



บทที่ 4

ข้อมูลและผลการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. อุปกรณ์หุงต้มพลังแสงอาทิตย์เสริมด้วยพลังไฟฟ้า (รายละเอียดและขนาดที่ออกแบบคู่มือได้ที่ ภาคผนวก จ.)
2. NITY Battery Charger Model NT-30 A.
3. AC/DC digital Champ Meter Model SK-7700 ของ KAISE CORPORATION Made in Japan สำหรับวัดกระแสไฟ (DC) จาก Battery
4. Battery Tester Model BT-121 ของ DELTA MECHINERY IND. CO., LTD. Made in Japan. สำหรับทดสอบกับ Battery ว่าอยู่ในสภาพใด ถ้าเข็มชี้ที่สีขาว แสดงว่าไฟ Battery เต็ม (Full Up) , สีเขียว คือสภาพพร้อมที่จะใช้งาน (Normal) , สีเหลือง คือ ต้อง Charge ไฟใหม่ (Recharge) , สีแดง ต้องเปลี่ยนแผ่นความต้านทานไม่สามารถ Charge ใหม่ได้ (DISCHED)
5. WET AND DRY THERMOMETER ของ Today Glass Instrument Factory (HSIN - CHU TAIWAN)
6. ถ้วยตวง ขนาด 1000 CC.
7. ตาชั่งชั่งมวล ของ OHAUS , Cent-O-Gram Balance 311 g
8. นาฬิกาจับเวลา CASIO (Water Resist HS. 10 W.)
9. Multimeter YX-360 TR₂ NO. 1C 4796 ของ SANWA ELECTRIC INSTRUMENT CO., LTD. Made in Japan.
10. กระจกเลื่อนขนาด 200 MM - 8" , H ของ ALGO
11. ข้าวสาร, น้ำ, ไขไก่ , ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับใส่ข้าวนำไปหุง
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 cm. ลึก 6 cm. 2 ใบ , แบบ 9.5×21×7.5 cm.
1 ใบ และ 7.0×12×5 cm. 1 ใบ

12. เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ แบบแอฟต์เลย์ ไพรานอมิเตอร์ (Eppley Pyranometer) ของ Kipp & Zonen (Holland) , Sensitivity $5.0 \text{ mV/Cal. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$.
13. เทอร์โมมิเตอร์ ($0-160^{\circ}\text{C}$) ของ JAKO สำหรับวัดอุณหภูมิใน Cooking Pot.
14. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ แบบ Thermocouple Type K. ของ DIGICON
 - Temp. Control K. $0-1199^{\circ}\text{C}$ Model DD - 8
 - สวิทซ์อุณหภูมิ TS-84 HT 4 Point + TF, CA [VR - 430]
 - สวิทซ์อุณหภูมิ TS-85 H 5 Point , CA [VS - 388]
15. Plate ครึ่งวงกลม แบบ 180° ของ i.n.c.a.c และนาฬิกาแดด (เป็นแผ่นจานกลม มีแท่งเหล็กแหลมปักอยู่ตรงกลาง)
16. แบตเตอรี่ YUASA 2 ลูก (ขนาดความจุลูกละ 60 A./hr.)

วิธีการทดลอง

1. นำอุปกรณ์หุงต้มมาวางในแนวแกนเหนือ-ใต้ของดวงอาทิตย์ที่ทราบตำแหน่งแล้ว จากวิธีการหาดังรูปที่ 20.
2. ใส่น้ำลงไปในห้องหุงต้ม (cooking pot) ด้านล่าง โดยใช้บีกเกอร์ตวง ให้ปริมาณน้ำอยู่ในระดับสูงกว่าท่อ heat pipe เล็กน้อย ซึ่งเท่ากับ 2,600 cc.
3. นำข้าวสารที่จะทดลองหุงใส่ลงในภาชนะอลูมิเนียมที่เตรียมไว้ ใส่น้ำลงไปพอประมาณ ชั่งน้ำหนัก จดค่า (หม้อหุงต้มที่ออกแบบไว้สำหรับหุงข้าวขนาดรับประทาน 3 คน ประมาณ 1.4 kg. คือปริมาณข้าว 3 ถ้วยตวง (0.48 kg.) + น้ำ 5 ถ้วยตวง)
4. พิจารณาจากเวลาที่เที่ยงตรงดวงอาทิตย์ (solar noon) ของแต่ละวัน เช่น วันที่ 7 เมษายน 2538 เวลา 12.20 น. เป็นเวลาที่เที่ยงตรงดวงอาทิตย์ (ดูที่ภาคผนวก ง.) ซึ่งระนาบรับแสงของรางพาราโบลิกจะอยู่ในลักษณะขนานกับพื้นพอดี เมื่อหมุนตัวรับแสงย้อนกลับมาเพื่อรับแสงที่มุม 45° ก็เป็นเวลาดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ 3 ชั่วโมง ($1 \text{ hr./}15^{\circ}$) ดังนั้นจึงเริ่มหมุนรวมแสง ในเวลา 9.20 น. และต่อไปจะหมุนทุก ๆ 1° ต่อ 4 นาที จนถึงเวลาประมาณ 16.00 น. หรือเมื่อข้าวสุกจึงหยุดหมุน เป็นอันเสร็จสิ้นการทดลองในหนึ่งครั้ง (ระหว่างการทดลองจะเปิดฝาหม้อเพื่อสังเกตผล 3 ครั้งคือเวลา 13.30 น., 14.00 น. และ 14.30 น. โดยการเปิด-ปิดฝาหม้อจะต้องทำอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน) ในการหมุนรวมแสงแต่ละครั้งสามารถสังเกตมุมมองได้จาก plate ครึ่งวงกลม (180°) ซึ่งติดอยู่ที่จุดหมุนและเพื่อความแม่นยำระหว่างที่หมุนแต่ละครั้งให้สังเกตเงาของนาฬิกาแดด(แผ่นจานกลมมีแท่งเหล็กแหลมปักอยู่ตรงกลาง) ไปด้วย ก็ถ้าไม่มีเงาของเหล็กแหลมปรากฏอยู่บนจานกลมเลย แสดงว่ารวมแสง

จะอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์พอดี เพราะฉะนั้นตลอดเวลาของการทดลองต้องคอยเฝ้า control ปรับรวบรวมแสงเพื่อไม่ให้มีเงาปรากฏบนนาฬิกาแดดจริงจะตั้งฉากกับดวงอาทิตย์เสมอ

5. บันทึกอุณหภูมิของท่อรับแสง 5 ตำแหน่ง, ท่อแก้ว 4 ตำแหน่ง, อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิของน้ำใน cooking pot. ทุก ๆ ครึ่งชั่วโมงตั้งแต่เวลา 9.00 น. จนเสร็จการทดลอง (ในแต่ละครั้งจะมีเวลาทดลองประมาณ 6 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถใช้แดดได้อย่างเต็มที่จากเวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น.)

6. ในเวลาประมาณ 11.00 น. จึงนำข้าวสารที่เตรียมไว้จากข้อ 3 ไปหุงโดยวางบนภาชนะที่รองรับใน Cooking Pot. ปิดฝา เริ่มจดค่าอุณหภูมิจนด้านนอกของ Cooking Pot. ทั้ง 6 ด้าน ตั้งแต่เวลานี้เป็นต้นไปและทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง จนกระทั่งถึงเวลาที่เปิดฝามือหุงต้มสังเกตผล ถ้าพบว่าข้าวเริ่มสุกจึงหยุดจดค่าดังกล่าว แต่ส่วนอื่นยังคงทำการทดลองต่อไปเพื่อให้ข้าวระอุเต็มที่

7. หากวันใดสภาพอากาศไม่ดี เช่น เมฆมาก, ฟิล์มฟ้าครึ้มฝน, แดดหุบเข้าหุบออกทั้งวัน หรือมีแดดครึ่งเช้าแต่พอดอนบ่ายกลับครึ้มเหมือนฝนจะตกแต่ไม่ตก เป็นผลให้ความเข้มของแสงอาทิตย์ลดลง จึงทำให้อุณหภูมิบนท่อรวมแสงลดลงด้วย เพื่อให้การทดลองมีความต่อเนื่องจึงเสริมพลังงานจาก heater (24 V. 150 W.) ซึ่งติดอยู่ใน cooking pot. โดยใช้ไฟจากแบตเตอรี่ 2 ลูก (24 V.) และใช้ hook amp. วัดไฟ DC. โดยคืบสายจากขั้วบวกแบตเตอรี่ที่เข้า heater , วัด volt โดยใช้ volt meter จดค่าทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง จนเสร็จการทดลอง

8. ครึ่งต่อไปสามารถทดลองได้ตามขั้นตอนดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น (ข้อ 1-7) แต่อาจเปลี่ยนจากหุงข้าวอย่างเดียว มาเป็นหุงข้าวพร้อมกับทำไข่ตุ๋น หรือต้มไข่ด้วยก็ได้

9. สำหรับข้อมูลความเข้มของแสงอาทิตย์ I_G (global radiation) และ I_d (diffuse radiation) ในแนว horizontal surface ได้รับความช่วยเหลือจาก สจ.ธ. เพื่อคำนวณหา I_{bn} (beam radiation) ในทิศทางตั้งฉากกับรวบรวมแสง (aperture plane) ตามสมการที่ (18) ดังรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

การวัดและการประเมินค่ารังสี^[20]

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัดพลังงานแสงอาทิตย์คือ ไพรานอมิเตอร์ (pyranometer) สามารถวัดรังสีรวมและรังสีกระจายได้ดังนี้

1. การใช้ไพรานอมิเตอร์วัดรังสีรวม

ไพรานอมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์ โดยทั่วไปประกอบด้วยตัวรับแสง

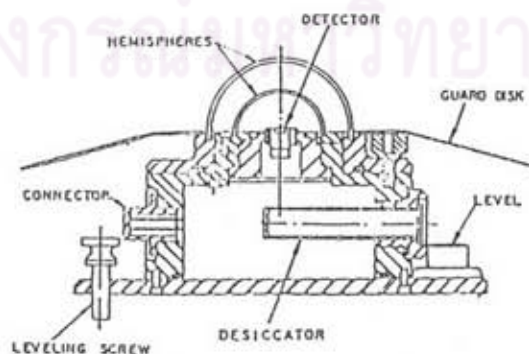
(receiver, detector) ที่ประกอบด้วยเทอร์โมไพล์ (thermopile) หลายชุดต่ออนุกรมกัน ตัวรับแสงบรรจุอยู่ในโดมแก้วครึ่งทรงกลม รูปที่ 22 แสดงภาคตัดขวางของไพรานอมิเตอร์แบบ Eppley precision

เทอร์โมไพล์ประกอบด้วยโลหะต่างชนิดกันเชื่อมกันอยู่ โลหะแต่ละชิ้นข้างหนึ่งขยับเคลื่อนด้วยสีดำและอีกข้างหนึ่งสีขาวสลับกัน เมื่อมีแสงตกกระทบอุณหภูมิของโลหะทั้งสองข้างจะต่างกันเนื่องจากความแตกต่างในการดูดกลืนแสงอาทิตย์ และเกิดแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก แรงดันไฟฟ้านี้ขึ้นกับความแตกต่างของอุณหภูมิของโลหะดำและขาว ซึ่งจะแปรตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์ แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าประมาณ $5-10 \text{ mV/cal.cm}^{-2} \text{ min.}^{-1}$

โดมแก้วครึ่งทรงกลมมี 2 ชั้น (ตามปกติ) ทำด้วยแก้วพิเศษหรือควอทซ์ซึ่งจะโปร่งใสต่อรังสีในช่วงสเปกตรัมแสงอาทิตย์ โดมนี้ป้องกันตัวรับแสงจากฝุ่นและลม และไม่ให้ความร้อนไปเนื่องจากการพาและการแผ่รังสี ได้โดมมีจานกลม (guard) สีขาวสวมอยู่โดยรอบป้องกันไม่ให้โดมได้รับรังสีสะท้อนจากพื้นดินและสิ่งแวดล้อม รังสีที่เข้าโดมจะเป็นรังสีที่มาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้า ไม่มีส่วนที่มาจากผิวโลก เมื่อพูดถึงรังสีรวม (ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย) จะจำกัดเฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้น (ไม่เกิน $3 \mu\text{m}$.) ซึ่งเป็นช่วงคลื่นแสงอาทิตย์ ไม่รวมพลังงานคลื่นยาวซึ่งเกิดจากการแผ่รังสีของผิวโลกและบรรยากาศ โดยผิวรับแสงเป็นพื้นนอน (horizontal surface) รังสีรวมในกรณีนี้เรียกว่า global radiation., (I_G) และไพรานอมิเตอร์มีสกรูปรับระดับเพื่อให้ตัวรับแสงอยู่ในแนวนอน

ในกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า, รังสีกระจายจากท้องฟ้า และรังสีกระจาย (ส่วนใหญ่เป็นการสะท้อน) จากผิวโลก รังสีรวมในกรณีนี้เรียกว่า total radiation., (I_T)

สำหรับข้อมูลรังสีรวมที่ได้จาก สจ.ธ. จะเป็น global radiation (I_G)



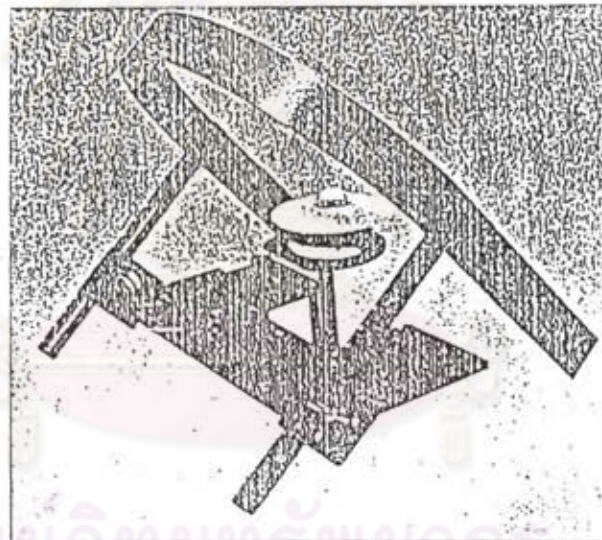
รูปที่ 22 ภาคตัดขวางของไพรานอมิเตอร์แบบ Eppley

