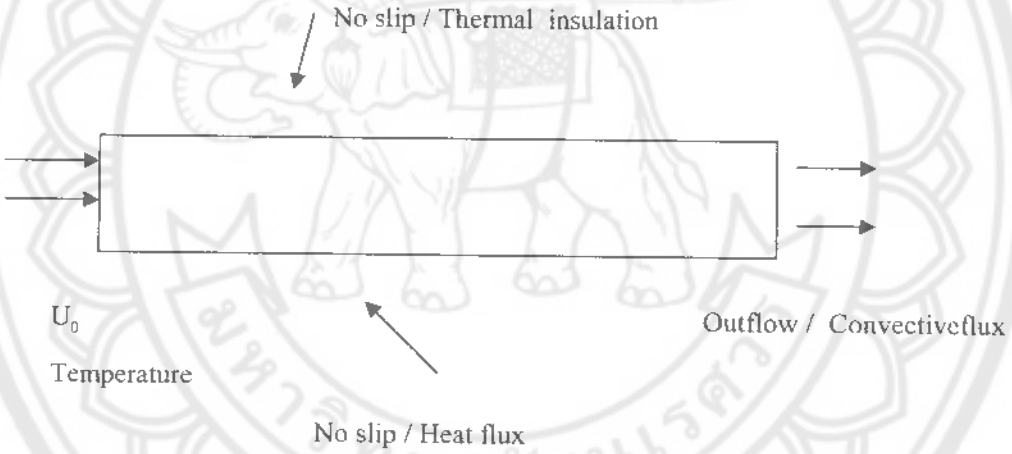
บทที่ 3
วิธีการทดลอง

บทนี้เป็นการแสดงวิธีการคำนวณการไหลของอากาศผ่านช่องการไหลที่มีพื้นผิวเป็นร่องรอยบุ๋มและรอยนูน โดยใช้โปรแกรม COMSOL 3.2 b ซึ่งเป็นวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยเริ่มจากการอธิบายปัญหาของโจทย์ สภาวะขอบเขต สมการที่ใช้ในการคำนวณ (Governing Equation) ซึ่งสืบเนื่องมาจากกฎการอนุรักษ์ (Conservation Laws) และพารามิเตอร์ที่ได้ศึกษา ที่มีผลกระทบต่อการไหลและการถ่ายเทความร้อน ผลที่ได้จากการคำนวณของพื้นผิวทั้งสองจะนำมาเปรียบเทียบกับผลของการไหลผ่านช่วงการไหลที่ทำด้วยแผ่นเรียบ

3.1 สภาวะขอบเขต

การศึกษาลักษณะการไหลของอากาศของแบบจำลองดังรูปที่ 3.1 โดยที่ทางเข้าของช่องการไหลกำหนดให้เป็นแบบการพัฒนาอย่างเต็มที่ (Fully developed) ผนังด้านบนและด้านล่างกำหนดให้เป็นการไหลที่ไม่มีการเสียดทาน (No slip) โดยพิจารณาพื้นผิวด้านบนเป็นฉนวน



รูปที่ 3.1 การกำหนดสภาวะขอบเขตของโดเมนของการคำนวณ

จากการกำหนดสภาวะขอบเขตต่างๆ อธิบายได้ดังนี้

- กำหนดให้อากาศมีค่าความเร็วที่ตำแหน่งทางเข้า (Inflow) เป็น U_0 โดยความเร็วนี้จะเป็นความเร็ว

ตามแนวแกนนอน (x) ตามสมการ $U=U_0$

- กำหนดให้ตำแหน่งผนังด้านบนด้านล่าง (No Slip) มีค่าความเร็วตามแนวแกนนอน (x) มีค่าเป็นศูนย์ เขียนให้อยู่ในรูปตามสมการ $U = 0$

- กำหนดให้ตำแหน่งทางออก (Outflow) เป็นการไหลแบบไม่มีความดัน ดังสมการ $P=0$

-กำหนดให้ตำแหน่งทางเข้ากำหนดให้ค่าอุณหภูมิ (T) คงที่เท่ากับอุณหภูมิของเจ็ทเข้า (T_0) ซึ่งมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของอากาศตามสมการ $T=T_0$

