ภาคผนวก

ภาคผนวก .
คู่มือการทดลองการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน

FDSC 4005

ห้องทดลองการพาความร้อนแบบสร้างขึ้นและแบบธรรมชาติ

ARMFIELD HT 6 การถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนแบบบังคับและแบบอิสระ

<u>คำแนะนำ</u>

Lab นี้เป็น Lab ที่ศึกษาการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection)และการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนแบบพาตามธรรมชาติ (natural หรือ free convection) ในอุปกรณ์ที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป เพื่อให้ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

<u>วัตถุประสงค์</u>

1. ศึกษาการพาความร้อนแบบบังคับและแบบอิสระ
2. ศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อผลการทดลอง
3. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจถึงหลักการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนมากขึ้น

<u>ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</u>

การพาความร้อนคือวิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็ง และ ของไหล ของไหลจะเป็นตัวพาความร้อนมาให้หรือพาความร้อนจากผิวของของแข็ง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้นั้นเกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงาน และการเคลื่อนที่ของของไหล การพายังแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ โดยการพาโดยการบังคับ (forced convection) และการพาตามธรรมชาติ (natural หรือ free convection)

การพาโดยการบังคับ (forced convection) คือการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัส กับ ผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม หรือ เครื่องสูบน้ำ

การพาตามธรรมชาติ (natural หรือ free convection) คือการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งของไหลโดยที่มีกลไดๆที่ทำให้ของไหลเอง แรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล ที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหลขึ้น

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพานั้นเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก เมื่อพิจารณาแล้วมีหลาสิ่งหลายอย่างที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบพานี้ เป็นต้นว่า คุณสมบัติต่าง ๆ ของของไหล เช่น ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความหนืด ฯลฯ ความเร็วของของไหล ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิว ของของแข็ง และของไหล นิวตัน (Newton) ได้ตัดปัญหาความยุ่งยากเหล่านี้ โดยเสนอสมการสำหรับคำนวณอัตราเคลื่อนที่ของความร้อยโดยการพา ดังนี้ คือ

$$q = h\,(T_h - T_c) \qquad (1)$$

จากสมการถ้าทราบค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อน(Heat Transfer Coefficient)จะสามารถคำนวณหาอัตราการพาความร้อนได้

การเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้ สมการสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนส่วนใหญ่ จะเป็นสมการชนิด เอมไพริกัล (Empirical Equation)

h มีหน่วยเป็น W/m^2K ในระบบ SI และ $Btu/ft^2 hr^\circ F$

q คือ อัตราการถ่ายเทวามร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัสกับของไหล

T_h คือ อุณหภูมิที่ร้อนกว่า (ของของไหล หรือพื้นผิวของของแข็ง)

T_c คือ อุณหภูมิที่เย็นกว่า (ของของไหลหรือของผิวของของแข็ง)

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในกรณีต่างๆ (จาก Kreith [2])[4]

ชนิดของการพา	ประมาณค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K)
การพาตามธรรมชาติ	3.5 – 50
การพาโดยการบังคับเมื่อของไหลเป็นอากาศ	10 – 550
การพาโดยการบังคับเมื่อของไหลเป็นของเหลว	100 – 5,500
การพาเมื่อน้ำกำลังเดือด	1,000 – 110,000
การควบแน่นของไอน้ำ	550 – 25,000
การพาโดยการบังคับเมื่อของไหลเป็นโลหะเหลว	3,000 – 110,000

มีการกำหนดค่าของตัวเลขเรย์โนลด์สำหรับบาวดารี่แลเยอร์แบบต่างๆ ในกรณีของการไหลขนานกับผนังราบไว้ดังนี้

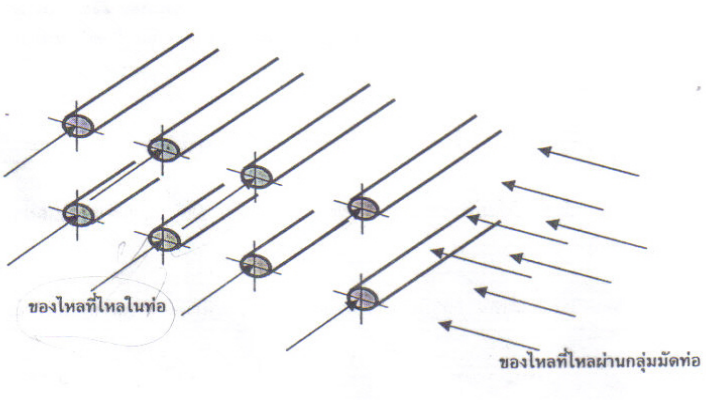
บาวดารี่แลเยอร์แบบลามินาร์(Laminarboundary layer) $0 < R_{ex} < 5x10^5$

