

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

**สมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ
สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์**

**Performance of a Closed Loop Oscillating Heat Pipe Flat Plate Solar Collector
for a Solar Dryer**

ธีระศักดิ์ หุดากร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

ผู้ติดต่อ: E-mail: Hudakorn_t@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์: 034 259 025, เบอร์โทรสาร: 034 219 367

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบมีขนาด 2 ตารางเมตร และทำการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจำนวน 5 ชุด เข้ากับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบทำจากท่อทองแดง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.0 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย และความยาวส่วนควบแน่นเท่ากับ 1.0 เมตร และ 0.17 เมตร ตามลำดับ จำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเท่ากับ 15 โค้งเลี้ยว สารทำงานที่ใช้คือ R134a มีอัตราส่วนการเติมเท่ากับ 50 % ของปริมาตรทั้งหมดของท่อ ในการทดสอบแปรอัตราการไหลของอากาศเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.021, 0.082 และ 0.123 กิโลกรัมต่อวินาที จากการทดลองพบว่า อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศต่อพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นจาก 0.0103 kg/m²s เป็น 0.0616 kg/m²s ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นจาก 52.74 % เป็น 77.83 % และที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.011 kg/m²s ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน แบบร่องรูปตัววี และแบบธรรมดาถึง 17 %, 18 % และ 26 % ตามลำดับ

คำหลัก: ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบ, ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

Abstract

The performance of a closed loop oscillating heat pipe flat plate solar collector for a solar dryer was studied in this research. The flat plate solar collector had an area of 2 m². Five units of closed oscillating heat pipes were installed into the solar collector. The closed oscillating heat pipe was made of copper tube of which inner diameter of 1.0 mm. The evaporator and condenser section length was 1.0 and 0.17 m, respectively. There were 15 meandering turns. R134a was used as working fluid with filling ratio of 50 percent by total volume. The experiments were conducted by varying the mass flow rate of air

inlet of the solar collector at 0.021, 0.082 and 0.123 kg/s, respectively. It was found from the experiment that, the mass flow rate per collector area increased from 0.0103 kg/m²s to 0.0616 kg/m²s and this causes solar collector efficiency to increase from 52.74 % to 77.83 %. The closed loop oscillating heat pipe flat plate solar collector has efficiency 17 %, 18 % and 26 % higher than that of a heat pipe flat plate solar collector, a V-groove flat plate solar collector and a flat plate solar collector, respectively, at the mass flow rate of 0.011 kg/m²s.

Keywords: Flat plate solar collector, Closed loop oscillating heat pipe.

1. บทนำ

พลังงานนับเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานไฟฟ้า ส่วนใหญ่มีต้นกำเนิดมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งปัจจุบันพบว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลในแหล่งต่างๆมีเหลือใช้อยู่เพียงจำนวนน้อย ดังนั้นหลายๆ ประเทศจึงได้มีการเสาะหาแหล่งพลังงานใหม่มาทดแทน และพลังงานแสงอาทิตย์ก็เป็นแหล่งพลังงานทดแทนทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานขนาดใหญ่ และเป็นพลังงานธรรมชาติซึ่งไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม พลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้นานับประการ เช่น ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้ในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร เป็นต้น ในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรโดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ มีหลากหลายวิธี แต่วิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ การใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบ (Flat plate solar collector) เป็นตัวรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปใช้ในการอบแห้ง โดยมีหลักการ คือ อากาศจากภายนอกจะถูกดูดด้วยพัดลมไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบโดยตรง ทำให้ความร้อนที่ได้จากรังสีอาทิตย์ที่สะสมอยู่ในผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์ส่งผ่านให้กับอากาศ วิธีดังกล่าวสามารถทำให้ได้อากาศร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้ง การอบแห้งโดยใช้ตัวรับรังสีแผ่นราบมีข้อเสียคือ มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ ดังนั้นเพื่อให้ได้ความร้อนตามต้องการ จึงจำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่ผิวตัวรับรังสีอาทิตย์แผ่นราบ ทำให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบมีขนาดใหญ่

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีนักวิทยาศาสตร์จำนวนมากได้ทำการพัฒนาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบโดยการประยุกต์ใช้ร่วมกับท่อความร้อนแบบเทอร์โมไฮฟอน จากการทดสอบของ Facao และคณะ [1] พบว่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบร่วมกับท่อความร้อนแบบเทอร์โมไฮฟอนมีประสิทธิภาพสูงถึง 64 % แต่เนื่องจากมุมเอียงในการติดตั้งของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบมีค่าต่ำ (ประมาณ 14-18° จากแนวระดับ) ทำให้มุมเอียงการทำงานของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไฮฟอนต่ำไปด้วย ซึ่งจากงานวิจัยของ Payakaruk และคณะ [2] พบว่ามุมเอียงการทำงานของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไฮฟอนสามารถส่งถ่ายความร้อนได้ดีที่สุดในช่วงมุมเอียงการทำงาน 40-60 องศาจากแนวระดับ ดังนั้นการติดตั้งท่อความร้อนแบบเทอร์โมไฮฟอนร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบจึงทำให้ท่อความร้อนไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ อีกทั้งท่อความร้อนแบบเทอร์โมไฮฟอนยังมีขีดจำกัดในการทำงานอีกมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งขีดจำกัดการหอบ (Entrainment limit) เป็นผลจากการไหลสวนทางกันของไอลจากส่วนทำระเหยกับของเหลวที่กลั่นตัวจากส่วนควบแน่นของท่อความร้อน เพื่อขจัดปัญหาของมุมเอียงในการติดตั้งและขีดจำกัดต่างๆของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไฮฟอนนี้ จึงมีแนวทางที่จะเลือกใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed Loop Oscillating Heat Pipe, CLOHP) ซึ่งค้นพบโดย Akachi และคณะ [3] โดยท่อความร้อนแบบสั่นทำจากท่อคาปิลลารียาวดัดโค้งหลายโค้งเลี้ยว โดยเชื่อมปลายทั้งสองข้างเข้าด้วยกันเป็นวงรอบ และเติมสาร

ทำงานภายในบางส่วน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนแบบสั่นควรมีขนาดเล็กพอที่ทำให้มีรูปร่างเป็นฟองไอล และแท่งของเหลว (Maezawa และคณะ [4]) ข้อดีของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ คือ มีโครงสร้างที่ง่าย ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูง และสามารถทำงานได้ในทุกมุมเอียงการทำงาน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบประยุกต์ใช้ร่วมกับตัวรับรังสีอาทิตย์แผ่นราบ โดยทำการศึกษาถึงสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ โดยแปรอัตราการไหลของอากาศเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 3 ค่า คือ 0.021, 0.082 และ 0.123 กิโลกรัมต่อวินาที

2. ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีท่อความร้อนแบบสั่น

ท่อความร้อนแบบสั่นถูกค้นพบโดย Akachi และคณะ [3] ในปี ค.ศ.1996 โดยท่อความร้อนแบบสั่นทำจากท่อคาปิลลารีซึ่งวางตัวขนานกันต่อกันแบบอนุกรม และไม่มีวัสดุพูนอยู่ภายในท่อ เมื่อเติมสารทำงานภายในท่อลักษณะของสารทำงานในท่อจะก่อตัวในรูปของแท่งของเหลว และฟองไอล ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจะเกิดจากการเคลื่อนที่แบบสั่นของของไหลทำงานที่เกิดขึ้นด้วยการกระตุ้นการสั่นด้วยตัวมันเองจากการขับตัวของแรงดันคลื่นที่รุนแรง และรวดเร็วมีสาเหตุมาจากการเดือดแบบฟอง และการกลั่นตัวของสารทำงาน จึงช่วยนำความร้อนจากปลายที่มีอุณหภูมิสูงไปยังปลายที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ท่อความร้อนแบบสั่นมีด้วยกัน 3 แบบ (แสดงดังรูป 1) คือ

1. ท่อความร้อนสั่นแบบวงรอบ (Closed-loop oscillating heat pipe) ทำจากท่อคาปิลลารีที่ยาวมาก และมีการต่อปลายท่อทั้งสองข้างเข้าด้วยกันเป็นวงรอบ ท่อความร้อนชนิดนี้มีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นจากการสั่นของของไหลทำงานในแนวแกนของท่อจึงเป็นสาเหตุให้เกิดการไหลเวียนที่ช้าลงในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง

2. ท่อความร้อนสั่นแบบวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ (Closed-loop oscillating heat pipe with check valves) มีลักษณะเหมือนกับท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบแต่จะมีการติดวาล์วกันกลับไว้ในวงจรตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป เพื่อให้ของไหลทำงานนำความร้อนไหลเวียนไปในทิศทางที่กำหนดได้อย่างรวดเร็ว

3. ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (Closed-end oscillating heat pipe) ทำจากท่อคาปิลลารีที่ยาวโดยปลายท่อทั้งสองข้างของท่อความร้อนจะถูกปิดแยกออกจากกัน การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนชนิดนี้เกิดขึ้นจากการสั่นที่ถูกขับโดยคลื่นความดันที่แกว่งอย่างเร็วซึ่งเกิดจากการเดือดแบบฟองในของไหลทำงาน

โดยฟลักซ์ความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ สามารถคำนวณได้จากสมการกึ่งสหสัมพันธ์ของ Khandekar และคณะ [5] ดังนี้

$$\dot{q} = 0.54e^{\beta^{0.48}} Ka^{0.47} Pr_{liq}^{0.27} Ja^{1.43} N^{-0.27} \quad (1)$$

โดยที่

$\dot{q}$ คือ ฟลักซ์ความร้อน (W/m^2)

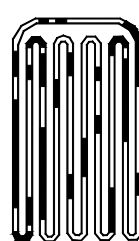
β คือ มุมเอียงการทำงานของท่อความร้อน (องศา)

Ka คือ ตัวเลขของ Karman

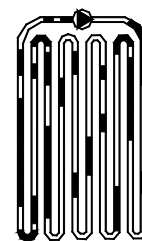
Pr คือ ตัวเลขของ Prandtl

Ja คือ ตัวเลขของ Jakob

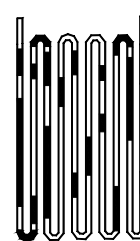
N คือ จำนวนโด่งเฉลี่ยของท่อความร้อน (โด่งเฉลี่ย)



ท่อความร้อน
แบบสั่นวงรอบ



ท่อความร้อนแบบสั่น
วงรอบที่มีวาล์วกันกลับ



ท่อความร้อน
แบบสั่นปลายปิด

รูปที่ 1 แสดงชนิดของท่อความร้อนแบบสั่น

2.2. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ [6]

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วไป ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ

1. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นความร้อน เพื่อใช้แลกเปลี่ยนความร้อนให้อากาศที่ดูดเข้ามาให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนที่จะไหลเข้าสู่ห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทั่วไปการคำนวณหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถหาได้จากสมการ [7]

$$\eta = \frac{\dot{m}c_p\Delta T}{I_T A} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่

η คือ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์, %

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลของมวลอากาศ, kg/s

c_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ, J/kg.K

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิอากาศขาออกและอุณหภูมิขาเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์

I_T คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์, W/m²

A คือ พื้นที่รับแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์, m²

2. ห้องอบแห้ง (Drying chamber) มีหน้าที่บรรจุผลผลิตในการอบแห้ง และช่วยป้องกันผลผลิตจากการรบกวนของแมลงและสัตว์ ตลอดจนป้องกันการปนเปื้อนของฝุ่นและน้ำฝน

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

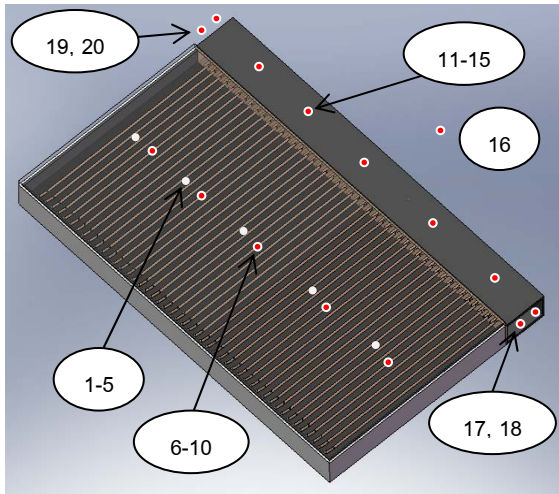
ชุดทดสอบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบ แสดงดังรูปที่ 2 ประกอบด้วย ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบทำจากแผ่นสังกะสี ขนาด 2 ตารางเมตร ชุดท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบ จำนวน 5 ชุด โดยท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบทำจากท่อคาปิลลารีทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.0 มิลลิเมตร มีความยาวส่วนทำระเหย และความยาวส่วนควบแน่น เท่ากับ 1.0 และ 0.17 เมตร

ตามลำดับ จำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบเท่ากับ 15 โค้งเลี้ยว สารทำงานที่ใช้คือ R134a โดยมีอัตราส่วนการเติมเท่ากับ 50 % ของปริมาตรทั้งหมดของท่อ กรอบของตัวรับรังสีทำจากอลูมิเนียม และส่วนแผ่นปิดหน้าเป็นกระจกใสหนา 5 มิลลิเมตร เอียงทำมุม 14 องศา กับแนวระดับ โดยวางตัวรับรังสีอาทิตย์หันหน้าไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้



รูปที่ 2 แสดงชุดทดสอบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบ

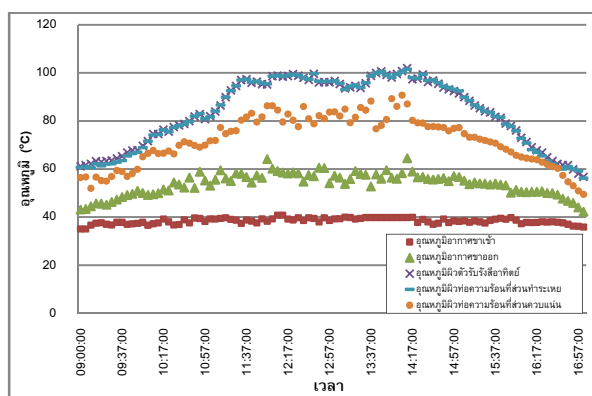
จากนั้นทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ซึ่งมีความละเอียด $\pm 1.5^\circ\text{C}$ จำนวน 20 ชุดเข้ากับเครื่องอ่านอุณหภูมิ (Data Logger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น MW-100 โดยมีตำแหน่งการติดตั้งดังนี้: ชุดที่ 1-5 ที่ผิวของตัวรับรังสีอาทิตย์ ชุดที่ 6-10 ที่กึ่งกลางส่วนทำระเหย ชุดที่ 11-15 ที่กึ่งกลางส่วนควบแน่น และชุดที่ 16 เพื่อวัดอุณหภูมิบรรยากาศ นอกเหนือจากนี้จะใช้เทอร์โมคัปเปิล 4 ชุด เพื่อวัดอุณหภูมิของอากาศ: ชุดที่ 17 และ 18 ที่ทางเข้าส่วนควบแน่น และชุดที่ 19 และ 20 ที่ทางออกส่วนควบแน่น เพื่อใช้วัดความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศ โดยใช้ในการหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยวิธีคาลอริฟิค (Calorific) ตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลแสดงดังรูปที่ 3 ในการทดลองจะทำการทดลองในช่วงเวลา 9.00 - 17.00 น. โดยแปรอัตราการไหลของอากาศขาเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 3 ค่า คือ 0.021, 0.082 และ 0.123 กิโลกรัมต่อวินาที



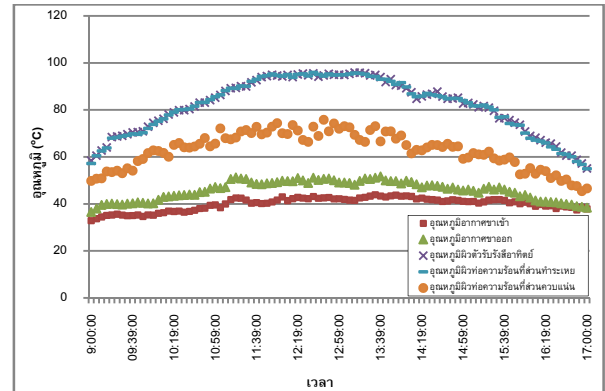
รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ชุดทดสอบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

4. ผลการวิจัย

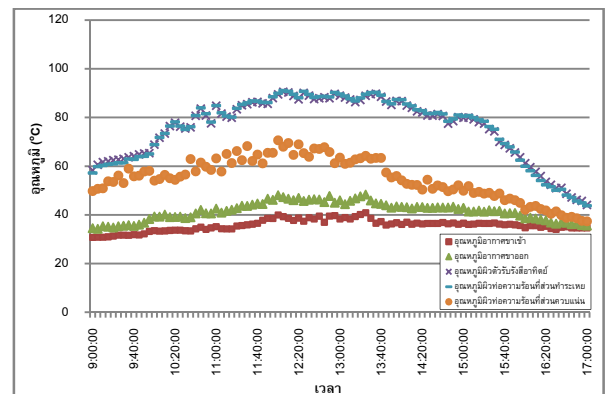
จากผลการทดสอบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ โดยผลของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบกับเวลา ที่อัตราการไหลของอากาศเข้าเท่ากับ 0.021, 0.082 และ 0.123 กิโลกรัมต่อวินาที แสดงดังรูป 4-6



รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบกับเวลา ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.021 kg/s



รูปที่ 5 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบกับเวลา ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.082 kg/s



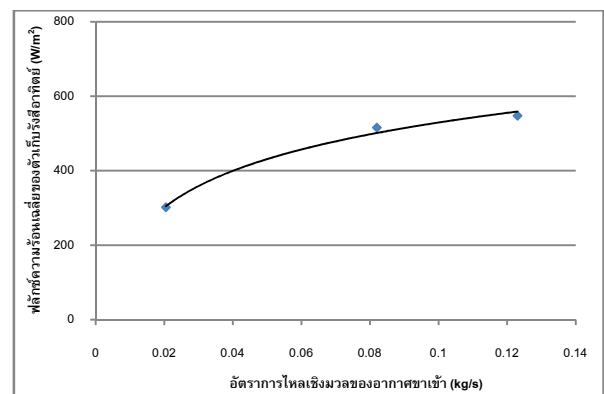
รูปที่ 6 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบกับเวลา ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.123 kg/s

จากรูป 4-6 จะเห็นว่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตั้งแต่เวลา 09.00 น. – 13.00 น.ตามความเข้มรังสีอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น และมีอุณหภูมิลดลงจนกระทั่งถึงเวลา 17.00 น. ตามความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ลดลง โดยที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเท่ากับ 0.021 kg/s มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 716.93 W/m^2 ซึ่งมีอุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 84.13°C อุณหภูมิผิวท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 83.94°C และ 72.37°C ตามลำดับ และอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 35.85°C อุณหภูมิอากาศเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ 38.64°C ส่วนอุณหภูมิอากาศออกตัว

เก็บรังสีอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ $54.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ $64.10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเท่ากับ 0.082 kg/s มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 729.73 W/m^2 ซึ่งมีอุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ $81.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิผิวท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นเฉลี่ยเท่ากับ $81.62\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $62.94\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ และมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ยอยู่ที่ $37.68\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิอากาศขาเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ $39.99\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนอุณหภูมิอากาศขาออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ $45.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ $51.68\text{ }^{\circ}\text{C}$ และที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเท่ากับ 0.123 kg/s มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 722.39 W/m^2 ซึ่งมีอุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ $75.66\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิผิวท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นเฉลี่ยเท่ากับ $75.79\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $55.34\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ และมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ยอยู่ที่ $35.23\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิอากาศขาเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ $35.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนอุณหภูมิอากาศขาออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์เฉลี่ยของอยู่ที่ $41.49\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ $48.35\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากผลการทดลองดังกล่าวสังเกตได้ว่า อุณหภูมิผิวของท่อความร้อนที่ส่วนควบแน่นมีค่าลดลง เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น นั้นหมายความว่า ที่อัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลให้อากาศมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงขึ้นจึงสามารถพาความร้อนออกจากส่วนควบแน่นไปได้มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิผิวที่ส่วนควบแน่นลดลงกว่าที่อัตราการไหลของอากาศต่ำๆ

เมื่อนำผลต่างของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และขาออกจากกราฟรูปที่ 4-6 มาคำนวณหาฟลักซ์ความร้อนโดยใช้วิธีแคลอริฟิค ซึ่งค่าฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ยของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดท่อความร้อนแบบสั่นกับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ แสดงดังรูปที่ 6 จากการทดลองพบว่า อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ยของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยอัตราการไหลเชิงมวลเพิ่มขึ้นจาก 0.0205 kg/s เป็น 0.123 kg/s ทำให้ฟลักซ์

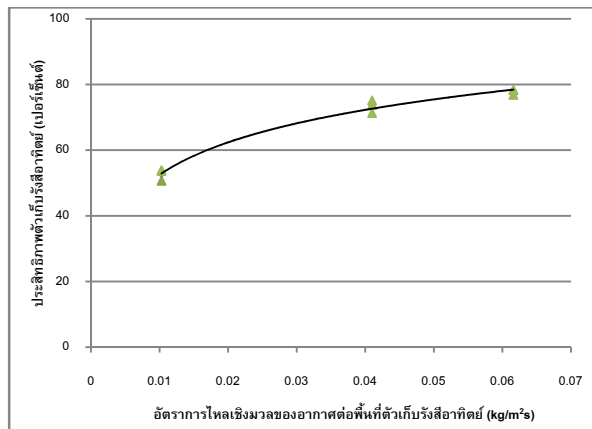
ความร้อนเฉลี่ยของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นจาก 301.70 W/m^2 เป็น 547.62 W/m^2 สาเหตุที่ฟลักซ์ความร้อนเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของอากาศเกิดจากผลของการปั่นป่วนของอากาศที่ไหลผ่านกลุ่มท่อความร้อนที่ส่วนควบแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น ความปั่นป่วนที่เพิ่มขึ้นนั้นจะส่งผลให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกลุ่มท่อความร้อนกับอากาศดีขึ้น และทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศที่ไหลผ่านกลุ่มท่อความร้อนมีค่าสูง ทำให้มีความสามารถในการดึงความร้อนออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้มากขึ้น โดยสังเกตได้จากอุณหภูมิผิวที่ส่วนควบแน่นที่ลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุวัฒน์และคณะ [8]



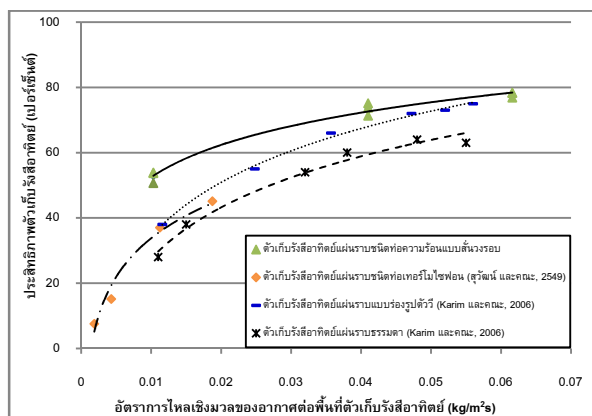
รูปที่ 6 แสดงฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ยของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสั่นงอกรอบกับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

เมื่อนำค่าฟลักซ์ความร้อนที่ได้หารด้วยพื้นที่รับแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แสดงโดยสมการ (2) ผลที่ได้ก็คือประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์นั่นเอง โดยประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสั่นงอกรอบกับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศต่อพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 7 จะเห็นว่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศต่อพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นจาก $0.0103\text{ kg/m}^2\text{s}$ เป็น $0.0616\text{ kg/m}^2\text{s}$ ทำให้ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นจาก 52.74% เป็น 77.83% สาเหตุ

เนื่องจากค่าฟลักซ์ความร้อนที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 7 แสดงประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสัณวรอบกับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศต่อพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์



รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสัณวรอบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดอื่นๆ

รูปที่ 8. แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสัณวรอบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดอื่นๆ จะเห็นว่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสัณวรอบนั้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดอื่นๆ ซึ่งพบว่า ที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $0.011 \text{ kg/m}^2\text{s}$ มีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อเทอร์โมไซฟอน [8] แบบร่องรูปตัววี และแบบ

ธรรมดา [9] ถึง 17 %, 18 % และ 26 % ตามลำดับสาเหตุที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสัณวรอบนั้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าชนิดท่อเทอร์โมไซฟอนนั้น เนื่องจากท่อความร้อนแบบสัณวรอบมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าและสามารถทำงานได้ดีในมุมเอียงการทำงานต่างๆ จึงทำให้ส่งถ่ายความร้อนได้มากกว่าการใช้ท่อเทอร์โมไซฟอน ในขณะที่มีพื้นที่ในการรับแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เท่ากัน และยังพบอีกว่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดท่อความร้อนแบบสัณวรอบนั้นยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบธรรมดา และแบบร่องรูปตัววี เนื่องจากพื้นที่ในการรับพลังงานความร้อนจากความเข้มรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดนี้มีพื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่า ในขณะที่มีอัตราการส่งถ่ายความร้อนใกล้เคียงกัน

5.สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนแบบสัณว พบว่าอัตราการไหลของอากาศมีผลต่อประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพตัวรับรังสีเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และยังพบอีกว่า ที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $0.011 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อความร้อนมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบชนิดท่อเทอร์โมไซฟอน แบบร่องรูปตัววี และแบบธรรมดา ถึง 17 %, 18 % และ 26 % ตามลำดับ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.เสริม จันทรณาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่สนับสนุนทุนวิจัยซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Facão, J. and Oliveira, A. (2004). Analysis of a Plate Heat Pipe Solar Collector, paper presented in International Conference on Sustainable Energy Technologies 2004, Nottingham, UK.
- [2] Payakaruk, T., Terdtoon, P. and Ritthidech, S. (2000). Correlations to predict heat transfer characteristics of an inclined closed two-phase thermosyphon at normal operating conditions, *Applied Thermal Engineering*, vol. 20(9), June 2000, pp. 781 – 790.
- [3] Akachi, H., Polasek, F., and Stulc, P., Pulsating Heat Pipe, paper presented in the 5th International Heat Pipe Symposium 1996, Melbourne, Australia.
- [4] Maesawa, S., Gi, K.Y., Minamisawa, A., and Akachi, H., Thermal Performance of Capillary Tube Thermosyphon, paper presented in the IX International Heat Pipe Conference 1995, Albuquerque, USA.
- [5] Khandekar, S., Charoensawan, P., Groll, M., and Terdtoon, P., Closed Loop Pulsating Heat Pipe Part B: Visualization and Semi-Empirical Modeling, *Applied Thermal Engineering*, vol. 23(16), November 2003, pp. 2021 - 2033.
- [6] เสริม จันทรินาย (2547). เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, รายงานวิจัยการพัฒนา สาริตและเผยแพร่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตผลทางการเกษตร กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, หน้า 11 – 14.
- [7] Ari Rabl (1985). *Active Solar Collectors and Their Applications*, Oxford University Press, New York.
- [8] สุวัฒน์ เณรโต, สุขุม โฆษิตชัยมงคล, ดนัย เอี่ยมวิลัย, อนุวรรณ ว่องไวชัยเจริญ และอิทธิพัทธ์ รุ่งแจ้ง (2549). ผลการเพิ่มพื้นที่รับรังสีความร้อนแบบท่อความร้อนร่วมกับตัวรับรังสีแผ่นราบด้วยการต่อแบบอนุกรม และแบบขนานที่มีผลต่อการดึงความร้อนไปใช้งาน, การประชุมเชิงวิชาการเครื่องช่วยพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดพิษณุโลก
- [9] Azharul karim, Md. and Hawlader, M.N.A. (2006). Performance investigation of flat plate, v-corrugated and finned air collectors, *Energy*, vol. 31, 2006, pp. 452 – 470.