-กำหนดให้ตำแหน่งผนังด้านบนไม่มีถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมนอกขอบเขตที่พิจารณา (Thermal Insulation) โดยทั้งการนำและการพาดังสมการ $(-k\nabla T+\rho C_p Tu) = 0$

-กำหนดให้ตำแหน่งฟลักซ์ความร้อน (Heat Flux) โดยตำแหน่งนี้ค่าฟลักซ์ความร้อนจะมีค่าเท่ากับ

ค่าฟลักซ์ความร้อนที่เกิดจากการนำรวมการฟลักซ์ความร้อนที่เกิดจากการพาดังแสดงตามสมการ

$$(-k\nabla T+\rho C_p Tu) = q_0$$

-กำหนดให้ตำแหน่งฟลักซ์ความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนตรงตำแหน่งทางออก (Convective Flux) จึงส่งผลให้เทอมของฟลักซ์ความร้อนจากการนำมีค่าเท่ากับศูนย์ตามสมการ $(-k\nabla T)= 0$

โดยตัวแปรในสมการคือ

U = ความเร็ว (Velocity)

∇ = gradient operator

μ= viscosity kg/s.m

p = pressure, N/m^2

C_p = specific heat at constant pressure ,J/kg*K

T = อุณหภูมิ (Temperature), K

Q = heat transfer rate , W

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ย T_m

ความหนาแน่น (ρ)	1.1774 kg/m^3
ความหนืดพลวัต (Dynamic Viscosity, μ)	1.8462 x10^{-5} kg/m.s
ความจุความร้อนจำเพาะ (c_p)	1005.7 J/kg.K
สภาพการนำความร้อน (Thermal Conductivity, k)	0.02624W/m.K

โดยคุณสมบัติต่างๆของของไหล ซึ่งในการคำนวณกำหนดให้เป็นอากาศโดยสำหรับการไหลภายในท่อหาที่อุณหภูมิเฉลี่ย

$$T_m = T_{m,i} + \frac{q''_s P}{\dot{m} c_p} x \qquad q''_s = \text{constant}$$

ซึ่งจะได้ $T_m \approx 300$ K

T_m=อุณหภูมิเฉลี่ย ,K

$T_{m,i}$=อุณหภูมิเฉลี่ยขาเข้า, K

q''_s = Heat Flux

P = พื้นที่หน้าตัดของช่องการไหล

X = ความยาวของช่องการไหล

$\dot{m}$ = อัตราการไหลโดยมวล

3.3.2สมการสำหรับการไหลและการถ่ายเทความร้อน (Governing Equations)

สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาการไหลของของไหลนั้นจะเริ่มพิจารณาจาก สมการการอนุรักษ์ (Conservation Laws) ซึ่งประกอบไปด้วย กฎการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน ดังแสดงในสมการที่ (3.1) ถึง (3.2)

โดยกำหนดให้การไหลมีสภาวะคงตัว (Steady State) และการไหลเป็นแบบการพัฒนาอย่างเต็มที่ (Fully developed) และไม่พิจารณาแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity Force) ซึ่งจะได้สมการความต่อเนื่องและสมการนาเวีย-สโตกส์ ตามเงื่อนไขที่ได้แสดงไว้

1. สมการความต่อเนื่อง

$$\nabla \bullet U = 0 \qquad (3.1)$$

2. สมการนาเวียสโตส์

$$\rho g - \nabla p + \mu \nabla^2 U = \rho \frac{DU}{Dt} \qquad (3.2)$$

3. สมการอนุรักษ์พลังงาน

ปัญหาการถ่ายเทความร้อนของแผ่นเป้าหมายจากงานวิจัยนี้ จะไม่พิจารณาการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสี เนื่องจากผลของการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีมีค่าน้อยมากเมื่อเท่ากับการถ่ายเทความร้อนโดยการนำหรือการพา ดังนั้นจะได้สมการสำหรับการนำและการพา ดังนี้

