บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานโครงงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

3.1 การศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับระบบทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ใน โครงงานวิจัย

3.2 การออกแบบและคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

3.3 การออกแบบและคำนวณอุปกรณ์ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

3.4 การสร้างเครื่องต้นแบบระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

3.1 การศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับระบบทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงงานวิจัย

การดำเนินงานศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลจากการทดสอบของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.1.1 การทดสอบตามวิธีของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์มหาวิทยาลัยนเรศวร

การทดสอบตามวิธีของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียเป็นการทดสอบแบบกลางแจ้ง (Outdoor Test) โดยที่น้ำเย็นจะไหลเข้าไปแทนที่น้ำร้อนที่อยู่ในถังน้ำร้อนจนกระทั่งน้ำร้อนถูกระบายออกจนหมด อัตราการไหลของของไหลถูกกำหนดให้มีค่าคงที่ตลอดการทดสอบมีค่า 6 ลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่ที่อัตราการไหลของของไหล ระดับนี้ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการแบ่งชั้นของน้ำเย็นและน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนทำให้สามารถหาค่าพลังงานความร้อนสะสมที่ใช้ประโยชน์รายวันของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสอาทิตย์ได้ การวัดอุณหภูมิจะทำการวัด ณ จุดที่น้ำเย็นเข้าสู่ระบบ และน้ำร้อนที่ออกจากระบบ

<u>กระบวนการทดสอบจะทดสอบสภาวะการใช้น้ำที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้</u>

Method A: สภาวะที่ใช้น้ำร้อนจนหมดถังในตอนเช้า (ทำการปล่อยน้ำในถังเก็บน้ำร้อนในตอนเช้าของวันถัดไป)

Method B: สภาวะที่ใช้น้ำร้อนจนหมดถังในตอนเย็น (ทำการปล่อยน้ำในถังเก็บน้ำร้อนในตอนเย็น)

Method C:สภาวะที่ใช้น้ำร้อน 3 เวลาในแต่ละวัน ครั้งละ1/3 ของถัง (ทำการปล่อยน้ำในถังเก็บน้ำร้อนในตอนกลางวัน ตอนเย็น และตอนเช้าของวันถัดไป)

3.1.2 ข้อกำหนดในการทดสอบ

การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติและประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มีข้อกำหนดในการทดสอบดังนี้

1) อัตราการไหลของน้ำมีค่าคงที่เท่ากับ 6 ลิตรต่อนาที ทำการตรวจสอบทุก ๆ 3 นาที

2) ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีมุมเอียงของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ขนาดของพื้น ที่รับรังสีแสงอาทิตย์ และถังเก็บน้ำร้อนมีขนาดความจุใกล้เคียงกัน แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ทั้งหมดหันไปทางทิศใต้

3)ทำการวัดอุณหภูมิน้ำที่เข้าและออกจากระบบ บันทึกค่าทุกๆ 1 นาที เพื่อนำไปคำนวณหาพลังงานความร้อนสะสมที่ใช้ประโยชน์

4)การทดสอบจะเป็นการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนรายวันของระบบ โดยทำการเก็บค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์รายวัน และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ยทั้งวันตั้งแต่เวลา 8.00 – 18.00น.

การทดสอบจะใช้วิธีการทดสอบของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียซึ่งทำการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของระบบโดยทำการทดสอบที่สภาวะการใช้น้ำต่าง ๆ กันดังนี้

1.ทำการปล่อยน้ำตอนเช้า (Method A) จะทำการปล่อยน้ำมีอัตราการไหลของน้ำ 6 ลิตรต่อนาที หรือ 0.1 กิโลกรัมต่อวินาที เป็นเวลา 33 นาที ซึ่งจะมีปริมาตรของน้ำที่ถูกปล่อย 198 ลิตร ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกของระบบทุก ๆ 1 นาที โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลที่เชื่อม

ต่อกับ เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Recorder) เป็นเครื่องมือในการวัดอุณหภูมิ ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์รายวันเป็นค่าที่เก็บไว้ในวันก่อนหน้านี้

2.ทำการปล่อยน้ำในตอนเย็น (Method B) ให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 6 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 33 นาที และทำการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ดังเช่นข้อ 1 แต่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เป็นค่าที่ทำการบันทึกไว้วันเดียวกับทำการปล่อยน้ำ

3.ทำการปล่อยน้ำ 3เวลา (Method C) คือ เวลากลางวัน เย็น และเวลาเช้าของวันถัดไป มีอัตราการไหลเท่ากับ 6 ลิตรต่อนาที แต่ละช่วงให้ปล่อยน้ำเป็นปริมาตร 1/3ของปริมาตรรวม (66 ลิตร) ใช้เวลาการปล่อย 11 นาที ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ยจะค่าที่ทำการวัดในวันที่ทำการทดสอบ

การทดสอบตามวิธีของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Direct ซึ่งมีระบบการทำงานดังนี้

เครื่องทำน้ำร้อนระบบ Direct มีส่วนประกอบได้แก่ แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ปั๊มน้ำไหลเวียนในระบบ ถังเก็บน้ำร้อน และระบบทำความร้อนเสริม (Back up Heating System) น้ำที่ใช้ทำน้ำร้อนคือน้ำจากท่อประปา หรือจากบ่อน้ำ จะไหลเป็นวงจรสู่ถังน้ำและไหลผ่านแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ได้น้ำร้อนอยู่ส่วนบนของถัง น้ำที่เย็นจะไหลเวียนลงสู่ก้นถัง มีปั๊มบังคับให้น้ำเย็นไหลเข้าแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

