



ภาคผนวก ก

คำสำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ท่อความร้อน (Heat pipe)

ท่อความร้อน คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่ง มีประสิทธิภาพในการส่งถ่ายความร้อนสูง ทำงานโดยใช้หลักการถ่ายเทความร้อนจากความร้อนแฝงของสารทำงานภายในท่อ-ความร้อน ระบายโดยรับความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนที่ส่วนควบแน่น

ท่อความร้อนแบบสั่น (Oscillating Heat pipe)

ท่อความร้อนแบบสั่น คือ ท่อความร้อนชนิดหนึ่ง มีประสิทธิภาพในการส่งถ่ายความร้อนสูงเช่นเดียวกับท่อความร้อนแบบทั่วไป ทำมาจากท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆ แล้วนำมาขดไปมาเป็นโค้งเลี้ยวหลังจากนั้นเติมสารทำงานเข้าไป ทำงานโดยการเคลื่อนที่แบบสั่นของของไหลทำงาน ซึ่งจะมีการกระตุ้นการสั่นด้วยตัวเองจากแรงขับเคลื่อนของแรงดัน

สถานะการเริ่มต้นทำงาน (Operating Startup)

เกิดขึ้นในกรณีที่การหดตัวมีค่ามากกว่าการขยายตัว ก้อนไอในส่วนทำระเหยจะมีการเคลื่อนที่และขยายตัวไปพร้อมกัน เนื่องจากปริมาณการขยายตัวของก้อนไอไม่เพียงพอที่จะทดแทนปริมาณการหดตัวของก้อนไอในส่วนควบแน่น ดังนั้นจึงต้องมีปริมาณของเหลวจำนวนหนึ่งไหลไปแทนที่ปริมาตรควบแน่นที่เหลือ เมื่อปริมาณของเหลวที่ต้องไหลไปเพื่อทดแทนปริมาตรการควบแน่นส่วนที่เหลือ ก้อนไอที่ขยายตัวก็จะถูกการไหลของของเหลวพาออกจากส่วนทำระเหยไปด้วย จากนั้นก็จะมีการคืนสารทำงานในส่วนถัดไปมาแทนที่ ซึ่งทำให้เกิดการไหลเวียนขึ้น และของเหลวที่เข้ามาใหม่ก็จะเกิดการเดือดและขยายตัวเกิดเป็นการขับเคลื่อนในรอบถัดไปท่อความร้อนก็จะเริ่มทำงานภายหลังการเริ่มทำงานได้แล้วก็เกิดกระบวนการแทนที่อย่างต่อเนื่องและเกิดการส่งผ่านความร้อน

สถานะการแห้งตั้งแต่เริ่มต้น (Initial dry out)

เกิดขึ้นในกรณีที่การขยายตัวมีค่ามากกว่าการหดตัว ก้อนไอในส่วนทำระเหยจะขยายตัวดันของเหลวไปยังส่วนควบแน่น เนื่องจากปริมาตรการขยายตัวของก้อนไอมิมากกว่าปริมาตรการหดตัวในส่วนควบแน่น จึงไม่มีการเคลื่อนที่ของของเหลว ดังนั้นจึงแทบจะกล่าวได้ว่าก้อนไอในส่วนทำระเหยไม่มีการเคลื่อนที่ ทำให้ของเหลวจากส่วนควบแน่นนั้นไม่สามารถเคลื่อนที่มารับความร้อนได้ การแทนที่และการไหลเวียนก็จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เหตุการณ์หลังจากนั้นคือการระเหยเพิ่มขึ้นของของเหลวในส่วนทำระเหยจนหมดและเกิดการแห้งที่ส่วนนี้ ทำให้ท่อความร้อนไม่สามารถส่งผ่านความร้อนได้



ภาคผนวก ข
ตารางคุณสมบัติของสารทำงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำงาน R123

Temp.,* °C	Pres - sure, MPa	Density, kg/m ³ (L)	Volume, m ³ /kg (V)	Enthalpy, kJ/kg		Specific Heat kJ/(kg*K)		Viscosity, Pa*s		Thermal Cond., W/(m*K)		Surface Tension, mN/m
				(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	
-80.0	0.0	1709.6	83.7	123.9	336.0	0.9	0.5	2093.0	6.7	107.4	3.2	28.4
-70.0	0.0	1687.4	32.8	133.2	341.3	0.9	0.5	1680.0	7.1	104.8	3.8	27.1
-60.0	0.0	1665.1	14.3	142.5	346.7	0.9	0.6	1383.0	7.5	102.0	4.4	25.8
-50.0	0.0	1642.6	6.8	151.8	352.2	0.9	0.6	1160.0	7.9	99.1	4.9	24.5
-40.0	0.0	1620.0	3.5	161.3	357.9	0.9	0.6	986.4	8.3	96.1	5.5	23.2
-30.0	0.0	1597.0	1.9	170.8	363.7	1.0	0.6	848.0	8.7	93.0	6.1	21.9
-20.0	0.0	1573.8	1.1	180.4	369.5	1.0	0.6	735.4	9.1	89.8	6.6	20.7
-10.0	0.0	1550.1	0.7	190.2	375.5	1.0	0.6	642.4	9.5	86.7	7.2	19.4
0.0	0.0	1526.1	0.4	200.0	381.4	1.0	0.7	564.6	9.8	83.7	7.7	18.2
2.0	0.0	1521.3	0.4	202.0	382.6	1.0	0.7	550.6	9.9	83.1	7.9	17.9
4.0	0.0	1516.4	0.4	204.0	383.8	1.0	0.7	537.0	10.0	82.5	8.0	17.7
6.0	0.0	1511.5	0.3	206.0	385.1	1.0	0.7	523.8	10.1	81.9	8.1	17.5
8.0	0.0	1506.6	0.3	208.0	386.3	1.0	0.7	511.1	10.1	81.3	8.2	17.2
10.0	0.1	1501.6	0.3	210.0	387.5	1.0	0.7	498.8	10.2	80.7	8.3	17.0
12.0	0.1	1496.7	0.3	212.0	388.7	1.0	0.7	486.8	10.3	80.1	8.4	16.7
14.0	0.1	1491.7	0.3	214.0	389.9	1.0	0.7	475.3	10.4	79.5	8.5	16.5
16.0	0.1	1486.7	0.2	216.0	391.1	1.0	0.7	464.0	10.4	79.0	8.7	16.3
18.0	0.1	1481.7	0.2	218.0	392.3	1.0	0.7	453.2	10.5	78.4	8.8	16.0
20.0	0.1	1476.6	0.2	220.1	393.5	1.0	0.7	442.6	10.6	77.8	8.9	15.8
22.0	0.1	1471.5	0.2	222.1	394.7	1.0	0.7	432.4	10.6	77.3	9.0	15.5
24.0	0.1	1466.4	0.2	224.1	395.9	1.0	0.7	422.4	10.7	76.7	9.1	15.3
26.0	0.1	1461.3	0.2	226.2	397.1	1.0	0.7	412.8	10.8	76.1	9.2	15.1
28.0	0.1	1456.2	0.2	228.2	398.3	1.0	0.7	403.4	10.8	75.6	9.4	14.8
30.0	0.1	1451.0	0.1	230.3	399.5	1.0	0.7	394.3	10.9	75.0	9.5	14.6
32.0	0.1	1445.8	0.1	232.3	400.7	1.0	0.7	385.4	11.0	74.5	9.6	14.4
34.0	0.1	1440.6	0.1	234.4	401.9	1.0	0.7	376.8	11.1	74.0	9.7	14.1
36.0	0.1	1435.4	0.1	236.4	403.1	1.0	0.7	368.4	11.1	73.4	9.8	13.9
38.0	0.1	1430.1	0.1	238.5	404.3	1.0	0.7	360.3	11.2	72.9	10.0	13.7
40.0	0.2	1424.8	0.1	240.6	405.5	1.0	0.7	352.4	11.3	72.4	10.1	13.4
42.0	0.2	1419.4	0.1	242.7	406.7	1.0	0.7	344.7	11.3	71.8	10.2	13.2

ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำงาน R123 (ต่อ)

Temp.,* °C	Pres - sure, MPa	Density, kg/m ³ (L)	Volume, m ³ /kg (V)	Enthalpy, kJ/kg		Specific Heat kJ/(kg*K)		Viscosity, Pa*s		Thermal Cond., W/(m*K)		Surface Tension, mN/m
				(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	
42.0	0.2	1419.4	0.1	242.7	406.7	1.0	0.7	344.7	11.3	71.8	10.2	13.2
44.0	0.2	1414.1	0.1	244.8	407.9	1.0	0.7	337.2	11.4	71.3	10.3	13.0
46.0	0.2	1408.7	0.1	246.9	409.1	1.0	0.7	329.9	11.5	70.8	10.5	12.7
48.0	0.2	1403.3	0.1	249.0	410.3	1.0	0.7	322.8	11.5	70.3	10.6	12.5
50.0	0.2	1397.8	0.1	251.1	411.5	1.1	0.7	315.9	11.6	69.8	10.7	12.3
52.0	0.2	1392.3	0.1	253.2	412.7	1.1	0.7	309.1	11.7	69.3	10.8	12.1
54.0	0.2	1386.8	0.1	255.3	413.9	1.1	0.8	302.6	11.7	68.8	11.0	11.8
56.0	0.3	1381.2	0.1	257.4	415.1	1.1	0.8	296.2	11.8	68.3	11.1	11.6
58.0	0.3	1375.6	0.1	259.5	416.2	1.1	0.8	289.9	11.9	67.8	11.2	11.4
60.0	0.3	1370.0	0.1	261.7	417.4	1.1	0.8	283.9	11.9	67.3	11.3	11.2
62.0	0.3	1364.3	0.1	263.8	418.6	1.1	0.8	277.9	12.0	66.8	11.5	10.9
64.0	0.3	1358.6	0.1	266.0	419.7	1.1	0.8	272.1	12.1	66.3	11.6	10.7
66.0	0.3	1352.8	0.0	268.1	420.9	1.1	0.8	266.5	12.1	65.9	11.7	10.5
68.0	0.4	1347.0	0.0	270.3	422.1	1.1	0.8	261.0	12.2	65.4	11.9	10.3
70.0	0.4	1341.2	0.0	272.4	423.2	1.1	0.8	255.6	12.3	64.9	12.0	10.1
72.0	0.4	1335.3	0.0	274.6	424.4	1.1	0.8	250.4	12.4	64.5	12.2	9.8
74.0	0.4	1329.3	0.0	276.8	425.5	1.1	0.8	245.2	12.4	64.0	12.3	9.6
76.0	0.4	1323.4	0.0	279.0	426.6	1.1	0.8	240.2	12.5	63.5	12.4	9.4
78.0	0.5	1317.3	0.0	281.2	427.8	1.1	0.8	235.3	12.6	63.1	12.6	9.2
80.0	0.5	1311.2	0.0	283.4	428.9	1.1	0.8	230.5	12.6	62.6	12.7	9.0
82.0	0.5	1305.1	0.0	285.6	430.0	1.1	0.8	225.9	12.7	62.2	12.9	8.8
84.0	0.5	1298.9	0.0	287.8	431.1	1.1	0.8	221.3	12.8	61.7	13.0	8.6
86.0	0.6	1292.6	0.0	290.0	432.2	1.1	0.8	216.8	12.8	61.3	13.2	8.3
88.0	0.6	1286.3	0.0	292.2	433.3	1.1	0.8	212.5	12.9	60.8	13.3	8.1
90.0	0.6	1279.9	0.0	294.5	434.4	1.1	0.8	208.2	13.0	60.4	13.5	7.9
92.0	0.7	1273.5	0.0	296.7	435.5	1.1	0.9	204.0	13.1	59.9	13.6	7.7
94.0	0.7	1266.9	0.0	299.0	436.6	1.1	0.9	199.9	13.1	59.5	13.8	7.5
96.0	0.7	1260.3	0.0	301.2	437.7	1.1	0.9	195.9	13.2	59.1	14.0	7.3
98.0	0.8	1253.7	0.0	303.5	438.7	1.1	0.9	191.9	13.3	58.6	14.1	7.1
100.0	0.8	1246.9	0.0	305.8	439.8	1.1	0.9	188.1	13.4	58.2	14.3	6.9

ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำงาน R123 (ต่อ)

Temp.,* °C	Pres - sure, MPa	Density, kg/m ³ (L)	Volume, m ³ /kg (V)	Enthalpy, kJ/kg		Specific Heat kJ/(kg*K)		Viscosity, Pa*s		Thermal Cond., W/(m*K)		Surface Tension, mN/m
				(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	
120.0	1.2	1174.4	0.0	329.2	449.7	1.2	1.0	153.4	14.3	53.9	16.1	4.9
130.0	1.5	1133.6	0.0	341.3	454.1	1.3	1.0	138.1	14.9	51.7	17.2	4.0
140.0	1.8	1088.3	0.0	353.9	457.9	1.3	1.1	123.8	15.7	49.5	18.4	3.1
150.0	2.1	1036.8	0.0	367.1	461.1	1.4	1.2	110.2	16.7	47.2	19.9	2.2
160.0	2.5	975.7	0.0	381.1	463.0	1.6	1.5	96.8	18.2	44.8	21.6	1.5
170.0	2.9	896.9	0.0	396.6	462.9	2.0	2.0	82.7	20.7	42.3	24.1	0.7
180.0	3.5	765.9	0.0	416.2	456.8	4.5	5.7	64.3	26.6	39.7	28.8	0.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำงาน Acetone

