บทที่ 5

การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์

ในการวิจัยครั้งนี้ได้เก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อทำการวิเคราะห์ โดยการจดบันทึกข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรที่เครื่องวัดและที่ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์ทุก ๆ 30 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง โดยแบ่งการเก็บข้อมูลเป็น 3 คาบ การทำงานคาบละ 8 ชั่วโมง ดังนี้

คาบที่ 1 เริ่มเวลา 06.00 น - 14.00 น.

คาบที่ 2 เริ่มเวลา 14.00 น - 22.00 น.

คาบที่ 3 เริ่มเวลา 22.00 น - 06.00 น.

สำหรับข้อมูลต่าง ๆ ดูได้จากภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์ แบ่งออกเป็น 3 ตอน ด้วยกันคือ

1. การวิเคราะห์หาแบบภาระ (load pattern) ตลอด 24 ชั่วโมง
2. การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของภาระกับประสิทธิภาพของเครื่องจักร
3. การวิเคราะห์โดยอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์

5.1 การวิเคราะห์หาแบบภาระตลอด 24 ชั่วโมง

แบบภาระที่พิจารณาแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ แบบภาระในส่วนของการทำความเย็น และแบบภาระในส่วนของการทำความร้อน

5.1.1 แบบภาระในส่วนของการทำความเย็น คือ ลักษณะของเส้น curve ของภาระการทำความเย็นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ภาระการทำความเย็นหาได้จากพลังงานความร้อนของน้ำที่ลดลง เพื่อทำความเย็น ซึ่งคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$E_R = \dot{m}_c C_p \Delta T_c \qquad \text{.....} \qquad (5.1)$$

ซึ่ง E_R = พลังงานความร้อนของน้ำที่ลดลง KW

$\dot{m}_c$ = อัตราการไหลของน้ำเย็น (Kg/s)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะ ($KJ/Kg^{O}C$)

$\Delta T_c = T_I - T_o$ (^{O}C) ..... (5.2)

T_I = อุณหภูมิขาเข้าของน้ำ (^{O}C)

T_o = อุณหภูมิขาออกของน้ำ (^{O}C)

5.1.2 <u>แบบภาระในส่วนของการทำความร้อน</u> คือ ลักษณะของเส้น curve ของภาระการทำความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ภาระการทำความร้อน คือ พลังงานความร้อนที่ได้จากน้ำร้อนเพื่อนำไปใช้งาน ซึ่งคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$E_o = \dot{m}_H C_p \Delta T_H \quad \text{.....} \quad (5.3)$$

E_o = พลังงานความร้อนที่ได้จากน้ำร้อน (KW)

$\dot{m}_H$ = อัตราการไหลของน้ำร้อน (Kg/s)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะ ($KJ/Kg^{O}K$)

ΔT_H = อุณหภูมิแตกต่างของน้ำร้อนขาออกและขาเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (^{O}K)

ผลการวิเคราะห์ ในส่วนของการใช้พลังงานเพื่อบรรลุจุดประสงค์ของภาระการทำความเย็นนั้นค่อนข้างแน่นอน ลักษณะของเส้นภาระการทำความเย็นนั้นแบ่งเป็น 4 คาบเวลา จะได้ลักษณะของเส้น curve 3 ลักษณะดังนี้ ในช่วงเวลา 02.00 น. - 08.00 น. ภาระความเย็นจะมีค่าประมาณ 1000 กิโลวัตต์ ช่วงเวลา 08.00 - 14.00 น. และช่วงเวลา 14.00 น. - 20.00 น. ภาระความเย็นจะมีค่าประมาณ 2200 กิโลวัตต์ ช่วงเวลา 20.00 - 02.00 น. ภาระความเย็นจะมีค่าประมาณ 1100 กิโลวัตต์ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และในรูปที่ 5.1

ในส่วนของการใช้พลังงานความร้อนนั้น ดูจากลักษณะของเส้นภาระความร้อนที่ได้จะมีค่าไม่ค่อยสม่ำเสมอ ค่าความต้องการภาระความร้อนสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 06.30-08.00 น. มีค่าประมาณ 200 กิโลวัตต์ ความต้องการความร้อนต่ำสุดจะอยู่ในช่วงเวลา 02.00 น. มีค่าประมาณ 25 กิโลวัตต์ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และในรูปที่ 5.2

5.2 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของภาระกับประสิทธิภาพของเครื่องจักร

เครื่องจักรที่พิจารณาหาประสิทธิภาพหรือสมรรถภาพการทำงาน ได้แก่ เครื่องทำความเย็น (Chillers) เครื่องผลิตไอน้ำ (Boilers) และเครื่องทำความร้อน (Hot water Heaters)

5.2.1 เครื่องทำความเย็น (Chillers)

สำหรับเครื่องทำความเย็นเครื่องใด ๆ สามารถหาสมรรถภาพการทำงานได้ดังนี้

$$\beta = \frac{E_R}{E_I} \qquad \text{.....} \qquad (5.4)$$

เมื่อ β = สมรรถภาพการทำงาน (C.O.P.)

E_R = พลังงานที่ดึงออกจากน้ำเพื่อทำความเย็น, KW, สมการ 6.1

E_I = พลังงานที่ใส่ให้เครื่องทำความเย็น , KW

5.2.2 เครื่องผลิตไอน้ำ (Boilers)

ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไอน้ำหาได้จากอัตราส่วนของพลังงานที่ได้รับ (Energy output, E_o) ต่อพลังงานที่ได้ (Energy input, E_I) ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\eta = \frac{E_o}{E_I} \qquad \text{.....} \qquad (5.5)$$

ซึ่ง $E_o = \dot{m}_s \Delta h$ KW

$E_I = K \dot{m}_o$ KW

$\dot{m}_s$ คือ อัตราการไหลของไอน้ำ (Kg/s) และ Δh คือ ผลต่างของค่า enthalpy ของไอน้ำกับ Feedwater $\dot{m}_s$ คือ อัตราการใช้น้ำมันเตา (Kg/s) และ K คือค่าคงที่ซึ่งเป็นค่าของพลังงานสะสม (energy content) ที่มีอยู่ในน้ำมันเตามีหน่วยเป็น KJ/Kg

5.2.3 เครื่องทำความร้อน (Hot water Heaters)

ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ได้จากอัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทได้จริงต่อพลังงานความร้อนสูงสุดที่สามารถถ่ายเทได้

$$\eta_k = \frac{E_a}{E_m} \qquad \text{.....} \qquad (5.6)$$

E_a = พลังงานความร้อนที่นำไปใช้งาน, KW

E_m = พลังงานความร้อนที่ใช้ได้สูงสุด, KW

ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ของภาระกับประสิทธิภาพของเครื่องจักรเป็นไปดังต่อไปนี้

เครื่องผลิตไอน้ำ ได้สมการความสัมพันธ์ในรูปของ polynomial กำลังสอง $\eta_i = a_i + b_i x_i + c_i x_i^2$ ซึ่งค่า a_i, b_i, c_i เป็นค่าคงที่ของเครื่องผลิตไอน้ำแต่ละเครื่อง คำนวณจากข้อมูลของผู้ผลิต ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไอน้ำ

เครื่องผลิตไอน้ำ เครื่องที่	a_i	b_i	c_i
1	79.1232	0.2310E-2	-0.4049E-6
2	80.8700	0.8043E-3	-0.1350E-6
3	79.6239	0.2415E-2	-0.4049E-6
4	80.1223	0.2415E-2	-0.4049E-6

เครื่องทำความเย็น ได้สมการความสัมพันธ์ในรูปของ polynomial กำลังสอง $\beta_j = a_j+b_j y_j+c_j y_j^2$ ซึ่งค่า a_j, b_j, c_j เป็นค่าคงที่ของเครื่องทำความเย็นแต่ละเครื่อง ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสมรรถภาพของเครื่องทำความเย็นแบบใช้ไฟฟ้า

