

ภาคผนวก ก
ตารางคุณสมบัติต่างๆ

ตารางที่ 1 ค่าความแข็งตามแนวความยาวของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปร้อน

ตำแหน่ง (mm)	ความแข็ง (HV)		
	ตรงกลาง (Bottom)	ปีก (Flange 1)	ปีก (Flange 2)
3	528.9	507.3	480.5
6	467.1	519.1	487
9	485.5	561.4	505.9
12	494.6	520.5	513
15	491.3	532.6	483.7
18	515.4	539.5	494.9
21	522.9	526.9	502.6
24	527	567.6	500.2
27	502.7	522.2	493.6
30	518.7	517.9	470.1
33	504.3	501.8	515.3
36	521.3	499.8	530.4
39	512.6	523.3	496.8
42	518.4	507.1	465.7
45	523.4	497.7	499.1
48	496.2	537.5	493.4
51	481.9	466.9	487.4
54	521.3	491.1	502.6
57	458.4	501.9	500.2
60	518.4	492.4	508.6
63	538.1	516.8	489.7
66	529.9	494.2	520
69	536.5	501.3	486.2
72	536	458.5	519
75	506.5	465.2	505.2
78	520.2	548.8	521
81	508.5	528.6	500.5

ตารางที่ 1 ค่าความแข็งตามแนวความยาวของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปร้อน (ต่อ)

ตำแหน่ง (mm)	ความแข็ง (HV)		
	ตรงกลาง (Bottom)	ปีก (Flange 1)	ปีก (Flange 2)
84	504.3	515.8	501.2
87	525.9	532.9	498.3
90	511.2	525.4	487.6
93	513.4	474	518.4
96	504.2	518	507
99	526.6	542.1	521.5
102	514.3	522.1	480.6
105	541.4	532.6	488.5
108	516.4	538.5	498.2
111	537.8	520	495.4
114	523.3	518.6	507.6
117	525.2	486.8	529.8
120	515.3	504.6	448.7
123	517.9	515.3	456.9
126	521	514.9	445.9
129	530.5	512.9	430.3

ตารางที่ 2 ค่าความแข็งตามแนวขวางของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปร้อน

ตำแหน่ง (mm)	ความแข็ง (HV)	
	ตรงกลาง (Middle)	ขอบ (Edge)
5	500	521
10	522.8	507.4
15	528.9	494.9
20	466.2	500.1
25	423.1	475.6
30	458.8	469.8
35	506.7	493.7
40	530.1	549
45	544	591.5
50	543.6	533.8
55	539.6	515.3
60	465.1	475.4
65	515.7	517.4
70	461.6	464.9
75	410	458.2

ตารางที่ 3 สมบัติของน้ำในสภาวะอิ่มตัว [71]

TABLE A-9

Properties of saturated water

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Saturation Pressure $P_{\text{sat}}, \text{kPa}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$		Enthalpy of Vaporization $h_{\text{fg}}, \text{kJ/kg}$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg}\cdot\text{K}$		Thermal Conductivity $k, \text{W/m}\cdot\text{K}$		Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$		Prandtl Number Pr		Volume Expansion Coefficient $\beta, 1/\text{K}$
		Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4185	1863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0185	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}	2.22	1.00	0.653×10^{-3}
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315×10^{-3}	1.193×10^{-5}	1.96	1.00	0.702×10^{-3}
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297×10^{-3}	1.210×10^{-5}	1.85	1.00	0.716×10^{-3}
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282×10^{-3}	1.227×10^{-5}	1.75	1.00	0.750×10^{-3}
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232×10^{-3}	1.296×10^{-5}	1.44	1.00	0.858×10^{-3}
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213×10^{-3}	1.330×10^{-5}	1.33	1.01	0.913×10^{-3}
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	0.197×10^{-3}	1.365×10^{-5}	1.24	1.02	0.970×10^{-3}
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183×10^{-3}	1.399×10^{-5}	1.16	1.02	1.025×10^{-3}
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170×10^{-3}	1.434×10^{-5}	1.09	1.05	1.145×10^{-3}
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160×10^{-3}	1.468×10^{-5}	1.03	1.05	1.178×10^{-3}
180	1,002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	0.150×10^{-3}	1.502×10^{-5}	0.983	1.07	1.210×10^{-3}
190	1,254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	0.142×10^{-3}	1.537×10^{-5}	0.947	1.09	1.280×10^{-3}
200	1,553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134×10^{-3}	1.571×10^{-5}	0.910	1.11	1.350×10^{-3}
220	2,318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122×10^{-3}	1.641×10^{-5}	0.865	1.15	1.520×10^{-3}
240	3,344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	0.111×10^{-3}	1.712×10^{-5}	0.836	1.24	1.720×10^{-3}
260	4,688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102×10^{-3}	1.788×10^{-5}	0.832	1.35	2.000×10^{-3}
280	6,412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094×10^{-3}	1.870×10^{-5}	0.854	1.49	2.380×10^{-3}
300	8,581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	0.086×10^{-3}	1.965×10^{-5}	0.902	1.69	2.950×10^{-3}
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	0.078×10^{-3}	2.084×10^{-5}	1.00	1.97	
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	0.070×10^{-3}	2.255×10^{-5}	1.23	2.43	
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	0.060×10^{-3}	2.571×10^{-5}	2.06	3.73	
374.14	22,090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043×10^{-3}	4.313×10^{-5}			

ภาคผนวก ข

การคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

การคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

ท่อน้ำขนาด 12 mm = 0.012 m

$$\text{พื้นที่หน้าตัดของท่อ } A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.012)^2}{4} = 1.131 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{อัตราการไหลของน้ำ } G = 20 \text{ l/min} = 0.02 \text{ m}^3/\text{min} = 3.33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

กำหนด อุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านในท่อ 60°C

$$\text{ดังนั้น Flow velocity} = \frac{G}{A} = \frac{3.33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{1.131 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 2.94 \text{ m/s}$$

$$\text{จาก } Re = \frac{v \rho D}{\mu} = \frac{(2.94) \times (983) \times (0.012)}{4.71 \times 10^{-4}} = 73,631$$

$$\text{จาก } Pr = \frac{C_p \mu}{k} = \frac{(4.179 \times 10^3) \times (4.71 \times 10^{-4})}{0.654} = 3.01$$

$$\text{จาก } Nu = (0.027) Re^{0.8} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_s} \right)^{0.14} = (0.027) \times (73,631)^{0.8} \times (3.01)^{1/3} \times \left(\frac{4.71 \times 10^{-4}}{2.825 \times 10^{-4}} \right)^{0.14}$$

สมการสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

$$\text{จาก } h = \frac{\lambda}{d} Nu$$

$$h = \frac{0.654}{0.012} (0.027) \times (73,631)^{0.8} \times (3.01)^{1/3} \times \left(\frac{4.71 \times 10^{-4}}{2.825 \times 10^{-4}} \right)^{0.14}$$

$$h = 17,865 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$