



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved



ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลจากการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ตาราง ก-1 ผลการทดลองกรณีติดปล่องแบบถ่าง สำหรับท่อที่มีสัดส่วน  $L_p/b = 5$  และ  $q = 100 \text{ W/m}^2$

บันทึก ครั้งที่	สัดส่วน		อุณหภูมิผนังท่อที่ตำแหน่งความสูงจากทางเข้า (m)																								
	$L/L_p$	$B/b$	อุณหภูมิผนังท่อด้านซ้าย (°C)								อุณหภูมิผนังท่อด้านขวา (°C)								$T_{va}$ (°C)	$T_o$ (°C)	$h_a$ ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$ )	Nu	$h_a$ (เฉลี่ย) ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$ )	Nu (เฉลี่ย)			
			0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18										
1	1	-	51.4	52.7	53.6	53.9	53.6	53.6	53.7	53.8	53.4	51.6	52.8	53.7	53.7	54.0	53.6	53.6	53.5	53.5	53.05	28.3	4.040	5.953			
2	2		51.4	52.8	53.7	53.9	53.5	53.2	53.7	54.0	51.5	52.7	53.7	53.7	54.0	53.6	51.5	52.7	53.7	53.5	53.08	28.4	4.052	5.969	4.054		5.972
3	3		51.6	52.8	53.7	54.0	53.7	53.7	54.0	51.7	52.9	53.8	53.8	54.0	53.5	51.7	52.9	53.8	53.5	53.17	28.6	4.070	5.993				
1	2	1	51.3	52.4	53.3	53.6	53.2	53.2	53.6	53.2	51.2	52.4	53.3	53.3	53.6	53.3	51.2	52.4	53.3	53.3	52.76	29.3	4.263	6.275			
2	2		51.1	52.3	53.2	53.5	53.2	53.2	53.6	53.2	51.0	52.4	53.2	53.6	53.2	52.67	51.0	52.4	53.6	53.2	52.67	29.2	4.261	6.274	4.257		6.268
3	3		50.9	52.3	53.2	53.5	53.1	53.1	53.5	53.1	51.1	52.3	53.3	53.5	53.2	52.64	51.1	52.3	53.5	53.2	52.64	29.1	4.248	6.256			
1	2	2	46.1	47.2	48.1	48.3	48.0	48.3	48.3	48.2	46.3	47.3	48.2	48.3	47.9	47.57	46.3	47.3	48.3	47.9	47.57	24.9	4.411	6.577			
2	2		46.6	47.6	48.6	48.7	48.2	48.7	48.7	48.5	46.5	47.6	48.5	48.7	48.0	47.90	46.5	47.6	48.5	48.0	47.90	25.3	4.425	6.591	4.421		6.586
3	3		46.7	47.6	48.7	48.8	48.2	48.8	48.8	48.6	46.5	47.7	48.6	48.8	48.3	47.99	46.5	47.7	48.6	48.3	47.99	25.4	4.427	6.592			
1	2	3	46.0	46.9	47.6	47.8	47.5	47.8	47.8	47.7	45.9	46.9	47.7	47.8	47.4	47.15	45.9	46.9	47.7	47.8	47.15	25.5	4.619	6.885			
2	2		45.9	46.9	47.6	47.8	47.5	47.8	47.9	47.7	45.8	46.8	47.7	47.9	47.5	47.14	45.8	46.8	47.7	47.9	47.14	25.4	4.600	6.857	4.615		6.880
3	3		45.6	46.7	47.5	47.7	47.4	47.7	47.8	47.7	45.8	46.7	47.7	47.8	47.3	47.02	45.8	46.7	47.7	47.8	47.02	25.4	4.625	6.897			
1	2	4	45.1	46.0	46.7	46.9	46.3	46.9	46.9	46.7	45.3	46.1	46.7	46.9	46.4	46.24	45.3	46.1	46.7	46.9	46.24	25.0	4.708	7.031			
2	2		44.7	45.9	46.7	47.0	46.4	46.9	46.8	46.6	45.0	46.0	46.6	46.8	46.3	46.14	45.0	46.0	46.6	46.8	46.14	24.8	4.686	7.001	4.688		7.004
3	3		44.6	45.8	46.6	46.8	46.3	46.8	46.7	46.6	44.7	45.9	46.6	46.7	46.1	46.01	44.7	45.9	46.6	46.7	46.01	24.6	4.671	6.981			
1	2	5	44.3	45.7	46.5	46.8	46.1	46.8	46.8	46.6	44.7	45.8	46.6	46.8	46.3	45.96	44.7	45.8	46.6	46.8	45.96	24.1	4.575	6.842			
2	2		45.1	46.3	47.1	47.3	46.8	47.3	47.3	47.1	45.3	46.4	47.1	47.3	47.0	46.57	45.3	46.4	47.1	47.3	46.57	24.7	4.572	6.828	4.575		6.837
3	3		45.0	46.1	46.8	47.0	46.6	47.0	47.0	46.2	45.1	46.2	46.9	47.0	46.7	46.34	45.1	46.2	46.9	47.0	46.34	24.5	4.579	6.842			
1	2	7	46.2	47.1	48.0	48.1	47.5	48.1	48.2	47.9	46.0	47.0	47.9	48.2	47.7	47.37	46.0	47.0	47.9	48.2	47.37	24.7	4.411	6.580			
2	2		46.0	47.1	47.9	48.0	47.6	48.0	48.0	47.8	45.9	47.0	47.8	48.0	47.6	47.29	45.9	47.0	47.8	48.0	47.29	24.6	4.407	6.576	4.401		6.567
3	3		46.0	47.0	47.8	47.9	47.4	47.9	48.0	47.8	45.7	46.9	47.8	48.0	47.6	47.21	45.7	46.9	47.8	48.0	47.21	24.4	4.384	6.544			

ตาราง ก-1 ผลการทดลองกรณีติดตั้งแบบต่าง สำหรับท่อที่มีสัดส่วน  $L_t/b = 5$  และ  $q = 100 \text{ W/m}^2$  (ต่อ)

บันทึก ครั้งที่	สัดส่วน $L_t/b$	อุณหภูมิผนังท่อตำแหน่งความสูงจากท่างเข้า (m)														$T_{wa}$ (°C)	$T_o$ (°C)	$h_a$ ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$ )	Nu	$h_a$ (เฉลี่ย) ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$ )	Nu (เฉลี่ย)	
		อุณหภูมิผนังท่อด้านซ้าย (°C)						อุณหภูมิผนังท่อด้านขวา (°C)														
		0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.18	0.14	0.10	0.06							0.02
1	3	51.9	53.5	54.5	54.8	54.5	51.8	53.4	54.5	54.8	54.6	51.8	53.4	54.5	54.8	54.6	53.83	27.7	3.827	5.637	3.827	5.637
2	3	52.1	53.6	54.6	54.9	54.7	51.9	53.5	54.6	54.9	54.5	51.9	53.5	54.6	54.9	54.5	53.93	27.8	3.827	5.636	3.827	5.636
3	3	52.2	53.7	54.7	54.9	54.6	52.1	53.6	54.8	55.0	54.7	52.1	53.6	54.8	55.0	54.7	54.03	27.9	3.827	5.634	3.827	5.634
1	3	51.1	52.5	53.1	53.4	52.8	51.0	52.4	53.1	53.3	52.8	51.0	52.4	53.1	53.3	52.8	52.55	28.0	4.073	6.008	4.073	6.008
2	3	51.1	52.5	53.1	53.3	52.5	50.9	52.3	53.1	53.3	52.8	50.9	52.3	53.1	53.3	52.8	52.49	27.9	4.067	5.999	4.074	6.010
3	3	51.0	52.4	53.0	53.3	52.7	50.9	52.4	53.1	53.4	52.7	50.9	52.4	53.1	53.4	52.7	52.49	28.0	4.083	6.023	4.083	6.023
1	3	49.7	50.8	51.7	52.1	51.5	49.8	50.9	51.7	52.0	51.3	49.8	50.9	51.7	52.0	51.3	51.15	29.6	4.640	6.843	4.640	6.843
2	3	49.5	50.8	51.6	51.8	51.2	49.6	50.8	51.7	51.9	51.4	49.6	50.8	51.7	51.9	51.4	51.03	29.4	4.623	6.820	4.630	6.820
3	3	49.7	50.9	51.8	52.0	51.4	49.6	50.9	51.7	51.9	51.3	49.6	50.9	51.7	51.9	51.3	51.12	29.5	4.625	6.822	4.625	6.822
1	3	46.5	47.3	47.8	48.2	47.7	46.3	47.2	47.8	48.2	47.8	46.3	47.2	47.8	48.2	47.8	47.48	27.1	4.907	7.295	4.907	7.295
2	3	46.7	47.7	48.3	48.6	48.0	46.6	47.5	48.2	48.6	48.1	46.6	47.5	48.2	48.6	48.1	47.83	27.5	4.919	7.306	4.916	7.306
3	3	46.9	47.8	48.6	48.8	48.3	47.0	47.9	48.6	48.8	48.5	47.0	47.9	48.6	48.8	48.5	48.12	27.8	4.921	7.303	4.921	7.303
1	3	46.4	47.2	47.8	48.1	47.7	46.3	47.1	47.8	48.1	47.8	46.3	47.1	47.8	48.1	47.8	47.43	27.4	4.993	7.420	4.993	7.420
2	3	46.6	47.5	48.1	48.4	47.9	46.5	47.5	48.1	48.5	48.1	46.5	47.5	48.1	48.5	48.1	47.72	27.7	4.995	7.418	4.998	7.425
3	3	46.5	47.5	48.1	48.3	47.9	46.4	47.5	48.1	48.4	48.0	46.4	47.5	48.1	48.4	48.0	47.67	27.7	5.008	7.437	5.008	7.437
1	3	48.0	49.1	49.9	50.1	49.6	48.1	49.2	49.8	50.1	49.5	48.1	49.2	49.8	50.1	49.5	49.34	28.9	4.892	7.238	4.892	7.238
2	3	47.8	48.9	49.6	49.8	49.3	47.7	49.1	49.6	49.9	49.4	47.7	49.1	49.6	49.9	49.4	49.11	28.7	4.900	7.253	4.888	7.237
3	3	47.4	48.6	49.2	49.3	48.8	47.1	48.4	49.1	49.4	49.0	47.1	48.4	49.1	49.4	49.0	48.63	28.1	4.871	7.221	4.871	7.221