Temp.,* °C	Pres - sure, MPa	Density, kg/m ³		h _{fg} kJ/kg	Specific Heat kJ/(kg*K)		Viscosity, Pa*s		Thermal Cond., W/(m*K)		Surface Tension, mN/m
		(L)	(V)		(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	
-40	0.010	860.00	0.030	660.00	2.040	1.109	0.800	68.000	0.200	0.008	31.00
-35	0.015	856.25	0.048	648.90	2.048	1.122	0.725	69.250	0.197	0.008	30.15
-30	0.020	852.50	0.083	637.80	2.055	1.135	0.650	70.500	0.195	0.008	29.30
-25	0.025	848.75	0.135	626.70	2.063	1.147	0.575	71.750	0.192	0.008	28.45
-20	0.030	845.00	0.100	615.60	2.070	1.160	0.500	73.000	0.189	0.008	27.60
-15	0.048	836.75	0.140	602.70	2.080	1.174	0.474	74.250	0.188	0.009	27.25
-10	0.065	828.50	0.180	589.80	2.090	1.188	0.448	75.500	0.186	0.009	26.90
-5	0.083	820.25	0.220	576.90	2.100	1.201	0.421	76.750	0.185	0.009	26.55
0	0.100	812.00	0.260	564.00	2.110	1.215	0.395	78.000	0.183	0.010	26.20
2	0.117	809.80	0.298	562.80	2.115	1.221	0.388	78.400	0.183	0.010	25.95
4	0.134	807.60	0.336	561.60	2.120	1.226	0.381	78.800	0.183	0.010	25.70
6	0.151	805.40	0.374	560.40	2.125	1.232	0.373	79.200	0.182	0.010	25.45
8	0.168	803.20	0.412	559.20	2.130	1.237	0.366	79.600	0.182	0.010	25.20
10	0.185	801.00	0.450	558.00	2.135	1.243	0.359	80.000	0.182	0.010	24.95
12	0.202	798.80	0.488	556.80	2.140	1.249	0.352	80.400	0.182	0.010	24.70
14	0.219	796.60	0.526	555.60	2.145	1.254	0.345	80.800	0.182	0.011	24.45
16	0.236	794.40	0.564	554.40	2.150	1.260	0.337	81.200	0.181	0.011	24.20
18	0.253	792.20	0.602	553.20	2.155	1.265	0.330	81.600	0.181	0.011	23.95
20	0.270	790.00	0.640	552.00	2.160	1.271	0.323	82.000	0.181	0.011	23.70
22	0.303	757.80	0.681	550.40	2.166	1.277	0.318	82.400	0.180	0.011	23.45
24	0.336	725.60	0.722	548.80	2.172	1.282	0.312	82.800	0.180	0.011	23.20
26	0.369	693.40	0.763	547.20	2.178	1.288	0.307	83.200	0.179	0.011	22.95
28	0.402	661.20	0.804	545.60	2.184	1.294	0.301	83.600	0.179	0.012	22.70
30	0.435	629.00	0.845	544.00	2.190	1.300	0.296	84.000	0.178	0.012	22.45
32	0.468	596.80	0.886	542.40	2.196	1.305	0.291	84.400	0.177	0.012	22.20
34	0.501	564.60	0.927	540.80	2.202	1.311	0.285	84.800	0.177	0.012	21.95
36	0.534	532.40	0.968	539.20	2.208	1.317	0.280	85.200	0.176	0.012	21.70
38	0.567	500.20	1.009	537.60	2.214	1.322	0.274	85.600	0.176	0.012	21.45
40	0.600	468.00	1.050	536.00	2.220	1.328	0.269	86.000	0.175	0.013	21.20
42	0.655	495.60	1.182	534.10	2.227	1.334	0.265	86.400	0.174	0.013	20.94

ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำงาน Acetone (ต่อ)

Temp.,* °C	Pres - sure, MPa	Density, kg/m ³		h _{fg} kJ/kg	Specific Heat kJ/(kg*K)		Viscosity, Pa*s		Thermal Cond., W/(m*K)		Surface Tension, mN/m
		(L)	(V)		(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	
44	0.710	523.20	1.314	532.20	2.234	1.340	0.260	86.800	0.174	0.013	20.68
46	0.765	550.80	1.446	530.30	2.241	1.345	0.256	87.200	0.173	0.013	20.42
48	0.820	578.40	1.578	528.40	2.248	1.351	0.252	87.600	0.172	0.013	20.16
50	0.875	606.00	1.710	526.50	2.255	1.357	0.248	88.000	0.172	0.013	19.90
52	0.930	633.60	1.842	524.60	2.262	1.363	0.243	88.400	0.171	0.014	19.64
54	0.985	661.20	1.974	522.70	2.269	1.369	0.239	88.800	0.170	0.014	19.38
56	1.040	688.80	2.106	520.80	2.276	1.374	0.235	89.200	0.169	0.014	19.12
58	1.095	716.40	2.238	518.90	2.283	1.380	0.230	89.600	0.169	0.014	18.86
60	1.150	744.00	2.370	517.00	2.290	1.386	0.226	90.000	0.168	0.014	18.60
62	1.250	741.50	2.563	514.80	2.300	1.392	0.223	90.500	0.167	0.029	18.36
64	1.350	739.00	2.756	512.60	2.310	1.398	0.219	91.000	0.166	0.044	18.12
66	1.450	736.50	2.949	510.40	2.320	1.403	0.216	91.500	0.166	0.058	17.88
68	1.550	734.00	3.142	508.20	2.330	1.409	0.212	92.000	0.165	0.073	17.64
70	1.650	731.50	3.335	506.00	2.340	1.415	0.209	92.500	0.164	0.088	17.40
72	1.750	729.00	3.528	503.80	2.350	1.421	0.206	93.000	0.163	0.102	17.16
74	1.850	726.50	3.721	501.60	2.360	1.427	0.202	93.500	0.162	0.117	16.92
76	1.950	724.00	3.914	499.40	2.370	1.432	0.199	94.000	0.162	0.132	16.68
78	2.050	721.50	4.107	497.20	2.380	1.438	0.195	94.500	0.161	0.146	16.44
80	2.150	719.00	4.300	495.00	2.390	1.444	0.192	95.000	0.160	0.161	16.20
82	2.378	716.00	4.564	492.70	2.400	1.450	0.190	95.300	0.159	0.147	15.92
84	2.606	713.00	4.828	490.40	2.410	1.456	0.188	95.600	0.158	0.132	15.64
86	2.834	710.00	5.092	488.10	2.420	1.461	0.185	95.900	0.156	0.118	15.36
88	3.062	707.00	5.356	485.80	2.430	1.467	0.183	96.200	0.155	0.104	15.08
90	3.290	704.00	5.620	483.50	2.440	1.473	0.181	96.500	0.154	0.089	14.80
92	3.518	701.00	5.884	481.20	2.450	1.479	0.179	96.800	0.153	0.075	14.52
94	3.746	698.00	6.148	478.90	2.460	1.485	0.177	97.100	0.152	0.061	14.24
96	3.974	695.00	6.412	476.60	2.470	1.490	0.174	97.400	0.150	0.046	13.96
98	4.202	692.00	6.676	474.30	2.480	1.496	0.172	97.700	0.149	0.032	13.68
100	4.430	689.00	6.940	472.00	2.490	1.502	0.170	98.000	0.148	0.018	13.40
102	4.657	686.10	7.348	467.41	2.502	1.508	0.168	98.100	0.147	0.018	13.13
104	4.884	683.20	7.756	462.82	2.514	1.514	0.166	98.200	0.145	0.018	12.86

ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำงาน Acetone (ต่อ)

Temp.,* °C	Pres - sure, MPa	Density, kg/m ³		h _{fg} kJ/kg	Specific Heat kJ/(kg*K)		Viscosity, Pa*s		Thermal Cond., W/(m*K)		Surface Tension, mN/m
		(L)	(V)		(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	
106	5.111	680.30	8.164	458.23	2.526	1.519	0.163	98.300	1.144	0.018	12.59
108	5.338	677.40	8.572	453.64	2.538	1.525	0.161	98.400	0.143	0.018	12.32
110	5.565	674.50	8.980	449.05	2.550	1.531	0.159	98.500	0.142	0.019	12.05
112	5.792	671.60	9.388	444.46	2.562	1.537	0.157	98.600	0.140	0.019	11.78
114	6.019	668.70	9.796	439.87	2.574	1.543	0.155	98.700	0.139	0.019	11.51
116	6.246	665.80	10.204	435.28	2.586	1.548	0.152	98.800	0.138	0.019	11.24
118	6.473	662.90	10.612	430.69	2.598	1.554	0.150	98.900	0.136	0.019	10.97
120	6.700	660.00	11.020	426.10	2.610	1.560	0.148	99.000	0.135	0.020	10.70
122	7.079	657.18	11.779	422.93	2.626	1.566	0.146	99.400	0.134	0.020	10.44
124	7.458	654.36	12.538	419.76	2.642	1.571	0.145	99.800	0.133	0.020	10.18
126	7.837	651.54	13.297	416.59	2.658	1.577	0.143	100.200	0.132	0.020	9.92
128	8.216	648.72	14.056	413.42	2.674	1.582	0.142	100.600	0.131	0.020	9.66
130	8.595	645.90	14.815	410.25	2.690	1.588	0.140	101.000	0.131	0.021	9.40
132	8.974	643.08	15.574	407.08	2.706	1.594	0.138	101.400	0.130	0.021	9.14
134	9.353	640.26	16.333	403.91	2.722	1.599	0.137	101.800	0.129	0.021	8.88
136	9.732	637.44	17.092	400.74	2.738	1.605	0.135	102.200	0.128	0.021	8.62
138	10.111	634.62	17.851	397.57	2.754	1.610	0.134	102.600	0.127	0.021	8.36
140	10.490	631.80	18.610	394.40	2.770	1.616	0.132	103.000	0.126	0.022	8.10

ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำงาน น้ำ

Temp.,* °C	Pres - sure, MPa	Density, kg/m ³ (L)	Volume, m ³ /kg (V)	Enthalpy, kJ/kg		Specific Heat kJ/(kg*K)		Viscosity, Pa*s		Thermal Cond., W/(m*K)		Surface Tension, mN/m
				(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	
0.01a	0.0	999.8	206.0	0.0	2500.9	4.2	1.9	1791.2	9.2	561.0	17.1	75.7
5.0	0.0	999.9	147.0	21.0	2510.1	4.2	1.9	1518.3	9.3	570.5	17.3	74.9
10.0	0.0	999.7	106.3	42.0	2519.2	4.2	1.9	1306.0	9.5	580.0	17.6	74.2
15.0	0.0	999.1	77.9	63.0	2528.3	4.2	1.9	1137.6	9.6	589.3	17.9	73.5
20.0	0.0	998.2	57.8	83.9	2537.4	4.2	1.9	1001.6	9.7	598.4	18.2	72.7
25.0	0.0	997.0	43.3	104.8	2546.5	4.2	1.9	890.1	9.9	607.2	18.6	72.0
26.0	0.0	996.4	41.2	113.2	2548.3	4.2	1.9	871.6	9.9	608.9	18.6	71.8
27.0	0.0	995.8	39.2	113.2	2550.1	4.2	1.9	853.0	9.9	610.5	18.7	71.7
28.0	0.0	995.2	37.1	109.0	2551.9	4.2	1.9	834.5	10.0	612.2	18.8	71.5
29.0	0.0	994.6	35.0	121.6	2553.7	4.2	1.9	815.9	10.0	613.8	18.8	71.3
30.0	0.0	994.0	32.9	125.7	2555.6	4.2	1.9	797.4	10.0	615.5	18.9	71.2
35.0	0.0	994.0	25.2	146.6	2564.6	4.2	1.9	719.3	10.2	623.3	19.2	70.4
40.0	0.0	992.2	19.5	167.5	2573.5	4.2	1.9	653.0	10.3	630.6	19.6	69.6
45.0	0.0	990.2	15.3	188.4	2582.4	4.2	1.9	596.1	10.5	637.3	20.0	68.8
50.0	0.0	988.0	12.0	209.3	2591.3	4.2	1.9	546.8	10.6	643.6	20.4	67.9
55.0	0.0	985.7	9.6	230.3	2600.1	4.2	2.0	504.0	10.8	649.2	20.8	67.1
60.0	0.0	983.2	7.7	251.2	2608.8	4.2	2.0	466.4	10.9	654.3	21.2	66.2
65.0	0.0	980.5	6.2	272.1	2617.5	4.2	2.0	433.2	11.1	659.0	21.6	65.4
70.0	0.0	977.7	5.0	293.1	2626.1	4.2	2.0	403.9	11.3	663.1	22.1	64.5
75.0	0.0	974.8	4.1	314.0	2634.6	4.2	2.0	377.7	11.4	666.8	22.5	63.6
80.0	0.0	971.8	3.4	335.0	2643.0	4.2	2.0	354.3	11.6	670.0	23.0	62.7
85.0	0.1	968.6	2.8	356.0	2651.3	4.2	2.0	333.3	11.8	672.8	23.5	61.8
90.0	0.1	965.3	2.4	377.0	2659.5	4.2	2.0	314.4	11.9	675.3	24.0	60.8
95.0	0.1	961.9	2.0	398.1	2667.6	4.2	2.1	297.3	12.1	677.3	24.6	59.9
99.97b	0.1	958.4	1.7	419.1	2675.5	4.2	2.1	281.8	12.3	679.1	25.1	58.9
100.0	0.1	958.3	1.7	419.2	2675.6	4.2	2.1	281.7	12.3	679.1	25.1	58.9
105.0	0.1	954.7	1.4	440.3	2683.4	4.2	2.1	267.6	12.4	680.5	25.7	57.9
110.0	0.1	950.9	1.2	461.4	2691.1	4.2	2.1	254.7	12.6	681.7	26.2	57.0
115.0	0.2	947.1	1.0	482.6	2698.6	4.2	2.2	242.9	12.8	682.6	26.9	56.0
120.0	0.2	943.1	0.9	503.8	2705.9	4.2	2.2	232.1	13.0	683.2	27.5	55.0

ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำงาน น้ำ (ต่อ)

Temp.,* °C	Pres - sure, MPa	Density, kg/m ³ (L)	Volume, m ³ /kg (V)	Enthalpy, kJ/kg		Specific Heat kJ/(kg*K)		Viscosity, Pa*s		Thermal Cond., W/(m*K)		Surface Tension, mN/m
				(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	
125.0	0.2	939.0	0.8	525.1	2713.1	4.3	2.2	222.1	13.1	683.6	28.1	54.0
130.0	0.3	934.8	0.7	546.4	2720.1	4.3	2.2	212.9	13.3	683.7	28.8	52.9
135.0	0.3	930.5	0.6	567.7	2726.9	4.3	2.3	204.4	13.5	683.6	29.4	51.9
140.0	0.4	926.1	0.5	589.2	2733.4	4.3	2.3	196.5	13.7	683.3	30.1	50.9
145.0	0.4	921.6	0.4	610.6	2739.8	4.3	2.4	189.2	13.8	682.8	30.9	49.8
150.0	0.5	917.0	0.4	632.2	2745.9	4.3	2.4	182.5	14.0	682.0	31.6	48.7
155.0	0.5	912.3	0.3	653.8	2751.8	4.3	2.4	176.1	14.2	681.1	32.4	47.7
160.0	0.6	907.4	0.3	675.5	2757.4	4.3	2.5	170.2	14.3	680.0	33.1	46.6
165.0	0.7	902.5	0.3	697.2	2762.8	4.4	2.5	164.7	14.5	678.6	33.9	45.5
170.0	0.8	897.5	0.2	719.1	2767.9	4.4	2.6	159.6	14.7	677.0	34.8	44.4
175.0	0.9	892.3	0.2	741.0	2772.7	4.4	2.7	154.7	14.9	675.3	35.6	43.3
180.0	1.0	887.0	0.2	763.1	2777.2	4.4	2.7	150.1	15.0	673.3	36.5	42.2
185.0	1.1	881.6	0.2	785.2	2781.4	4.4	2.8	145.8	15.2	671.1	37.3	41.1
190.0	1.3	876.1	0.2	807.4	2785.3	4.4	2.8	141.8	15.4	668.8	38.2	40.0
195.0	1.4	870.4	0.1	829.8	2788.8	4.5	2.9	137.9	15.5	666.1	39.2	38.8
200.0	1.6	864.7	0.1	852.3	2792.0	4.5	3.0	134.3	15.7	663.3	40.1	37.7
205.0	1.7	858.8	0.1	874.9	2794.8	4.5	3.1	130.9	15.9	660.3	41.1	36.5
210.0	1.9	852.7	0.1	897.6	2797.3	4.6	3.2	127.6	16.1	657.0	42.1	35.4
215.0	2.1	846.5	0.1	920.5	2799.3	4.6	3.2	124.5	16.2	653.4	43.1	34.2
220.0	2.3	840.2	0.1	943.6	2801.0	4.6	3.3	121.5	16.4	649.7	44.2	33.1
225.0	2.5	833.7	0.1	966.8	2802.2	4.7	3.4	118.7	16.6	645.6	45.3	31.9
230.0	2.8	827.1	0.1	990.2	2802.9	4.7	3.5	116.0	16.8	641.3	46.4	30.7
235.0	3.1	820.3	0.1	1013.8	2803.2	4.7	3.6	113.4	16.9	636.7	47.5	29.6
240.0	3.3	813.4	0.1	1037.6	2803.0	4.8	3.8	110.9	17.1	631.8	48.7	28.4
245.0	3.7	806.2	0.1	1061.6	2802.2	4.8	3.9	108.4	17.3	626.7	50.0	27.2
250.0	4.0	798.9	0.1	1085.8	2800.9	4.9	4.0	106.1	17.5	621.2	51.3	26.0
255.0	4.3	791.4	0.0	1110.2	2799.1	4.9	4.2	103.9	17.7	615.4	52.6	24.9
260.0	4.7	783.6	0.0	1135.0	2796.6	5.0	4.3	101.7	17.9	609.2	54.0	23.7
265.0	5.1	775.7	0.0	1160.0	2793.5	5.1	4.5	99.6	18.1	602.8	55.5	22.5
270.0	5.5	767.5	0.0	1185.3	2789.7	5.1	4.7	97.5	18.3	595.9	57.1	21.3

ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำงาน น้ำ (ต่อ)

Temp.,* °C	Pres - sure, MPa	Density, kg/m ³ (L)	Volume, m ³ /kg (V)	Enthalpy, kJ/kg		Specific Heat kJ/(kg*K)		Viscosity, Pa*s		Thermal Cond., W/(m*K)		Surface Tension, mN/m
				(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	(L)	(V)	
275.0	59	759.0	0.0	1210.9	2785.2	5.2	4.9	95.5	18.5	588.7	58.8	20.2
280.0	6.4	750.3	0.0	1236.9	2779.9	5.3	5.1	93.5	18.7	58.1	60.6	19.0
285.0	6.9	741.3	0.0	1263.3	2773.7	5.4	5.3	91.6	18.9	573.2	62.6	17.8
290.0	7.4	731.9	0.0	1290.0	2766.7	5.5	5.6	89.7	19.2	565.0	64.7	16.7
295.0	8.0	722.2	0.0	1317.3	2758.7	5.6	5.9	87.8	19.4	556.3	67.1	15.5
300.0	8.6	712.1	0.0	1345.0	2749.6	5.8	6.2	85.9	19.7	547.4	69.7	14.4
310.0	9.9	690.7	0.0	1402.2	2728.0	6.1	7.0	82.2	20.2	528.7	75.8	12.1
320.0	11.3	667.1	0.0	1462.2	2700.6	6.5	8.2	78.4	20.9	509.2	83.9	9.9
330.0	12.9	640.8	0.0	1525.9	2666.0	7.2	9.8	74.5	21.6	489.1	94.9	7.7
340.0	14.6	610.7	0.0	1594.5	2621.9	8.2	12.2	70.4	22.6	468.5	110.9	5.6
350.0	16.5	574.7	0.0	1670.9	2563.6	10.1	16.7	65.9	23.8	447.4	136.0	3.7
360.0	18.7	527.6	0.0	1761.7	2481.5	15.0	27.4	60.3	25.7	425.7	181.5	1.9
370.0	21.0	451.4	0.0	1890.7	2334.5	45.2	96.6	52.1	29.7	425.0	323.8	0.4



ภาคผนวก ก
การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในสูงสุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของท่อความร้อนแบบสั้น

การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่สูงสุดที่ท่อความร้อนชนิดสั้นจะสามารถทำงานได้ สำหรับ R123 Acetone และ น้ำ มีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

เนื่องจากการทดลองนี้เป็นสภาวะก่อนการเริ่มต้นทำงานของท่อความร้อน ดังนั้นจึงใช้อุณหภูมิเริ่มต้นทำงานที่ทำให้สารทำงานจัดเรียงตัวเป็น Slug Train และ ไม่ได้รับความร้อนจากแหล่งอื่น ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการคำนวณจะใช้อุณหภูมิห้องอยู่ที่ประมาณ 27°C

การคำนวณหาขนาดของท่อความร้อนที่ใช้สำหรับ R123

$$\sigma = 0.0151 \text{ N/m}, \quad \rho = 1461.3 \text{ kg/m}^3, \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

จาก

$$D \leq 2\sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$$

$$D \leq 2\sqrt{\frac{0.0151}{1461.3 * 9.81}}$$

$$D \leq 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$D \leq 1.0 \text{ mm}$$

การคำนวณหาขนาดของท่อความร้อนที่ใช้สำหรับ Acetone

$$\sigma = 0.0227 \text{ N/m}, \quad \rho = 661.2 \text{ kg/m}^3, \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

จาก

$$D \leq 2\sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$$

$$D \leq 2\sqrt{\frac{0.0227}{661.2 * 9.81}}$$

$$D \leq 1.9 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$D \leq 1.9 \text{ mm}$$

การคำนวณหาขนาดของท่อความร้อนที่ใช้สำหรับ Water

$$\sigma = 0.0717 \text{ N/m}, \quad \rho = 995.8 \text{ kg/m}^3, \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

จาก

$$D \leq 2\sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$$

$$D \leq 2\sqrt{\frac{0.0717}{995.8 * 9.81}}$$

$$D \leq 2.7 \times 10^{-3} \text{ m}$$

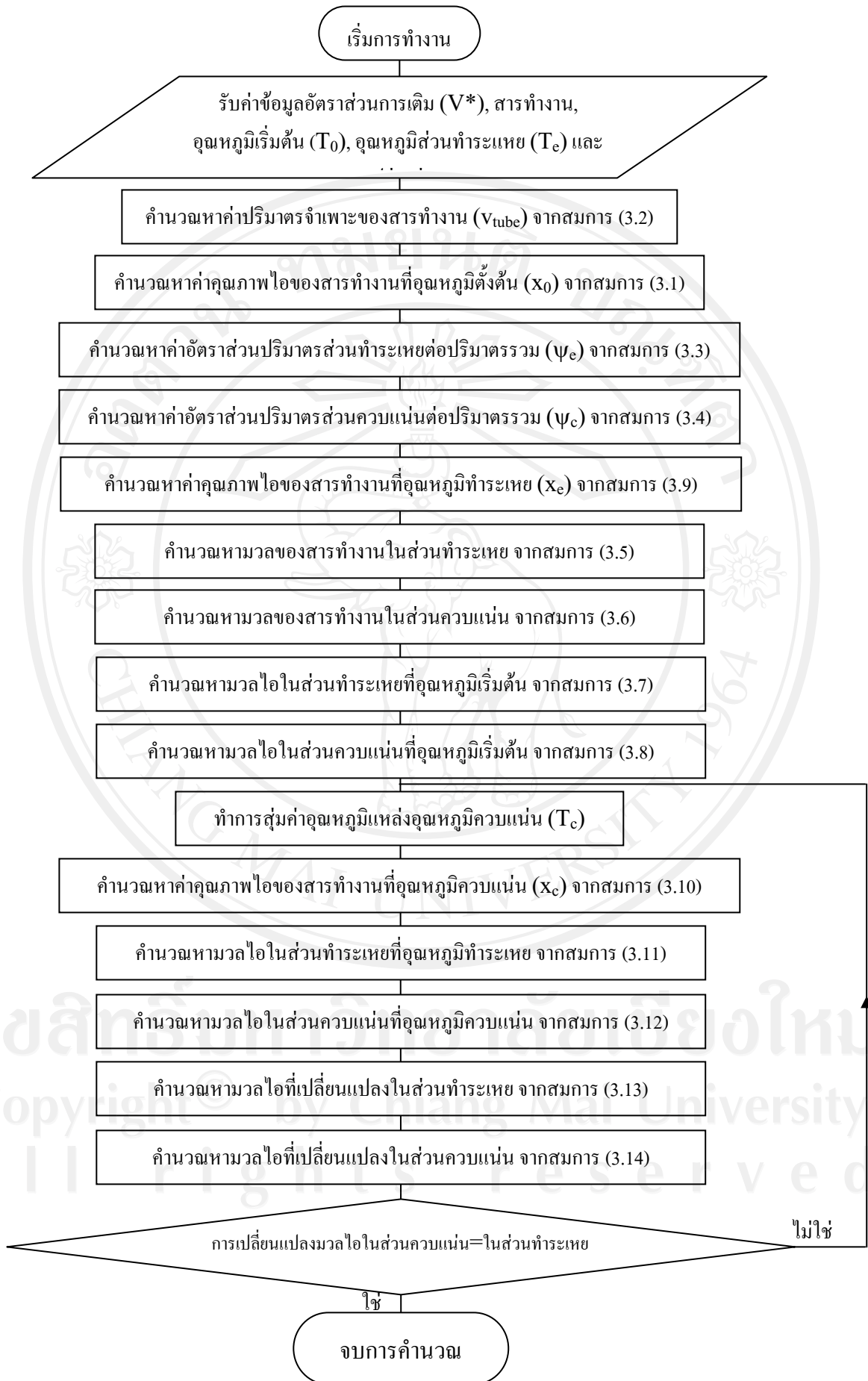
$$D \leq 2.7 \text{ mm}$$



ภาคผนวก ง
ขั้นตอนการคำนวณในแบบจำลองการเริ่มต้นทำงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 1 แสดงผังการคำนวณเงื่อนไขอุณหภูมิควบแน่นในการเริ่มต้นทำงานได้

แสดงขั้นตอนในการคำนวณหาอุณหภูมิทำงานเริ่มต้น

1. รับค่าข้อมูล

- อัตราส่วนการเติม (0.5 ของปริมาณท่อ), สารทำงาน(R123), อุณหภูมิเริ่มต้น ($T_{room} = 27$),
อุณหภูมิสารทำงาน ($T_{fill} = 15$), อุณหภูมิส่วนทำระเหย ($T_e = 37.5$), รูปร่าง(Di2.03 Le150 N5)

$$D_{tube} = \frac{2.03}{1000} = 0.00203$$

$$L_{tube} = (Le + La + Lc) * n * 2 = 4.5$$

$$V_{tube} = \frac{\pi D^2 L_{tube}}{4} = \frac{\pi (0.00203)^2 (4.5)}{4} = 1.4564 * 10^{-5}$$

2. คำนวณหาค่าปริมาตรจำเพาะ ของสารทำงาน (v_{tube}) จากสมการที่(3.2)

$$v_{fill} = v_0 = v_{tube} = \frac{V_{tube}}{m_{fill}} = \frac{1}{\rho_{fill} V^*} = \frac{1}{(Rho_{fill})(Fill\ ratio)} = \frac{1}{(1489.225)(0.5)} = 0.001343$$

3. คำนวณหาค่าคุณภาพไอ ของสารทำงานที่อุณหภูมิตั้งต้น (x_0) จากสมการที่(3.1)

$$x_0 = \frac{(v_{tube} - v_{f,room})}{v_{fg,room}} = \frac{(1.343 * 10^{-3}) - (6.86 * 10^{-4})}{0.15827} = 0.00415$$

4. คำนวณหาค่าอัตราส่วนปริมาตร ส่วนทำระเหยต่อปริมาตรรวม (ψ_e) จากสมการที่(3.3)

$$\psi_e = \frac{L_e}{L_e + L_a + L_c} = \frac{0.15}{0.15 + 0.15 + 0.15} = 0.3333$$

5. คำนวณหาค่าอัตราส่วนปริมาตร ส่วนควบแน่นต่อปริมาตรรวม (ψ_c) จากสมการที่(3.4)

$$\psi_c = \frac{L_c}{L_e + L_a + L_c} = \frac{0.15}{0.15 + 0.15 + 0.15} = 0.3333$$

6. คำนวณหาค่าคุณภาพไอ ของสารทำงานที่อุณหภูมิทำระเหย (x_e) จากสมการที่(3.9)

$$x_e = \frac{(v_{tube} - v_{f,e})}{v_{fg,e}} = \frac{(0.001343 - 0.0006986)}{0.1116813} = 0.005769$$

7. คำนวณหามวลของสารทำงานในส่วนทำระเหย จากสมการที่(3.5)

$$m_{fill} = (\rho_{fill})(Fill\ ratio)(V_{tube}) = (1489.225)(0.5)(1.456 * 10^{-4}) = 0.10845$$