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla.(-k\nabla T + \rho c_p \boldsymbol{U} T) = Q \qquad (3.3)$$

เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเกิดที่สภาวะคงตัว (Steady State) เมื่อกำหนดให้ความหนาแน่นของไหลมีค่าคงที่ และกำหนดให้แหล่งความร้อน (Heat Source, Q) มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะได้สมการที่ (3.4)

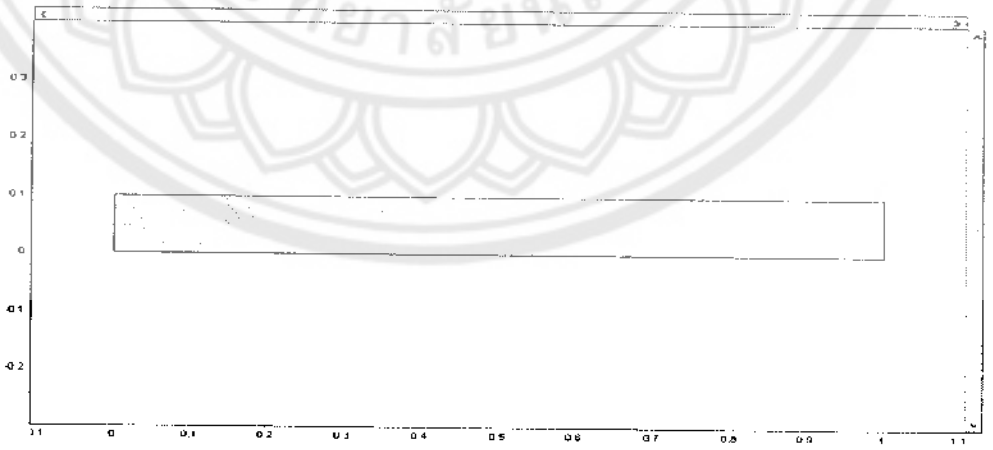
$$\nabla.(-k\nabla T + \rho c_p \boldsymbol{U} T) = 0 \qquad (3.4)$$

จากสมการที่ (3.4) ซึ่งเป็นได้ตัดเทอมของเวลาและแหล่งความร้อนออกแล้วจะได้ว่าสมการพลังงานเหลือเพียง 2 เทอม คือ เทอมของการนำความร้อน ($\nabla.(-k\nabla T)$) และเทอมของการพาความร้อน ($\nabla.(\rho c_p \boldsymbol{U} T)$)

3.1.3 การคำนวณเชิงตัวเลข

การคำนวณจะใช้โปรแกรมทางจลนศาสตร์ของไหล ใน 2 มิติ ประมวลผลซึ่งเป็นการใช้กระบวนการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element) ในการหาผลของสมการนาเวีย-สโตกส์แบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible Navier-Stokes Equations) ซึ่งมีสภาวะการไหลแบบคงตัว และการหาผลเฉลยของสมการการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะคงตัว โดยประมวลผลด้วยวิธี Stationary nonlinear แบบ Direct (UMFPACK) ซึ่งเป็นวิธีประมวลผลของระบบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

สำหรับการสร้างกริด (Grid) ให้กับช่องการไหลสำหรับประมวลผล จะสร้างกริดแบบสามเหลี่ยมไร้ระเบียบกระจายทั่วทั้งช่องการไหลโดยความละเอียดกริดเท่ากับ 4072 elements ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่3.2 การสร้างกริดในช่องการไหล

3.2 พารามิเตอร์และตัวแปรที่ศึกษา

ผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนจะมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิของๆไหลที่ใช้ในการระบายความร้อน ชนิดของของไหล ความเร็วในการไหล พื้นที่ผิวสัมผัส รวมถึงลักษณะของช่องการไหล คือ ถ้ามีพื้นที่ผิวในการระบายความร้อนเพิ่มมากขึ้นหรือมีความเร็วของไหลมากขึ้นการถ่ายเทความร้อนก็จะดีขึ้นตามไปด้วย ในที่นี้ได้แบ่งผลกระทบที่ส่งผลต่อการระบายความร้อนออกเป็นดังนี้