ตาราง ก-2 ผลการทดลองกรณีตีปล่องแบบถ่าง สำหรับท่อที่มีสัดส่วน  $L_p/b = 5$  และ  $q = 300 \text{ W/m}^2$

บันทึก	สัดส่วน	อุณหภูมิผนังท่อที่ตำแหน่งความสูงจากทางเข้า (m)																			
		$L/L_p$	$B/b$	อุณหภูมิผนังท่อที่ด้านซ้าย (°C)						อุณหภูมิผนังท่อที่ด้านขวา (°C)						$T_{wa}$ (°C)	$T_o$ (°C)	$h_a$ ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$ )	Nu	$h_s$ ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$ )	Nu (เฉลี่ย)
				0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18								
1	1	-	75.0	77.2	78.8	79.3	78.0	74.9	77.2	78.9	79.3	78.1	77.67	27.3	5.956	8.513	5.961	8.515			
2	2		75.3	77.5	79.1	79.5	78.2	75.1	77.4	79.2	79.6	78.4	77.93	27.6	5.961	8.513	5.961	8.515			
3	3		75.3	77.5	79.2	79.6	78.3	75.2	77.5	79.3	79.6	78.4	77.99	27.7	5.965	8.518	5.965	8.515			
1	2	1	71.6	74.0	75.5	75.9	74.6	71.3	73.8	75.5	76.0	74.9	74.31	23.9	5.951	8.579	5.948	8.571			
2	2		71.8	74.2	75.7	76.0	74.9	71.6	74.2	75.8	76.2	75.1	74.55	24.1	5.946	8.568	5.946	8.571			
3	3		71.9	74.2	75.8	76.2	75.1	71.8	74.3	75.8	76.2	75.2	74.65	24.2	5.946	8.566	5.946	8.571			
1	2	2	70.9	72.9	74.5	74.7	73.7	70.7	72.8	74.5	74.8	73.8	73.33	24.3	6.119	8.827	6.120	8.825			
2	2		71.0	73.1	74.7	74.9	73.9	70.8	73.0	74.7	75.0	74.0	73.51	24.5	6.121	8.827	6.120	8.825			
3	3		71.2	73.2	74.9	75.2	74.1	71.1	73.1	74.9	75.2	74.2	73.71	24.7	6.121	8.822	6.120	8.825			
1	2	3	69.0	71.1	72.6	73.1	72.1	68.9	71.0	72.7	73.1	72.3	71.59	24.4	6.357	9.191	6.353	9.185			
2	2		68.9	71.0	72.6	72.8	71.9	68.6	70.8	72.6	72.9	72.1	71.42	24.2	6.353	9.189	6.353	9.185			
3	3		69.2	71.3	73.0	73.3	72.5	69.1	71.2	73.0	73.3	72.6	71.85	24.6	6.349	9.174	6.348	9.185			
1	2	4	68.7	70.6	72.3	72.8	71.8	68.6	70.7	72.4	72.7	71.7	71.23	24.7	6.447	9.322	6.448	9.319			
2	2		68.9	70.9	72.5	73.1	72.1	69.0	71.0	72.6	73.0	72.0	71.51	25.0	6.450	9.319	6.448	9.319			
3	3		68.8	70.8	72.5	73.0	72.1	68.9	70.9	72.5	72.9	71.9	71.43	24.9	6.447	9.317	6.448	9.319			
1	2	5	68.9	70.7	72.5	72.9	71.9	69.0	70.8	72.5	72.9	71.9	71.40	24.5	6.397	9.249	6.395	9.249			
2	2		68.7	70.7	72.4	72.9	71.9	68.8	70.6	72.4	72.8	71.8	71.30	24.4	6.397	9.251	6.395	9.249			
3	3		68.6	70.5	72.3	72.8	71.8	68.8	70.6	72.4	72.8	71.7	71.23	24.3	6.392	9.247	6.395	9.249			
1	2	7	71.4	73.5	74.9	75.3	74.4	71.5	73.5	74.8	75.2	74.5	73.90	25.2	6.160	8.871	6.159	8.871			
2	2		71.3	73.4	74.8	75.1	74.3	71.4	73.4	74.8	75.2	74.4	73.81	25.1	6.159	8.871	6.159	8.871			
3	3		71.3	73.4	74.9	75.2	74.3	71.4	73.4	74.8	75.1	74.3	73.81	25.1	6.159	8.871	6.159	8.871			

ตาราง ก-2 ผลการทดลองกรณีติดตั้งแบบต่าง สำหรับท่อที่มีสัดส่วน  $L_p/b = 5$  และ  $q = 300 \text{ W/m}^2$  (ต่อ)

