
ศักยภาพเชิงอุณหภูมิจากการผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ในภาคอุตสาหกรรม

The Thermal Potential of Solar Water Heating in Industrials Cluster

จารุวัฒน์ เจริญจิต*

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Jaruwat Jareanjit*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya.

บทคัดย่อ

รังสีอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพทางความร้อนสูง สามารถประยุกต์ใช้งานในรูปแบบของการผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ เพื่อทดแทนการใช้พลังงานสิ้นเปลืองรูปแบบอื่นๆ ที่สร้างปัญหาทางเศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน โดยบทความนี้ได้เสนอการใช้ประโยชน์จากการผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ในกระบวนการทางความร้อนภาคอุตสาหกรรม บนตัวแปรของอุณหภูมิน้ำร้อนที่สามารถผลิตได้ ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิต่ำ (<100°C) และช่วงอุณหภูมิปานกลาง (100-400°C) แปรผันตาม ค่าประสิทธิภาพเชิงรังสี $F_R(\tau\alpha)$ และค่าการสูญเสียความร้อน $-F_R U_L$ ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีแบบต่างๆ เมื่อนำอุณหภูมิน้ำร้อนที่สามารถผลิตได้ มาพิจารณาร่วมกับข้อมูลช่วงอุณหภูมิที่ต้องการในอุตสาหกรรมต่างๆ พบว่าตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ (FPC) เหมาะสำหรับใช้เป็นแหล่งความร้อนช่วงอุณหภูมิต่ำ โดยที่ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ (ETC) และตัวเก็บรังสีแบบซีพีซี (CPC) เหมาะสำหรับใช้เป็นแหล่งความร้อนช่วงอุณหภูมิปานกลาง ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ จึงเป็นเทคโนโลยีที่ควรมีการศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพให้สูงขึ้น เพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ตลอดจนการลดการปล่อยมลพิษ และก๊าซเรือนกระจก ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต

คำสำคัญ : ศักยภาพ การผลิตความร้อนจากรังสีอาทิตย์ สมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์

Abstract

Solar radiation, a potential circulation heat energy, can be adapted to produce hot water to replace non-renewable energy consumption, which generates current economic and environmental problems. This article proposes the use of hot water generation by solar radiation in an industrial heat process. The applicable degrees of hot water temperature are the main variables at a low temperature range (< 100°C) and at a moderate temperature range (100-400°C). These variables varied with radiant efficiency values $F_R(\tau\alpha)$ and heat loss values $-F_R U_L$. Then the variables are used to compare the capacity of types of radiation collectors when the temperature degrees of produced hot water are considered with desired temperature ranges in various kinds of industry. The results reveal that a Flat Plate Collector (FPC) is suitable as a heat source for a low temperature range whereas an evacuated-tube collector (ETC) and a Compound Parabolic Collector (CPC) are appropriate as a heat source for a moderate range. Therefore, this technology should be studied and developed for its better efficiency to enhance energy conservation and decrease pollution emission and greenhouse effects, which are affecting the climate change.

Keywords : Potential, Solar Thermal Producing, Solar Collector Performance, Solar Water Heating System

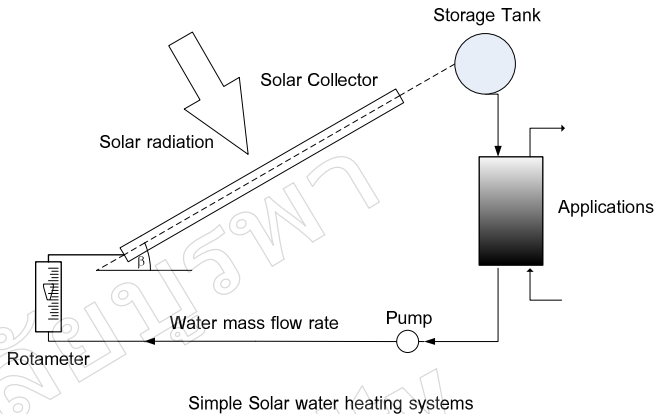
*E-mail: j.jaruwat@gmail.com

บทนำ

รังสีอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนที่ปราศจากมลพิษ มีศักยภาพสูง และเหมาะแก่การนำมาใช้ประโยชน์ทดแทนพลังงานฟอสซิล ซึ่งมีแนวโน้มราคาเพิ่มขึ้น และกำลังหมดไปอย่างรวดเร็ว อีกทั้งเป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อน สำหรับประเทศไทย มีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ หรือ $5.05 \text{ kWh/m}^2\text{-day}$ มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า (solar cell) และผลิตความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar thermal) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในส่วนของการใช้รังสีอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนสำหรับการผลิตความร้อน ซึ่งมีการศึกษา และพัฒนาการใช้ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ในการทำน้ำร้อน การอบแห้ง การกลั่นน้ำ (Sampathkumar *et al.*, 2010; Gude *et al.*, 2011) การประกอบอาหาร การผลิตไฟฟ้า การทำความเย็น การปรับอากาศ ปล่องลมแสงอาทิตย์ และสระรังสีอาทิตย์ (Thirugnanasambandam *et al.*, 2010) ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถช่วยแก้ปัญหาทางด้านพลังงานในอนาคต เป็นการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงและทางอ้อม จากข้อมูลดังกล่าว บทความนี้จะกล่าวถึงศักยภาพในการผลิตน้ำร้อนจากรังสีอาทิตย์ โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ ซึ่งน้ำร้อนที่ผลิตได้สามารถประยุกต์ใช้ในกระบวนการต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์ เกษตรกรรม และอุตสาหกรรม ในวงกว้าง บนตัวแปรของอุณหภูมิที่สามารถผลิตได้ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญเบื้องต้นในการพิจารณาการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

สำหรับประเทศไทยได้มีการใช้รังสีอาทิตย์ในอุตสาหกรรม การเกษตร ในรูปแบบการอบแห้ง มาเป็นเวลานานแล้ว โดยเริ่มมีการนำรังสีอาทิตย์มาใช้เสริมในกระบวนการทางความร้อน สำหรับการผลิตพลังงานทดแทนรูปแบบอื่นเช่น ใช้ในกระบวนการกลั่นเอทานอล และกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ในขั้นตอนต่างๆ (Vorayos *et al.*, 2006 ; Siangsukone *et al.*, 2008; Jareanjit *et al.*, 2009 ; Hou *et al.*, 2009) มากขึ้น โดยในภาพรวมของประเทศ ในปัจจุบันพบว่าการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนอย่างเป็นทางการเพิ่มขึ้นจากรัฐบาล โดยกระทรวงพลังงานจัดทำแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) (Alternative Energy Development Plan: AEDP (2012-2021)) เพื่อกำหนดกรอบและทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ โดยส่งเสริมการนำรังสีอาทิตย์ เพื่อการผลิตความร้อนในภาคอุตสาหกรรม ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยวางเป้าหมายในปี 2564 คือ 100 ktoe ปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 1.98 ktoe โดยส่งเสริมการโครงการติดตั้งระบบน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ นำร่องในอาคารภาครัฐ พัฒนาระบบน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ระดับครัวเรือนที่มี

ต้นทุนต่ำ รวมถึงมาตรการบังคับ เช่น บังคับอาคารขนาดใหญ่ติดตั้งระบบน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าว แสดงถึงการเล็งเห็นศักยภาพทางความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ต่อการประหยัดพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิลโดยตรงและโดยทางอ้อม เป็นการส่งเสริมความมั่นคงทางด้านพลังงานในประเทศ และรักษาสิ่งแวดล้อมในภาพใหญ่ระดับประเทศอย่างชัดเจน