2. การใช้ไพรานอมิเตอร์วัดรังสีกระจาย

การวัดรังสีกระจายในแนวนอนสามารถทำได้โดยใช้ไพรานอมิเตอร์ชนิดเดียวกับใช้วัดรังสีรวม แต่ต้องมีเครื่องบังรังสีตรงไม่ให้ตกลงบนผิวรับแสง เครื่องบังรังสีตรงที่สำคัญมี 2 แบบคือ

2.1 shading disc เป็นจานกลมเล็กซึ่งขับเคลื่อนโดยเครื่องมือตามแสงอาทิตย์เงาของจานจะตกบนผิวรับแสงตลอดทั้งวันและขนาดของเงาจะพอดีกับขนาดผิวรับแสง รังสีที่ตกกระทบผิวรับแสงจึงเป็นเฉพาะรังสีกระจาย

2.2 shading ring เป็นส่วนหนึ่งของวงแหวนกลม (ดูรูปที่ 23) วงแหวนนี้จะวางเอียงเท่ากับเส้นรุ้งของตำแหน่งการวัดและมีการขยับตามฤดูกาลให้เงาของแหวนตกลงบนผิวรับแสงอยู่เสมอ



รูปที่ 23 การวัดรังสีกระจายโดยใช้ shading ring ประกอบไพรานอมิเตอร์

สำหรับข้อมูลรังสีกระจายที่ได้จาก สจ.ธ. จะเป็น diffuse radiation., (I_d) โดยใช้เครื่องบังรังสีตรงแบบ shading ring แต่เนื่องจากวงแหวนมีขนาดใหญ่กว่าบังรังสีตรงแล้วยังบังรังสีกระจายบางส่วนไม่ให้ตกกระทบผิวรับแสงจึงต้องมีการชดเชยด้วยค่าชดเชย (correction factor) ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 3 โดยในที่นี้จะแสดงค่าเฉพาะในเดือนที่มีการทดลองเท่านั้น

ลักษณะการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์

ค่าการแผ่รังสีตรงที่ตกตั้งฉากกับ aperture plane สามารถคำนวณได้จากสมการ (18) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จำเป็นจะต้องทราบข้อมูลรังสีรวม (I_G), รังสีกระจาย (I_d), ค่า $\cos\theta_z$ จากสมการ (20) และค่ามุมที่รังสีตรงตกกระทบ aperture plane (incidence factor ; $\cos\theta_i$) จากสมการ (21) ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งจะได้อะไรแสดงข้อมูลและการคำนวณดังตารางที่ 4

ผลของรังสีตรงที่ได้ จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และมีค่ามากที่สุดเวลาประมาณ 12.00 น. - 13.00 น. (เป็นช่วงของเวลา solar noon) จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงในเวลาเย็น ซึ่งเป็นลักษณะตามปกติ ส่วนความเข้มของแสงอาทิตย์จะมีมากขึ้นอยู่คู่กับสภาพท้องฟ้าในขณะนั้น คือถ้าท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีเมฆ ความเข้มของแสงก็สูง แต่ถ้าวันใดท้องฟ้ามีเมฆมากมาบังดวงอาทิตย์บ่อย ความเข้มของแสงก็จะต่ำลง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 แสดงค่า correction factor ในแต่ละวัน ประจำเดือนเมษายน
และเดือนพฤษภาคม ของเขตกรุงเทพมหานคร

เมษายน				พฤษภาคม			
Day No.	Julian day	Declination (degree)	Correction factor	Day No.	Julian day	Declination (degree)	Correction factor
1	91	4.02	1.21	1	121	14.90	1.19
2	92	4.41	1.21	2	122	15.21	1.19
3	93	4.81	1.21	3	123	15.52	1.19
4	94	5.20	1.21	4	124	15.82	1.19
5	95	5.60	1.21	5	125	16.11	1.19
6	96	5.99	1.21	6	126	16.40	1.19
7	97	6.38	1.21	7	127	16.69	1.19
8	98	6.76	1.21	8	128	16.97	1.19
9	99	7.15	1.21	9	129	17.25	1.19
10	100	7.53	1.21	10	130	17.52	1.19
11	101	7.91	1.21	11	131	17.78	1.19
12	102	8.29	1.21	12	132	18.04	1.18
13	103	8.67	1.21	13	133	18.30	1.18
14	104	9.04	1.21	14	134	18.55	1.18
15	105	9.41	1.21	15	135	18.79	1.18
16	106	9.78	1.20	16	136	19.03	1.18
17	107	10.15	1.20	17	137	19.26	1.18
18	108	10.51	1.20	18	138	19.49	1.18
19	109	10.87	1.20	19	139	19.71	1.18
20	110	11.23	1.20	20	140	19.93	1.18
21	111	11.58	1.20	21	141	20.14	1.18
22	112	11.93	1.20	22	142	20.34	1.18
23	113	12.27	1.20	23	143	20.54	1.18
24	114	12.62	1.20	24	144	20.73	1.17
25	115	12.95	1.20	25	145	20.92	1.17
26	116	13.29	1.20	26	146	21.10	1.17
27	117	13.62	1.20	27	147	21.27	1.17
28	118	13.95	1.20	28	148	21.44	1.17
29	119	14.27	1.20	29	149	21.60	1.17
30	120	14.59	1.20	30	150	21.75	1.17
				31	151	21.90	1.17

ตารางที่ 4 แสดงค่ารังสีรวม (I_G), รังสีกระจาย (I_d) จากข้อมูลของ สจ.ข., ค่าของมุม $\cos \theta_z$, ค่าของมุมรังสีตรงที่ตกกระทบ aperture plane ($\cos \theta_i$) และรังสีตรง (I_{bn}) ที่ตกตั้งฉากกับ aperture plane ; W/m^2 .

วันที่	Time Type	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	ค่าเฉลี่ยการรวม รังสีตรง; $W/m^2 \cdot day$
		9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
7	G	532.26	608.26	622.78	708.59	634.67	665.25	771.31	764.69	727.71	660.40	634.20	607.83	508.54	476.42	374.20
	d	179.17	179.17	179.17	182.92	186.67	188.92	191.67	185.17	179.17	184.31	189.44	172.64	165.83	152.37	
	d'	216.80	216.80	216.80	221.33	225.87	228.59	231.92	224.06	216.80	223.02	229.22	214.94	200.65	184.37	
	h	315.46	391.46	405.98	487.26	408.80	436.66	539.39	540.63	510.91	437.38	404.98	392.89	307.89	292.05	
	$\cos \theta_z$	0.647	0.738	0.817	0.822	0.933	0.968	0.987	0.990	0.977	0.947	0.901	0.840	0.766	0.678	
	$\cos \theta_i$	0.433	0.557	0.678	0.787	0.877	0.941	0.977	0.981	0.957	0.901	0.819	0.716	0.598	0.474	
	bn	211.12	295.45	336.91	434.78	384.26	424.48	533.93	535.72	500.45	416.13	368.12	334.89	240.36	204.18	
10	G	613.06	696.70	668.52	759.55	727.60	774.88	836.51	769.01	738.54	687.04	657.45	575.84	547.79	555.89	400.55
	d	193.33	196.81	200.28	196.25	192.22	195.70	199.17	200.14	201.14	200.56	200.00	185.42	170.83	195.58	
	d'	233.93	238.14	242.34	237.46	232.59	236.80	241.00	242.17	243.38	242.68	242.00	224.36	206.70	236.65	
	h	379.13	458.56	426.18	522.09	495.01	538.08	595.51	526.48	495.16	444.36	415.45	351.48	341.09	319.24	
	$\cos \theta_z$	0.650	0.741	0.820	0.885	0.936	0.971	0.990	0.993	0.980	0.949	0.904	0.841	0.769	0.682	
	$\cos \theta_i$	0.437	0.562	0.686	0.791	0.881	0.946	0.982	0.986	0.961	0.906	0.824	0.720	0.603	0.479	
	bn	254.89	347.79	354.46	466.64	465.92	524.23	590.70	522.77	485.56	424.23	378.68	300.20	267.46	224.22	
11	G	561.52	636.01	653.98	728.88	691.98	716.09	788.55	790.95	729.72	674.96	600.72	553.84	544.91	532.27	394.57
	d	195.34	194.89	194.44	197.36	200.26	190.42	180.56	185.98	191.39	184.59	177.78	168.75	159.72	151.11	
	d'	232.45	231.92	231.38	234.86	238.33	226.60	214.87	221.32	227.75	219.66	211.56	200.81	190.07	179.82	
	h	329.07	404.09	422.60	494.02	453.65	489.49	573.68	569.63	501.97	455.30	389.16	353.03	354.85	352.45	
	$\cos \theta_z$	0.683	0.768	0.842	0.903	0.949	0.981	0.997	0.997	0.981	0.949	0.903	0.842	0.768	0.683	
	$\cos \theta_i$	0.479	0.602	0.719	0.823	0.907	0.965	0.994	0.994	0.965	0.907	0.823	0.719	0.602	0.479	
	bn	230.78	316.75	360.87	450.25	433.57	481.51	571.95	567.92	493.78	435.15	354.68	301.46	278.15	247.18	
10	G	472.22	536.11	576.39	586.67	589.45	522.22	450.00	377.78	419.45	461.11	479.17	497.22	383.32	359.44	231.91
	d	156.52	210.92	262.80	311.66	302.19	237.81	204.71	132.86	140.29	141.00	159.01	156.59	66.12	50.81	
	d'	186.26	250.99	312.72	359.61	359.61	282.99	243.61	158.10	166.95	167.75	189.22	186.34	78.68	60.46	
	h	285.96	285.12	263.67	229.84	229.84	239.23	206.39	219.68	252.50	293.36	289.95	310.88	304.64	298.98	
	$\cos \theta_z$	0.683	0.768	0.842	0.903	0.949	0.980	0.996	0.996	0.980	0.949	0.903	0.842	0.768	0.683	
	$\cos \theta_i$	0.480	0.602	0.719	0.822	0.906	0.964	0.993	0.993	0.964	0.906	0.822	0.719	0.602	0.480	
	bn	200.97	223.49	225.15	210.78	219.43	235.32	205.77	219.02	248.38	280.07	263.94	265.47	238.79	210.12	
13	G	416.67	450.00	500.00	502.00	531.95	513.89	516.67	519.44	451.39	383.33	366.67	350.00	322.22	294.44	206.86
	d	168.66	199.68	231.01	229.81	265.57	253.75	237.83	233.97	171.02	117.60	92.15	84.53	57.97	67.66	
	d'	199.02	235.62	272.59	271.18	313.37	299.43	280.61	276.08	201.80	138.77	108.74	99.75	68.40	79.84	
	h	217.65	214.38	227.41	228.82	218.58	214.46	236.03	243.36	249.59	244.56	257.93	250.25	253.82	214.60	
	$\cos \theta_z$	0.686	0.771	0.844	0.904	0.950	0.980	0.995	0.995	0.979	0.947	0.900	0.840	0.766	0.680	
	$\cos \theta_i$	0.484	0.606	0.722	0.824	0.907	0.964	0.992	0.991	0.961	0.902	0.818	0.714	0.598	0.476	
	bn	153.56	168.50	194.54	208.57	208.69	210.96	235.32	242.38	245.00	232.94	234.43	212.71	198.15	150.22	
16	G	671.62	671.72	712.97	681.36	769.99	818.56	833.61	827.05	798.05	789.74	746.35	686.32	671.93	641.70	473.33
	d	166.84	131.40	189.44	130.29	154.08	148.89	182.05	205.71	206.21	218.91	189.11	178.70	161.75	180.45	
	d'	196.87	155.05	223.54	153.74	181.81	175.69	214.82	242.74	243.33	258.31	223.15	210.87	190.87	212.93	
	h	474.75	516.67	489.43	527.62	588.18	642.87	618.79	584.31	545.72	531.43	523.20	475.45	481.06	428.77	
	$\cos \theta_z$	0.687	0.771	0.844	0.903	0.949	0.979	0.994	0.994	0.978	0.946	0.900	0.839	0.766	0.681	
	$\cos \theta_i$	0.485	0.606	0.721	0.823	0.905	0.962	0.990	0.989	0.959	0.900	0.817	0.714	0.598	0.477	
	bn	335.16	406.10	418.10	480.88	560.91	631.71	616.30	581.37	535.12	505.59	474.95	404.61	375.55	300.33	

หมายเหตุ $G = I_G$ $d = I_d$ $d' = I_{d'}$ $b = I_b$ และ $bn = I_{bn}$

ตัวอย่างการคำนวณหารังสีตรง (I_{bn}) ที่ตกตั้งฉากกับ aperture plane; (W/m^2 .)

พิจารณาของวันที่ 8 พฤษภาคม 2538 เริ่มต้นจากที่ทราบข้อมูลรังสีรวม (I_G) และ รังสีกระจายที่คูณค่า correction factor แล้ว (I_d) ในแนวราบ จะสามารถหารังสีตรง (I_b) ได้ จาก $I_b = I_G - I_d$ ซึ่งเป็นค่ารังสีตรงในแนวราบเช่นกัน แต่เราต้องการรังสีตรงที่ตกตั้งฉากกับ aperture plane (I_{bn}) จากสมการที่ 18

ตัวอย่างเช่น ที่เวลา 9.00 น.-9.30 น. (พิจารณาดารงที่ 4)

$$\text{รังสีรวม } (I_G) = 561.52 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{รังสีกระจาย } (I_d) = 195.34 \text{ W/m}^2.$$

แต่ในวันที่ 8 พฤษภาคม มีค่า correction factor = 1.19 (จากตารางที่ 3)

$$\text{จะได้ รังสีกระจาย } (I_d) = 195.34 \times 1.19 = 232.45 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{และ รังสีรวม } (I_b) = I_G - I_d = 561.52 - 232.45 = 329.07 \text{ W/m}^2.$$

เปลี่ยนค่ารังสีตรง (I_b) แนวราบไปเป็นค่ารังสีตรง (I_{bn}) ในแนวที่ตั้งฉากกับ aperture plane จำเป็นจะต้องทราบมุมของรังสีตรงที่ตกกระทบกับ aperture plane ซึ่งเป็นไปตามอัตราส่วนของมุม $\cos \theta_1 / \cos \theta_2$ จากสมการ (20) และ (21) คือ

$$\cos \theta_2 = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi$$

$$\cos \theta_1 = \left[(\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega)^2 + \cos^2 \delta \sin^2 \omega \right]^{1/2}$$

เรทราบมุม latitude (ϕ) = 14° (ที่กรุงเทพฯ), declination angle. (δ) = 16.97° (8 พฤษภาคม)

และ hour angle (ω) มุมชั่วโมง ดังตารางที่ 5 [8 พฤษภาคม ; solar noon (0°) = 12.15 น.

(จากภาคผนวก ง.) นับถอยหลังมา 3 hr คือเวลา 9.15 น. ตรงกับมุม 45° ($15^\circ/hr$) ถ้าพิจารณา ตั้งแต่เวลา 9.00 น. รังรวมแสงจะเริ่มหมุนที่มุม 48.75°]

ตารางที่ 5 แสดงค่า hour angle (ω), $\cos \theta_2$ และ incidence factor ($\cos \theta_1$)

เวลา	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30
ค่ามุม	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
ω (degree)	48.75	41.25	33.75	26.25	18.75	11.25	3.75	-3.75	-11.25	-18.75	-26.25	-33.75	-41.25	-48.75
$\cos \theta_2$	0.683	0.768	0.842	0.903	0.949	0.981	0.997	0.997	0.981	0.949	0.903	0.842	0.768	0.683
$\cos \theta_1$	0.479	0.602	0.719	0.823	0.907	0.965	0.994	0.994	0.965	0.907	0.823	0.719	0.602	0.479

จากสมการหา $\cos \theta_2$ และ $\cos \theta_1$ จะเห็นว่า มุม ϕ จะคงที่ = 14° , มุม δ จะเปลี่ยนไปตามวันที่ ทำการทดลอง และมุม ω จะขึ้นอยู่กับเวลาที่เที่ยงของดวงอาทิตย์ (solar noon) ดูได้จากภาคผนวก ง. เพื่อหามุมเริ่มต้นการทดลอง เข้ามามีค่าเป็นบวก บ่ามีค่าเป็นลบ ในวันอื่น ๆ ที่เหลือก็สามารถหา $\cos \theta_2$ และ $\cos \theta_1$ ได้โดยใช้หลักการเดียวกันนี้

แทนค่าจะได้

$$\cos \theta_2 = \cos 16.97 \cos 14 \cos 48.75 + \sin 16.97 \sin 14$$

$$= 0.683$$

$$\cos \theta_1 = \left[(\sin 14 \sin 16.97 + \cos 14 \cos 16.97 \cos 48.75)^2 + \cos^2 16.97 \sin^2 48.75 \right]^{1/2}$$

$$= 0.479$$

$$\therefore \text{ในช่วงเวลา 9.00 น.-9.30 น. จะได้ } I_{\text{bn}} = I_b (\cos \theta_1 / \cos \theta_2) = 329.07 \times (0.479 / 0.683) \\ = 230.78 \text{ W/m}^2. \quad (\text{ดังตารางที่ 4})$$

ช่วงเวลาที่เหลือทั้งหมด และของวันอื่นๆ สามารถคำนวณได้ตามตัวอย่างนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อรับแสงกับลักษณะการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์

อุณหภูมิต่อรับแสง ขึ้นอยู่กับปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกบนพื้นโลก และคุณสมบัติการดูดรังสีของวัสดุที่เคลือบต่อรับแสง พิจารณาจากข้อมูลในตารางที่ 6-11 เมื่อท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีเมฆ เช่นวันที่ 7, 10 เมษายน และ 8, 16 พฤษภาคม รางพาราโบลสามารถรับแสงได้เต็มที่ ทำให้อุณหภูมิจากการรวมแสงมีค่าสูง แต่ถ้าวันใดท้องฟ้ามีเมฆมาบังดวงอาทิตย์ความเข้มของการแผ่รังสีตรงก็จะต่ำลง (เช่น วันที่ 10 หรือ 13 พฤษภาคม ดังนั้นการทดลองในวันดังกล่าวจึงต้องเสริมด้วยพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากพลังงานจากแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ) ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของเมฆที่มาบัง ปริมาณของแสงที่ตกบนรางก็จะมากน้อยตามไปด้วย ทำให้อุณหภูมิต่อรับแสงลดลง นอกจากนี้ถ้าเลือกใช้วัสดุที่มีค่า absorptance สูงเคลือบต่อรับแสง จะสามารถเพิ่มอุณหภูมิต่อรับแสงให้สูงขึ้นได้

ลักษณะการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และมีค่ามากที่สุดเวลา 12.00-13.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เที่ยงตรงของดวงอาทิตย์ (solar noon) จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงในเวลาเย็น รูปที่ 24-29 ได้แสดงลักษณะการกระจายของอุณหภูมิเฉลี่ยจาก 5 ตำแหน่งบนต่อรับแสงและ 4 ตำแหน่งบนต่อแก้ว รวมถึงอุณหภูมิใน cooking pot ที่เปลี่ยนแปลงไปแต่ละช่วงเวลาที่ทำกรทดลองตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้นการทดลอง จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิต่อรับแสงมีลักษณะการกระจายไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือ บางตำแหน่งมีอุณหภูมิแตกต่างประมาณ $1-2^{\circ}\text{C}$ แต่บางตำแหน่งมีอุณหภูมิแตกต่าง $5-10^{\circ}\text{C}$. สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ อาจเกิดขึ้นจากแผ่นสะท้อนแสงสเตนเลสมีรูปโค้งพาราโบลที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อแสงตกกระทบจึงสะท้อนหักเหออกจากแนวต่อรับแสงไป ทำให้ความเข้มของการรวมแสงไม่สม่ำเสมอ หรืออาจเนื่องจากมุมตกทอด (declination angle, δ) ของดวงอาทิตย์ที่ทำกับพื้นโลกไม่เท่ากันในแต่ละวัน (เวลา 4 วันจะเปลี่ยนมุมไป

1 องศา) ทำให้เกิด cosine effect ขึ้น ดังนั้นเมื่อมุมของแสงที่ตกบนรางเปลี่ยนไป ย่อมทำให้ตำแหน่งที่แสงสะท้อนไปตกบนท่อรับแสงเปลี่ยนไปด้วย เพราะสายเทอร์โมคัปเปิลติดไว้ ณ ตำแหน่งคงที่ สำหรับการกระจายอุณหภูมิบนท่อแก้วมีลักษณะเช่นเดียวกับท่อรับแสง ท่อแก้วที่ครอบไว้มีส่วนช่วยลดการสูญเสียความร้อนจากท่อรับแสงสู่บรรยากาศ เนื่องจากการดูดกลืนรังสีภายในท่อแก้วจะทำให้อุณหภูมิท่อแก้วสูงขึ้นเป็นผลให้การสูญเสียความร้อนจากท่อรับแสงลดลง ส่วนอุณหภูมิใน cooking pot. จะมีลักษณะสัมพันธ์กับอุณหภูมิบนท่อรับแสง คือถ้าอุณหภูมิบนท่อรับแสง มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างเช่นในตารางที่ 11 และรูปที่ 29 ตั้งแต่เวลา 9.00 น.-12.30 น. อุณหภูมิใน pot. ก็จะเพิ่มขึ้นตามในอัตราเพิ่มอุณหภูมิจากช่วงเวลาหนึ่งไป ยังอีกช่วงเวลาหนึ่งมากในลักษณะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งอุณหภูมิบนท่อรับแสงมีแนวโน้มเริ่มลดลง ซึ่งจะมีลักษณะเช่นนี้ในช่วงบ่าย ๆ (หลังเวลา 13.00 น.) อัตราการเพิ่มอุณหภูมิใน pot. จะเริ่มน้อยลง จนกระทั่งถึงจุด ๆ หนึ่งจะคงที่แล้วมีแนวโน้มจะลดต่ำลงในที่สุด



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 แสดงการกระจายของอุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ Heat pipe, ท่อแก้ว และ
อุณหภูมิใน Cooking Pot. ในเวลาต่าง ๆ

วันที่ 7 เมษายน 2538

ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีตรง $I_{bn} = 374.20 \text{ W/m}^2\text{-day}$.

เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิ น้ำใน Pot (°C)	อุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ heat pipe และท่อแก้ว ณ ตำแหน่งที่											อุณหภูมิที่ผิวผนังด้านนอก ของ Cooking Pot. ทั้ง 6 ด้าน (°C)					
			บนท่อ heat pipe (°C)						บนท่อแก้ว (°C)										
			1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	6
9.00 น.	30.5	31	97	106	98	96	95	98	42	43	46	45	44						
9.30 น.	32.1	32	105	109	103	104	102	105	46	46	49	48	47						
10.00 น.	32.2	35	111	110	112	104	109	109	46	50	51	49	49						
10.30 น.	33.4	39	115	110	114	111	116	113	62	60	59	54	59						
11.00 น.	34.5	45	116	114	120	117	122	118	68	62	60	57	62	35	35	35	36	35	35
11.30 น.	34.3	50	123	127	129	130	132	128	71	66	63	67	67	35	35	35	38	36	37
12.00 น.	34.0	58	135	138	145	140	145	141	74	76	75	76	75	36	37	36	40	38	39
12.30 น.	34.2	65	142	142	152	142	149	145	78	79	80	80	79	40	42	43	44	43	43
13.00 น.	34.3	73	144	147	154	146	153	149	82	83	83	82	83	45	47	47	49	48	48
13.30 น.	34.7	76	133	134	139	133	138	135	73	78	78	79	77	48	49	48	51	50	49
14.00 น.	35.0	79	127	131	134	134	137	133	69	70	71	70	70	50	51	51	53	51	52
14.30 น.	34.5	80	116	120	120	117	119	118	64	66	63	61	64	50	52	51	54	53	53
15.00 น.	34.0	80	112	117	119	115	118	116	59	53	53	52	54						
15.30 น.	34.0	78	109	110	111	115	113	112	54	53	53	56	54						

หมายเหตุ การทดลองครั้งนี้ไม่ได้เสริมไฟฟ้า

ตารางที่ 7 แสดงการกระจายของอุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ Heat pipe, ท่อแก้ว และ
อุณหภูมิใน Cooking Pot. ในเวลาต่าง ๆ

วันที่ 10 เมษายน 2538

ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีตรง $I_{bn} = 400.55 \text{ W/m}^2\text{-day}$.

เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิ น้ำใน Pot ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ heat pipe และท่อแก้ว ณ ตำแหน่งที่											อุณหภูมิที่ผิวผนังด้านนอก ของ Cooking Pot. ทั้ง 6 ด้าน ($^{\circ}\text{C}$)							
			บนท่อ heat pipe ($^{\circ}\text{C}$)						บนท่อแก้ว ($^{\circ}\text{C}$)												
			1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	6		
9.00 น.	32.3	31	99	103	99	100	100	100	44	45	46	46	45								
9.30 น.	32.9	34	109	114	111	119	120	115	45	47	49	46	47								
10.00 น.	33.7	39	117	121	118	123	127	121	52	55	56	57	55								
10.30 น.	34.3	43	122	130	122	132	130	127	51	53	54	53	53								
11.00 น.	34.9	49	131	138	131	140	137	135	55	60	59	60	59	35	35	34	37	36	36		
11.30 น.	35.4	55	133	140	133	142	140	138	59	58	66	63	62	37	38	37	39	38	37		
12.00 น.	35.9	63	145	150	148	155	151	150	68	75	74	77	74	38	40	41	43	41	42		
12.30 น.	36.0	72	147	153	149	154	149	150	76	81	76	81	79	45	47	47	49	48	48		
13.00 น.	36.0	79	143	147	144	149	148	146	74	80	74	80	77	50	52	51	53	52	51		
13.30 น.	36.1	81	134	131	136	139	139	136	70	66	64	62	66	51	52	52	54	53	53		
14.00 น.	36.1	82	133	129	135	132	133	132	71	65	63	62	65	52	53	53	55	54	53		
14.30 น.	35.6	82	123	125	131	129	130	128	68	65	62	60	64								
15.00 น.	35.0	80	116	120	124	117	122	120	64	63	61	61	62								

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ การทดลองครั้งนี้ไม่ได้เสริมไฟฟ้า

ตารางที่ 8 แสดงการกระจายของอุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ Heat pipe, ท่อแก้ว และ
อุณหภูมิใน Cooking Pot. ในเวลาต่าง ๆ

วันที่ 8 พฤษภาคม 2538

ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีตรง $I_{\text{hm}} = 394.57 \text{ W/m}^2\text{-day}$.

เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิ น้ำใน Pot ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ heat pipe และท่อแก้ว ณ ตำแหน่งที่											อุณหภูมิที่ผิวผนังด้านนอก ของ Cooking Pot. ทั้ง 6 ด้าน ($^{\circ}\text{C}$)					
			บนท่อ heat pipe ($^{\circ}\text{C}$)					บนท่อแก้ว ($^{\circ}\text{C}$)											
			1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	6
9.00 น.	30.6	30	98	104	106	102	107	103	42	44	44	45	44						
9.30 น.	31.4	32	102	104	104	108	110	106	44	43	46	48	45						
10.00 น.	32.2	36	109	103	115	114	118	112	42	54	58	60	56						
10.30 น.	32.6	41	111	115	113	119	123	116	43	55	59	61	57						
11.00 น.	33.0	48	116	124	127	126	131	125	48	60	63	65	62	34	35	35	37	36	35
11.30 น.	33.3	54	126	120	130	134	138	130	60	66	68	71	66	35	36	37	39	37	38
12.00 น.	33.6	61	136	143	144	144	146	143	63	71	70	70	69	37	39	39	42	40	41
12.30 น.	34.3	69	139	145	152	150	154	148	70	80	82	78	78	43	45	44	47	46	45
13.00 น.	35.0	78	136	144	148	148	151	145	66	72	75	74	72	49	51	51	53	52	52
13.30 น.	35.4	80	132	136	139	136	140	137	66	73	74	73	72	50	51	52	54	53	52
14.00 น.	35.8	81	131	128	135	132	138	133	60	65	66	66	64	51	52	52	54	53	53
14.30 น.	35.5	81	128	124	131	128	133	129	59	59	60	60	60						
15.00 น.	35.2	81	119	114	122	120	126	120	57	55	56	56	56						

หมายเหตุ การทดลองครั้งนี้ไม่ได้เสริมไฟฟ้า

ตารางที่ 9 แสดงการกระจายของอุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ Heat pipe, ท่อแก้ว และ
อุณหภูมิใน Cooking Pot. ในเวลาต่าง ๆ

วันที่ 10 พฤษภาคม 2538

ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีตรง $I_{bn} = 231.91 \text{ W/m}^2\text{-day}$.

เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิ น้ำใน Pot ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ heat pipe และท่อแก้ว ณ ตำแหน่งที่											อุณหภูมิที่ผิวผนังด้านนอก ของ Cooking Pot. ทั้ง 6 ด้าน ($^{\circ}\text{C}$)						
			บนท่อ heat pipe ($^{\circ}\text{C}$)						บนท่อแก้ว ($^{\circ}\text{C}$)											
			1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	6	
9.00 น.	29.9	30	97	106	93	96	95	97	40	32	43	47	42							
9.30 น.	30.4	34	100	114	100	102	99	103	44	43	44	46	44							
10.00 น.	30.8	40	101	120	103	102	100	105	49	48	48	47	48							
10.30 น.	31.3	43	98	104	104	106	99	102	51	49	50	50	50							
11.00 น.	31.8	46	101	108	103	107	100	104	50	50	52	54	52	32	33	33	35	34	33	
11.30 น.	32.4	49	104	107	106	106	105	106	51	51	52	54	52	33	34	33	35	34	33	
12.00 น.	32.9	51	103	107	108	107	106	106	52	51	52	53	52	34	35	34	36	34	34	
12.30 น.	33.0	54	101	110	103	102	95	102	49	48	48	47	48	35	36	35	37	35	35	
13.00 น.	33.1	55	105	112	107	109	100	107	50	48	49	49	49	35	36	36	37	35	36	
13.30 น.	33.1	57	110	116	109	112	104	110	55	54	54	53	54	35	37	37	37	36	36	
14.00 น.	33.1	57	114	121	113	118	110	115	60	62	62	61	61	35	37	37	37	36	37	
14.30 น.	33.2	70	126	138	124	130	120	128	63	65	65	64	64	41	44	44	46	45	45	
15.00 น.	33.3	81	123	128	118	120	117	121	64	62	62	62	63	53	54	55	57	56	55	
15.30 น.	32.9	90	121	125	118	119	115	120	62	60	61	61	61	56	58	58	59	57	58	

หมายเหตุ เพื่อให้การทดลองมีความต่อเนื่อง จึงเสริมไฟฟ้าตั้งแต่เวลา 14.00 น. เนื่องจากความเข้มของแสงไม่เพียงพอ (ห้องฟ้ามีเมฆมากบังดวงอาทิตย์บ่อย แสงแดดไม่สม่ำเสมอ) สังเกตได้จากอุณหภูมิใน pot. ก่อนเสริมไฟฟ้ายังอยู่ในระดับต่ำเพียง 57°C . ไม่มีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นอีก พลังงานแสงอาทิตย์จึงไม่พอต่อการหุงข้าวให้สุกในครั้งนี้ (เสริมไฟฟ้า 1 ชั่วโมง 30 นาที)

ตารางที่ 10 แสดงการกระจายของอุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ Heat pipe, ท่อแก้ว และ
อุณหภูมิใน Cooking Pot. ในเวลาต่าง ๆ

วันที่ 13 พฤษภาคม 2538

ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีตรง $I_{bn} = 206.86 \text{ W/m}^2\text{-day}$.

เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิ น้ำใน Pot ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ heat pipe และท่อแก้ว ณ ตำแหน่งที่										อุณหภูมิที่ผิวผนังด้านนอก ของ Cooking Pot. ทั้ง 6 ด้าน ($^{\circ}\text{C}$)						
			บนท่อ heat pipe ($^{\circ}\text{C}$)					บนท่อแก้ว ($^{\circ}\text{C}$)											
			1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	6
9.00 น.	29.8	29	80	91	89	91	84	87	44	41	42	41	42						
9.30 น.	30.0	30	79	80	89	94	86	86	45	44	41	41	43						
10.00 น.	30.2	33	89	100	97	101	95	96	46	45	46	45	46						
10.30 น.	30.9	37	95	105	102	104	99	101	45	44	45	45	45						
11.00 น.	31.6	42	96	106	102	106	99	102	45	43	44	45	44	32	33	32	33	33	32
11.30 น.	32.0	45	98	100	102	104	101	101	48	46	47	49	48	32	34	34	35	34	35
12.00 น.	32.3	48	105	110	105	104	95	104	46	44	43	44	44	33	35	34	35	35	35
12.30 น.	32.4	51	107	113	107	106	101	107	46	45	45	46	46	34	36	36	36	36	35
13.00 น.	32.4	52	106	112	106	107	101	106	45	44	45	44	45	34	36	37	37	36	36
13.30 น.	32.6	52	108	115	110	109	101	109	46	45	44	43	45	35	36	37	37	37	37
14.00 น.	32.7	67	114	122	116	115	108	115	47	46	46	45	46	41	43	43	45	44	43
14.30 น.	32.4	83	110	120	113	110	103	111	45	45	44	43	44	54	57	56	58	57	56
15.00 น.	32.0	92	109	120	114	108	105	111	43	44	44	43	44	56	60	59	61	59	58

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ เพื่อให้การทดลองมีความต่อเนื่อง จึงเสริมไฟฟ้าตั้งแต่วันที่ 13.30 น. เนื่องจากความเข้มของแสงไม่เพียงพอ (ห้องฟ้ามีเมฆมากบังดวงอาทิตย์บ่อย แสงแดดไม่สม่ำเสมอ) สังเกตได้จากอุณหภูมิใน pot. ก่อนเสริมไฟฟ้ายังอยู่ในระดับต่ำเพียง 52°C . ไม่มีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นอีก หลังงานแสงอาทิตย์จึงไม่พอต่อการหุงข้าวให้สุกในครั้งนี้ (เสริมไฟฟ้า 1 ชั่วโมง 30 นาที)

ตารางที่ 11 แสดงการกระจายของอุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ Heat pipe, ท่อแก้ว และ
อุณหภูมิใน Cooking Pot. ในเวลาต่าง ๆ

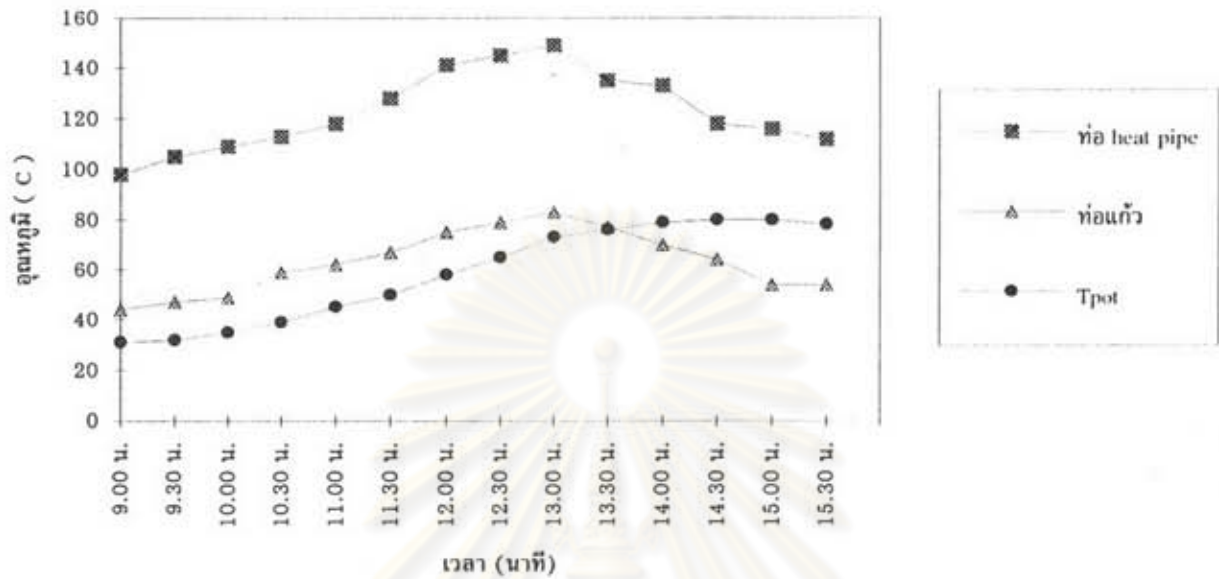
วันที่ 16 พฤษภาคม 2538

ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีตรง $I_{bn} = 473.33 \text{ W/m}^2\text{-day}$.

เวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิ น้ำใน Pot ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ heat pipe และท่อแก้ว ณ ตำแหน่งที่											อุณหภูมิที่ผิวผนังด้านนอก ของ Cooking Pot. ทั้ง 6 ด้าน ($^{\circ}\text{C}$)					
			บนท่อ heat pipe ($^{\circ}\text{C}$)					บนท่อแก้ว ($^{\circ}\text{C}$)											
			1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	6
9.00 น.	31.0	30	91	99	94	104	102	98	43	47	49	46	46						
9.30 น.	34.0	36	120	123	119	127	126	123	56	58	56	56	57						
10.00 น.	34.0	44	126	123	128	130	131	128	59	60	59	58	59						
10.30 น.	35.6	48	128	125	130	133	133	130	69	67	68	67	68						
11.00 น.	35.2	55	143	140	144	146	148	144	72	71	72	70	71	36	37	36	38	37	36
11.30 น.	35.1	63	150	149	151	154	155	152	81	78	81	73	78	36	39	38	40	39	39
12.00 น.	36.0	70	153	150	153	155	156	153	82	80	82	79	81	41	43	44	46	45	44
12.30 น.	36.0	75	150	149	150	152	153	151	79	77	78	77	78	45	47	48	50	49	49
13.00 น.	36.0	81	146	143	144	148	150	146	78	78	76	70	76	49	52	52	54	53	53
13.30 น.	35.5	83	142	144	144	146	145	144	72	79	73	78	76	50	53	53	55	53	54
14.00 น.	35.0	83	137	143	136	142	136	139	63	63	66	65	64						
14.30 น.	35.9	83	131	139	131	138	134	135	54	57	59	58	57						
15.00 น.	35.8	81	120	126	122	126	123	123	51	56	55	56	55						

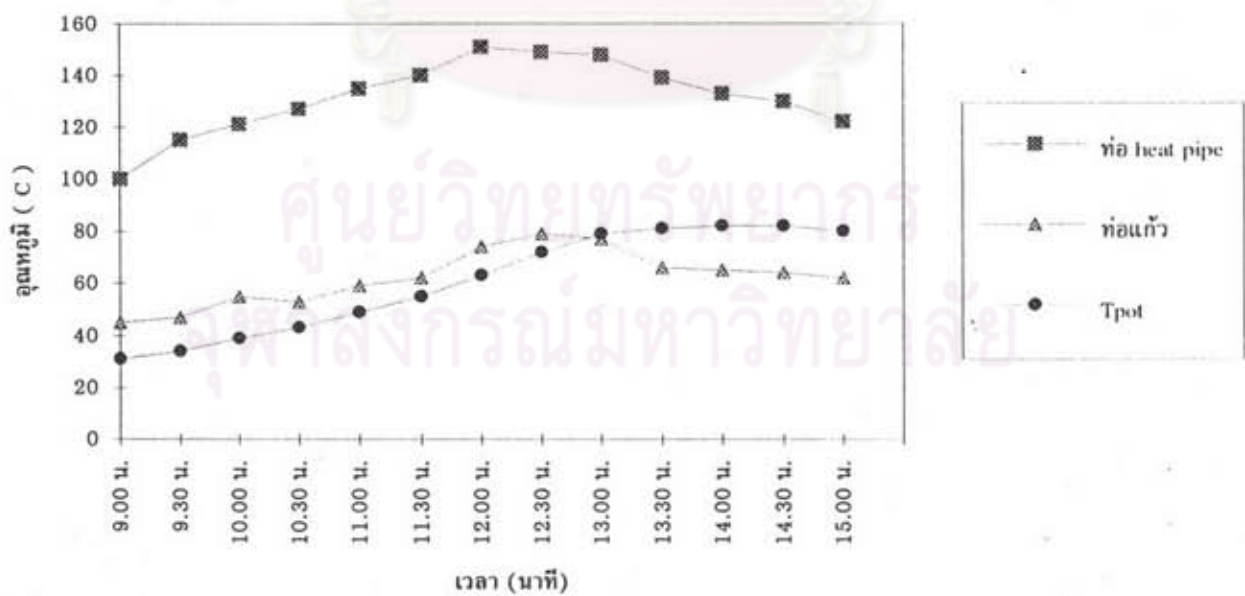
หมายเหตุ การทดลองครั้งนี้ไม่ได้เสริมไฟฟ้า

วันที่ 7 เมษายน 2538



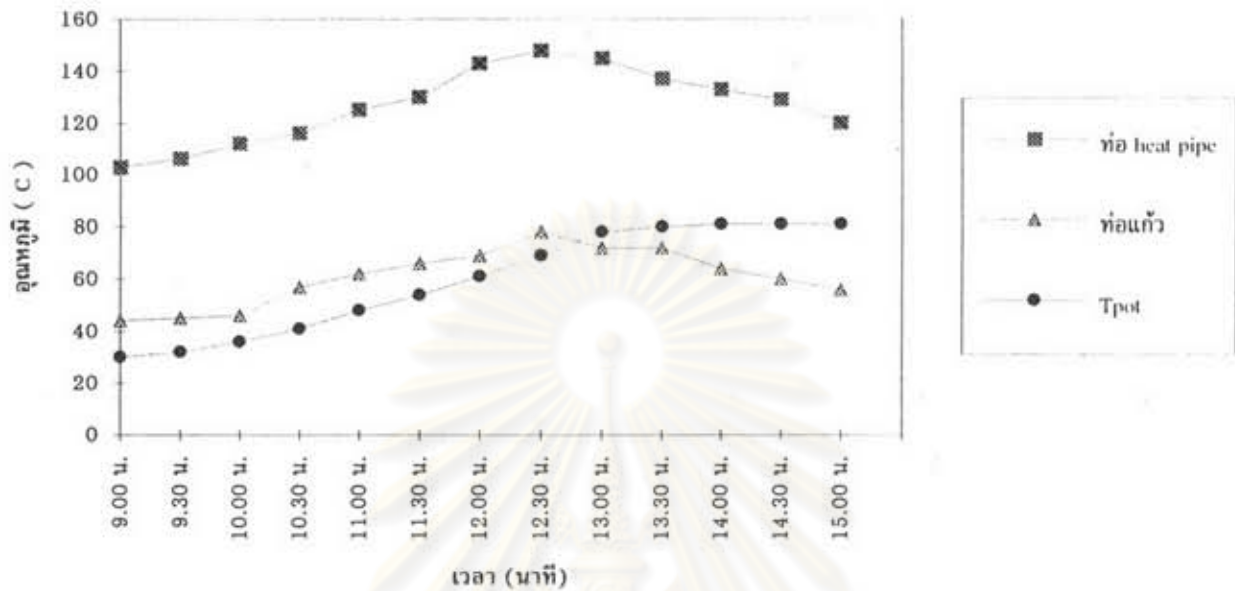
รูปที่ 24 แผนภูมิแสดงการกระจายของอุณหภูมิเฉลี่ยบนท่อรับแสง (Heat pipe), ท่อแก้ว และ อุณหภูมิใน cooking pot.

วันที่ 10 เมษายน 2538



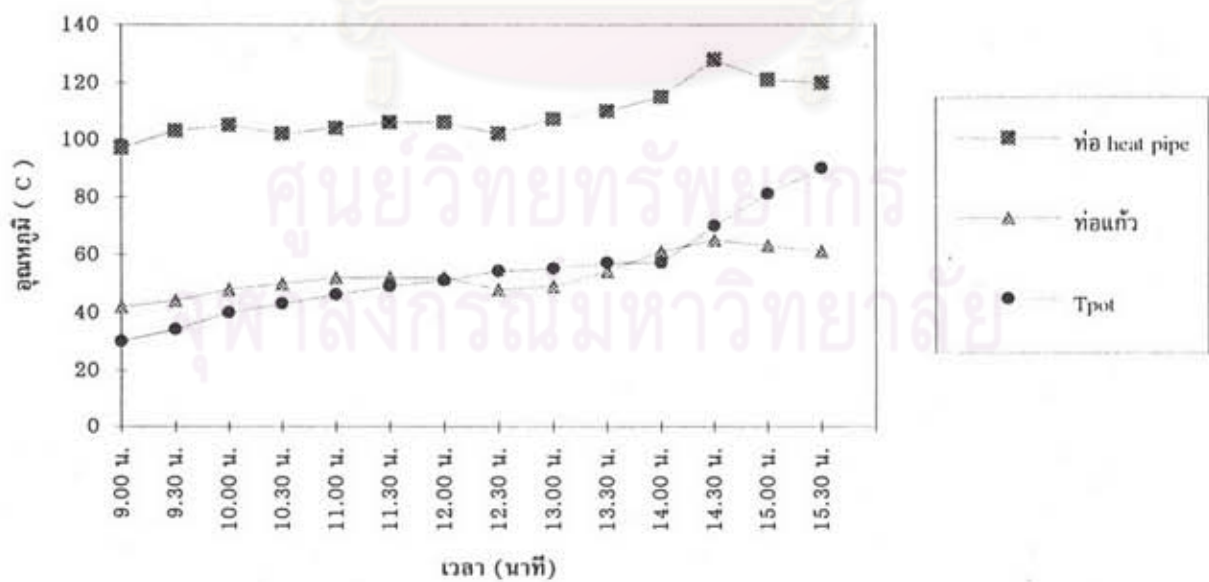
รูปที่ 25 แผนภูมิแสดงการกระจายของอุณหภูมิเฉลี่ยบนท่อรับแสง (Heat pipe), ท่อแก้ว และ อุณหภูมิใน cooking pot.

วันที่ 8 พฤษภาคม 2538



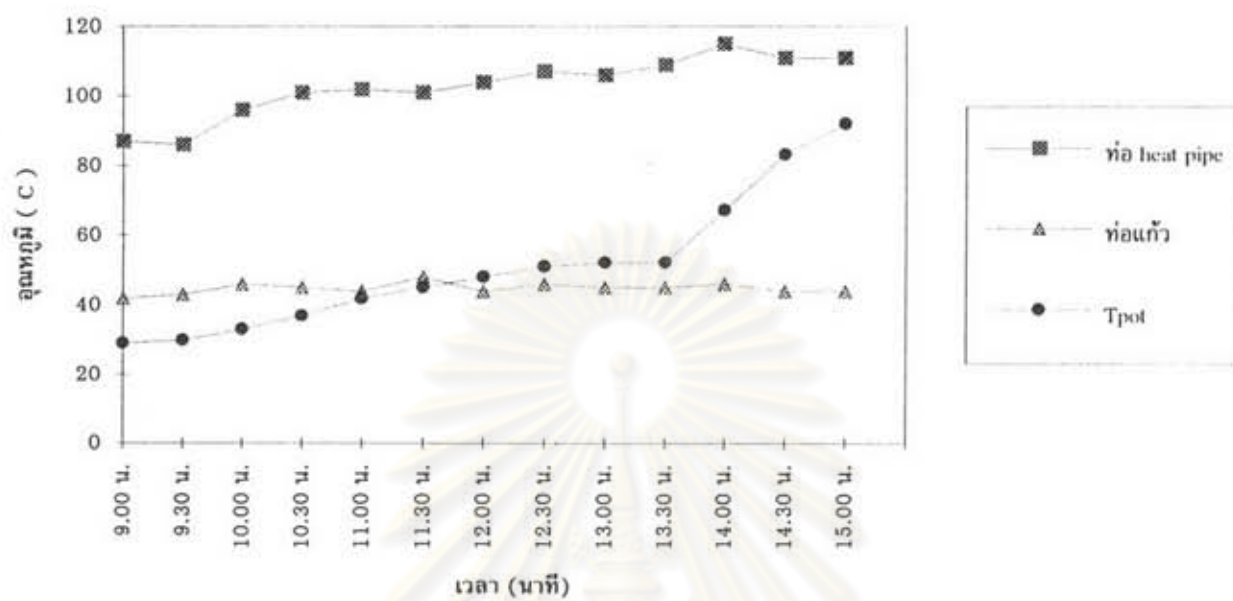
รูปที่ 26 แผนภูมิแสดงการกระจายของอุณหภูมิเฉลี่ยบนท่อรับแสง (Heat pipe), ท่อแก้ว และ อุณหภูมิใน cooking pot.

วันที่ 10 พฤษภาคม 2538



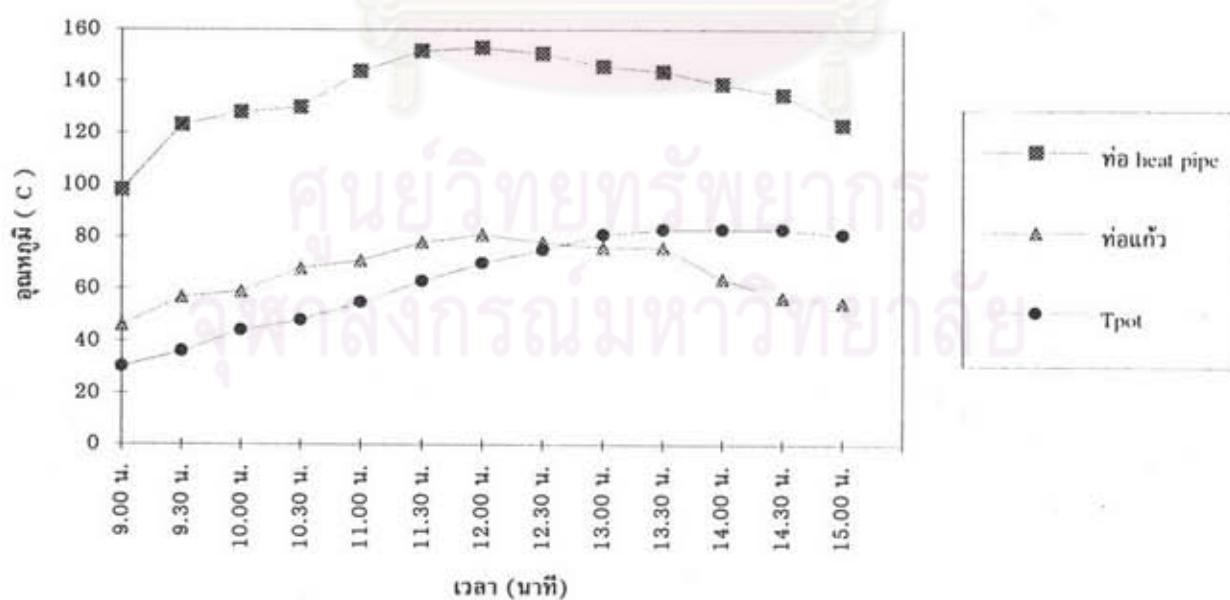
รูปที่ 27 แผนภูมิแสดงการกระจายของอุณหภูมิเฉลี่ยบนท่อรับแสง (Heat pipe), ท่อแก้ว และ อุณหภูมิใน cooking pot.

วันที่ 13 พฤษภาคม 2538



รูปที่ 28 แผนภูมิแสดงการกระจายของอุณหภูมิเฉลี่ยบนท่อรับแสง (Heat pipe), ท่อแก้ว และ อุณหภูมิใน cooking pot.

วันที่ 16 พฤษภาคม 2538



รูปที่ 29 แผนภูมิแสดงการกระจายของอุณหภูมิเฉลี่ยบนท่อรับแสง (Heat pipe), ท่อแก้ว และ อุณหภูมิใน cooking pot.

ผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมด 6 ครั้ง ปรากฏว่าการทดลองของวันที่ 16 พฤษภาคม 2538 ได้ผลดีที่สุด เมื่อเริ่มหุงข้าวในเวลา 11.00 น. และข้าวเริ่มสุกในเวลา 13.30 น. รวมเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที แสดงให้เห็นว่าพลังงานแสงอาทิตย์มีเพียงพอต่อการที่จะหุงข้าวให้สุกในเวลาตามที่ได้ออกแบบไว้เบื้องต้น (2.5 hrs.) แต่ในบางวันทดลองหุงข้าวต้องใช้เวลาหุงมากกว่า 2 ชั่วโมงครึ่ง อาจมีสาเหตุมาจากสภาพดินฟ้าอากาศไม่คงที่เปลี่ยนแปลงไปทุกวันและเวลา หรือจากการขึ้นรูปของรางพาราโบลิกยังมีความผิดพลาด เช่นการบิดเบี้ยวของราง ตำแหน่งการวางจุดโฟกัสของท่อรับแสง เป็นต้น ทำให้การสะท้อนแสงจากรางพาราโบลิกสู่ท่อรับแสงไม่เข้าในตำแหน่งจุดโฟกัสตลอดความยาวของท่อ ทำให้อุณหภูมิต่อไม่สม่ำเสมอ พลังงานความร้อนที่หม้อหุงต้มได้รับจึงสูง ๆ ต่ำ ๆ จึงทำให้ใช้เวลาหุงข้าวมากน้อยแตกต่างกัน จากการทดลองในวันที่สามารถใช้แสงแดดได้อย่างเต็มที่ (7, 10 เม.ย. 2538 และ 8, 16 พ.ค. 2538) ในช่วงเวลา 11.00 น.-14.00 น. จะใช้เวลาหุงข้าวเฉลี่ยประมาณ 2.5 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ประมาณ 571.83 W/m^2 . ได้อุณหภูมิต่อรับแสงเฉลี่ยสูงสุด 153°C และอุณหภูมิภายในหม้อหุงต้มสูงสุดเท่ากับ 83°C ประสิทธิภาพของรางรวมแสงและหม้อหุงต้มประมาณ 26% และ 91% ตามลำดับ พลังงานที่ใช้หุงต้มจากแสงอาทิตย์ทั้งหมดเฉลี่ย $1,626.47 \text{ kJ}$. และพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปจากหม้อหุงต้มเฉลี่ย 140.31 kJ . ส่วนการทดลองของวันที่ 10, 13 พ.ค. 2538 การหุงข้าวต้องเสริมด้วยไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 267.83 kJ . เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที เนื่องจากในวันดังกล่าวสภาพอากาศไม่ดี มีแสงแดดเพียงครึ่งเช้าพอช่วงบ่ายกลับครึ้มไม่มีแดด ดังรูป 30-35 ซึ่งได้แสดงกราฟความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานในการหุงต้ม ประสิทธิภาพของรางรวมแสงและประสิทธิภาพของหม้อหุงต้มในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละวัน

ประเมินค่าใช้จ่าย

ก. ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างอุปกรณ์หุงต้มพลังแสงอาทิตย์เสริมด้วยไฟฟ้า

- | | | |
|---|----------|-----|
| 1. แผ่นสเตนเลส ทำเป็นรางรวมแสง | 1,600.00 | บาท |
| 2. แผ่นสเตนเลส ทำเป็น Cooking Pot พร้อมฉนวนใยแก้ว | 2,300.00 | บาท |
| 3. สเตนเลส ทำเป็นหน้าแปลนยึดระหว่างท่อทองแดง กับ Cooking Pot และ นี้อคสเตนเลสหัวทกเหลี่ยม | | |
| ชั้นด้วยประแจ L | 799.00 | บาท |
| 4. ท่อทองแดง $\phi = 2.83 \text{ cm}$. ทำเป็น Heat Pipe | 1,129.92 | บาท |
| 5. ท่อแก้ว Pyrex $\phi = 7.5 \text{ cm}$. | 900.00 | บาท |

6. เทอร์โมมิเตอร์ (0- 160°C.) ของ JAKO สำหรับวัดอุณหภูมิใน Cooking Pot	481.50	บาท
7. สีดำทนความร้อน	166.92	บาท
8. ดาข่ายทองแดง # 80 ทำเป็นวิก (Wick) ส่วนประกอบในท่อ Heat Pipe	428.00	บาท
9. แบตเตอรี่ YUASA 2 ลูก	2,000.00	บาท
10. พลาสติกใสสำหรับคลุมอุปกรณ์ทดลอง	600.00	บาท
11. สายไฟแบตเตอรี่	128.00	บาท
12. คลิปลูกปืน เพื่อให้รางรวมแสงหมุนได้	149.80	บาท
13. เหล็กฉากทำเป็นโครงรับอุปกรณ์หุงต้ม	1,400.00	บาท
14. แผ่นพลาสติก ทำเป็นตัวยึดติดระหว่างท่อทองแดงกับท่อแก้ว	96.30	บาท
15. Heater 24 V. 150 W. เป็นตัวเสริมเพิ่มอุณหภูมิให้กับ Cooking Pot.	535.00	บาท
16. แผ่นสแตนเลสบาง ทำเป็นครีบ (fins) ติดที่ปลายท่อทองแดง (Heat pipe) ด้านใน Cooking Pot.	321.00	บาท
17. ล้อ (Castor Wheels) สำหรับติดที่ด้านล่างโครงรับอุปกรณ์ จะได้เคลื่อนย้ายสะดวก	140.00	บาท
รวมเงินลงทุนทั้งสิ้น	<u>13,175.84</u>	บาท

ข. ราคาของตัวรับแสงต่อพื้นที่

คิดค่าใช้จ่ายเฉพาะส่วนที่ทำเป็นตัวรับแสง (รางพาราโบลิก) คือหมายเลข 1, 3, 4, 5, 7, 8, 12 และ 14 รวมเป็นเงินที่ใช้จ่ายไปในส่วนของตัวรับแสงเท่ากับ 5,269.94 บาท

ตัวรับแสงแบบรางพาราโบลิกนี้มีพื้นที่รับแสงเท่ากับ 1.20×1.20 ตารางเมตร ดังนั้นราคาของตัวรับแสงจึงเท่ากับ 3,660 บาทต่อตารางเมตร ส่วนราคาของชุดหม้อหุงต้มประมาณ 2,300 บาท (ดังกล่าวใช้จ่ายที่แสดงไว้ในหมายเลข 2.)

ตารางที่ 12 แสดงผลการทดลองหุงต้ม

วันที่ 7 เมษายน 2538

เริ่มหุงนึ่งรวมแสง 9.00 น.

นำข้าวไปหุงต้มเวลา 11.00 น.

ปริมาณน้ำใน Pot. = 2,600 CC. ; อุณหภูมิน้ำใน Pot. ก่อนการทดลอง 31 °C

หุงข้าว น้ำหนัก = 1.4 kg. (ข้าว 3 ถ้วยตวง = 0.48 kg. + น้ำ 5 ถ้วยตวง)

ข้าวเริ่มสุก เวลา 14.30 น. (รวมเวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที)

เวลา (นาที)	T_{surf} (°C)	T_{pot} (°C)	T_r (°C)	T_g (°C)	I_{bn} (W/m ²)	U_L (W/°K)	Q_u		Q_{loss} จาก cooking pot ด้านที่: (kJ)							η_a	η_p	
							(W.)	(kJ.)	1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย			
9.00-9.30 น.	31.3	32	102	46	211.12	12.78	36.46											
9.30-10.00 น.	32.2	34	107	48	295.45	13.04	81.95											
10.00-10.30 น.	32.8	37	111	54	336.91	13.28	101.35											
10.30-11.00 น.	34.0	42	116	61	434.78	13.59	154.95											
11.00-11.30 น.	34.4	48	123	65	384.26	13.98	109.79	197.62	1.97	1.88	1.88	8.54	3.46	3.46	3.53	0.24	0.98	
11.30-12.00 น.	34.2	54	135	71	424.48	14.66	109.57	197.23	5.91	5.64	5.64	15.76	6.05	8.21	7.87	0.22	0.96	
12.00-12.30 น.	34.1	62	143	77	533.93	15.14	160.30	288.54	12.81	18.47	18.47	25.93	14.90	14.90	17.58	0.26	0.94	
12.30-13.00 น.	34.3	69	147	81	535.72	15.40	152.13	273.83	28.56	33.47	33.47	41.67	25.26	25.26	31.28	0.24	0.86	
13.00-13.30 น.	34.5	75	142	80	500.45	15.14	141.45	254.61	41.01	42.21	42.21	50.82	31.28	31.28	39.80	0.24	0.84	
13.30-14.00 น.	34.9	78	134	74	416.13	14.64	107.19	192.94	46.26	47.21	47.21	56.07	34.73	34.73	44.37	0.22	0.77	
14.00-14.30 น.	34.8	80	126	67	368.12	14.15	94.07	169.33	49.84	53.78	50.65	62.95	37.11	39.24	48.93	0.22	0.71	
14.30-15.00 น.	34.3	80	117	59	334.89	13.62	90.67											
15.00-15.30 น.	34.0	79	114	54	240.36	13.42	36.70											
ค่าเฉลี่ย																	0.23	0.87
รวม								1,574.10									193.36	

รวมพลังงานที่ใช้หุงต้มทั้งหมด

$$Q_u = 1,574.10 \text{ kJ.}$$

รวมพลังงานที่สูญเสียจาก Pot สู่บรรยากาศ

$$Q_{loss} = 193.36 \text{ kJ.}$$

ประสิทธิภาพของนึ่งรวมแสง (η_a) และหม้อหุงต้ม (η_p) เฉลี่ย = 23 % และ 87 % ตามลำดับ

การทดลองครั้งนี้สามารถหุงข้าวได้โดยไม่ต้องเสริมไฟฟ้า

ตารางที่ 13 แสดงผลการทดลองหุงต้ม

วันที่ 10 เมษายน 2538

เริ่มหุงนึ่งรวมแสง 9.00 น.

นำข้าวไปหุงต้มเวลา 11.00 น.

ปริมาณน้ำใน Pot. = 2,600 CC. ; อุณหภูมิน้ำใน Pot. ก่อนการทดลอง 31 °C

หุงข้าว น้ำหนัก = 1.4 kg. (ข้าว 3 ถ้วยตวง = 0.48 kg. + น้ำ 5 ถ้วยตวง)

ข้าวเริ่มสุก เวลา 14.00 น. (รวมเวลา 3 ชั่วโมง)

เวลา (นาท)	T _{sur} (°C)	T _{pot} (°C)	T _r (°C)	T _{gr} (°C)	I _{on} (W/m ²)	U _L (W/m ² K)	Q _u		Q _{loss} จาก cooking pot ด้านที่: (kJ)							η _u	η _p	
							(W.)	(kJ.)	1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย			
9.00-9.30 น.	32.6	33	108	46	254.89	13.08	55.21											
9.30-10.00 น.	33.3	37	118	51	347.79	13.59	96.16											
10.00-10.30 น.	34.0	41	124	54	354.46	13.91	89.58											
10.30-11.00 น.	34.6	46	131	56	466.64	14.26	147.19											
11.00-11.30 น.	35.2	52	137	61	465.92	14.61	134.68	242.42	2.63	5.63	2.51	9.19	3.89	3.89	4.63	0.25	0.98	
11.30-12.00 น.	35.7	59	144	68	524.23	15.04	156.31	281.36	4.27	10.33	10.33	17.40	9.29	9.29	10.15	0.25	0.96	
12.00-12.30 น.	36.0	68	150	77	590.70	15.50	183.44	330.19	19.70	25.03	25.03	32.81	19.43	19.43	23.57	0.27	0.93	
12.30-13.00 น.	36.0	76	148	78	522.77	15.41	145.00	261.00	39.37	43.77	40.65	49.18	30.20	30.20	38.90	0.24	0.85	
13.00-13.30 น.	36.1	80	141	72	485.56	14.96	138.29	248.92	48.86	49.68	49.68	58.69	36.44	34.28	46.27	0.24	0.81	
13.30-14.00 น.	36.1	82	134	66	424.23	14.54	115.22	207.40	52.13	52.81	52.81	61.93	38.59	36.44	49.12	0.23	0.76	
14.00-14.30 น.	35.9	82	130	65	378.68	14.33	94.52											
14.30-15.00 น.	35.3	81	124	63	300.20	14.01	56.35											
ค่าเฉลี่ย																	0.25	0.88
รวม								1,571.29							172.64			

รวมพลังงานที่ใช้หุงต้มทั้งหมด

$$Q_u = 1,571.29 \text{ kJ.}$$

รวมพลังงานที่สูญเสียจาก Pot สู่บรรยากาศ

$$Q_{loss} = 172.64 \text{ kJ.}$$

ประสิทธิภาพของรวมแสง (η_s) และหม้อหุงต้ม (η_p) เฉลี่ย = 25 % และ 88 % ตามลำดับ

การทดลองครั้งนี้สามารถหุงข้าวได้โดยไม่ต้องเสริมไฟฟ้า

ตารางที่ 14 แสดงผลการทดลองหุงต้ม

วันที่ 8 พฤษภาคม 2538

เริ่มหุงนึ่งรวมแสง 9.00 น.

นำข้าวไปหุงต้มเวลา 11.00 น.

ปริมาตรน้ำใน Pot. = 2,600 CC. ; อุณหภูมิน้ำใน Pot. ก่อนการทดลอง 30 °C

หุงข้าว น้ำหนัก = 1.4 kg. (ข้าว 3 ถ้วยตวง = 0.48 kg. + น้ำ 5 ถ้วยตวง) และทำไข่ต้ม 12 ใบ ข้าวเริ่มสุก เวลา 14.00 น. (รวมเวลา 3 ชั่วโมง)

เวลา (นาฬิกา)	T_{sur} (°C)	T_{pot} (°C)	T_r (°C)	T_g (°C)	I_{bn} (W/m ²)	U_L (W/m ² K)	Q_u		Q_{loss} จาก cooking pot ด้านที่: (kJ)							η_a	η_p	
							(W.)	(kJ.)	1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย			
9.00-9.30 น.	31.0	31	105	45	230.78	12.93	43.16											
9.30-10.00 น.	31.8	34	109	51	316.75	13.16	91.05											
10.00-10.30 น.	32.4	39	114	57	360.87	13.45	110.14											
10.30-11.00 น.	32.8	45	121	60	450.25	13.83	153.42											
11.00-11.30 น.	33.2	51	128	64	433.57	14.22	129.92	233.86	5.92	8.77	8.77	15.77	8.21	8.21	9.28	0.26	0.96	
11.30-12.00 น.	33.5	58	137	68	481.51	14.71	140.75	253.36	8.21	14.09	14.09	24.62	11.88	14.04	14.49	0.25	0.94	
12.00-12.30 น.	34.0	65	146	74	571.95	15.24	178.05	320.49	19.70	25.04	25.04	36.09	19.43	19.43	24.12	0.27	0.92	
12.30-13.00 น.	34.7	74	147	75	567.92	15.31	174.18	313.52	37.07	41.58	41.58	50.17	30.85	30.85	38.68	0.26	0.88	
13.00-13.30 น.	35.2	79	141	72	493.78	14.96	142.04	255.67	48.53	49.40	52.53	61.64	38.38	36.24	47.79	0.25	0.81	
13.30-14.00 น.	35.6	81	135	68	435.15	14.61	119.03	214.25	50.49	51.28	51.28	60.33	37.52	37.52	48.07	0.23	0.78	
14.00-14.30 น.	35.7	81	131	62	354.68	14.34	77.45											
14.30-15.00 น.	35.4	81	125	58	301.46	14.00	55.89											
ค่าเฉลี่ย																	0.25	0.88
รวม								1,591.15									182.43	

รวมพลังงานที่ใช้หุงต้มทั้งหมด

$$Q_u = 1,591.15 \text{ kJ.}$$

รวมพลังงานที่สูญเสียจาก Pot สู่บรรยากาศ

$$Q_{loss} = 182.43 \text{ kJ.}$$

ประสิทธิภาพของรวมแสง (η_a) และหม้อหุงต้ม (η_p) เฉลี่ย = 25 % และ 88 % ตามลำดับ

การทดลองครั้งนี้สามารถหุงข้าวและทำไข่ต้ม ได้โดยไม่ต้องเสริมไฟฟ้า

ตารางที่ 15 แสดงผลการทดลองหุงต้ม

วันที่ 10 พฤษภาคม 2538 เริ่มหุงนึ่งรวมแสง 9.00 น. นำข้าวไปหุงต้มเวลา 11.00 น.

ปริมาณน้ำใน Pot. = 2,600 CC. ; อุณหภูมิน้ำใน Pot. ก่อนการทดลอง 30 °C เนื่องจากความเข้มแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอจึงต้องเสริมไฟฟ้า-
หุงข้าว น้ำหนัก = 1.4 kg. (ข้าว 3 ถ้วยตวง = 0.48 kg. + น้ำ 5 ถ้วยตวง) ตั้งแต่เวลา 14.00 น.

เวลา (นาฬิกา)	T _{sur} (°C)	T _{pot} (°C)	T _r (°C)	T _g (°C)	I _{bot} (W/m ²)	U _L (W/m ² K)	Q _u		Q _{loss} จาก cooking pot ด้านที่: (kJ)							พลังงานไฟฟ้าที่ใช้, W.		Q _e (kJ.)	Q _{u+e} (kJ.)	η _g	η _p				
							(W.)	(kJ.)	1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย	Amp.	Volt.								
9.00-9.30 น.	30.2	32	100	43	200.97	12.67	32.11																		
9.30-10.00 น.	30.6	37	104	46	223.49	12.88	39.78																		
10.00-10.30 น.	31.1	42	104	49	225.15	12.91	41.28																		
10.30-11.00 น.	31.6	45	103	51	210.78	12.86	34.68																		
11.00-11.30 น.	32.1	48	105	52	219.43	12.97	37.21	66.98	2.96	5.95	2.82	9.53	4.11	1.95	4.55					66.98	0.14	0.93			
11.30-12.00 น.	32.7	50	106	52	235.32	13.03	46.20	83.16	4.27	7.20	4.07	10.84	2.81	2.81	5.33					83.16	0.17	0.94			
12.00-12.30 น.	33.0	53	104	50	205.77	12.92	31.61	56.90	6.57	9.40	6.26	13.14	4.32	4.32	7.34					56.90	0.13	0.87			
12.30-13.00 น.	33.1	55	105	49	219.02	12.95	38.49	69.28	6.24	9.08	9.08	12.81	4.11	6.27	7.93					69.28	0.15	0.89			
13.00-13.30 น.	33.1	56	109	52	248.38	13.17	49.68	89.42	6.24	12.21	12.21	12.81	6.27	6.27	9.34					89.42	0.17	0.90			
13.30-14.00 น.	33.1	57	113	58	280.07	13.41	61.97	111.55	6.24	12.21	12.21	12.81	6.27	8.43	9.70					111.55	0.19	0.91			
14.00-14.30 น.	33.2	64	122	63	263.94	13.91	34.28	61.70	15.77	24.42	24.42	28.89	16.85	16.85	21.20	6.30	23.60	267.62	329.32	0.11	0.94				
14.30-15.00 น.	33.3	76	125	64	265.47	14.06	29.45	53.01	44.95	49.09	52.21	61.32	38.19	36.03	46.97	6.30	23.60	267.62	320.63	0.09	0.85				
15.00-15.30 น.	33.1	86	121	62	238.79	13.85	20.32	36.58	71.81	71.56	47.68	81.59	51.53	51.53	67.12	6.20	23.30	260.03	296.61	0.07	0.78				
ค่าเฉลี่ย																							0.14	0.89	
รวม								628.58										795.27	1,423.85						

พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์และพลังงานที่สูญเสีย จาก Pot ก่อนเสริมไฟฟ้า : Q_u = 477.29 kJ.

และ Q_{loss} = 44.19 kJ. ตามลำดับ

รวมพลังงานที่ใช้หุงต้มทั้งหมด Q_{u+e} = 1,423.85 kJ. และ Q_{loss} = 179.48 kJ.

ประสิทธิภาพของโรงรวมแสง (η_s) และหม้อหุงต้ม (η_p) เฉลี่ย = 14 % และ 89 % ตามลำดับ

การทดลองครั้งนี้หุงข้าวโดยต้องเสริมไฟฟ้าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที (795.27 kJ.)

ตารางที่ 16 แสดงผลการทดลองหุงต้ม

วันที่ 13 พฤษภาคม 2538 เริ่มหุงนึ่งรวมแสง 9.00 น.

นำข้าวไปหุงต้มเวลา 11.00 น.

ปริมาณน้ำใน Pot. = 2,600 CC. ; อุณหภูมิน้ำใน Pot. ก่อนการทดลอง 30 °C

เนื่องจากความเข้มแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอจึงต้องเสริมไฟฟ้า-

หุงข้าว น้ำหนัก = 1.4 kg. (ข้าว 3 ถ้วยตวง = 0.48 kg. + น้ำ 5 ถ้วยตวง)

ตั้งแต่วันที่ 13.30 น.

เวลา (นาฬิกา)	T _{sur} (°C)	T _{pot} (°C)	T _r (°C)	T _g (°C)	I _{bn} (W/m ²)	U _L (W/m ² K)	Q _u		Q _{loss} จาก cooking pot ด้านที่: (kJ)						พลังงานไฟฟ้าที่ใช้, w.		Q _e (kJ.)	Q _{u+e} (kJ.)	η _g	η _{pr}		
							(W.)	(kJ.)	1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย	Amp.					Voit.	
9.00-9.30 น.	29.9	30	87	43	153.56	12.03	23.34															
9.30-10.00 น.	30.1	32	91	45	168.50	12.24	26.50															
10.00-10.30 น.	30.6	35	99	46	194.54	12.64	30.17															
10.30-11.00 น.	31.3	40	102	45	208.57	12.78	34.85															
11.00-11.30 น.	31.8	44	102	46	208.69	12.78	35.61	64.10	0.66	6.89	3.76	7.23	4.76	4.76	4.68			64.10	0.15	0.93		
11.30-12.00 น.	32.2	47	103	46	210.96	12.83	35.84	64.51	2.63	8.77	5.64	9.20	6.05	6.05	6.39			64.51	0.15	0.90		
12.00-12.30 น.	32.4	50	106	45	235.32	12.97	46.26	83.27	5.26	11.28	8.14	11.83	7.78	5.62	8.32			83.27	0.17	0.90		
12.30-13.00 น.	32.4	52	107	46	242.38	13.03	48.84	87.91	5.26	11.28	14.41	15.11	7.78	7.78	10.27			87.91	0.17	0.88		
13.00-13.30 น.	32.5	52	108	45	245.00	13.07	48.92	88.06	8.22	10.96	14.09	14.78	9.72	9.72	11.25			88.06	0.17	0.87		
13.30-14.00 น.	32.7	60	112	46	232.94	13.26	34.39	61.90	17.41	22.85	22.85	27.25	17.93	15.77	20.68	6.40	24.00	276.48	338.38	0.13	0.94	
14.00-14.30 น.	32.6	75	113	45	234.43	13.30	33.42	60.16	50.53	54.40	54.40	63.61	39.70	37.54	50.03	6.30	23.60	267.62	327.78	0.12	0.85	
14.30-15.00 น.	32.2	88	111	44	212.71	13.20	22.84	41.11	74.76	83.74	80.62	91.10	55.63	53.47	73.22	6.30	23.60	267.62	308.73	0.09	0.76	
ค่าเฉลี่ย																					0.14	0.88
รวม								551.02										811.72	1,362.74			

พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์และพลังงานที่สูญเสีย จาก Pot ก่อนเสริมไฟฟ้า : Q_u = 387.85 kJ. และ

Q_{loss} = 40.91 kJ. ตามลำดับ

รวมพลังงานที่ใช้หุงต้มทั้งหมด Q_{u+e} = 1,362.74 kJ. และ Q_{loss} = 184.84 kJ.

ประสิทธิภาพของรวมแสง (η_g) และหม้อหุงต้ม (η_p) เฉลี่ย = 14 % และ 88 % ตามลำดับ

การทดลองครั้งนี้หุงข้าวโดยต้องเสริมไฟฟ้าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที (811.72 kJ.)

ตารางที่ 17 แสดงผลการทดลองหุงต้ม

วันที่ 16 พฤษภาคม 2538 เริ่มหุงรวมแสง 9.00 น. นำข้าวไปหุงต้มเวลา 11.00 น.

ปริมาตรน้ำใน Pot. = 2,600 CC. ; อุณหภูมิน้ำใน Pot. ก่อนการทดลอง 30 °C

หุงข้าว น้ำหนัก = 1.4 kg. (ข้าว 3 ถ้วยตวง = 0.48 kg. + น้ำ 5 ถ้วยตวง) และทำไข่ตุ๋น (ใช้ไข่ 6 ใบ) และไข่ต้ม 4 ใบ

ข้าวเริ่มสุก เวลา 13.30 น. (รวมเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที)

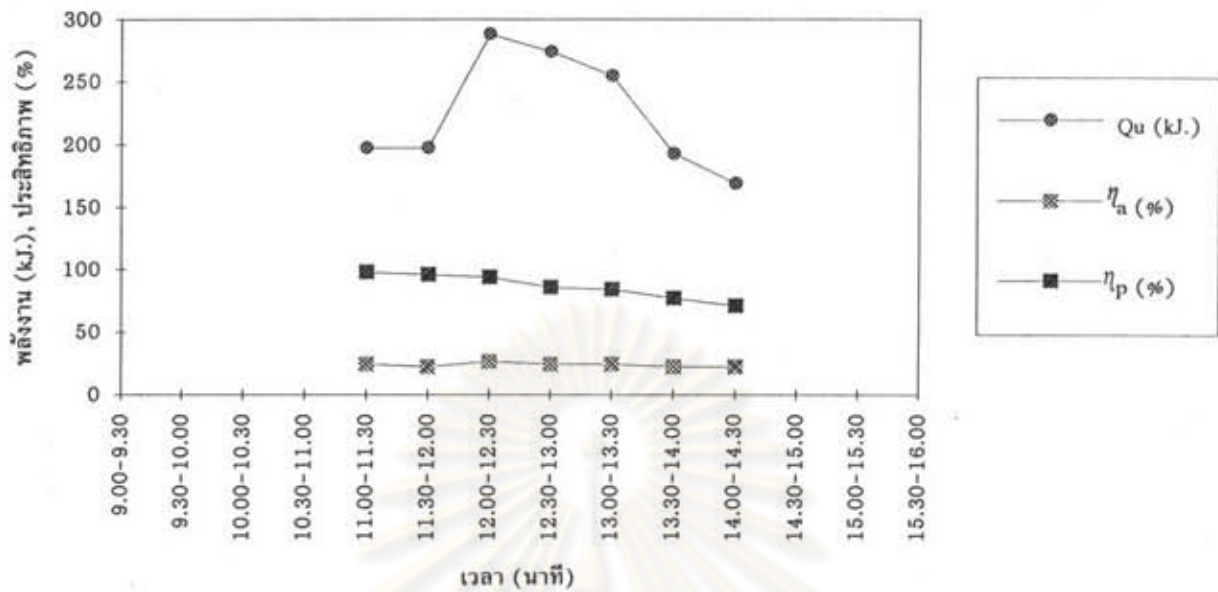
เวลา (นาที)	T _{sur} (°C)	T _{pot} (°C)	T _r (°C)	T _g (°C)	I _{bn} (W/m ²)	U _L (W/m ² K)	Q _u		Q _{loss} จาก cooking pot คำนวณที่: (kJ)							η _s	η _p	
							(W.)	(kJ.)	1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย			
9.00-9.30 น.	32.5	33	111	52	335.16	13.27	99.90											
9.30-10.00 น.	34.0	40	126	58	406.10	14.04	117.89											
10.00-10.30 น.	34.8	46	129	64	418.10	14.27	119.83											
10.30-11.00 น.	35.4	52	137	70	480.88	14.74	143.02											
11.00-11.30 น.	35.2	59	148	75	560.91	15.36	168.34	303.01	2.63	8.76	5.63	12.47	6.05	6.05	6.93	0.26	0.98	
11.30-12.00 น.	35.6	67	153	80	631.71	15.69	201.28	362.30	11.16	16.89	16.89	24.28	13.82	13.82	16.14	0.27	0.96	
12.00-12.30 น.	36.0	73	152	80	616.30	15.64	194.53	350.15	22.97	28.16	31.27	39.37	23.73	23.73	28.21	0.27	0.92	
12.30-13.00 น.	36.0	78	149	77	581.37	15.44	179.94	323.89	36.09	43.77	43.77	52.46	32.36	32.36	40.14	0.26	0.88	
13.00-13.30 น.	35.8	82	145	76	535.12	15.23	159.51	287.12	46.56	53.75	53.75	62.95	37.09	39.24	48.98	0.25	0.83	
13.30-14.00 น.	35.3	83	142	70	505.59	14.98	147.82											
14.00-14.30 น.	35.5	83	137	61	474.95	14.61	140.85											
14.30-15.00 น.	35.9	82	129	56	404.61	14.16	114.10											
ค่าเฉลี่ย																	0.26	0.91
รวม								1,626.47									140.31	

รวมพลังงานที่ใช้หุงต้มทั้งหมด $Q_u = 1,626.47$ kJ.

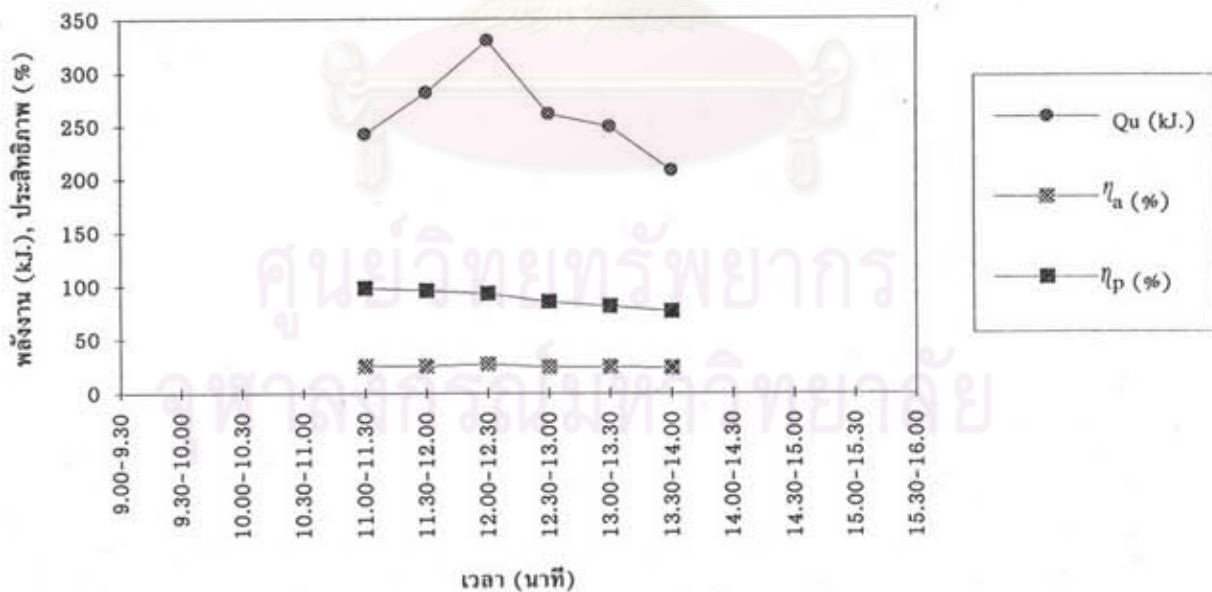
รวมพลังงานที่สูญเสียจาก Pot สูบบรรยากาศ $Q_{loss} = 140.31$ kJ.

ประสิทธิภาพของรางรวมแสง (η_s) และหม้อหุงต้ม (η_p) เฉลี่ย = 26 % และ 91 % ตามลำดับ

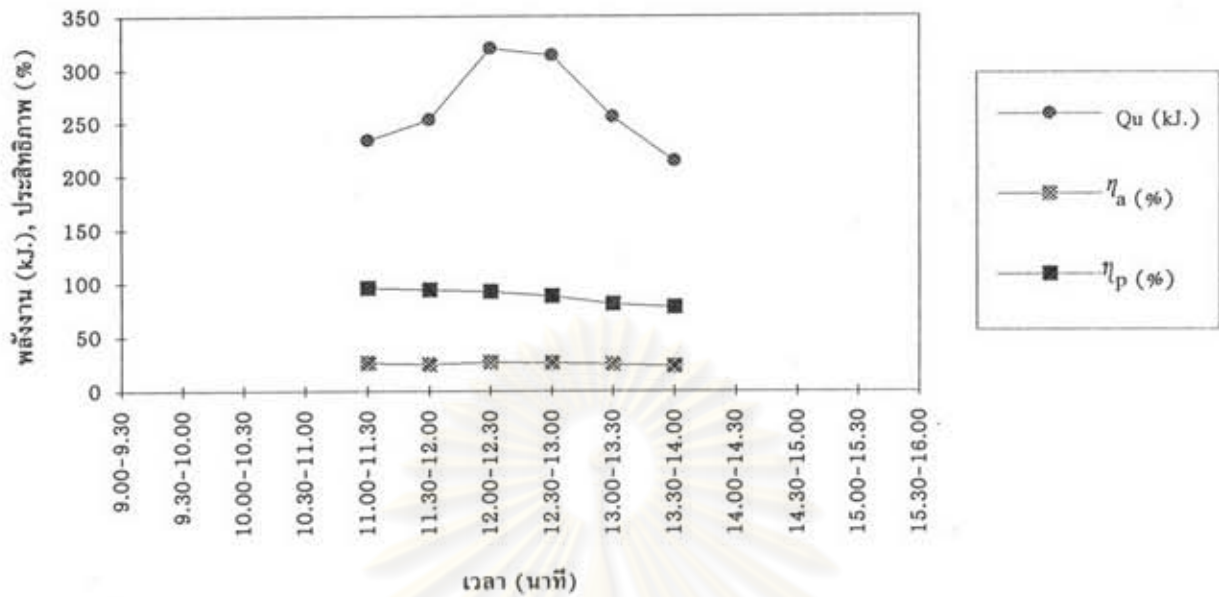
การทดลองครั้งนี้สามารถหุงข้าว, ทำไข่ตุ๋น, ไข่ต้ม ได้โดยไม่ต้องเสริมไฟฟ้า



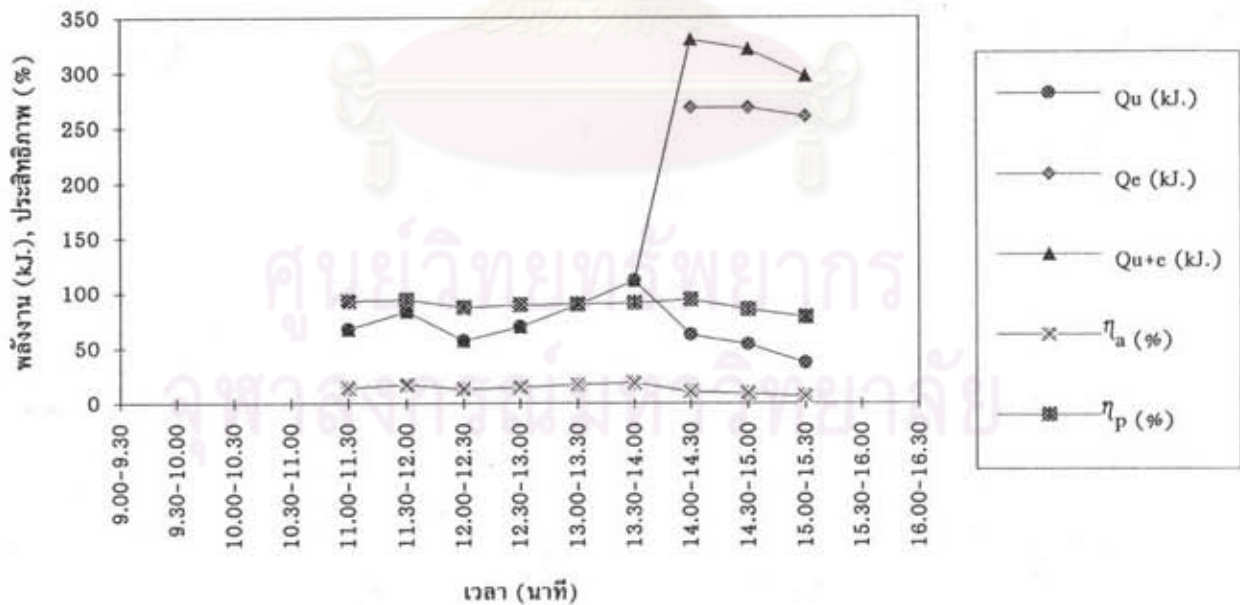
รูปที่ 30 แผนภูมิแสดงปริมาณการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการหุงต้ม (Q_u), ประสิทธิภาพของ รางรวมแสงอาทิตย์ (η_a) และของหม้อหุงต้ม (η_p) ในแต่ละช่วงเวลา (ทดลองวันที่ 7 เมษายน 2538)



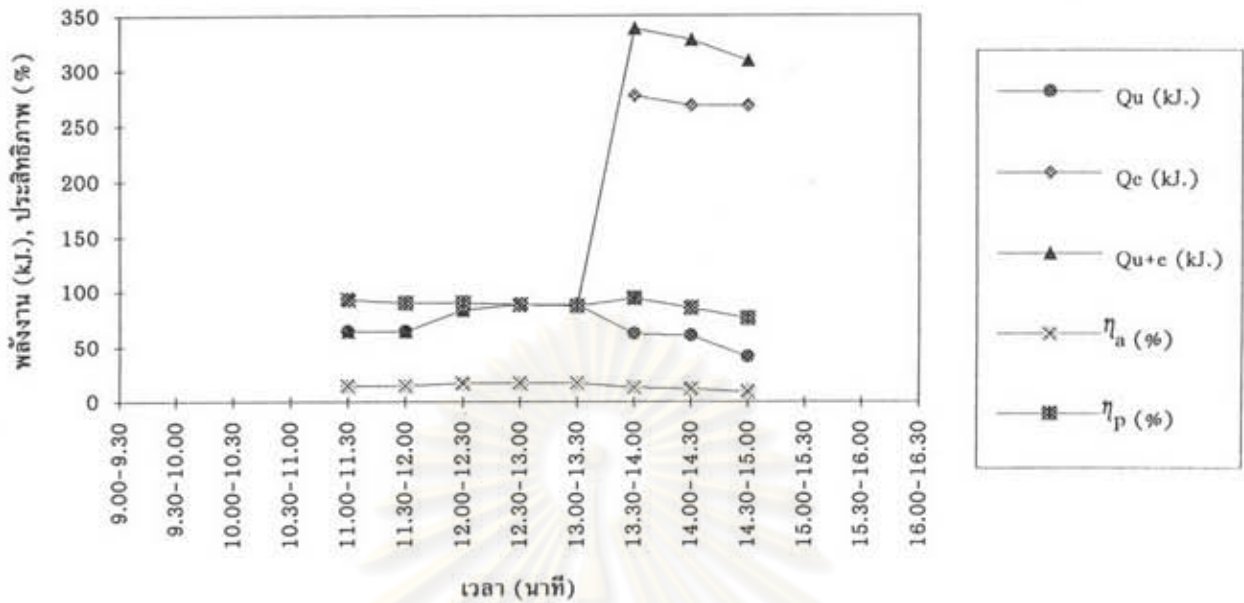
รูปที่ 31 แผนภูมิแสดงปริมาณการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการหุงต้ม (Q_u), ประสิทธิภาพของ รางรวมแสงอาทิตย์ (η_a) และของหม้อหุงต้ม (η_p) ในแต่ละช่วงเวลา (ทดลองวันที่ 10 เมษายน 2538)



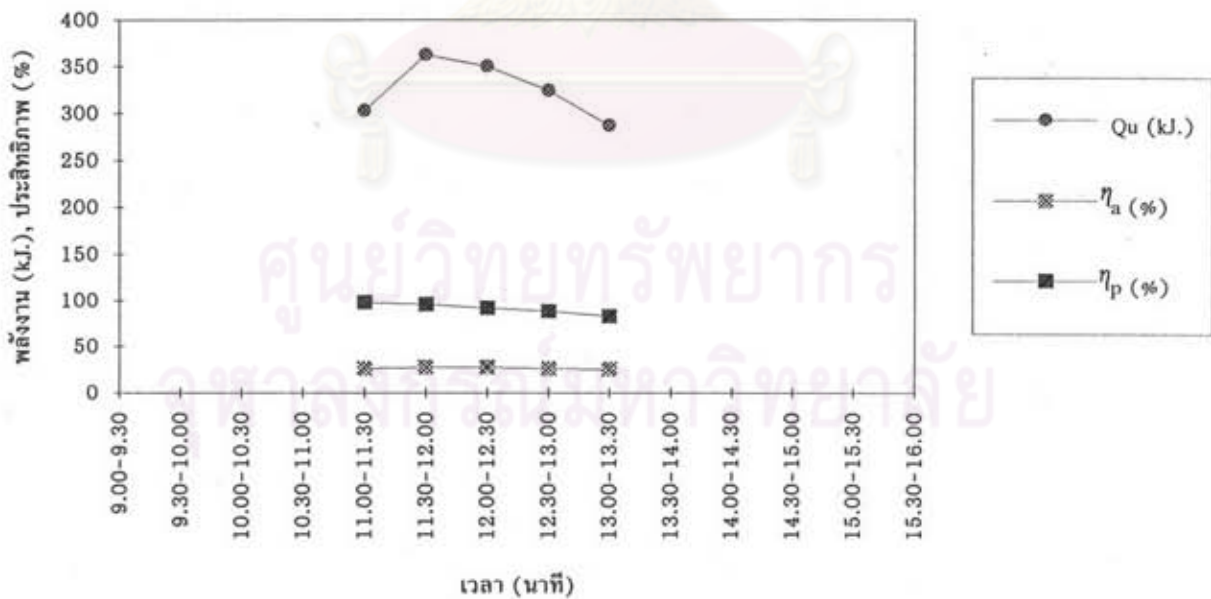
รูปที่ 32 แผนภูมิแสดงปริมาณการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการหุงต้ม (Q_u), ประสิทธิภาพของ รางรวมแสงอาทิตย์ (η_a) และของหม้อหุงต้ม (η_p) ในแต่ละช่วงเวลา (ทดลองวันที่ 8 พฤษภาคม 2538)



รูปที่ 33 แผนภูมิแสดงปริมาณการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการหุงต้ม (Q_u), พลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ (Q_c), พลังงานที่ใช้ทั้งหมด (Q_u+c), ประสิทธิภาพของรางรวมแสงอาทิตย์ (η_a) และของหม้อหุงต้ม (η_p) ในแต่ละช่วงเวลา (ทดลองวันที่ 10 พฤษภาคม 2538)



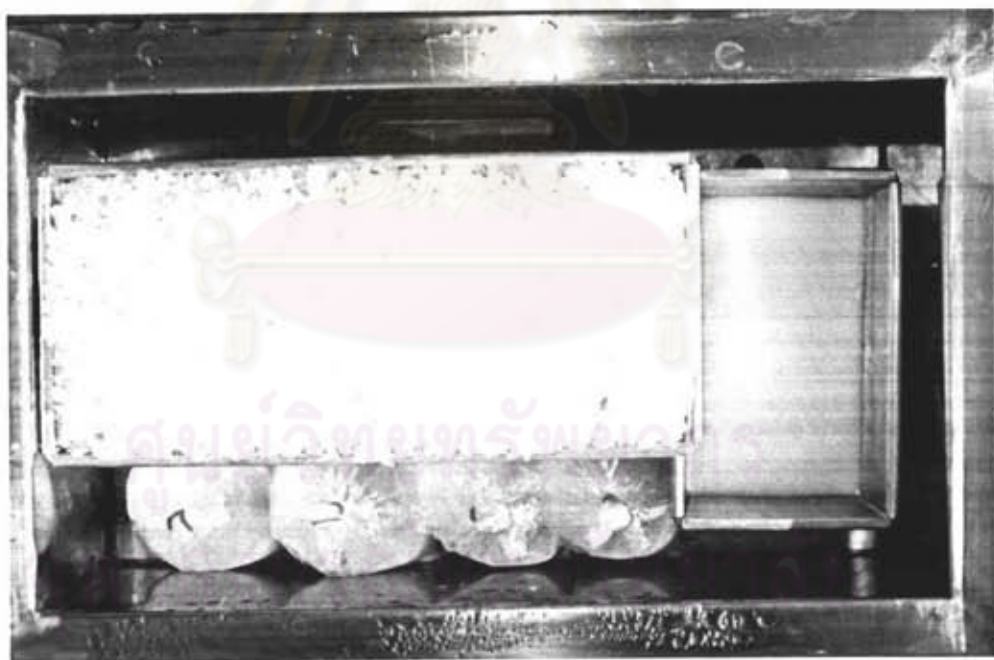
รูปที่ 34 แผนภูมิแสดงปริมาณการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการหุงต้ม (Q_u), พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (Q_c), พลังงานที่ใช้ทั้งหมด (Q_{u+c}), ประสิทธิภาพของรางรวมแสงอาทิตย์ (η_a) และของหม้อหุงต้ม (η_p) ในแต่ละช่วงเวลา (ทดลองวันที่ 13 พฤษภาคม 2538)



รูปที่ 35 แผนภูมิแสดงปริมาณการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการหุงต้ม (Q_u), ประสิทธิภาพของรางรวมแสงอาทิตย์ (η_a) และของหม้อหุงต้ม (η_p) ในแต่ละช่วงเวลา (ทดลองวันที่ 16 พฤษภาคม 2538)



(ก)



(ข)

รูปที่ 36 แสดงภาพตัวอย่างการทดลองวันที่ 16 พฤษภาคม 2538

(ก) ก่อนทำการทดลอง

(ข) หลังจากทดลองเสร็จแล้ว

ตารางที่ 18 แสดงข้อมูลและสรุปผลการทดลองหุงข้าว จำนวน 6 ครั้ง

ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี	เวลาที่ใช้ ในการหุงข้าว (นาที)	เสริมพลัง งานไฟฟ้า (นาที)	อุณหภูมิบนท่อ รับแสงสูงสุด (°C)	อุณหภูมิในหม้อ หุงต้มสูงสุด (°C)	I_{bn} เฉลี่ย (11.00-14.00 น.) (W/m ²)	พลังงานที่ใช้ หุงต้มทั้งหมด (kJ.)	พลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ทั้งหมด (kJ.)	พลังงานที่สูญเสีย จาก pot. ทั้งหมด (kJ.)	ประสิทธิภาพ รวบรวมแสงเฉลี่ย (%)	ประสิทธิภาพ หม้อหุงต้มเฉลี่ย (%)
1. หุงข้าว	7 เม.ย. 38	210	-	147	80	465.83	1,574.10	-	193.36	23	87
2. หุงข้าว	10 เม.ย. 38	180	-	150	82	502.24	1,571.29	-	172.64	25	88
3. หุงข้าว ไข่มต้ม	8 พ.ค. 38	180	-	147	81	497.31	1,591.15	-	182.43	25	88
4. หุงข้าว	10 พ.ค. 38	270	90	125	86	234.67	1,423.85	795.27	179.48	14	89
5. หุงข้าว	13 พ.ค. 38	240	90	113	88	229.22	1,362.74	811.72	184.84	14	88
6. หุงข้าว ไข่มต้ม	16 พ.ค. 38	150	-	153	83	571.83	1,626.47	-	140.31	26	91

หมายเหตุ ข้าวที่หุงทุกครั้ง = 1.4 kg. [ข้าว 3 ถ้วยตวง (0.48 kg.) + น้ำ 5 ถ้วยตวง]

เริ่มหมุนรวบรวมแสงในเวลา 9.00 น. นำข้าวลงไปหุงต้มตั้งแต่วันที่ 11.00 น.