บรรณานุกรม

ประดิษฐ์ เทอดทูล. (2536). ท่อความร้อน. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ประภัสสร อนุชิตชาญชัย (2546). ขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดโดยใช้สารทำงาน เอ็มพี39 และ เอชพี62. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มนตรี เดชมา. (2544). การประหยัดพลังงานในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนโดยใช้เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ลือชัย สวาสดิพันธ์. (2540). การศึกษาสมรรถนะของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบท่อกลม. ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วีระชาติ นามพรหม. (2535). การทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบคอยล์ลูป-เทอร์โมไซฟอน สำหรับนำพลังงานกลับคืนระหว่างอากาศกับอากาศ. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สันติ หวังนิพพานโต. (2537). การศึกษาสมรรถนะในการระเหยกลั่นตัวของฮีทไปป์ แบบเทอร์โม-ไซฟอน. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ (เทคโนโลยีพลังงาน) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ. (2548). การถ่ายเทความร้อน. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

สาโรจ ไหวเคลื่อน. (2540). กรณีศึกษาการใช้เทอร์โมไซฟอนในระบบควบคุมสภาวะอากาศห้อง. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยิ่งลักษณ์ ภูมิสง่า. (2549). การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบดูดซับที่ใช้ร่วมกับท่อความร้อน. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Bejan, A., Kraus, A.D., (1948). *Heat Transfer Hand Book*. Editors. P.182-230.

Dube, V., Noie-Baghban, S.H., Awasthi, B., Akbarzadeh, A. (2000). *Waste Heat Recoveryusing a Loop Thermosyphon Heat Exchanger in a Bakery*. Proc. 6th Int. Heat Pipe Symposium, Thailand, 174-183.

Engineering Science Data Unit. (1981). *Heat Pipe–Performance of Two Phase Closed Thermosyphons*. Item No.81038 U.K.

Faghri, A. (1995). *Heat Pipe Science and Technology.* Taylor & Francis, Washington, USA.

Gebhart, B., (1971). *Heat Transfer.* 2nd ed. Tata McGraw-Hill Publishng Company Ltd, pp.502-529.

Hewitt, G.F., Shires, G.L., Bott, T.R., (1993). *Process Heat Transfer.* P. 27-31.

Holman, J.P., (1976). *Heat Transfer.* 4th ed. McGraw-Hill Book Company, pp.385-423.

Incropera, F.H., Dewitt, D.H., (2002). *Introduction to Heat Transfer.* 4th ed., pp.326-32

Kreith, F.,(1973). *Principles of Heat Transfer. 3rd ed.* New York and London : Intext Press, Inc.

Lee, J.S., Rhi, S.H., Kwon, J.H. and Lee, Y. (1998). *Use of Two-Phase Loop Thermosyphons for Heat Extraction of Enclosed Spaces : Experiment and Analysis.* Proc. 11th Int. Heat pipe conf., Japan, pp.82-87.

Mcadams, W.H., (1954). *Heat Transfer.* 3rd ed. McGraw-Hill Kogakusha Ltd, pp.282-308.

Noie-Baghban, S.H., Dube, V., Awasthi, B., Akbarzadeh, A., (2000).*Thermal Performance of Loop Thermosiphon Heat Exchanger Using Effectiveness-NTU Method.* Proc. 6th Int. Heat Pipe Symposium, Thailand, 167-173.

Noie, S.H., (2006). *Investigation of Thermal Performance of an Air-to-air Thermosyphon heat exchanger using ε-NUT Method.* 26th. Applied Thermal Engineering, 559-567.

Phaphuangwittayakul, W. (2004). *Loop Thermosyphon as an Energy Saver for Heat- Pump Dryer.* Chiang Mai University, Thailand, pp.29-34.

Roesler, S., Groll M., Yuan, Z., (1993). *Performance of Closed Two-Phase Thermosyphons with High-Temperature Organic Working Fluids.* Heat Pipe Technology Vol.2. House. pp.69-80

Terdtoon, P., Shiraishi, M., Murakami, M., (1989). *Investigation of Effect of Inclinationangle Heat Transfer Characteristics of Closed Two-Phase Thermosyphon.* Proc. of the Symposium on Mechanics for Space Flight 1989, Japan.

Tedtoon, P., Chaitep, S., Klongpanich, W., Likhitpanichkul, M. and Groll, M. (1996). *Heat Pipe Dehumidifier: a Case Study in Thailand.* Proc. 5th Int. Heat pipe symposium, Australia, 333-337.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตาราง ก.1 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.5	1.6	1.6	80.3	77.6	21.3	23.4	606	560	583	4.6
35	29.4	1.5	1.5	80.1	77.3	21.1	23.2	590	526	558	4.7
40	29.4	1.5	1.5	80.1	77.4	21.2	23.3	569	526	548	4.6
45	29.0	1.5	1.4	80.3	77.4	21.1	23.3	569	514	542	4.6
50	29.1	1.5	1.4	80.3	77.5	21.2	23.5	590	537	564	4.7
Average								585	533	559	4.6

ตาราง ก.2 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.4	1.5	1.5	80.2	76.9	21.3	23.8	696	625	661	5.6
35	29.4	1.5	1.4	80.1	76.8	21.2	23.9	696	630	663	5.6
40	29.3	1.5	1.4	80.1	76.7	21.2	23.9	717	630	674	5.8
45	29.5	1.5	1.4	80.2	76.9	21.4	24.0	696	650	673	5.6
50	29.2	1.6	1.5	80.2	77.2	21.3	23.7	674	607	641	5.1
Average								696	628	662	5.5

ตาราง ก.3 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.3	1.8	1.5	80.4	76.2	21.4	25.3	1,063	972	1,018	7.1
35	29.3	1.7	1.5	80.3	75.8	21.3	25.2	1,077	972	1,025	7.6
40	29.4	1.7	1.5	80.2	75.6	21.4	25.4	1,101	997	1,049	7.8
45	29.6	1.6	1.4	80.2	75.7	21.1	25.2	1,014	954	984	7.6
50	29.3	1.6	1.5	80.3	75.5	21.3	25.2	1,081	972	1,027	8.1
Average								1,067	973	1,020	7.6

ตาราง ก.4 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.4	1.6	1.5	80.3	76.7	21.4	24.4	810	749	780	6.1
35	29.5	1.5	1.5	80.1	76.3	21.3	24.2	802	724	763	6.5
40	29.6	1.5	1.4	80.3	76.5	21.1	24.3	801	746	774	6.4
45	29.5	1.5	1.4	80.2	76.3	21.2	24.4	823	746	785	6.6
50	29.7	1.5	1.5	80.2	76.3	21.2	24.2	823	750	787	6.6
Average								812	743	777	6.4

ตาราง ก.5 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.6	1.6	1.5	80.3	77.6	21.5	23.7	606	550	578	4.6
35	28.5	1.5	1.4	80.3	77.5	21.3	23.7	590	560	575	4.7
40	28.1	1.6	1.5	80.3	77.7	21.4	23.5	584	525	555	4.4
45	28.3	1.5	1.5	80.3	77.5	21.3	23.5	590	550	570	4.7
50	28.3	1.5	1.4	80.2	77.3	21.5	23.9	611	560	586	4.9
Average								596	549	573	4.7

ตาราง ก.6 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.7	1.6	1.6	80.3	76.2	21.4	24.8	968	905	937	7.3
35	28.4	1.6	1.5	80.1	75.8	21.2	24.8	969	898	934	7.3
40	28.4	1.5	1.5	80.3	75.9	21.4	24.9	929	873	901	7.5
45	28.4	1.5	1.4	80.3	75.8	21.3	25.2	950	908	929	7.6
50	28.5	1.5	1.4	80.1	75.6	21.1	24.9	951	885	918	7.6
Average								953	894	924	7.5

ตาราง ก.7 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.7	1.7	1.6	80.1	73.3	21.3	27.1	1,634	1,537	1,586	11.6
35	28.6	1.7	1.5	80.0	73.3	21.4	27.6	1,610	1,539	1,575	11.4
40	28.9	1.7	1.5	80.2	73.6	21.3	27.4	1,585	1,515	1,550	11.2
45	28.8	1.7	1.5	80.1	73.5	21.4	27.2	1,609	1,536	1,573	11.4
50	28.7	1.7	1.7	80.4	73.4	21.3	27.2	1,609	1,465	1,537	11.4
Average								1,609	1,518	1,564	11.4

ตาราง ก.8 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.8	1.6	1.6	80.1	75.4	21.1	24.8	1,059	985	1,022	8.0
35	28.7	1.7	1.5	80.1	75.3	21.3	25.5	1,150	1,047	1,099	8.2
40	28.7	1.6	1.6	80.2	75.2	21.3	25.2	1,127	1,037	1,082	8.5
45	28.9	1.7	1.6	80.1	75.0	21.2	25.4	1,222	1,117	1,170	8.7
50	28.7	1.6	1.6	80.1	75.2	21.3	25.2	1,105	1,037	1,071	8.3
Average								1,133	1,045	1,089	8.3

ตาราง ก.9 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.6	1.5	1.4	80.2	77.5	21.3	23.6	569	537	553	4.6
35	28.3	1.6	1.5	80.2	77.5	21.4	23.5	607	525	566	4.6
40	28.5	1.5	1.5	80.3	77.5	21.3	23.4	590	525	558	4.7
45	28.5	1.5	1.4	80.2	77.4	21.1	23.3	590	514	552	4.7
50	28.4	1.7	1.5	80.0	77.6	21.3	23.1	621	550	586	4.4
Average								595	530	563	4.6

ตาราง ก.10 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.5	1.7	1.6	80.2	76.2	21.4	24.6	957	852	905	6.8
35	28.7	1.6	1.5	80.3	76.1	21.4	24.8	945	848	897	7.1
40	28.5	1.6	1.5	80.2	75.9	21.1	24.6	968	874	921	7.3
45	28.5	1.6	1.4	80.0	75.8	21.2	24.9	946	862	904	7.1
50	28.6	1.6	1.6	80.1	75.9	21.4	24.6	946	852	899	7.2
Average								952	858	905	7.1

ตาราง ก.11 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.5	1.7	1.6	80.3	73.7	21.3	26.7	1,584	1,432	1,508	11.2
35	28.7	1.7	1.5	79.8	73.4	21.2	27.0	1,538	1,441	1,490	10.9
40	28.5	1.7	1.5	80.2	73.7	21.1	27.1	1,560	1,491	1,526	11.0
45	28.6	1.7	1.6	80.2	73.8	21.1	26.6	1,536	1,459	1,498	10.8
50	28.6	1.7	1.6	80.0	73.4	21.3	26.7	1,585	1,432	1,509	11.2
Average								1,561	1,451	1,506	11.0

ตาราง ก.12 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.6	1.6	1.5	80.3	75.6	21.5	25.4	1,059	972	1,016	8.0
35	28.7	1.7	1.5	80.1	75.5	21.4	25.3	1,101	972	1,037	7.8
40	28.5	1.6	1.6	80.1	75.2	21.2	24.8	1,105	958	1,032	8.3
45	28.8	1.6	1.5	80.3	75.5	21.3	25.2	1,081	972	1,027	8.1
50	28.7	1.6	1.6	80.3	75.7	21.2	24.8	1,036	958	997	7.8
Average								1,076	966	1,021	8.0

ตาราง ก.13 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.8	1.6	1.4	80.3	77.5	21.3	23.7	629	560	595	4.7
35	28.4	1.5	1.5	80.2	77.4	21.4	23.6	590	550	570	4.8
40	28.5	1.5	1.5	80.3	77.4	21.1	23.4	611	576	594	4.9
45	28.5	1.6	1.5	80.0	77.2	21.1	23.4	629	576	603	4.8
50	28.6	1.5	1.4	80.0	77.2	21.4	23.7	590	537	564	4.8
Average								610	560	585	4.8

ตาราง ก.14 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.5	1.5	1.5	80.2	76.9	21.5	24.1	696	649	673	5.6
35	28.7	1.5	1.5	80.4	77.0	21.2	23.8	716	650	683	5.7
40	28.8	1.5	1.4	80.1	76.7	21.2	24.1	717	676	697	5.8
45	28.5	1.5	1.4	79.9	76.6	21.5	24.0	696	653	675	5.6
50	28.3	1.5	1.5	80.1	76.4	21.3	24.2	781	724	753	6.3
Average								721	670	696	5.8

ตาราง ก.15 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.5	1.7	1.6	80.2	75.6	21.4	25.1	1,101	984	1,043	7.8
35	28.9	1.7	1.5	80.1	75.5	21.1	25.2	1,101	1,023	1,062	7.8
40	28.5	1.6	1.5	79.8	75.2	21.3	25.3	1,038	997	1,018	7.9
45	28.5	1.6	1.4	80.3	75.4	21.1	25.5	1,104	1,024	1,064	8.3
50	28.6	1.6	1.6	80.3	75.4	21.4	25.2	1,104	1,010	1,057	8.3
Average								1,090	1,008	1,049	8.0

ตาราง ก.16 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.6	1.5	1.5	80.3	76.4	21.1	24.2	823	775	799	6.6
35	28.5	1.5	1.4	80.1	76.1	21.3	24.6	844	769	807	6.8
40	28.9	1.5	1.5	80.3	76.4	21.1	24.2	823	775	799	6.6
45	28.9	1.6	1.5	80.1	76.3	21.3	24.4	855	774	815	6.5
50	28.6	1.6	1.5	80.2	76.4	21.1	24.1	855	750	803	6.4
Average								840	769	804	6.6

ตาราง ก.17 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.5	1.5	1.5	80.3	77.5	21.2	23.4	596	551	574	4.7
35	29.7	1.6	1.5	80.3	77.6	21.2	23.4	606	551	579	4.6
40	29.5	1.5	1.5	80.1	77.3	21.2	23.4	590	551	571	4.8
45	29.5	1.5	1.4	80.3	77.5	21.3	23.6	590	537	564	4.7
50	29.6	1.5	1.4	80.2	77.4	21.2	23.6	590	560	575	4.7
Average								594	550	572	4.7

ตาราง ก.18 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.6	1.6	1.5	80.2	76.9	21.3	23.9	742	650	696	5.6
35	29.6	1.5	1.5	80.3	77.0	21.1	23.7	695	650	673	5.6
40	29.7	1.5	1.4	80.1	76.8	21.3	24.0	696	630	663	5.6
45	29.5	1.5	1.5	80.1	76.7	21.1	23.6	717	625	671	5.8
50	29.6	1.6	1.5	79.8	76.5	21.3	24.0	743	675	709	5.6
Average								719	646	682	5.6