ภาพที่ 1 ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์พื้นฐาน

ระบบการผลิตความร้อนจากรังสีอาทิตย์

โดยทั่วไป พื้นฐานของระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักดังต่อไปนี้ คือตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เปลี่ยนเป็นความร้อนถ่ายโอนให้กับสารตัวกลาง (น้ำ อากาศ หรือ ของไหลชนิดอื่น) ที่ไหลผ่านท่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ในกระบวนการทางความร้อนทันที หรือส่งไปถึงเก็บสะสมความร้อน ในกรณีที่ไม่ได้ใช้รังสีอาทิตย์ ตามลำดับ โดยใช้ปั๊มหมุนเวียนสารตัวกลางในการทำงานแบบ Active systems ดังแสดงในรูปที่ 1 หรือ อาศัยหลักการหมุนเวียนโดยธรรมชาติ จากแรงลอยตัวของสารทำงานบนตัวแปรของอุณหภูมิ (thermosyphon) ในการหมุนเวียนสารตัวกลาง ในการทำงานแบบ Passive systems ซึ่งพลังงานความร้อนดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานโดยตรง (direct systems) หรือโดยทางอ้อม (indirect systems) โดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน กรณีแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารตัวกลางถ่ายโอนความร้อนต่างชนิดกันตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งความร้อนหลัก หรือ แหล่งความร้อนเสริมเพื่อประหยัดพลังงาน โดยน้ำเป็นสารทำงานที่นิยมใช้ในระบดังกล่าว จากคุณสมบัติทางความร้อนที่เหมาะสม คือค่าความจุความร้อนจำเพาะ

ที่มีค่าเท่ากับ 4.187 kJ/kg °C ส่งผลให้สามารถกักเก็บความร้อนได้ดี และสามารถถ่ายโอนความร้อนให้กับสารทำงานชนิดอื่นที่มีค่าความจุความร้อนจำเพาะต่ำกว่า (อากาศ หรือน้ำมัน) อีกทั้งมีค่าความหนืดน้อยกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมัน ราคาถูกไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และมีการผลิตเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน ในรูปแบบของระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ซึ่งเหมาะสำหรับประยุกต์ใช้งานเชิงพาณิชย์อื่นๆ ต่อไป

ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์

1. สมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นอุปกรณ์หลักในระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ โดยทำหน้าที่ดูดกลืนการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ เปลี่ยนเป็นความร้อน และถ่ายโอนให้กับตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ซึ่งวัสดุที่ใช้ผลิตตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ดี ต้องมีค่าส่งผ่านและดูดกลืน ($\tau\alpha$) รังสีอาทิตย์สูง (transmittance & absorptance) โดยสีดำมีค่าดูดกลืนรังสีสูงสุด ดังนั้นผิวแผ่นดูดกลืนรังสีส่วนใหญ่เคลือบผิวสีดำ นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาผิวเลือกรังสี (selective surfaces) ที่มีคุณสมบัติการดูดกลืนรังสีอาทิตย์สูง และการเปล่งรังสี (emittance) ความร้อนต่ำ ($\alpha = 0.9$ และ $\varepsilon = 0.1$) เพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากการเปล่งรังสีจากแผ่นดูดกลืนรังสีสู่สิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าสีดำด้านทั่วไป ซึ่งปัจจุบันกรรมวิธีการผลิตผิวเลือกรังสีอาทิตย์มีต้นทุนต่ำลง (Tripanagnostopoulos *et al.*, 2000 ; Konttinen *et al.*, 2003) จึงสามารถพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงขึ้น และราคาต่ำลง นอกจากนี้การติดตั้งกระจกโปร่งใสที่มีค่าส่งผ่านรังสีอาทิตย์สูง และดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่ำ (วัสดุชนิดเดียวกันจะมีค่าแปรผกผันกัน) ปิดผิวแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เพื่อเพิ่มความสามารถการดูดกลืนรังสี และลดการสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อน สู่บรรยากาศ ซึ่งการวิเคราะห์สมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จะพิจารณาการถ่ายโอนความร้อนที่สภาวะคงตัว (steady state) โดยใช้สมการของ Hottel-Willier-Bliss ในการหาอัตราความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Duffie & Beckman, 1991) ดังสมการต่อไปนี้

$$Q_c = A_c F_R [I_T (\tau\alpha) - U_L (T_f - T_a)] \quad (1)$$

โดยที่ Q_c ค่าอัตราความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ของสารทำงาน คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q_c = \dot{m} C_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad (2)$$

เมื่อ Q_c คืออัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสี (W) F_R คือแฟกเตอร์การนำความร้อนมาใช้ของตัวเก็บรังสี A_c คือพื้นที่

