

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	2
1.2.1 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่ใช้งานในปัจจุบัน	2
1.2.2 งานวิจัยที่พัฒนาการวัดอัตราการไหลโดยหลักการทางความร้อน	8
1.2.3 แนวทาง ปรับปรุงการประมาณค่าอัตราการไหลเชิงมวลด้วยความร้อน	10
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	11
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	11
1.5 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	11
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	12
2.1 การนำความร้อนในสถานะสมานเสมอ	12
2.1.1 การนำความร้อนผ่านวัตถุทรงกระบอกกลวง	12
2.2 การพาความร้อนแบบบังคับกรณีของไหลไหลภายในท่อ	14
2.2.1 การไหลของของไหลในท่อกลม	14
2.2.2 การไหลของของไหลในท่อสี่เหลี่ยม	15
2.3 การพาความร้อนตามธรรมชาติ กรณีท่อทรงกระบอกยาว	16
2.4 ลักษณะการลดลงของอุณหภูมิตามแนวยาวท่อ	16
2.5 วิธีการคำนวณเพื่อประมาณค่าอัตราการไหลเชิงมวล	19
2.5.1 วิธีการคำนวณสำหรับท่อที่หุ้มฉนวน	19
2.5.2 วิธีการคำนวณสำหรับท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวน	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการทดสอบ	25
3.1 วัตถุประสงค์ในการทดสอบ	25
3.2 ตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการทดสอบ	25

3.3 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	26
3.4 เครื่องมือวัดที่ใช้	30
3.5 วิธีดำเนินการทดสอบ	32
3.6 แนวทางและวิธีการวิเคราะห์ผล	33
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ	36
4.1 ความคลาดเคลื่อนของการประมาณอัตราการไหลกรณีประยุกต์ใช้งานกับ อากาศในท่อกลมขนาด 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว)	36
4.2 ความคลาดเคลื่อนของการประมาณอัตราการไหลกรณีประยุกต์ใช้งานกับ อากาศในท่อกลมขนาด 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว)	39
4.3 ความคลาดเคลื่อนของการประมาณอัตราการไหลกรณีประยุกต์ใช้งานกับ อากาศในท่อภาคตัดสี่เหลี่ยมขนาด 101.6×101.6 ตารางมิลลิเมตร (4"×4") และคำนวณ $\bar{Nu}_D$ โดยใช้ความสัมพันธ์ของท่อกลม	42
4.4 ความคลาดเคลื่อนของการประมาณอัตราการไหลกรณีประยุกต์ใช้งานกับ อากาศในท่อภาคตัดสี่เหลี่ยมขนาด 101.6×101.6 ตารางมิลลิเมตร (4"×4") และคำนวณ $\bar{Nu}_{DH}$ โดยใช้ความสัมพันธ์ของท่อสี่เหลี่ยม	44
4.5 ความคลาดเคลื่อนของการประมาณอัตราการไหลกรณีประยุกต์ใช้งานกับ น้ำมันไหลในท่อกลมขนาด 25.4 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) และหุ้มฉนวน	47
4.6 ความคลาดเคลื่อนของการประมาณอัตราการไหลกรณีประยุกต์ใช้งานกับ น้ำไหลในท่อกลมขนาด 25.4 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) และไม่หุ้มฉนวน	49
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	51
5.1 สรุปผลการทดสอบ	51
5.2 ข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	53
ภาคผนวก	55
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง	56
ภาคผนวก ข คุณสมบัติของ Heat Transfer Oil ที่ใช้ในการทดลอง	64
ประวัติผู้เขียน	69

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 แสดงความเร็วของไหล ณ ตำแหน่งต่างๆของการไหลภายในท่อ	1
1.2 แสดงลักษณะและการวางอุปกรณ์ของเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบท่อปีโตสแตติก	4
1.3 แสดงลักษณะและการวางอุปกรณ์ของเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบต่างๆ	5
1.4 แสดงลักษณะและการวาง อุปกรณ์ของเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบต่างๆ (ต่อ)	6
1.5 แสดงลักษณะและการวาง อุปกรณ์ของเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบต่างๆ (ต่อ)	7
1.6 แสดงลักษณะและการวาง อุปกรณ์ของเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบเลเซอร์คออปเปิลอร์	8
1.7 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการวัดอัตราการไหลของ Wijesundera <i>et al.</i> (1987)	8
1.8 แสดงลักษณะ calibration curve ของ Wijesundera <i>et al.</i> (1987)	9
2.1 แสดงทรงกระบอกกลวงที่มีการนำความร้อนจากผิวในออกสู่ผิวนอก	12
2.2 แสดงการนำความร้อนผ่านฉนวนที่หุ้มท่อสี่เหลี่ยม	13
2.3 แสดงลักษณะท่อและอุณหภูมิที่พิจารณา	17
2.4 แสดงลักษณะการลดลงของอุณหภูมิของไหลในท่อ	18
2.5 แสดงแผนภูมิลำดับการคำนวณเพื่อประมาณอัตราการไหลเชิงมวลสำหรับท่อหุ้มฉนวน	23
2.6 แสดงแผนภูมิลำดับการคำนวณเพื่อประมาณอัตราการไหลเชิงมวลสำหรับท่อเปลือย	24
3.1 แสดงผังการวางตำแหน่งอุปกรณ์ทดสอบที่ใช้กับการไหลของอากาศ	27
3.2 แสดงผังการวางตำแหน่งอุปกรณ์ทดสอบที่ใช้กับการไหลของน้ำและน้ำมัน	27
3.3 แสดงภาพถ่ายชุดทดสอบการไหลของอากาศ ท่อกลมขนาด 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว)	28
3.4 แสดงภาพถ่ายชุดทดสอบการไหลของอากาศ ท่อกลมขนาด 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว)	28
3.5 แสดงภาพถ่ายชุดทดสอบการไหลของอากาศ ท่อสี่เหลี่ยมขนาด $101.6 \times 101.6 \text{ mm}^2$ (4"×4")	29
3.6 แสดงภาพถ่ายชุดทดสอบการไหลของน้ำมัน ท่อกลมขนาด 25.4 มิลลิเมตร (1 นิ้ว)	29
3.7 แสดงภาพเครื่องอ่านอุณหภูมิ Comark แบบ 10 จุด	30
3.8 แสดงภาพเครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน	31
3.9 แสดงภาพเครื่องมือวัดปริมาตรการไหลผ่านของของเหลว	31
3.10 แสดงภาพนาฬิกาจับเวลาความละเอียด 1/100 วินาที	32
4.1 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่วัดโดยตรงกับอัตราการไหลจากการประมาณค่า สำหรับการไหลของอากาศในท่อกลมขนาด 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) ความยาวที่พิจารณา 6 เมตร	37

