

การศึกษาผลกระทบของรูปทรงตัวดูดรังสีในเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

A Study of Solar Absorber Shape Effect in the Solar Air Heater

ณัฐดนัย พรรณเจริญวงษ์^{1*} รพีพัฒน์ ลาดศรีทา¹ ธนวรรธก์ ค่ายเพชร²
วิฑูรย์ โขลิมา² และ สุชาวดี แสนเพ็งเคน²

¹อาจารย์ 2 นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
จังหวัดขอนแก่น 40000

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของรูปทรงตัวดูดรังสีในเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรที่แตกต่างกันจำนวน 2 แบบ คือ แบบสี่เหลี่ยมกระจกชั้นเดียว โดยมีปั๊มหอยโข่งเป็นตัวดูดอากาศ และทำการติดตั้งตัวดูดรังสีเป็นวัสดุทำจากแผ่นเหล็กอบสังกะสีลอนใหญ่ทาสีดำด้าน และแบบที่ทำจากแผ่นเหล็กสังกะสีลอนเหลี่ยมทาสีดำด้าน เพื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบของรูปทรงตัวดูดรังสีในเครื่องดังกล่าว ผลจากการศึกษาพบว่าตัวดูดรังสีที่ทำจากแผ่นเหล็กสังกะสีลอนเหลี่ยมทาสีดำด้านมีความเหมาะสมที่สุด โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมอยู่ที่ 66% และสามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้ 96.13 องศาเซลเซียส

Abstract

This purpose of the research was to study of Solar Absorber Shape Effect in the Solar Air Heater. These has designed and constructed the solar air heater for drying agricultural products of two different types. Comparison of First thing, used square type, one glass layer, used centrifugal fans to feed air and installed solar absorber which each made of sinusoidal corrugate galvanized steel sheet coated with dull black paint and each other made of trapezoidal corrugate galvanized steel sheet coated with dull black paint. The results of research showed that the solar absorber which each made of trapezoidal corrugate galvanized steel sheet coated with dull black paint is most suitable. Which has overall thermal efficiency 66% and can generate maximum temperature 96.13 degree of Celsius

คำสำคัญ : พลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวม

Keywords : Solar energy, Solar air heater, Overall thermal efficiency

*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ nattadon.pa@gmail.com โทร. 0 4323 5403

1. บทนำ

การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร เป็นกระบวนการหนึ่งหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป เพื่อเพิ่มคุณภาพลดความสูญเสียของผลผลิต การอบแห้งเป็นเทคโนโลยีที่ไม่สลับซับซ้อนแต่เป็นเทคโนโลยีที่ต้องการพลังงานค่อนข้างสูง เมื่อกับวิธีการอื่น ๆ หลังเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลผลิต ซึ่งสามารถแบ่งพลังงานเป็นสองชนิดคือ พลังงานที่ใช้ทำอากาศร้อน และพลังงานกลที่ใช้ขับเคลื่อนคือไฟฟ้า พลังงานความร้อนที่ใช้ได้มาหลายวิธี เช่น ไฟฟ้า น้ำมัน ชีวมวล แสงอาทิตย์ เป็นต้น สำหรับประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่บนเส้นแนวศูนย์สูตร และมีการนำเข้าน้ำมันเป็นจำนวนมาก การใช้พลังงานทางเลือกอย่างชีวมวล และแสงอาทิตย์นับเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เพราะช่วยลดการนำเข้าพลังงานได้

การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีมานานแล้ว และยังคงใช้อยู่ในปัจจุบันอย่างแพร่หลาย เกษตรกรส่วนใหญ่ จะใช้วิธีนำผลผลิตไปตากแดด ซึ่งบางครั้งจะประสบปัญหาผลผลิตเปียกชื้น และไม่สามารถทำให้แห้งได้ทันเวลาปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ประกอบด้วยไปด้วยสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ และส่วนที่เป็นเครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร เครื่องอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือแบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ จากการศึกษาพบว่ามีการทำตัวรับรังสีจากแถบเส้นดำโรยบนพื้นดินปิดคลุมด้วยพลาสติกใสด้านบน ซึ่งพบปัญหาด้านการเสื่อมคุณภาพของพลาสติก และมีการเปลี่ยนมาใช้กระจกใส แต่ก็ยังให้ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเนื่องจากใช้การไหลเวียนของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ จึงมีการใช้พัดลมดูดอากาศเพื่อเปลี่ยนเป็นแบบการไหลของอากาศเป็นแบบบังคับ เพื่อการอบแห้งที่ดีกว่า มีการติดตั้งตัวรับรังสีหลายขนาดต่างๆ ที่ทำให้ประสิทธิภาพการอบแห้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีการดัดแปลงตัวรับรังสีจากเหล็กหลังคาสังกะสีแบบลูกฟูกแบบลอนใหญ่ ซึ่งได้ผลิตภัณฑอบแห้งที่มีคุณภาพดี ทั้งหมดนี้ยังไม่มีผู้ศึกษาถึงตัวรับรังสีที่มีกระจกใสปิดที่ดัดแปลงมาจากเหล็กหลังคา

งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของรูปทรงตัวดูดรังสีในเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรที่แตกต่างกันจำนวน 2 แบบ คือ แบบสี่เหลี่ยมกระจกชั้นเดียว โดยมีม็อบโซ่งเป็นตัวดูดอากาศ และทำการติดตั้งตัวดูดรังสีเป็นวัสดุทำจากแผ่นเหล็กอบสังกะสีลอนใหญ่ทาสีดำด้าน และแบบที่ทำจากแผ่นเหล็กสังกะสีลอนเหลี่ยมทาสีดำด้าน เพื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบของรูปทรงตัวดูดรังสีในเครื่องดังกล่าว

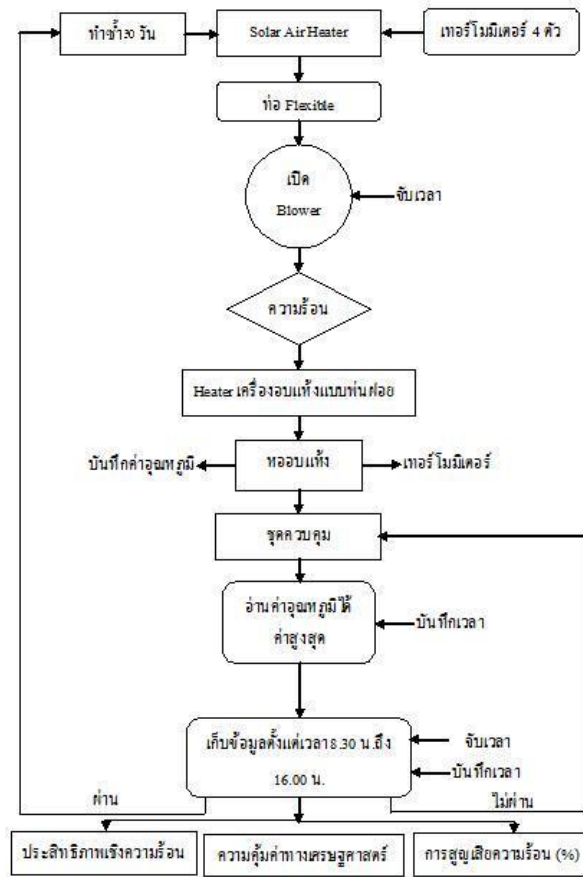
2. วิธีการทดลอง



รูปที่ 1 เครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ทำการสร้างตัวรับรังสีที่มีกระจกใสติดอยู่ด้านบน มีตัวรับรังสีซึ่งดัดแปลงจากเหล็กหลังคาสังกะสีดังรูปที่ 1 จากนั้นทำการทดลองดังรูปที่ 2 โดยติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์เข้ากับเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อวัดอุณหภูมิภายใน โดยจะติดตั้ง 3 จุด คือ ด้านขวา 1.ตัว ด้านซ้าย 1.ตัว และด้านหลังอีก 1.ตัว จากนั้นติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ภายนอกเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อีก 1 ตัว เพื่อวัดอุณหภูมิของอากาศภายนอกดังรูปที่ 3

วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ
การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3 การติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์

ทำการทดลองโดยนำเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไปไว้ในที่ที่มีแสงอาทิตย์ส่องถึงได้ตลอดวัน ดังรูปที่ 4 โดยให้เครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เอียงทำมุมกับพื้นราบ 12 องศา



รูปที่ 4 นำเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไปไว้ในที่ที่มีแสงอาทิตย์ส่องถึงได้ตลอดวัน

จากนั้นเปิดเครื่องดูดอากาศ (Blower) และเริ่มจับเวลา เมื่อถึงช่วงเวลา 08.30 น. บันทึกอุณหภูมิภายในหอบ ภายในเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายนอก ทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องจนถึงเวลา 16.00 น โดยค่าอัตราส่วนความเข้มรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อความเข้มรังสีตรงบนพื้นราบ R_B คำนวณได้จาก

$$R_B = \frac{H_B \cos \theta^T}{H_B \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta^T}{\cos \theta_z} \tag{1}$$

เมื่อ

θ^T คือมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์บนพื้นเอียง (องศา)

θ_z คือมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์บนพื้นราบ (องศา)

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } \theta^T &= \sin U \sin W \cos S - \sin U \sin W \cos S \cos X \\ &+ \cos U \cos W \cos S \cos W \\ &+ \cos U \sin W \sin S \cos X \cos W \\ &+ \cos U \sin S \sin X \sin W \end{aligned} \tag{2}$$

$$\theta_z = \sin U \sin W + \cos U \cos W \cos W \tag{3}$$

เมื่อ

S คือมุมเอียงระหว่างพื้นราบกับพื้นผิวที่พิจารณา = 12°

X คือมุมที่เบี่ยงเบนไปของเส้นตั้งฉากกับพื้นราบไป

จากแนวเหนือใต้ = 0°

W คือมุมของเวลาที่โลกหมุนไปต่อชั่วโมง = 15 (12 ชั่วโมงต่อวัน)

ค่า R_B ที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 1 มาก ดังนั้นจะใช้ค่า R_B เท่ากับ 1 ในการคำนวณ หาค่าการสูญเสียจากด้านบนของตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบที่ไม่มีแผ่นใสปิดได้จาก

$$U_t = h_w + h_{r,p-a} \tag{4}$$

เมื่อ $h_w = 2.8 + 3.0V$

$$h_{r,p-a} = \frac{Epu(Tp^4 - Ts^4)}{(Tp - Ta)} \tag{5}$$

โดยที่

$$Ts = 0.552Ta^{1.5} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6)$$

หาค่าการสูญเสียจากด้านล่างของตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ

$$U_b = \frac{Ki}{L} \quad (7)$$

หาค่าการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากของไหลจากสมการ

$$h = \frac{k_a Nu}{Dh} \quad (8)$$

เมื่อ

h คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

k_a คือค่าการนำความร้อนของอากาศ = 0.028 w/m $^\circ\text{C}$

Nu คือ Nusselt number

Dh คือ Hydraulic diameter

เป็นการไหลแบบ Force convection สำหรับการไหลแบบ Fully developed turbulent ระหว่างแผ่นราบ 2 แผ่น ซึ่งแผ่นหนึ่งให้ความร้อน และอีกแผ่นหนึ่งเป็นฉนวน

$$Nu = 0.0158Re^{0.8}$$

$$Re = \frac{...VX}{\sim}$$

เมื่อ

... คือความหนาแน่นของของไหล, kg/m 3

V คือความเร็วของของไหล, m/s

X คือระยะระหว่างผนัง, m

\sim คือ Dynamics viscosity, kg/m-s

คำนวณการแผ่รังสีภายในของตัวรับรังสีได้จาก

$$h_{r,p-i} = \frac{\Delta U T_f}{\frac{1}{V_p} - \frac{1}{V_f} - 1} \quad (9)$$

ต้องสมมติค่า T_p, T_f ลงในสมการ (9) แล้วแทนค่า F', U_L ลงในสมการ

$$F' = \frac{h_1[U_b + h_2 + 2h_r]}{(U_L + h_1 + h_r)(U_b + h_2 + h_r) - h_r^2} \quad (10)$$

$$U_L = \frac{[2U_i U_b + U_i h_2 + 2U_i h_r + 2U_b h_r + U_b h_1]}{[U_b + h_2 + 2h_r]} \quad (11)$$

จากนั้นคำนวณค่าค่า F_R และ y ได้จากสมการ

$$F_R = \frac{\dot{m}Cp}{A_c U_L} [1 - e^{-1} (\frac{A_c U_L F'}{\dot{m}Cp})] \quad (12)$$

$$F'' = \frac{F_R}{F'} \quad (13)$$

$$y = F_R \Gamma - \frac{F_R U_L (T_{f,i} - T_a)}{G_T} \quad (14)$$

หาค่าการแผ่รังสี (Emittance), V และค่าการดูดกลืนรังสี (Absorptance), Γ ได้จากการวัดค่าสังกะสีที่
ทาสีดำด้าน คัดค่า Transmittance absorptance effective กรณีที่มีกระจกปิด 1 แผ่น (มีความไว) 1 วัน

$$(\pm r)e = 1.02 \pm r \quad (15)$$

หาค่าการสูญเสียทางด้านบนได้จาก

$$U_r = \frac{1}{\frac{1}{h_w + h_{r,c-2}} + \frac{1}{\frac{ka}{Xi} + h_{r,p-c} + h_{p-c}}} \quad (16)$$

หาค่าการสูญเสียจากด้านบนของตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบที่มีแผ่นใสปิด

$$U_r = \left[\frac{1}{h_{p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{\frac{ka}{Xi} + h_w + h_{r,c-a}} \right]^{-1} \quad (17)$$

โดยที่

$$h_{r,p-c} = \frac{u(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{v_p} + \frac{1}{v_c} - 1} \quad (18)$$

$$h_{r,p-c} = -v_c u(T_c^2 + T_s)^2 (T_c + T_s) \quad (19)$$

$$h_w = 2.8 + 3.0V$$

$$[h_w = 5.7 + 3.8V]$$

$$h_{p-c} = Nu \frac{k}{L} \quad (20)$$

$$T_s = 0.552 T_a^{1.5}$$

สำหรับ h_{p-c} ระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับกระจกเป็นการไหลของอากาศแบบธรรมชาติ (Free convection)
ดังนั้นคำนวณหาค่า h_{p-c} และ Nu ได้จากสมการ

$$h_{p-c} = \frac{Ka}{L} Nu \quad (21)$$

$$Nu = \left[0.06 + 0.0179 \left(\frac{S}{90} \right) \right] Gr^{1/3} \quad (22)$$

เมื่อ $Gr = Sg(\Delta t) \frac{l^3}{\epsilon^2}$

โดยที่

Ka คือ Thermal conductivity ของอากาศ = 0.028 w/m°C

T_c คืออุณหภูมิกระจก, K

T_a คืออุณหภูมิสิ่งแวดล้อม, K

T_s คืออุณหภูมิท้องฟ้า, K

T_p คืออุณหภูมิของแผ่นดูดรังสี, K

S คือมุมเอียงระหว่างกระจก, °

L คือระยะห่างระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับกระจก, m

Nu คือ Nusselt number

Gr คือ Grasshof number

จากนั้นนำไปแทนค่าหาค่า F', U_L ในสมการที่ (10) และ (11) โดยสมมติค่าอุณหภูมิกระจก T_c , อุณหภูมิของแผ่นดูดรังสี T_p และอุณหภูมิของไหล T_f เข้าไปในสมการ และตรวจสอบผลของ T_c ได้จากสมการ

$$T_c = T_p - \frac{U_r + (T_p - T_a)}{h_{p-c} + h_{r,p-c}} \quad (23)$$

แล้วนำไปแทนค่าหา y จากสมการที่ (14) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ $y \propto \frac{(T_i - T_a)}{G_T}$

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

เมื่อติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์และทำการบันทึกผลการทดลองตั้งแต่เวลา 08.30 น. ถึงเวลา 16.00 น. เป็นเวลา 30 วัน ได้ผลเฉลี่ยอุณหภูมิภายใน และภายนอกเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 อุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อติดตั้งตัวดูดรังสีที่ทำจากแผ่นเหล็กสังกะสีลอนเหลี่ยมทาสีดำด้าน

ช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ (นาท)	อุณหภูมิ (°C)	
	ภายนอก Solar Air Heater	ภายใน Solar Air Heater
08.30 - 09.00	29.2	80.36
09.00 - 09.30	29.5	82.43
09.30 - 10.00	30.0	86.23
10.00 - 10.30	30.4	88.13
10.30 - 11.00	30.7	90.33
11.00 - 11.30	31.2	92.10
11.30 - 12.00	31.5	95.23
12.00 - 12.30	32.1	96.13
12.30 - 13.00	32.0	95.23
13.00 - 13.30	31.9	94.53
13.30 - 14.00	31.5	92.13
14.00 - 14.30	31.1	91.06

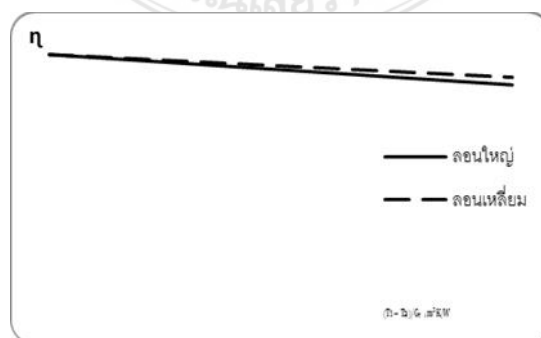
RMUTP Research Journal Special Issue
The 5th Rajamangala University of Technology National Conference

14.30 - 15.00	31.0	80.06
15.00 - 15.30	30.5	86.13
15.30 - 16.00	29.5	82.73

ตารางที่ 2 อุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อติดตั้งตัวดูดรังสีที่ทำจากแผ่นเหล็กสังกะสีลอนลอนใหญ่ทาสีดำด้าน

ช่วงเวลาที่ทำกรทดสอบ (นาท)	อุณหภูมิ (°C)	
	ภายนอก Solar Air Heater	ภายใน Solar Air Heater
08.30 - 09.00	30.1	72.43
09.00 - 09.30	30.3	74.46
09.30 - 10.00	30.5	78.13
10.00 - 10.30	30.7	80.13
10.30 - 11.00	31.2	82.23
11.00 - 11.30	31.4	84.06
11.30 - 12.00	31.8	86.73
12.00 - 12.30	32.4	88.03
12.30 - 13.00	32.3	87.13
13.00 - 13.30	31.8	86.53
13.30 - 14.00	31.7	84.13
14.00 - 14.30	31.5	83.06
14.30 - 15.00	31.4	82.13
15.00 - 15.30	30.8	88.13
15.30 - 16.00	29.8	84.73

และประสิทธิภาพของตัวดูดรังสีระหว่างแบบที่ทำจากแผ่นเหล็กอาบสังกะสีลอนใหญ่ทาสีดำด้าน และแบบที่ทำจากแผ่นเหล็กสังกะสีลอนเหลี่ยมทาสีดำด้านจะแสดงอยู่ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อน η และ $\frac{(T_i - T_a)}{G_T}$ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดรังสีทั้ง 2 แบบ

จากรูปที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดรังสีที่ทำจากแผ่นเหล็กอบสังกะสีลอนใหญ่ทาสีดำ ด้านที่มีพื้นที่ในการรับรังสี 18.8 m^2 และแบบที่ทำจากแผ่นเหล็กสังกะสีลอนเหลี่ยมทาสีดำด้าน ที่มีพื้นที่ในการรับรังสี 17.8 m^2 ทั้งสองแบบวัดอัตราการไหลของอากาศได้ 0.2 kg/s ผลการทดลองพบว่าตัวดูดรังสีที่ทำจากแผ่นเหล็กสังกะสีลอนเหลี่ยมทาสีดำด้านมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบที่ทำจากแผ่นเหล็กอบสังกะสีลอนใหญ่ทาสีดำด้าน และยังพบว่าตัวดูดรังสีที่ทำจากแผ่นเหล็กสังกะสีลอนเหลี่ยมทาสีดำด้านสามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้ 96.13 องศาเซลเซียส มากกว่าตัวดูดรังสีที่ทำจากแผ่นเหล็กอบสังกะสีลอนใหญ่ทาสีดำด้านที่สามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้เพียง 88.03 องศาเซลเซียส

4. สรุป

ตัวดูดรังสีที่ทำจากแผ่นเหล็กสังกะสีลอนเหลี่ยมทาสีดำด้านมีความเหมาะสมที่สุด โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมอยู่ที่ 66% และสามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้ 96.13 องศาเซลเซียส เนื่องจากรังสีของดวงอาทิตย์กระทบและดูดกลืนรังสีที่เหล็กสังกะสีลอนเหลี่ยมได้ดีกว่าลอนใหญ่ จากผลที่ได้หากนำเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไปอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรจะทำให้การอบแห้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

6. เอกสารอ้างอิง

- Excell R.H.B., S. Kornsakoo, and S. Thiratrakoolchai. 1979. *A Low Cost Solar Rice Dryer for Farmers in Aouth-East Asia*. Agricultural Mechanization in Asiz, Autumn.
- สุวัฒน์ ไทชนะ. 2522. *ตู้อบแห้งด้วยแสงอาทิตย์*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- พจนา วงศ์ศิริ. 2529. *การอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- Mc Gill University, Brace Institute. 1975. *A Solar Agricultural Dryers*. Technical report.
- Calderwood, D.L. 1982. *Solar Assisted Rice Drying in a Continuous Flow Dryer*. ASAB. St. Joseph. Miami.
- ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2528. *การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งข้าวพลังงานแสงอาทิตย์*. รายงานสำนักงานพลังงานแห่งชาติ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- S. Soponronnarit and J. Tiansuwan. 1984. *Low Cost Solar Air Heater: Application to paddy drying*. Regional seminar on simulation and design in solar energy application. King Mokut's University of Technology Thonburi.
- S. Soponronnarit and et al. 1986. *A Drying-Storage Solar Hut: The Technical Aspects*. Renewable energy review journal: Vol. 8. No. 1. June.