

การวิเคราะห์ขนาดเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ ใช้ในการอบแห้ง

Sizes Analysis of Solar Air Heater for Grain Drying

สุดสายสิน แก้วเรือง¹ บัญญัติ เศรษฐี¹ และอดิศักดิ์ นาถกรณกุล²

Sudsaisin Kaewrueng, Banyat Saitthiti, Adisak Nathakaranakule

ABSTRACT

Solar air heater with one glass cover was tested with solar simulator at the radiation values of 650-700 W/m². The test followed the standard of The American Society to Heating, Refrigerating, and Air - Conditioning Engineers, Inc. (ANSI/ASHRAE 93 - 1986). Air mass flow rate per unit collector area (G) at the values of 100, 150, 300, and 350 kg/h-m² approximately and geometric coefficient of the collector (K) at the values of 100, 250, 600, and 800 approximately were varied in the test. Results are described that the efficiency of solar air heater was increased with the increasing of G and K obviously and had increasing linear relationship with the product of G and K .

Key words : solar, air heater, solar drying

บทคัดย่อ

การทดสอบเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจกปิด 1 ชั้น โดยใช้ แสงอาทิตย์เทียมที่ค่ารังสีรวมในช่วง 650-700 W/m² ตามมาตรฐานของ The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc. โดยแบ่งการทดสอบตามอัตราการไหลของมวลอากาศต่อพื้นที่รับรังสีของเครื่องทำอากาศร้อน (G) และ ค่าสัมประสิทธิ์ทางเรขาคณิตของเครื่องทำอากาศร้อน (K) ค่าต่างๆ คือ ที่

ค่า G ประมาณ 100, 150, 300 และ 350 kg/h m² และค่า K ประมาณ 100, 250, 500, 600 และ 800 ตามลำดับ

พบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศร้อนเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามค่าอัตราการไหล ของมวลอากาศต่อพื้นที่รับรังสี (G) และ ค่าสัมประสิทธิ์ทางเรขาคณิตของเครื่องทำอากาศร้อน (K) ที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศร้อนมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงกับค่าผลคูณของอัตราการไหลของอากาศต่อพื้นที่รับรังสีกับสัมประสิทธิ์ทางเรขาคณิตของ

1 ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Dept. of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Jatujak, Bangkok 10900, Thailand.

2 สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Div. of Energy Technology, School of Energy and Materials, KMIT Thonburi, Radburana, Bangkok 10140, Thailand.

ตัวรับรังสี (GK)

คำนำ

ตัวรับรังสีแผ่นเรียบเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนรังสีดวงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทให้กับของไหลเพื่อนำไปใช้งาน เครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็น ตัวรับรังสีแผ่นเรียบแบบหนึ่งที่ใช้อากาศเป็นตัวรับความร้อน ใช้กันมากทางการเกษตรโดยเฉพาะในกระบวนการอบแห้งซึ่งเป็นงานที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูงมากนัก ส่วนใหญ่จะเป็นตัวรับรังสีแบบมีกระจกปิด 1 ชั้น คุณสมบัติที่สำคัญของเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องพิจารณา คือ ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน

Soponronnarit and Tainsuwan (1984) ได้สร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งสามารถใช้เก็บข้าวเปลือกได้ด้วย การไหลของอากาศเป็นแบบบังคับ ตัวรับรังสีตัดแปลงจากหลังคาเหล็กอาบสังกะสีลูกฟูกของโรงเรือน ด้านบนของตัวรับรังสีไม่มีแผ่นปิดใส จากการทดสอบพบว่า เมื่ออัตราการไหลของอากาศมีค่า 0.018 kg/s-m^2 ตัวรับรังสีมีประสิทธิภาพสูงสุด 29%

วารุณี (2524) ได้ออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มี ลักษณะเป็นกล่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ด้านบนปิดด้วยกระจกใสทำมุมเอียง 14° 18° 23° และ 30° กับแนวระดับ ด้านล่างจะเป็นช่องเพื่อให้อากาศเย็นไหลเข้า และมีช่องระบายอากาศร้อนตอนบนของผนังด้านหลังของตู้ ซึ่งแต่ละตู้สามารถปรับได้เป็น 8, 11, 15% ของพื้นที่รับแสง และทดลองอบแห้งผ้าสำลีชุบน้ำ พบว่ากล่องอบแห้งที่มีมุมเอียง 14° และมีช่องระบายอากาศขึ้น 11% ให้ค่าประสิทธิภาพของการอบแห้งสูงสุด โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 48.4%

Hottel and Whillier (1955) และ Bliss (1959) ได้พัฒนาสมการเพื่อบอกคุณสมบัติทางความร้อนของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ ในรูปของ

$$\eta = F_R[(\tau\alpha)_e - U_L(T_i - T_a)/I] \quad (1)$$

โดยที่ η = ประสิทธิภาพของตัวรับรังสี

F_R = เฟกเตอร์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศที่เข้าตัวรับรังสี

$(\tau\alpha)_e$ = ผลคูณของค่าส่งผ่านและดูดกลืนแสง

U_L = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวรับรังสี ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

T_i = อุณหภูมิอากาศเข้าสู่ตัวรับรังสี ($^\circ\text{C}$)

T_a = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^\circ\text{C}$)

I = ค่ารังสีแสงอาทิตย์รวม ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

สมการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดี

ต่อมา Duffie and Beckman (1980) และ Reddy and Gupta (1980) ได้เสนอ สมการหาประสิทธิภาพสำหรับเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของ

$$\eta = F_o[(\tau\alpha)_e - U_L(T_o - T_a)/I] \quad (2)$$

โดยที่ F_o = เฟกเตอร์ของการเคลื่อนที่ของความร้อนที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากตัวรับรังสี หาได้จากสมการ

$$F_o = GC_p[\exp(U_L F / GC_p) - 1] / U_L \quad (3)$$

โดยที่ G = อัตราการไหลของมวลอากาศต่อพื้นที่ตัวรับรังสี (kg/s m^2)

C_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศ ($\text{J/kg } ^\circ\text{C}$)

F' = เฟกเตอร์ประสิทธิภาพของตัวรับรังสี

T_o = อุณหภูมิอากาศที่ออกจากตัวรับรังสี ($^\circ\text{C}$)

ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแผ่นเรียบตามสมการ

(1) ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับเครื่องทำอากาศร้อนที่ทำงานแบบระบบเปิดซึ่งค่า $T_i = T_a$ เนื่องจากในกรณีนี้สมการที่ (1) จะลดรูปเหลือเพียง $\eta = F_R(\tau\alpha)$ ซึ่ง

แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีขึ้นอยู่กับผลคูณประสิทธิภาพของค่าส่งผ่านและคูคกลืนรังสีความร้อน $(\tau\alpha)_e$ เท่านั้น สมการที่ (2) จะเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับระบบเปิดมากกว่าประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อาจพิจารณาในรูปของ อุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านตัวรับรังสีในรูปสมการ

$$\eta = GC_p(T_o - T_i)/I \quad (4)$$

Bioni et al. (1988) ได้เสนอการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับขนาด และ อัตราการไหลของมวลอากาศต่อพื้นที่รับรังสี (G) ในรูปของสัมประสิทธิ์ทางเรขาคณิตของตัวรับรังสี (K) ที่กำหนดขึ้นในรูป

$$K = L/(bDe^{0.25}) \quad (5)$$

โดยที่ L = ความยาวของตัวรับรังสี (m)

b = ความหนาของท่ออากาศภายในตัวรับรังสี (m)

De = เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของท่ออากาศ (m)

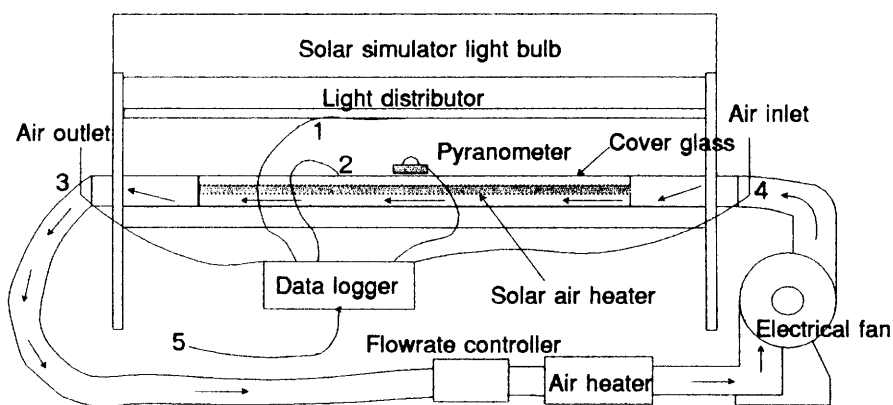
และสรุปได้ว่า สมรรถนะของเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยทางทฤษฎีแล้วสามารถแสดงในรูปของผลคูณระหว่างค่าอัตราการไหลของมวลอากาศต่อพื้นที่รับรังสี (G) กับสัมประสิทธิ์ทางเรขาคณิตของตัวรับรังสี (K) ได้

อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงดัง

Figure 1

วิธีการทดสอบเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แสงอาทิตย์เทียมที่ค่ารังสีรวมในช่วง 650–700 W/m² ตามมาตรฐานของ The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Con-



1-5 : จุดวัดอุณหภูมิ

1 : อุณหภูมิใต้ผิวกระจกกระจายแสง 2 : อุณหภูมิที่ผิวกระจกเครื่องทำอากาศร้อน

3 : อุณหภูมิที่ออกจากเครื่องทำอากาศร้อน

4 : อุณหภูมิที่เข้าเครื่องทำอากาศร้อน 5 : อุณหภูมิอากาศแวดล้อม

Figure 1 Experimental instruments.

ditioning Engineers, Inc. (ASHRAE Standard 1986) โดยแบ่งการทดสอบตามอัตราการไหลของมวลอากาศต่อพื้นที่รับรังสีของเครื่องทำอากาศร้อน (G) และ ค่าสัมประสิทธิ์ทางเรขาคณิตของเครื่องทำอากาศร้อน (K) ค่าต่างๆ คือ ที่ค่า G ประมาณ 100, 150, 300 และ 350 kg/hm^2 และค่า K ประมาณ 100, 250, 600 และ 800 $\text{m}^{-0.25}$ ตามลำดับ

การวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เทียมวัดโดยใช้ Pyranometer อัตราการไหลของมวลอากาศในท่อใช้ anemometer แบบใบพัด และอุณหภูมิวัดโดยเทอร์โมคัปเปิลชนิด Chromel - Alumel Type K ซึ่งต่อเข้ากับ data logger มีความละเอียดในการวัด $\pm 1^\circ\text{C}$

ผลและวิจารณ์

จากการทดสอบเครื่องทำอากาศร้อนด้วยแสงอาทิตย์เทียมที่ค่าอัตราการไหลของอากาศ (G) และ ค่าสัมประสิทธิ์ทางเรขาคณิตของเครื่องทำอากาศร้อน (K) ค่าต่างๆ เมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศร้อนในแต่ละการทดลองแล้ว พบว่า

ประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศ ร้อนเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดดัง Figure 2-4 ซึ่งจากสมการ (1) จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศร้อนจะขึ้นอยู่กับค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อนมาใช้งานของตัวรับรังสี F_R และ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม U_L สำหรับค่า U_L ประกอบด้วยการสูญเสียความร้อนจากการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน จากทดลองพบว่า การสูญเสียความร้อนทั้ง 3 แบบนี้ไม่มีผลกระทบต่อค่า U_L มากนัก เนื่องจากการทดลอง เครื่องทำอากาศร้อนที่ใช้ทดสอบเป็นต้นเดียวกัน จะเปลี่ยนแปลงเฉพาะขนาดความหนาของท่อที่อากาศร้อนผ่านเท่านั้นการสูญเสียความร้อนจากการนำความร้อนจึงมีค่าคงที่ และเนื่องจากผลต่างระหว่างอุณหภูมิบนแผ่นรับรังสีกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าไม่

มากนัก การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจึงมีค่าน้อย ประกอบกับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกระจกปิดกับอากาศแวดล้อมมีค่าต่างกันไม่มาก และมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในแต่ละการทดลอง การสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อนจึงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมาก ดังนั้นถือว่า U_L มีค่าคงที่ ประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศร้อนจึงขึ้นกับค่า F_R เท่านั้น เนื่องจากค่า F_R แปรผันตรงกับค่าแฟกเตอร์ประสิทธิภาพของตัวรับรังสี F' (สมการ 3) และค่า F' นี้ จะมีค่ามากขึ้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นรับรังสีไปยังอากาศมีค่าสูง ค่าสัมประสิทธิ์นี้จะเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นตามค่าความเร็วของอากาศในท่อที่เพิ่มขึ้น ซึ่งก็คือตามค่าอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้น จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จึงสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศร้อนเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลต่อพื้นที่รับรังสีที่เพิ่มขึ้น

ประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศร้อนมีแนวโน้มสูงขึ้นตามค่าสัมประสิทธิ์ทางเรขาคณิตของเครื่องทำอากาศร้อน (K) ที่เพิ่มขึ้นดัง Figure 5-6 ทั้งนี้เนื่องจากค่า K แปรผันโดยตรงกับค่าความยาวของเครื่องทำอากาศร้อน (L) แต่แปรผกผันกับค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของท่ออากาศ (De) ความยาวของเครื่องทำอากาศร้อนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การถ่ายเทความร้อนจากแผ่นรับรังสีไปยังอากาศร้อนมากขึ้น ส่วนค่า De ที่ลดลง จะทำให้ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านท่ออากาศได้แผ่นรับรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ลดลง จากค่าความเร็วของอากาศที่เพิ่มขึ้นยังผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น การถ่ายเทความร้อนจากแผ่นรับรังสีไปยังอากาศจึงมีค่ามาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

จากการที่ค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศร้อนเปลี่ยนแปลงตามค่า G และ K ดังกล่าวมาแล้ว เมื่อพิจารณา Figure 7 จะพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศร้อนเปลี่ยนแปลงในลักษณะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับค่า GK อย่างเห็นได้ชัด โดยมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง ทั้งนี้เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

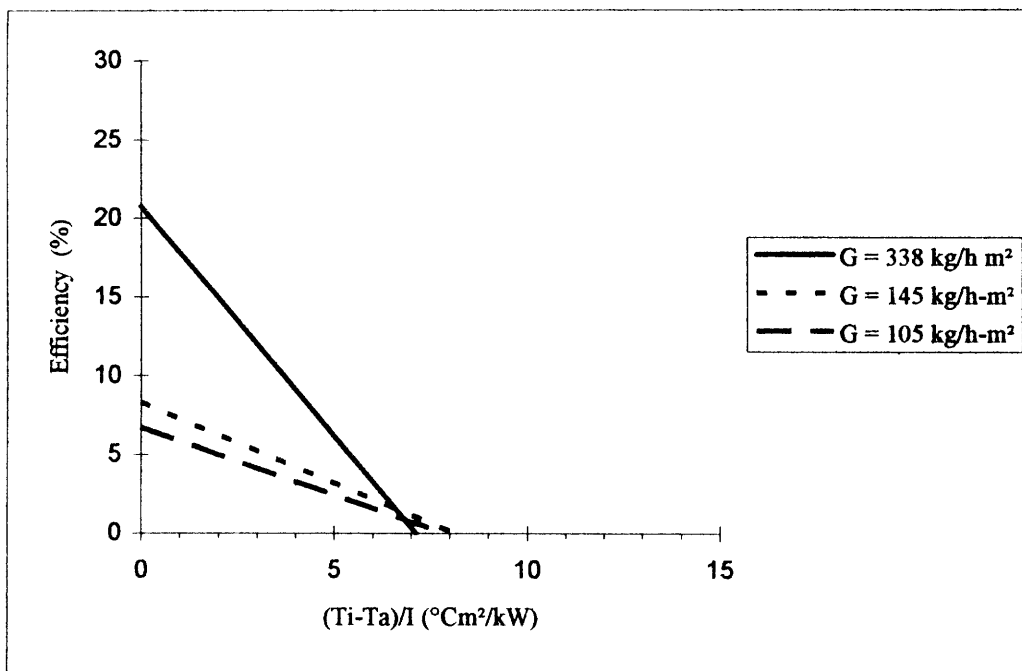


Figure 2 Effect of air mass flow rate per unit collector area (G) on efficiency of solar air heater at the collector geometric coefficient (K) = $267^{\circ}\text{Cm}^2/\text{kW}$.

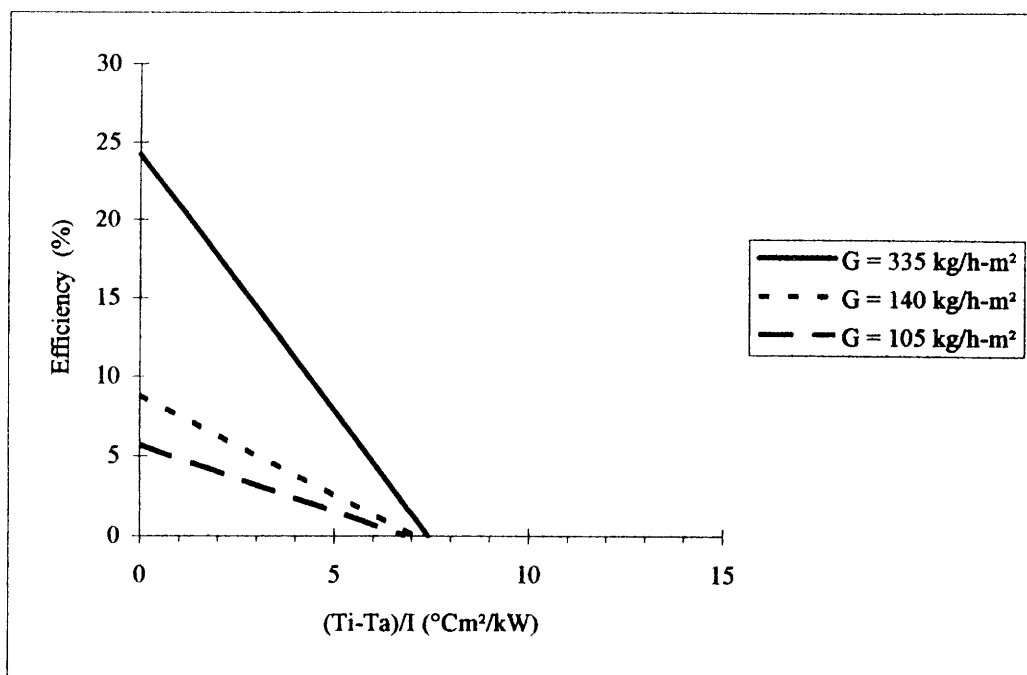


Figure 3 Effect of air mass flow rate per unit collector area (G) on efficiency of solar air heater at the collector geometric coefficient (K) = $634^{\circ}\text{C/m}^2/\text{kW}$.

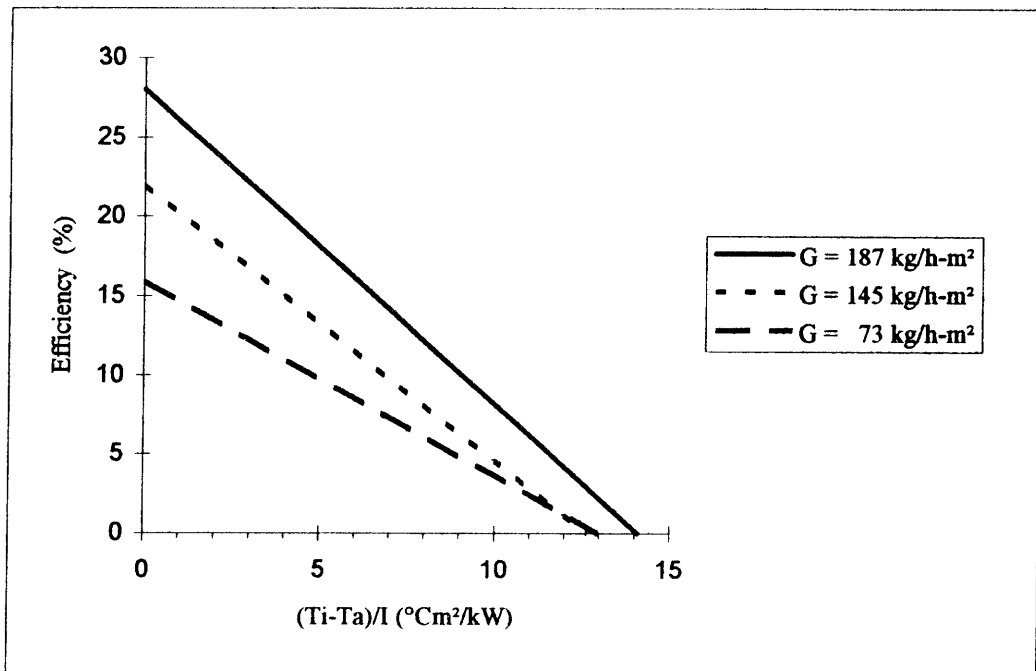


Figure 4 Effect of air mass flow rate per unit collector area (G) on efficiency of solar air heater at the collector geometric coefficient (K) = 837 °C/m²/kW.

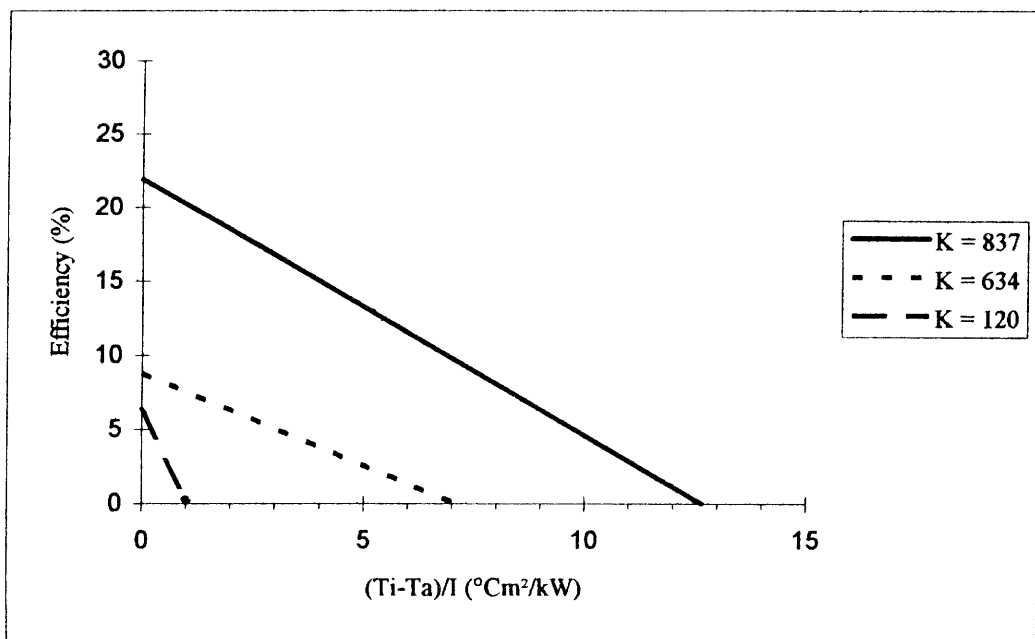


Figure 5 Effect of the collector geometric coefficient (K) on efficiency of solar air heater at air mass flow rate per unit collector area (G) = 145 kg/m².

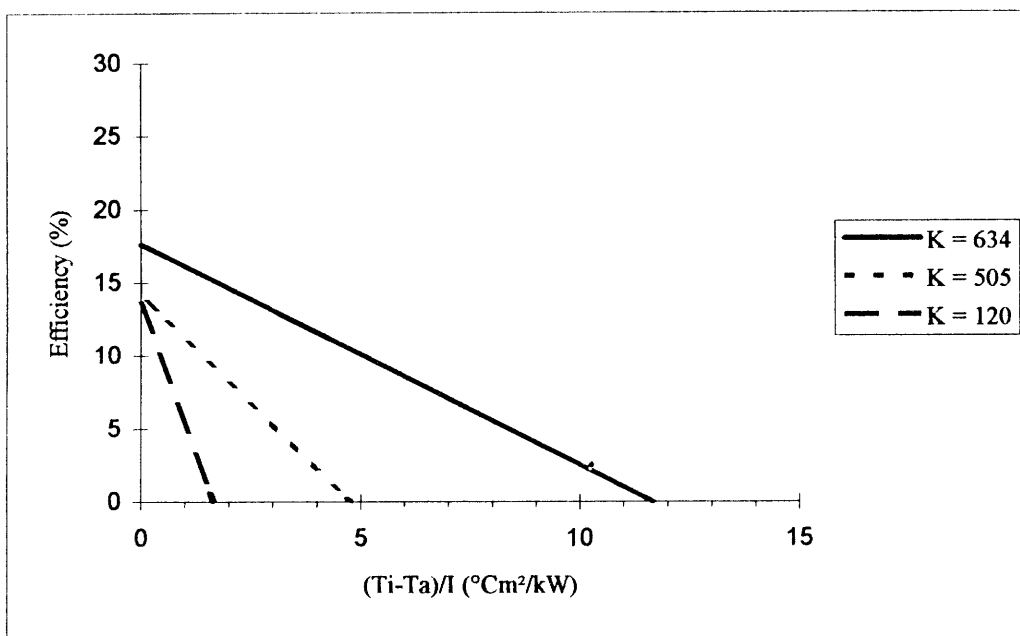


Figure 6 Effect of the collector geometric coefficient (K) on efficiency of solar air heater at air mass flow rate per unit collector area (G) = 290 kg/m².

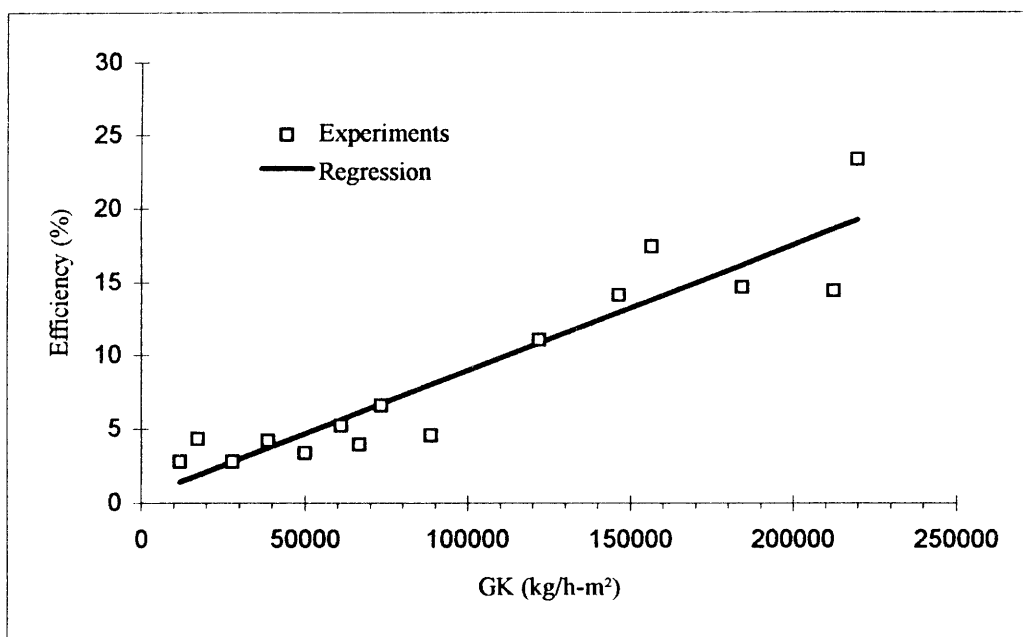


Figure 7 Increasing linear relationship between the efficiency of solar air heater and the product of air mass flow rate per unit collector area and the collector geometric coefficient (GK).

ร้อนระหว่างแผ่นรับรังสีกับอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่า G และ K ที่เพิ่มขึ้น

สรุป

จากผลการทดสอบเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สรุปได้ว่า

1. ประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ของอากาศต่อพื้นที่รับรังสี (G) ที่เพิ่มขึ้น เมื่อสัมประสิทธิ์ทางเรขาคณิตของตัวรับรังสี (K) คงที่

2. ประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นตาม สัมประสิทธิ์ทางเรขาคณิตของตัวรับรังสี (K) ที่เพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการใช้ของอากาศต่อพื้นที่รับรังสี (G) คงที่

3. ประสิทธิภาพของเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงกับค่าผลคูณของอัตราการใช้ของอากาศต่อพื้นที่รับรังสี กับสัมประสิทธิ์ทางเรขาคณิตของตัวรับรังสี (GK)

เอกสารอ้างอิง

วารุณี วาตะบุตร. 2524. การทดสอบสมรรถนะของกล่องอบแห้งแสงอาทิตย์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ASHRAE Standard. 1986. Methods of testing to de-

termine the thermal performance of solar collectors, The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc. p 8-19.

Biondi, P., L. Cicala, and G. Farina. 1988. Performance analysis of solar air heaters of conventional design, Solar Energy. 41:101.

Bliss, R.W.. 1959. The derivation of several "plate efficiency factor" useful in the design of flat plat solar heat collectors, Solar Energy. 4:55.

Duffie, J.A. and W.A. Backman. 1980. Solar engineering of thermal process, Wiley, Newyork.

Hottel, H.C. and W. Whillier. 1955. Evaluation of flat plat solar collector performance, Trans. Conf. Use of Solar Energy Thermal Process, Tucson AZ.

Reddy, T.A. and C.L. Gupta. 1980. Generating application design data for solar air heating systems, Solar Energy. 25:527.

Soponronnarit, S. and J. Tainsuwan. 1984. Low cost solar air heater, application to paddy drying, proceeding at the regional seminar on simulation and design in solar energy applications., Kingmongkut's Institute of Technology Thonburi, May 8-10, Bangkok, Thailand. 17 p.