แผ่นดูดกลืนรังสี (absorber area, m^2) I_T คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2) $\tau\alpha$ คือผลคูณประสิทธิภาพค่าส่งผ่านและดูดกลืนของตัวเก็บรังสี U_L คือค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมจากแผ่นดูดกลืนรังสี ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$) T_a คืออุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^\circ C$) \dot{m} คืออัตราการไหลของของไหล (kg/s) C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะ ($J/kg \text{ } ^\circ C$) T_{fi} คืออุณหภูมิของสารตัวกลางเข้าตัวเก็บรังสี ($^\circ C$) และ T_{fo} คืออุณหภูมิของสารตัวกลางออกตัวเก็บรังสี ($^\circ C$) ตามลำดับ

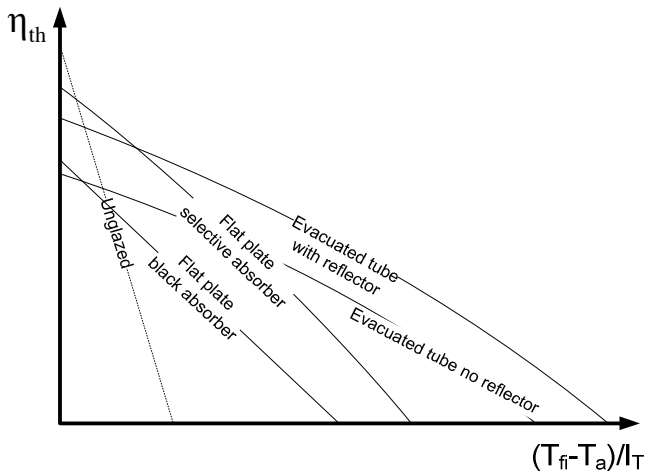
ดังนั้นค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีคำนวณจากสมการ

$$\eta_{th} = \frac{Q_c}{I_T A_c} = F_R (\tau\alpha) - \frac{F_R U_L (T_f - T_a)}{I_T} \quad (3)$$

ในทางปฏิบัติ ค่า $F_R (\tau\alpha)$ และค่า $-F_R U_L$ สามารถหาได้จากการทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐาน ASHRAE (ASHRAE STANDARD 93-2003, 2003) โดยนำข้อมูลการทดสอบดังกล่าว มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง η_{th} และ $(T_f - T_a)/I_T$ กราฟที่ได้สามารถวิเคราะห์เป็นสมการเส้นตรงที่ได้จากการ (fit curve) โดยข้อมูลที่ได้อาจแสดงสัมประสิทธิ์ต่างๆ ดังนี้ โดยที่จุดตัดบนแกนประสิทธิภาพ η_{th} จะแสดงค่า $F_R (\tau\alpha)$ และค่าความชันของเส้นกราฟจะแสดงค่า $-F_R U_L$ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดต่างๆ ตามลำดับ ดังภาพที่ 2

ค่า $F_R (\tau\alpha)$ แสดงประสิทธิภาพเชิงรังสี ซึ่งแสดงค่าการส่งผ่านและค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสี ส่วนเทอม $-F_R U_L$ แสดงค่าการสูญเสียความร้อน ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีแบบต่างๆ โดยประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะแปรผกผันตามค่าการสูญเสียความร้อนในช่วงอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยตัวเก็บรังสีแต่ละชนิดจะมีคุณลักษณะของเส้นกราฟแตกต่างกัน (Master Plumbers and Mechanical Services Association of Australia and Sustainability Victoria) ดังแสดงในภาพที่ 2

พิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์จากภาพที่ 2 พบว่าที่สภาวะเดียวกัน ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบที่มีกระจกปิด (glazed flat plate) มีสมรรถนะสูงกว่าตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ ที่ไม่มีกระจกปิด (unglazed flat plate) โดยแผ่นดูดกลืนรังสี (absorber plate) ที่เคลือบผิวเลือกรังสีบนแผ่นดูดกลืนรังสี (flat plate selective absorber) มีสมรรถนะสูงกว่าการเคลือบด้วยสีดำ (flat plate black absorber) ในขณะที่ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ (evacuated tube) มีสมรรถนะสูงกว่าตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ เนื่องจากสุญญากาศ ช่วยลดการสูญเสียความร้อนออกจากแผ่นดูดกลืนรังสี ตามลำดับ และมีสมรรถนะสูงขึ้น



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์

เมื่อติดตั้งแผ่นสะท้อนแสง (evacuated tube with reflector) ให้รังสีตกกระทบแผ่นดูดกลืนรังสีได้มากขึ้นตามลำดับ