พารามิเตอร์และค่าคงที่ ที่ศึกษาการไหล 2 มิติ โดยกำหนดพารามิเตอร์และตัวแปรที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้

1 . ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number) ให้มีค่าคงที่ทุกกรณี เท่ากับ1000

2. อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความยาวของช่องการไหล H/L = 0.1,0.5,1.0

3. อากาศบริเวณทางเข้าที่อุณหภูมิ 300 K (T_s = 300 K)

4. ความยาวของช่องการไหล กำหนดให้มีค่าคงที่เป็น 1 m

5. ความกว้างของรอยบุ๋มหรือรอยนูนกำหนดให้มีค่าคงที่คือ 0.1 m

6. ฟลักซ์ความร้อนของพื้นผิวด้านล่างมีค่าคงที่ (q''_w) เท่ากับ 100 W/m^2

7. อัตราส่วนของความกว้างของรอยบุ๋ม (d) และความลึกของรอยบุ๋ม (D_d) รวมทั้งรอยนูนในช่องการไหล

อีกด้วยโดยใช้อัตราส่วนความกว้างของรอยนูน (d) และความลึกของรอยนูน (D_d) เท่ากับรอยบุ๋มเท่ากับ 0.05, 0.1, 0.3

พารามิเตอร์ไร้มิติที่เกี่ยวข้อง

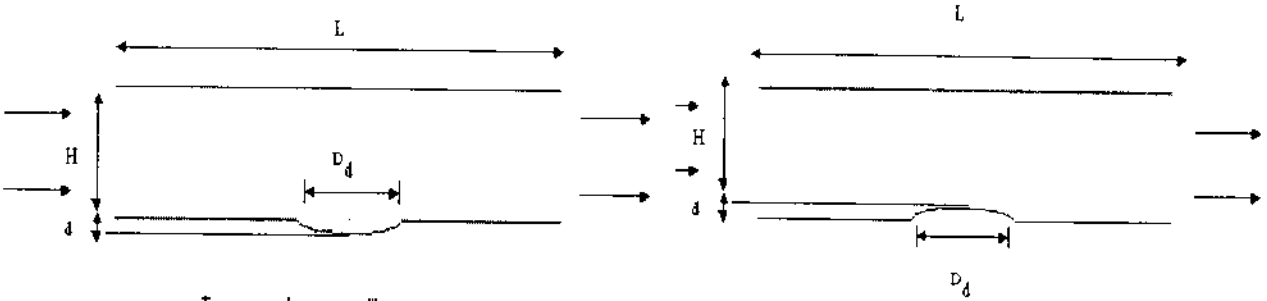
-Reynolds number

$$Re = \frac{\rho u l_c}{\mu} = \frac{u l_c}{\nu}$$

-Nusselt number

$$Nu = \frac{h l_c}{k}$$

อัตราส่วนของความสูงและความยาวของช่องการไหล (H/L) มีผลต่อการไหล จะส่งผลทำให้เกิดความเร็วและการหมุนวนของอากาศต่างกัน ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน จึงแตกต่างกันตามไปด้วย ซึ่งลักษณะการสร้างช่องการไหลที่มีรอยเว้าและรอยนูนแสดงดังรูปด้านล่าง



รอยบุ๋มของช่องการไหล

รอยนูนของช่องการไหล

d= ความลึกของรอยบุ๋มหรือความสูงของรอยนูน

D_d= ความกว้างของรอยบุ๋มหรือรอยนูนกำหนดให้มีค่าคงที่คือ 0.1 m

H = ความสูงของช่องการไหล

L= ความยาวของช่องการไหล

หลังจากที่ได้ทำการทดลองตามหัวข้อที่กำหนดไว้แล้วนั้น แสดงผลออกมาในรูปของอุณหภูมิที่พื้นผิวด้านล่างของช่องการไหล แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(Nusselt number) และ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (Average Nusselt number) เพื่อที่จะนำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองต่อไป