การทำงานของปั๊มจะทำเฉพาะช่วงเวลากลางวัน อัตราการไหลเวียนขึ้นอยู่กับการกำหนดอุณหภูมิของน้ำร้อน โดยมี DWH Control เป็นตัวส่งสัญญาณให้ปั๊มทำงาน สำหรับ Check Valve จำเป็นต้องติดไว้เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำร้อนในช่วงเวลากลางคืน ระบบเครื่องทำน้ำร้อนจะมีความดัน 200-300 kPa (2-3 atm) หากความดันเกินกว่ากำหนด Safety Valve จะเปิดเพื่อลดความดันให้ระบบปลอดภัยจากการแตกระเบิด

3.1.3 ข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิของน้ำจากระบบทำน้ำร้อนโดยพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

ได้นำข้อมูลจากการทดสอบอุณหภูมิของน้ำมาพิจารณาใช้กับระบบทำความเย็นแบบดูดซึม โดยนำข้อมูลการทดสอบ Method C ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีดังนี้

1 มีนาคม 2542

TIME	Volume (l)	Ti(1)(°C)	To(1) (°C)	Ti(2)(°C)	To(2) (°C)	Ti(3)(°C)	To(3)(°C)	Flow (kg/s)
12.3	6	30.5	50.2	31.3	50.2	32	53.8	0.1
12.31	12	29.9	50.3	30.2	50.2	30.9	53.8	0.1
12.32	18	30.3	50.4	29.9	50.4	31	53.6	0.1
12.33	24	30.2	50.6	30.3	50.2	31.4	53.6	0.1
12.34	30	30.2	50.4	30.1	50.2	31.6	53.2	0.1
12.35	36	30.2	49.8	30.2	50.4	31.9	53.1	0.1
12.36	42	30.3	50.1	30	50.1	31.6	52.6	0.1
12.37	48	30.2	49.8	29.9	49.7	31.4	51.9	0.1
12.38	54	30.2	49.4	30	49.5	31.6	51.6	0.1
12.39	60	30.2	49.8	30	49.8	31.7	51.2	0.1
12.40	66	30	48.9	30	49.1	31.5	53.7	0.1
17.58	72	31.7	54.1	32.5	51.1	33	55.2	0.1
17.59	78	32.2	53.8	32.3	51.7	32.5	55.4	0.1
18.00	84	31.8	53.8	32	51.7	32.4	55.2	0.1
18.01	90	31.4	53.8	31.8	51.6	32.2	55.4	0.1
18.02	96	31	53.7	31.4	51.8	31.9	55.2	0.1
18.03	102	30.6	53.4	31	52.1	31.5	55.2	0.1
18.04	108	30.4	53.4	30.6	51.9	31.1	55.2	0.1
18.05	114	30.3	53.5	30.3	51.9	31	55	0.1
18.06	120	30.4	53.2	30.5	51.9	31.3	54.5	0.1
18.07	126	30.2	53.4	30.4	51.7	31.3	54	0.1
18.08	132	30.2	53.1	30.4	51.5	31.3	53.8	0.1

ตารางที่ 3.1(ก) ตารางแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ วันที่ 1 – 2 มีนาคม 2542

2 มีนาคม 2542

TIME	Volume (l)	Ti(1)(°C)	To(1) (°C)	Ti(2)(°C)	To(2) (°C)	Ti(3)(°C)	To(3)(°C)	Flow (kg/s)
8.06	138	28	46	27.8	44.7	28.2	46.9	0.1
8.07	144	28.3	47	27.9	44.3	28.2	48	0.1
8.08	150	28.4	47.1	28.3	45.5	28.6	48	0.1
8.09	156	28.2	47.2	28	45.6	28.2	48	0.1
8.10	162	28.1	47	28.1	45.7	28.2	47.8	0.1
8.11	168	28.2	46.8	28.2	45.6	28	47.6	0.1
8.12	174	28.7	46.7	28.2	45.7	27	47.6	0.1
8.13	180	28.6	46.4	28.6	45.6	28.2	47.5	0.1
8.14	186	28.4	46.2	28.2	45.5	28.7	47.6	0.1
8.15	192	28.6	46	28.6	45.4	28.3	47.4	0.1
8.16	198	28.5	45.9	28.7	45.3	28.6	47.2	0.1

ตารางที่ 3.1(ข) ตารางแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ วันที่ 1 – 2 มีนาคม 2542(ต่อ)

22 กุมภาพันธ์ 2542

TIME	Volume(l)	Ti(1)(oC)	To(1)(oC)	Ti(2)(oC)	To(2)(oC)	Ti(3)(oC)	To(3) (oC)	Flow (kg/s)
12.14	6	28.7	54.7	29.4	55.1	28.7	54.3	0.1
12.15	12	28.7	54.5	28.9	55.4	28.7	55.8	0.1
12.16	18	28.9	55	28.7	55.6	28.6	56.7	0.1
12.17	24	28.5	54.7	28.7	55.8	28.5	57.6	0.1
12.18	30	28.7	54.7	28.6	55.5	28.5	57.4	0.1
12.19	36	28.6	54.9	28.6	55.8	28.6	57.6	0.1

ตารางที่ 3.2(ก) ตารางแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ วันที่ 22 - 23 กุมภาพันธ์ 2542

