

อุปกรณ์หุงต้มพลังแสงอาทิตย์เสริมด้วยพลังงานไฟฟ้า

A SOLAR COOKER WITH SUPPLEMENTARY ELECTRICAL POWER

สมศรี จรุงเรือง และ นิพนธ์ ชินชูศักดิ์

Somsri Chongrungreong & Nipphon Chinchusak

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท กรุงเทพฯ 10330
Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering,
Chulalongkorn University, Phyathai Road, Bangkok 10330

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์หุงต้มพลังแสงอาทิตย์เสริมด้วยพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในชนบทที่ไม่มีกระแสไฟฟ้า จากการทดลองพบว่าในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดบนท่อความร้อนมีค่าเท่ากับ 153°C และอุณหภูมิสูงสุดภายในหม้อหุงต้มมีค่าเท่ากับ 83°C ประสิทธิภาพของรางพาราโบลาและหม้อหุงต้มมีค่าประมาณ 26% และ 91% ตามลำดับ หม้อหุงต้มพลังแสงอาทิตย์นี้ออกแบบไว้สำหรับหุงอาหารขนาดรับประทาน 3 คน (หุงข้าว ทำไข่ตุ๋น ไข่ไข่ 6 ฟอง และไข่ต้ม 4 ฟอง) ในวันที่ท้องฟ้าไม่แจ่มใสต้องมีการเสริมด้วยพลังงานไฟฟ้า

ABSTRACT

This research was to study and to design a solar cooker with supplementary electrical power for using in the rural area where there is no electrical power supply. From the experiment, it was found that during clear sky the maximum average temperature of the heat pipe was 153°C and the maximum temperature inside the cooking pot was 83°C . The efficiency of the parabolic trough and the cooking pot was 26% and 91%, respectively. The solar cooker's capacity was for 3 persons (steamed rice, 6 steamed eggs and 4 hard-boiled eggs). During cloudy sky, the supplementary electrical power was used in addition to the solar energy.

บทนำ

พลังงานความร้อนเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อชีวิตมนุษย์มาก มนุษย์นำพลังงานความร้อนมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ กัน เช่น ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โรงพยาบาล โรงแรม ในบ้านเรือน (ได้แก่ การหุงต้ม ล้างจาน ชักเสื่อผ้า อาบน้ำ ฯลฯ) พลังงานความร้อนส่วนใหญ่ได้มาจากการเผาเชื้อเพลิง เช่น เผาถ่านหิน น้ำมัน หรือแก๊ส นานวันพลังงานเหล่านี้จะลดน้อยลง จึงต้องมีการหาพลังงานอื่นมาทดแทน เช่น พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนจากใต้พิภพ พลังงานเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยไม่ต้องซื้อ และคงอีกนานกว่าจะหมดแต่ผู้นำมาใช้จะต้องเข้าใจถึงวิธีนำมาใช้ ต่อไปนี้จะแสดงถึงวิธีการนำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการหุงต้มอาหาร การหุงต้มอาหารทั่วๆ ไปต้องการความร้อนที่สูงไม่มากนัก ปริมาณความร้อนที่ต้องการนี้อาจได้มาจากการรวมความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยการใช้อุปกรณ์รวมแสงที่มีขนาดที่ให้ความร้อนตามที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการหุงต้มอาหารรับประทาน 3 คนก็ต้องดูว่าจะหุงอาหารอะไรบ้างและมีกรรมวิธีในการหุงต้มอย่างไรและใช้ความร้อนเท่าใดในการหุงต้มอาหารนั้นๆ

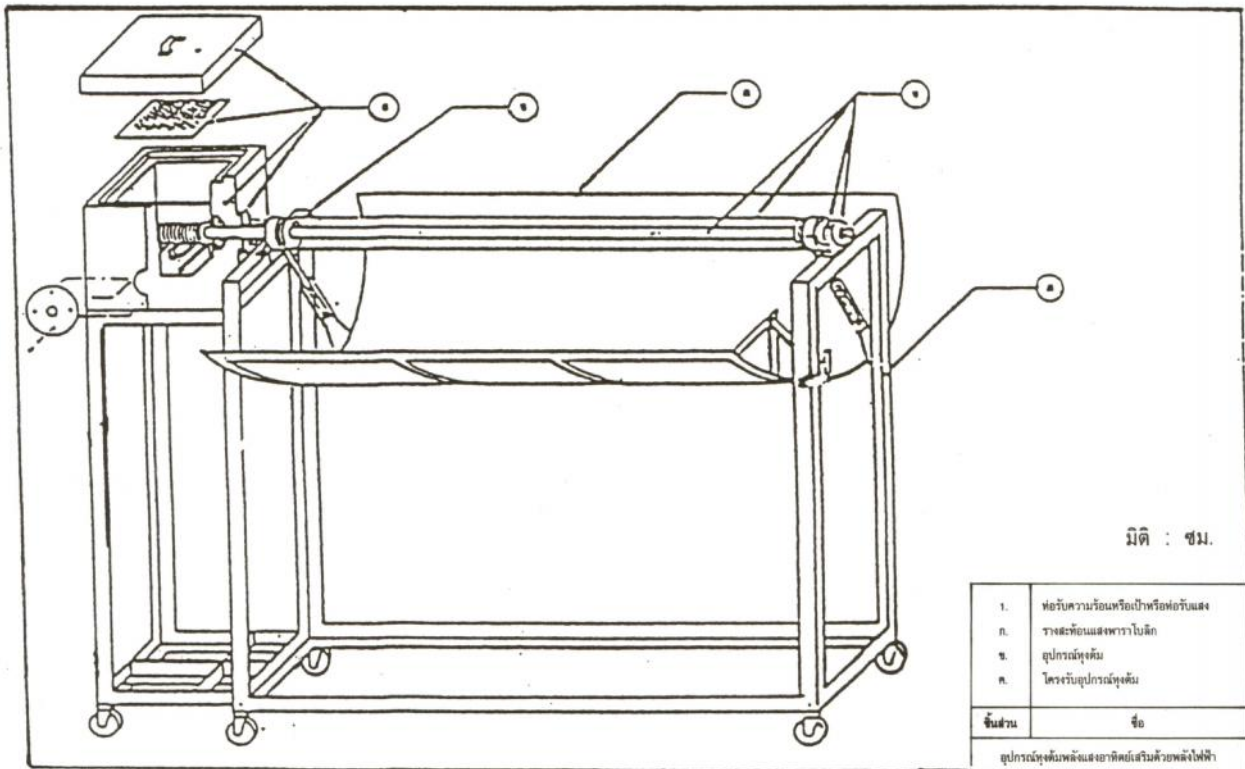
อุปกรณ์หุงต้มอาหาร

รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์หุงต้มพลังงานแสงอาทิตย์เสริมด้วยพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์หุงต้มนั้นประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 6 ส่วนคือ

1. รางรูปโค้งพาราโบลา (Parabolic Trough)
2. ท่อความร้อน (Heat Pipe) หรือเป่าหรือท่อรับแสง
3. ท่อแก้วไพเรกซ์ (Pyrex Glass Tube)
4. หม้อหุงต้ม (Cooking Pot)
5. ฮีตเตอร์ (Heater) หรืออุปกรณ์ให้ความร้อนและแบตเตอรี่ (Battery) 2 ลูก
6. โครงรับอุปกรณ์หุงต้ม

รางรูปโค้งพาราโบลา จุดมุ่งหมายของการใช้รางรูปโค้งพาราโบลาเพราะต้องการให้รางนี้เป็นตัวสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์ไปรวมกันที่ตัวรับแสงซึ่งเป็นที่กลมยาว รางรวมแสงรูปโค้งพาราโบลานี้ทำด้วยแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมขัดมัน ซึ่งเป็นแผ่นสะท้อนแสงที่มีค่าการสะท้อนกลับเท่ากับ 0.7 ถึงแม้จะมีค่าการสะท้อนกลับไม่ค่อยสูงนักแต่ก็มีคุณสมบัติที่ดี คือไม่เป็นสนิมและถูกกัดกร่อนได้น้อยมาก มีความคงทนต่อการใช้งาน และขึ้นรูปโค้งได้ง่าย ชุดรางรวมแสงนี้จะติดตั้งในแนวระนาบขนานกับพื้นชี้ทิศเหนือ-ใต้ สามารถบังคับทิศทางให้หมุนตามดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกโดยใช้มือหมุนทุกๆ 15 องศาต่อ 1 ชั่วโมง และมีสกรูยึดเมื่อได้ตำแหน่งที่เหมาะสม รางโค้งพาราโบลาที่ออกแบบมี Rim Angle เท่ากับ 90 องศา ขนาดความกว้างของรางเท่ากับ 104.8 เซนติเมตรและความยาวเท่ากับ 120 เซนติเมตร ระยะโฟกัสเท่ากับ 26.2 เซนติเมตร

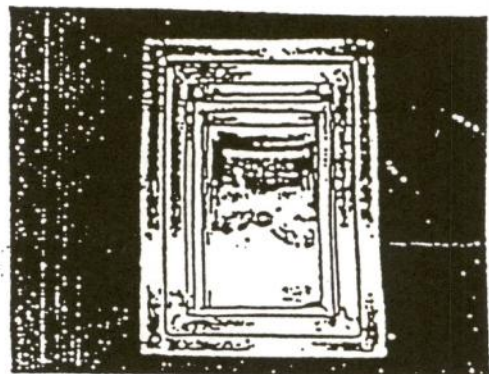
ท่อรับความร้อนหรือเป่าหรือท่อรับแสง ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 2.83 เซนติเมตรเป็นท่อรับแสง เพราะทองแดงมีคุณสมบัติในการนำความร้อนได้ดี ราคาถูก หาได้ง่าย นำท่อทองแดงมาทำเป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบท่อความร้อน (Heat Pipe) โดยมีวิก (Wick) ทำด้วยทองแดงเช่นเดียวกัน และมีของไหลทำงาน (Working Fluid) คือน้ำกลั่น มีการพ่นสีดำด้านบนท่อรับแสงเพื่อช่วยในการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากรางพาราโบลาไว้ในท่อ และลดการสะท้อนแสงกลับจากผิวท่อทองแดง มีการติดครีบลวดที่ปลายท่อรับแสง (ท่อทองแดง) ทางด้านที่อยู่ในหม้อหุงต้ม ครีบลวดที่ติดเป็นครีบบางวงแหวน (Annular Fin) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 2.83 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 4.86 เซนติเมตร เพื่อช่วยในการกระจายความร้อนจากปลายท่อรับแสงเข้าสู่หม้อหุงต้ม



ด้านขวาของตัวรับแสง



ด้านซ้ายของตัวรับแสง



(ก)



(ข)

แสดงส่วนที่เป็น Cooking Pot

(ก) ภาพด้านบน ทำเป็นกล่องใส่ระดับเหมือนบันได

(ข) ชิ้นส่วนประกอบของ Cooking Pot

รูปที่ 1 อุปกรณ์หุ้มต้ม

ท่อแก้วไฟเรกซ์ ท่อแก้วนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 70 มิลลิเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 75 มิลลิเมตร สวมครอบท่อรับแสงไว้เพื่อลดการสูญเสียความร้อนโดยการพาของลมจากผิวท่อสู่บรรยากาศ (ระหว่างผิวท่อรับแสงและท่อแก้วไม่ได้ทำเป็นสุญญากาศ)

อุปกรณ์ให้ความร้อนและหม้อแบตเตอรี่

2 ลูก อุปกรณ์ให้ความร้อนหรือฮีตเตอร์ติดอยู่ทางด้านในของหม้อหุงต้ม อุปกรณ์นี้ขดเป็นรูปตัว M ขนาด 24 โวลต์ 150 วัตต์ 6.25 แอมแปร์ 3.85 โอห์ม อุปกรณ์ให้ความร้อนนี้จะใช้กับไฟกระแสตรงจากแบตเตอรี่ 2 ลูกต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 24 โวลต์ตามขนาดของอุปกรณ์ให้ความร้อนในการหุงต้มถ้าพลังงานแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอก็จะใช้ความร้อนจากอุปกรณ์ให้ความร้อนมาเสริมให้การหุงต้มอาหารดำเนินไปด้วยดี

หม้อหุงต้ม หม้อหุงต้มทำด้วยแผ่นสแตนเลสขึ้นรูปเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ช่องว่างระหว่างผิวด้านนอกกับผิวด้านในจะใส่ฉนวนใยแก้ว (Glass Wool) สำหรับกันความร้อนไม่ให้สูญเสียออกสู่ภายนอกหม้อหุงต้ม ภายในหม้อหุงต้มจะมีภาชนะรูเล็ก ๆ ไว้จำนวนหนึ่ง การหุงข้าวและทำกับข้าวจะใช้วิธีนั่งข้าวและตุ๋นกับ

โครงรับอุปกรณ์หุงต้ม โครงรับอุปกรณ์หุงต้มทำด้วยเหล็กฉาก เพื่อความสะดวกจึงต่อเชื่อมด้วยไฟฟ้า

ทฤษฎี

1. ทฤษฎีการรวมแสง

อัตราส่วนความเข้มแสง

$$C_R = \frac{A_m}{A_t} = \frac{D}{\pi d} \quad (1)$$

$$d = f \left(1 + \frac{n^2}{16} \right) \left(2 \sin \frac{\alpha}{2} \right) \quad (2)$$

เมื่อ

A_m = พื้นที่ของกระจกเงาในแนวตั้งฉากกับการแผ่รังสี

A_t = พื้นที่ของเป้ารับแสง

D = ความกว้างของกระจกเงา

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของเป้ารับแสง

n = Relative aperture = D/f

f = ระยะโฟกัสของกระจกเงา

α = มุมของลำแสงอาทิตย์มีขนาด

32 ลิบตา = 0.533 องศา

(β) Rim Angle ที่ทำให้ความเข้มของการรวมแสงมีค่าสูงสุดคือ 90 องศา [1] ตัวรับแสงแบบรางพาราโบลิค จะรวมแสงโดยสะท้อนรังสีตรงสู่ท่อรับแสงเพื่อให้ได้รังสีตรงเต็มที่ตลอดเวลาจำเป็นจะต้องเคลื่อนที่หมุนติดตามดวงอาทิตย์ และมุมที่หมุนเคลื่อนที่ติดตามจะต้องสัมพันธ์กับการโคจรของดวงอาทิตย์ ค่าการแผ่รังสีตรงที่ตกกระทบบัวรับแสงในเวลาใด ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$I_{bn} = (I_G - I_d)(\cos \theta_i / \cos \theta_z) \quad (3)$$

เมื่อ

I_{bn} = ค่าการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบบัวรับแสงในทิศทางตั้งฉากกับผิวรับแสง, W/m^2

I_G = รังสีรวม (Global Radiation), W/m^2

I_d = รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) ที่คูณค่า Correction Factor แล้ว, W/m^2

$\cos \theta_i$ = Incidence Factor

θ_z = มุมระหว่างรังสีตรงจากดวงอาทิตย์กระทำกับแนวตั้ง

2. ปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์

$Q_u^{(2)}$ (W)

$$Q_u = I_{bn} \rho \gamma (\tau \alpha)_c A_a - U_L A_r (T_r - T_{sur}) \quad (4)$$

เมื่อ

ρ = สภาพการสะท้อนรังสีจากวัสดุที่นำมาทำเป็นตัวรับแสง

γ = สัดส่วนของรังสีตรงที่สะท้อนจากตัวรับ
แสงรางพาราโบลิคเข้าสู่ท่อ (Heat Pipe)
หรือเรียกว่า Intercept Factor ในที่นี้
มีค่าเท่ากับ 1

$(\tau\alpha)_c$ = ผลคูณประสิทธิภาพของสภาพส่งผ่าน
ของท่อเท่ากับสภาพการดูดกลืนรังสีของ
ท่อความร้อน (Heat Pipe)⁽³⁾ มีค่า
เท่ากับ $1.02\tau\alpha$

A_a = พื้นที่ของรางรวมแสงพาราโบลิคที่รับ
แสงโดยตรง
= (ความกว้างของรางพาราโบลิค-เส้นผ่าน
ศูนย์กลางของท่อแก้ว) x ความยาวของ
รางพาราโบลิค; m^2

A_r = พื้นที่ผิวของท่อรับความร้อน; $m^2 = \pi DL$

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ; m

L = ความยาวของท่อ; m

T_r = อุณหภูมิเฉลี่ยบนท่อความร้อน; $^{\circ}C$

T_{sur} = อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม; $^{\circ}C$

U_L = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนจาก
ผิวท่อรับแสงสู่สิ่งแวดล้อม

$$= \frac{1}{\frac{1}{h_{rg}} + \frac{1}{(h_{f_2} + h_{gs})} \frac{A_2}{A_1}} \quad (5)$$

h_{rg} = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการ
แผ่รังสีจากท่อรับแสงไปยังท่อแก้ว

$$= \frac{\sigma (T_r^2 + T_g^2)(T_r + T_g)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2} (r_1 / r_2)} \quad W/m^2K \quad (6)$$

h_{gs} = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี
จากท่อแก้วสู่สิ่งแวดล้อม

$$= \sigma \epsilon_2 (T_g^2 + T_{sur}^2)(T_g + T_{sur}) \quad W/m^2K \quad (7)$$

$$h_{f_1} = \frac{q}{2\pi r_1 L (T_r - T_g)} \quad W/m^2K \quad (8)$$

$$q' = \frac{q}{L} = \frac{2\pi k_{eff}}{\ln(D_o/D_i)} (T_r - T_g) \quad W/m^{(4)} \quad (9)$$

$$\frac{k_{eff}}{k} = 0.386 \left(\frac{Pr}{0.861 + Pr} \right)^{1/4} (Ra_c^*)^{1/4} \quad (10)$$

$$Ra_c^* = \frac{[\ln(D_o/D_i)]^4}{L_i^3 (D_i^{-3/5} + D_o^{-3/5})^5} (Ra_{L_i}) \quad (11)$$

$$10^2 \leq Ra_c^* \leq 10^7$$

$$Ra_{L_i} = \frac{g\beta (T_r - T_g) L_i^3}{\nu \alpha'} \quad (12)$$

h_{f_2} = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยการ
พาแบบบังคับจากท่อแก้วสู่สิ่งแวดล้อม
จากสมการของ Zhukauskas⁽⁴⁾

$$Nu_D = 0.26 Re_D^{0.6} Pr^{0.37} (Pr/Pr_s)^{1/4} \quad (13)$$

$$0.7 < Pr < 500, 1 < Re_D < 10^6$$

เมื่อ

σ = ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann
= $5.67 \times 10^{-8} \quad W/m^2K^4$

T_g = อุณหภูมิเฉลี่ยบนท่อแก้วไพเรกซ์

ϵ_1 = สภาพการเปล่งรังสีของท่อรับแสง

ϵ_2 = สภาพการเปล่งรังสีของท่อแก้ว

r_1 = รัศมีของท่อรับแสง (ท่อความร้อน)

r_2 = รัศมีของท่อแก้ว

L_i = ช่องว่างระหว่างท่อรับความร้อนกับท่อแก้ว
ไพเรกซ์ คือ $r_2 - r_1$

D_o = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อแก้วไพเรกซ์

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อรับความร้อน

A_1 = พื้นที่ของท่อรับแสง

A_2 = พื้นที่ของท่อแก้ว

k_{eff} = สภาพการนำความร้อนประสิทธิภาพ,
 W/mK

Ra = เรย์เลห์นัมเบอร์

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, m/s^2

β' = สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อน,
 k^{-1}

α' = สภาพการแพร่กระจายเชิงความร้อน,
 m^2/s

ν = ความหนืดคิเนแมติกส์, m^2/s

3. ประสิทธิภาพของตัวรับแสงแบบราง
พาราโบลิค (η_a)⁽²⁾

$$\eta_a = Q_u / I_{bn} A_a \quad (14)$$

4. ประสิทธิภาพของหม้อหุงต้ม (η_p)

$$\eta_p = \frac{Q_u - Q_{loss}}{Q_u} \quad (15)$$

$$Q_{loss} = h_c A (T_{sf} - T_{sur}) \quad (16)$$

เมื่อ Q_{loss} = ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจาก
หม้อให้แก่สิ่งแวดล้อม, W

h_c = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการ
พา; W/mK

A = พื้นที่ผิวผนังด้านนอกแต่ละด้านของ
หม้อหุงต้ม; m^2

T_{sf} = อุณหภูมิผิวด้านนอกแต่ละด้านของ
หม้อ; $^{\circ}C$

T_{sur} = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม; $^{\circ}C$

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 และ 2 แสดงการกระจายของอุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนตัวรับแสง ท่อแก้วและในหม้อหุงต้ม

รูปที่ 2 และ 3 คือแผนภูมิแสดงการกระจายของอุณหภูมิเฉลี่ยบนตัวรับแสง ท่อแก้วและในหม้อหุงต้ม

ตารางที่ 3 และ 4 แสดงผลการทดลองหม้อหุงต้ม

ตารางที่ 1 แสดงการกระจายของอุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ Heat Pipe, ท่อแก้ว และอุณหภูมิ
ใน Cooking Pot ในเวลาต่างๆ

วันที่ 16 พฤษภาคม 2538

เวลา (นาทื)	อุณหภูมิ สิ่ง แวดล้อม (° C)	อุณหภูมิ น้ำใน Pot (° C)	อุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ heat pipe และ ท่อแก้ว 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							
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							

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

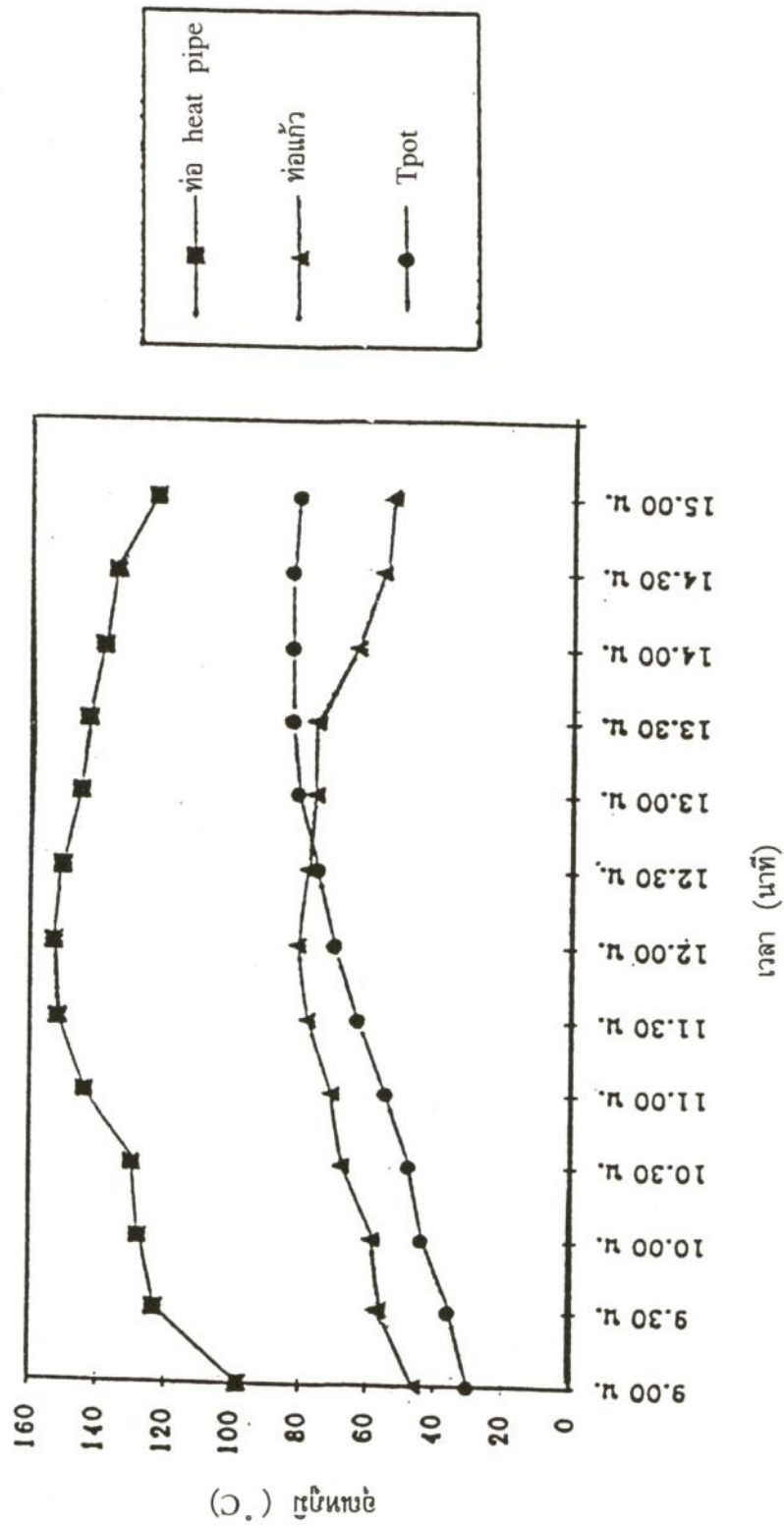
ตารางที่ 2 แสดงการกระจายของอุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ Heat Pipe, ท่อแก้ว และอุณหภูมิ
ใน Cooking Pot ในเวลาต่างๆ

วันที่ 10 พฤษภาคม 2538

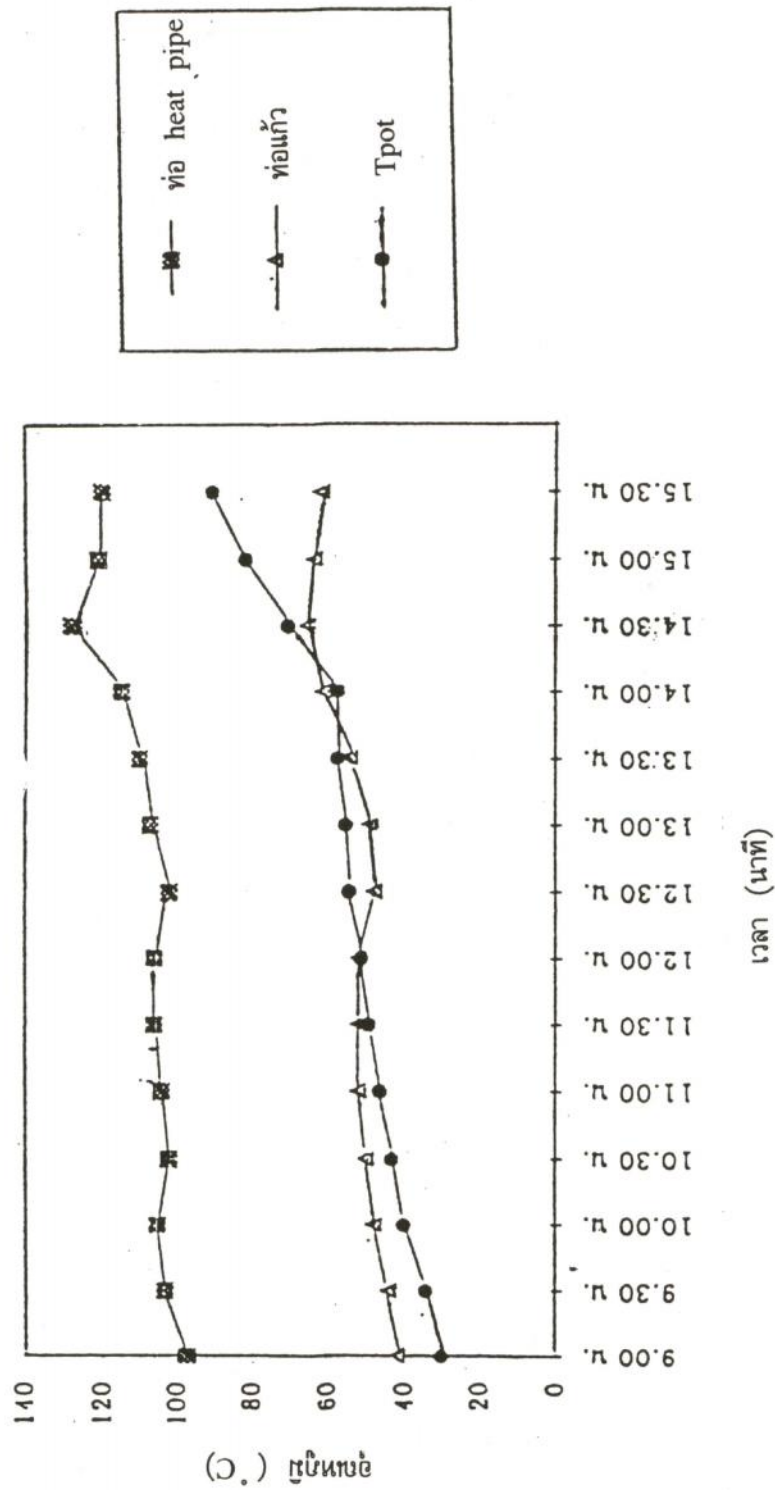
ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีตรง $I_{bn} = 231.91 \text{ W/m}^2$

เวลา (นาท.)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิ น้ำใน Pot (°C)	อุณหภูมิบริเวณรวมแสงบนท่อ heat pipe และ ท่อแก้ว 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.	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 เพื่อให้การทดลองต่อเนื่องจึงเสริมไฟฟ้าตั้งแต่เวลา 14.00 น. เนื่องจากความเข้มของแสงไม่เพียงพอ (ท้องฟ้ามีเมฆมากบังดวงอาทิตย์น้อย แสงแดดไม่สม่ำเสมอ) สังเกตได้จากอุณหภูมิในหม้อก่อนเสริมไฟฟ้ายังอยู่ในระดับต่ำเพียง 57°C , ไม่มีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นอีก พลังงานแสงอาทิตย์จึงไม่พอต่อการหุงข้าวให้สุกในครั้งนี้ (เสริมไฟฟ้า 1 ชั่วโมง 30 นาที)



รูปที่ 2 กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยบนท่อรับแสง (Heat Pipe), ท่อแก้ว และอุณหภูมิใน Cooking Pot เมื่อไม่มีการเสริมไฟฟ้า



รูปที่ 3 กราฟแสดงการกระจายของอุณหภูมิเฉลี่ยบนท่อรับแสง (Heat Pipe), ท่อแก้ว และอุณหภูมิใน Cooking Pot เมื่อมีการเสริมไฟฟ้าตั้งแต่เวลา 14.00 น.

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองหุงต้ม

วันที่ 16 พฤษภาคม 2538 เริ่มหุงนึ่งรวมแสง 9.00 น. นำข้าวไปหุงต้มเวลา 11.00 น. ปริมาณน้ำใน Pot. ก่อนการทดลอง 30°C หุงข้าว น้ำหนัก = 1.4 kg. (ข้าว 3 ถ้วยตวง = 0.48 kg. + น้ำ 5 ถ้วยตวง) และใช้ต้ม 4 ฟอง ข้าวเริ่มสุก 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 ด้านที่: (kJ)						η _a	η _p
							(W.)	(kJ.)	1	2	3	4	5	๓		
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	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	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	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	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	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

$$Q_u = 1,626.47 \text{ kJ.}$$

รวมพลังงานที่สูญเสียจาก Pot สูบรยาศ

$$Q_{loss} = 140.31 \text{ kJ.}$$

ประสิทธิภาพของรวมแสง (η_a) และหม้อหุงต้ม (η_p) เฉลี่ย = 26% และ 91% ตามลำดับ การทดลองครั้งนี้สามารถหุงข้าว, ทำไข่ตุ๋น, ใช้ต้ม ได้โดยไม่ต้องเสริมไฟฟ้า

วันที่ 10 พฤษภาคม 2538 เริ่มหมุนรวมแสง 9.00 น. นำข้าวไปหุงต้มเวลา 11.00 น. ปริมาตรน้ำใน Pot. = 2,600 cc.; อุณหภูมิใน Pot. ก่อนการทดลอง 30°C

พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์และพลังงานที่สูญเสียจาก Pot ก่อนเสริมไฟฟ้า : $Q_u = 477.29 \text{ kJ}$ และ $Q_{\text{loss}} = 44.19 \text{ kJ}$.

รวมพลังงานที่ใช้ทั้งหมด $Q_{u+e} = 1,423.85 \text{ kJ}$ และ $Q_{\text{loss}} = 179.48 \text{ kJ}$.

ประสิทธิภาพของรวมแสง (η_a) และหม้อหุงต้ม (η_d) และหม้อหุงต้ม (η_d) และหม้อหุงต้ม (η_d) เปลี่ยน = 14% และ 89% ตามลำดับ การทดลองครั้งนี้ใช้เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที (795.27 kJ).

หมายเหตุ การทดลองนี้ไม่ได้เสริมไฟฟ้า

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองเมื่อท้องฟ้าแจ่มใสค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์เท่ากับ 473.33 W/m^2 จะได้อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณที่รับแสงตลอดความยาวของท่อสูงสุดเท่ากับ 153°C และอุณหภูมิภายใน Cooking Pot ประมาณ $70-83^\circ \text{C}$ ในเวลา 12.00-14.00 น. สามารถหุงอาหารสุกได้ภายใน 2.5 ชั่วโมงโดยไม่ต้องเสริมพลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพของรางรวมแสงและประสิทธิภาพของหม้อหุงต้มคือ 26% และ 91% ตามลำดับ ถ้าวันใดที่ท้องฟ้าไม่แจ่มใสหรือมีแสงแดดเพียงครึ่งวันและฝนไม่ตก ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์จะเท่ากับ 231.91 W/m^2 วัดอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณที่รับแสงตลอดความยาวของท่อได้สูงสุดเท่ากับ 106°C และอุณหภูมิภายใน Cooking Pot ประมาณ $51-57^\circ \text{C}$ ในเวลา 12.00-14.00 น. การหุงต้มครั้งนี้จะต้องเสริมด้วยพลังงานไฟฟ้า

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่ามนุษย์สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทำให้เกิดพลังงานความร้อนเพื่อช่วยในการหุงต้มอาหารได้ เวลาในการหุงต้มอาหารอาจลดลงได้โดยการเพิ่มพลังงานความร้อนสำหรับการหุงต้ม การเพิ่มพลังงานความร้อนอาจทำได้โดยการเพิ่มขนาดของรางรวมแสงหรือมีการออกแบบตัวเก็บพลังงานมาใช้กับอุปกรณ์หุงต้มแต่ต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายให้เหมาะสมด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. นิพนธ์ ชินชูศักดิ์ อุปกรณ์หุงต้มพลังแสงอาทิตย์เสริมด้วยพลังงานไฟฟ้า วิทยานิพนธ์ปริญญาโท-บัณฑิต ภาควิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
2. John A. Duffie and William A. Beckman. *Solar Energy Thermal Process*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1974.
3. สุรสิทธิ์ ประสารปราน. ระบบทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ที่มีตัวรับรังสีแบบฮีทไปป์-เทอร์มัลไดโอด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานและวัสดุ สจ.ธ., 2530.
4. Frank P. Incropera and David P. Dewitt. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* 3rd, ed., New York, John Wiley & Sons, Inc., 1974.