ตาราง ก.19 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.6	1.7	1.7	80.5	75.9	21.2	24.6	1,100	962	1,031	7.8
35	29.6	1.7	1.6	80.2	75.6	21.4	25.0	1,101	958	1,030	7.8
40	29.7	1.6	1.6	80.5	75.8	21.7	25.4	1,058	983	1,021	8.0
45	29.7	1.7	1.6	80.3	75.7	21.3	25.0	1,101	984	1,043	7.8
50	29.6	1.6	1.5	80.3	75.6	21.5	25.5	1,059	996	1,028	8.0
Average								1,084	977	1,030	7.9

ตาราง ก.20 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.5	1.5	1.5	80.0	76.2	21.3	24.3	802	749	776	6.5
35	29.7	1.6	1.5	80.1	76.4	21.4	24.4	833	749	791	6.3
40	29.7	1.6	1.6	80.0	76.4	21.4	24.2	810	746	778	6.1
45	29.8	1.6	1.4	80.4	76.7	21.3	24.5	832	746	789	6.3
50	29.6	1.6	1.5	80.1	76.4	21.2	24.2	833	750	792	6.3
Average								822	748	785	6.3

ตาราง ก.21 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.6	1.5	1.5	80.4	78.1	21.3	23.0	484	426	455	3.9
35	29.7	1.5	1.5	80.2	77.8	21.3	23.2	505	476	491	4.1
40	29.7	1.5	1.4	80.4	78.0	21.4	23.3	505	444	475	4.1
45	29.8	1.6	1.4	80.1	77.8	21.1	23.1	517	467	492	3.9
50	29.6	1.5	1.4	80.1	77.7	21.2	23.2	505	467	486	4.1
Average								503	456	480	4.0

ตาราง ก.22 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.8	1.6	1.5	80.3	77.3	21.3	23.8	674	625	650	5.1
35	29.5	1.6	1.6	80.1	77.1	21.3	23.6	674	614	644	5.1
40	29.6	1.6	1.5	80.2	77.2	21.1	23.5	674	601	638	5.1
45	29.7	1.6	1.4	80.0	77.0	21.3	23.9	675	607	641	5.1
50	29.6	1.5	1.5	80.2	77.1	21.2	23.7	653	625	639	5.3
Average								670	614	642	5.1

ตาราง ก.23 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.9	1.7	1.6	80.3	76.0	21.2	24.8	1,029	958	994	7.3
35	29.5	1.7	1.6	80.3	75.9	21.3	24.9	1,053	958	1,006	7.5
40	29.5	1.7	1.4	80.1	75.8	21.2	25.3	1,029	954	992	7.3
45	29.5	1.7	1.6	80.2	75.8	21.1	24.8	1,053	985	1,019	7.4
50	29.5	1.7	1.6	80.3	76.1	21.4	25.0	1,004	958	981	7.1
Average								1,034	963	998	7.3

ตาราง ก.24 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.6	1.6	1.5	80.3	76.7	21.4	24.3	810	724	767	6.1
35	29.6	1.6	1.6	80.1	76.5	21.2	23.9	810	720	765	6.1
40	29.6	1.6	1.4	80.2	76.7	21.1	24.2	787	723	755	5.9
45	29.5	1.6	1.5	80.1	76.5	21.3	24.2	810	724	767	6.1
50	29.6	1.6	1.5	80.3	76.7	21.4	24.3	810	724	767	6.1
Average								805	723	764	6.1

ตาราง ก.25 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.6	1.6	1.5	80.4	77.7	21.4	23.6	606	550	578	4.6
35	29.5	1.6	1.5	80.3	77.6	21.2	23.3	606	526	566	4.6
40	29.6	1.6	1.6	80.0	77.3	21.4	23.4	607	534	571	4.6
45	29.6	1.5	1.6	80.3	77.5	21.2	23.2	590	534	562	4.7
50	29.7	1.6	1.5	80.3	77.5	21.3	23.4	629	525	577	4.7
Average								608	534	571	4.6

ตาราง ก.26 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.6	1.6	1.5	80.4	76.1	21.2	24.7	968	874	921	7.3
35	29.5	1.6	1.4	80.3	76.0	21.3	25.0	968	861	915	7.3
40	29.5	1.5	1.6	80.4	76.0	21.4	24.8	925	905	915	7.5
45	29.5	1.6	1.5	80.3	76.0	21.3	24.8	968	873	921	7.3
50	29.4	1.6	1.5	80.3	76.1	21.1	24.5	945	849	897	7.1
Average								955	872	914	7.3

ตาราง ก.27 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.6	1.7	1.5	80.0	73.4	21.4	27.4	1,585	1,489	1,537	11.3
35	29.7	1.7	1.6	80.0	73.3	21.2	26.8	1,610	1,485	1,548	11.4
40	29.8	1.6	1.6	80.3	73.5	21.2	26.8	1,537	1,485	1,511	11.5
45	29.6	1.7	1.5	80.2	73.2	21.4	27.3	1,585	1,465	1,525	11.2
50	29.6	1.7	1.6	80.3	73.7	21.5	27.1	1,584	1,483	1,534	11.2
Average								1,580	1,481	1,531	11.3

ตาราง ก.28 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.6	1.7	1.5	80.1	75.3	21.2	25.2	1,150	998	1,074	8.1
35	29.7	1.6	1.4	80.0	75.1	21.3	25.7	1,105	1,023	1,064	8.3
40	29.6	1.6	1.6	80.3	75.6	21.2	24.9	1,059	985	1,022	8.0
45	29.5	1.6	1.6	80.3	75.4	21.3	25.1	1,104	1,011	1,058	8.3
50	29.6	1.6	1.5	80.1	75.3	21.2	25.3	1,082	1,022	1,052	8.1
Average								1,100	1,008	1,054	8.2

ตาราง ก.29 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.5	1.6	1.5	80.4	78.2	21.2	23.0	494	451	473	3.7
35	28.6	1.6	1.6	80.4	78.1	21.3	21.3	516	454	485	3.9
40	28.5	1.6	1.5	80.1	78.0	21.1	22.8	471	426	449	3.6
45	28.4	1.5	1.4	80.1	77.8	21.3	23.2	484	444	464	3.9
50	28.6	1.6	1.6	80.3	78.1	21.1	22.7	494	428	461	3.7
Average								492	441	466	3.8

ตาราง ก.30 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.6	1.7	1.6	80.2	77.4	21.4	23.7	668	613	641	4.8
35	28.6	1.5	1.4	80.3	77.3	21.5	23.9	674	600	637	5.1
40	28.5	1.7	1.5	80.2	77.5	21.4	23.7	644	575	610	4.6
45	28.4	1.6	1.5	80.4	77.6	21.2	23.5	629	575	602	4.7
50	28.6	1.6	1.6	80.1	77.3	21.2	23.4	629	587	608	4.8
Average								649	590	619	4.8

ตาราง ก.31 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.7	1.6	1.5	80.2	76.0	21.4	25.0	946	898	922	7.1
35	28.5	1.7	1.5	80.3	76.1	21.5	25.2	1,004	922	963	7.1
40	28.5	1.7	1.4	80.2	76.2	21.3	25.1	957	884	921	6.8
45	28.4	1.6	1.6	80.4	76.1	21.5	24.8	968	878	923	7.3
50	28.6	1.6	1.5	80.3	76.1	21.2	24.7	945	874	910	7.1
Average								964	891	928	7.1

ตาราง ก.32 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.3	1.6	1.6	80.3	76.8	21.4	24.1	787	719	753	5.9
35	28.5	1.6	1.5	80.4	77.0	21.3	24.1	764	700	732	5.8
40	28.6	1.7	1.5	80.0	76.7	21.6	24.4	789	699	744	5.7
45	28.8	1.5	1.5	80.3	76.8	21.3	24.1	738	700	719	5.9
50	28.6	1.6	1.6	80.1	76.7	21.5	24.1	765	693	729	5.8
Average								769	702	735	5.8

ตาราง ก.33 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.4	1.6	1.6	80.4	77.8	21.3	23.3	584	534	559	4.4
35	28.5	1.6	1.5	80.3	77.6	21.4	23.5	606	525	566	4.6
40	28.5	1.6	1.6	80.4	77.8	21.4	23.4	584	534	559	4.4
45	28.6	1.5	1.6	80.0	77.0	21.4	23.5	632	560	596	5.1
50	28.6	1.6	1.6	80.1	77.4	21.3	23.3	607	534	571	4.6
Average								603	537	570	4.6

ตาราง ก.34 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.5	1.6	1.6	80.3	76.0	21.2	24.4	968	853	911	7.3
35	28.6	1.6	1.6	80.0	75.8	21.4	24.6	946	852	899	7.2
40	28.4	1.6	1.5	80.2	76.0	21.4	24.9	946	873	910	7.1
45	28.5	1.6	1.4	80.3	76.0	21.5	25.2	968	861	915	7.3
50	28.4	1.6	1.5	80.2	75.9	21.3	24.7	968	849	909	7.3
Average								959	858	908	7.2

ตาราง ก.35 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.6	1.7	1.6	80.1	73.5	21.1	26.6	1,585	1,459	1,522	11.2
35	28.5	1.7	1.5	80.3	73.6	21.3	27.0	1,608	1,416	1,512	11.4
40	28.6	1.7	1.7	80.3	73.7	21.2	26.4	1,584	1,466	1,525	11.2
45	28.7	1.7	1.6	80.4	73.7	21.1	26.5	1,608	1,433	1,521	11.3
50	28.4	1.6	1.6	80.1	73.3	21.3	26.7	1,537	1,432	1,485	11.6
Average								1,584	1,441	1,513	11.1

ตาราง ก.36 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ น้ำ

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.4	1.7	1.5	80.4	75.8	21.3	25.2	1,100	972	1,036	7.8
35	28.5	1.6	1.5	80.3	75.5	21.3	25.3	1,081	997	1,039	8.1
40	28.5	1.6	1.6	80.2	75.4	21.2	25.0	1,082	1,011	1,047	8.1
45	28.6	1.6	1.5	80.4	75.7	21.2	25.2	1,058	998	1,028	7.9
50	28.7	1.7	1.5	80.2	75.4	21.1	25.3	1,149	1,047	1,098	8.1
Average								1,094	1,005	1,050	8.0

ตาราง ก.37 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.8	1.7	1.5	80.9	76.9	21.3	24.7	955	849	902	6.7
35	28.6	1.5	1.5	78.5	74.1	21.6	24.9	934	823	879	7.7
40	28.9	1.6	1.4	78.9	74.8	21.0	24.6	927	839	883	7.1
45	29.2	1.7	1.7	79.2	75.2	21.9	24.8	959	819	889	7.0
50	28.8	1.5	1.4	79.8	75.4	21.8	25.4	930	837	884	7.6
Average								941	833	887	7.2

ตาราง ก.38 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	27.5	1.7	1.6	80.3	75.4	21.3	25.2	1,173	1,037	1,105	8.3
35	28.1	1.6	1.4	79.4	74.5	21.4	25.5	1,107	953	1,030	8.4
40	27.8	1.5	1.6	79.5	74.6	21.2	25.6	1,107	1,023	1,065	8.4
45	27.4	1.6	1.5	79.5	74.7	21.4	25.7	1,152	1,071	1,112	8.3
50	26.5	1.6	1.5	79.3	74.2	21.3	25.6	1,153	1,071	1,112	8.8
Average								1,138	1,031	1,085	8.4

ตาราง ก.39 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.4	1.6	1.5	79.6	73.2	21.0	26.1	1,448	1,270	1,359	10.9
35	29.5	1.6	1.4	80.8	74.4	20.7	26.6	1,443	1,371	1,407	10.6
40	29.6	1.6	1.5	79.9	73.3	21.2	26.2	1,424	1,294	1,359	10.7
45	29.6	1.7	1.5	79.5	73.5	21.4	26.6	1,442	1,293	1,368	10.3
50	29.5	1.5	1.5	79.1	72.9	21.3	26.8	1,405	1,276	1,341	10.7
Average								1,432	1,301	1,367	10.6

ตาราง ก.40 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.6	1.7	1.5	79.7	75.0	21.5	25.5	1,127	996	1,062	8.1
35	29.6	1.8	1.6	79.4	74.1	21.3	25.6	1,273	1,143	1,208	9.1
40	29.5	1.6	1.5	79.9	74.2	21.3	25.8	1,287	1,121	1,204	9.7
45	29.7	1.6	1.5	79.2	73.9	21.3	25.6	1,199	1,071	1,135	9.2
50	29.4	1.6	1.4	79.4	74.7	21.3	25.9	1,221	1,069	1,145	9.3
Average								1,221	1,080	1,151	9.1

ตาราง ก.41 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.4	1.6	1.4	80.4	76.1	21.2	25.1	968	908	938	7.3
35	29.6	1.7	1.6	80.3	76.1	21.3	24.7	1,004	905	955	7.1
40	29.7	1.6	1.5	80.9	76.3	21.5	25.1	1,034	897	966	7.7
45	29.7	1.8	1.6	80.6	76.5	21.4	24.8	1,037	905	971	6.9
50	29.7	1.6	1.5	80.0	75.8	21.3	24.9	946	896	921	7.2
Average								998	902	950	7.2

ตาราง ก.42 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.7	1.6	1.5	80.1	73.2	21.1	26.7	1,560	1,393	1,477	11.7
35	29.6	1.7	1.6	80.2	73.7	21.3	26.5	1,560	1,380	1,470	11.0
40	29.6	1.7	1.5	80.2	73.7	21.2	26.7	1,560	1,368	1,464	11.0
45	29.5	1.8	1.7	80.4	74.3	21.3	26.4	1,549	1,438	1,494	10.3
50	29.6	1.7	1.5	80.5	74.0	21.4	26.8	1,559	1,342	1,451	11.0
Average								1,558	1,384	1,471	11.0

ตาราง ก.43 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.7	1.7	1.6	80.0	70.5	21.2	29.2	2,292	2,112	2,202	16.2
35	29.5	1.6	1.5	80.3	70.2	21.0	29.4	2,293	2,079	2,186	17.0
40	29.6	1.7	1.5	80.3	70.7	21.2	29.8	2,314	2,126	2,220	16.2
45	29.5	1.7	1.6	80.3	70.7	21.1	29.2	2,314	2,139	2,227	16.2
50	29.4	1.7	1.6	80.1	70.5	21.3	29.3	2,316	2,111	2,214	16.3
Average								2,306	2,113	2,210	16.4

ตาราง ก.44 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.6	1.6	1.5	80.2	72.8	21.4	27.3	1,674	1,465	1,570	12.6
35	29.4	1.7	1.5	80.4	73.2	21.2	27.2	1,729	1,491	1,610	12.2
40	29.5	1.6	1.6	80.1	73.0	21.3	27.0	1,606	1,511	1,559	12.1
45	29.3	1.6	1.5	80.4	73.2	21.2	27.1	1,627	1,466	1,547	12.2
50	29.4	1.8	1.6	80.2	73.7	21.2	26.7	1,652	1,459	1,556	11.0
Average								1,658	1,478	1,568	12.0

ตาราง ก.45 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.2	1.7	1.5	79.9	75.8	21.5	25.1	982	897	940	7.0
35	29.1	1.7	1.6	80.1	76.0	21.4	24.8	981	905	943	7.0
40	29.2	1.7	1.5	79.9	75.8	21.3	24.9	982	898	940	7.0
45	28.7	1.7	1.5	79.8	75.7	21.0	24.8	982	949	966	7.0
50	28.9	1.6	1.5	80.0	76.5	21.3	25.0	967	923	945	7.2
Average								979	914	947	7.0

ตาราง ก.46 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.9	1.6	1.4	80.2	73.8	21.3	27.2	1,446	1,368	1,407	10.9
35	28.9	1.6	1.4	80.2	73.9	21.1	26.9	1,423	1,346	1,385	10.7
40	28.7	1.7	1.5	79.8	73.6	21.4	27.2	1,489	1,440	1,465	10.6
45	29.3	1.7	1.6	79.9	73.6	21.5	26.9	1,513	1,431	1,472	10.8
50	29.3	1.7	1.5	80.2	73.9	21.1	26.8	1,512	1,417	1,465	10.7
Average								1,477	1,400	1,439	10.7

ตาราง ก.47 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.9	1.7	1.5	80.2	71.2	21.4	29.5	2,168	2,003	2,086	15.3
35	29.1	1.7	1.5	80.6	71.1	21.2	29.3	2,288	2,004	2,146	16.0
40	29.3	1.6	1.6	80.3	70.7	21.0	28.8	2,178	2,061	2,120	16.2
45	29.3	1.7	1.5	80.1	70.9	21.0	29.1	2,218	2,006	2,112	15.6
50	29.2	1.6	1.4	80.3	70.9	21.2	29.9	2,132	2,007	2,070	15.9
Average								2,197	2,016	2,107	15.8

ตาราง ก.48 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.8	1.7	1.5	80.0	73.3	21.4	27.3	1,610	1,465	1,538	11.4
35	28.9	1.5	1.4	80.1	73.1	21.2	27.3	1,484	1,414	1,449	11.9
40	29.3	1.6	1.5	79.9	73.1	21.5	27.2	1,538	1,415	1,477	11.6
45	29.3	1.7	1.6	79.9	73.2	21.3	26.9	1,610	1,485	1,548	11.4
50	28.8	1.6	1.5	79.8	72.9	21.2	27.0	1,562	1,441	1,502	11.8
Average								1,561	1,444	1,502	11.6

ตาราง ก.49 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.3	1.6	1.5	79.9	75.8	21.8	25.3	924	872	898	7.1
35	29.2	1.7	1.6	80.2	76.1	21.7	24.9	981	851	916	7.0
40	29.2	1.7	1.6	80.3	76.2	21.8	24.9	980	824	902	7.0
45	28.8	1.8	1.6	80.4	76.2	21.4	25.2	945	884	915	7.1
50	28.7	1.5	1.5	80.3	76.0	21.4	24.8	908	848	878	7.3
Average								948	856	902	7.1

ตาราง ก.50 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.8	1.8	1.6	80.2	75.5	21.7	25.8	1,191	1,088	1,140	8.0
35	28.7	1.6	1.6	80.0	74.9	21.3	25.1	1,151	1,011	1,081	8.7
40	28.9	1.6	1.4	80.3	75.3	21.4	25.9	1,127	1,046	1,087	8.5
45	29.2	1.7	1.5	80.3	75.4	21.5	25.6	1,173	1,021	1,097	8.3
50	29.4	1.5	1.4	80.4	75.3	21.4	25.8	1,077	1,023	1,050	8.6
Average								1,144	1,038	1,091	8.4

ตาราง ก.51 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.4	1.6	1.4	80.3	73.9	21.6	27.2	1,445	1,297	1,371	10.9
35	29.3	1.7	1.5	80.2	74.1	21.6	26.7	1,463	1,267	1,365	10.4
40	29.1	1.7	1.5	80.3	74.2	21.7	26.9	1,463	1,291	1,377	10.4
45	29.0	1.7	1.4	80.3	74.2	21.5	27.0	1,463	1,275	1,369	10.4
50	28.9	1.6	1.6	80.0	73.7	21.5	26.5	1,424	1,326	1,375	10.8
Average								1,452	1,291	1,371	10.6

ตาราง ก.52 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.9	1.7	1.5	80.6	75.3	21.4	25.8	1,268	1,096	1,182	9.0
35	29.3	1.5	1.4	80.3	74.8	21.5	26.3	1,163	1,114	1,139	9.4
40	29.1	1.6	1.6	80.4	75.1	21.4	25.5	1,195	1,090	1,143	9.0
45	28.7	1.6	1.5	80.2	74.9	21.4	25.8	1,195	1,096	1,146	9.0
50	29.0	1.6	1.5	80.2	74.8	21.4	25.8	1,218	1,096	1,157	9.2
Average								1,208	1,098	1,153	9.1

ตาราง ก.53 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.7	1.6	1.4	80.2	76.0	21.3	25.0	946	861	904	7.1
35	29.6	1.6	1.4	80.2	75.9	21.4	25.0	968	838	903	7.3
40	29.5	1.6	1.6	80.1	75.9	21.3	24.5	946	852	899	7.1
45	29.7	1.7	1.5	80.1	76.1	21.5	25.0	957	873	915	6.8
50	29.4	1.5	1.5	80.2	75.8	21.4	24.9	929	873	901	7.5
Average								949	859	904	7.2

ตาราง ก.54 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.6	1.7	1.5	79.9	75.0	21.6	25.7	1,174	1,021	1,098	8.4
35	29.5	1.6	1.6	79.8	74.9	21.4	25.3	1,106	1,037	1,072	8.4
40	29.5	1.7	1.5	80.1	75.2	21.3	25.3	1,174	997	1,086	8.3
45	29.5	1.7	1.5	80.1	75.3	21.5	25.6	1,150	1,021	1,086	8.2
50	29.6	1.7	1.5	80.2	75.2	21.3	25.4	1,198	1,022	1,110	8.5
Average								1,160	1,020	1,090	8.4

ตาราง ก.55 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.7	1.7	1.5	80.4	74.2	21.4	26.5	1,487	1,268	1,378	10.5
35	29.4	1.6	1.5	80.2	73.9	21.4	26.7	1,423	1,317	1,370	10.7
40	29.5	1.6	1.6	80.2	74.0	21.3	26.3	1,400	1,327	1,364	10.5
45	29.4	1.6	1.5	80.2	73.9	21.4	26.7	1,423	1,317	1,370	10.7
50	29.3	1.6	1.6	80.2	74.0	21.3	26.3	1,400	1,327	1,364	10.5
Average								1,427	1,311	1,369	10.6

ตาราง ก.56 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 9.53 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.5	1.6	1.5	80.0	74.6	21.4	25.8	1,219	1,096	1,158	9.2
35	29.6	1.6	1.5	80.1	74.7	21.3	25.6	1,218	1,071	1,145	9.2
40	29.5	1.6	1.5	80.2	75.1	21.4	25.7	1,222	1,071	1,147	8.7
45	29.6	1.6	1.6	79.8	74.3	21.4	25.5	1,242	1,090	1,166	9.4
50	29.6	1.6	1.5	80.0	74.6	21.3	25.6	1,219	1,071	1,145	9.2
Average								1,224	1,080	1,152	9.1

ตาราง ก.57 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.8	1.8	1.6	80.1	77.7	21.4	23.4	606	534	570	4.1
35	28.7	1.8	1.7	80.0	77.6	21.3	23.2	607	539	573	4.1
40	28.9	1.7	1.5	80.1	77.6	21.2	23.5	597	575	586	4.2
45	29.3	1.7	1.5	80.1	77.5	21.2	23.5	621	575	598	4.4
50	29.3	1.7	1.5	80.1	77.6	21.3	23.6	597	575	586	4.3
Average								606	560	583	4.2

ตาราง ก.58 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.9	1.6	1.5	80.1	75.3	21.4	25.4	1,082	997	1,040	8.2
35	29.3	1.6	1.4	80.2	75.4	21.3	25.6	1,082	1,000	1,041	8.1
40	28.8	1.5	1.5	80.2	75.5	21.3	25.2	993	972	983	8.0
45	29.1	1.6	1.5	80.2	75.5	21.2	25.0	1,059	948	1,004	8.0
50	29.2	1.6	1.6	80.0	75.1	21.3	25.2	1,105	1,037	1,071	8.3
Average								1,064	991	1,028	8.1

ตาราง ก.59 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.3	1.6	1.6	80.2	74.0	21.2	25.8	1,400	1,222	1,311	10.5
35	28.7	1.6	1.5	80.2	74.3	21.3	26.1	1,332	1,195	1,264	10.0
40	29.3	1.6	1.6	80.3	74.2	21.3	25.8	1,377	1,195	1,286	10.3
45	29.1	1.6	1.5	80.2	74.4	21.2	26.1	1,309	1,220	1,265	9.8
50	28.8	1.7	1.5	80.2	74.6	21.3	26.2	1,342	1,219	1,281	9.5
Average								1,352	1,210	1,281	10.0

ตาราง ก.60 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.9	1.6	1.4	79.9	74.9	21.2	25.8	1,128	1,069	1,099	8.5
35	28.7	1.5	1.5	79.9	74.5	21.2	25.5	1,143	1,072	1,108	9.2
40	29.1	1.6	1.5	80.2	74.9	21.2	25.3	1,195	1,022	1,109	9.0
45	28.8	1.6	1.4	80.2	75.3	21.2	25.7	1,104	1,046	1,075	8.3
50	28.9	1.5	1.5	80.3	75.1	21.2	25.4	1,099	1,047	1,073	8.8
Average								1,134	1,051	1,093	8.8

ตาราง ก.61 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.4	1.6	1.5	80.2	75.8	21.3	25.0	991	923	957	7.5
35	28.8	1.6	1.6	80.2	75.9	21.3	24.7	968	905	937	7.3
40	28.7	1.7	1.6	80.1	76.0	21.4	24.9	981	931	956	7.0
45	28.9	1.6	1.4	80.2	75.8	21.3	25.3	991	931	961	7.5
50	28.9	1.6	1.6	80.2	75.9	21.3	24.8	968	932	950	7.3
Average								980	924	952	7.3

ตาราง ก.62 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.8	1.7	1.6	80.2	73.8	21.3	26.5	1,536	1,380	1,458	10.9
35	28.9	1.7	1.5	80.2	73.7	21.3	26.7	1,560	1,343	1,452	11.0
40	29.4	1.7	1.5	80.0	73.7	21.1	26.7	1,513	1,393	1,453	10.7
45	29.3	1.7	1.5	80.0	73.5	21.0	26.7	1,561	1,418	1,490	11.0
50	29.1	1.6	1.5	80.2	73.8	21.3	26.8	1,446	1,367	1,407	10.9
Average								1,523	1,380	1,452	10.9

ตาราง ก.63 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.9	1.7	1.5	80.2	70.6	21.2	29.5	2,315	2,053	2,184	16.3
35	29.3	1.7	1.6	80.1	70.6	21.3	29.2	2,291	2,085	2,188	16.2
40	29.2	1.6	1.5	80.2	70.6	21.3	29.7	2,179	2,076	2,128	16.3
45	28.8	1.7	1.5	80.3	70.7	21.3	29.8	2,314	2,101	2,208	16.3
50	28.9	1.6	1.5	80.1	70.6	21.3	29.6	2,156	2,052	2,104	16.2
Average								2,251	2,073	2,162	16.3

ตาราง ก.64 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 19.05 mm. ท่อของเหลวขนาด 34.93 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.9	1.6	1.5	80.2	73.3	21.3	27.4	1,560	1,515	1,538	11.7
35	28.7	1.7	1.5	79.9	73.3	21.2	27.4	1,586	1,540	1,563	11.2
40	28.7	1.7	1.6	80.1	73.3	21.3	27.0	1,634	1,511	1,573	11.6
45	28.9	1.6	1.5	80.3	73.1	21.0	27.0	1,628	1,492	1,560	12.1
50	29.4	1.6	1.4	80.3	73.0	21.3	27.6	1,651	1,459	1,555	12.4
Average								1,612	1,503	1,558	11.8

ตาราง ก.65 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.8	1.7	1.5	80.2	77.6	21.2	23.4	573	551	562	4.1
35	28.7	1.8	1.6	80.1	78.0	21.2	23.3	606	561	584	4.1
40	29.2	1.6	1.5	80.2	77.7	21.3	23.4	561	525	543	4.2
45	28.8	1.7	1.5	80.1	77.7	21.4	23.5	539	525	532	4.1
50	28.8	1.6	1.5	80.1	77.6	21.2	23.4	597	551	574	4.2
Average								575	543	559	4.1

ตาราง ก.66 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.9	1.6	1.6	80.2	75.7	21.1	24.5	1,014	906	960	7.6
35	29.1	1.6	1.4	80.3	75.8	21.2	25.0	1,013	885	949	7.6
40	29.2	1.6	1.5	80.2	75.8	21.2	24.8	991	898	945	7.5
45	29.1	1.5	1.4	80.1	75.4	21.3	25.2	993	908	951	8.0
50	29.1	1.5	1.4	80.2	75.6	21.2	25.1	972	908	940	7.8
Average								997	901	949	7.7

ตาราง ก.67 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	29.2	1.7	1.4	80.1	74.8	21.2	26.1	1,270	1,139	1,205	9.0
35	29.2	1.6	1.5	80.1	74.6	21.2	25.8	1,241	1,146	1,194	9.3
40	28.9	1.7	1.5	80.2	75.0	21.2	25.7	1,246	1,121	1,184	8.8
45	29.1	1.5	1.4	80.2	74.4	21.3	26.4	1,227	1,184	1,206	9.8
50	29.0	1.7	1.5	80.1	74.9	21.3	26.0	1,246	1,170	1,208	8.8
Average								1,246	1,152	1,199	9.1

ตาราง ก.68 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.9	1.6	1.4	80.1	75.3	21.2	25.3	1,082	954	1,018	8.1
35	28.8	1.7	1.6	80.2	75.7	21.2	24.8	1,077	958	1,018	7.6
40	29.2	1.5	1.5	80.3	75.3	21.3	25.1	1,056	948	1,002	8.5
45	29.3	1.6	1.4	80.1	75.4	21.4	25.5	1,059	953	1,006	8.0
50	28.9	1.6	1.6	80.1	75.4	21.3	24.6	1,059	959	1,009	8.0
Average								1,067	954	1,011	8.0

ตาราง ก.69 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.4	1.7	1.6	80.0	75.8	21.5	24.9	1,005	904	955	7.2
35	28.5	1.7	1.5	79.9	75.7	21.3	24.9	1,006	898	952	7.2
40	28.4	1.7	1.6	80.0	75.8	21.1	24.4	1,005	879	942	7.1
45	28.8	1.6	1.5	80.0	76.0	21.5	25.2	968	922	945	7.3
50	28.6	1.7	1.6	80.0	75.9	21.5	24.9	981	904	943	7.0
Average								993	901	947	7.2

ตาราง ก.70 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.6	1.7	1.4	79.8	73.5	21.6	27.5	1,514	1,366	1,440	10.8
35	28.5	1.7	1.5	79.7	73.4	21.5	27.1	1,514	1,391	1,453	10.8
40	28.7	1.7	1.6	79.9	73.6	21.5	26.7	1,513	1,379	1,446	10.8
45	28.4	1.7	1.5	79.9	73.7	21.3	27.2	1,489	1,415	1,452	10.6
50	28.4	1.7	1.5	79.9	73.6	21.5	26.8	1,513	1,367	1,440	10.8
Average								1,509	1,384	1,446	10.8

ตาราง ก.71 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.5	1.7	1.4	79.9	70.5	21.4	30.2	2,268	2,028	2,148	16.1
35	28.4	1.6	1.5	80.1	70.5	21.5	29.9	2,179	2,075	2,127	16.4
40	28.4	1.7	1.5	79.9	70.7	21.6	29.9	2,219	2,050	2,135	15.8
45	28.3	1.6	1.6	80.0	70.4	21.3	29.1	2,158	2,059	2,109	16.2
50	28.5	1.7	1.6	79.9	70.5	21.2	29.1	2,292	2,086	2,189	16.2
Average								2,223	2,060	2,141	16.1

ตาราง ก.72 ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

Time	T_{amb}	v (m/s)		$T_{evaporator}$ (^{O}C)		$T_{condenser}$ (^{O}C)		Q (w)			Eff
(min)	(^{O}C)	v_e	v_c	$T_{e,in}$	$T_{e,out}$	$T_{c,in}$	$T_{c,out}$	Q_e	Q_c	$Q_{avg.}$	
30	28.4	1.6	1.5	79.9	72.9	21.4	27.4	1,584	1,489	1,537	12.0
35	28.5	1.6	1.4	80.0	73.1	21.1	27.4	1,561	1,461	1,511	11.7
40	28.4	1.7	1.4	79.8	73.1	21.2	27.6	1,611	1,483	1,547	11.4
45	28.4	1.6	1.5	79.9	73.0	21.2	27.2	1,561	1,491	1,526	11.8
50	28.3	1.6	1.5	79.9	72.9	21.0	27.0	1,584	1,492	1,538	11.9
Average								1,580	1,483	1,532	11.8

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การออกแบบชุดทดสอบ

ในการออกแบบคอยล์ที่ใช้ในการทดสอบมีข้อกำหนดต่างๆ ดังต่อไปนี้ กำหนดให้

Q = 3,000 W
$T_{e,in}$ = 80 °C
$T_{c,in}$ = 80 °C
v_e = 1.6 m/s
v_c = 1.5 m/s
C_{pe} = 1007 kJ/kg-°C (พิจารณาที่อุณหภูมิ 80 °C)
C_{pc} = 1006.17 kJ/kg-°C (พิจารณาที่อุณหภูมิ 80 °C)
$\dot{m}_e$ = 0.23 kg/s
$\dot{m}_c$ = 0.26 kg/s
N_r = 1
N_c = 1
L_i = 0.36 m
L_f = 2.54×10^{-2} m
L_t = 0.42 m
L_b = 0.06 m
S_T = 2.54×10^{-2} m
S_L = 2.54×10^{-2} m
D_o = 10×10^{-3} m
D_i = 9.3×10^{-3} m
t_f = 1.5×10^{-4} m
L_{fs} = 2.54×10^{-3} m
k_f = 204 W/m-K สำหรับ Pure aluminium
k_b = 398 W/m-K สำหรับ Pure copper

แทนค่าในสมการ (2.9) ถึงสมการ (2.17) และสมการ (2.23) จะได้

$$N_t = 1\times 1 = 1$$

$$N_f = \frac{0.36}{2.54\times 10^{-3}} + 1 = 143$$

$$A_f = 2\times 143\times\left(\left(2.54\times 10^{-2}\right)^2 - \pi\frac{\left(10\times 10^{-5}\right)^2}{4} + 2\times 143\times 2.54\times 10^{-3}\times 0.15\times 10^{-3}\right)$$

$$= 0.163 \ m^2$$

$$A_b = 1\left(\pi\times 10\times 10^{-3}\times 0.36 + \pi\times 10\times 10^{-3}\times 0.06 - 143\times 0.15\times 10^{-3}\times\pi\times 10\times 10^{-3}\right)$$

$$= 1.25\times 10^{-2} \ m^2$$

$$A_t = 0.163 + \left(1.25\times 10^{-2}\right) = 1.25\times 10^{-2} \ m^2$$

$$A_{ff} = \left(0.42\times 2.54\times 10^{-2}\right) - 10\times 10^{-3}\times\left(0.36 - 0.15\times 10^{-3}\right) - 143\times 2.54\times 10^{-3}\times 0.15\times 10^{-3}$$

$$= 6.53\times 10^{-3} \ m^2$$

$$A_{fr} = 0.42\times 0.0254 = 0.0107 \ m^2$$

ความหนาของผนังท่อ

$$t_w = \frac{10\times 10^{-3} - 9.3\times 10^{-3}}{2} = 0.35\times 10^{-3} \ m$$

ความยาวประสิทธิผล

$$L_{eff} = \frac{2.54\times 10^{-3} - 10\times 10^{-3}}{2} = 7.7\times 10^{-3} \ m$$

หา h_{eo}

คุณสมบัติของอากาศจากตาราง ค.1 ที่ 353.15 K หรือ 80 °C

จะได้ $\rho_\alpha = 1.002865$ kg/m^3

$C_{p\alpha} = 1007$ J/kg-K

$\mu_\alpha = 20.666\times 10^{-6}$ kg/m-s

$k_\alpha = 0.030189$ W/m-K

$Pr = 0.69$

แทนค่าในสมการ (2.20) และ (2.21) จะได้

$S_t = 0.0128$

$h_f = 20.740$ W/m^2-K

จากสมการ (2.25) แทนค่าจะได้

$mL_{eff} = 0.283$

จากสมการ (2.28) แทนค่าจะได้

$G_{max} = 2.623$ kg/s-m^2

จากสมการ (2.29) แทนค่าจะได้

$Re = 1.269\times 10^3$

จากตาราง 2.1 เมื่อ Nr =1 ดังนั้น C_2 = 0.68 ใช้ค่า B = 0.025, m = 0.8

จากสมการ (2.26) และ (2.27) แทนค่าจะได้

Nu = 4.566

h_b = 13.8 W/m^2-K

แทนค่าในสมการ (2.19) จะได้

h_{eo} = 19.744 W/m^2-K

ในทำนองเดียวกันหาค่า h_{ei} จะได้

h_{ei} =19.559 W/m^2-K

หา U

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{ei}} + \frac{1}{h_{eo}} = 9.8 \ W/m^2 - K$$

จากสมการ (2.30) และ (2.32) แทนค่าจะได้

$$\Delta T_e = \frac{3{,}000}{0.23 \times 1007} = 13 \ ^oC$$

$$\Delta T_c = \frac{3{,}000}{0.23 \times 100617} = 11.5 \ ^oC$$

จะได้

$$T_{eo} = 80 - 13 = 67 \ ^oC$$

$$T_{co} = 21 - 11.5 = 32.5 \ ^oC$$

หา ΔT

$$\Delta T = \frac{(80-32.5)-(67-21)}{\ln\left(\frac{(80-32.5)}{67-21}\right)} = 46.8 \ ^oC$$

หาพื้นที่ถ่ายเทความร้อน

$$A = \frac{3{,}000}{9.8 \times 46.8} = 6.54 \ m^2$$

จากสมการ (2.18) แทนค่าจะได้

$$N_T = \frac{6.54}{\pi(10\times10^{-3})(0.42-143\times0.15\times10^{-3}) + 2\times143\times0.974\times\left(0.0254\times0.0254-\pi\frac{(10\times10^{-3})^2}{4}\right)} \times 1.35$$

= 52 ท่อ

จำนวนแถว

N_r = 4 แถว

จำนวนท่อแต่ล่ะแถว

N_p = $\frac{52}{4}$ = 52 ท่อต่อแถว

หาความกว้างของคอยล์

$L \quad = 13 \times 2.54 = 33 \text{ cm}$

สรุปการออกแบบ

จำนวนท่อทั้งหมด 52 ท่อ แบ่งออกเป็น 4 แถว แถวล่ะ 13 ท่อ

ความสูงของคอยล์เท่ากับ 42 เซนติเมตร กว้าง 33 เซนติเมตร

2. หาสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ

จะแสดงตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ข้อมูล จากตาราง ก.43 ที่เงื่อนไข ท่อไอและท่อของเหลวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.05 mm. เท่ากัน สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย ใช้สารทำงานเป็น เอธานอล ที่เวลา 40 นาที คำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิผลของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ

จากข้อมูลมีค่าต่างๆ ดังนี้

$T_{e,in} = 80.3\ ^{\circ}C$

$T_{e,out} = 70.7\ ^{\circ}C, \qquad \Delta T_e = 9.6\ ^{\circ}C$

$T_{c,in} = 21.2\ ^{\circ}C$

$T_{c,out} = 29.8\ ^{\circ}C, \qquad \Delta T_c = 8.6\ ^{\circ}C$

$v_e = 1.7 \text{ m/s}$

$v_c = 1.5 \text{ m/s}$

$$T_e = \frac{80.3 + 70.7}{2} = 75.5^{o}C$$

$$T_c = \frac{21.2 + 29.8}{2} = 25.5^{o}C$$

หาอัตราการถ่ายเทความร้อนของส่วนทำระเหย ที่อุณหภูมิ 75.5 °C หรือ 348.65 K ได้ค่าคุณสมบัติของอากาศดังนี้

$\rho = 1.016 \quad \text{kg/m}^3$

$C_p = 1007.0 \quad \text{J/kg-K}$

$\Delta T_e = 9.6 \text{ K}$

$\dot{V} = 0.33 \times 0.42 \times 1.7$

$= 0.236 \quad \text{m}^3\text{/s}$

$\dot{m} = \rho \dot{V}$

$= 1.016 \times 0.236$

$= 0.239 \quad kg/s$

$C_e = (\dot{m}\, C_p)_e = 0.239 \times 1007.0 = 241$ J/s-K

$Q_e = (\dot{m}\, C_p)_e (T_{e.in} - T_{e,out})$

$= 241 \times 9.6$

$= 2{,}314 \quad W$

หาอัตราการถ่ายเทความร้อนของส่วนควบแน่น ที่อุณหภูมิ 25.5 °C หรือ 298.65 K ได้ค่าคุณสมบัติของอากาศดังนี้

$\rho = 1.180 \quad kg/m^3$

$C_p = 1005.27$ J/kg-K

$\Delta T_e = 8.6$ K

$\dot{V} = 0.33 \times 0.42 \times 1.5$

$= 0.208 \quad m^3/s$

$\dot{m} = \rho \dot{V}$

$= 1.180 \times 0.208$

$= 0.246 \quad kg/s$

$C_e = (\dot{m}\, C_p)_e = 0.245 \times 1005.27 = 247$ J/s-K

$Q_c = (\dot{m}\, C_p)_c (T_{c.out} - T_{c,in})$

$= 247 \times 8.6$

$= 2{,}126 \quad W$

หาประสิทธิผลของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ

เมื่อ $C_e < C_c$

จะได้

$$Eff = \frac{(\dot{m}\, C_p)_e}{(\dot{m}\, C_p)_{min}} \frac{(T_{e,in} - T_{e,out})}{(T_{e,in} - T_{c,in})}$$

$$Eff = \frac{(T_{e,in} - T_{e,out})}{(T_{e,in} - T_{c,in})} = \frac{(80.3 - 70.7)}{(80.3 - 21.2)}$$

$= 0.162$

$= 16.2\ \%$

ภาคผนวก ค

ตารางคุณสมบัติและค่าคงที่

ตาราง ค.1 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของอากาศที่ 1 บรรยากาศ

(จาก Heat and mass transfer, A. F. Mills, 1995)

Gas	T K	k W/m.K	ρ kg/m^3	c_p J/kg.K	$\mu\times10^{6b}$ kg/m.s	$v\times10^{6b}$ m^2/s	Pr
Air	150	0.0158	2.355	1017	10.64	4.52	0.69
(82 K BP)	200	0.0197	1.767	1009	13.59	7.69	0.69
	250	0.0235	1.413	1009	16.14	11.42	0.69
	260	0.0242	1.360	1009	16.63	12.23	0.69
	270	0.0249	1.311	1009	17.12	13.06	0.69
	280	0.0255	1.265	1008	17.60	13.91	0.69
	290	0.0261	1.220	1007	18.02	14.77	0.69
	300	0.0267	1.770	1005	18.43	15.66	0.69
	310	0.0274	1.141	1005	18.87	16.54	0.69
	320	0.0281	1.106	1006	19.29	17.44	0.69
	330	0.0287	1.073	1006	19.71	18.37	0.69
	340	0.0294	1.042	1007	20.13	19.32	0.69
	350	0.0300	1.012	1007	20.54	20.30	0.69
	360	0.0306	0.983	1007	20.94	21.30	0.69
	370	0.0313	0.956	1008	21.34	22.32	0.69
	380	0.0319	0.931	1008	21.75	23.36	0.69
	390	0.0325	0.906	1009	22.12	24.42	0.69
	400	0.0331	0.883	1009	22.52	25.50	0.69
	500	0.0389	0.706	1017	26.33	37.30	0.69
	600	0.0447	0.589	1038	29.74	50.50	0.69
	700	0.0503	0.507	1065	33.03	65.15	0.70
	800	0.0559	0.442	1089	35.89	81.20	0.70
	900	0.0616	0.392	1111	38.65	98.60	0.70
	1000	0.0672	0.354	1130	41.52	117.30	0.70
	1500	0.0926	0.235	1202	53.82	229.00	0.70
	2000	0.1149	0.176	1244	64.77	368.00	0.70

ตาราง ค.2 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของน้ำ

(จากหนังสือ HEAT PIPE TRIRD EDITION P DUNN DA REAY)

Temperature (°C)	Density, ρ (kg/m³)	Specific Weight, γ (N/m³)	Dynamic Viscosity, μ (N·s/m²)	Kinematic Viscosity, ν (m²/s)	Specific Heat Ratio, k (—)	Speed of Sound, c (m/s)
−40	1.514	14.85	1.57 E − 5	1.04 E − 5	1.401	306.2
−20	1.395	13.68	1.63 E − 5	1.17 E − 5	1.401	319.1
0	1.292	12.67	1.71 E − 5	1.32 E − 5	1.401	331.4
5	1.269	12.45	1.73 E − 5	1.36 E − 5	1.401	334.4
10	1.247	12.23	1.76 E − 5	1.41 E − 5	1.401	337.4
15	1.225	12.01	1.80 E − 5	1.47 E − 5	1.401	340.4
20	1.204	11.81	1.82 E − 5	1.51 E − 5	1.401	343.3
25	1.184	11.61	1.85 E − 5	1.56 E − 5	1.401	346.3
30	1.165	11.43	1.86 E − 5	1.60 E − 5	1.400	349.1
40	1.127	11.05	1.87 E − 5	1.66 E − 5	1.400	354.7
50	1.109	10.88	1.95 E − 5	1.76 E − 5	1.400	360.3
60	1.060	10.40	1.97 E − 5	1.86 E − 5	1.399	365.7
70	1.029	10.09	2.03 E − 5	1.97 E − 5	1.399	371.2
80	0.9996	9.803	2.07 E − 5	2.07 E − 5	1.399	376.6
90	0.9721	9.533	2.14 E − 5	2.20 E − 5	1.398	381.7
100	0.9461	9.278	2.17 E − 5	2.29 E − 5	1.397	386.9
200	0.7461	7.317	2.53 E − 5	3.39 E − 5	1.390	434.5
300	0.6159	6.040	2.98 E − 5	4.84 E − 5	1.379	476.3
400	0.5243	5.142	3.32 E − 5	6.34 E − 5	1.368	514.1
500	0.4565	4.477	3.64 E − 5	7.97 E − 5	1.357	548.8
1000	0.2772	2.719	5.04 E − 5	1.82 E − 4	1.321	694.8

ตาราง ค.3 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของเอธานอล

(จากหนังสือ HEAT PIPE TRIRD EDITION P DUNN DA REAY)

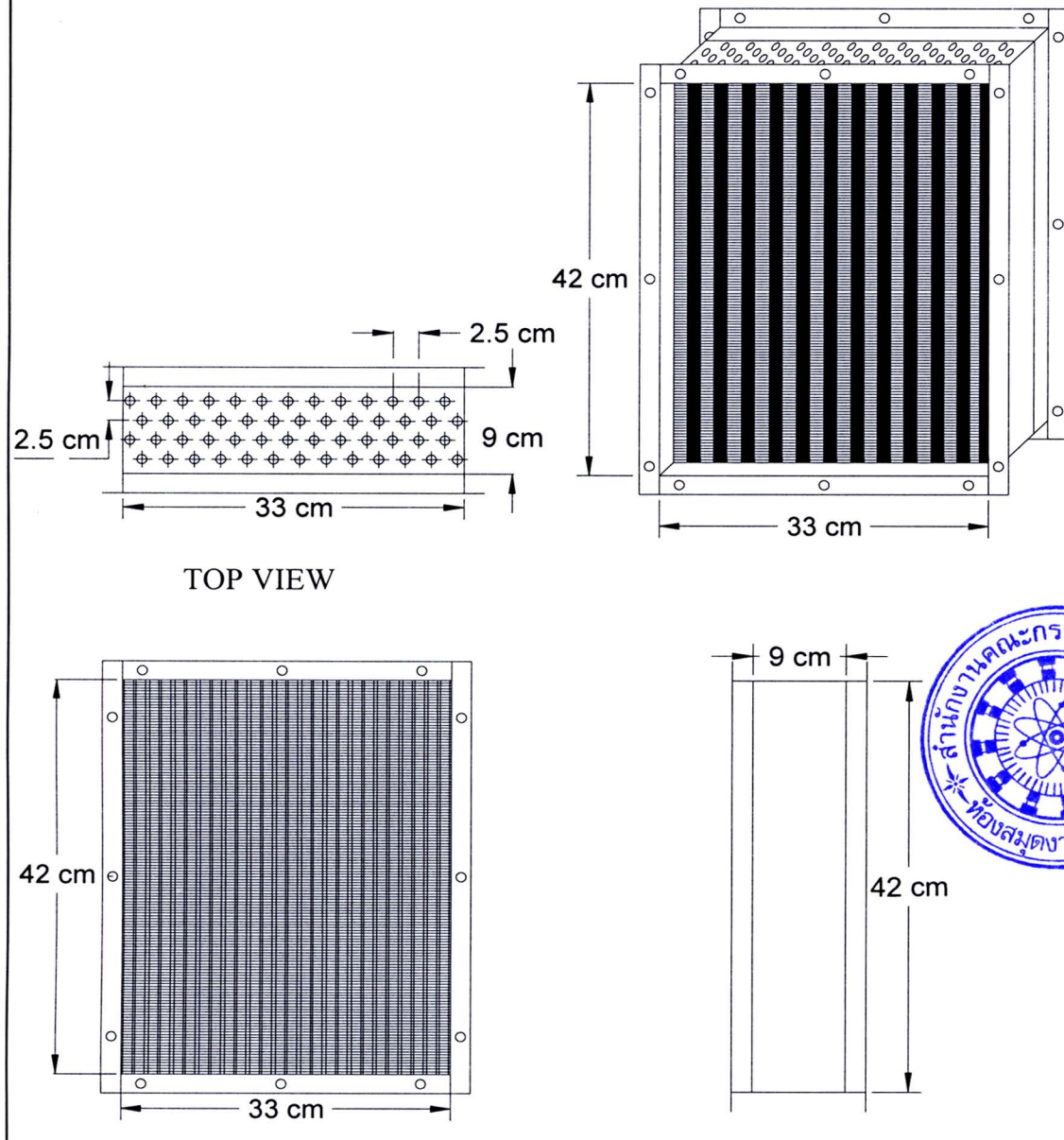
Temp. °C	Latent Heat kJ/kg	Liquid Density kg/m³	Vapour Density kg/m³	Liquid Thermal conductivity w/m°c	Liquid Viscos. cP	Vapour Viscos. cPx10²	Vapour Press. Bar	Vapour Specific Heat kJ/kg°c	Liquid Surface Tension N/mx10²
-30	939.4	825.0	0.02	0.177	3.40	0.75	0.01	1.25	2.76
-10	928.7	813.0	0.03	0.173	2.20	0.80	0.02	1.31	2.66
10	904.8	798.0	0.05	0.170	1.50	0.85	0.03	1.37	2.57
30	888.6	781.0	0.38	0.168	1.02	0.91	0.10	1.44	2.44
50	872.3	762.2	0.72	0.166	0.72	0.97	0.29	1.51	2.31
70	858.3	743.1	1.32	0.165	0.51	1.02	0.76	1.58	2.17
90	832.1	725.3	2.59	0.163	0.37	1.07	1.43	1.65	2.04
110	786.6	704.1	5.17	0.160	0.28	1.13	2.66	1.72	1.89
130	734.4	678.7	9.25	0.159	0.21	1.18	4.30	1.78	1.75

ตาราง ค.4 แสดงช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับสารทำงานต่างๆ

Medium	Melting Point (° C)	Boiling point At atmos.press.(° C)	Useful range (° C)
Helium	-272	-259	-271 - -269
Nitrogen	-210	-196	-203 - -160
Ammonia	-78	-33	-60 - 100
Freon11	-111	24	-40 – 120
Peotane	-130	23	20 – 120
Freon113	-35	48	-10 – 100
Acetone	-95	57	0 – 120
Methanol	-98	64	10 – 130
Flutec pp2*	-50	76	10 – 160
Ethanol	-112	78	0 – 130
Heptane	-90	98	0 – 150
Water	0	100	30 – 300
Flutec pp9*	-70	160	0 – 225
Thermex	12	257	150 – 395
Mercury	-39	361	250 – 650
Caesium	29	670	450 – 900
Potassium	62	774	500 – 1,000
Sodium	98	892	600 – 1,200
Lithium	179	1,340	1,000 – 1,300
Silver	960	2,212	1,800 – 2,300

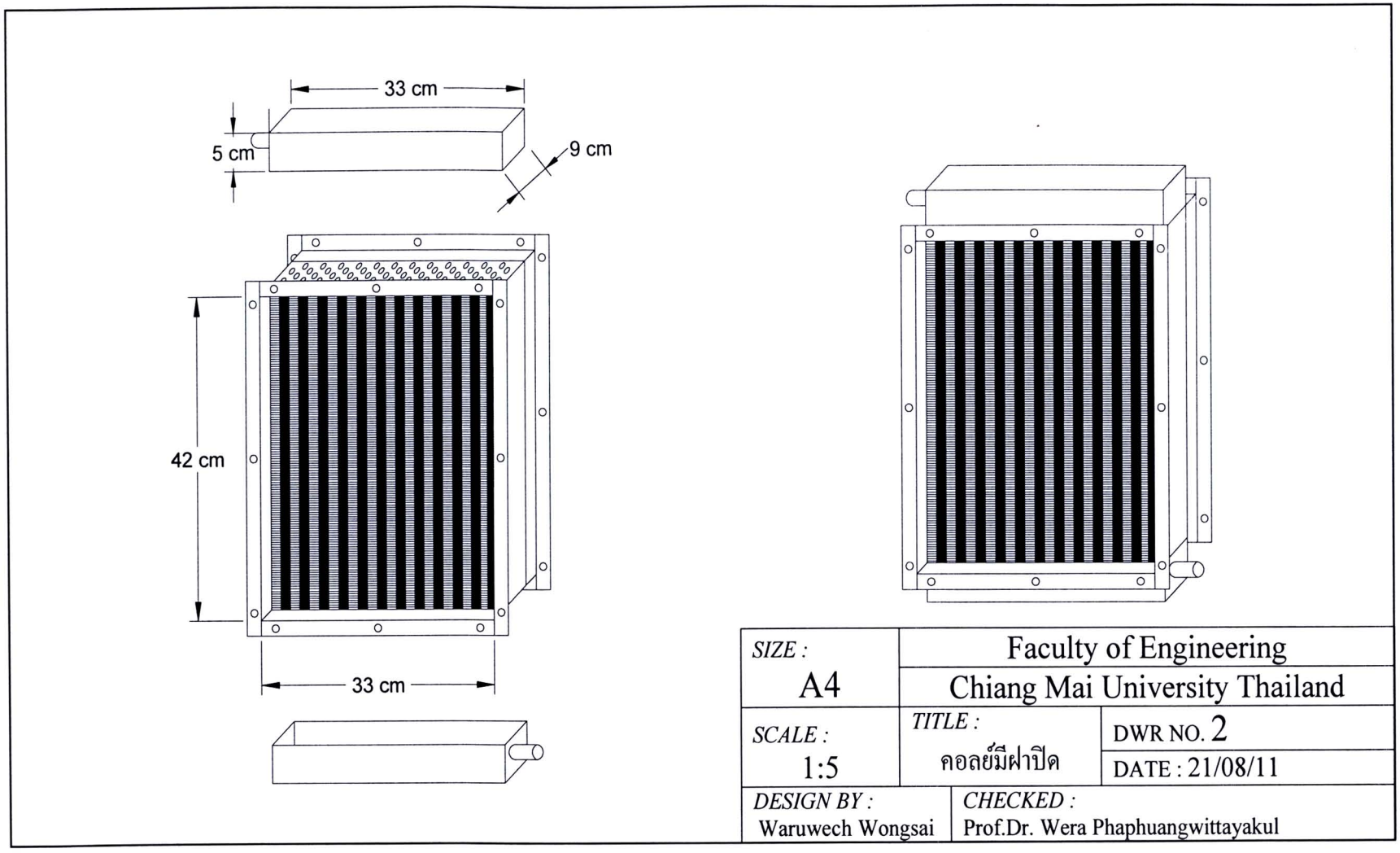
ภาคผนวก ง

ออกแบบอุปกรณ์ทดลอง

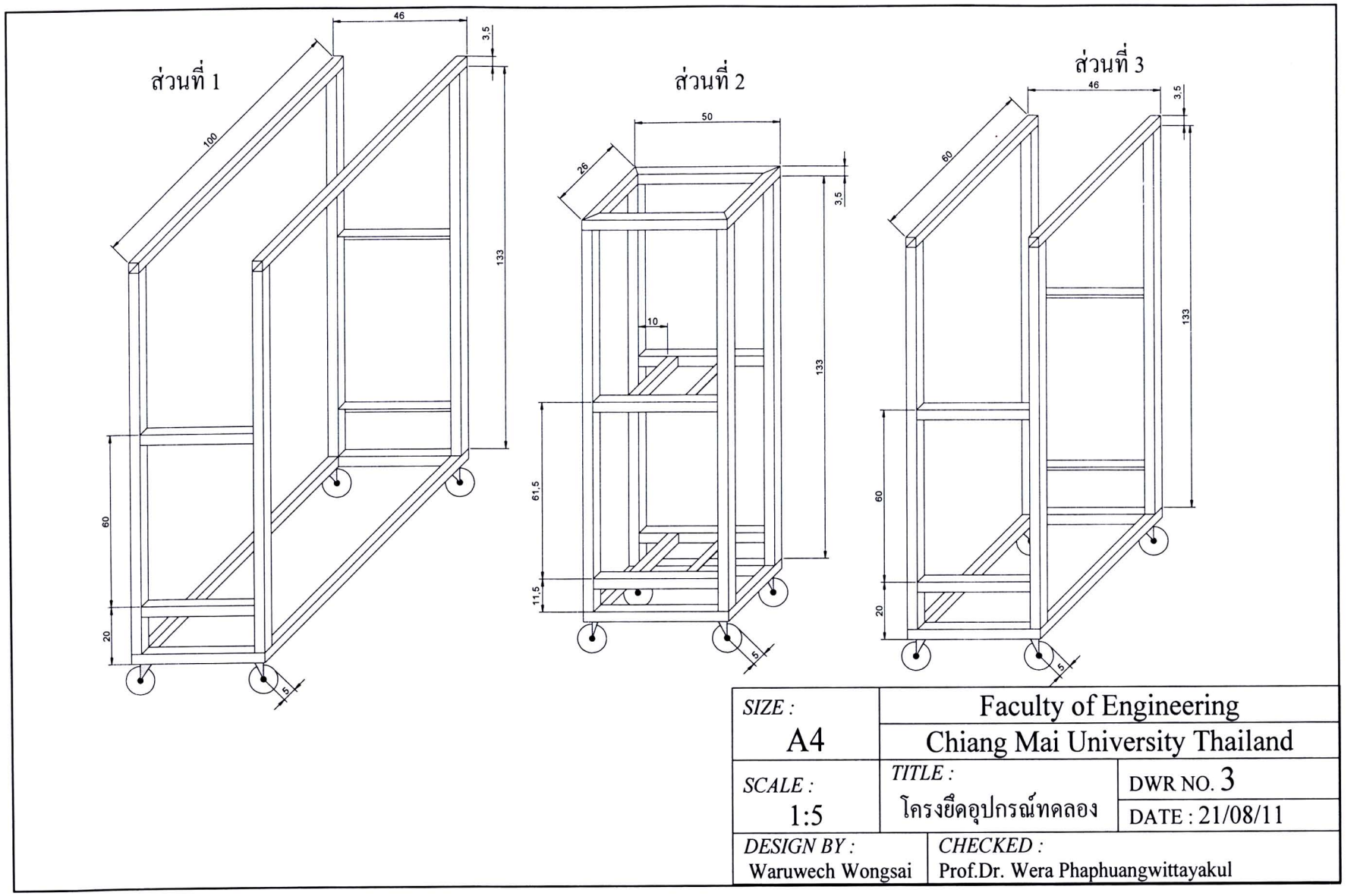


SIZE : A4	Faculty of Engineering Chiang Mai University Thailand	
SCALE : 1:5	*TITLE :* Coil	DWR NO. 1 DATE : 21/08/11
DESIGN BY : Waruwech Wongsai	*CHECKED :* Prof.Dr. Wera Phaphuangwittayakul	

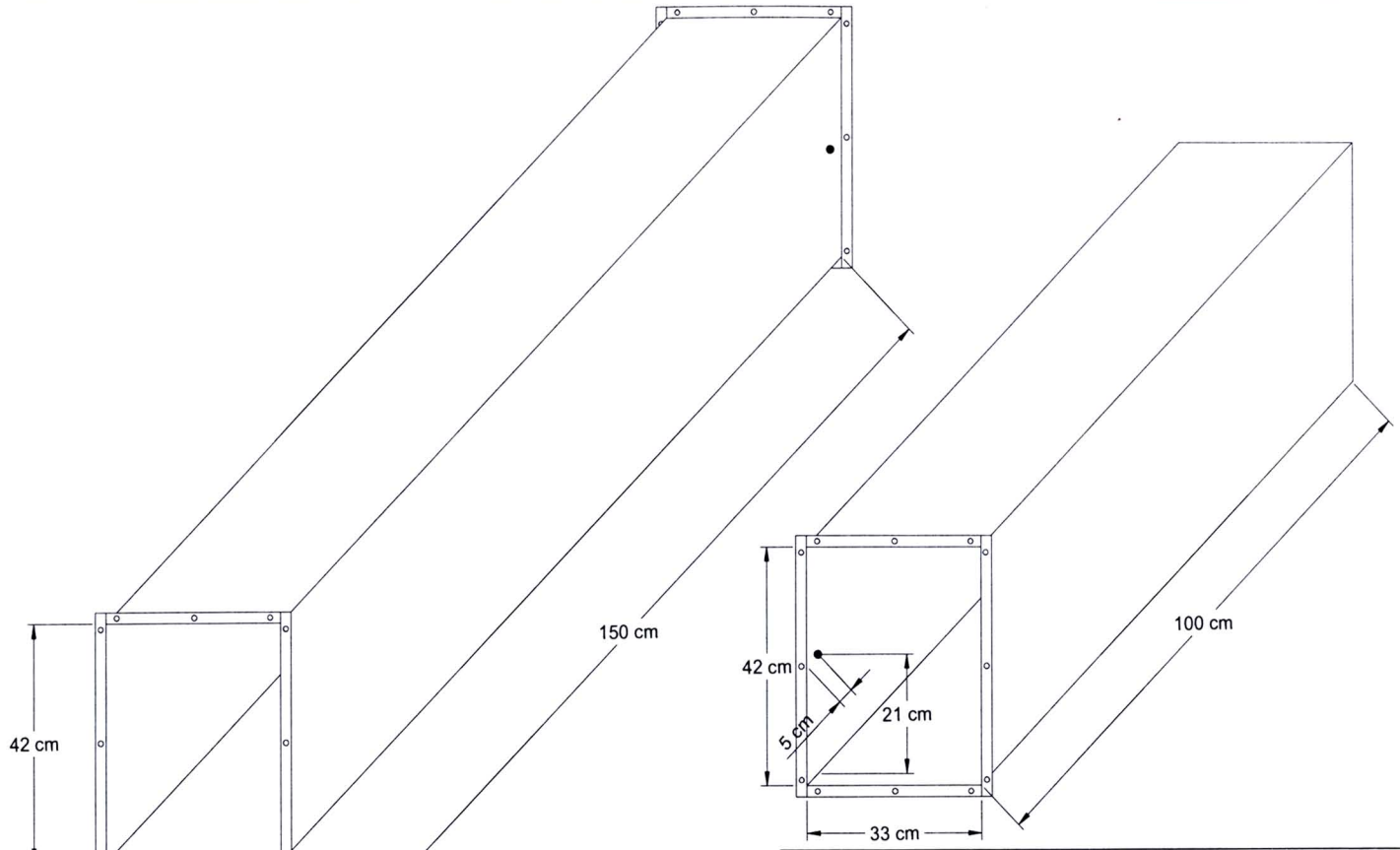
รูป ง.1 แสดงลักษณะคอลย์



รูป ง.2 แสดงคอลย์มีฝาปิด

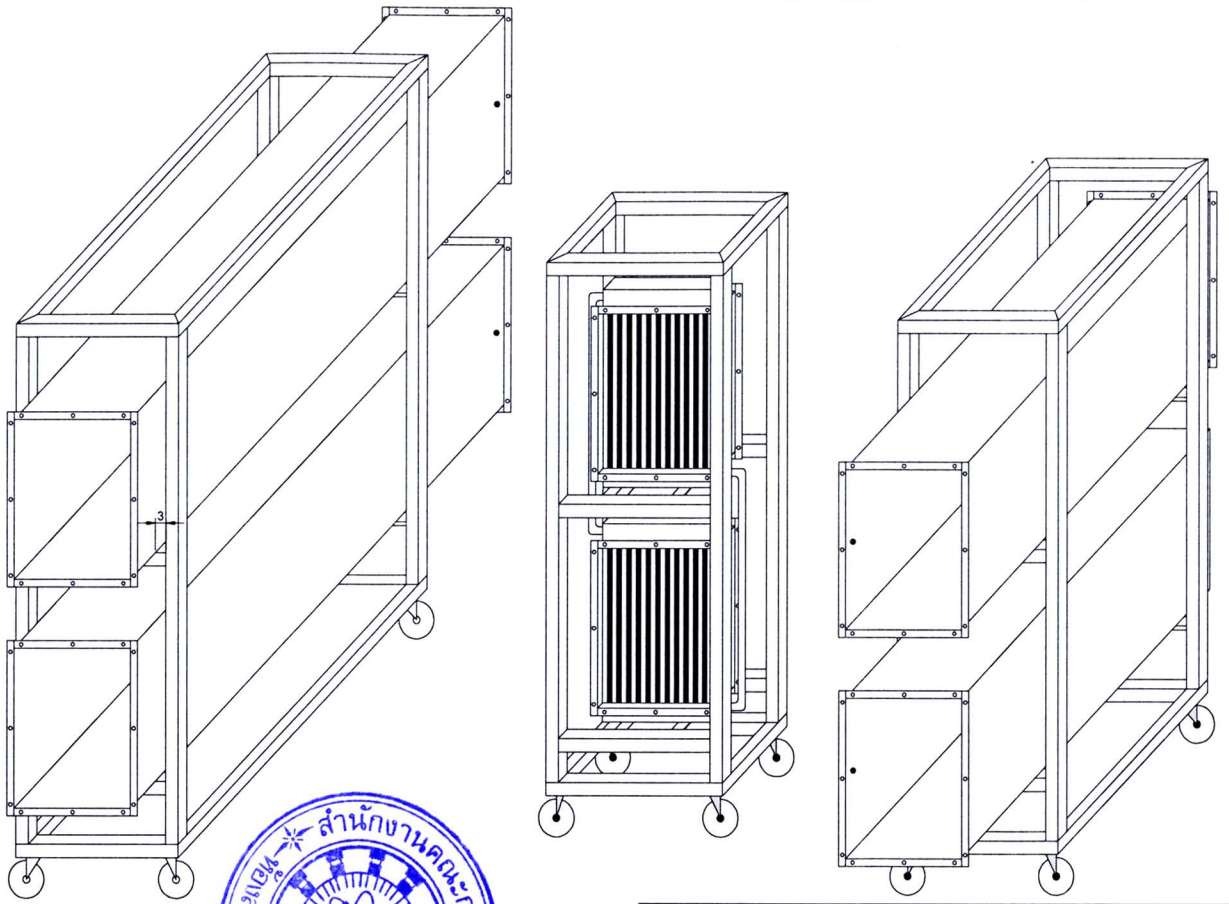


รูป ง.3 แสดงโครงยึดอุปกรณ์ทดลอง



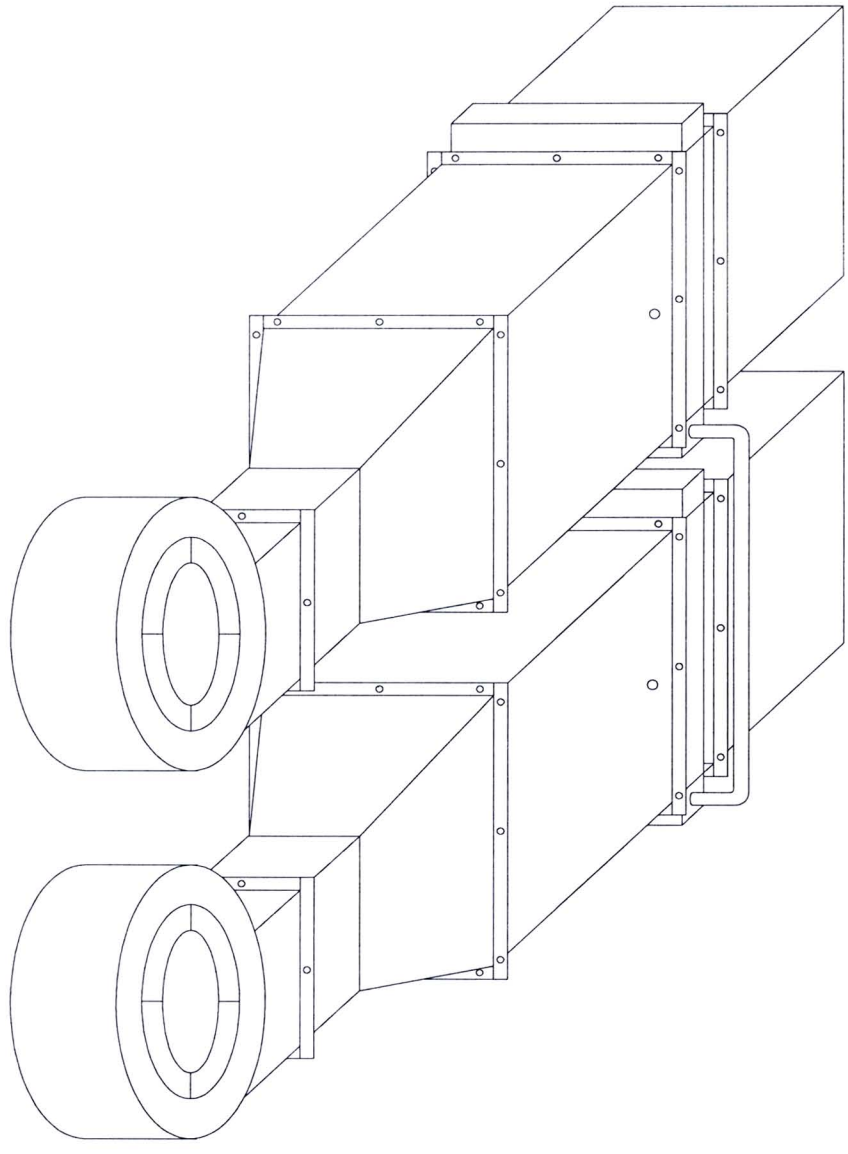
SIZE : A4	Faculty of Engineering Chiang Mai University Thailand	
SCALE : 1:5	TITLE : ท่อลม	DWR NO. 4 DATE : 21/08/11
DESIGN BY : Waruwech Wongsai	CHECKED : Prof.Dr. Wera Phaphuangwittayakul	

รูป ง.4 แสดงท่อลม



SIZE : A4	Faculty of Engineering Chiang Mai University Thailand	
SCALE : 1:5	TITLE : ประกอบชุดอุปกรณ์เข้ากับโครงยึด	DWR NO. 5 DATE : 21/08/11
DESIGN BY : Waruwech Wongsai	CHECKED : Prof.Dr. Wera Phaphuangwittayakul	

รูป ง.5 แสดงการประกอบชุดอุปกรณ์เข้ากับโครงยึด



SIZE : A4	Faculty of Engineering Chiang Mai University Thailand	
SCALE : 1:5	*TITLE :* ชุดทดลอง	DWR NO. 6 DATE : 21/08/11
DESIGN BY : Waruwech Wongsai	*CHECKED :* Prof.Dr. Wera Phaphuangwittayakul	

รูป ง.6 แสดงชุดทดลอง

ภาคผนวก จ

เอกสารเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25
19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

อิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ สัดส่วนการเติม และชนิดของสารทำงานต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ

Influence of Pipe Diameter, Filling Ratio and Working Fluid Type on Heat Performance of Looped Thermosyphon

วารุเวช วงษ์ใสย์ และ วีระ ฟ้าเพื่องวิทยากุล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
*ติดต่อ: โทรศัพท์ 083-3324703, E-mail: nongva_t@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ สัดส่วนการเติม และชนิดของสารทำงานต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ เทอร์โมไซฟอนที่ใช้เป็นแบบวงรอบ ประกอบด้วยคอยล์ส่วนทำระเหย คอยล์ส่วนควบแน่น และท่อส่วนกันความร้อน คอยล์เป็นแบบท่อกลมและครีบต่อเนื่อง มีขนาดพื้นที่ผิวหน้า 420 มม. X 330 มม. ภายในคอยล์ประกอบด้วยท่อทองแดงชนิดผิวเรียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 10.0 มม. และครีบอลูมิเนียมที่มีจำนวนครีบ 12 ครีบต่อนิ้ว หนา 0.15 มม. ทำการทดลองโดยเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อส่วนกันความร้อน 3 ขนาด คือ 34.93, 19.05 และ 9.53 มม. สัดส่วนการเติม 4 ค่า คือ 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานที่ใช้คือ เอธานอล และ น้ำ

จากการทดลองพบว่าที่สัดส่วนการเติม 75 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรส่วนทำระเหย และใช้สารทำงานเป็นเอธานอล ท่อส่วนกันความร้อนที่เป็นท่อไอ และท่อของเหลวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.05 มม. ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด

คำสำคัญ: เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ, สัดส่วนการเติม, เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, ส่วนกันความร้อน

Abstract

The objectives of this research were to study influence of pipe diameter, filling ratio and type of working fluid on heating performance of looped thermosyphon. The looped thermosyphon in this research consisted of evaporator coils, condenser coils and adiabatic section. The coils were circular tube with continuous wavy fins with a frontal area of 420 mm x 330 mm, smooth inner copper tubes with outside diameter of 10 mm and aluminium fins with fin pitch of 12 fin/inch and a thickness of 0.15 mm. The experiments were studied 3

factors i) hot air at 80 °C and 21 °C, ii) pipe diameter at 34.93, 19.05 and 9.53 mm and iii) the filling ratio of working fluid 25, 50, 75 and 100%. Ethanol and water were used as the working fluid.

The result revealed that the fill ratio at evaporator of working fluid 75 % of using ethanol and pipe diameter 0f 19.05 mm provided the maximum heat transfer.

Key words: Looped Thermosyphon, Filling Ratio, Pipe Diameter, Adiabatic Section

1. บทนำ

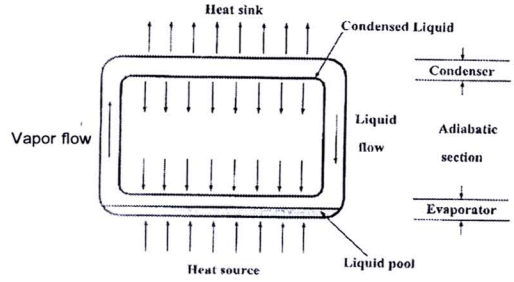
เทอร์โมไซฟอนคืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยวัสดุพรุนในการดึงสารทำงานที่กลั่นตัวกลับมายังส่วนทำระเหย ทำงานโดยหลักการส่งถ่ายความร้อนจากความร้อนแฝงของสารทำงานภายในท่อซึ่งระเหยโดยการรับความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนโดยการควบแน่น เนื่องจากความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำงานมีค่าสูงมาก จึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งได้โดยมีอุณหภูมิแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วเทอร์โมไซฟอนจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section)

เทอร์โมไซฟอนแบบท่อตั้งตรงในแนวดิ่งหรือแบบธรรมดานี้ ก็ยังมีข้อจำกัดในการทำงานอยู่ เช่น ในขณะที่ไอของสารทำงานไหลขึ้นไปหาส่วนควบแน่นอาจจะพาเอาหยดสารทำงานที่แตกตัวจากสารทำงานที่เป็นของเหลวในขณะที่ไหลสวนทางกันขึ้นไปด้วย ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีเท่าที่ควร

จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว จึงมีการพัฒนาสร้างเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ (Loop Thermosyphon) เพื่อแก้ปัญหานี้ เพราะเส้นทางการไหลของไอสารทำงานและสารทำงานที่ควบแน่นแล้วไหลแยกทางกัน จึงทำให้แก้ปัญหาที่เกิดจากการไหลสวนทางกัน อย่างไรก็ตามสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ ยังขึ้นอยู่กับตัวแปรอีกหลายตัวแปร เช่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไอ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อของเหลว สัดส่วนการเติม และชนิดของสารทำงาน เป็นต้น ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ยังไม่มีการศึกษาที่ชัดเจน จึงเป็นแนวทางในการศึกษาของงานวิจัยนี้

2. ทฤษฎี

เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ (Loop Thermosyphon) เป็นการพัฒนาสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนอีกรูปแบบหนึ่ง โดยมีการไหลของของไหลหรือสารทำงานในสถานะของเหลวและสถานะไอจะไม่ไหลสวนทางกันทำให้ช่วยลดปัญหาการเกิดการหลุดติดของหยดของเหลวไปปนกับไอที่กำลังลอยขึ้น (Entrainment) และเพิ่มความคล่องตัวในการวางตำแหน่งของส่วนระเหยและส่วนควบแน่น



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ

ที่มา:Faghri(1995)

ลักษณะของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบสามารถอธิบายได้ในรูปที่ 1 ในหนึ่งวงรอบประกอบด้วยส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น ต่อเข้ากันด้วยท่อส่งไอและท่อส่งของเหลวกลับ หลักการทำงาน เมื่อให้ความร้อนกับส่วนทำระเหย จะทำให้สารทำงานกลายเป็นไอเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่น จากนั้นส่วนควบแน่นก็จะควบแน่นไอกลายเป็นของเหลวไหลกลับมายังส่วนทำระเหยอีกครั้ง

2.1 การถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเทอร์โมไซฟอน

ค่าความร้อนที่ถูกดูดกลืนโดยส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน

$$Q_e = \dot{m}_e C_p \Delta T_e \qquad (1)$$

โดยที่ $\dot{m}_e$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของส่วนทำระเหย (kg/s), C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะ (J/kg-°C), ΔT_e คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในส่วนทำระเหย (°C)

ค่าความร้อนที่คายออกโดยส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอน

$$Q_c = \dot{m}_c C_p \Delta T_c \qquad (2)$$

โดยที่ $\dot{m}_c$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของส่วนทำระเหย (kg/s), ΔT_c คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในส่วนทำระเหย (°C)

2.2 ค่าประสิทธิผล(Effectiveness)ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเทอร์โมไซฟอน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิผลซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติที่บอกถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนดังนี้

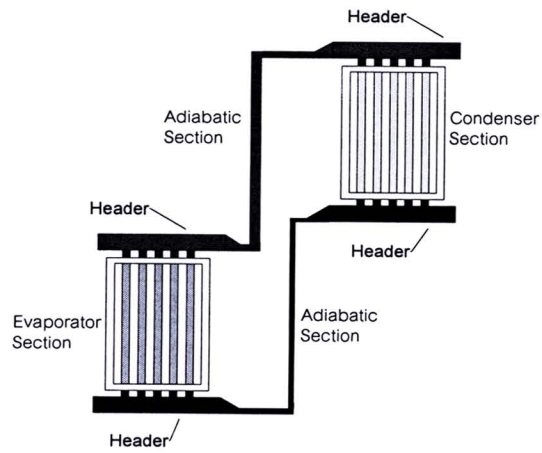
$$Eff = \frac{(\dot{m}C_p)_c}{(\dot{m}C_p)_{min}} \frac{(T_{c,out} - T_{c,in})}{(T_{e,in} - T_{c,in})} \qquad (3)$$

$$Eff = \frac{(\dot{m}C_p)_c}{(\dot{m}C_p)_{min}} \frac{(T_{c,out} - T_{c,in})}{(T_{e,in} - T_{c,in})} \qquad (4)$$

โดยที่ $T_{e,in}$ และ $T_{c,in}$ คือ อุณหภูมิอากาศขาเข้าส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น (°C), $T_{e,out}$ และ $T_{c,out}$ คือ อุณหภูมิอากาศขาออกส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น (°C)

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

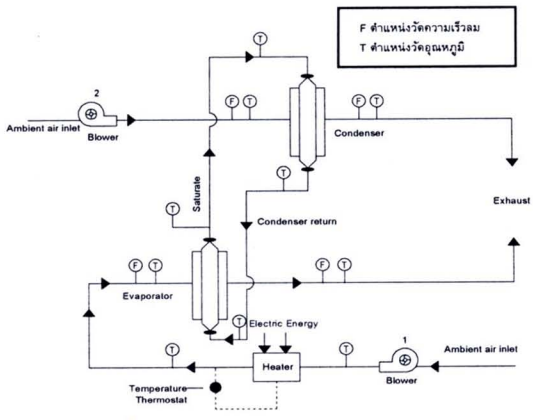
3.1 เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ



รูปที่ 2 ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ

หลักการทำงานของรูปที่ 2 เมื่อส่วนทำระเหยได้รับความร้อน ทำให้สารทำงานร้อนขึ้นกลายเป็นไอ ไอสารทำงานเคลื่อนที่ไปตามท่อไอ ไปยังส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอน เทอร์โมไซฟอนส่วนควบแน่นแลกเปลี่ยนความร้อนของไอสารทำงานกับอากาศ ไอของสารทำงาน เมื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศแล้วทำให้อุณหภูมิลดลง ควบแน่นกลายเป็นของเหลวเคลื่อนที่กลับไปยังส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน

3.2 ชุดอุปกรณ์ทำวิจัย



รูปที่ 3 ชุดอุปกรณ์ทำวิจัย

วิธีการทดลอง

ทำการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ สัดส่วนการเติม และชนิดของสารทำงานต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

1. เลือกขนาดท่อส่วนกันความร้อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต้องการทดสอบ ซึ่งท่อมีความยาว 1.2 เมตร

2. ต่อท่อทองแดงเข้ากับเทอร์โมไซฟอนส่วนควบแน่นและส่วนระเหย

3. ทำการดูดอากาศในส่วนของเทอร์โมไซฟอนออก เพื่อทำให้เป็นสุญญากาศ ใช้เวลาในการดูดอากาศออกประมาณ 30 นาที

4. เติมสารทำงานในปริมาตร 25 เปอร์เซ็นต์ ของส่วนทำระเหย โดยใช้หลักการแรงดึงดูดของโลกเติมจากด้านบนของระบบในแนวดิ่ง

5. ติดตั้งชุดทดสอบบนแท่นวาง โดยให้ชุดทำระเหยอยู่ด้านล่าง และชุดควบแน่นอยู่ด้านบน

6. ติดตั้งชุดเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบเข้ากับชุดทดลอง

7. ปรับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ 80 °C และอากาศเย็นไว้ที่อุณหภูมิ 21 °C โดยใช้เทอร์โมสตัทเป็นตัวควบคุม

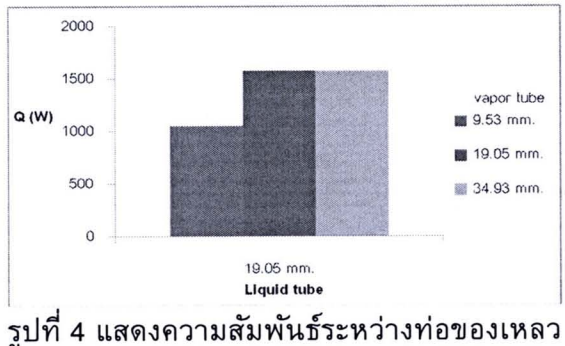
8. ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ตำแหน่งที่ต้องการวัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องอ่านอุณหภูมิ เพื่อดูแนวโน้มของอุณหภูมิจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) จึงเริ่มบันทึกค่าอุณหภูมิทุกจุด

9. ทำการทดสอบซ้ำจากหัวข้อที่ 4 โดยเปลี่ยนปริมาตรการเติมสารทำงานเป็น 50, 75, และ 100 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรส่วนทำระเหย

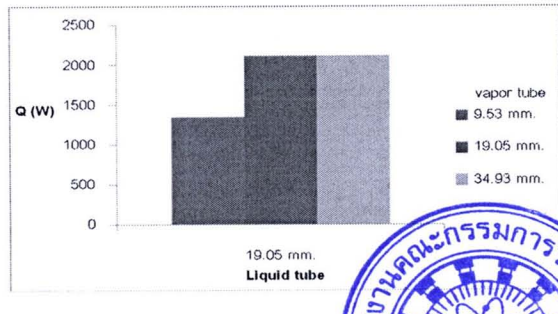
10. ทำการทดสอบซ้ำจากหัวข้อที่ 1 ถึง 9 โดยเปลี่ยนขนาดท่อ และชนิดของสารทำงาน

4.ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไอต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ



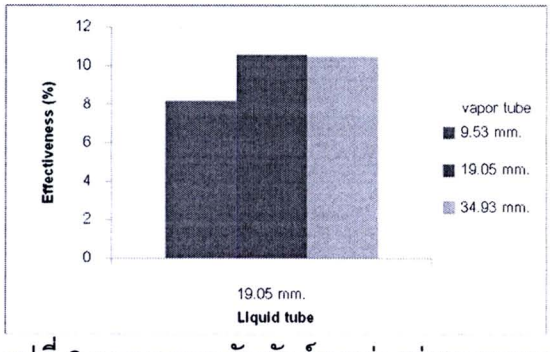
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างท่อของเหลวกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ใช้น้ำเป็นสารทำงาน



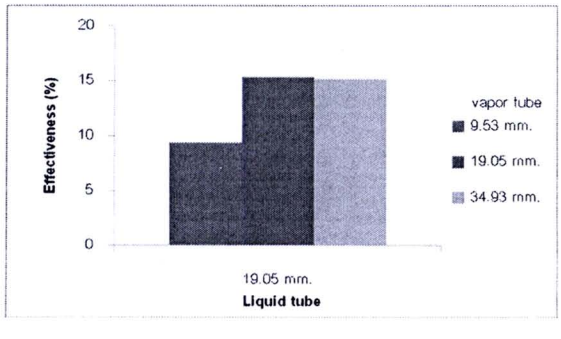
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างท่อของเหลวกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ใช้เอธานอลเป็นสารทำงาน

จากรูปที่ 4 และ 5 เป็นการทดลองให้ขนาดท่อของเหลวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่ เพื่อวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ เมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไอ

พิจารณาที่สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย พบว่าท่อไอขนาด 9.53 mm. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าท่อไอขนาด 19.05 mm. และ 34.93 mm. เนื่องจากท่อไอมีขนาดเล็กทำให้เกิดการส่งถ่ายไอของสารทำงานได้น้อย แต่เมื่อท่อไอมีขนาดใหญ่จะทำให้ส่งถ่ายไอได้ดีกว่า



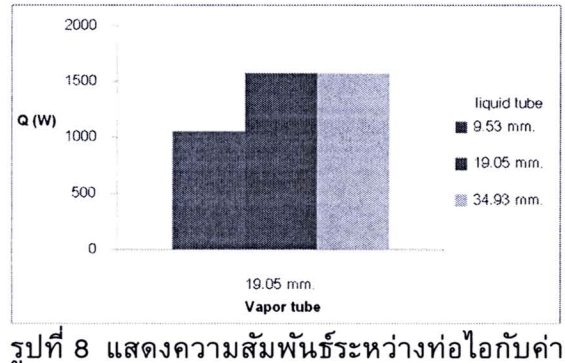
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างท่อของเหลวกับค่าประสิทธิผล เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ใช้น้ำเป็นสารทำงาน



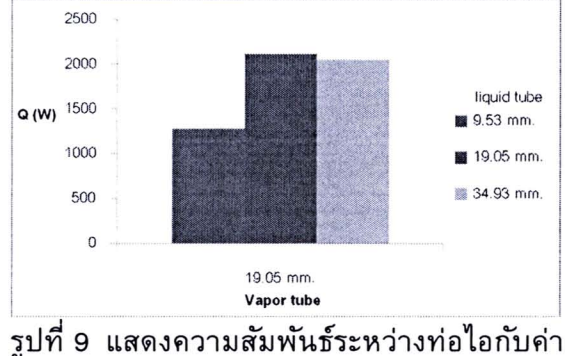
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างท่อของเหลวกับค่าประสิทธิผล เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ใช้เอธานอลเป็นสารทำงาน

จากรูปที่ 6 และ 7 พิจารณาที่สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย พบว่าท่อไอขนาด 9.53 mm. มีประสิทธิผลน้อยกว่าท่อไอขนาด 19.05 mm. และ 34.93 mm. เนื่องจากมีอัตราการถ่ายเทความร้อนมาก จึงทำให้ค่าประสิทธิผลมากไปด้วย

4.2 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อของเหลวต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างท่อไอกับค่าประสิทธิผล เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ใช้น้ำเป็นสารทำงาน

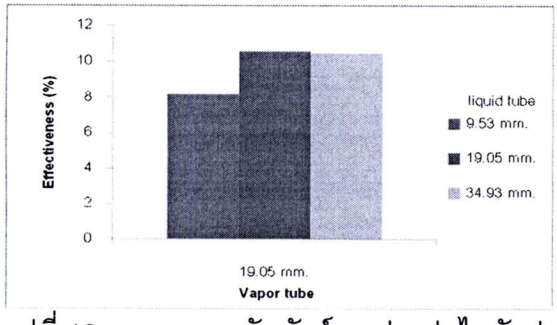


รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างท่อไอกับค่าประสิทธิผล เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงาน 75

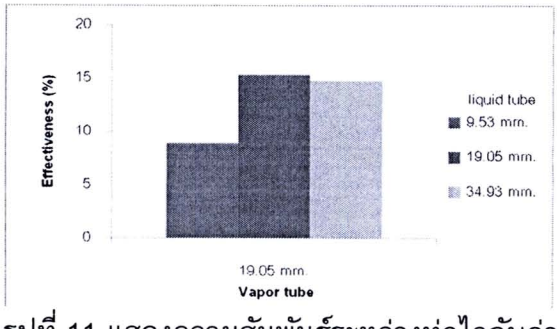
เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ใช้เอธานอลเป็นสารทำงาน

จากรูปที่ 8 และ 9 เป็นการทดลองให้ขนาดท่อไอคงที่ ที่สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ เพื่อวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ เมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อของเหลว

พิจารณาที่สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย พบว่าที่ท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. และ 34.93 mm. เนื่องจากสารทำงานที่ควบแน่นแล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยได้ไม่ดีพอ



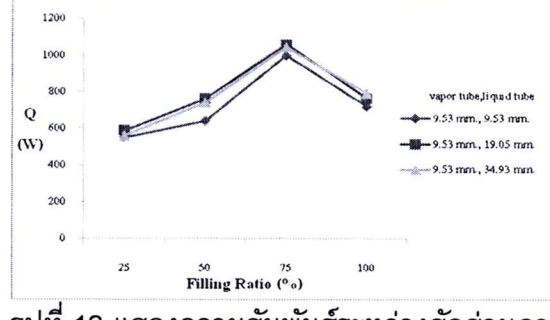
รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างท่อไอกับค่าประสิทธิผล เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ใช้น้ำเป็นสารทำงาน



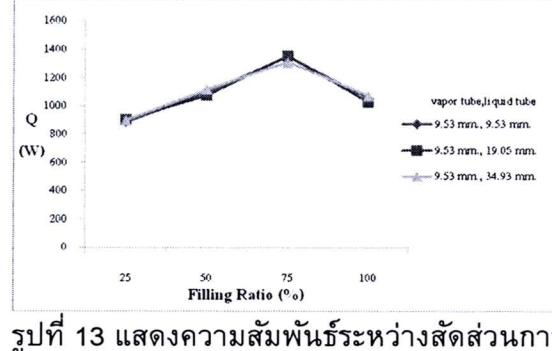
รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างท่อไอกับค่าประสิทธิผล เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ใช้เอธานอลเป็นสารทำงาน

จากรูปที่ 10 และ 11 พิจารณาที่สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย พบว่าท่อของเหลวขนาด 9.53 mm. มีประสิทธิผลน้อยกว่าท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. และ 34.93 mm. เนื่องจากมีอัตราการถ่ายเทความร้อนมาก จึงทำให้ค่าประสิทธิผลมากไปด้วย

4.3ผลของสัดส่วนการเติมสารทำงานต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ



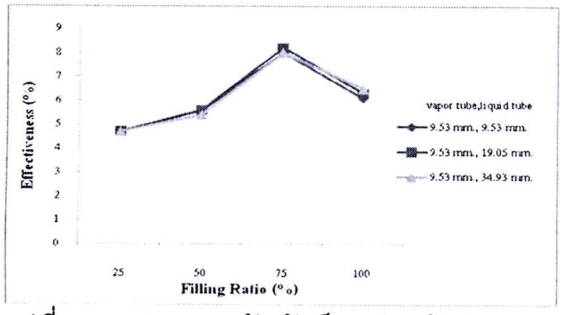
รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน



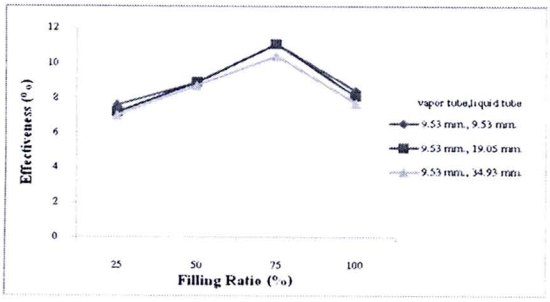
รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ใช้เอธานอลเป็นสารทำงาน

จากรูปที่ 12 และ 13 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการถ่ายเทความร้อน เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงานเปลี่ยนไป ในการ

ทดลองนี้มีสัดส่วนการเติมสารทำงานอยู่ 4 กรณี คือ 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย พบว่าสัดส่วนการเติมสารทำงานมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน คือ เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงานเปลี่ยนจาก 25 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำ เพราะมีปริมาณสารทำงานน้อย และเมื่อเพิ่มสัดส่วนการเติมสารทำงานขึ้นไปเลื่อยๆ จนถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ส่งผลให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีสารทำงานเพิ่มขึ้น แต่เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงานเปลี่ยนจาก 75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ไปเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ของส่วนทำระเหย ส่งผลให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง เกิดจากเมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงานมากระดับของของเหลวในคอยล์ส่วนทำระเหยจะสูงขึ้น ทำให้จุดเดือดของสารทำงานสูงขึ้น จึงเกิดการระเหยช้าลง



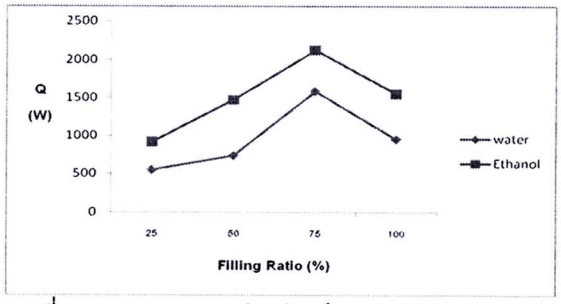
รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับค่าประสิทธิผล ที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน



รูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับค่าประสิทธิผล ที่ใช้เอธานอลเป็นสารทำงาน

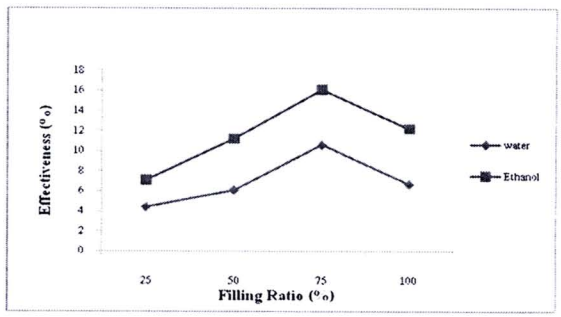
จากรูปที่ 14 และ 15 แสดงการเปลี่ยนแปลงประสิทธิผล เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงานเปลี่ยนไป มีผลต่อประสิทธิผลของเทอร์โมไซฟอน คือ เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงานเปลี่ยนทำให้ประสิทธิผลเปลี่ยน

4.4 ผลของชนิดสารทำงานต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ



รูปที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน

จากรูปที่ 16 ที่สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนมากที่สุด เมื่อสารทำงานเป็นเอธานอล เนื่องจาก เอธานอลมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอต่ำ จึงทำให้สารทำงานระเหยเป็นไอได้ง่ายกว่าสารทำงานที่มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง



รูปที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับประสิทธิผลของเทอร์โมไซฟอน

จากรูปที่ 17 ที่ทุกสัดส่วนการเติมสารทำงาน พบว่าสารทำงานที่เป็นเอธานอลมีประสิทธิผลสูงกว่าสารทำงานที่เป็นน้ำ เนื่องจากเอธานอลมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าน้ำในทุกสัดส่วนการเติม

5.สรุปผลการวิจัย

5.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไอมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิผลของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ เนื่องจากถ้าใช้ท่อไอขนาดเล็กเกินไปจะทำให้ไอที่เกิดขึ้นในส่วนทำระเหยไหลไปส่วนควบแน่นไม่ทัน ในการทดลองนี้ท่อไอขนาด 19.05 mm. เพียงพอต่อการส่งผ่านไอของสารทำงาน

5.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อของเหลวมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิผลของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ เนื่องจากถ้าใช้ท่อของเหลวขนาดเล็กเกินไปจะทำให้ของเหลวที่ควบแน่นแล้วไหลกลับไปส่วนทำระเหยไม่ทัน ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนไม่ดีเท่าที่ควร และเมื่อใช้ท่อของเหลวใหญ่เกินไป ถึงแม้จะมีการถ่ายเทความร้อนดี แต่จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายมากกว่าใช้ท่อขนาดพอดี ในการทดลองนี้ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. เพียงพอต่อการส่งผ่านสารทำงานที่ควบแน่นแล้ว

5.3 สัดส่วนการเติมสารทำงานมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิผลของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ คือ เมื่อเติมสารทำงานน้อยเกินไปจะทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนของสารทำงานกับอากาศน้อยทำให้มีการถ่ายเทความร้อนน้อย ในการทดลองนี้ที่สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิผลดีที่สุด

5.4 สารทำงานที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิผลของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบสูงที่สุดในการทดลอง คือ เอธานอล

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 บทความจากเอกสารประกอบการประชุม

[1] Dube, V., Noie-Baghban, S.H., Awasthi, B., Akbarzadeh, A. (2000). *Waste heat recoveryusing a loop thermosyphon heat exchanger in a bakery.* Proc. 6th Int. Heat pipe symposium, Thailand, 174-183.

[2] Lee, J.S., Rhi, S.H., Kwon, J.H. and Lee, Y. (1998). *Use of two-phase loop thermosyphons for heat extraction of enclosed spaces : experiment and analysis.* Proc. 11th Int. Heat pipe conf., Japan, 82-87.

[3] Phaphuangwittayakul, W. (2004). *Loop thermosyphon as an energy saver for heat pumpdryer.* Chiang Mai University, Thailand, p.29-34.

7.2 หนังสือ

[1] ประดิษฐ์ เทอดทูล. (2536). ท่อความร้อน. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[2] สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ. (2548). การถ่ายเทความร้อน. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร.มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[3] สาโรจ ไหวเคลื่อน. (2540). กรณีศึกษาการใช้เทอร์โมไซฟอนในระบบควบคุมสภาวะอากาศห้อง.เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[4] Bejan, A., Kraus, A.D., (1948). *Heat Transfer Hand Book*. Editors. P.182- 230.

[5] Faghri, A., (1995). *Heat pipe science and technology*. Tayloy & Francis, Washington, USA.

[6] Holman, J.P.,(1976). Heat Transfer, 4 Ed., McGraw Hill Book Company,New York, 1976.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล นายวารุเวช วงษ์ใสย์

วัน เดือน ปีเกิด 21 สิงหาคม 2528

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น
โรงเรียนกุดดินจี่พิทยาคม ปีการศึกษา 2543

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนอุดรพิชัยรักษ์พิทยา ปีการศึกษา 2546

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปีการศึกษา 2550