TIME	Volume(l)	Ti(1)(oC)	To(1)(oC)	Ti(2)(oC)	To(2)(oC)	Ti(3)(oC)	To(3) (oC)	Flow (kg/s)
12.20	42	29	54.4	29	56.2	29.2	57	0.1
12.21	48	28.7	54.5	29	56.1	28.9	57.3	0.1
12.22	54	28.7	53.7	29	55.8	28.6	56.4	0.1
12.23	60	28.9	53.4	29	56.1	28.7	55.4	0.1
18.11	66	28.6	52.8	28.7	55.8	28.9	54.6	0.1
18.12	72	28.6	52.6	28.7	55.4	29	54.6	0.1
18.13	78	29	56.1	29.5	55.6	29	58.6	0.1
18.14	84	30.8	56.8	30.1	56.6	29.5	58.6	0.1
18.15	90	29.6	56.7	29.8	57.1	28.9	58.8	0.1
18.16	96	29.8	56.9	29.5	57.4	29.5	58.9	0.1
18.17	102	29.4	57	29.4	57.4	28.6	58.6	0.1
18.18	108	29.2	57.3	29.4	57.6	28.6	58.3	0.1
18.19	114	29.4	56.6	29.4	57.5	28.7	58.2	0.1
18.20	120	29.4	56.7	29.4	57.4	28.6	57.6	0.1
18.21	126	29.4	56.6	29.6	57.6	28.6	57.2	0.1
18.22	132	29.6	56.2	29.6	57.4	29.6	56.5	0.1

23 กุมภาพันธ์ 2542

7.54	138	28	48.9	27.9	46.8	28.1	50.2	0.1
7.55	144	28.1	49.1	28	47.4	28.2	50.6	0.1
7.56	150	28.3	49.1	28.4	47.7	28.1	50.7	0.1
7.57	156	28.2	49.1	28.1	47.8	28.3	50.7	0.1
7.58	162	28.1	48.7	28.2	47.9	28.2	50.8	0.1
7.59	168	28.4	48.6	28.2	47.8	28.4	50.7	0.1
8.00	174	28.5	48.6	28.4	47.8	28.4	50.2	0.1
8.01	180	28.6	48.5	28.6	47.6	28.6	49.9	0.1
8.02	186	28.6	48.5	28.7	47.6	28.7	49.6	0.1
8.03	192	28.6	48.4	28.6	47.4	28.3	49.5	0.1
8.04	198	28.7	48.1	28.7	47.3	28.6	48.1	0.1

ตารางที่ 3.2(ข) ตารางแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ วันที่ 22 - 23 กุมภาพันธ์ 2542

23 กมภาพันธ์ 2542

TIME	Volume(l)	Ti(1)(oC)	To(1)(oC)	Ti(2)(oC)	To(2)(oC)	Ti(3)(oC)	To(3) (oC)	Flow(kg/s)
12.07	6	29.5	48.2	29.8	48.2	29.6	50.1	0.1
12.08	12	28.7	48.2	29.1	48.4	28.9	50.3	0.1
12.09	18	28.6	48.2	28.7	48.5	28.6	51	0.1
12.10	24	28.7	48.3	29	48.5	28.9	50.9	0.1
12.11	30	28.7	48.2	28.9	48.6	28.9	50.7	0.1
12.12	36	28.6	48.1	28.7	48.4	28.6	50.3	0.1
12.13	42	28.6	48	28.6	48.1	28.6	50.2	0.1
12.14	48	28.6	47.8	28.6	47.6	28.6	49.9	0.1
12.15	54	28.4	47.8	28.5	47.1	28.5	49.8	0.1
12.16	60	28.5	47.5	28.6	46.6	28.5	49.5	0.1
12.17	66	28.6	47.3	28.6	46.6	28.6	49.2	0.1
18.05	72	29.8	55.5	30.2	51.5	29.9	56.6	0.1
18.06	78	29.8	55.6	30	51.8	29.9	56.9	0.1
18.07	84	29.9	55.4	29.9	51.8	29.8	57	0.1
18.08	90	29.6	55.3	29.9	52	29.8	57.2	0.1
18.09	96	29.6	55.4	29.9	52.1	29.8	57.2	0.1
18.10	102	29.8	55.4	29.6	52	29.7	56.9	0.1
18.11	108	29.4	55.3	29.8	51.8	29.8	56.8	0.1
18.12	114	29.6	55	29.6	51.8	29.5	56.2	0.1
18.13	120	29.5	55	29.8	51.9	29.6	55.9	0.1
18.14	126	29.8	54.6	29.6	51.6	29.6	55.4	0.1
18.15	132	29.6	54.5	29.6	51.7	29.6	55	0.1

24 กมภาพันธ์ 2542

7.57	138	28	46.4	27.8	44.7	28.2	48.9	0.1
7.58	144	28.3	47.1	27.9	44.3	28.2	49	0.1

ตารางที่ 3.3(ก) ตารางแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ วันที่ 23 - 24 กุมภาพันธ์ 2542

TIME	Volume(l)	TI(1)(oC)	To(1)(oC)	Ti(2)(oC)	To(2)(oC)	Ti(3)(oC)	To(3) (oC)	Flow(kg/s)
7.59	150	28.4	47.6	28.3	45.5	28.6	49	0.1
8.00	156	28.2	48.2	28	45.6	28.2	49	0.1
8.01	162	28.1	48	28.1	45.7	28.2	48.8	0.1
8.02	168	28.2	47.6	28.2	45.6	28	48.6	0.1
8.03	174	28.7	47.2	28.2	45.7	27	48.6	0.1
8.04	180	28.6	47.1	28.6	45.6	28.2	48.5	0.1
8.05	186	28.4	46.7	28.2	45.5	28.7	48.6	0.1
8.06	192	28.6	46.4	28.6	45.4	28.3	48.4	0.1
8.07	198	28.5	47.9	28.7	45.3	28.6	48.2	0.1

ตารางที่ 3.3(ข) ตารางแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ วันที่ 23 - 24 กุมภาพันธ์ 2542 (ต่อ)

24 มีนาคม 2542

TIME	Volume(l)	Ti(1)(oC)	To(1) (oC)	Ti(2)(oC)	To(2)(oC)	Ti(3)(oC)	To(3)(oC)	Flow (kg/s)
12.27	6	31.4	54.6	32.4	54.6	31.6	53.7	0.1
12.28	12	28.9	54.3	30.2	55	29	55	0.1
12.29	18	28.9	54.4	29.6	55.3	29.3	56.3	0.1
12.30	24	29.4	54.4	29.5	55.5	29.4	57	0.1
12.31	30	28.9	54.1	29.1	55	29	56.9	0.1
12.32	36	28.9	53.7	29	54.6	29	56.7	0.1
12.33	42	29	53.6	29.1	54.7	29	56.9	0.1
12.34	48	28.7	53.4	28.9	54.6	28.7	56.4	0.1
12.35	54	28.7	53	28.9	54.9	28.9	55.9	0.1
12.36	60	28.7	52.2	28.9	54.1	28.9	55.2	0.1

ตารางที่ 3.4(ก) ตารางแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ วันที่ 24 – 25 มีนาคม 2542

TIME	Volume(l)	Ti(1)(oC)	To(1) (oC)	Ti(2)(oC)	To(2)(oC)	Ti(3)(oC)	To(3)(oC)	Flow (kg/s)
12.37	66	28.9	51.7	29.1	54	29	54.6	0.1
18.13	72	30.8	51.2	32.8	50.3	31.2	53.1	0.1
18.14	78	29.4	51.3	30.5	50.6	29.6	53.9	0.1
18.15	84	29.8	51.4	30.2	50.5	30	54.5	0.1
18.16	90	29.8	51.1	30.1	51	29.9	54.8	0.1
18.17	96	29.9	50.9	30.2	50.8	29.9	54.7	0.1
18.18	102	29.9	51.2	30.2	51.4	30	55	0.1
18.19	108	29.9	51.1	30	50.9	30	54.8	0.1
18.20	114	29.6	51	30	51.3	29.8	54.6	0.1
18.21	120	29.8	51	30.1	51.1	29.9	54.2	0.1
18.22	126	29.9	51	30.1	51.2	29.9	53.6	0.1
18.23	132	29.8	51	30.2	51.2	29.9	53	0.1
25 มีนาคม 2542								
8.00	138	26.9	37.8	26.7	36	26.9	36.9	0.1
8.01	144	27	37.8	26.7	36.8	26.9	37.4	0.1
8.02	150	27.5	37.6	27	36.8	27.3	37.4	0.1
8.03	156	27.5	37.4	27.2	36.7	27.4	37.5	0.1
8.04	162	27.3	37.2	27.2	36.2	27.2	37.6	0.1
8.05	168	27.4	37	27	35.4	27.2	37.3	0.1
8.06	174	27.5	36.6	27.3	34.7	27.4	36.9	0.1
8.07	180	27.6	36	27.4	34	27.5	36.5	0.1
8.08	186	27.9	34.8	27.6	33.4	27.8	35.9	0.1
8.09	192	27.9	34	27.6	33	27.8	35.5	0.1
8.10	198	27.8	32.9	27.6	32.4	27.9	35	0.1

ตารางที่ 3.4(ข) ตารางแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ วันที่ 24 – 25 มีนาคม 2542 (ต่อ)

25 กุมภาพันธ์ 2542

TIME	Volume (l)	Ti(1)(oC)	To(1)(oC)	Ti(2) (oC)	To(2)(oC)	Ti(3)(oC)	To(3) (oC)	Flow(kg/s)
12.06	6	31.7	47	32.4	44	28.9	47	0.1
12.07	12	29.1	47.3	30.3	47.7	28.7	49.1	0.1
12.08	18	29.3	47	29.2	48.2	28.7	49.5	0.1
12.09	24	28.9	47.1	28.9	48.3	28.9	49.4	0.1
12.10	30	28.9	47.2	29	47.8	28.7	48.7	0.1
12.11	36	28.9	47.1	29	47.9	28.7	48.4	0.1
12.12	42	28.7	46.6	28.7	47.2	28.5	48.2	0.1
12.13	48	28.9	46.7	28.7	47.1	28.7	47.8	0.1
12.14	54	28.7	46.3	28.7	46.7	28.7	47.4	0.1
12.15	60	28.7	46.1	28.6	46.4	28.6	46.9	0.1
12.16	66	28.7	46.3	28.7	45.9	29	46.7	0.1
18.08	72	28.7	53.5	28	51.8	31.2	53.8	0.1
18.09	78	28.7	53.9	30.4	52	30.4	54.5	0.1
18.10	84	29.9	54.4	30.2	51.8	30.2	54.4	0.1
18.11	90	29.8	53.8	30.2	51.9	30.3	54.8	0.1
18.12	96	29.8	53.8	30.1	51.9	30.3	54.8	0.1
18.13	102	29.8	53.7	30.2	52.1	30.4	54.6	0.1
18.14	108	29.9	53.4	30.1	51.6	30.4	54.2	0.1
18.15	114	29.8	52.8	29.9	51.6	30.2	53.7	0.1
18.16	120	29.8	52.3	30.1	51.7	30.3	53.6	0.1
18.17	126	29.6	51.9	29.9	51.1	30	53	0.1
18.18	132	29.8	51.1	29.9	51.2	30.1	52.4	0.1

26 กุมภาพันธ์ 2542

8.00	138	28	44.4	27.8	44.2	28.2	45.5	0.1
8.01	144	28.3	44.1	27.9	43.8	28.2	45.8	0.1

ตารางที่ 3.5(ก) ตารางแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ วันที่ 25 – 26 กุมภาพันธ์ 2542

TIME	Volume (l)	Ti(1)(oC)	To(1)(oC)	Ti(2) (oC)	To(2)(oC)	Ti(3)(oC)	To(3) (oC)	Flow(kg/s)
8.02	150	28.4	44.6	28.3	45	28.6	45.9	0.1
8.03	156	28.2	44.2	28	45.1	28.2	45.7	0.1
8.04	162	28.1	44	28.1	45.2	28.2	45.4	0.1
8.05	168	28.2	44.6	28.2	45.1	28	45.4	0.1
8.06	174	28.7	44.2	28.2	45.2	27	45.5	0.1
8.07	180	28.6	44.1	28.6	45.1	28.2	45.4	0.1
8.08	186	28.4	43.7	28.2	45	28.7	45.5	0.1
8.09	192	28.6	43.4	28.6	44.9	28.3	45.2	0.1
8.10	198	28.5	43.9	28.7	44.8	28.6	45.1	0.1

ตารางที่ 3.5(ข) ตารางแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ วันที่ 25 – 26 กุมภาพันธ์ 2542 (ต่อ)

26 กุมภาพันธ์ 2542

TIME	Volume (l)	Ti(1) (°C)	To(1) (°C)	Ti(2) (°C)	To(2) (°C)	Ti(3) (°C)	To(3) (°C)	Flow (kg/s)
12.07	6	29.5	47.7	29.8	47.5	29.8	49.6	0.1
12.08	12	28.7	47.7	29.1	47.9	29	49.8	0.1
12.09	18	28.6	47.7	28.7	48	28.8	50.2	0.1
12.10	24	28.7	47.8	29	48	29	50.1	0.1
12.11	30	28.7	47.7	28.9	48.1	29	50	0.1
12.12	36	28.6	47.6	28.7	48	28.9	49.8	0.1
12.13	42	28.6	47.5	28.6	47.6	29	49.7	0.1
12.14	48	28.6	47.3	28.6	47.1	28.7	49.5	0.1
12.15	54	28.4	47.3	28.5	46.7	28.5	49.3	0.1

ตารางที่ 3.6(ก) ตารางแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ วันที่ 26 – 27 กุมภาพันธ์ 2542

TIME	Volume (l)	Ti(1) (°C)	To(1) (°C)	Ti(2) (°C)	To(2) (°C)	Ti(3) (°C)	To(3) (°C)	Flow (kg/s)
12.16	60	28.5	47	28.6	46.1	28.6	49	0.1
12.17	66	28.6	47	28.6	46.1	28.7	48.7	0.1
18.05	72	29.8	55	30.2	52	29.9	56	0.1
18.06	78	29.8	55.1	30	52.3	29.9	56.4	0.1
18.07	84	29.9	55	29.9	52.3	29.8	56.5	0.1
18.08	90	29.6	54.8	29.9	52.5	29.8	56.7	0.1
18.09	96	29.6	54.9	29.9	52.6	29.8	56.7	0.1
18.10	102	29.8	54.9	29.6	52.5	29.7	56.4	0.1
18.11	108	29.4	54.8	29.8	52.3	29.8	56.3	0.1
18.12	114	29.6	54.5	29.6	52.3	29.6	56	0.1
18.13	120	29.5	54.5	29.8	52.4	29.6	55.5	0.1
18.14	126	29.8	54.1	29.6	52.1	29.6	55	0.1
18.15	132	29.6	54	29.6	52.2	29.6	54.5	0.1

27 กุมภาพันธ์ 2542

7.57	138	28	46	27.8	44.2	28.2	48.5	0.1
7.58	144	28.3	47.7	27.9	44	28.2	48.7	0.1
7.59	150	28.4	48	28.3	45	28.1	48.7	0.1
8.00	156	28.2	47.7	28	45.1	28.2	48.7	0.1
8.01	162	28.1	47.5	28.1	45.2	28.7	48.5	0.1
8.02	168	28.2	47.4	28.2	45.1	28.6	48.3	0.1
8.03	174	28.7	47.2	28.2	45.2	28.4	48.3	0.1
8.04	180	28.6	47.1	28.6	45.1	28.2	48.2	0.1
8.05	186	28.4	46.7	28.2	45	28.7	48.3	0.1
8.06	192	28.6	46.4	28.6	44.9	28.5	48.1	0.1
8.07	198	28.5	47.9	28.7	44.8	28.7	47.8	0.1

ตารางที่ 3.6(ซ) ตารางแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ วันที่ 26 – 27 กุมภาพันธ์ 2542 (ต่อ)

จากข้อมูลที่ได้มาค่าอุณหภูมิน้ำที่ได้สูงถึง 58.9 องศาเซลเซียส

3.2 การออกแบบและคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

3.2.1 การคำนวณหาคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ ณ สภาวะต่าง ๆ

อุณหภูมิที่ชุดทำความเย็น $T_E = 0\ ^\circ C$

อุณหภูมิที่ชุดควบแน่น $T_C = 45\ ^\circ C$

อุณหภูมิที่ชุดแยกสารละลาย $T_G = 55\ ^\circ C$

อุณหภูมิที่ชุดดูดซึม $T_A = 30\ ^\circ C$

3.2.1.1 การคำนวณหาความดันชุดอุปกรณ์

- พิจารณาที่ชุดทำความเย็น ให้ไอสารทำความเย็นที่สภาวะ (6) เป็นสภาวะของไออิ่มตัว(Saturated vapor) ของแอมโมเนียดังนั้นเมื่อ $T_E = T_6$ จะได้ $P_6 = P_{SET@TE}$ โดยความดันในสภาวะ (6) จะมีค่าเท่ากับความดันในสภาวะ (1) และ (5)

$T_E = T_6 = 0$ องศาเซลเซียส

$P_6 = P_{SET@TE} = 429.44$ KPa จากตารางภาคผนวกที่ 5

จาก

$P_E = P_A$

$P_6 = P_1 = 429.44$ KPa

เพราะฉะนั้น $P_6 = P_1 = P_5 = 429.44$ KPa

- พิจารณาที่ชุดควบแน่น ให้สารทำความเย็นเหลวที่สภาวะ (4) เป็นสภาวะของเหลวอิ่มตัว (Saturated liquid) ดังนั้น เมื่อ $T_C = T_4$ จะได้ $P_4 = P_{SET@TC}$ โดยความดันในสภาวะ (4) จะมีค่าเท่ากับความดันในสภาวะ (2) และ (3)

$T_C = T_4 = 45$ องศาเซลเซียส

$P_4 = P_{SET@TE} = 1781.87$ KPa จากตารางภาคผนวกที่ 5

จาก

$P_C = P_G$

$P_4 = P_2 = 1781.87$ KPa

เพราะฉะนั้น $P_4 = P_2 = P_3 = 1781.87$ KPa

3.2.1.2 การคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลาย

สภาวะอุณหภูมิและความดันที่ชุดดูดซึม $T_1 = T_A$ กับ P_1 จากภาพภาคผนวกที่ 1 จะได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายเข้มข้น X_A

สภาวะอุณหภูมิและความดันที่ชุดแยกสารละลาย $T_2 = T_G$ กับ P_2 จากภาพภาคผนวกที่ 1 จะได้ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในสภาพไอดงมีความเข้มข้น X_G

$T_A = 30$ องศาเซลเซียส = 86 องศาฟาเรนไฮน์

$P_A = 429.44$ KPa = 76.98 Psia

จากภาพภาคผนวกที่ 1 จะได้

$X_A = 58$ % NH_3 ในสารละลาย (ของเหลว)

$T_G = 55$ องศาเซลเซียส = 131 องศาฟาเรนไฮน์

$P_A = 1781.87$ KPa = 273.16 Psia

จากภาพภาคผนวกที่ 1 จะได้

$X_A = 99.9$ % NH_3 ในสารละลาย (ไอ)

3.2.1.3 การคำนวณหาค่าเอนธาลปี

สภาวะ (1) เมื่ออุณหภูมิและค่าความเข้มข้นเป็น T_1 และ X_1 ตามลำดับจากภาพภาคผนวก 2 จะได้ค่าเอนธาลปีที่สภาวะ (1) คือ h_1= -48 BTU/lb

สภาวะ (2) เมื่ออุณหภูมิและค่าความเข้มข้นเป็น T_2 และ X_2 ตามลำดับจากภาพภาคผนวก 2 จะได้ค่าเอนธาลปีที่สภาวะ (2) คือ h_3 = 570 BTU/lb

ค่าเอนธาลปีที่สภาวะ (3) , (4) , (5) และ (6) จะได้จากตารางภาคผนวกที่ 5 และ 6

$h_3 = h_{T3,P3}$ = 1578.54 KJ/Kg = 678.65 BTU/lb

$h_4 = h_{f,Tc}$ = 396.32 KJ/Kg = 170.39 BTU/lb

$h_4 = h_5$ = 170.39 BTU/lb

$h_6 = h_{g,TE}$ = 1442.22 KJ/Kg = 620.04 BTU/lb

3.2.1.4 การคำนวณอัตราการไหล

พิจารณาชุดทำความเย็น

จากสมการสมดุลย์พลังงาน

$$Q_E + m_5 * h_5 = m_6 * h_6$$

สมการสมดุลมวล

$$m_5 = m_6$$

จะได้

$$m_5 = \frac{Q_E}{h_6 - h_5}$$

$$= \frac{3413 \text{ BTU/hr}}{620.04 \text{ BTU} - 170.39 \text{ BTU/lb}}$$

= 7.590 lb/hr

พิจารณาชุดแยกสารละลาย

เนื่องจากชุดแยกสารละลายมี Rectifier ทำหน้าที่แยกน้ำหรือสารละลายเจือจางออกจากไอของสารทำความเย็น

$$m_2 = m_1 * x_G$$

จะได้

$7.590 \text{ lb/hr} = m_1 * 0.999$

$m_1 = 7.598 \text{ lb/hr}$

จากสมมุติฐานที่ว่าอัตราการไหลของสารละลายเข้มข้นจากชุดดูดละลายไปยังชุดแยกสารละลายมีค่าคงที่จะได้ว่า

$$m_1 = m_2 + m_3$$

จะได้

$m_3 = 7.598 - 7.590 = 0.008 \text{ lb/hr}$

เนื่องจากสารละลายเจือจางที่แยกออกไปมีความเข้มข้นของแอมโมเนียอยู่น้อยมาก สามารถเปรียบเทียบให้แอมโมเนียระเหยออกไปได้หมด จึงไม่นำมาคิดในสมการสมดุลย์มวลแต่นำมาคิดหาอัตราการไหล

สรุป

จุด สภาวะ	P (KPa)	T (°C)	%แอมโมเนีย (lb)	เอนธาลปี (BTU/lb)	อัตราการไหล (lB/hr)
1	429.44	30	58 (ของเหลว)	-48	7.598
2	1781.87	55	99.9 (ไอ)	570	7.590
3	1781.87	55	0.01 (ไอ)	678.65	0.008
4	1781.87	45	99.9(ของเหลว)	170.39	7.590
5	1781.87	0	99.9(ของเหลว)	170.39	7.590
6	429.44	0	99.9 (ไอ)	620.04	7.590

ตารางที่ 3.7 แสดงการสรุปคุณสมบัติต่าง ๆทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบที่ได้ทำการออกแบบ

3.2.2 การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทของแต่ละอุปกรณ์

3.2.2.1 ชุดแยกสารละลาย (Generator)

จากสมการที่ 2.3

$$Q_G + m_1 * h_1 = m_2 * h_2 + m_3 * h_3$$

จะได้ว่า

$$Q_G = m_2 * h_2 + m_3 * h_3 - m_1 * h_1$$

$$Q_G = (7.590 \text{ lb/hr} * 570 \text{ BTU/lb}) + (0.008 \text{ lb/hr} * 678.65 \text{ BTU/lb}) - (7.958 \text{ lb/hr} * -48 \text{ BTU/lb})$$

$$= 4696.4 \text{ BTU/hr}$$

3.2.2.2ชุดควบแน่น (Condenser)

จากสมการที่ 2.5

$$Q_C + m_4 * h_4 = m_2 * h_2$$

จะได้ว่า

$$Q_C = m_2 * h_2 - m_4 * h_4$$

Q_C = (7.590 lb/hr * 570 BTU/lb) - (7.590 lb/hr * 170.39 BTU/lb)

= 3033.1 BTU/hr

3.2.2.3ชุดทำความเย็น (Evaporator)

Q_E = 1 kW = 3413 BTU/hr

3.2.2.4 ชุดดูดซึม (Absorber)

จากสมการที่ 2.9

$$Q_A + m_1 * h_1 = m_3 * h_3 + m_6 * h_6$$

จะได้ว่า

$$Q_A = m_3 * h_3 + m_6 * h_6 - m_1 * h_1$$

Q_A = (0.008 lb/hr * 678.65 BTU/lb) + (7.590 lb/hr * 620.04 BTU/lb) - (7.598 lb/hr * -48 BTU/lb)

= 5076.3 BTU/hr

สมดุลพลังงานทั้งหมดของระบบ คือ

	Gain (BTU/hr)	Loss (BTU/hr)
Generator	4696.4	
Condenser		3033.1
Evaporator	3413	
Absorber		5076.3
	8109.4	8109.4

ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงค่าสมดุลพลังงานทั้งหมดของระบบ

3.3 การออกแบบและคำนวณอุปกรณ์ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

3.3.1 การคำนวณออกแบบชุด Generator

เราจะต้องหาพื้นที่ของเครื่องGenerator ที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำร้อนที่พาเข้าไปในของเหลวไหลในขดท่อ Generator

จากสมการ

$$Q = U\ A\ (\Delta T)_m$$

ความร้อนที่ต้องการให้กับ Generator จากผลการคำนวณที่

Q = 4696.4 BTU/hr

= 4996.4/3.413

= 1376.03 W

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ จากสมการ

$$U_o = \left[\frac{1}{h_o} + \frac{ln\left[r_o / r_i\right]}{k / r_o} + \frac{1}{h_i\ r_i / r_o} \right]^{-1}$$

ค่าของ h_i หาได้จากสมการที่

$$h_i = 0.023 \left[\frac{\rho\ V_c\ d}{\mu} \right]^{0.8} \left[\frac{c_p\ \mu}{k} \right]^{0.4} \left[\frac{k}{d} \right]$$

การหาค่าของ h_o

Assume ณ เทียบสารละลายในน้ำ

จากตารางภาคผนวกที่

Interpolation ที่ ประมาณ 42°C (55° -30°)

หา h_o ของการควบแน่นเป็นไอของของเหลว

$$h_o = \left[\frac{\rho^2 g\ h_{fg} D^3}{k\Delta T \mu}\right]^{1/4}\left[\frac{k}{D}\right]$$

ρ = 993.6 kg/m^3 จากตารางภาคผนวกที่ 8

μ = 6.3*10^{-3} W/mK จากตารางภาคผนวกที่ 8

k = 0.6303 kg/ms จากตารางภาคผนวกที่ 8

d = 0.012 m

h_{fg} = 1089.34 kJ/kg จากตารางภาคผนวกที่ 5

หา hi ของการพาความร้อน ของสารละลายแอมโมเนียขณะระเหย

$\dot{m}$ = 7.598 lb/hr = 0.00095 kg/s

$\dot{m} = \rho V_c A$

μ= 0.63 *10^{-3}

C_p= 4178.6 J/kg K

แทนค่าในสมการ

$$h_i = 0.023\left[\frac{\rho V_c A}{\mu}\right]^{0.8}\left[\frac{c_p \mu}{k}\right]^{0.4}\left[\frac{k}{d}\right]$$

$$h_i = 0.023\left[\frac{4 * 0.00095}{31414 * 0.012 * 0.633 * 10^{-3}}\right]^{0.8}\left[\frac{4178.6 * 0.633 * 10^{-3}}{0.6303}\right]^{0.4}\left[\frac{0.6303}{0.012}\right]$$

$h_i = 5392.011$

$$h_o = 0.72\left[\frac{993.6^2 * 9.81 * 1089.34 * 1000 * 0.0012^3}{0.6303 * 15 * 0.63 * 10^{-3}}\right]^{1/4}\left[\frac{0.6303}{0.0012}\right]$$

$h_o = 1575.75$

$$U_o = \left[\frac{1}{1575 \ .75} + \frac{ln[0.8/0.6]}{53/0.008} + \frac{1}{5392 \ .011 \ * \ 0.6/0.8} \right]^{-1}$$

$$U_o = 1082 \ .01 \quad W / m^2 K$$

จากสมการ

$$(\Delta T)_m = \frac{(\Delta T)_{max} - (\Delta T)_{min}}{\ln \left[\frac{(\Delta T)_{max}}{(\Delta T)_{min}} \right]}$$

จากภาพภาคผนวกที่ 8

ค่า ของ F (Collection factor) = 0.98

$\Delta T_m = 8.96$

$\Delta T_{mc} = F(\Delta T)_m$

= 0.98* 8396

= 8.7808

จาก

$$A_o = \frac{Q}{U_o * \Delta T_{mc}}$$

= 1376.03/(1082.01*8.78)

= 0.144 m^2

$A_0 = \pi * d * N_T * L$

0.144 = 3.14 * 0.012 * 10 * L

L = 0.38 m

= 38 cm

3.3.2การคำนวณการออกแบบ CONDENSER

h ของโลหะและอากาศมีค่าที่ 40 W/mK

ครีบมีค่าการนำความร้อน=380 W/mK

t = 1mm

L = 36mm

ความต้องการที่คำนวณในระบบ

Q_c = 6526.4 Btu/hr = 1902.74 W/m^{2}K

μ = 0.011 cp = 0.00066 kg/ms จากภาพภาคผนวกที่ 6

c_p = 323.18 J/ kgK จากภาพภาคผนวกที่ 4 แล้วนำมาเปลี่ยนหน่วยให้ตรงกับสูตร

k = 0.15 W/mK จากตารางภาคผนวกที่ 2 นำมาแปลงหน่วย

และจากสมการ

$$h_i = 0.023\left[\frac{4*0.00095}{31414*0.012*0.633*10^{-3}}\right]^{0.8}\left[\frac{4178.6*0.633*10^{-3}}{0.6303}\right]^{0.4}\left[\frac{0.6303}{0.012}\right]$$

ได้

h_i = 116.70 W/m^{2}K

และจากสมการ

$$h_o = 0.25\left[\frac{55^\circ - 45^\circ}{1}\right]^{0.25}$$

ได้

= 0.44 W/m^{2}K

$$m=\sqrt{\frac{2*40}{380*10^{-3}}}$$

m = 14.51

mL= 0.036*14.51= 0.523

และจากสมการ

$$n_F = \frac{\tanh(mL)}{mL}$$

$$n_F = \frac{\tanh(0.523)}{0.523}$$

$$n_F = \frac{0.480}{0.523}$$

$$n_F = 0.993$$

จากสมการ

$$U_i = \left[\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o\left[\left[A_o/A_i\right] + \eta_F\left[A_F/A_i\right]\right]}\right]^{-1}$$

จะได้

$$U_i = \left[\frac{1}{116.70} + \frac{1}{0.04\left[\left[0.012/0.016\right] + 0.993\left[3.6/0.3*10^{-6}\right]\right]}\right]^{-1}$$

$$U_i = 116.67$$

และจากสมการที่ 2.16

ได้

$$T_{(m)} = \frac{\left[60^0 - 30^0\right] - \left[55^0 - 45^0\right]}{\ln\left[\frac{60^0 - 30^0}{55^0 - 45^0}\right]}$$

$$T_{(m)} = 49.32 \text{ K}$$

$$1902.47 = 116.67*49.32*A_C$$

$$A_C = 0.331 m^2$$

A_D = $2\pi rL$+พื้นที่ของครีบระบายความร้อน

$$= 2*\pi*0.008*0.815 + 24*0.152*0.088$$

$$A_D = 0.362 \ m^2$$

$A_D > A_C$ แสดงว่าสามารถยอมรับการออกแบบในครั้งนี้ได้

3.3.3 การคำนวณออกแบบชุด Evaporator

$Q_E = 1$ kW

แอมโมเนียระเหยในอีวาโปเรเตอร์ที่

$d_i = 0.012$ m

$L = 0.70$ m

มีไอเป็นสัดส่วน 15 %

ออกเป็นไอดงที่ 422.9 Pa $= 0.429$ bar

$V_c = 0.00171$ Kg/S

จากสมการ

$$\frac{\bar{h} d_i}{k_i} = 0.0082 \left[\left[\frac{G d_i}{\mu_i} \right]^2 \left[\frac{\Delta x h_{fg}}{gL} \right] \right]^{0.4}$$

ที่ความดัน 0.42929 bar จากตารางไอแอมโมเนียตารางภาคผนวกที่ 5

$h_{fg} = 1261.69$ KJ/kg

$\mu_1 = 0.00066$ Kg/m

$k_1 = 0.2618$ btu/(hr)(ft)^2(F/ft)

$$10^{9} < \left[\frac{G d_i}{\mu_i} \right]^2 \left[\frac{\Delta x h_{fg}}{gL} \right] < 7 * 10^{12}$$

$= 0.261 * 0.5782$ W/mK

$= 0.150$ W/mK

$G = mA = 0.0095 / (\pi/4)(0.012^2)$

$= 8.399$ Kg/m^{2}S

$$\left[\frac{G d_i}{\mu_i} \right] = \frac{(8.399 * 0.012)}{0.00066}$$

= 152.72

$$\left[\frac{\Delta x h_{fg}}{gL}\right] = \frac{(0.85 * 1216.69 * 1000)}{(9.81 * 0.70)}$$

$$\left[\frac{Gd_i}{\mu_i}\right]^2\left[\frac{\Delta x h_{fg}}{gL}\right] = 156172.4916 * 23323.39$$

= 3642471929

$\overline{h}\, d_i / k_1 = 0.0082\,(6676.648078)$

= 54.74

$$= \frac{(30 - 0) - (45 - 30)}{ln\left[\frac{(30 - 0)}{(45 - 30)}\right]}$$

$\overline{h}$ = (54.74 * 0.15)/0.012

= 684.356428 W/m^2K

จากสมการ

$$(\Delta T)_m = \frac{(\Delta T)_{max} - (\Delta T)_{min}}{\ln\left[\frac{(\Delta T)_{max}}{(\Delta T)_{min}}\right]}$$

= 21.64 K

จากสมการ

$$Q_d = U(\Delta T)_m$$

แทนค่า

Q_d = 684.356428 * 21.64

= 14809.47 BTU/hr

$Q_{\text{ที่ต้องการ}}$ = 3430 BTU/hr

$Q_d > Q_{\text{ที่ต้องการ}}$ สามารถทำความเย็นได้

3.3.4 การคำนวณชุดดูดซึม

เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงความร้อนน้อยมากจึง Assumption ให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจึงไม่ได้ทำการคำนวณ