บาวดารี่แลเยอร์แบบทรานซิชั่น(Transition region) $5x10^5 < R_{ex} < 3x10^6$

บาวดารี่แลเยอร์แบบเทอร์บูแลนท์(Turbulent boundary layer) $R_{ex} > 3x10^6$

<u>การไหลกลุ่มมัดท่อ</u>

การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในการไหลผ่านกลุ่มมัดท่อ (flow across tube bundles) นั้นเกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้งานทางอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ตังอย่างเช่น การไหลที่เกิดขึ้นในท่อกำเนิดไอน้ำ หรือ การไหลผ่านของอากาศผ่านท่อในเครื่องปรับอากาศ ลักษณะโดยทั่วของการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ จะมีการไหลชนิดหนึ่งไหลภายในท่อของไหลอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิต่างจากของไหลชนิดแรกจะไหลผ่านท่อในตัดขวางทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนของของไหล สองชนิดโดยที่ของไหลทั้งสองไม่ผสมกัน แสดงดังรูปที่ 2.10

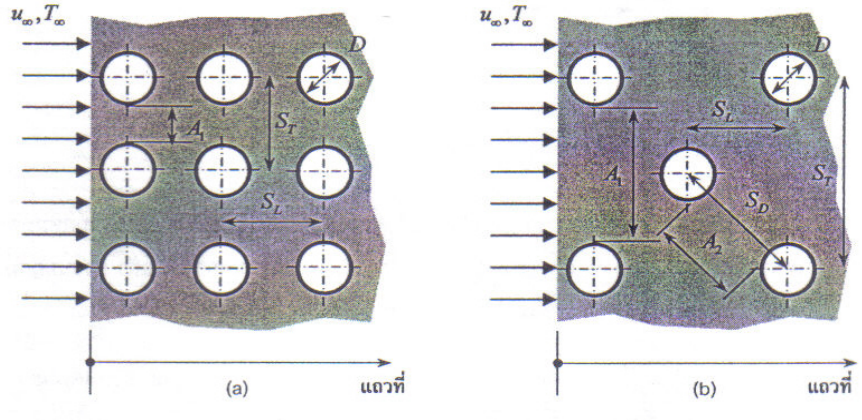


รูปที่ 1 ลักษณะการไหลผ่านกลุ่มมัดท่อ

การจัดเรียงท่อในกลุ่มมัดท่อสามารถทำได้สองวิธีกล่าวคือ การจัดเรียงแบบแนวตรง (in-line arrangement) และการจัดเรียงแบบเหลื่อม (staggered arrangement) ดังรูปที่ 1 โดยที่ u_∞ เป็นความเร็วของกระแสการไหลอิสระก่อนผ่านกลุ่มมัดท่อ D เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ S_L , S_T และ S_D เป็นระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางท่อในแนวการไหล ในแนวตั้งฉากกับการไหล และระยะห่าง ระหว่างท่อในแนวทแยง ตามลำดับ ในการจัดเรียงท่อนั้น กำหนดให้เริ่มนับตั้งแต่แถวที่หนึ่งแล้วลำดับตามทิศทางของการไหลของของไหลที่ไหลผ่านท่อ

สำหรับการไหลผ่านกลุ่มมัดท่อนี้ ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) ที่มีค่าสูงสุดในการไหล $Re_{D,max}$ ก็คือ อัตราการไหลเชิงมวลสูงสุดนั่นเอง

$$Re_{D,max} = qu_{max} D / \mu = G_{max} D / \mu \qquad (2)$$



รูปที่ 2 มิติต่างๆของกลุ่มมัดท่อ (ก) การจัดเรียงแบบแนวตรง (ข) การจัดเรียงแบบผสม

สำหรับการจัดเรียงแบบแนวตรงนั้น u_{max} จะเกิดในขณะที่ของไหลไหลผ่านช่องว่างระหว่างท่อซึ่งมีระยะเป็น A_1 ทั้งนี้เนื่องจากเป็นระยะที่แคบที่สุดในการไหล

การหาความเร็วดังกล่าวมา ทำได้โดยการสมมติให้การไหลผ่านกลุ่มท่อเป็นการไหลแบบไม่อัดตัว ดังนั้น อัตราการไหลผ่านหน้าตัดใดๆ จะมีค่าเท่ากัน หากให้ L เป็น ความยาวของท่อแล้ว ดังนั้น

$$u_\infty S_T L = u_{max} A_1 L = u_{max}(S_T - D)L \qquad (3)$$

หรือจะได้ว่า

$$u_{max} = u_\infty S_T / (S_T - D) = (u_\infty S_T / D) / (S_T / D - 1) \qquad (4)$$

ในการจัดเรียงท่อแบบเหลี่ยมนั้น u_{max} สามารถเกิดขึ้นได้ในขณะที่ไหลผ่านช่องว่าง A_1 หรือ A_2 ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะของ S_L และ S_T ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบว่าความเร็วว่าจะเกิดที่บริเวณใด ซึ่งสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่า u_{max} ในขณะที่ไหลผ่านช่องว่าง A_1 กับค่าที่คำนวณได้จากขณะที่ไหลผ่าน A_2 แล้วนำค่าที่สูงกว่ามาใช้ ซึ่งความเร็ว u_{max} ในขณะที่ผ่าน A_2 สามารถหาได้ดังนี้

$$u_{\infty} S_T L = 2 u_{max} A_2 L = 2 u_{max}(S_D - D)L \quad (5)$$

หรือจะได้ว่า

$$u_{max} = u_{\infty} S_T / 2(S_T - D) = (u_{\infty} S_D / D)/(2S_D/D - 1) \quad (6)$$

<u>สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการไหลกลุ่มมัดท่อ</u>

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการไหลผ่านกลุ่มมัดท่อจะขึ้นอยู่กับกลุ่มตัวแปรไร้มิติดังนี้ $Re_{D,max}$,Pr , S_L/D และ S_T/D นอกจากนี้แล้ว ยังขึ้นอยู่กับการจัดเรียงท่อว่า จะเป็นการจัดเรียงแบบแนวตรง หรือ การจัดเรียงแบบเหลี่ยมอีกด้วย

สำหรับกลุ่มมัดท่อที่มีจำนวนแถว N มากกว่าหรือเท่ากับ 10 แถวนั้น Grimison[3] ได้เสนอความสัมพันธ์เอ็มไพริกัลป์ของค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ย Nu_m ไว้ดังนี้

$$Nu_m = h_m D/k = 1.13 c_0 Re^n Pr^{1/3} \quad (7)$$

ความสัมพันธ์นี้สามารถประยุกต์ใช้ได้ในช่วงที่ $2000 < Re_{D,max} < 40000$, $Pr > 0.7$ และจำนวนแถว $N \geq 10$ ค่าคุณสมบัติของของไหลให้ประเมินที่อุณหภูมิฟิล์ม และค่าคงที่ c_0 และ n เป็นไปตามตารางที่ 2.3

ในกรณีที่จำนวนแถวเท่ากับหรือน้อยกว่า 10 แล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะเป็นดังนี้

$$h_N = c_1 h_{n \geq 10} \quad ; 1 \leq N \leq 10 \quad (8)$$

ตารางที่ 2 ค่าคงที่สำหรับสมการที่ 1

การจัดเรียงท่อ	S_L/D	S_T/D							
		1.25		1.50		2.0		3.0	
		c_o	n	c_o	n	c_o	n	c_o	n
แบบแนวตรง	0.6	-	-	-	-	-	-	0.213	0.636
	0.9	-	-	-	-	0.446	0.571	0.401	0.581
	1.0	-	-	0.497	0.588	-	-	-	-
	1.125	-	-	-	-	0.478	0.565	0.518	0.560
	1.250	0.518	0.556	0.505	0.554	0.519	0.556	0.522	0.562
	1.50	0.451	0.568	0.460	0.562	0.452	0.568	0.488	0.568
	2.0	0.404	0.572	0.416	0.568	0.482	0.556	0.449	0.570
	3.0	0.310	0.592	0.356	0.580	0.440	0.562	0.421	0.574
แบบเหลื่อม	1.25	0.348	0.592	0.275	0.608	0.100	0.704	0.0633	0.752
	1.50	0.367	0.586	0.250	0.620	0.101	0.702	0.0678	0.744
	2.0	0.418	0.570	0.299	0.602	0.229	0.632	0.198	0.648
	3.0	0.290	0.601	0.357	0.584	0.374	0.581	0.286	0.60

ตารางที่ 3 ค่าคงที่สำหรับสมการที่ 2[4]

การจัดเรียงท่อ	$Re_{D,max}$	C_2	m	หมายเหตุ
แบบแนวตรง	$10 - 1 \times 10^2$	0.80	0.40	* การจัดเรียงท่อที่มีระยะห่างของ S_L มากพอควร สามารถพิจารณาให้เป็นท่อเดี่ยวได้
	$1 \times 10^2 - 1 \times 10^3$	*	*	
	$1 \times 10^3 - 2 \times 10^5$	0.27	0.63	
	$2 \times 10^5 - 1 \times 10^6$	0.2	0.84	
แบบเหลี่ยม	$10 - 1 \times 10^2$	0.9	0.40	** มีค่ามากกว่าท่อเดี่ยวประมาณ 20%
	$1 \times 10^2 - 1 \times 10^3$	**	**	
	$1 \times 10^3 - 2 \times 10^5$	$0.35 (S_T / S_l)^{0.2}$	0.60	
	$1 \times 10^3 - 2 \times 10^5$	0.40	0.60	$S_T / S_l < 2$
	$2 \times 10^5 - 1 \times 10^6$	0.022	0.84	$S_T / S_l > 2$

<u>ชนิดของครีบ</u>

มีวิธีที่จะจำแนกครีบอยู่สองวิธี คือ จำแนกโดยใช้สัญลักษณ์ของรูปตัดของครีบและจำแนกตามรูปร่างของครีบ

ครีบแบ่งออกตามลักษณะรูปตัดได้ดังนี้คือ

(1) ครีบที่มีหน้าตัดสม่ำเสมอ (Fin of uniform cross section) ดังแสดงในรูปที่ 3ก (ครีบแท่ง หรือ bar fin) และรูปที่ 3ง (ครีบรูปเข็มหมุด หรือ pin fin)

(2) ครีบที่มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ (Fin of nonuniform cross section) ดังแสดงในรูปที่ 3ข, 3ค , 3จ , 3ฉ

ครีบแบ่งออกตามรูปร่างได้ดังนี้คือ

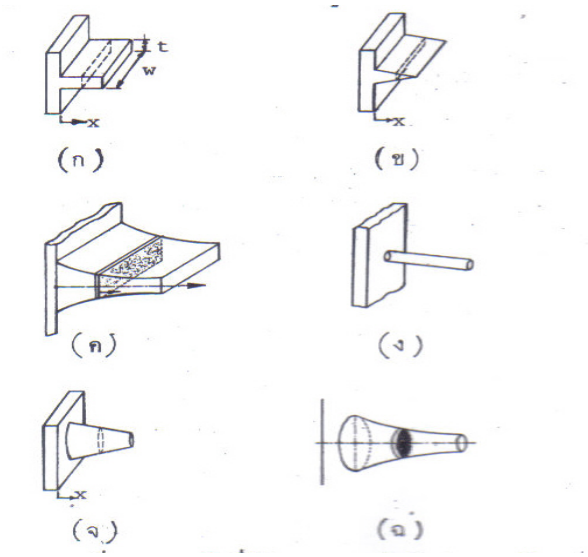
(1) ครีบแท่ง (bar fin) มีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 4ก

(2) ครีบกลม (Annular fin) มีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 4ข

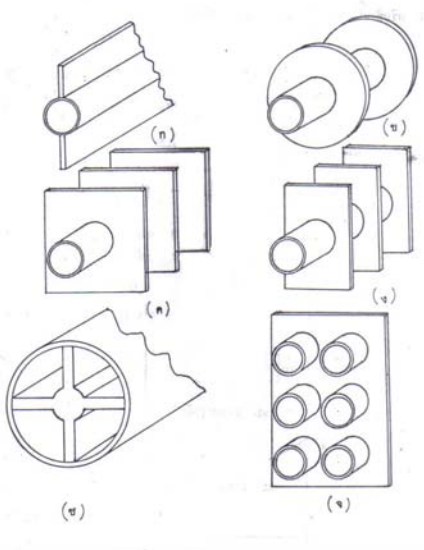
(3) ครีบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (square fin) มีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 4ค

(4) ครีบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular fin) มีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 4ง

ในบางครั้ง เราอาจจะต้องการเพิ่มการระบายความร้อนทางด้านในของท่ออาจทำได้โดยการใช้ครีบภายใน (internal fin) ดังแสดงในรูปที่ 4ช



รูปที่ 3 ครีบที่มีลักษณะของหน้าตัดต่างๆ กัน



รูปที่ 4 ครีบที่มีรูปร่างต่างๆ กัน

วงจรควบคุมกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ผลการใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 0 - 300 วัตต์ จากการแสดงในหน่วยวัตต์

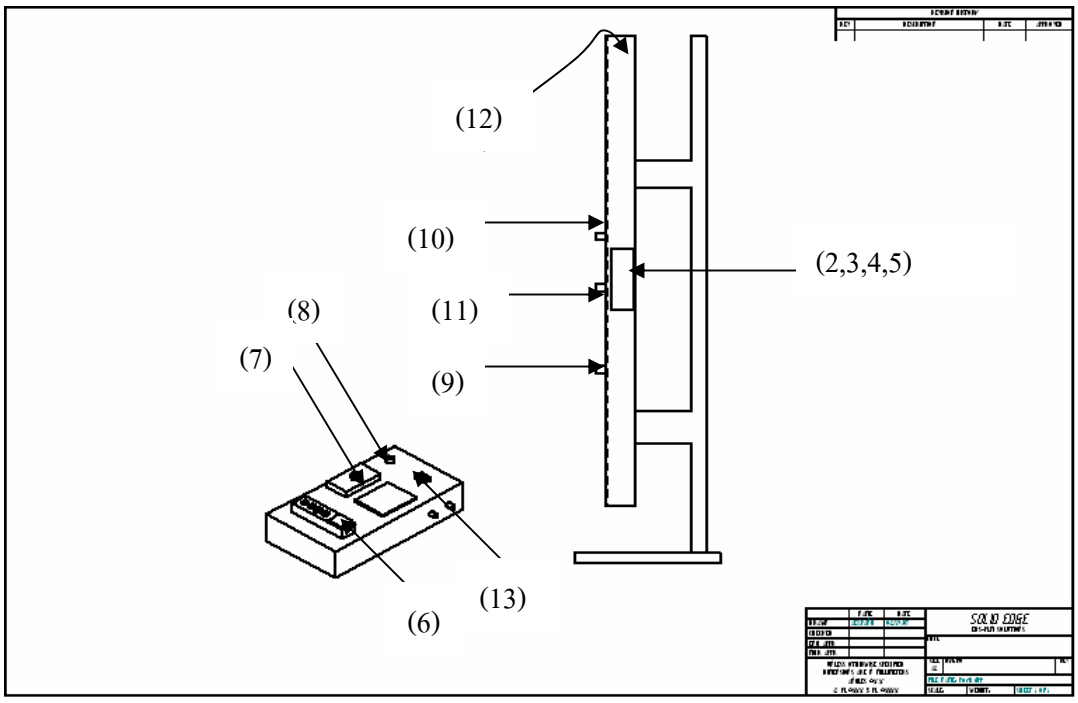
การใช้เครื่องมือในการทำงานที่สร้างขึ้นให้ถ่ายเทความร้อนมีลักษณะดังนี้

1. ตัวพาความร้อนพื้นผิวเรียบ
2. ตัวพาความร้อนแบบทรงกระบอก
3. ตัวพาความร้อนแบบครีบ
4. ตัวพาความร้อนแบบCircular fin

จากหน่วยการวัดอาจจะใช้ตามมาตรฐาน แสดงถึงการพาความร้อนในแบบวิธีปฏิบัติ เครื่องมือ

<u>อุปกรณ์และเครื่องมือหลักของการทดลอง</u>

1. อุปกรณ์วัดความเร็วลม
2. ตัวพาความร้อนพื้นผิวเรียบ
3. ตัวพาความร้อนแบบทรงกระบอก
4. ตัวพาความร้อนแบบครีบ
5. ตัวพาความร้อนแบบAnnular fin
6. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ
7. ตัวจ่ายวัตต์
8. ตัวควบคุมความเร็วลม
9. จุดวัดอุณหภูมิขาเข้า
10. จุดวัดอุณหภูมิขาออก
11. จุดวัดอุณหภูมิของFin
12. พัดลม
13. สวิทช์ปิด-เปิดเครื่อง



การทดลอง A

การทดลองที่ 1

พิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิ ณ พื้นผิวในการถ่ายเทความร้อนแบบอิสระโดยอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนพื้นผิวเรียบ อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบทรงกระบอก อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบครีบ และอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบ Circular fin

ทฤษฎี

การพาตามธรรมชาติ (natural หรือ free convection) คือการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งของไหลโดยที่มีกลไดๆที่ทำให้ของไหลเอง แรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่าง ของความหนาแน่นของของไหล ที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหลขึ้นกระบวนการนี้จะเรียกว่า “การเชื่อมต่ออิสระ”

อุณหภูมิที่สูงบนพื้นผิว ส่วนสำคัญการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าและความร้อน(พลังงาน)ที่มากขึ้นจะกระจายไป ถ้าพลังงานกระแสไฟฟ้ามากจะส่งไปที่พื้นผิว อุณหภูมิของพื้นผิวที่แหล่งกำเนิดจะกระจายไปตามพลังงานกระแสไฟฟ้านี้

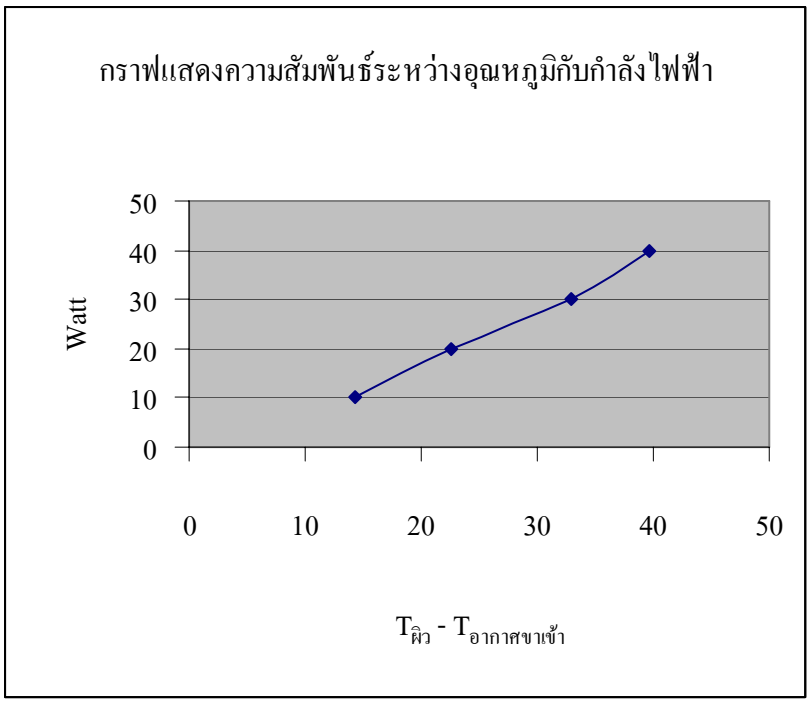
การศึกษาก่อนปฏิบัติ

ที่ตัวของครีบที่เปลี่ยนความร้อนในการทดลองท่อ บันทึกสถิติโดยรวมของอุณหภูมิอากาศ (t_A) ตั้งค่าปุ่มพลังงานความร้อนที่ 10 วัตต์ เวลาที่สามารถทำตามเงื่อนไขสำเร็จก่อนจะมีอุณหภูมิความร้อนที่แผ่นโลหะ (t_H) จงทำกระบวนการนี้อีกครั้งที่พลังงานกระแสไฟฟ้า 20 , 30, 40วัตต์

ผลการทดลอง

อุณหภูมิอากาศโดยรวม $(t_A)\ ^oc$

พลังงานกระแสไฟฟ้า (w)	อุณหภูมิความร้อน $(t_H)\ ^oc$	$t_H - t_A\ ^oc$
10	.....	.....
20	.....	.....
30	.....	.....
40	.....	.....



กราฟตัวอย่างจากพลังงานกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับอุณหภูมิพื้นผิว $(t_H - t_A)$

การทดลอง B

หัวข้อของการทดลอง

พิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิบนพื้นผิวในการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับโดยอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนพื้นผิวเรียบ อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบทรงกระบอก อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบครีบ และ อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบ Circular fin

ทฤษฎี

ในการถ่ายเทความร้อนแบบอิสระจากพื้นผิวที่จำกัดโดยอากาศผ่านอย่างบางเบา จะมีการถ่ายเทความร้อนได้น้อยกว่าการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับมีอากาศมาแลกเปลี่ยนความร้อนได้มากว่าที่พลังงานกระแสไฟฟ้าเท่ากัน

การศึกษาก่อนปฏิบัติ

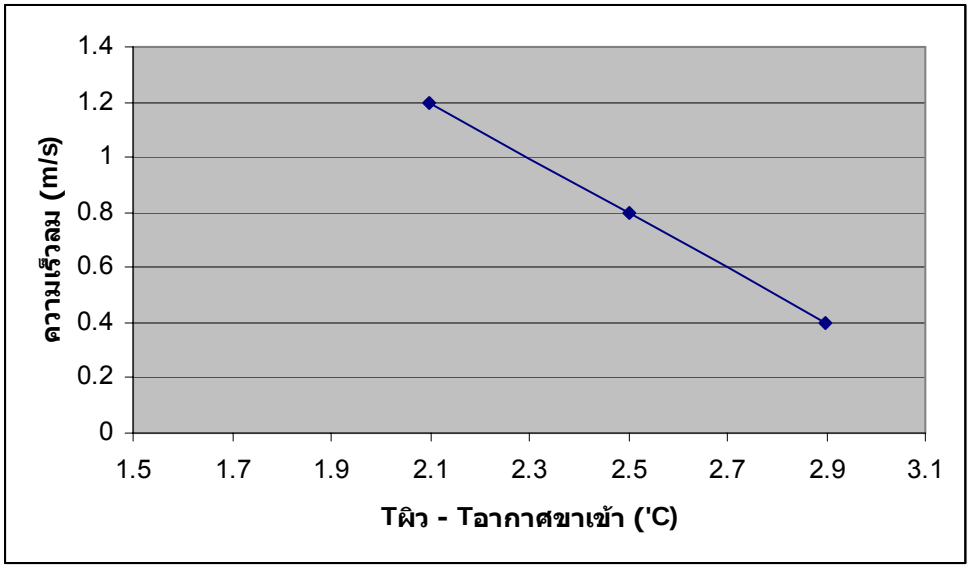
ตำแหน่งที่มีครีบที่เปลี่ยนความร้อนในท่อ โน้ต: อุณหภูมิโดยรวม (t_H) ตั้งค่าปุ่มควบคุมพลังงานความร้อนที่ 20 วัตต์ เวลาที่สามารถทำตามเงื่อนไขไปได้สำเร็จก่อนที่จะมีอุณหภูมิความร้อนที่แผ่นโลหะ (t_H) ตั้งค่าควบคุมความเร็วพัดลมให้แสดงผลที่ 0.4m/s ที่เกิดจากความร้อนของเครื่องวัดกำลังและทิศทางลม เวลาที่สามารถทำตามเงื่อนไขได้สำเร็จ บันทึกสถิติอุณหภูมิความร้อนบนแผ่นโลหะ จงทำกระบวนการนี้อีกครั้งที่ 0.8 m/s และ 1.2 m/s

ผลการทดลอง

อุณหภูมิอากาศโดยรวม(t_H) = ……^oc

พลังงานกระแสไฟฟ้า = ……10……... วัตต์

อัตราความเร็วอากาศ m/s	อุณหภูมิความร้อน (t_H) ^oc	t_H - t_A ^oc
0.4	.....	.....
0.8	.....	.....
1.2	.....	.....



ตัวอย่างกราฟจากอัตราความเร็วของอากาศกับอุณหภูมิ

<u>การทดลอง C</u>

<u>หัวข้อของการทดลอง</u>

พิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิบนพื้นผิวในการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับและแบบอิสระ โดยอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนพื้นผิวเรียบ อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบทรงกระบอกอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบครีบ และ อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบ Circular fin

รายการ	อักษรย่อ	หน่วย	ค่า
พื้นที่หน้าตัดของท่ออากาศ	A	mm^2	
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ	D	m	
ระยะห่างของท่อตามแนวขวาง	ST	mm	
ระยะห่างของท่อตามแนวยาว	SL	mm	
ความยางท่อ	L	mm	
จำนวนท่อต่อแถว	N	ขดท่อ	

ตารางบันทึกผล(ทำทั้งการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับและแบบอิสระ)

การทดลองครั้งที่	ความเร็วลมอากาศ(m/s)	ความร้อนที่จ่ายให้กับกลุ่มท่อ T_H(w)	อุณหภูมิที่ผิวท่อ (^oC)	อุณหภูมิของอากาศขาเข้า (^oC)	อุณหภูมิของอากาศขาออก (^oC)	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ กลุ่มท่อ h($W/m^{2o}c$)
1	0.4	10				
2	0.8	10				
3	1.2	20				

สมการคำนวณ

1. อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบ plate แบบ Force Convection [5]

$Re = VL/ \upsilon$

Re คือ Reynolds numbers

V คือ ความเร็วของอากาศ (m/s)

υ คือ ความหนืดของอากาศ (m/s^2)

$Nu = hL/k$

Nu คือ Nsselt number

L คือ ความยาวของ plate (m)

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2.K$)

k คือ ค่าคงที่ของการถ่ายเทความร้อน (W/m.K)

$Nu = 0.664Re^{1/2}Pr^{1/3}$; $Pr > 0.5$

$Nu = 1.128\ Re^{1/2}Pr^{1/2}$; $Pr << 1$

Pr คือ Prandtl number

$Q = hA\triangle T$

Q คือ การถ่ายเทความร้อน

A คือ พื้นที่ของ plate

$\triangle T$ คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวและอากาศ

อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบ plate แบบ Free Convection [5]

$Gr = (g \beta \triangle T L^3)/ \upsilon^3$; $\beta = 1/T_f$; $T_f = (T_{in}+T_{out}) / 2$

เช็ค PrGr เมื่อเป็น

Laminar 10^4 to10^9 c = 0.59 n = 1/4

Turbulent 10^9 to 10^{13} c = 0.1 n = 1/3

$Nu_m = c(Gr.Pr)^n = h_m L \setminus k$

$Q = hA\triangle T$

Q คือ การถ่ายเทความร้อน

A คือ พื้นที่ของ plate

$\triangle T$ คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวและอากาศ

2. แบบ Annular fin และ Cylindrical fin

$V_{max} = (S_T \times V) /(2 \times (S_D \times D))$

$Re_D = V_{max} D/ \upsilon$

$Nu = 1.04\ Re^{0.4} Pr^{0.36} (Pr/Pr_S)^{0.25}$; $0 \leq Re \leq 500$

$Nu = 0.71\ Re^{0.5} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$; $500 \leq Re \leq 1000$

$Nu = 0.35\ (S_T/S_L)^{0.2} Re^{0.6} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$; $1000 \leq Re \leq 2 \times 10^5$

$Nu = 0.31\ (S_T/S_L)^{0.2} Re^{0.6} Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{0.25}$; $2 \times 10^5 \leq Re \leq 2 \times 10^6$