[illegible]

รูป	หน้า
4.14 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่วัดโดยตรงกับอัตราการไหลจากการประมาณค่า สำหรับการไหลของน้ำมันในท่อกลม ขนาด 25.4 มิลลิเมตร(1 นิ้ว) ความยาวที่พิจารณา 4 เมตร	47
4.15 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่วัดโดยตรงกับอัตราการไหลจากการประมาณค่า สำหรับการไหลของน้ำมันในท่อกลม ขนาด 25.4 มิลลิเมตร(1 นิ้ว) ความยาวที่พิจารณา 3 เมตร	48
4.16 แสดงกราฟอิทธิพลของกลุ่มตัวแปรไร้มิติที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ สำหรับการไหลของน้ำมันในท่อกลมขนาด 25.4 มิลลิเมตร(1 นิ้ว) หุ้มฉนวน	49
4.17 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลจากการวัด โดยตรงกับค่าที่ประมาณได้ สำหรับการไหลของน้ำมันในท่อกลม ขนาด 25.4 มิลลิเมตร(1 นิ้ว) และไม่หุ้มฉนวน ท่อยาว 4 เมตร	50

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่	m^2
A_c	พื้นที่ภาคตัดขวางท่อ	m^2
C_D	สัมประสิทธิ์แรงต้านของการไหล (Drag force coefficient)	
c_p	ความจุความร้อนจำเพาะของของไหล	$J/kg \cdot ^\circ C$
D	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	m
D_i	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ	m
D_o	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ	m
D_3	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อรวมความหนาของฉนวนที่หุ้ม	m
D_h	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก	m
F_D	แรงต้านที่ของไหลกระทำกับวัตถุขณะดำเนินการไหล (Drag force)	N
f	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานภายในท่อ	
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหล	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
h_i	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลภายในท่อ	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
h_o	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลภายนอกท่อ	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
k	ค่าการนำความร้อนของวัสดุ	$W/m \cdot ^\circ C$
k_f	ค่าการนำความร้อนของของไหล	$W/m \cdot ^\circ C$
k_I	ค่าการนำความร้อนของฉนวน	$W/m \cdot ^\circ C$
L	ความยาวของท่อช่วงที่พิจารณา	m
m	อัตราการไหลเชิงมวล	kg/s
$\overline{Nu}_D$	Nusselt number	
$\overline{Nu}_{DH}$	Nusselt number กรณีคิดจากเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก	
P	เส้นรอบรูป	m
Pr	Prandtl number	
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	W
Ra_D	Rayleigh number	

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
Re_D	Reynolds number	
Re_{DH}	Reynolds number คำนวณจาก เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก	
T_a	อุณหภูมิอากาศภายนอกท่อ	$^{\circ}\text{C}$
T_b	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลในท่อ ณ ภาคตัดใดๆ	$^{\circ}\text{C}$
T_{fi}	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลในท่อ ณ ภาคตัดทางเข้าท่อ	$^{\circ}\text{C}$
T_{fo}	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลในท่อ ณ ภาคตัดทางออกจากท่อ	$^{\circ}\text{C}$
T_s	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอก	$^{\circ}\text{C}$
T_{s1}	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอก ณ ตำแหน่งต้นทางเข้าท่อ	$^{\circ}\text{C}$
T_{s2}	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอก ณ ตำแหน่งปลายทางออกจากท่อ	$^{\circ}\text{C}$
T_w	อุณหภูมิผิวท่อด้านนอก	$^{\circ}\text{C}$
T_{w1}	อุณหภูมิผิวท่อด้านนอก ณ ตำแหน่งต้นทางเข้าท่อ	$^{\circ}\text{C}$
T_{w2}	อุณหภูมิผิวท่อด้านนอก ณ ตำแหน่งปลายทางออกจากท่อ	$^{\circ}\text{C}$
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	$\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$
U_{24}	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม โดยคิดตั้งแต่ผิวท่อจนถึงอากาศภายนอก	$\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$
V	ความเร็วเฉลี่ยของของไหล	m/s
x	ระยะทางตามแนวแกนยาวของท่อ	m
อักษรกรีก		
α	Thermal diffusivity	m^2/s
β	สัมประสิทธิ์การขยายตัวของอากาศ	$^{\circ}\text{K}^{-1}$
γ	Unit gravity force	N/m^3
μ	ความหนืดของไหล	$\text{Pa}\cdot\text{s}$
ν	ความหนืดจลน์ของของไหล(Kinematic viscosity)	m^2/s
ρ	ความหนาแน่นของของไหล	kg/m^3