บันทึก	สัดส่วน	อุณหภูมิผนังท่อที่ตำแหน่งความสูงจากทางเข้า (m)														Nu	$h_a$ (เฉลี่ย) ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )	Nu	$h_a$ (เฉลี่ย) ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )	Nu	$h_a$ (เฉลี่ย) ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )			
		$L/L_p$	B/b	อุณหภูมิผนังท่อด้านซ้าย ( $^\circ\text{C}$ )						อุณหภูมิผนังท่อด้านขวา ( $^\circ\text{C}$ )														
				0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18											
1	3	76.2	78.5	80.2	80.6	79.8	76.3	78.6	80.2	80.6	79.9	79.9	80.2	80.5	80.7	80.0	79.32	30.5	8.729	6.145	8.729	6.144	8.729	
2		76.5	78.7	80.5	80.8	80.1	76.6	78.8	80.5	80.7	80.0	76.6	78.8	80.5	80.7	80.0	79.32	30.5	8.729	6.145	8.729	6.144	8.729	
3		76.7	78.9	80.6	81.0	80.2	76.8	78.9	80.6	80.9	80.1	76.8	78.9	80.6	80.9	80.1	79.47	30.7	8.734	6.151	8.734	6.151	8.734	
1	3	75.0	76.8	78.3	78.7	77.7	74.9	76.7	78.3	78.7	77.6	74.9	76.7	78.3	78.7	77.6	77.27	29.2	8.903	6.241	8.903	6.241	8.903	
2		75.2	77.1	78.6	78.9	77.8	74.9	77.0	78.6	79.0	77.8	74.9	77.0	78.6	79.0	77.8	77.49	29.5	8.912	6.251	8.912	6.251	8.912	
3		75.2	77.1	78.6	78.9	77.8	75.1	77.1	78.5	78.9	77.8	75.1	77.1	78.5	78.9	77.8	77.50	29.5	8.910	6.250	8.910	6.250	8.910	
1	3	74.3	76.3	77.9	78.0	77.0	74.2	76.3	77.8	78.2	77.1	74.2	76.3	77.8	78.2	77.1	76.71	29.8	9.123	6.395	9.123	6.395	9.123	
2		74.5	76.4	77.9	78.1	77.1	74.4	76.4	77.8	78.2	77.3	74.4	76.4	77.8	78.2	77.3	76.81	29.9	9.120	6.395	9.120	6.395	9.120	
3		74.3	76.3	77.8	78.0	76.7	74.1	76.2	77.8	78.1	77.0	74.1	76.2	77.8	78.1	77.0	76.63	29.7	9.121	6.392	9.121	6.392	9.121	
1	3	71.7	73.8	75.2	75.6	74.8	71.6	74.0	75.3	75.5	74.7	71.6	74.0	75.3	75.5	74.7	74.22	28.4	9.386	6.547	9.386	6.547	9.386	
2		72.1	74.0	75.5	75.9	75.0	71.9	74.2	75.6	75.8	75.1	71.9	74.2	75.6	75.1	74.51	28.8	9.400	6.563	9.400	6.563	9.400	6.562	9.400
3		72.2	74.3	75.7	75.9	75.1	72.1	74.2	75.6	76.0	75.2	72.1	74.2	75.6	76.0	75.2	74.63	29.0	9.413	6.575	9.413	6.575	9.413	
1	3	70.1	72.1	73.5	73.8	73.0	70.0	72.0	73.5	73.8	73.0	70.0	72.0	73.5	73.8	73.0	72.48	27.4	9.573	6.655	9.573	6.655	9.573	
2		70.0	72.0	73.4	73.7	72.9	69.9	71.9	73.5	73.7	73.0	69.9	71.9	73.5	73.7	73.0	72.40	27.3	9.571	6.652	9.571	6.652	9.571	
3		69.8	71.7	73.4	73.5	72.6	69.5	71.5	73.3	73.6	72.8	69.5	71.5	73.3	73.6	72.8	72.17	27.0	9.563	6.642	9.563	6.642	9.563	
1	3	69.6	71.5	72.9	73.3	72.3	69.5	71.4	72.9	73.3	72.4	69.5	71.4	72.9	73.3	72.4	71.91	26.4	9.502	6.592	9.502	6.592	9.502	
2		69.5	71.5	72.9	73.2	72.4	69.4	71.4	73.0	73.3	72.5	69.4	71.4	73.0	73.3	72.5	71.91	26.4	9.502	6.592	9.502	6.592	9.502	
3		69.3	71.2	72.7	73.0	72.0	69.1	71.1	72.7	73.1	72.2	69.1	71.1	72.7	73.1	72.2	71.64	26.1	9.503	6.588	9.503	6.588	9.503	



ตาราง ก-3 ผลการทดลองกรณีติดปล่องแบบล่าง สำหรับท่อที่มีสัดส่วน  $L_h/b = 2.5$  และ  $q = 100 \text{ W/m}^2$

บันทึก	อุณหภูมิผนังท่อที่ตำแหน่งความสูงจากทางเข้า (m)														T <sub>wa</sub> (°C)	T <sub>o</sub> (°C)	h <sub>a</sub> (W/m <sup>2</sup> ·°C)	Nu	h <sub>a</sub> (เฉลี่ย) (W/m <sup>2</sup> ·°C)	Nu (เฉลี่ย)
	สัดส่วน	อุณหภูมิผนังท่อที่ด้านซ้าย (°C)						อุณหภูมิผนังท่อที่ด้านขวา (°C)												
		L/L <sub>h</sub>	B/b	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18							
1	1	-	50.8	52.3	53.0	53.3	52.8	52.3	51.0	52.3	53.1	53.2	52.7	52.45	30.1	4.474	13.164			
2	2		51.0	52.4	53.1	53.3	52.7	52.4	51.1	52.4	53.1	53.3	52.8	52.52	30.2	4.480	13.179	4.482	13.185	
3	3		51.1	52.3	53.2	53.4	52.8	52.4	51.3	52.4	53.2	53.3	52.6	52.56	30.3	4.492	13.212			
1	2	1	50.6	51.9	52.9	53.1	52.3	52.0	50.7	52.0	52.8	53.0	52.3	52.16	29.7	4.452	13.112			
2	2		50.7	52.2	52.9	53.1	52.3	52.0	50.7	52.0	52.8	53.1	52.4	52.22	29.8	4.460	13.132	4.458	13.125	
3	3		50.6	52.0	52.9	53.1	52.5	52.1	50.7	52.1	52.9	53.0	52.4	52.22	29.8	4.460	13.132			
1	2	2	47.3	48.5	49.0	49.3	48.7	48.4	47.2	48.4	49.0	49.3	48.6	48.53	27.7	4.801	14.243			
2	2		47.4	48.5	49.1	49.5	48.8	48.6	47.5	48.6	49.2	49.4	48.7	48.67	27.9	4.815	14.278	4.809	14.263	
3	3		47.5	48.6	49.2	49.5	49.0	48.6	47.6	48.6	49.4	49.5	48.9	48.78	28.0	4.812	14.267			
1	2	3	47.4	48.5	49.0	49.2	48.8	48.4	47.4	48.4	49.1	49.3	48.8	48.59	28.6	5.003	14.823			
2	2		47.5	48.6	49.1	49.2	48.7	48.4	47.4	48.4	49.1	49.3	48.8	48.61	28.6	4.998	14.808	4.998	14.808	
3	3		47.5	48.6	49.0	49.2	48.8	48.5	47.5	48.5	49.1	49.3	48.8	48.63	28.6	4.993	14.792			
1	2	4	47.4	48.3	49.0	49.3	48.7	48.4	47.3	48.4	49.1	49.3	48.6	48.54	28.0	4.869	14.438			
2	2		47.7	48.6	49.3	49.4	48.9	48.7	47.6	48.7	49.3	49.4	49.0	48.79	28.3	4.880	14.463	4.876	14.451	
3	3		47.8	48.7	49.4	49.6	49.0	48.8	47.7	48.8	49.3	49.6	49.1	48.90	28.4	4.878	14.452			
1	2	5	48.6	49.7	50.5	50.7	50.1	48.7	48.7	49.9	50.6	50.8	50.1	49.97	28.8	4.724	13.967			
2	2		48.8	49.8	50.7	50.8	50.2	48.7	48.7	50.0	50.7	50.9	50.2	50.08	29.0	4.744	14.021	4.739	14.006	
3	3		48.9	50.0	50.8	50.8	50.2	48.9	48.9	50.1	50.7	50.9	50.3	50.16	29.1	4.748	14.031			

ตาราง ก-3 ผลการทดลองกรณีติดปล่องแบบบั้ง สำหรับท่อที่มีสัดส่วน  $L_p/b = 2.5$  และ  $q = 100 \text{ W/m}^2$  (ต่อ)

บันทึก ครั้งที่	อัตราส่วน		อุณหภูมิผนังท่อที่ตำแหน่งความสูงจากทางเข้า (m)												$T_{\text{ms}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_o$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$h_a$ ( $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ )	Nu	$h_u$ (เฉลี่ย) ( $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ )	Nu (เฉลี่ย)
	$L/L_p$	B/b	อุณหภูมิผนังท่อที่ด้านซ้าย ( $^{\circ}\text{C}$ )						อุณหภูมิผนังท่อที่ด้านขวา ( $^{\circ}\text{C}$ )											
			0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18								
1	3	1	47.6	48.9	49.9	50.2	49.6	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	49.7	49.29	26.9	4.466	13.252			
2			47.8	49.4	50.2	50.5	49.9	48.0	49.5	50.3	50.5	50.0	49.61	49.80	27.3	4.482	13.286	4.482		
3			48.0	49.5	50.4	50.6	50.0	48.1	49.6	50.4	50.6	50.1	49.73	49.88	27.5	4.498	13.329	13.289		
1	3	2	48.5	49.8	50.4	50.6	50.1	48.6	49.7	50.5	50.6	50.0	49.88	49.88	28.5	4.677	13.837			
2			48.5	49.7	50.4	50.5	50.1	48.3	49.5	50.3	50.5	50.2	49.80	49.80	28.4	4.673	13.828	4.674		
3			48.5	49.7	50.4	50.5	50.0	48.5	49.6	50.3	50.5	50.1	49.81	49.81	28.4	4.671	13.821			
1	3	3	47.4	48.4	49.1	49.2	48.7	47.5	48.4	49.0	49.2	48.8	48.57	48.57	28.3	4.933	14.624			
2			47.5	48.5	49.2	49.4	48.9	47.6	48.6	49.2	49.4	49.0	48.73	48.73	28.6	4.968	14.717	4.951		
3			47.4	48.4	49.2	49.4	48.9	47.7	48.6	49.2	49.3	48.9	48.70	48.70	28.5	4.950	14.669			
1	3	4	46.0	47.1	47.7	47.9	47.5	46.1	47.0	47.6	47.8	47.3	47.20	47.20	27.8	5.155	15.318			
2			45.9	47.0	47.6	47.8	47.4	45.9	46.8	47.6	47.7	47.3	47.10	47.10	27.7	5.155	15.322	5.154		
3			46.1	47.2	47.6	47.9	47.4	46.1	47.0	47.6	47.8	47.4	47.21	47.21	27.8	5.152	15.310			
1	3	5	45.7	46.9	47.6	47.7	47.3	46.0	47.0	47.6	47.9	47.4	47.11	47.11	27.4	5.074	15.087			
2			45.8	46.9	47.6	47.8	47.3	45.9	47.0	47.6	47.8	47.3	47.10	47.10	27.4	5.076	15.095	5.074		
3			45.9	47.0	47.7	47.9	47.4	46.0	47.1	47.7	47.9	47.6	47.22	47.22	27.5	5.071	15.075	15.086		



ตาราง ก-4 ผลการทดลองการหนีติคปล่องแบบเต่ง สำหรับท่อที่มีสัดส่วน  $L_p/b = 2.5$  และ  $q = 300 \text{ W/m}^2$

บันทึก ครั้งที่	สัดส่วน $L/L_h$	สัดส่วน $B/b$	อุณหภูมิผนังท่อที่ตำแหน่งความสูงจากท่าง่า (m)															$T_{wa}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_o$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$h_a$ ( $\text{W/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$ )	Nu	$h_s$ (เฉลี่ย) ( $\text{W/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$ )	Nu (เฉลี่ย)
			อุณหภูมิผนังท่อด้านซ้าย ( $^{\circ}\text{C}$ )					อุณหภูมิผนังท่อด้านขวา ( $^{\circ}\text{C}$ )															
			0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18											
1	1	-	77.9	80.1	81.8	82.1	80.6	78.0	80.3	81.8	82.0	80.7	80.53	29.6	5.890	16.728	5.895	16.734					
2			78.0	80.4	81.9	82.3	80.8	78.2	80.4	81.9	82.3	80.9	80.71	29.8	5.893	16.727							
3			78.2	80.4	82.0	82.4	81.0	78.3	80.5	82.0	82.4	81.1	80.83	30.0	5.902	16.747							
1	2	1	76.1	78.3	80.1	80.4	79.6	76.0	78.3	80.2	80.3	79.5	78.88	28.9	6.002	17.097							
2			76.2	78.3	80.2	80.5	79.4	76.0	78.4	80.2	80.5	79.5	78.92	29.0	6.010	17.115	6.008	17.111					
3			76.2	78.4	80.2	80.5	79.7	76.1	78.4	80.3	80.5	79.6	78.99	29.1	6.013	17.121							
1	2	2	74.7	77.0	78.6	79.0	77.9	74.6	76.9	78.7	78.9	77.8	77.41	29.7	6.288	17.926							
2			74.7	77.0	78.6	78.9	77.9	74.6	77.0	78.7	78.9	77.8	77.41	29.7	6.288	17.926	6.288	17.926					
3			74.6	76.8	78.5	78.9	77.8	74.5	76.9	78.6	78.9	77.7	77.32	29.6	6.287	17.926							
1	2	3	73.7	75.8	77.3	77.6	76.5	73.9	76.0	77.4	77.6	76.6	76.24	28.7	6.310	18.039							
2			73.8	75.9	77.4	77.7	76.7	73.9	76.1	77.4	77.7	76.6	76.32	28.8	6.313	18.043	6.312	18.043					
3			73.6	75.8	77.4	77.6	76.6	73.8	76.0	77.4	77.6	76.4	76.22	28.7	6.313	18.047							
1	2	4	74.5	76.7	78.2	78.3	77.4	74.4	76.6	78.1	78.4	77.4	77.00	29.0	6.250	17.842							
2			74.7	76.8	78.3	78.5	77.5	74.5	76.7	78.2	78.5	77.6	77.13	29.2	6.259	17.861	6.259	17.861					
3			74.7	76.8	78.3	78.6	77.6	74.6	76.7	78.3	78.5	77.6	77.17	29.3	6.267	17.880							
1	2	5	76.1	78.5	80.3	80.4	79.1	76.0	78.4	80.2	80.4	79.2	78.86	29.2	6.041	17.201							
2			76.3	78.7	80.5	80.6	79.4	76.2	78.7	80.4	80.6	79.5	79.09	29.5	6.050	17.214	6.045	17.206					
3			76.2	78.6	80.4	80.4	79.2	76.0	78.4	80.3	80.5	79.4	78.94	29.3	6.044	17.204							

ตาราง ป-4 ผลการทดลองกรณีติดปล่องแบบง่าย สำหรับท่อที่มีสัดส่วน  $L_p/b = 2.5$  และ  $q = 300 \text{ W/m}^2$  (ต่อ)

วันทำการ	สัดส่วน	อุณหภูมิผนังท่อที่ตำแหน่งความสูงจากท่างเข้า (m)																
		ชนิดครั้งที่	$L/L_p$	$B/b$	อุณหภูมิผนังท่อด้านซ้าย (°C)				อุณหภูมิผนังท่อด้านขวา (°C)				$T_{wa}$ (°C)	$T_o$ (°C)	$h_a$ ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$ )	Nu	$h_a$ (เฉลี่ย) ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$ )	Nu (เฉลี่ย)
					0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.02	0.06	0.10						
1	3	1	73.6	76.1	77.5	77.8	77.0	73.7	76.1	77.6	77.9	76.9	76.42	25.5	5.892	16.907		
2			74.0	76.2	77.7	78.1	77.3	73.8	76.3	77.8	78.1	77.0	76.63	25.8	5.902	16.926	5.902	16.926
3			74.1	76.3	77.8	78.2	77.3	74.0	76.4	77.9	78.3	77.2	76.75	26.0	5.911	16.945		
1	3	2	71.6	73.8	75.5	75.7	74.3	71.7	73.8	75.4	75.6	74.2	74.16	25.9	6.216	17.881		
2			71.1	73.4	75.2	75.4	74.0	71.4	73.5	75.2	75.3	73.8	73.83	25.5	6.207	17.872	6.210	17.876
3			70.9	73.2	75.0	75.3	73.8	71.2	73.3	74.9	75.2	73.6	73.64	25.3	6.206	17.877		
1	3	3	69.9	72.1	73.6	73.9	72.8	70.0	72.3	73.7	73.9	72.9	72.51	26.4	6.506	18.742		
2			69.9	72.2	73.7	73.9	72.9	70.0	72.2	73.7	74.0	73.0	72.55	26.4	6.501	18.725	6.504	18.733
3			70.1	72.4	73.8	74.0	73.0	70.2	72.4	73.9	74.1	73.2	72.71	26.6	6.506	18.733		
1	3	4	69.6	71.6	73.1	73.4	72.5	69.7	71.8	73.1	73.3	72.5	72.06	27.7	6.763	19.460		
2			69.6	71.6	73.1	73.3	72.5	69.8	71.7	73.1	73.3	72.5	72.05	27.7	6.764	19.465	6.761	19.456
3			69.7	71.7	73.1	73.4	72.5	69.8	71.7	73.1	73.4	72.6	72.10	27.7	6.757	19.442		
1	3	5	70.9	72.8	74.3	74.6	73.5	71.1	72.9	74.4	74.6	73.6	73.27	27.4	6.540	18.798		
2			71.1	72.9	74.5	74.8	73.6	71.2	73.0	74.4	74.7	73.7	73.39	27.5	6.537	18.784	6.541	18.798
3			70.8	72.8	74.3	74.6	73.5	71.1	72.9	74.4	74.5	73.5	73.24	27.4	6.545	18.811		



ตาราง ก-5 ผลการทดลองกรณีติดปล่องแบบตรงแนวตั้ง สำหรับท่อที่มีสัดส่วน  $L_p/b = 5$  และ  $q = 100 \text{ W/m}^2$  (ต่อ)

บันทึกลับ	อุณหภูมิผนังท่อที่ตำแหน่งความสูงจากทางเข้า (m)																		
	ชนิด ครั้งที่	L/L <sub>p</sub>	B/b	อุณหภูมิผนังท่อที่ด้านซ้าย (°C)					อุณหภูมิผนังท่อที่ด้านขวา (°C)					T <sub>wa</sub> (°C)	T <sub>o</sub> (°C)	h <sub>a</sub> (W/m <sup>2</sup> ·°C)	Nu	h <sub>u</sub> (เคลย์) (W/m <sup>2</sup> ·°C)	Nu (เคลย์)
				0.02	0.06	0.10	0.14	0.18	0.02	0.06	0.10	0.14	0.18						
1	3	1	51.9	53.5	54.5	54.8	54.5	51.8	53.4	54.5	54.8	54.6	53.83	27.7	3.827	5.637	3.827	5.636	
2			52.1	53.6	54.6	54.9	54.7	51.9	53.5	54.6	54.9	54.5	53.93	27.8	3.827	5.636	3.827	5.636	
3			52.2	53.7	54.7	54.9	54.6	52.1	53.6	54.8	55.0	54.7	54.03	27.9	3.827	5.634	3.827	5.634	
1	3	2	50.8	51.7	52.6	52.9	52.3	50.9	51.9	52.7	53.0	52.4	52.12	28.2	4.181	6.168	4.181	6.168	
2			50.9	51.9	53.0	53.2	52.6	51.0	52.2	53.0	53.1	52.7	52.36	28.5	4.191	6.179	4.182	6.179	
3			51.0	52.1	53.0	53.2	52.8	51.1	52.2	53.1	53.2	52.8	52.45	28.5	4.175	6.155	4.175	6.155	
1	3	3	49.9	50.9	51.7	51.9	51.3	50.0	51.0	51.6	51.8	51.2	51.13	28.8	4.478	6.611	4.478	6.611	
2			50.0	50.9	51.7	51.9	51.3	50.1	51.0	51.6	51.9	51.3	51.17	28.9	4.490	6.627	4.482	6.627	
3			49.7	50.8	51.5	51.8	51.2	50.0	51.0	51.5	51.8	51.0	51.03	28.7	4.478	6.612	4.478	6.612	
1	3	4	46.8	47.7	48.5	48.8	48.0	46.6	47.6	48.4	48.8	48.1	47.93	27.0	4.778	7.100	4.778	7.100	
2			46.9	47.8	48.5	48.8	48.2	46.7	47.7	48.6	48.9	48.3	48.04	27.1	4.776	7.095	4.785	7.095	
3			47.0	48.1	48.7	49.1	48.3	46.9	48.0	48.7	49.1	48.4	48.23	27.4	4.801	7.127	4.801	7.127	
1	3	5	47.0	48.1	48.9	49.1	48.6	47.2	48.2	48.8	49.2	48.6	48.37	27.5	4.792	7.111	4.792	7.111	
2			47.1	48.1	49.0	49.3	48.8	47.2	48.2	48.8	49.2	48.7	48.44	27.6	4.798	7.120	4.798	7.120	
3			47.1	48.1	49.0	49.4	48.9	47.3	48.2	48.9	49.3	48.9	48.51	27.7	4.805	7.129	4.805	7.129	
1	3	7	48.2	49.1	50.0	50.1	49.7	47.9	49.1	49.9	50.1	49.6	49.37	27.9	4.658	6.900	4.658	6.900	
2			48.0	49.0	49.9	50.0	49.6	47.9	49.0	49.9	50.1	49.5	49.29	27.8	4.653	6.895	4.655	6.895	
3			48.1	49.1	50.0	50.2	49.7	48.0	49.1	49.9	50.2	49.6	49.39	27.9	4.653	6.893	4.653	6.893	



ภาคผนวก ข  
ตารางแสดงผลจากโปรแกรม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved



ตาราง ข-1 ผลจากโปรแกรมกรณีตีป่ดองแบบถ้ำง โดยที่  $q=100 \text{ W/m}^2$

b (m)	$L_h/b$	$L/L_h$	B/b	$T_{wa}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$V_o$ (m/s)	$\rho_s$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$m'_o$ ( $\text{kg/m-s}$ )	$h_a$ ( $\text{W/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$ )	Nu
0.04	5	1	-	49.93	0.056246	1.125415	0.002532	4.011	5.961
0.04	5	2	1	49.71	0.057372	1.125555	0.002583	4.047	6.016
0.04	5	2	2	48.79	0.029261	1.127337	0.002639	4.203	6.256
0.04	5	2	3	47.68	0.022903	1.136315	0.003123	4.409	6.572
0.04	5	2	4	47.57	0.017686	1.136872	0.003217	4.431	6.605
0.04	5	2	5	48.01	0.013316	1.134757	0.003022	4.346	6.475
0.04	5	2	7	48.59	0.008597	1.129192	0.002718	4.239	6.311
0.04	5	3	1	50.18	0.055301	1.124299	0.002487	3.971	5.900
0.04	5	3	2	48.51	0.015131	1.129674	0.002735	4.254	6.333
0.04	5	3	3	47.40	0.023712	1.137280	0.003236	4.464	6.657
0.04	5	3	4	46.09	0.019627	1.141287	0.003584	4.742	7.082
0.04	5	3	5	45.34	0.016218	1.144106	0.003711	4.916	7.351
0.04	5	3	7	46.87	0.010369	1.139061	0.003307	4.572	6.823
0.08	2.5	1	-	48.02	0.033768	1.134943	0.003066	4.344	12.944
0.08	2.5	2	1	47.67	0.034655	1.135833	0.003149	4.411	13.150
0.08	2.5	2	2	46.88	0.018328	1.138987	0.003340	4.570	13.639
0.08	2.5	2	3	45.92	0.013238	1.142845	0.003631	4.780	14.283
0.08	2.5	2	4	46.13	0.009633	1.140990	0.003517	4.733	14.137
0.08	2.5	2	5	47.22	0.007019	1.136946	0.003192	4.500	13.424
0.08	2.5	3	1	47.72	0.034037	1.135536	0.003092	4.401	13.120
0.08	2.5	3	2	47.01	0.018224	1.137911	0.003318	4.543	13.556
0.08	2.5	3	3	46.30	0.012522	1.139951	0.003426	4.695	14.021
0.08	2.5	3	4	45.68	0.010108	1.144218	0.003701	4.836	14.454
0.08	2.5	3	5	46.16	0.007591	1.140842	0.003464	4.726	14.117



ตาราง ข-2 ผลจากโปรแกรมกรณีติดปล่องแบบต่าง โดยที่  $q=300 \text{ W/m}^2$

b (m)	$L_h/b$	$L/L_h$	B/b	$T_{wb}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$V_o$ (m/s)	$\rho_a$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$m'_o$ ( $\text{kg/m-s}$ )	$h_a$ ( $\text{W/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$ )	Nu
0.04	5	1	-	78.29	0.086197	1.066455	0.003677	5.629	8.063
0.04	5	2	1	78.51	0.085338	1.064881	0.003635	5.606	8.028
0.04	5	2	2	77.06	0.045265	1.071474	0.003880	5.763	8.267
0.04	5	2	3	74.38	0.032527	1.080395	0.004217	6.075	8.745
0.04	5	2	4	73.41	0.024965	1.083249	0.004327	6.197	8.932
0.04	5	2	5	75.63	0.018662	1.075967	0.004016	5.926	8.516
0.04	5	2	7	75.71	0.013299	1.075541	0.004005	5.916	8.501
0.04	5	3	1	77.18	0.088823	1.069538	0.003800	5.749	8.246
0.04	5	3	2	75.96	0.046400	1.074622	0.003989	5.887	8.457
0.04	5	3	3	74.85	0.032103	1.078558	0.004155	6.018	8.658
0.04	5	3	4	72.06	0.025726	1.086693	0.004473	6.375	9.204
0.04	5	3	5	71.41	0.020959	1.088333	0.004562	6.464	9.340
0.04	5	3	7	71.85	0.014891	1.087939	0.004536	6.403	9.247
0.08	2.5	1	-	78.10	0.057321	1.095576	0.005024	5.650	16.188
0.08	2.5	2	1	77.66	0.058232	1.096483	0.005108	5.697	16.333
0.08	2.5	2	2	76.27	0.030142	1.100043	0.005305	5.851	16.805
0.08	2.5	2	3	75.35	0.020887	1.103568	0.005532	5.958	17.132
0.08	2.5	2	4	75.87	0.015382	1.101718	0.005423	5.897	16.946
0.08	2.5	2	5	76.07	0.012088	1.100706	0.005322	5.874	16.875
0.08	2.5	3	1	77.15	0.059298	1.098263	0.005210	5.753	16.503
0.08	2.5	3	2	75.56	0.031077	1.102905	0.005484	5.934	17.057
0.08	2.5	3	3	73.95	0.022004	1.107372	0.005848	6.129	17.654
0.08	2.5	3	4	73.02	0.016897	1.108908	0.005996	6.247	18.017
0.08	2.5	3	5	74.47	0.012858	1.105767	0.005687	6.064	17.457

ตาราง ข-3 ผลจากโปรแกรมกรณีตีป่องแบบตรงแนวค้ำ โดยที่  $q=100 \text{ W/m}^2$

b (m)	$L_h/b$	$L/L_h$	B/b	$T_{wa}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$V_o$ (m/s)	$\rho_o$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$m'_o$ ( $\text{kg/m-s}$ )	$h_a$ ( $\text{W/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$ )	Nu
0.04	5	1	-	49.93	0.056246	1.125415	0.002532	4.011	5.961
0.04	5	2	1	49.71	0.057372	1.125555	0.002583	4.047	6.016
0.04	5	2	2	46.73	0.037427	1.139543	0.003412	4.602	6.868
0.04	5	2	3	45.76	0.026283	1.142697	0.003604	4.817	7.198
0.04	5	2	4	47.02	0.018048	1.138653	0.003288	4.541	6.775
0.04	5	2	5	47.78	0.013683	1.136093	0.003109	4.390	6.542
0.04	5	2	7	49.12	0.008235	1.126298	0.002597	4.146	6.168
0.04	5	3	1	50.18	0.055301	1.124299	0.002487	3.971	5.900
0.04	5	3	2	48.91	0.014580	1.126558	0.002628	4.182	6.224
0.04	5	3	3	47.93	0.022522	1.135425	0.003069	4.361	6.498
0.04	5	3	4	46.27	0.018966	1.140879	0.003462	4.701	7.021
0.04	5	3	5	46.12	0.015298	1.140990	0.003491	4.735	7.072
0.04	5	3	7	47.33	0.010207	1.137874	0.003252	4.478	6.678

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

## ค. การวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นการศึกษาถึงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นว่าตัวแปรต้นตัวหนึ่งหรือหลายตัว มีอิทธิพลต่อตัวแปรต้นอีกตัวหนึ่งอย่างไร ในรูปใด และแสดงความสัมพันธ์นั้นออกมาในรูปของสมการถดถอย

ถ้าเป็นการวิเคราะห์เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นเพียงสองตัว เรียกว่าสหสัมพันธ์หรือการถดถอยอย่างง่าย ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นสามตัวหรือมากกว่านั้น เรียกว่าสหสัมพันธ์หรือการถดถอยเชิงซ้อนหรือพหุคูณ

### ค.1 สมการถดถอย

ในกรณีที่วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นหลายตัว รูปแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อนจะช่วยให้เราสามารถวัดผลของตัวแปรอิสระหลายตัว  $X_j$  ที่มีต่อตัวแปรตาม  $Y$  โดยเริ่มจากการสร้างแผนภาพการกระจาย ซึ่งจะเป็นแนวทางให้ทราบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $X_j$  และ  $Y$  ว่าเป็นแบบเส้นตรงหรือแบบเส้นโค้ง กรณีที่ความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง สมการเส้นตรงของการถดถอยเชิงซ้อน คือ

$$\hat{Y} = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_n X_n$$

ในที่นี้  $\hat{Y}$  คือค่าที่คำนวณได้หรือค่าประมาณของตัวแปรตาม  $Y$  และ  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  เป็นตัวแปรอิสระ ค่า  $a, b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

วิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่นิยมใช้มากที่สุดในการวิเคราะห์การถดถอยคือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งมีหลักการว่าจะหาค่าประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ทำให้เส้นการถดถอยที่ผ่านจุดต่าง ๆ ในแผนภาพการกระจายมากที่สุดหรือให้ค่าคลาดเคลื่อน  $e_i$  ซึ่ง

$$\begin{aligned} e_i &= Y_i - \hat{Y}_i \\ &= \text{ค่าจริงที่ } i - \text{ค่าประมาณที่ } i \end{aligned}$$

มีคุณสมบัติดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็น 0 นั่นคือ  $\bar{e} = \frac{\sum e_i}{n} = 0$
2. ผลรวมกำลังสองของความคลาด (SSE) มีค่าต่ำที่สุด

$$\begin{aligned} SSE &= \sum_{i=1}^n e_i^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \end{aligned}$$

วิธีกำลังสองน้อยที่สุดจะสามารถทำให้ได้สมการถดถอย ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยหาได้จากการแก้สมการ

$$\frac{\partial SSE}{\partial X_j} = \frac{\partial \sum (Y_i - \hat{Y})^2}{\partial X_j} = 0$$

โดยที่  $X_j = X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง  $X_j$  และ  $Y$  ที่เป็นแบบเส้นโค้ง สมการของการถดถอยคือ  $\hat{Y} = f(X_j)$  ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการที่มีรูปแบบซับซ้อน อาจจะต้องแปลงรูปแบบการถดถอยให้เป็นแบบเส้นตรงแล้วแก้สมการหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดหรือประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงตัวเลข เมื่อได้สมการถดถอยจากรูปแบบเส้นตรงแล้วจะต้องแปลงสมการถดถอยดังกล่าวกลับให้เป็นสมการถดถอยสำหรับรูปแบบที่ไม่เป็นเส้นตรง

## ก.2 การคัดเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมกับสมการถดถอย

การพิจารณาว่าตัวแปรอิสระใดบ้างมีความสำคัญหรือมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามมากน้อยเพียงใด สามารถวิเคราะห์ได้จากสหสัมพันธ์บางส่วน โดยที่สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนที่คำนวณได้เป็นเครื่องวัดถึงขอบข่ายของส่วนของการค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตาม ซึ่งมีอธิบายได้โดยตัวแปรอิสระอื่น ๆ แต่อาจอธิบายได้โดยนำตัวแปรอิสระตัวหนึ่งเข้ามาพิจารณา ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์บางส่วนจะถือว่าอิทธิพลของตัวแปรอิสระอื่น ๆ อยู่คงที่ กรณีวัดความสัมพันธ์ระหว่าง  $Y$  กับ  $X_j$  โดยที่ตัวแปรอิสระอื่น ๆ ใน  $[X]$  อยู่คงที่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนคำนวณได้ดังนี้

$$r_{YX_j}^2 = 1 - \frac{S_{Y,[X]}^2}{S_{Y,[X,X_j]}^2}$$

ในที่นี้  $S_{Y,[X]}^2$  คือค่าแปรปรวนที่มีอธิบายได้

$$S_{Y,[X]}^2 = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - k}$$

เมื่อ  $n$  คือจำนวนข้อมูล และ  $k$  คือจำนวนคงที่ในสมการถดถอย

$S_{Y,[X,X_j]}^2$  คือค่าแปรปรวนทั้งสิ้น

$$S_{Y,[X,X_j]}^2 = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1}; \quad \text{ค่าเฉลี่ย } \bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n}$$

ถ้าค่า  $r_{YX_j}^2$  เท่ากับศูนย์หมายความว่า การนำตัวแปร  $X_j$  เข้ามาพิจารณา ไม่มีส่วนช่วยอธิบายค่าแปรปรวนที่มีอยู่ในตัวแปรตาม  $Y$  แต่ถ้าค่า  $r_{YX_j}^2$  เท่ากับ 1 หมายความว่าค่าแปรปรวนที่มี

อาจอธิบายได้โดยตัวแปรอิสระตัวอื่นนอกจาก  $X_j$  ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์อาจอธิบายได้โดยสิ้นเชิงจากการนำ  $X_j$  เข้ามาพิจารณาอีกตัวหนึ่ง

การพิจารณาโดยภาพรวมว่ารูปแบบการทดลองมีความเหมาะสมกับข้อมูลตัวอย่างหรือไม่สามารถพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด  $R^2$  ซึ่งเป็นค่าวัดสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ที่ตัวแปรอิสระมีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตาม

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}$$

เมื่อ  $R^2$  มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระที่พิจารณามีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามสูง แต่ถ้า  $R^2$  มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรอิสระที่พิจารณามีส่วนในการอธิบายความผันแปรของตัวแปรตามน้อย

### ค.3 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การทดลอง

ข้อมูลการคำนวณจากผลการทดลองและผลจากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปได้นำมาสร้างเป็นสมการทดลอง โดยใช้รูปแบบของสมการเหมือนกับงานวิจัยของ Straatman และคณะ (1993) และงานวิจัยของ Auletta และคณะ (2000) ซึ่งได้รูปแบบของสมการทดลองดังนี้

#### ค.3.1 ผลจากการทดลอง

สมการทดลองที่ได้จากข้อมูลการทดลอง คือ

$$Nu = \left( \frac{L}{L_h} \right)^{0.0122} \left\{ \left[ 0.260 \left( Ra \frac{B}{b} \right)^{0.276} \right]^{-2.124} + \left[ 1.367 \left( Ra \frac{B}{b} \right)^{0.156} \right]^{-2.124} \right\}^{\frac{1}{-2.124}} \quad (a)$$

โดยที่  $R^2 = 0.986$ , สำหรับ  $L/L_h$  เท่ากับ 2 และ 3,  $1 \leq B/b \leq 5$  และ  $10^5 \leq RaB/b \leq 6 \times 10^7$

#### ค.3.2 ผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป

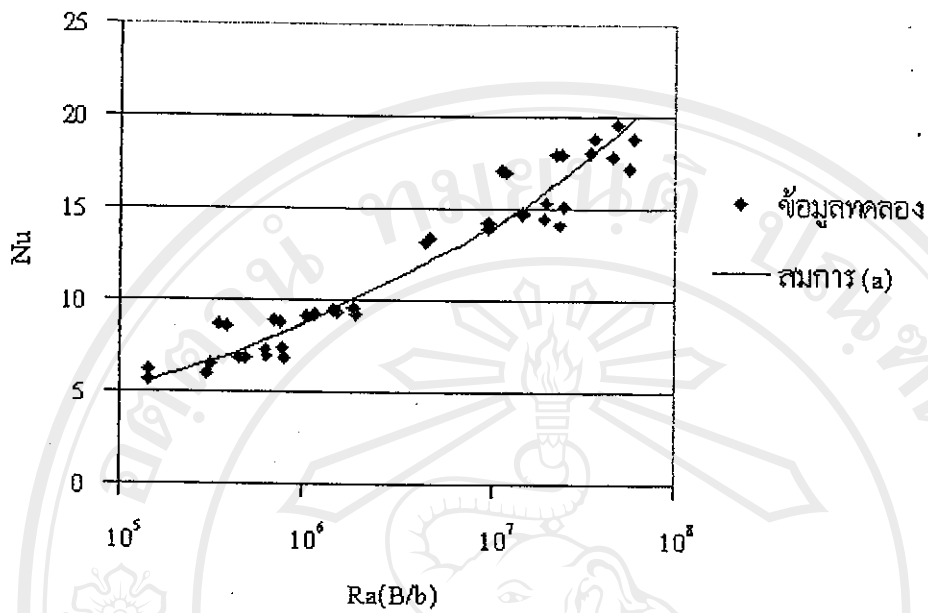
สมการทดลองที่ได้จากข้อมูล โปรแกรมสำเร็จรูป คือ

$$Nu = \left( \frac{L}{L_h} \right)^{0.0104} \left\{ \left[ 0.262 \left( Ra \frac{B}{b} \right)^{0.273} \right]^{-2.121} + \left[ 1.328 \left( Ra \frac{B}{b} \right)^{0.154} \right]^{-2.121} \right\}^{\frac{1}{-2.121}} \quad (b)$$

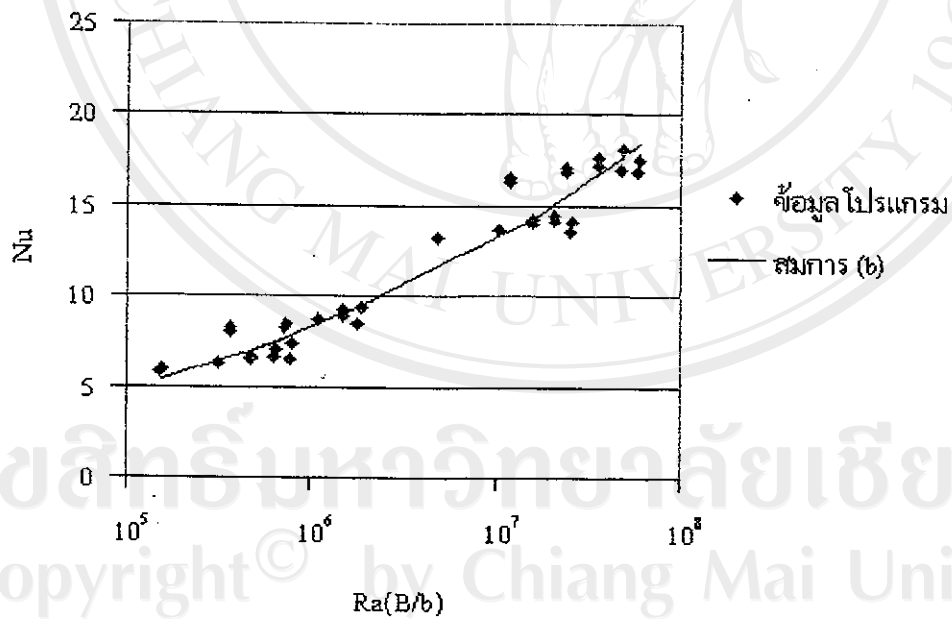
โดยที่  $R^2 = 0.990$ , สำหรับ  $L/L_h$  เท่ากับ 2 และ 3,  $1 \leq B/b \leq 5$  และ  $10^5 \leq RaB/b \leq 6 \times 10^7$

All rights reserved





รูปที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $Nu$  เหนือกับ  $Ra(B/b)$  ที่ได้จากการทดลอง



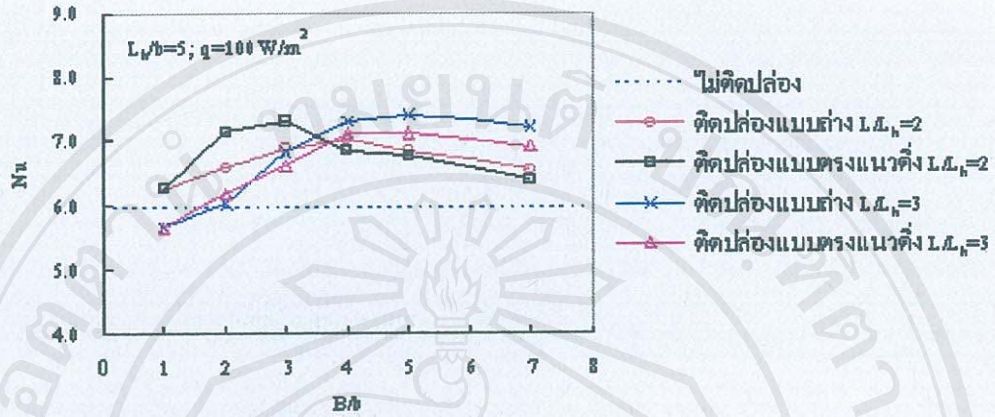
รูปที่ ค.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $Nu$  เหนือกับ  $Ra(B/b)$  ที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป



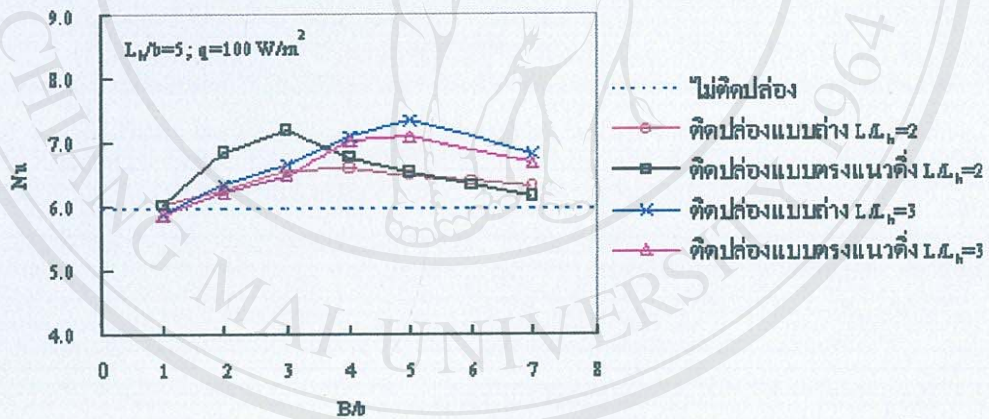
ภาคผนวก ง  
กราฟค่า Nu เฉลี่ยทั้งท่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved



(ก) จากการทดลอง

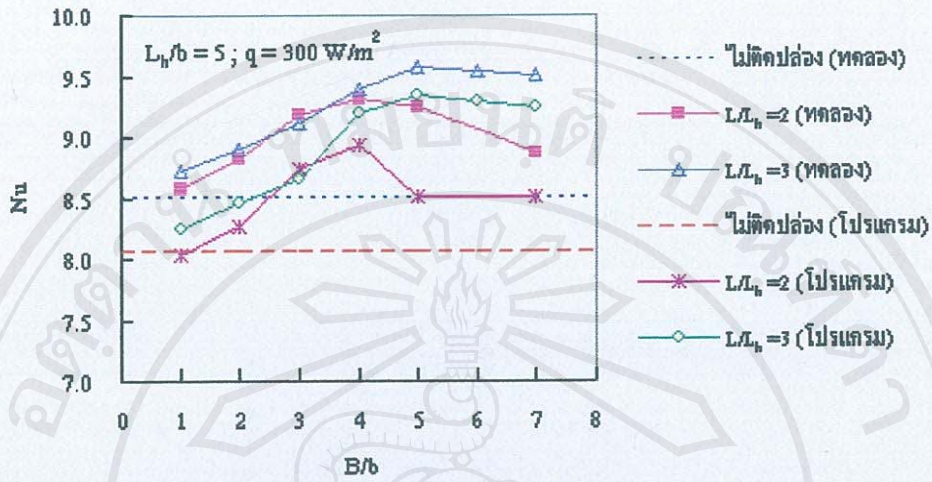


(ข) จากโปรแกรมสำเร็จรูป

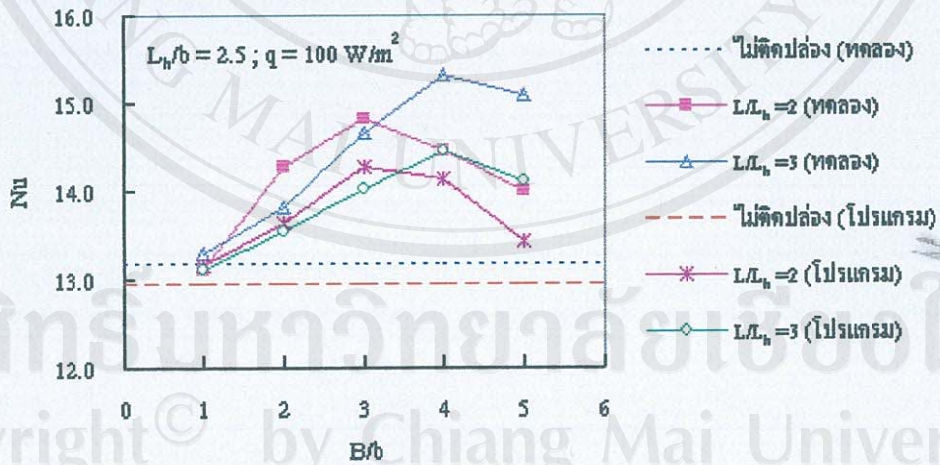
รูปที่ ๓.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $Nu$  เฉลี่ยทั้งท่อ กับ สัดส่วน  $B/b$  สำหรับท่อที่มีสัดส่วน  $L_p/b$  เท่ากับ 5 เมื่อ  $q$  เท่ากับ  $100 \text{ W/m}^2$

Copyright © Chiang Mai University. All rights reserved.



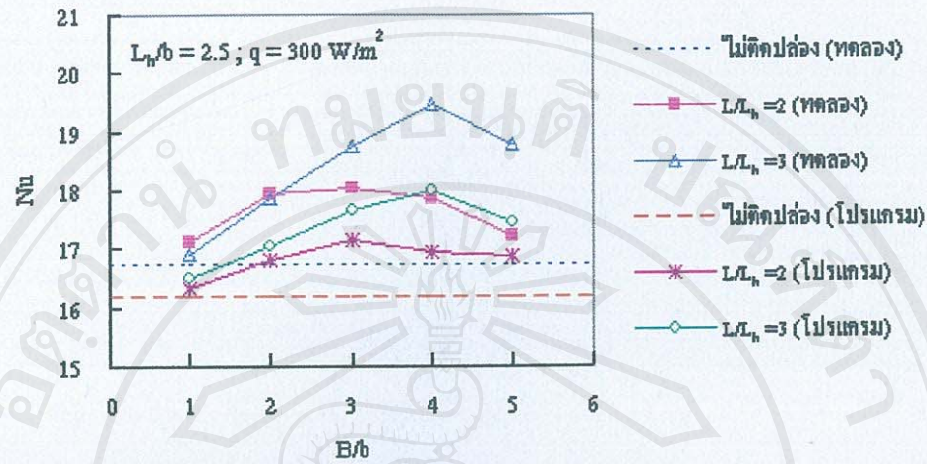


รูปที่ ๖.๒ เปรียบเทียบค่า Nu เฉลี่ยทั้งท่อ จากผลการทศลองและโปรแกรม สำหรับท่อที่มีสัดส่วน  $L_h/b$  เท่ากับ 5 เมื่อ  $q$  เท่ากับ  $300 \text{ W/m}^2$



รูปที่ ๖.๓ เปรียบเทียบค่า Nu เฉลี่ยทั้งท่อ จากผลการทศลองและโปรแกรม สำหรับท่อที่มีสัดส่วน  $L_h/b$  เท่ากับ 2.5 เมื่อ  $q$  เท่ากับ  $100 \text{ W/m}^2$





รูปที่ ๔.๔ เปรียบเทียบค่า Nu เฉลี่ยทั้งหมด จากผลการทดลองและโปรแกรม สำหรับท่อที่มีสัดส่วน  $L_c/b$  เท่ากับ 2.5 เมื่อ  $q$  เท่ากับ  $300 \text{ W/m}^2$



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved



ตาราง จ-1 คุณสมบัติอากาศแห้งที่ความดันบรรยากาศมาตรฐาน

T (°C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu \times 10^6$ (kg/m-s)	$\nu \times 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$c_p$ (kJ/kg-°C)	$k \times 10^3$ (W/m-°C)	Pr
-50	1.5819	14.63	9.25	1.0064	20.04	0.735
-40	1.5141	15.17	10.02	1.0060	20.86	0.731
-30	1.4518	15.59	10.81	1.0058	21.68	0.728
-20	1.3944	16.20	11.62	1.0057	22.49	0.724
-10	1.3414	16.71	12.46	1.0056	23.29	0.721
0	1.2923	17.20	13.31	1.0057	24.08	0.718
10	1.2467	17.69	14.19	1.0058	24.87	0.716
20	1.2042	18.17	15.09	1.0061	25.64	0.713
30	1.1644	18.65	16.01	1.0054	26.38	0.712
40	1.1273	19.11	16.96	1.0068	27.10	0.710
50	1.0924	19.57	17.92	1.0074	27.81	0.709
60	1.0596	20.03	18.90	1.0080	28.52	0.708
70	1.0287	20.47	19.90	1.0087	29.22	0.707
80	0.9996	20.92	20.92	1.0095	29.91	0.706
90	0.9721	21.35	21.96	1.0103	30.59	0.705
100	0.9460	21.78	23.02	1.0113	31.27	0.704
110	0.9213	22.20	24.10	1.0123	31.94	0.704
120	0.8979	22.62	25.19	1.0134	32.61	0.703
130	0.8756	23.03	26.31	1.0146	33.28	0.702
140	0.8544	23.44	27.44	1.0159	33.94	0.702
150	0.8342	23.84	28.58	1.0172	34.59	0.701
160	0.8150	24.24	29.75	1.0186	35.25	0.701
170	0.7966	24.63	30.93	1.0201	35.89	0.700
180	0.7790	25.03	32.13	1.0217	36.54	0.700
190	0.7622	25.41	33.34	1.0233	37.18	0.699
200	0.7461	25.79	34.57	1.0250	37.81	0.699
210	0.7306	26.17	35.82	1.0268	38.45	0.699
220	0.7158	26.54	37.08	1.0286	39.08	0.699
230	0.7016	26.91	38.36	1.0305	39.71	0.698
240	0.6879	27.27	39.65	1.0324	40.33	0.698
250	0.6748	27.64	40.96	1.0344	40.95	0.698
260	0.6621	27.99	42.28	1.0365	41.57	0.698

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายเฉลิมศักดิ์ คำโสภา
วัน เดือน ปี เกิด	4 กันยายน 2518
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสุรวิทยาคาร สุรินทร์ ปีการศึกษา 2536 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2541

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved