

เอกสารอ้างอิง



- Beckwith, T.G., and Lewis Buck, N. 1965. Mechanical Measurements.
 Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Chapman, A.J. 1974. Heat Transfer. New York: Macmillan Co., Inc.
- Daugherty, and Franzini 1965. Fluid Mechanics with Engineering Appli-
 cations. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Eckert, E.R.G., and Drake, R.M. 1972. Analysis of Heat and Mass Transfer.
 New York: McGraw-Hill, Inc.
- Holman, J.P. 1976. Heat Transfer. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Kern, D.Q. 1950. Process Heat Transfer. New York: McGraw-Hill, Inc.
- McAdams, W.H. 1954. Heat Transmission. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Shah, R.K., and London, A.L. 1971. "Laminar Flow Forced Convection
 Heat Transfer and Flow Friction in Straight and Curved Ducts-
 A Summary of Analytical Solutions" Technical Report No.75
 Prepared under Contract Nohr 225(91), NR-090-342, Department
 of Mechanical Engineering, Standford University.
- Tangsirimonkol, P. 1976. "Laminar Forced Convection in Triangular
 Ducts" Master's Thesis. Department of Mechanical Engineering,
 Chulalongkorn University.
- Welty, J.R. 1974. Engineering Heat Transfer. New York: John Wiley and
 sons.

Wibulswas, P. 1966. "Laminar Flow Heat Transfer in Non-circular Ducts"
Ph.D. Dissertation. Department of Mechanical Engineering,
London University.

ภาคผนวก

ผนวก ก.

ผลการทดลอง

ตารางที่ ก-๑ ผลการทดลองการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อ เป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดทั้งผิว สำหรับ $L/d_h = 5.04$

อัตราไหล $10^3 \text{ m}^3/\text{s}$	t_o K	t_f K	$t_{w,o}$ K	$t_{w,f}$ K	t_b K	Re	Nu_1	Pr
2.426	303.33	311.47	352.12	352.96	307.51	4,586.30	29.00	0.707
2.947	302.01	310.93	352.72	352.93	306.56	5,542.39	37.62	0.707
3.374	301.71	310.21	352.76	352.84	305.96	6,435.23	41.04	0.707
4.091	301.32	309.17	352.61	352.90	305.35	7,831.42	45.47	0.708
4.632	301.10	308.69	352.61	353.09	304.98	8,887.72	49.42	0.708
5.552	301.09	307.92	352.49	352.85	304.54	10,678.83	53.18	0.708
5.957	302.80	309.19	352.74	352.85	306.08	11,355.87	54.48	0.707
6.376	302.68	308.79	352.53	352.60	305.81	12,171.84	55.78	0.707
6.721	302.22	308.12	352.80	352.98	305.22	12,875.24	55.87	0.708

ตารางที่ ก-๑ (ต่อ)

อัตราไหล $10^3 \text{ m}^3/\text{s}$	t_o k	t_f k	$t_{w,o}$ k	$t_{w,f}$ k	t_b k	Re	Nu_1	Pr
7.062	301.71	307.68	352.96	352.94	304.57	13,759.78	58.82	0.708
7.396	301.66	307.68	352.94	352.98	304.73	14,209.56	62.23	0.708
7.693	301.10	306.74	352.25	352.60	303.97	14,847.18	60.66	0.708
8.000	301.06	306.67	351.92	352.05	303.98	15,433.69	63.26	0.708
8.283	301.54	307.22	352.94	353.09	304.43	15,938.42	65.35	0.708
8.570	301.64	307.29	353.09	353.07	304.62	16,475.54	67.42	0.708
8.833	301.80	307.32	352.60	352.73	304.62	16,980.73	68.36	0.708
9.344	301.61	307.18	354.00	354.33	304.44	17,981.47	70.60	0.708
9.278	299.12	304.98	353.96	354.15	302.10	18,099.98	71.78	0.708
10,434	299.03	304.64	353.84	354.31	301.88	20,385.08	77.02	0.708
10.558	300.20	305.52	354.76	354.87	302.90	20,502.86	73.80	0.708
11.280	299.93	305.31	354.76	355.15	302.49	22,080.68	75.02	0.708
12.592	299.93	304.99	356.89	357.29	302.49	24,506.20	79.85	0.708
13.787	299.59	304.79	356.98	357.50	302.22	26,882.00	89.09	0.708
14,848	299.82	304.76	357.15	357.37	302.32	29,225.90	91.33	0.708

T16584582

ตารางที่ ก-๒ ผลการทดลองการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การ
 แจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบอุณหภูมิ
 สมำเสมอตลอดพื้นผิว สำหรับ $L/d_h = 11.39$

อัตราไหล $10^3 \text{ m}^3/\text{s}$	t_o K	t_f K	$t_{w,o}$ K	$t_{w,f}$ K	t_b K	Re	Nu_1	Pr
3.374	303.70	313.82	355.02	355.30	308.94	6,307.56	21.41	0.706
4.091	303.51	313.13	355.06	355.28	308.48	7,666.77	24.50	0.706
4.632	303.40	312.97	354.88	355.42	308.33	8,689.80	27.56	0.707
5.148	303.27	312.64	355.12	355.26	308.10	9,668.56	29.85	0.707
5.703	302.65	312.26	354.99	355.55	307.88	10,725.40	33.53	0.707
5.957	302.34	311.92	355.15	355.17	307.29	11,242.18	34.89	0.707
6.376	301.18	310.65	355.18	355.50	306.06	12,117.90	36.16	0.707
6.721	301.18	310.43	355.23	355.12	305.95	12,781.70	37.28	0.707
7.062	301.29	310.89	355.26	355.18	306.28	13,402.71	40.96	0.707
7.396	301.84	310.73	355.40	355.54	306.41	14,029.34	39.38	0.707
8.000	301.46	310.74	355.32	355.48	306.23	15,219.22	44.51	0.707
8.570	302.17	310.86	355.52	355.18	306.65	16,231.09	44.92	0.707
8.017	298.73	308.37	352.79	353.37	303.69	15,446.40	46.81	0.707

ตารางที่ ก-๒ (ต่อ)

อัตราไหล $10^3 \text{ m}^3/\text{s}$	t_o K	t_w K	$t_{w,o}$ K	$t_{w,f}$ K	t_b K	Re	Nu_1	Pr
8.875	299.28	308.22	352.37	353.56	303.85	17,083.80	48.27	0.708
9.800	299.28	307.57	352.59	353.46	303.52	18,902.32	49.12	0.707
10.58	299.43	307.46	352.48	353.26	303.53	20,407.80	51.59	0.708
11.344	301.76	310.01	355.77	356.28	305.98	21,571.54	55.31	0.708
12.530	301.58	309.68	355.07	356.23	305.67	23,865.67	60.08	0.707
13.853	302.23	309.73	355.18	356.12	306.06	26,328.25	61.84	0.707
14.932	301.98	309.40	356.29	356.46	305.78	28,426.12	64.70	0.707
16.256	303.18	310.18	356.95	357.26	306.74	30,773.38	66.46	0.707
16.258	302.87	310.50	355.46	355.50	306.79	30,764.73	74.77	0.707
17.781	302.80	310.57	355.37	355.63	306.78	33,648.31	83.33	0.707
19.846	301.85	309.45	356.18	356.50	305.73	37,785.06	88.10	0.707
22.874	301.85	309.07	355.48	356.05	305.53	43,603.30	97.33	0.707
25.528	302.09	308.98	355.50	355.89	305.56	48,675.95	103.94	0.707
28,065	303.22	309.96	355.12	355.63	306.66	53,154.11	114.12	0.707
32.359	303.29	310.01	354.84	355.29	306.72	61,263.41	132.22	0.707

ตารางที่ ก-๓ ผลการทดลองการพาความร้อนโดยบังคับ ในท่อสามเหลี่ยมทราจั่วมุมฉากซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การ
 แจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อ เป็นแบบอุณหภูมิ
 สมำเสมอตลอดพื้นผิว สำหรับ $L/d_h = 4.95$

อัตราไหล $10^3 \text{ m}^3/\text{s}$	t_o K	t_f K	$t_{w,o}$ K	$t_{w,f}$ K	t_b K	Re	Nu_1	Pr
2.426	300.07	308.58	354.90	355.03	304.44	4,182.06	25.11	0.707
2.947	299.93	308.09	354.78	354.87	304.15	5,089.94	29.48	0.707
3.374	299.96	307.74	354.62	355.00	303.94	5,834.33	31.92	0.707
4.091	299.41	306.93	354.60	354.79	303.25	7,102.07	37.14	0.707
4.632	300.01	306.68	355.75	355.67	303.42	8,034.86	36.60	0.708
5.148	300.24	306.20	355.69	355.82	303.27	8,937.33	36.31	0.707
5.552	300.37	306.04	355.65	355.79	303.25	9,639.68	37.18	0.707
5.552	302.76	308.62	357.48	357.50	305.76	9,498.95	38.39	0.707
5.957	300.07	305.88	355.59	355.87	303.08	10,353.40	40.85	0.708
6.376	301.82	307.54	357.54	357.56	304.73	10,975.04	42.45	0.707
6.721	300.98	306.79	357.48	357.56	303.94	11,620.79	44.95	0.707
7.062	301.20	306.96	357.54	357.54	304.13	12,197.54	46.88	0.707



ตารางที่ ก-๓ (ต่อ)

อัตราไหล $10^3 \text{ m}^3/\text{s}$	t_o K	t_f K	$t_{w,o}$ K	$t_{w,f}$ K	t_b K	Re	Nu_1	Pr
7.693	301.90	306.90	357.59	357.53	304.44	13,261.32	44.56	0.707
8.021	300.93	307.01	357.68	357.64	304.03	13,861.73	56.14	0.707
8.968	301.26	306.70	357.56	357.82	304.03	15,497.97	56.15	0.707
9.811	301.54	306.76	357.46	357.46	304.19	16,938.73	59.29	0.707
10.596	301.43	306.70	357.54	357.67	304.10	18,302.56	64.49	0.708
11.302	300.98	306.37	357.56	357.65	303.70	19,570.98	69.88	0.707
12.616	300.70	306.48	357.59	357.63	303.64	21,848.74	83.56	0.708
13.794	300.39	306.43	357.65	357.65	303.44	23,921.06	95.93	0.707
15.901	300.58	306.09	357.38	357.43	303.38	27,582.48	100.32	0.708

ตารางที่ ก-๔ ผลการทดลองการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การ
 แจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิของของไหลกำลังเปลี่ยนแปลงพร้อมๆกัน สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อ เป็นแบบอุณหภูมิ
 สมำเสมอตลอดพื้นผิว สำหรับ $L/d_h = 11.64$

อัตราไหล $10^3 \text{ m}^3/\text{s}$	t_o K	t_f K	$t_{w,o}$ K	$t_{w,f}$ K	t_b K	Re	Nu_1	Pr
3.374	299.98	310.54	354.59	354.65	305.45	5,759.46	18.76	0.707
4.091	300.73	310.76	354.37	354.65	305.91	6,964.77	21.81	0.707
4.632	300.84	310.28	354.37	354.54	305.42	7,908.12	23.31	0.707
5.148	301.12	310.37	354.73	354.76	305.89	8,765.60	25.21	0.707
5.552	301.16	310.26	354.36	354.54	305.83	9,455.94	27.00	0.707
5.957	301.51	310.82	355.53	355.42	306.31	10,117.92	29.26	0.707
6.376	296.87	306.69	354.48	354.65	301.84	11,113.12	31.16	0.708
6.721	296.90	306.43	354.27	354.35	301.81	11,716.03	32.17	0.708
7.062	297.43	306.98	354.48	354.69	301.75	12,315.86	33.85	0.708
7.693	297.04	306.70	354.59	354.63	302.02	13,394.82	37.42	0.708
8.028	300.73	308.62	355.34	355.34	304.58	13,773.30	34.20	0.707
8.980	300.37	309.17	354.93	355.10	304.89	15,377.96	41.01	0.707

ตารางที่ ก-๔ (ต่อ)

อัตราไหล $10^3 \text{ m}^3/\text{s}$	t_o K	t_f K	$t_{w,o}$ K	$t_{w,f}$ K	t_b K	Re	Nu_1	Pr
9.826	300.59	309.37	355.19	355.12	305.10	16,806.43	44.71	0.707
10.614	300.67	309.40	355.10	355.23	305.16	18,146.55	48.08	0.707
11.330	300.73	309.42	355.09	355.23	305.19	19,369.39	51.16	0.707
12.653	300.91	309.82	355.16	355.21	305.49	21,592.51	58.75	0.707
13.849	301.38	310.18	354.98	355.18	305.90	23,579.50	64.00	0.707
14.929	301.39	309.96	354.84	355.15	305.62	25,456.58	69.81	0.707
16.059	296.69	305.71	355.22	355.28	301.28	28,091.50	72.13	0.708
17.589	296.69	305.73	355.20	355.28	301.29	30,765.79	79.24	0.708
19.673	296.93	305.76	355.09	355.32	301.46	34,380.23	85.92	0.708
22.730	297.48	306.09	354.82	355.17	301.89	39,615.92	97.70	0.708
25.194	301.69	309.34	354.36	354.66	305.61	42,965.47	102.02	0.707
27.874	298.32	306.38	355.76	355.62	302.46	48,418.15	111.50	0.708
32.164	298.04	305.96	355.29	355.21	302.09	55,985.16	126.77	0.708

ผนวก ข.

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณที่แสดงไว้ข้างล่างนี้ เป็นของท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า $L/d_h =$
 5.04 ที่อัตราไหล = 6.376×10^{-3} ม³/วินาที

ข้อมูลที่วัดได้

เส้นรอบรูปท่อ P	= 128.99	มม.
พื้นที่หน้าตัดท่อ A_c	= 799.35	มม. ²
ความยาวท่อ L	= 124.97	มม.
อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศเข้า t_o	= 302.68	K
อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศออก t_f	= 308.79	K
อุณหภูมิผิวท่อปากทางเข้า $t_{w,o}$	= 352.53	K
อุณหภูมิผิวท่อปากทางออก $t_{w,f}$	= 352.60	K

การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก } d_h &= 4A_c/P \\ &= \frac{4 \times 799.35}{128.99} = 24.79 \quad \text{มม.} \\ \text{ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ } w_b &= V/A_c \\ &= \frac{6.376 \times 10^{-3}}{799.35 \times 10^{-6}} = 7.976 \quad \text{ม/วินาที} \\ \text{อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวท่อ } t_w &= (t_{w,o} + t_{w,f})/2 \\ &= (352.53 + 352.60)/2 = 352.57 \text{ K} \\ \text{ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อก } \Delta t_1 &= \frac{(t_{w,o} - t_o) - (t_{w,f} - t_f)}{\ln \frac{(t_{w,o} - t_o)}{(t_{w,f} - t_f)}} \end{aligned}$$

$$= \frac{(352.53-302.68)-(352.60-308.79)}{\ln \frac{(352.53-302.68)}{(352.60-308.79)}}$$

$$= 46.76 \text{ K}$$

เนื่องจาก $\Delta t_1 = t_w - t_b$

ดังนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในท่อ $t_b = t_w - \Delta t_1$

$$= 352.57 - 46.76$$

$$= 305.81 \text{ K}$$

จากนี้หาค่า k, ρ, C_p และ μ ของอากาศซึ่งต้องใช้ในการคำนวณหาค่าอื่นๆที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในท่อ $t_b = 305.81$ และที่ความดันบรรยากาศ

$$k = 2.671 \times 10^{-2} \quad \text{วัตต์/ม-K}$$

$$\rho = 1.1542 \quad \text{กก./ม}^3$$

$$C_p = 1.007 \times 10^3 \quad \text{จูล/กก-K}$$

$$\mu = 1.875 \times 10^{-5} \quad \text{กก/ม-วินาที}$$

สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน $\alpha = k/\rho C_p$

$$= \frac{2.671 \times 10^{-2}}{1.154 \times 1.007 \times 10^3} = 2.297 \times 10^{-5}$$

เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ $Re = \rho w_b d_h / \mu$

$$= \frac{1.154 \times 7.976 \times 2.479 \times 10^{-2}}{1.875 \times 10^{-5}} = 12,171.43$$

จากสมการ (๒-๗)

นัสเซลท์นัมเบอร์ $Nu_1 = \frac{1}{4} \frac{w_b d_h^2 (t_f - t_o)}{\alpha L \Delta t_1}$

$$= \frac{7.976 \times 2.497 \times 2.497 \times 10^{-4} (308.79 - 302.68)}{4 \times 2.297 \times 10^{-5} \times 0.125 \times 46.76}$$

$$= 55.77$$

พจน์ดีเซลบีเบอร์

$$\begin{aligned} Pr &= \mu C_p / k \\ &= \frac{1.875 \times 10^{-5} \times 1.007 \times 10^3}{2.671 \times 10^{-2}} \\ &= 0.707 \end{aligned}$$

ประวัติการศึกษา

ชื่อ	นายพงษ์ธร จริญญากรณ์
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเครื่องกล
สถานที่ศึกษา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จ	๒๕๑๗
ทุนการศึกษา	รับทุนการศึกษาของโครงการพัฒนามหาวิทยาลัย