$Nu = hD/k$

Nu คือ Nsselt number

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของ Circular

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

k คือ ค่าคงที่ของการถ่ายเทความร้อน

$Q = hA\triangle T$

Q คือ การถ่ายเทความร้อน

A คือ พื้นที่ของ plate

$\triangle T$ คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวและอากาศ

$A_{fin} = 2\pi(r_o^2 - r_i^2)$

$A_{unfin} = \pi d$ x space

r_o คือ รัศมีภายนอกของFin

r_i คือ รัศมีภายในของFin

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของFin

space คือ ระห่างระหว่าง Fin จากขอบในถึงขอบในอีก Fin

อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบ Annular fin และ Cylindrical fin แบบ Free Convection

$V_{max} = (S_T \times V)/2(S_D \times D)$

$Ra = GrPr = \beta \Delta T g L^3 Pr/\nu$

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก(m^2/s)

$\beta = 1/T_f$

T_f คือ อุณหภูมิที่ผิวรวมกับอุณหภูมิขาเข้าแล้วหารด้วยสอง (K)

L คือ ความยาวของ fin (m)

$Nu = 2+0.43Ra^{1/4}$; $1< Ra <10^5$

$Nu = 2+[(0.589Ra^{1/4})/(1+(0.469/Pr)^{9/16})^{4/9}]$; $Ra \leq 10^{11}$

$Nu = hD/k$

Nu คือ Nsselt number

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของ Circular(m)

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K)

k คือ ค่าคงที่ของการถ่ายเทความร้อน (W/mK)

$Q = hA\triangle T$

Q คือ การถ่ายเทความร้อน (W)

A คือ พื้นที่ของตัวถ่ายเทความร้อน (m^2)

$\triangle T$ คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวและอากาศ (K)

$A_{fin} = 2\pi(r_o^2 - r_i^2)$

$A_{unfin} = \pi d \times space$

r_o คือ รัศมีภายนอกของFin

r_i คือ รัศมีภายในของFin

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของFin

space คือ ระห่างระหว่าง Fin จากขอบในถึงขอบในอีก Fin

3. อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบ Fin แบบ Force Convection [5]

$D_F = 4A_C/P$

A_C คือ พื้นที่ด่านข้าง

P คือ เส้นรอบรูป

$Re_D = VD/\upsilon$

V คือ ความเร็วของอากาศ (m/s)

Re คือ Reynolds numbers

υ คือ ความหนืดของอากาศ (m/s^2)

$Nu = 1.04\ Re^{0.4}Pr^{0.36}(Pr/Pr_S)^{0.25}$; $0 \leq Re \leq 500$

$Nu = 0.71\ Re^{0.5}Pr^{0.36}(Pr/Pr_s)^{0.25}$; $500 \leq Re \leq 1000$

$Q = hA_{total}\triangle T$

Q คือ การถ่ายเทความร้อน (W)

A_{total} คือ พื้นที่ของตัวถ่ายเทความร้อน (m^2)

$\triangle T$ คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวและอากาศ (K)

$A_{total} = A_{fin} + A_{unfin}$

A_{fin} = จำนวนfin x $(L^2 \text{ x } (t/2)^2)^{1/2}$ x b

A_{unfin} = b x space

L คือ ความสูงของFin

t คือ ความหนาของFin

b คือ ความยาวของFin

space คือ ระห่างระหว่าง Fin จากขอบในถึงขอบในอีก Fin

อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบ Fin แบบ Free Convection [5]

$Re = VL/\upsilon$

Re คือ Reynolds numbers

V คือ ความเร็วของอากาศ (m/s)

υ คือ ความหนืดของอากาศ (m/s^2)

$Nu = hL/k$

Nu คือ Nsselt number

L คือ ความยาวของ plate (m)

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2.K$)

k คือ ค่าคงที่ของการถ่ายเทความร้อน (W/m.K)

$Nu = 0.664Re^{1/2}Pr^{1/3}$; $Pr > 0.5$

$Nu = 1.128\ Re^{1/2}Pr^{1/2}$; $Pr << 1$

Pr คือ Prandtl number

$Q = hA_{total}\triangle T$

Q คือ การถ่ายเทความร้อน (W)

A_{total} คือ พื้นที่ของตัวถ่ายเทความร้อน (m^2)

$\triangle T$ คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวและอากาศ (K)

$A_{total} = A_{fin} + A_{unfin}$

A_{fin} = จำนวนfin x $(L^2 x (t/2)^2)^{1/2} x\ b$

A_{unfin} = b x space

L คือ ความสูงของFin

t คือ ความหนาของFin

b คือ ความยาวของFin

space คือ ระห่างระหว่าง Fin จากขอบในถึงขอบในอีก Fin