ดังนั้น

$$m_e = m_{fill} \psi_e = (0.10845)(0.33333) = 0.03615$$

8. คำนวณหามวลของสารทำงานในส่วนควบแน่น จากสมการที่(3.6)

$$m_c = m_{fill} \psi_c = (0.10845)(0.33333) = 0.03615$$

9. คำนวณหามวลไอในส่วนทำระเหยที่อุณหภูมิเริ่มต้น จากสมการที่(3.7)

$$m_{g,0} = m_{e,g0} = m_e x_0 = (0.003615)(0.004154) = 0.15017 * 10^{-5}$$

10. คำนวณหามวลไอในส่วนทำระเหยที่อุณหภูมิทำระเหย จากสมการที่(3.11)

$$m_{g,e} = m_{e,ge} = m_e x_e = (0.003615)(0.00576964) = 2.0857 * 10^{-5}$$

11. คำนวณหามวลไอที่เปลี่ยนแปลงในส่วนทำระเหย จากสมการที่(3.13)

$$\Delta m_{e,g} = m_e (x_e - x_0) = 0.003615(0.00576964 - 0.00415412) = 5.84 * 10^{-6}$$

12. ทำการหาค่าอุณหภูมิแหล่งอุณหภูมิควบแน่น (T_c)

13. คำนวณหามวลไอในส่วนควบแน่นที่อุณหภูมิเริ่มต้น จากสมการที่(3.8)

$$m_{g,0} = m_{c,g0} = m_c x_0 = (0.003615)(0.004154) = 0.15017 * 10^{-5}$$

14. คำนวณหาค่าคุณภาพไอของสารทำงานที่อุณหภูมิควบแน่น (x_c) จากสมการที่(3.10)

$$x_c = \frac{(v_{tube} - v_{f,c})}{v_{fg,c}} = \frac{(0.001343 - 0.0006691)}{0.26472} = 0.0025457$$

15. คำนวณหามวลไอในส่วนควบแน่นที่อุณหภูมิควบแน่น จากสมการที่(3.12)

$$m_{g,c} = m_{c,gc} = m_c x_c = (0.003615)(0.0025457) = 9.2023 * 10^{-6}$$

16. คำนวณหามวลไอที่เปลี่ยนแปลงในส่วนควบแน่น จากสมการที่(3.14)

$$\Delta m_{c,g} = m_c (x_c - x_0) = 0.003615(0.0025456 - 0.00415412) = -5.814 * 10^{-6}$$

17. คำนวณการเปลี่ยนแปลงมวลไอในส่วนควบแน่น = ในส่วนทำระเหย จากสมการที่(3.16)

$$\Delta m_{c,g} = 5.84 * 10^{-6} = -5.814 * 10^{-6} = \Delta m_{e,g}$$



ภาคผนวก จ

ข้อมูลผลการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ง-1 แสดงผลการทดลอง ผลของตัวแปรต่างที่มีต่อการทำงานเริ่มต้นของ CLOHP ที่ทำการทดสอบในแนวระนาบ (มุม 0 องศา) ของท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.06 mm.

Di (mm)	สาร ทำงาน	N (Turn)	Le (mm)	ทดลอง (1)	ทดลอง (2)	ทดลอง (3)	ΔT ($^{\circ}C$)	ผลการ ทดลอง
1.06	R123	5	50	15.2	15.7	15.6	15.5	ไม่ทำงาน
			100	14.3	13.6	13.5	13.8	ไม่ทำงาน
			150	22.1	21.7	23.8	21.2	ไม่ทำงาน
		10	50	17.7	22.1	23.8	21.2	ทำงาน
			100	14.2	13.5	12.9	13.5	ไม่ทำงาน
			150	18.3	17.8	19.1	18.4	ไม่ทำงาน
		15	50	27.2	31.2	34.1	30.8	ทำงาน
			100	12.9	13.8	13.3	13.3	ไม่ทำงาน
			150	32.8	33.1	31.7	32.5	ไม่ทำงาน
	Acetone	5	50	15.7	15.8	15.1	15.5	ไม่ทำงาน
			100	13.9	13.5	13.8	13.7	ไม่ทำงาน
			150	17.5	17.8	16.9	17.4	ไม่ทำงาน
		10	50	35.3	40.9	48.4	41.5	ทำงาน
			100	15.2	15.5	14.7	15.1	ไม่ทำงาน
			150	14.8	14.2	15.2	14.7	ไม่ทำงาน
		15	50	17.7	18.2	17.1	17.7	ไม่ทำงาน
			100	50.2	59.8	46.1	52.0	ทำงาน
			150	15.8	16.8	16.1	16.2	ไม่ทำงาน
	Water	5	50	12.7	13.0	13.7	13.1	ไม่ทำงาน
			100	16.1	17.1	16.4	16.5	ไม่ทำงาน
			150	88.3	81.8	73.2	81.1	ทำงาน
		10	50	17.8	16.3	17.3	17.1	ไม่ทำงาน
			100	76.5	90.1	84.6	83.7	ทำงาน
			150	92.3	77.1	83.8	84.4	ทำงาน
		15	50	22.5	22.9	23.1	22.8	ไม่ทำงาน
			100	96.7	82.3	82.4	87.1	ทำงาน
			150	27.2	28.3	27.1	27.5	ไม่ทำงาน

ตาราง ง-2 แสดงผลการทดลอง ผลของตัวแปรต่างที่มีต่อการทำงานเริ่มต้นของ CLOHP ที่ทำการทดสอบในแนวระนาบ (มุม 0 องศา) ของท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 mm.

Di (mm)	สาร ทำงาน	N (Turn)	Le (mm)	ทดลอง (1)	ทดลอง (2)	ทดลอง (3)	ΔT ($^{\circ}C$)	ผลการ ทดลอง
2.03	R123	5	50	8.5	12.2	14.5	11.7	ทำงาน
			100	12.5	17.4	13.9	14.6	ทำงาน
			150	17.8	19.6	23.8	20.4	ทำงาน
		10	50	16.5	24.7	18.2	19.8	ทำงาน
			100	24.2	17.6	19.4	20.4	ทำงาน
			150	17.2	26.4	21.5	21.7	ทำงาน
		15	50	19.3	22.4	26.8	22.8	ทำงาน
			100	27.5	22.4	22.5	24.1	ทำงาน
			150	29.8	33.4	35.2	32.8	ทำงาน
	Acetone	5	50	11.8	12.3	12.5	12.2	ไม่ทำงาน
			100	31.7	31.2	26.5	29.8	ทำงาน
			150	43.2	42.8	47.8	44.6	ทำงาน
		10	50	31.2	30.4	36.5	32.7	ทำงาน
			100	37.8	35.7	43.2	38.9	ทำงาน
			150	46.3	55.6	41.2	47.7	ทำงาน
		15	50	44.6	51.2	43.2	46.3	ทำงาน
			100	49.5	51.1	56.3	52.3	ทำงาน
			150	52.3	59.4	57.6	56.4	ทำงาน
	Water	5	50	23.3	24.5	23.0	23.6	ไม่ทำงาน
			100	71.2	74.1	76.1	73.8	ทำงาน
			150	81.5	75.8	74.1	77.1	ทำงาน
		10	50	75.4	72.5	79.8	75.9	ทำงาน
			100	83.7	93.4	90.6	89.2	ทำงาน
			150	95.3	96.1	94.8	95.4	ทำงาน
		15	50	86.3	84.9	91.1	87.4	ทำงาน
			100	95.4	94.2	100.5	96.7	ทำงาน
			150	99.5	98.3	96.7	98.2	ทำงาน

ตาราง ง-3 ผลการทดสอบ ผลของสารทำงานที่มีผลต่อการทำงานเริ่มต้นของ CLOHP

ชุดทดสอบทำมาจากท่อความร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 mm มีความยาวส่วนทำระเหย 100 และ 150 มิลลิเมตร มีจำนวนโค้งเลี้ยวเป็น 5 10 และ 15 โค้งเลี้ยว ทำการเปลี่ยนแปลงสารทำงานจาก R123 เป็น Acetone และ น้ำ หรือ ทำการเปลี่ยนค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (h_{fg}) จาก 161 kJ/kg เป็น 501 kJ/kg และ 2386 kJ/kg จะได้ค่าอุณหภูมิแตกต่างระหว่างส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่นดังแสดงในตาราง

ชุดทดลอง			สารทำงาน (h_{fg})		
Di	N	Le	161	501	2386
2.03	5	100	14.6	29.8	73.8
	10		20.4	38.9	89.2
	15		24.1	52.3	96.7
	5	150	20.4	44.6	77.1
	10		21.7	47.7	97.1
	15		32.8	56.4	98.2

ตาราง ง-4 ผลการทดสอบ ผลของความยาวส่วนทำระเหยที่มีผลต่อการทำงานเริ่มต้นของ CLOHP

ชุดทดสอบทำมาจากท่อความร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 mm ใช้ R123 เป็น Acetone และ น้ำ เป็นสารทำงาน มีจำนวนโค้งเลี้ยวเป็น 10 และ 15 โค้งเลี้ยว ทำการเปลี่ยนแปลงความยาวส่วนทำระเหยจาก 50 เป็น 100 และ 150 มิลลิเมตร จะได้ค่าอุณหภูมิแตกต่างระหว่างส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่นดังแสดงในตาราง

ชุดทดลอง			ความยาวส่วนทำระเหย (Le)		
Di	WF	N	50	100	150
2.03	R123	10	19.8	20.4	21.7
	Acetone		32.7	38.9	47.7
	Water		75.9	89.2	97.1
	R123	15	22.8	24.1	32.8
	Acetone		46.3	52.3	56.4
	Water		87.4	96.7	98.2

ตาราง ง-5 ผลการทดสอบ ผลของจำนวนโค้งเลี้ยวที่มีผลต่อการทำงานเริ่มต้นของ CLOHP

ชุดทดสอบทำมาจากท่อความร้อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 มิลลิเมตร ใช้ R123 เป็น Acetone และ น้ำ เป็นสารทำงาน มีความยาวส่วนทำระเหย 100 และ 150 มิลลิเมตร ทำการเปลี่ยนแปลงจำนวนโค้งเลี้ยวจาก 5 เป็น 10 และ 15 โค้งเลี้ยว จะได้ค่าอุณหภูมิแตกต่างกันระหว่างส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่นดังแสดงในตาราง

ชุดทดลอง			จำนวนโค้งเลี้ยว (N)		
Di	สารทำงาน	Le	5	10	15
2.03	R123	100	14.6	20.4	24.1
	Acetone		29.8	38.9	52.3
	Water		73.8	89.2	96.7
	R123	150	20.4	21.7	32.8
	Acetone		44.6	47.7	56.4
	Water		77.1	97.1	98.2

ตาราง ง-6 ผลการทดสอบ ผลของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่มีผลต่อการทำงานเริ่มต้นของ CLOHP

ชุดทดสอบทำมาจากท่อความร้อนมีความยาวส่วนทำระเหย 100 มิลลิเมตร ใช้ R123 และ น้ำ เป็นสารทำงาน มีจำนวนโค้งเลี้ยว 10 และ 15 โค้งเลี้ยว ทำการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในจาก 1.06 เป็น 2.03 มิลลิเมตร จะได้ค่าอุณหภูมิแตกต่างกันระหว่างส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่นดังแสดงในตาราง

ชุดทดลอง			เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (Di)	
Le	N	สารทำงาน	1.06	2.03
100	10	R123	19.8	21.2
	15		22.8	30.8
	10	Water	83.7	89.2
	15		87.1	96.7



ภาคผนวก จ

ข้อมูลจากการคำนวณค่าของตัวแปรไร้มิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ง-1 แสดงค่าจากการคำนวณ ผลของตัวแปรต่างไว้มิติที่ใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองการทำงานเริ่มต้นของ CLOHP ของท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.06 mm.

Di (mm)	สาร ทำงาน	N (Turn)	Le (mm)	Le / Di	Lt / Le	Bo	Ja
1.06	R123	5	50	47.2	30	0.966	0.602
			100	94.3	30	0.965	0.610
			150	141.5	30	0.988	0.575
		10	50	47.2	60	0.986	0.578
			100	94.3	60	0.963	0.611
			150	141.5	60	0.979	0.591
		15	50	47.2	90	1.013	0.542
			100	94.3	90	0.962	0.611
			150	141.5	90	1.017	0.535
	Acetone	5	50	47.2	30	0.581	0.894
			100	94.3	30	0.579	0.903
			150	141.5	30	0.584	0.884
		10	50	47.2	60	0.508	0.763
			100	94.3	60	0.581	0.895
			150	141.5	60	0.580	0.899
		15	50	47.2	90	0.583	0.883
			100	94.3	90	0.577	0.713
			150	141.5	90	0.582	0.891
	Water	5	50	47.2	30	0.374	2.060
			100	94.3	30	0.375	2.029
			150	141.5	30	0.400	1.550
		10	50	47.2	60	0.375	2.026
			100	94.3	60	0.402	1.533
			150	141.5	60	0.402	1.529
		15	50	47.2	90	0.377	1.977
			100	94.3	90	0.403	1.512
			150	141.5	90	0.379	1.941

ตาราง ง-1 แสดงค่าจากการคำนวณ ผลของตัวแปรต่างไว้มิติที่ใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองการทำงานเริ่มต้นของ CLOHP ของท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 mm.

Di (mm)	สาร ทำงาน	N (Turn)	Le (mm)	Le / Di	Lt / Le	Bo	Ja
2.03	R123	5	50	24.6	30	2.078	0.609
			100	49.3	30	2.098	0.601
			150	73.9	30	2.126	0.580
		10	50	24.6	60	2.127	0.584
			100	49.3	60	2.126	0.580
			150	73.9	60	2.137	0.574
		15	50	24.6	90	2.142	0.571
			100	49.3	90	2.153	0.565
			150	73.9	90	2.216	0.534
	Acetone	5	50	24.6	30	1.253	0.912
			100	49.3	30	1.167	0.820
			150	73.9	30	1.139	0.749
		10	50	24.6	60	1.133	0.807
			100	49.3	60	1.074	0.775
			150	73.9	60	1.174	0.733
		15	50	24.6	90	1.158	0.740
			100	49.3	90	1.255	0.712
			150	73.9	90	1.327	0.694
	Water	5	50	24.6	30	0.827	1.970
			100	49.3	30	0.862	1.597
			150	73.9	30	0.865	1.575
		10	50	24.6	60	0.864	1.584
			100	49.3	60	0.819	1.499
			150	73.9	60	1.883	1.462
		15	50	24.6	90	0.875	1.510
			100	49.3	90	0.885	1.455

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ ว่าที่ร้อยตรี สุรพิน พรหมแดน
 วัน เดือน ปี เกิด 31 กรกฎาคม 2523
 ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ ปีการศึกษา 2547

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved