทำความเย็นแบบระเหยต่อไป โดยได้มีศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศ คือ การกระจายตัวของความเร็วอากาศ สัมประสิทธิ์การดูด (Re_d) และ เลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number, Re_d) ที่ค่าความเร็วอากาศเริ่มต้นที่ 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3, 5, 10, 30 และ 50 m/s โดยมีเงื่อนไขเลขเรย์โนลด์ที่ $Re_d \leq 10^3$ เป็นการไหลเป็นแบบราบเรียบและใช้แบบจำลองความหนืด (Viscous Model) แบบ Laminar เงื่อนไขเลขเรย์โนลด์ที่ $10^3 \leq Re_d \leq 10^5$ การไหลเป็นแบบปั่นป่วนและใช้แบบจำลองความหนืดแบบ k - epsilon และเงื่อนไขเลขเรย์โนลด์ที่ $Re_d > 10^5$ การไหลเป็นแบบปั่นป่วนเต็มรูปแบบและใช้แบบจำลองความหนืดแบบ k - epsilon และสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองจากการสร้างแบบจำลองตามทฤษฎีชั้นขอบเขต ซึ่งมีผลที่ได้จากการทดลองสร้างแบบจำลองจะมีความสอดคล้องกัน ในช่วงค่าของเลขเรย์โนลด์ ที่ 10^3 ถึง 10^5 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดเฉลี่ยโดยการทดลองสร้างแบบจำลอง CFD จะมีค่า 1.62 และค่าสัมประสิทธิ์การดูดเฉลี่ยโดยการคำนวณตามทฤษฎี จะมีค่า 1.03 และค่าสัมประสิทธิ์การดูดของอากาศที่ไหลผ่านทรงกระบอกตันผิวเรียบที่ใช้จริงตามทฤษฎี จะมีค่าอยู่ที่ 1.20

คำสำคัญ: พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ การไหลของอากาศผ่านทรงกระบอกตันผิวเรียบ

ABSTRACT

Computational fluid dynamics technique (CFD) is a relatively new field of technology in Thailand. This technique has been developed and used widely. CFD utilizes computer softwares to solve problems such as aerospace engineering, heat transfer and fluid mechanics etc. This research used the principles and methods of computer modeling with CFD as a tool by studying the flow of air through the cylinder in two-dimensional plane, which is part of the evaporative cooling model in low speed wind tunnel. The parameters studied in this study include the distribution of air velocity, coefficient of drag (C_D) and the Reynolds Number, (Re_d). The air velocity inlet of 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3, 5, 10, 30 and 50 m/s with Reynolds Number of $Re_d \leq 10^3$, $10^3 \leq Re_d \leq 10^5$ and $Re_d > 10^5$ were used to study laminar flow, low turbulent flow, respectively. The comparison of modeling for this research with boundary - layer theory, shows consistency of the studied models. For the values of Reynolds Number between 10^3 and 10^5 , the average value of coefficient of drag coefficient by CFD is 1.62. The average value of coefficient of drag coefficient from theoretical calculations is 1.03 whereas the real value of drag coefficient is 1.20.

Keywords: computational fluid dynamics (CFD), smooth cylinder cross flow

บทนำ

วิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอาศัยความสามารถของคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ช่วยในการคำนวณโดยใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Method) โดยมีกระบวนการตามรูปที่ 2 ในการทำการวิเคราะห์ปัญหาทางพลศาสตร์ของไหลได้ในระยะเวลาอันสั้นเพียงไม่กี่ชั่วโมง ทำให้กระบวนการออกแบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแบบเดิมๆ เช่น ในการออกแบบอากาศยานที่เมื่อออกแบบและสร้างตัวต้นแบบแล้ว จะต้องทำการทดลองหาผลทางอากาศพลศาสตร์ในอุโมงค์ลม ซึ่งทำให้มีขั้นตอนในการศึกษาและวิจัยที่มีความยุ่งยาก แต่ปัจจุบันการใช้โปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ที่เริ่มมีการใช้กันโดยแพร่หลายและมากขึ้น เริ่มเข้ามามีบทบาทต่อการเรียนการศึกษาในปัจจุบัน ซึ่งพฤติกรรมการไหลของของไหลสามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการจำลองปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางพลศาสตร์ของไหลจะคำนวณด้วยชุดของสมการอนุรักษ์ (Conservation Equations) และประกอบด้วยสมการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass Equations) หรือสมการความต่อเนื่อง (Continuity Equations) สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum Equations) และสมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy Equations) ซึ่งวิธี CFD นั้นสามารถช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการออกแบบ พัฒนา ปรับปรุง และสามารถทำให้เห็นภาพของการไหลได้ชัดเจนขึ้นผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของไหลจะมีปัจจัยและองค์ประกอบใหญ่ ๆ 3 องค์ประกอบ คือ สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ที่อธิบายความเป็นจริงของปัญหา เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ของปัญหาที่ทำการศึกษานั้น และลักษณะรูปร่าง (Geometry) ของปัญหา โดยทั้ง 3 องค์ประกอบนี้หากองค์ประกอบหนึ่งองค์ประกอบใดมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้ผลลัพธ์มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้วิธี CFD ในการคำนวณด้าน

ต่าง ๆ เช่น การนำ CFD มาช่วยในการออกแบบทางพลศาสตร์ของอากาศ การนำ CFD มาช่วยวิเคราะห์ปัญหาการหมุนวนของอากาศ และการศึกษาผลกระทบเนื่องจากรูปแบบของครีบท่อการถ่ายเทความร้อน เป็นต้น ซึ่งในการศึกษาแบบจำลองพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านทรงกระบอกตันใน 2 มิติ ด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ได้มีวัตถุประสงค์ในการการวิจัยอยู่ 3 ประการ คือ

1. เพื่อเป็นการศึกษาพฤติกรรมของการไหลอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านทรงกระบอกตัน ด้วยวิธีการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

2. ศึกษาผลกระทบของกระแสอากาศที่มีต่อทรงกระบอกตันกับแบบจำลองอุโมงค์ลม

3. เพื่อนำข้อมูลที่ได้นี้ไปต่อยอดสร้างอุโมงค์ลม ในการศึกษาและวิจัยทางพลศาสตร์ของไหล

ดังนั้นการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมของอากาศที่ไหลผ่านทรงกระบอกตันในเงื่อนไขแบบ 2 มิติ จากงานวิจัยนี้สามารถนำผลที่ได้จากการจำลองไปใช้เป็นหลักการพื้นฐานสำหรับการทำนายพฤติกรรมการไหลของอากาศ เพื่อใช้ในการออกแบบสร้างอุโมงค์ลมและการวางแผนของแท่งกระบอกดูดความชื้นของงานวิจัยระบบการทำความเย็นแบบระเหยของอากาศ ทั้งนี้ยังสามารถช่วยให้เห็นผลกระทบจากการออกแบบและนำไปปรับปรุงกรณ์ต่าง ๆ ของระบบอุโมงค์ลมของระบบทำความเย็นแบบระเหยได้ เพื่อให้ให้อากาศไหลผ่านระบบทำความเย็นแบบระเหยและวัตถุทรงกระบอกดูดความชื้นเป็นไปได้ด้วยความสะดวก และมีประสิทธิภาพของการทำความเย็นที่ดี

วิธีการ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองสร้างแบบจำลอง CFD เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแบบจำลองของวัตถุทรงกระบอกตันในอุโมงค์ลม แบบ 2 มิติ โดยมีเงื่อนไขขอบเขต (Bell & Mehta, 1989) ดังแสดงในรูปที่ 2 แล้วนำผลการคำนวณที่ได้มาวิเคราะห์ความเป็นไปได้กับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งปริมาณที่ได้จากการทดลองสร้างแบบจำลอง CFD และนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎี ได้แก่ สัมประสิทธิ์การดูด (C_D) และเลขเรย์โนลด์ (Re_d) ซึ่งเป็นปริมาณที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมของของไหล ดังสมการที่ (4) ถึง (6) โดยได้กำหนดค่าความเร็วลมที่ 0.01 ถึง 50 m/s และแบบจำลองของวัตถุทรงกระบอกตันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุทดสอบ (D) มีขนาด 0.025 m และแบบจำลองอุโมงค์ลมมีความกว้าง H หรือ 8D และมีความยาว 20D ซึ่งสามารถกำหนดเงื่อนไขเลขเรย์โนลด์ (Re_d) ของแบบจำลองความหนืด (viscous Model) ที่ความเร็วของอากาศในอุโมงค์ลม (velocity inlet) สำหรับการไหลท่วมทรงกระบอกตันและเป็นการไหลแบบเต็มท่อ ได้แก่ $Re_d \leq 10^3$ สำหรับการไหลเป็นแบบราบเรียบจะใช้แบบจำลองความหนืดแบบ Laminar, $10^3 \leq Re_d \leq 10^5$ สำหรับการไหลเป็นแบบปั่นป่วนจะใช้แบบจำลองความหนืดแบบ k - epsilon และ $Re_d > 10^5$ สำหรับการไหลเป็นแบบปั่นป่วนเต็มรูปแบบจะใช้แบบจำลองความหนืดแบบ k - epsilon

1. รูปแบบสมการในระบบการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ แบบ 2 มิติ

การกำหนดคุณลักษณะของแบบจำลองทางกายภาพและการคำนวณทาง CFD ได้แก่ การกำหนดรูปแบบสมการของการเคลื่อนที่ของของไหล สมการเอนทัลปี (Enthalpy) และสมการอนุรักษ์มวล ซึ่งโดยทั่วไปการพิจารณาสนามการไหลในของไหลแบบ Navier-Stokes ซึ่งจะมีการวิเคราะห์ผลเชิงตัวเลขทางด้านพลศาสตร์ของไหล ที่จะต้องให้ความสำคัญ โดยมีสมการควบคุมสนามการไหลของของไหลหลัก ๆ คือ สมการอนุรักษ์มวลหรือสมการความต่อเนื่อง สมการพลังงาน และสมการโมเมนตัม ซึ่งได้แสดงในสมการที่ (1) ถึง (3) (Techaampai, 2013; Versteeg & Malalasekera, 1995)

1.1 สมการอนุรักษ์มวลหรือสมการความต่อเนื่อง (ของไหลที่บีบอัดตัวได้) ใน 2 มิติ

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล [kg/m³]

t คือ เวลา [s]

u และ v คือ ความเร็วย่อยในทิศแกน x และ y [m/s]

$\vec{V}$ คือ ความเร็วของของไหล [m/s]

1.2 สมการอนุรักษ์โมเมนตัมในแนวแกน x และ y

$$\begin{aligned} \text{x-component: } & \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho u \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \rho f_x \\ \text{y-component: } & \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho v \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \rho f_y \end{aligned} \quad (2)$$

เมื่อ p คือ แรงอันเนื่องมาจากความดัน [N]

σ_x คือ ความเค้นตั้งฉากกับแกน y (normal stress) ที่กระทำในแนวแกน x

ρf_x คือ แรงอันเนื่องมาจากน้ำหนักของตัวเองในแนวแกน x

τ_{yx} คือ ความเค้นเฉือนในแนวแกน x (shear stress) (สำหรับตัวห้อยแรก ในที่นี้คือ y ระบุด้านที่ตั้งฉากกับแกน y ซึ่งมีความเค้นเฉือนนี้กระทำอยู่ ส่วนตัวห้อยหลัง ในที่นี้คือ x ระบุทิศทางของความเค้นเฉือนที่กระทำ)

1.3 สมการอนุรักษ์พลังงานใน 2 มิติ

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \right] + \vec{\nabla} \cdot \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \vec{V} \right] = \rho \bar{Q} + \vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} T) - p \cdot \vec{\nabla} \vec{V} \\ \left[\frac{\partial u \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial u \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} \right] + \rho \vec{f} \cdot \vec{V} \quad (3)$$

เมื่อ e คือ พลังงานภายใน [J]

$\frac{V^2}{2}$ คือ พลังงานจลน์ของของไหล [J] ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V [m/s]

p คือ ความดันของของไหล [Pa]

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) [W/(m·K)]

T คือ อุณหภูมิของของไหล [K]

$\bar{Q}$ คือ ปริมาณฟลักซ์ความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในของไหล [W/m²]

2. การวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหล

การวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหลสามารถวิเคราะห์ได้ ดังสมการที่ (4) ถึง (6) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้วิเคราะห์สัมประสิทธิ์การฉุดสำหรับการไหลท่วมทรงกระบอกตัน (C_D) และสมการการวิเคราะห์เลขเรย์โนลด์สำหรับการไหลท่วมทรงกระบอกตัน (Re_d)

2.1 สมการสัมประสิทธิ์การฉุดสำหรับการไหลท่วมทรงกระบอกตัน (Schlichting, 1979) โดยที่ L คือ ความยาวของทรงกระบอก [m], d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกระบอก [m], V คือ ความเร็วของของไหล [m/s] และ D_T คือ แรงฉุดรวม [N]

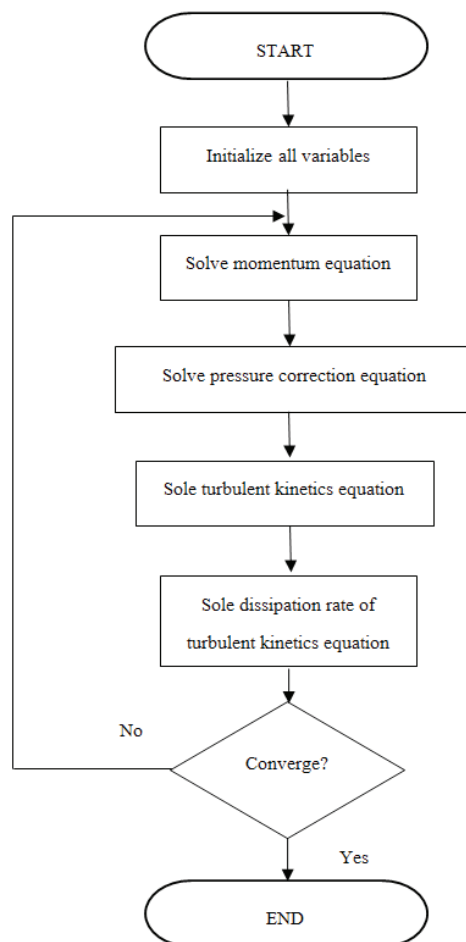
$$C_D = \frac{D_T}{\frac{1}{2} \rho V^2 L d} \quad (4)$$

2.2 สมการสัมประสิทธิ์การฉุดในพจน์ของเลขเรย์โนลด์ (Re_d) สำหรับการไหลท่วมทรงกระบอกตัน (Piroonkaset, 2004)

$$C_D = 1 + \frac{10}{Re_d^{2/3}} \quad (5)$$

2.3 เลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number, Re_d) สำหรับการไหลท่วมทรงกระบอกตัน (Piroonkaset, 2004) โดยที่ u_∞ คือ ความเร็วของของไหลที่ฟรีสตรีม [m/s], ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล [kg/m³], และ μ คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดพลศาสตร์ [kg/(m·s)]

$$Re_d = \frac{\rho u_\infty d}{\mu} \quad (6)$$



รูปที่ 1 ผังงานแสดงกระบวนการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ที่มีการหาผลเฉลยด้วยวิธีการทางระเบียบวิธีทางตัวเลขแบบซิมเปิล (SIMPLE algorithm)(Tawonwan, 2007)

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนของการดำเนินการวิจัยนี้ ผู้วิจัยกำหนดขั้นตอนในการวิจัยไว้ 7 ขั้นตอนดังนี้

3.1 สร้างแบบจำลอง CFD แบบ 2 มิติ เพื่อทำนายพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแบบจำลองของวัตถุทรงกระบอกตัน

3.2 สร้างเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองทรงกระบอกและแบบจำลองอุโมงค์ลม โดยมีข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 2

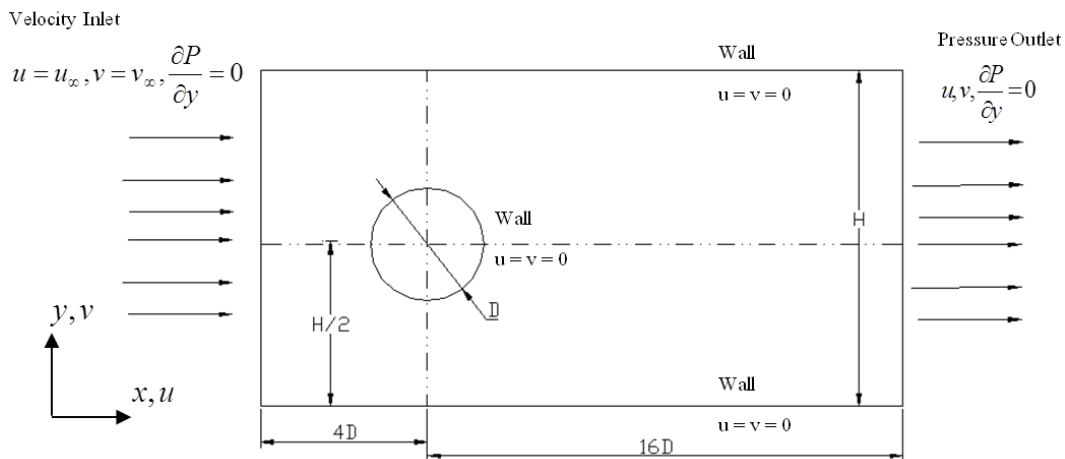
3.3 แบบจำลองการไหลที่ใช้ในการวิจัยนี้จะใช้เป็นแบบปั่นป่วน หรือ k - epsilon และกำหนดให้การจำลองนี้เป็นการจำลองแบบคงตัว (Steady State)

3.4 ศึกษาปริมาณที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง CFD ได้แก่ สัมประสิทธิ์การดูด (C_D) เลขเรย์โนลด์ (Re_D) ซึ่งเป็นปริมาณที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมของของไหล โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) ถึง (6)

3.5 ค่าความเร็วลมขาเข้าอุโมงค์ลมที่ใช้ในการจำลอง คือ 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3, 5, 10, 30 และ 50 m/s

3.6 เปรียบเทียบผลการจำลองกับการคำนวณทางทฤษฎีและผลการทดลองที่ได้รับการยอมรับ ดังแสดงในรูปที่ 3

3.7 สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัยในผลของพฤติกรรมการณ์เคลื่อนที่ของอากาศผ่านแบบจำลองทรงกระบอกตัน



รูปที่ 2 เงื่อนไขขอบเขตของการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ของแบบจำลองทรงกระบอกตันในแบบจำลองอุโมงค์ลม แบบ 2 มิติ

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การเปรียบเทียบผลการทดลองในการสร้างแบบจำลองตามเงื่อนไขขอบเขต ดังรูปที่ 1 และในหัวข้อวิธีดำเนินการวิจัยและระเบียบวิธีวิจัย ซึ่งจะมีทฤษฎีขั้นขอบเขต ใช้เป็นทฤษฎีอ้างอิงสำหรับการสร้างแบบจำลองนี้ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการไหลของอากาศโดยมีปริมาณในสมการที่ (4) ถึง (6) เป็นสมการหลักในการใช้อ้างอิง โดยการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสัมประสิทธิ์การดูด กับ เลขเรย์โนลด์ ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูด กับ เลขเรย์โนลด์ของการทดลองศึกษาพฤติกรรมของการไหลของอากาศผ่านทรงกระบอกตันในอุโมงค์ลม ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่าง ๆ และใช้เปรียบเทียบกับผลการทดลองสร้างแบบจำลอง และจากการทดลองสร้างแบบจำลอง CFD เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการไหลของอากาศผ่านทรงกระบอกกลม ที่มีเงื่อนไขเป็นแบบจำลอง 2 มิติ พบว่าผลของการสร้างแบบจำลอง ผลของการคำนวณตามทฤษฎี และผลของการทดลองทฤษฎีขั้นขอบเขต มีความสอดคล้องและเป็นไปในทางที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งในการทดลองสร้างแบบจำลองได้กำหนดช่วงค่าของเลขเรย์โนลด์ อยู่ที่ 10^1 ถึง 10^5 และกำหนดค่าความเร็วลมที่ทางเข้าของอุโมงค์ลม (Velocity

inlet) เป็น 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3, 5, 10, 30 และ 50 m/s และสำหรับการใช้งานจริงของค่าสัมประสิทธิ์การดูดของอากาศที่ไหลผ่านทรงกระบอกตันผิวเรียบ จะมีค่าอยู่ที่ 1.2 และ เลขเรย์โนลด์อยู่ที่ 10^5 (Bertin, 2002) และได้แสดงตัวอย่างผลการจำลองในรูปแบบภาพกราฟิกในรูปที่ 5 และ 6 ซึ่งเป็นการแสดงรูปแบบการกระจายตัวของความเร็วอากาศ การกระจายตัวของเวกเตอร์ความเร็วของอากาศ และการกระจายตัวของความดันที่เกิดขึ้น ณ ค่าความเร็วของอากาศที่ทางเข้าต่าง ๆ กัน

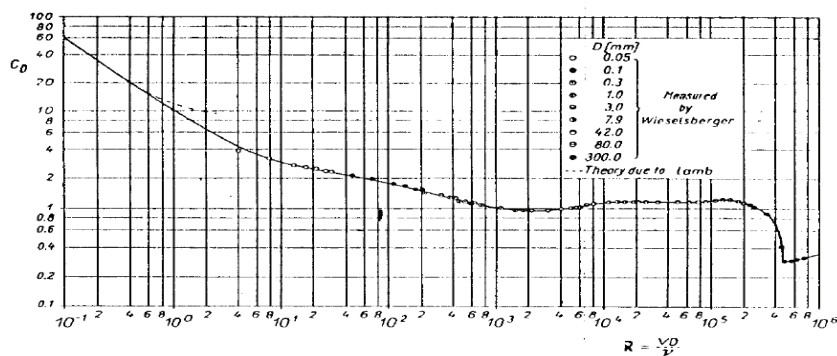
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบตัวเลขเรย์โนลด์ (Re_d) และสัมประสิทธิ์การดูดที่คำนวณในทางทฤษฎี (C_D Theory) กับสัมประสิทธิ์การดูดจากผลของแบบจำลอง CFD (C_D CFD) ที่ความเร็วของอากาศต่าง ๆ ณ ทางเข้าของแบบจำลองอุโมงค์ลม

velocity inlet (m/s)	Re_d	C_D Theory	C_D CFD
0.01	1.57E+01	2.59	3.88
0.03	4.72E+01	1.77	3.15
0.05	7.87E+01	1.54	2.86
0.1	1.57E+02	1.34	2.70
0.3	4.72E+02	1.16	2.41
0.5	7.87E+02	1.12	2.47
1	1.57E+03	1.07	2.12
3	4.72E+03	1.04	1.41
5	7.87E+03	1.03	1.05
10	1.57E+04	1.02	1.75
30	4.72E+04	1.01	1.76
50	7.87E+04	1.01	1.68

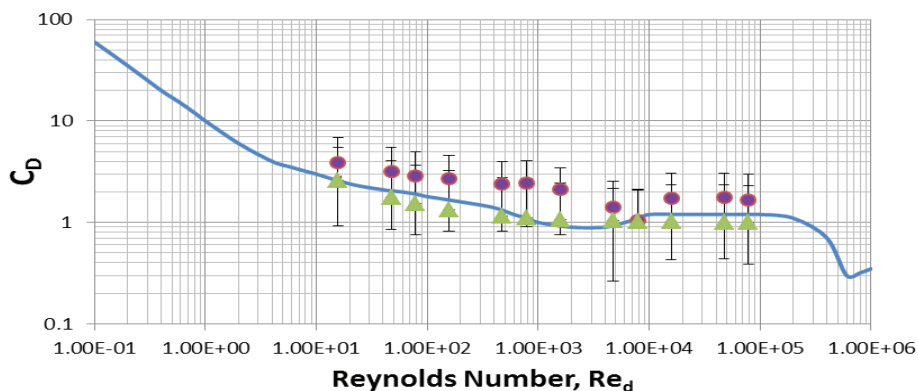
ผลการทดลอง

จากการสร้างแบบจำลอง CFD เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านทรงกระบอกกลมที่มีเงื่อนไขเป็นแบบจำลอง 2 มิติ พบว่าผลของการสร้างแบบจำลอง ผลของการคำนวณตามทฤษฎี และผลของการทดลองทฤษฎีขึ้นขอบเขต มีความสอดคล้องและเป็นไปในทางที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 และสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งในการทดลองจะเพิ่มความเร็วอากาศที่ทางเข้ามากขึ้น คือ 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3, 5, 10, 30 และ 50 m/s จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วอากาศเข้าที่ 0.1 m/s และ 1 m/s รูปแบบการไหลของอากาศ และรูปแบบของเวกเตอร์การไหลของอากาศจะมีลักษณะหมุนวน (Vortex) เนื่องจากเงื่อนไขค่าของเลขเรย์โนลด์ ของการไหลของอากาศที่อยู่ในช่วงของการเริ่มเปลี่ยนแปลงจากการไหลแบบราบเรียบไปเป็นการไหลแบบปั่นป่วน สอดคล้องกับตัวอย่างในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นรูปแบบการกระจายตัวของความดันที่ความเร็วอากาศเข้าที่ 0.1 m/s และ

1 m/s ในบริเวณอากาศหมุนวนจะมีค่าความดันที่ต่ำเมื่อเทียบกับบริเวณข้างเคียง โดยในการทดลองสร้างแบบจำลองได้กำหนดช่วงค่าของเลขเรย์โนลด์ อยู่ที่ 10^1 ถึง 10^5 และค่าสัมประสิทธิ์การดูด ของอากาศที่ไหลผ่านทรงกระบอกตันผิวเรียบ ที่ได้จากการทดลองสร้างแบบจำลอง CFD จะมีค่าอยู่ในช่วง 1.68 ถึง 3.88 และค่าสัมประสิทธิ์การดูด เฉลี่ยโดยการทดลองสร้างแบบจำลอง CFD ในช่วงค่าของเลขเรย์โนลด์ ที่ 10^3 ถึง 10^5 จะมีค่า 1.62 และค่าสัมประสิทธิ์การดูด เฉลี่ยโดยการคำนวณตามทฤษฎี ในช่วงค่าของเลขเรย์โนลด์ ที่ 10^3 ถึง 10^5 จะมีค่า 1.03 และสำหรับการใช้งานจริงของค่าสัมประสิทธิ์การดูด ของอากาศที่ไหลผ่านทรงกระบอกตันผิวเรียบ จะมีค่าอยู่ที่ 1.2 และ เลขเรย์โนลด์ อยู่ที่ 10^5 (Bertin, 2002)



รูปที่ 3 ผลการทดลองของการไหลของอากาศผ่านทรงกระบอกตันจากทฤษฎีชั้นขอบเขต (Boundary - Layer Theory) กับสัมประสิทธิ์การดูด (C_D) และตัวเลขเรย์โนลด์ (Re_D) ต่าง ๆ (Schlichting, 1979)



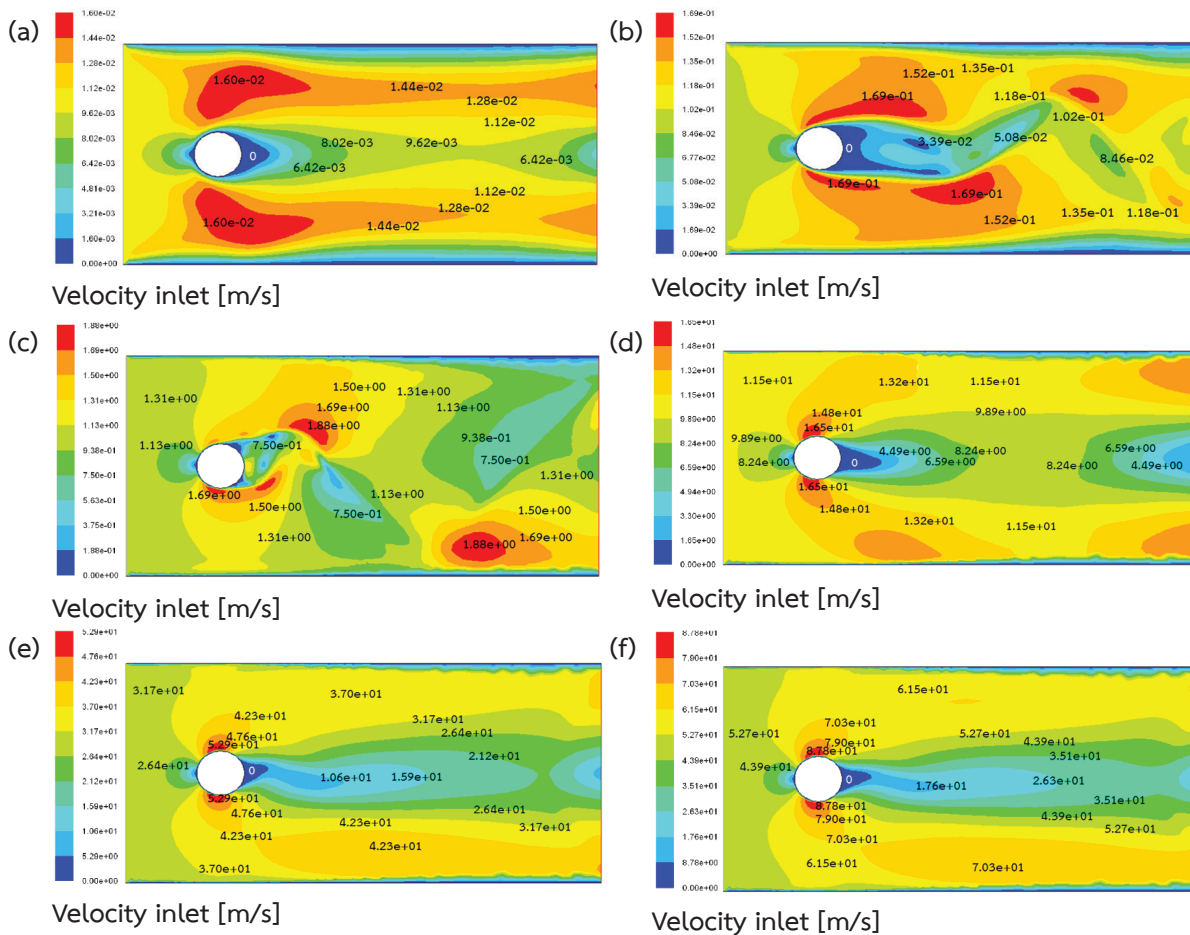
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูด (C_D) ของอากาศที่ไหลผ่านทรงกระบอกตันเปรียบเทียบกับเลขเรย์โนลด์ (Re_D) ที่ได้จากแบบจำลอง CFD ที่เปรียบเทียบกับผลการทดลองของทฤษฎีชั้นขอบเขต (Boundary - Layer Theory) และทฤษฎีการไหลทั่ววัตถุทรงกระบอกตัน ในสมการที่ 4 ถึง 6 โดยที่ — คือผลของเลขเรย์โนลด์ จากการทดลองตามทฤษฎีชั้นขอบเขต (Boundary-Layer Theory) (Schlichting, 1979), ▲ คือผลของเลขเรย์โนลด์ จากการทดลองจากทฤษฎีการไหลทั่ววัตถุทรงกระบอกตัน และ ● คือผลของเลขเรย์โนลด์ จากแบบจำลอง CFD ของอากาศที่ไหลผ่านทรงกระบอกตัน

สรุปและวิจารณ์ผล

ในงานวิจัยนี้จะมีการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแบบ 2 มิติ เพื่อทำนายพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแบบจำลองของวัตถุทรงกระบอกตัน โดยมีการสร้างเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองทรงกระบอกและแบบจำลองอุโมงค์ลมซึ่งแสดงข้อมูลในรูปที่ 2 และได้กำหนดรูปแบบของแบบจำลองการไหล (Flow model) เป็นแบบปั่นป่วน (k - epsilon) และมีเงื่อนไขสถานการณ์จำลองของการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเป็นการจำลองแบบคงตัว (Steady State) โดยผลของพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านทรงกระบอกตัน แบบ 2 มิติ ด้วยวิธีการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณได้แสดงผลของการทดลองในตารางที่ 1 และในรูปที่ 4 ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การดูดที่คำนวณในทางทฤษฎี (C_D Theory) กับสัมประสิทธิ์การดูดจากผลของแบบจำลอง CFD (C_D CFD) ที่ความเร็วลมที่ทางเข้าอุโมงค์ลมขนาดต่าง ๆ ปรากฏว่าในค่าสัมประสิทธิ์การดูด (C_D) เหล่านั้น มีค่าที่ใกล้เคียงกับที่ตัวเลขเรย์โนลด์ (Re_D) ประมาณระหว่าง 4.00×10^3 ถึง 7.00×10^3 ซึ่งอยู่ในช่วงของความเร็วกะแสลมเข้าอุโมงค์ลมระหว่าง 3 ถึง 5 m/s โดยมีลักษณะของพฤติกรรมการไหลของอากาศอยู่ในช่วงขอบเขตการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) และเป็นการไหลแบบปั่นป่วนที่ไม่สูงมาก ดังนั้น จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองนี้จึงสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้วิเคราะห์เพื่อกำหนดค่าความเร็วและอัตราการไหลของอากาศ ณ ตำแหน่งเข้าอุโมงค์ลมของเครื่องทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative cooling) ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในงานวิจัยต่อไป เพื่อที่จะได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้น้ำ และศึกษาผลของสมรรถนะของการดูดความชื้นของแห้งดูดความชื้นที่มีลักษณะรูปร่างเป็นทรงกระบอกตันเช่นเดียวกับตัวงานในงานวิจัยนี้ต่อไป

จากประสบการณ์การทดลองและวิจัยทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ซึ่งผู้วิจัยจะขอแสดงความคิดเห็นว่า ในวิจัยครั้งนี้ด้วยการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เพื่อการวิจัยค้นหาผลเฉลยหรือคำตอบของปริมาณทางฟิสิกส์ต่าง ๆ และการศึกษาพฤติกรรมของของไหลภายใต้เงื่อนไขขอบเขตใด ๆ ของการแก้ปัญหาทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ที่มักจะต้องอาศัยวิธีการทางระเบียบวิธีเชิงตัวเลขผสมผสานกับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อการหาผลเฉลยนั้น ผู้วิจัยจะต้องทราบว่าผลเฉลยที่ได้นั้นจะเป็นค่าโดยประมาณ โดยสามารถตรวจสอบผลเฉลยหรือคำตอบที่ได้จากกระบวนการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณด้วยการเปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างผลเฉลยหรือคำตอบที่ได้ ซึ่งจะมีความใกล้เคียงหรือแตกต่างกันทางพฤติกรรมและปริมาณทางฟิสิกส์ต่าง ๆ ด้วยผลเฉลยที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้องหรือจากการทดลองจริงในสภาวะเงื่อนไขขอบเขตเดียวกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด และนอกจากนั้นผู้ที่ทำการวิเคราะห์จำเป็นต้องมีองค์ความรู้ความเข้าใจในวิทยาศาสตร์กายภาพในหลายสาขา มีความเข้าใจในระบบเชิงอุณหพลศาสตร์ มีความรู้กระบวนการของระเบียบวิธีเชิงตัวเลขและระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ มีความเข้าใจในระบบการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และสุดท้ายจะต้องมี

ประสบการณ์การทำงานวิจัยทางพลศาสตร์ของไหลเชิงการคำนวณ หรือ CFD อันพอสสมควร (Techaampai, 2013) เหล่านี้จะช่วยในการวิเคราะห์และสามารถค้นหาคำตอบของปัญหาได้รวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้น



รูปที่ 5 รูปแบบการกระจายตัวของความเร็วลมของผลการสร้างแบบจำลอง CFD ที่ความเร็วลมที่ทางเข้าอุโมงค์ลมต่าง ๆ กัน (a) ที่ความเร็วลมที่ทางเข้าอุโมงค์ลม 0.01 m/s, (b) ที่ความเร็วลมที่ทางเข้าอุโมงค์ลม 0.1 m/s, (c) ที่ความเร็วลมที่ทางเข้าอุโมงค์ลม 1 m/s, (d) ที่ความเร็วลมที่ทางเข้าอุโมงค์ลม 10 m/s, (e) ที่ความเร็วลมที่ทางเข้าอุโมงค์ลม 30 m/s และ (f) ที่ความเร็วลมที่ทางเข้าอุโมงค์ลม 50 m/s

REFERENCES

- Bell, J.H. & Mehta, R.D. (1989). Boundary-Layer Predictions for Small Low-Speed Contractions. **AIAA Journal**, 27(3), 372-374.
- Benitz, M.A., Carlson, D.W., Seyed-Aghazadeh, B., Modarres-Sadeghi, Y., Lackner, M.A. & Schmidt, D.P. (2016). CFD simulations and experimental measurements of flow past free-surface piercing, finite length cylinders with varying aspect ratios. **Computers and Fluids**, 136, 247-259.
- Bertin, J.J. (2002). **Aerodynamics for Engineers**. 4th Edition.. Department of Aerodynamics. New Jersey: United States Air Force Academy Prentice Hall.
- Kumar, A., Joshi, J.B., Nayak, A.K. & Vijayan, P.K. (2014). 3D CFD simulation of air cooled condenser-I: Natural convection over a circular cylinder. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 78. 1265-1283.
- Piroonkaset, M. (2004). **Fluid Dynamics**. 2nd Edition. Bangkok: Vitayapat Company Limited. (In Thai)
- Schlichting, H. (1979). **Boundary-Layer Theory**. Germany: Engineering University of Braunschweig.
- Sen, U., Mukhopadhyay, A. & Sen, S. (2017). Effects of fluid injection on dynamics of flow past a circular cylinder. **European Journal of Mechanics B/Fluids**, 61. 187-199
- Tawonwan, T. (2007). **A Study of Air Flow Behavior Through the Solar Chimney by Computational Fluid Dynamics (CFD) Technique**. (Master's Thesis). King Mongkut's University of Technology Thonburi. Bangkok, Thailand. (In Thai)
- Tawonwan, T. & Wansao, C. (2016). **A Study and Comparison of Dehumidification of Air with Silica Gel and Charcoal in Evaporative Cooling System**. 12th Conference on Energy Network of Thailand (E-nett12th), (1298-1306) Phitsanulok, Thailand. (In Thai)
- Tawonwan, T. & Wansao, C. (2016). A Study of Behavior of Air Flow through Circular Cylinder Rows in Low speed Wind Tunnel with Computational Fluid Dynamics technique. **Rmutsb Academic Journal**, 4(1), 35-45. (In Thai)
- Techaampai, P. (2013). **Computational Fluid Dynamics by Finite Element and Finite Volume Methods**. 2nd Edition. Bangkok: Chula Press. (In Thai)
- Versteeg, H. K. & Malalasekera, W. (1995). **An introduction to Computational Fluid Dynamics the finite volume method**. Malaysia: Pearson Prentice Hall.
- Witte, A. & Polifke, W. (2017). Dynamics of unsteady heat transfer in pulsating flow across a cylinder. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 109. 1111-1131.