เครื่องทำความเย็น เครื่องที่	a_j	b_j	c_j
1	1.2274	2.9895E-3	-4.2646E-7
2	3.3300	1.4873E-3	-2.0292E-9
3	-0.5822	4.5265E-3	2.1111E-8

ความถูกต้องของสมการ polynomial ที่ได้ แสดงในรูป variance ดูสมการ (2.49) และ (2.50)

เครื่องทำความเย็นเครื่องที่ 1 สมการ polynomial คือ $\beta_1 = 1.2274+2.9895\times10^{-3}y_1 - 4.2626\times10^{-7}y_1^2$ ซึ่งมีค่า variance (δ^2) เท่ากับ 0.0689

เครื่องทำความเย็นเครื่องที่ 2 สมการ polynomial คือ $\beta_2 = 3.3300+1.4873\times10^{-3}y_2 - 2.0292\times10^{-9}y_2^2$ ซึ่งมีค่า variance (δ^2) เท่ากับ 0.086

เครื่องทำความเย็นเครื่องที่ 3 สมการ polynomial คือ $\beta_3 = -0.5822+4.5265\times10^{-3}y_3 +2.1111\times10^{-8}y_3^2$ ซึ่งมีค่า variance (δ^2) เท่ากับ 4.9×10^{-3}

จะเห็นได้ว่าค่าสมรรถภาพของเครื่องทำความเย็นที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยประมาณ 3.8-3.9 ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยทั่ว ๆ ไปของเครื่องทำความเย็น Electrical Chiller ส่วนค่าเฉลี่ยทั่ว ๆ ไปของเครื่องทำความเย็นแบบ Absorption chiller มีค่าประมาณหนึ่งกว่า ๆ ดังนั้นในตอนวิเคราะห์โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในส่วนของ Absorption chiller จะใช้สมการ polynomials ซึ่งแสดงสมรรถภาพของเครื่องทำความเย็น $\beta_j = a_j+b_j y_j+c_j y_j^2$ ซึ่งค่า a_i, b_i, c_i เป็นค่าคงที่แสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสมรรถภาพของเครื่องทำความเย็นแบบดูดซับ*

เครื่องทำความเย็นแบบดูดซับ, เครื่องที่	a_j	b_j	c_j
1	0.7050	0.6951E-3	-0.1730E-6
2	0.7180	0.7500E-3	-0.2500E-6
3	0.8120	0.6750E-3	-0.1250E-6

* จากข้อมูลของผู้ผลิต Carrier Hermeter Absorption Liquid Chillers

เครื่องทำความร้อน ได้สมการความสัมพันธ์ในรูปของ polynomial กำลังสอง $\eta_k = a_k + b_k z_k + c_k z_k^2$ ซึ่งค่า a_k, b_k, c_k เป็นค่าคงที่ของเครื่องทำความร้อนแต่ละเครื่อง ดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการประสิทธิภาพของเครื่องทำความร้อน

H.W.H.	a_k	b_k	c_k
1	77.2268	0.1861	-0.2399E-2
2	78.1214	0.2261	-0.2401E-2
3	74.2509	0.2639	-0.3201E-2
4	77.6215	0.2260	-0.2399E-2

5.3 การวิเคราะห์โดยอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์

ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยเตรียมข้อมูลในการเดินเครื่องจักรต่าง ๆ ตามแบบภาระที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อใช้กับระบบใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการใช้งานของระบบเดิม โปรแกรมที่ใช้ลำดับการทำงานต่าง ๆ แสดงในภาคผนวก ค. การ optimization ทำโดยวิธี Lagrange Multipliers และใช้ โปรแกรม Pattern search เป็นการเปรียบเทียบและตรวจสอบกับโปรแกรมที่ผู้เขียนสร้างขึ้น

ผลของการวิเคราะห์ในส่วนที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นดังนี้ จากตารางที่ 5.13 เมื่อพิจารณาการผลิตไอน้ำเมื่อมีค่าตั้งแต่ 1500 กก./ชม. แล้วเพิ่มขึ้นทีละ 1500 กก./ชม. จะเห็นว่าในขนาดกำลังผลิตที่สามารถเดินเครื่องตัวเดียวให้นั้น ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไอน้ำเครื่องที่ 4 จะดีที่สุดเมื่อเดินเครื่องที่ 4 เพียงเครื่องเดียว ก็จะเสียค่าใช้จ่ายต่ำสุดเมื่อเทียบกับเดินเครื่องอื่น เมื่อภาระเพิ่มขึ้นถึง 4500-7500 กก./ชม. ขนาดที่ต้องเดิน 2 เครื่อง ก็จะเดินเครื่องที่ 3 และเครื่องที่ 4 จะทำให้ประหยัดพลังงานคิดเป็นร้อยละ 0.023, 0.007, 0.003 ตามลำดับ และเมื่อภาระเพิ่มขึ้นเป็น 9000-10500 กก./ชม. ก็จะเดินเครื่องที่ 1 เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งเครื่อง การประหยัดพลังงานคิดเป็นร้อยละ 0.038, 0.027 ตามลำดับ และเมื่อภาระเพิ่มขึ้นเป็น 12000-15000 กก./ชม. ซึ่งเป็นปริมาณสูงสุดของระบบการผลิตไอน้ำที่จะทำได้ ก็จะเดินเครื่องที่ 2 เพิ่มขึ้น จะทำให้ประหยัดพลังงานคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 0.054, 0.023, 0.024 ตามลำดับ เฉลี่ยระบบผลิตไอน้ำจะประหยัดพลังงานได้คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 0.025 ระบบเครื่องทำความเย็นเมื่อพิจารณาในลักษณะเดียวกันสมรรถภาพการทำงานของเครื่องที่ 3 จะดีที่สุดรองลงมาเป็นเครื่องที่ 2 และเครื่องที่ 1 เมื่อพิจารณาความต้องการภาระทำความเย็นซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1000-3000 กิโลวัตต์ จะทำให้ประหยัดพลังงานเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 1.4 ระบบเครื่องทำความร้อน เมื่อพิจารณาในลักษณะเดียวกันจะเห็นว่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องที่ 2 ดีที่สุดรองลงมาเป็นเครื่องที่ 4, เครื่องที่ 1, เครื่องที่ 3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความต้องการภาระทำความร้อนซึ่งมีค่าตั้งแต่ 25-225 กิโลวัตต์ การประหยัดพลังงานเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 0.42

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างแสดงภาระความเย็น และภาระความร้อนตลอด 24 ชั่วโมง

เวลา	ภาระความเย็น E_R(KW)	ภาระความร้อน E_o(KW)	เวลา	ภาระความเย็น E_R(KW)	ภาระความร้อน E_o(KW)
06.30	1119.7	195.7	18.30	2244.0	100.2
07.00	1119.7	195.7	19.00	2260.6	100.2
07.30	1240.1	97.9	19.30	2115.5	50.1
08.00	1231.8	146.8	20.00	2120.9	103.0
08.30	2113.9	147.1	20.30	2182.0	77.2
09.00	2049.8	97.9	21.00	1138.7	77.2
09.30	2180.9	73.4	21.30	1070.8	103.0
10.00	2203.1	73.4	22.00	1070.3	77.2
10.30	2248.1	97.9	22.30	1070.3	103.0
11.00	2248.1	122.3	23.00	1070.3	77.2
11.30	2247.5	122.3	23.30	1070.3	77.2
12.00	2203.1	48.9	24.00	1118.1	25.7
12.30	2180.9	73.4	00.30	1138.7	51.5
13.00	2180.9	58.7	01.00	1057.4	77.2
13.30	2227.2	63.6	01.30	1214.2	25.7
14.00	2160.6	122.3	02.00	1170.0	25.7
14.30	2255.4	75.1	02.30	1181.1	25.7
15.00	2171.0	125.2	03.00	1018.7	25.7
15.30	2180.9	100.2	03.30	1018.2	25.7
16.00	2232.7	75.1	04.00	1018.2	51.5
16.30	2232.7	75.1	04.30	1018.2	25.7
17.00	2232.7	75.1	05.00	896.0	25.7
17.30	2344.2	25.0	05.30	916.4	51.5
18.00	2182.0	150.3	06.00	1017.2	51.5

3 มิถุนายน 2529

ตารางที่ 5-6

แสดงตัวอย่างผลของการวิจัยในส่วนของเครื่องทำความเย็น, เครื่องที่ 1

Time	E_I (KW)	θ (%)	ΔT_c (^oC)	ΔP (N/m^2)	γ (N/m^3)	Head* (m)	C_p (KJ/Kg^oC)	$\dot{m}_c$ (Kg/s)	E_R (KW)	C.O.P.
06.30	281	96	5.5	96614	9799	9.86	4.189	48.6	1119.7	3.98
07.00	281	96	5.5	96614	9799	9.86	4.189	48.6	1119.7	3.98
07.30	281	96	6.1	96614	9794	9.86	4.183	48.6	1240.1	4.41
08.00	278	95	6.1	96614	9793	9.87	4.181	48.3	1231.8	4.43
08.30	280	96	5.6	96614	9794	9.86	4.183	48.6	1138.4	4.07
09.00	280	96	5.5	96615	9796	9.86	4.184	48.6	1118.4	3.99
09.30	281	96	5.6	96615	9796	9.86	4.184	48.6	1138.7	4.05
10.00	283	97	5.6	96614	9796	9.86	4.184	48.6	1139.3	4.02
10.30	283	97	5.6	96614	9798	9.86	4.186	48.6	1139.3	4.03
11.00	281	96	5.6	96614	9798	9.86	4.186	48.6	1138.7	4.05
11.30	284	97	5.6	96614	9796	9.86	4.184	48.6	1138.7	4.01
12.00	284	97	5.6	96614	9796	9.86	4.184	48.6	1138.7	4.01
12.30	286	98	5.6	96614	9796	9.86	4.184	48.6	1138.7	3.98
13.00	286	98	5.6	96614	9796	9.86	4.184	48.6	1118.4	3.98
13.30	282	96	5.5	96614	9796	9.86	4.184	48.6	1118.4	3.97
14.00	285	97	5.5	96614	9796	9.86	4.184	48.6	1146.6	3.92
14.30	285	97	5.2	93164	9796	9.51	4.184	52.7	1062.2	4.02
15.00	286	97	5.3	100065	9796	10.21	4.184	47.9	1138.7	3.71
15.30	284	97	5.6	96615	9796	9.86	4.184	48.6	1234.8	4.01
16.00	284	97	5.6	93165	9796	9.51	4.184	52.7	1234.8	4.35
16.30	283	96	5.6	93165	9796	9.51	4.184	52.7	1234.8	4.36
17.00	282	96	5.6	93165	9796	9.51	4.184	52.7	1234.8	4.38
17.30	280	95	5.6	93165	9798	9.51	4.186	52.7	1235.4	4.41
18.00	282	96	5.6	96615	9798	9.86	4.186	48.6	1139.3	4.04

3 มิถุนายน 2529

* Total Dynamic Head ของปั๊มน้ำปฐมภูมิ

ตารางที่ 5-6 (ต่อ)

Time	E_I (KW)	θ (%)	ΔT_c (^oC)	ΔP (N/m^2)	γ (N/m^2)	Head* (m)	C_p (KJ/Kg^oC)	$\dot{m}_c$ (Kg/s)	E_R (KW)	C.O.P.
18.30	285	97	5.6	93164	9796	9.51	4.184	52.7	1234.8	4.33
19.00	286	97	5.6	96615	9798	9.86	4.186	48.6	1139.3	3.98
19.30	282	96	5.6	96615	9798	9.86	4.186	48.6	1139.3	4.04
20.00	283	96	5.3	96615	9798	9.86	4.186	48.6	1078.2	3.81
20.30	282	96	5.6	96615	9798	9.86	4.186	48.6	1139.3	4.04
21.00	279	95	5.6	96614	9796	9.86	4.184	48.6	1138.7	4.08
21.30	281	96	5.3	96614	9794	9.87	4.183	48.3	1070.8	3.81
22.00	283	96	5.3	96614	9793	9.87	4.181	48.3	1070.3	3.78
22.30	283	96	5.3	96614	9793	9.87	4.181	48.3	1070.3	3.78
23.00	283	96	5.3	96614	9793	9.87	4.181	48.3	1070.3	3.78
23.30	285	97	5.3	96614	9794	9.87	4.181	48.3	1070.3	3.76
24.00	287	98	5.5	96615	9796	9.86	4.183	48.6	1118.1	3.90
00.30	285	97	5.6	96615	9796	9.86	4.184	48.6	1138.7	4.00
01.00	286	97	5.2	96615	9799	9.86	4.184	48.6	1057.4	3.70
01.30	285	97	5.5	93164	9799	9.51	4.189	52.7	1214.2	4.26
02.00	279	95	5.3	93164	9800	9.51	4.189	52.7	1170.0	4.19
02.30	279	95	5.8	96615	9801	9.86	4.190	48.6	1181.1	4.23
03.00	278	95	5.0	96615	9800	9.86	4.192	48.6	1018.7	3.66
03.30	264	91	5.0	96615	9800	9.86	4.190	48.6	1018.2	3.86
04.00	257	85	5.0	96615	9800	9.86	4.190	48.6	1018.2	3.96
04.30	219	90	5.0	96615	9800	9.86	4.190	48.6	1018.2	4.65
05.00	218	85	4.4	96615	9800	9.86	4.190	48.6	895.0	4.11
05.30	222	88	4.5	96615	9800	9.86	4.190	48.6	916.4	4.13
06.00	287	90	5.0	96614	9798	9.86	4.186	48.6	1017.2	3.54

3 มิถุนายน 2529

* Total Dynamic Head ของปั๊มน้ำปฐมภูมิ

ตารางที่ 5-7

แสดงตัวอย่างผลของการวิจัยในส่วนของเครื่องทำความเย็น, เครื่องที่ 2

Time	E_I (KW)	θ (%)	ΔT_c (^oC)	ΔP (N/m^2)	γ (N/m^3)	Head* (m)	C_p (KJ/Kg^oC)	$\dot{m}_c$ (Kg/s)	E_R (KW)	C.O.P.
08.30	178	76	4.4	89713	9794	9.16	4.183	53.0	975.5	5.48
09.00	175	76	4.2	89713	9796	9.16	4.184	53.0	931.4	5.32
09.30	218	90	4.7	89713	9796	9.16	4.184	53.0	1042.2	4.78
10.00	218	88	4.8	89713	9796	9.16	4.184	53.0	1064.4	4.88
10.30	218	90	5.0	89713	9796	9.16	4.184	53.0	1108.8	5.09
11.00	218	90	5.0	89713	9796	9.16	4.184	53.0	1108.8	5.09
11.30	220	88	5.0	89713	9796	9.16	4.184	53.0	1108.8	5.04
12.00	220	88	4.8	89713	9796	9.16	4.184	53.0	1064.4	4.84
12.30	212	87	4.7	89713	9796	9.16	4.184	53.0	1042.2	4.92
13.00	220	88	4.7	89713	9796	9.16	4.184	53.0	1042.2	4.74
13.30	220	88	5.0	89713	9796	9.16	4.184	53.0	1108.8	5.04
14.00	218	89	4.7	89713	9796	9.16	4.184	53.0	1042.2	4.78
14.30	218	89	5.0	89713	9796	9.16	4.184	53.0	1108.8	5.09
15.00	217	89	5.0	89713	9796	9.16	4.184	53.0	1108.8	5.11
15.30	212	89	4.7	89713	9796	9.16	4.184	53.0	1042.2	4.92
16.00	221	90	4.5	89713	9796	9.16	4.184	53.0	997.9	4.52
16.30	221	90	4.5	89713	9796	9.16	4.184	53.0	997.9	4.52
17.00	218	89	4.5	89713	9796	9.16	4.184	53.0	997.9	4.58
17.30	221	91	5.0	89713	9796	9.16	4.184	53.0	1108.8	5.02
18.00	220	90	4.7	89713	9798	9.16	4.186	53.0	1042.7	4.74
18.30	222	90	4.5	86262	9796	8.81	4.184	53.6	1009.2	4.55
19.00	220	90	5.0	86262	9796	8.81	4.184	53.6	1121.3	5.10
19.30	218	90	4.4	89713	9798	9.16	4.186	53.0	976.2	4.48
20.00	218	90	4.7	89713	9798	9.16	4.186	53.0	1042.7	4.78
20.30	217	90	4.7	89713	9798	9.16	4.186	53.0	1042.7	4.81

3 มิถุนายน 2529

* Total Dynamic Head ของปั๊มน้ำปฐมภูมิ

ตารางที่ 5-8

แสดงตัวอย่างผลของการวิจัยในส่วนของเครื่องทำความเย็น, เครื่องที่ 3

Time	E_I (KW)	θ (%)	ΔT_c (^oC)	ΔP (N/m^2)	γ (N/m^3)	Head* (m)	C_p (KJ/Kg^oC)	$\dot{m}_c$ (Kg/s)	E_R (KW)	C.O.P.
08.30	248	95	5.3	89713	9798	9.16	4.186	53.0	1175.8	4.74
09.00	250	96	5.0	89713	9799	9.16	4.189	53.0	1110.1	4.44
09.30	248	96	5.0	82812	9799	8.45	4.189	54.8	1147.8	4.63
10.00	254	98	5.0	89713	9800	9.15	4.190	52.7	1104.1	4.35
10.30	255	98	5.0	89713	9800	9.15	4.190	52.7	1104.1	4.33
11.00	254	97	5.0	89713	9800	9.15	4.190	52.7	1104.1	4.35
11.30	248	97	4.7	82812	9800	8.45	4.190	54.8	1079.2	4.35
12.00	252	96	5.0	86263	9799	8.80	4.189	53.5	1120.6	4.45
12.30	249	96	5.0	86262	9799	8.80	4.189	53.5	1120.6	4.50
13.00	245	96	5.0	82812	9799	8.45	4.189	54.8	1147.8	4.68
13.30	252	97	5.0	82812	9800	8.45	4.190	54.8	1148.1	4.56
14.00	250	97	5.0	89713	9800	9.15	4.190	52.7	1104.1	4.42
14.30	250	96	5.0	89713	9800	9.15	4.190	52.7	1104.1	4.42
15.00	249	96	5.0	96614	9800	9.86	4.190	48.6	1018.2	4.09
15.30	255	97	5.0	89713	9800	9.15	4.190	52.7	1104.1	4.33
16.00	245	96	5.0	89713	9800	9.15	4.190	52.7	1104.1	4.51
16.30	246	95	5.0	89713	9800	9.15	4.190	52.7	1104.1	4.49
17.00	241	95	5.0	82812	9800	8.45	4.190	54.8	1148.1	4.76
17.30	250	96	5.0	82812	9800	8.45	4.190	54.8	1148.1	4.59
18.00	250	97	5.0	89713	9800	9.15	4.190	52.7	1104.1	4.42
18.30	248	96	4.4	89713	9800	9.15	4.190	52.7	971.6	3.92
19.00	245	95	5.0	89714	9800	9.86	4.190	48.6	1018.2	4.16
19.30	245	94	5.0	89713	9800	9.15	4.190	52.7	1104.1	4.51
20.00	250	95	5.0	89713	9800	9.15	4.190	52.7	1104.1	4.42
20.30	250	96	4.4	89713	9801	9.15	4.192	52.7	972.0	3.89
21.00	248	96	4.4	89713	9801	9.15	4.192	52.7	972.0	3.92
21.30	249	96	5.0	96614	9801	9.86	4.192	48.6	1018.7	4.09

7 มิถุนายน 2529

* Total Dynamic Head ของปั๊มน้ำปฐมภูมิ

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อภาระความเย็น 2200 กิโลวัตต์ และภาระความร้อน 150 กิโลวัตต์

Equipments	Equal Loading	Lagrange Multipliers	Pattern Search
	(Kg/Hr)	(Kg/Hr)	(Kg/Hr)
Boiler 1	3004.7	2865.0	2865.7
Boiler 2	3004.7	2430.3	2429.4
Boiler 3	3004.7	3285.4	3285.5
Boiler 4	3004.7	3438.1	3438.2
Total	12018.8	12018.8	12018.8
Cost (฿/Hr)	928.42	927.93	927.78
Savings(฿/Hr)	-	0.49	0.64
	(Kw)	(Kw)	(Kw)
Chiller 1	733.3	681.4	681.3
Chiller 2	733.3	975.1	975.8
Chiller 3	733.3	543.5	542.9
Total	2200.0	2200.0	2200.0
	(Kw)	(Kw)	(Kw)
Heater 1	37.5	17.4	17.2
Heater 2	37.5	54.0	54.3
Heater 3	37.5	26.2	25.7
Heater 4	37.5	52.4	52.6
Total	150.0	150.0	150.0

ตารางที่ 5.10 แสดงการทำงานของเครื่องผลิตไอน้ำ ตามภาระ

ที่เปลี่ยนไปตลอดวันของวันที่ 3 มิ.ย. 29

เวลา	ภาระ (ก.ก./ชม.)	เครื่องผลิตไอน้ำหมายเลข				ค่าใช้จ่ายรวม* (บาท/ช.ม.)	ค่าใช้จ่ายรวมที่ภาระเท่ากัน* (บาท/ช.ม.)	ประหยัดได้** (%)
		1	2	3	4			
6.30	6300	-	-	3060.8	3239.2	483.07	483.10	0.006
9.00	10500	3223.2	-	3573.7	3703.0	809.52	809.74	0.027
11.30	12000	2862.9	2416.6	3283.8	3436.7	926.47	926.97	0.054
14.00	12000	2862.9	2416.6	3283.8	3436.7	926.47	926.97	0.054
16.30	12000	2862.9	2416.6	3283.8	3436.7	926.47	926.97	0.054
19.00	12000	2862.9	2416.6	3283.8	3436.7	926.47	926.97	0.054
21.30	4700	-	-	2078.7	2621.3	360.99	361.06	0.019
24.00	6400	-	-	3114.3	3285.7	490.79	490.81	0.004
2.30	6700	-	-	3273.0	3427.0	514.0	514.03	0.006
5.00	4500	-	-	1880.0	2620.0	345.84	345.92	0.023
รวม	213,250	36687	24166	7340.9	78988	16,429.4	16435.43	0.04

* คิดค่าใช้จ่ายน้ำมันเตาเท่ากับ 4.125 บาท/ลิตร

** ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เทียบกับค่าใช้จ่ายเมื่อเดินเครื่องที่ภาระเท่ากันทุกเครื่อง

ตารางที่ 5.11 แสดงการทำงานของเครื่องทำความเย็น ตามภาระที่เปลี่ยนไปตลอดวันของวันที่ 3 มิ.ย. 29

เวลา	ภาระ (กิโลวัตต์)	เครื่องทำความเย็นหมายเลข			ค่าใช้จ่ายรวม* (บาท/ช.ม.)	ค่าใช้จ่ายรวมที่ภาระเท่ากัน* (บาท/ช.ม.)	ประหยัดได้** (%)
		1	2	3			
6.30	1100	-	476.3	612.7	487.184	490.762	0.73
9.00	2000	-	946.0	1054	758.08	762.064	0.52
11.30	2240	534.7	668.7	1036.6	919.62	939.36	2.10
14.00	2200	543.5	681.4	975.1	911.705	927.180	1.67
16.30	2230	537.7	673.1	1019.2	917.86	936.32	1.97
19.00	2260	586.5	619.5	1054.0	925.226	945.426	2.14
21.30	1000	-	-	1000	359.77	359.77	-
24.00	1120	-	482.8	637.2	493.598	497.409	0.77
2.30	1200	-	506.4	693.6	518.62	523.58	0.95
5.00	900	-	-	900	334.53	334.53	-
รวม	39725	5506	12635.5	21583.5	16230.95	16456.47	1.37

* คิดค่าใช้จ่ายพลังงานไอน้ำเท่ากับ 0.49 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง

** ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เทียบกับค่าใช้จ่ายเมื่อเดินเครื่องที่ภาระเท่ากันทุกเครื่อง

ตารางที่ 5.12 แสดงการทำงานของเครื่องทำความร้อน ตามภาระ

ที่เปลี่ยนไปตลอดวันของวันที่ 3 มิ.ย. 29

เวลา	ภาระ (กิโลวัตต์)	เครื่องทำความร้อนหมายเลข				ค่าใช้จ่ายรวม* (บาท/ช.ม.)	ค่าใช้จ่ายรวม* ที่ภาระเท่ากัน (บาท/ช.ม.)	ประหยัดได้** (%)
		1	2	3	4			
6.30	200	43.1	58.9	40.4	57.5	1.19	1.20	0.830
9.00	100	-	50.9	-	49.1	0.589	0.5892	0.034
11.30	125	34.6	37.8	-	52.6	0.743	0.744	0.134
14.00	125	34.6	37.8	-	52.6	0.743	0.744	0.134
16.30	75	-	40.2	-	34.8	0.442	0.443	0.226
19.00	100	-	50.9	-	49.1	0.589	0.5892	0.034
21.30	100	-	50.9	-	49.1	0.589	0.5892	0.034
24.00	25	-	25	-	-	0.149	0.149	-
2.30	25	-	25	-	-	0.149	0.149	-
5.00	25	-	25	-	-	0.149	0.149	-
รวม	2225	280.75	981.0	101	862	13.181	13.215	0.26

* คิดค่าใช้จ่ายพลังงานไอน้ำเท่ากับ 0.49 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง

** ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เทียบกับค่าใช้จ่ายเมื่อเดินเครื่องที่ภาระเท่ากันทุกเครื่อง

ตารางที่ 5.13 แสดงการทำงานของเครื่องผลิตไอน้ำ

เมื่อภาระมีค่าตั้งแต่ 1500-1500 ก.ก./ช.ม.

ภาระ (ก.ก./ช.ม.)	เครื่องผลิตไอน้ำหมายเลข				ค่าใช้จ่ายรวม* (บาท/ช.ม.)	ค่าใช้จ่ายรวมที่ภาระเท่ากัน* (บาท/ช.ม.)	ประหยัดได้** (%)
	1	2	3	4			
1500	-	-	-	1500	115.89	115.89	-
3000	-	-	-	3000	229.33	229.33	-
4500	-	-	1880.0	2620.0	345.84	345.92	0.023
6000	-	-	2898.5	3101.5	460.0	460.03	0.007
7500	-	-	3689.0	3811.0	576.667	576.683	0.003
9000	2612.9	-	3107.4	3279.7	692.748	693.014	0.038
10500	3223.2	-	3573.7	3703.0	809.525	809.743	0.027
12000	2862.9	2416.6	3283.8	3436.7	926.47	926.97	0.054
13500	3105.4	3307.4	3475.4	3611.8	1043.375	1043.61	0.023
15000	3492.6	3850.0	3807.4	3850.0	1161.49	1161.77	0.024

* คิดค่าใช้จ่ายน้ำมันเตาเท่ากับ 4.125 บาท/ลิตร

** ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เทียบกับค่าใช้จ่ายเมื่อเดินเครื่องที่ภาระเท่ากันทุกเครื่อง

ตารางที่ 5.14 แสดงการทำงานของเครื่องทำความเย็น เมื่อภาระความเย็นมีค่าตั้งแต่ 1000-3000 กิโลวัตต์

ภาระ (กิโลวัตต์)	เครื่องทำความร้อนหมายเลข			ค่าใช้จ่ายรวม* (บาท/ช.ม.)	ค่าใช้จ่ายรวมที่ภาระเท่ากัน* (บาท/ช.ม.)	ประหยัดได้** (%)
	1	2	3			
1000	-	-	1000	359.77	359.77	-
1200	-	506.4	693.6	518.62	523.58	0.95
1400	-	544.0	856.0	576.47	586.51	1.71
1600	-	546.0	1054.0	627.09	646.69	3.03
1800	-	746.0	1054.0	694.12	704.96	1.54
2000	-	946.0	1054.0	758.08	762.064	0.52
2200	543.5	681.4	975.1	911.71	927.18	1.67
2400	292.0	1054.0	1054.0	952.81	987.45	3.51
2600	492.0	1054.0	1054.0	1032.48	1046.31	1.32
2800	692.0	1054.0	1054.0	1099.97	1104.24	0.39
3000	892.0	1054.0	1054.0	1160.74	1161.38	0.01

* คิดค่าใช้จ่ายพลังงานไอน้ำเท่ากับ 0.49 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง

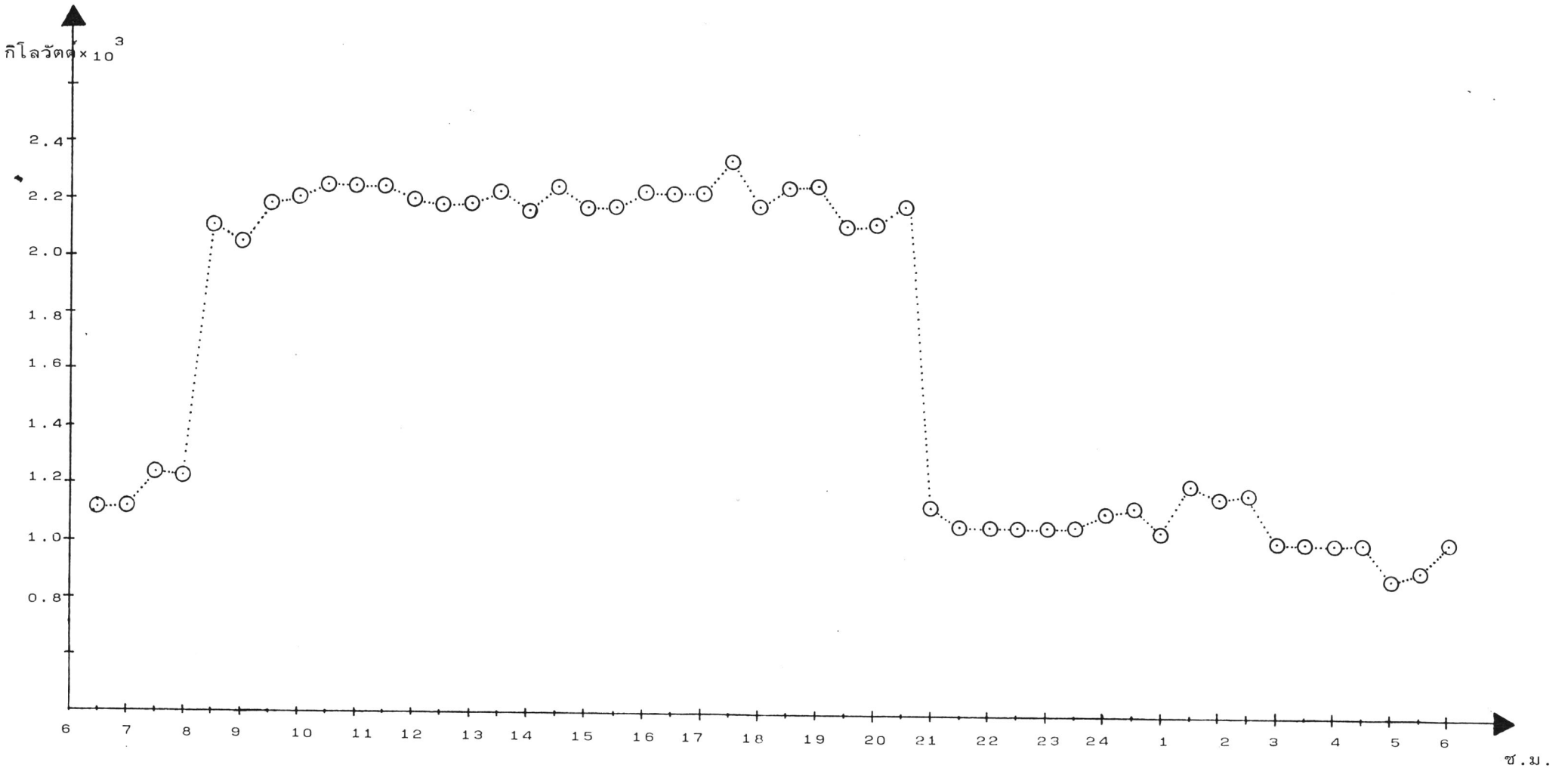
** ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เทียบกับค่าใช้จ่ายเมื่อเดินเครื่องที่ภาระเท่ากันทุกเครื่อง

ตารางที่ 5.15 แสดงการทำงานของเครื่องทำความร้อน เมื่อภาระความร้อนมีค่าตั้งแต่ 25-225 กิโลวัตต์

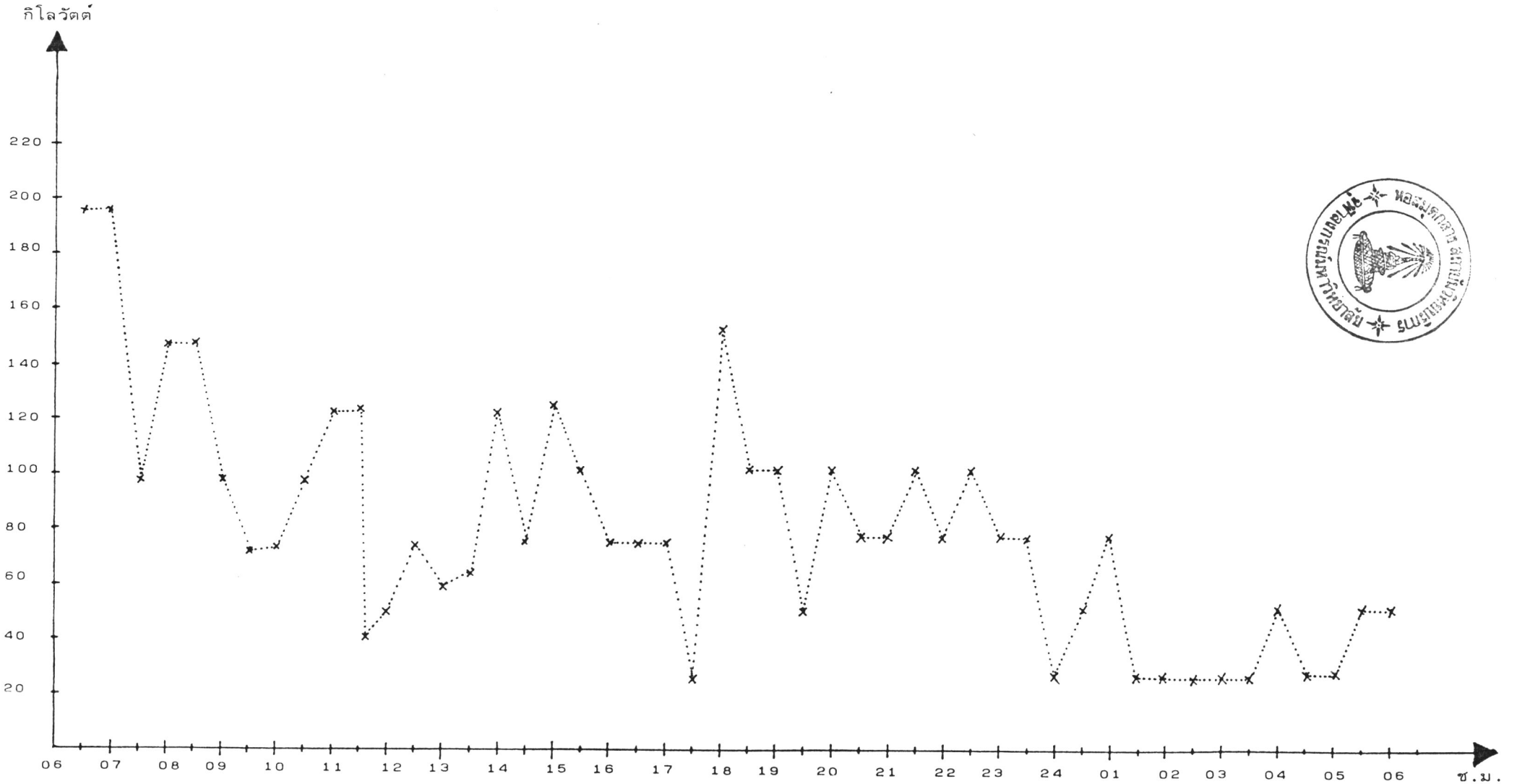
ภาระ (กิโลวัตต์)	เครื่องทำความร้อนหมายเลข				ค่าใช้จ่ายรวม* (บาท/ช.ม.)	ค่าใช้จ่ายรวมที่ภาระเท่ากัน* (บาท/ช.ม.)	ประหยัดได้** (%)
	1	2	3	4			
25	-	25	-	-	0.149	0.149	-
45	-	45	-	-	0.264	0.264	-
65	-	45.6	-	19.4	0.384	0.385	0.260
85	-	44.0	-	41.0	0.500	0.501	0.200
105	-	53.3	-	51.7	0.618	0.619	0.162
125	34.6	37.8	-	52.6	0.743	0.744	0.134
145	43.7	43.3	-	58.0	0.863	0.8632	0.023
165	52.0	60.0	-	53.0	0.98	0.985	0.510
185	38.6	56.1	35.7	54.6	1.10	1.11	0.90
205	33.6	59.9	41.9	58.6	1.22	1.23	0.813
225	54.3	60.0	50.7	60.0	1.34	1.35	0.741

* คิดค่าใช้จ่ายพลังงานไอน้ำเท่ากับ 0.49 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง

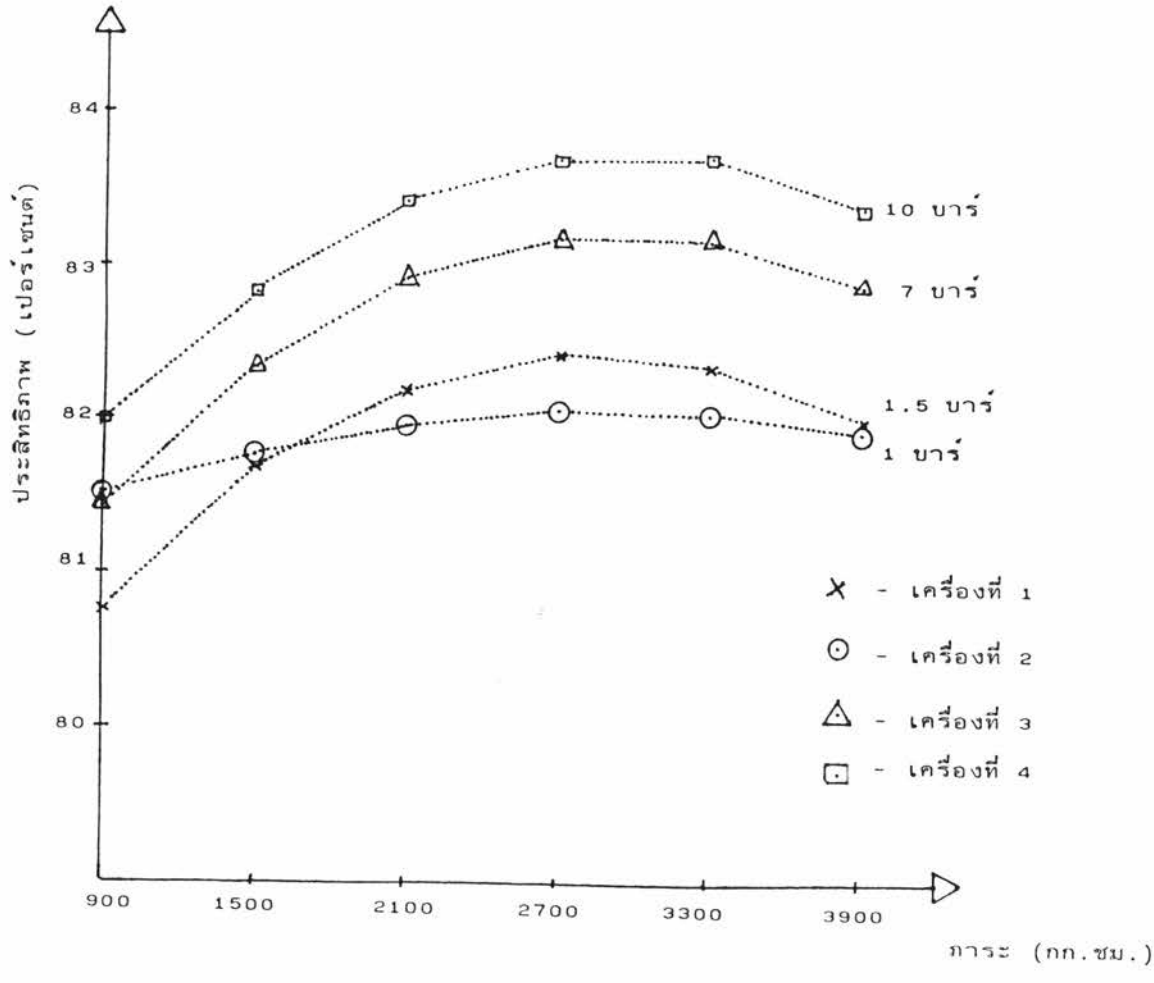
** ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เทียบกับค่าใช้จ่ายเมื่อเดินเครื่องที่ภาระเท่ากันทุกเครื่อง



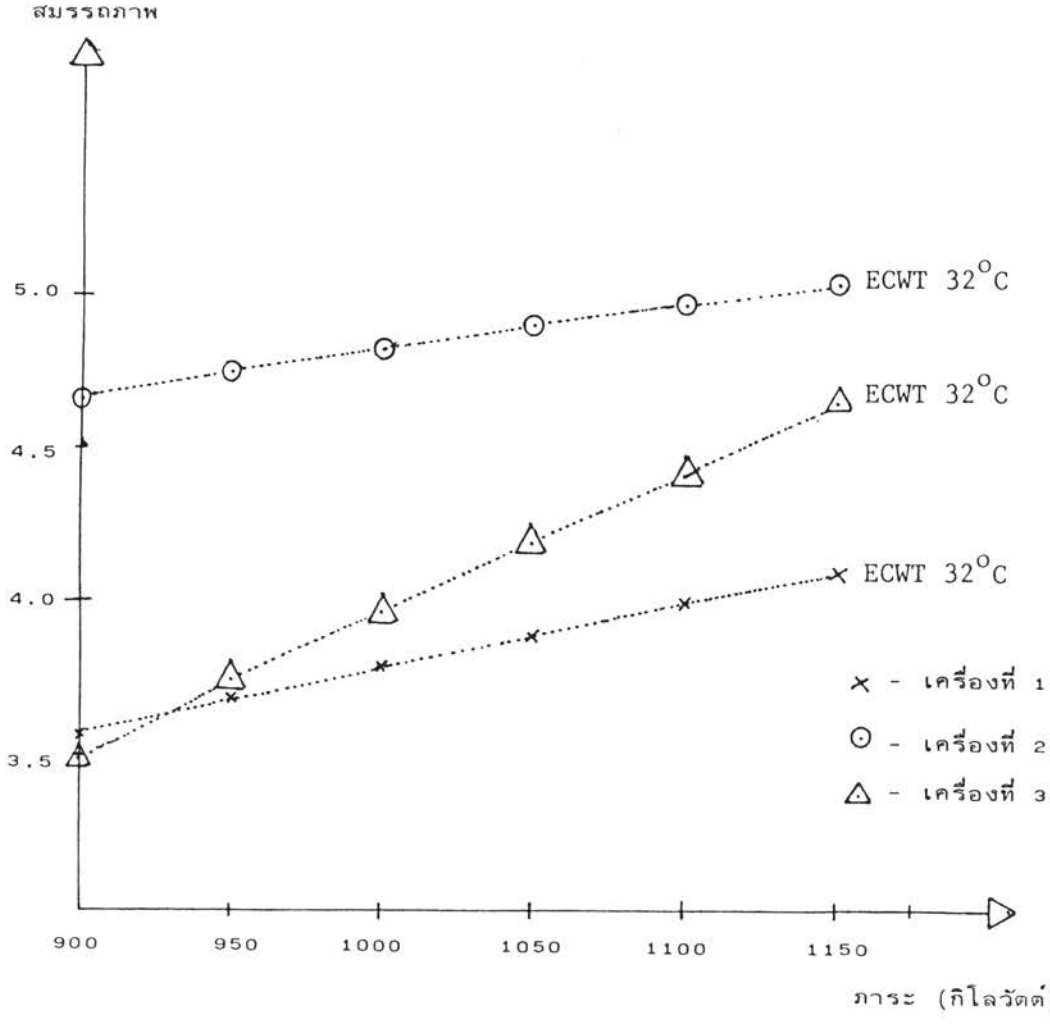
รูปที่ 5.1 แสดงแบบภาระความเย็นตลอด 24 ชั่วโมง



รูปที่ 5.2 แสดง แบบภาระความร้อนตลอด 24 ชั่วโมง



รูปที่ 5.3 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไอน้ำกับภาระ

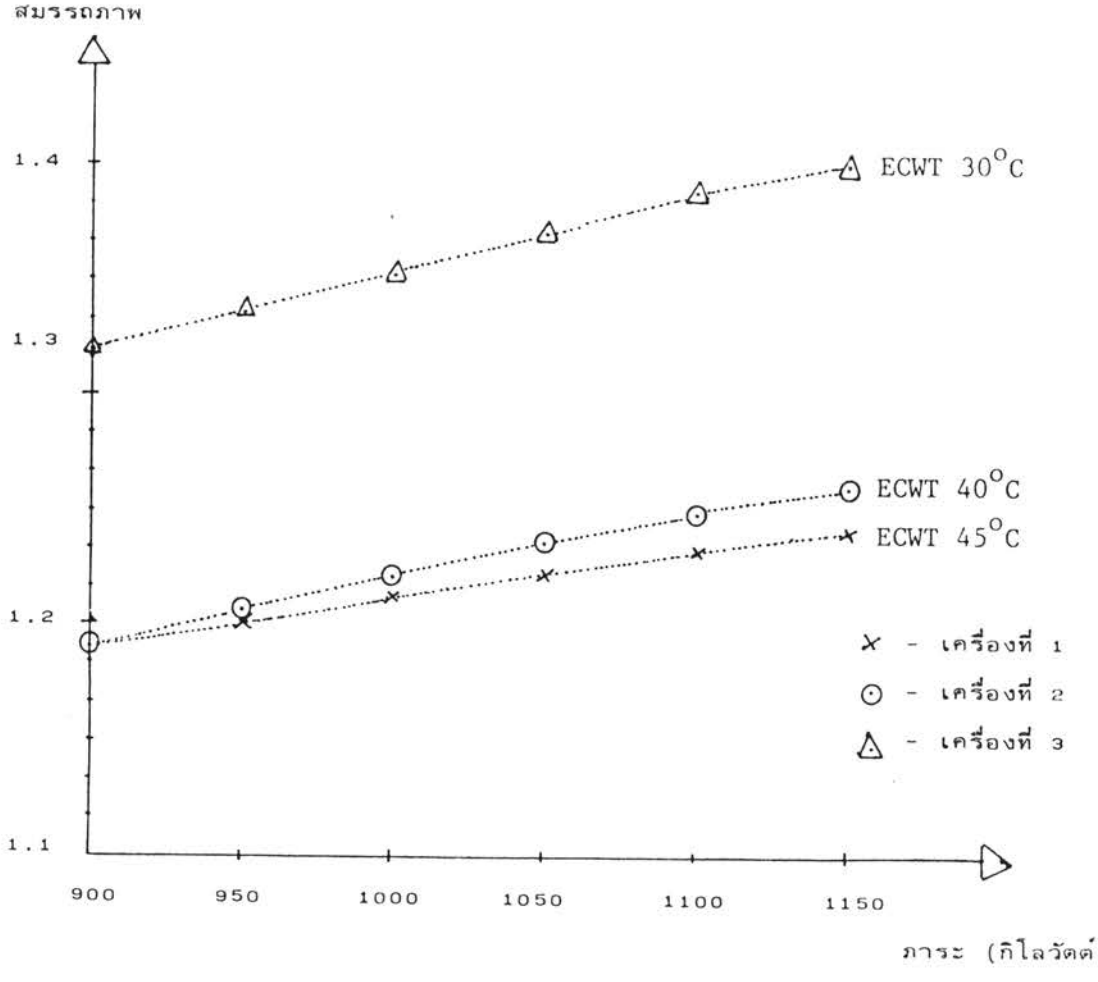


รูปที่ 5.4 แสดงสมรรถภาพการทำงานของเครื่องทำความเย็นกับภาระ

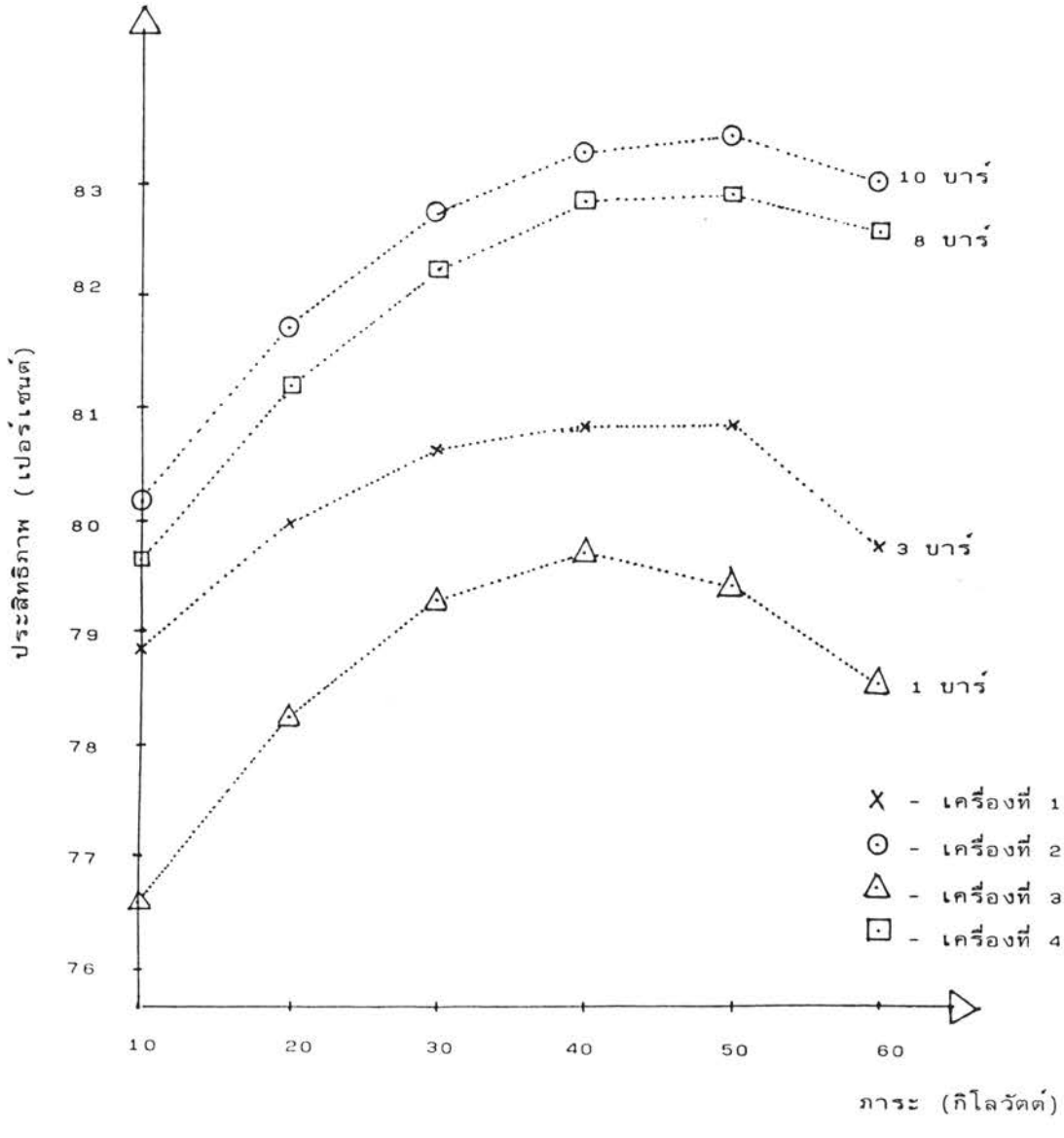
หมายเหตุ เครื่องที่ 1 - เป็นเครื่องทำความเย็นชนิดลูกสูบชัก

เครื่องที่ 2 - เป็นเครื่องทำความเย็นชนิดสกรู

เครื่องที่ 3 - เป็นเครื่องทำความเย็นชนิดสกรู



รูปที่ 5.5 แสดงสมรรถภาพการทำงานของเครื่องทำความเย็น
แบบดูดซับกับภาระ



รูปที่ 5.6 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องทำความร้อนกับภาระ