จากข้อมูลดังกล่าว พบว่าสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นตัวแปรที่ขึ้นกับ วัสดุที่ใช้ดูดกลืนรังสี ปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ และการสูญเสียความร้อน โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีสมรรถนะสูง ต้องมีประสิทธิภาพเชิงรังสี $F_R(\alpha)$ สูง และมีค่าการสูญเสียความร้อนต่ำ $-F_R U_L$ ตามลำดับ เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงาน η_{th} ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสารตัวกลางในตัวเก็บรังสีสูงขึ้น ดังนั้นการลดการสูญเสียความร้อนดังกล่าวจึงมีความสำคัญ นอกเหนือจากการเลือกวัสดุดูดกลืนรังสี และการเพิ่มความเข้มรังสีโดยการสะท้อนรวมแสง ซึ่งเป็นตัวกำหนดสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ ดังนั้นจากกราฟใน

ภาพที่ 2 พิจารณาได้ว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีสมรรถนะสูง เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (1) และ (3) จะต้องมีอัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสี (Q_c) และประสิทธิภาพ (η_{th}) สูง ในทุกช่วงอุณหภูมิ ซึ่งแปรผันตามค่าการส่งผ่านค่าดูดกลืนรังสี ($\tau\alpha$) ของวัสดุ และความเข้มของรังสีอาทิตย์ จากอัตราส่วนการรวมรังสี (concentration ratio) ตามลำดับ โดยแปรผกผันกับค่าการสูญเสียความร้อน ($-F_R U_L$) ต่ำ ส่งผลให้ลักษณะของกราฟสมรรถนะมีจุดตัดแกน y (η_{th}) สูง แต่มีความชันของกราฟ ($-F_R U_L$) ต่ำ สามารถผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ศักยภาพการทำงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ

ปัจจุบันมีตัวเก็บรังสีอยู่หลายชนิด มีคุณลักษณะเฉพาะดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 ซึ่งแต่ละชนิดมีศักยภาพเชิงความร้อน หรือช่วงอุณหภูมิที่ผลิตได้ แตกต่างกันไปว่าช่วงอุณหภูมิดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้ในกระบวนการทางความร้อนในหลายระดับตามความเหมาะสม แต่ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์และเหมาะสำหรับนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม โดยทั่วไปที่นิยมใช้จะมีอยู่สองชนิดคือ ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบมีกระจกปิด และตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ ซึ่งยึดอยู่กับที่ (stationary) หันหน้าไปทางทิศใต้เมื่อตำแหน่งติดตั้งอยู่ซีกโลกเหนือ หรือหันหน้าไปทางทิศเหนือเมื่อตำแหน่งติดตั้งอยู่ซีกโลกใต้ สำหรับประเทศไทยอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร อยู่ซีกโลกเหนือ จึงหันหน้าไปทางทิศใต้ เพื่อรับรังสีได้ตลอดทั้งปี ทำมุมกับแนวระดับ $10-15^\circ$ เท่ากับตำแหน่งละติจูด (latitude) เพื่อให้แผงตั้งฉากกับรังสีอาทิตย์ อาจจะมีมากกว่าหรือน้อยกว่า ตามความเหมาะสม

ตารางที่ 1 ช่วงอุณหภูมิที่ผลิตได้ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบต่างๆ (Kalogirou, 2003)

Motion	Collector type	Absorber type	Concentration ratio	Temperature range ($^\circ\text{C}$)
Stationary	Flat plate collector (FPC)	Flat	1	30-80
	Evacuated tube collector (ETC)	Flat	1	50-200
	Compound parabolic collector (CPC)	Tubular	1-5	60-240
Single-axis tracking	Compound parabolic collector (CPC)	Tubular	5-15	60-300
	Linear Fresnel reflector (LFR)	Tubular	10-40	60-250
	Parabolic trough collector (PTC)	Tubular	15-45	60-300
	Cylindrical trough collector (CTC)	Tubular	10-50	60-300
Two-axes tracking	Parabolic dish reflector (PDR)	Point	100-1000	100-500
	Heliostat field collector (HFC)	Point	100-1500	150-2000



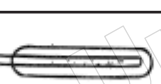

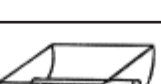
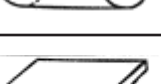
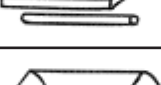
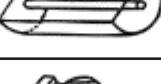


นอกจากนี้ ได้มีการพัฒนาตัวเก็บรังสีแบบอื่นๆ บนพื้นฐานของการรวมรังสีอาทิตย์ เพื่อเพิ่มความเข้มข้นรังสีผ่านตัวรวมรังสีอาทิตย์ (solar concentrator) โดยการเพิ่มค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับรังสีต่อพื้นที่จุดรับรังสี หรืออัตราส่วนการรวมรังสี (concentration ratio) ให้รังสีรวมกันอยู่แนวท่อความร้อน (tubular) หรือโฟกัสเป็นจุดรวมแสง (point) เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของรังสีอาทิตย์ในบริเวณแลกเปลี่ยนความร้อน ไม่กระจายออกนอกจุดรับรังสีส่งผลให้อุณหภูมิการทำงานสูงขึ้นตามอัตราส่วนดังกล่าว และติดตั้งระบบการติดตามดวงอาทิตย์ แบบแกนเดียว (single-axis tracking) เพื่อหันติดตามโดยหมุนรอบแกน 1 แกนในแนว

ทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก และสองแกน (two-axis tracking) เพื่อหันติดตามในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก รวมถึงแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ ตามลำดับ ส่งผลให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถรวมแสง (point) ให้ตั้งฉากกับตัวเก็บรังสีได้ตลอดการทำงาน ไม่แปรเปลี่ยนตามมุมของดวงอาทิตย์ ส่งผลให้อุณหภูมิการทำงานสูงขึ้น ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2

พลังงานความร้อนสำหรับภาคอุตสาหกรรม

จากข้อมูลที่ผ่านมา พบว่ารังสีอาทิตย์มีศักยภาพทางความร้อนในการผลิตสารทำงานอุณหภูมิช่วงต่างๆ ผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ตารางที่ 2 แผนภาพ และคุณลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบต่างๆ (Norton, B.)

		Collector Type		Concentration Ratio, C1 for Direct Insolation	Indicative Temperature Obtained T (K)		
		Name	Schematic Diagram				
Motion	Stationary	Non-convecting Solar Pond		Flat Absorbers	$C \leq 1$	$300 < T < 360$	
		Flat-plate Absorber			$C \leq 1$	$300 < T < 350$	
		Evacuated Envelope			$C \leq 1$	$320 < T < 460$	
	Solar Tracking	Single Axis	Compound Parabolic Reflector		Tubular Absorbers	$1 \leq C \leq 5$	$340 < T < 510$
			Parabolic Reflector			$5 \leq C \leq 15$	$340 < T < 560$
			Fresnel Refractor			$15 < C < 40$	$340 < T < 560$
			Cylindrical Refractor			$10 < C < 40$	$340 < T < 540$
		Two Axis	Parabolic Dish Reflector		Point Absorbers	$100 < C < 500$	$340 < T < 1200$
			Spherical Bowl Reflector			$100 < C < 300$	$340 < T < 1000$
			Heliostat Field			$100 < C < 1500$	$400 < T < 3000$

และเมื่อพิจารณาพร้อมกับช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการและภาคอุตสาหกรรมที่แสดงในตารางที่ 2 พบว่าความร้อนจากรังสีอาทิตย์มีแนวโน้มนำมาใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ สามารถจำแนกออกเป็น 3 ระดับอุณหภูมิ คือช่วงอุณหภูมิต่ำ (< 100°C) ช่วงอุณหภูมิปานกลาง (100-400°C) และช่วงอุณหภูมิสูง (> 400°C) ขึ้นกับประเภทของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยความร้อนที่ได้จากรังสี

อาทิตย์สามารถใช้เป็นแหล่งความร้อนในการผลิตลมร้อน น้ำร้อน สำหรับกระบวนการความร้อนทั่วไป หรือใช้ในโรงผลิตกำลังด้วยรังสีอาทิตย์ ซึ่งบทความนี้จะกล่าวถึงการใช้รังสีอาทิตย์ในช่วงอุณหภูมิต่ำ - ช่วงอุณหภูมิปานกลาง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการทางความร้อนในกลุ่มอุตสาหกรรมในวงกว้าง

ตารางที่ 3 ช่วงอุณหภูมิที่ต้องการในภาคอุตสาหกรรมที่สามารถนำรังสีอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ (European Solar Thermal Industry Federation, 2006)

Industrial sector	Process	Temperature range (°C)
Food & beverages	Drying	30-90
	Washing	40-80
	Pasteurising	80-110
	Boiling	95-105
	Sterilising	140-150
	Heat treatment	40-60
Textile industry	Washing	40-80
	Bleaching	60-100
	Dyeing	100-160
Chemical industry	Boiling	95-105
	Distilling	110-300
	Various chemical processes	120-180
All sectors	Preheating of water	30-100
	Heating of production halls	30-80
Personal use	Bathroom/laundry	50-60

จากตารางที่ 3 แสดงช่วงอุณหภูมิที่มีศักยภาพในกระบวนการทางความร้อนภาคอุตสาหกรรม พบว่าส่วนใหญ่อยู่ในภาคอุตสาหกรรมอาหาร และสิ่งทอ ตามลำดับในลักษณะของการทำแห้ง ล้างทำความสะอาด ต้มฆ่าเชื้อ การกลั่น และการให้ความร้อนเสริมในกระบวนการอื่นๆ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 30-100°C เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับข้อมูลช่วงอุณหภูมิที่ผลิตได้ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ ในตารางที่ 1 และ 2 พบว่า ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ (FPC) สามารถผลิตอุณหภูมิช่วงดังกล่าวได้ คือ 30-80°C โดยตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ (ETC) และตัวเก็บรังสีแบบซีพีซี; Compound parabolic collector (CPC) ที่ติดตั้งอยู่กับที่ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวได้เช่นเดียวกับกับ FPC แต่ช่วงอุณหภูมิกว้างกว่าคือ 80-250°C

ในราคาที่ไม่สูงมากเมื่อเทียบกับตัวเก็บรังสีชนิดอื่น ที่มีอุปกรณ์มากขึ้น และทำงานซับซ้อนกว่า

ตารางที่ 4 แสดงประเภทของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และการประยุกต์ใช้รังสีอาทิตย์ในระบบต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Active system เมื่อพิจารณาในภาพรวม พบว่าชนิดของตัวเก็บรังสีที่ใช้ส่วนมาก เป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ (FPC) ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ (ETC) และตัวเก็บรังสีแบบซีพีซี (CPC) โดยนำไปใช้ในกระบวนการความร้อน ในรูปแบบความร้อนหลักหรือความร้อนเสริม เพื่อลดการใช้พลังงานตามความเหมาะสม เพื่อใช้ประกอบการพิจารณา ในการนำไปใช้ออกแบบระบบผลิตความร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ตามความเหมาะสมของผู้ออกแบบ เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นมากที่สุด

ตารางที่ 4 ประเภทของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และการประยุกต์ใช้รังสีอาทิตย์ในระบบต่างๆ (Kalogirou, 2004)

Application	System	Collector
<i>Solar water heating</i>		
Thermosyphon system	Passive	FPC
Integrated collector storage	Passive	CPC
Direct circulation	Active	FPC, CPC ETC
Indirect water heating systems	Active	FPC, CPC ETC
Air systems	Active	
<i>Space heating and cooling</i>		
Space heating and service hot water	Active	FPC, CPC ETC
Air systems	Active	FPC
Water system	Active	FPC, CPC ETC
Heat pump systems	Active	FPC, CPC ETC
Absorption systems	Active	FPC, CPC ETC
Absorption (desiccant) cooling	Active	FPC, CPC ETC
Mechanical systems	Active	PDR
<i>Solar refrigeration</i>		
Adsorption units	Active	FPC, CPC ETC
Absorption units	Active	FPC, CPC ETC
<i>Industrial process heat</i>		
Industrial air and water systems	Active	FPC, CPC ETC
Steam generation system	Active	PTC, LFR
<i>Solar desalination</i>		
Solar stills	Passive	
Multistage flash (MSF)	Active	FPC, CPC ETC
Multiple effect boiling (MEB)	Active	FPC, CPC ETC
Vapour compression (VC)	Active	FPC, CPC ETC
<i>Solar thermal power systems</i>		
Parabolic through collector systems	Active	PTC
Parabolic tower systems	Active	HFC
Parabolic dish systems	Active	PDR
Solar furnaces	Active	HFC, PDR
Solar chemistry systems	Active	CPC, PTC, LFR

บทสรุป

จากข้อมูลสมรรถนะของตัวเก็บรังสี ช่วงอุณหภูมิที่ผลิตได้ และช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการความร้อนภาคอุตสาหกรรมต่างๆ พบว่าการผลิตความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar thermal) ในลักษณะของระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ มีศักยภาพเชิงอุณหภูมิสำหรับกระบวนการทางความร้อน โดยเฉพาะช่วงอุณหภูมิต่ำ และช่วงอุณหภูมิปานกลางนิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากที่สุด พบว่าสามารถใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ (FPC) เป็นแหล่งความร้อนช่วงอุณหภูมิต่ำได้ ในขณะที่ตัวเก็บรังสีแบบท่อ

สุญญากาศ (ETC) และตัวเก็บรังสีแบบซีพีซี (CPC) สามารถใช้เป็นแหล่งความร้อนช่วงอุณหภูมิปานกลาง ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ตามลำดับ จึงควรมีการศึกษาและพัฒนาการผลิตตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบให้ผลิตอุณหภูมิได้สูงขึ้นเทียบเท่า (ETC) และ (CPC) โดยพัฒนาคุณสมบัติการดูดกลืนรังสี ลดการสูญเสียความร้อน และมีราคาต่อหน่วยลดลง หรือ พัฒนาแนวทางการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2 ชนิดทำงานร่วมกันในลักษณะ (combine cycle) รูปแบบต่างๆ โดยเป็นแหล่งความร้อนหลัก หรือความร้อนเสริมที่เหมาะสมกับกระบวนการความร้อนต่างๆ ส่งเสริมการอนุรักษ์

พลังงานในส่วนของการประหยัด เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ตลอดจนการลดการปล่อยมลพิษ และก๊าซเรือนกระจก ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021) Available from: <http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf> [16 Feb2012]

ASHRAE, Standard 93-2003 (2003). *Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors*. Atlanta: American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers

Duffie, J.A. & Beckman, W.A. (1991). *Solar Engineering and Thermal Process*. (2nd ed). New York: John Wiley & Sons.

European Solar Thermal Industry Federation. Solar Industrial Process Heat “State of the Art”. Available from: <http://www.estif.org/fileadmin/estif/content/policies/downloads/D23-solar-industrial-process-heat.pdf> [10 Sep 2011]

Gude V.G., Nirmalakhandan, N., & Deng, S. (2011). Desalination using solar energy: Towards sustainability. *Energy*, 36, 78-85.

Hou, Z., & Zheng, D. (2009). Solar utility and renewability evaluation for biodiesel production process. *Applied Thermal Engineering*, 29, 3169–3174.

International Energy Agency (IEA). Solar Heat for Industrial Processes: Task 33/Task IV: SHIP – Detailed papers to Newsletter No.1. Available from: <http://www.ieaship.org/documents/papersofnewsletterNo1.pdf> [10 Sep 2011]

Jareanjit, J., Siangsukone, P., Therdyothin, A., Tia, W., Wongwailikit, K., & Tiansuwan, J. (2009). Modification of Thai Local Brewery Tank for a Large Scale Solar Ethanol Distillation Plant. *International Workshop on Advanced Material for New and Renewable Energy 2009*. Putri Duyung Cottage Ancol, Jakarta, Indonesia, June 9-11.

Kalogirou, S.A. (2003). The potential of solar industrial process heat applications. *Apply Energy*, 76, 337-361.

Kalogirou, S.A. (2004). Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30, 231-295.

Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M., & Nousia, T.h. (2000). Solar collectors with colored absorbers. *Solar Energy*, 68, 343-356.

Konttinen, P., Lund, P.D., & Kilpi, R.J. (2003). Mechanically manufactured selective solar absorber surfaces. *Solar Energy Mater Solar Cells*, 79(3), 273-283.

Master Plumbers and Mechanical Services Association of Australia (MPMSAA) and Sustainability Victoria (SV). Large Scale Solar Thermal Systems Design Handbook. Available from: http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/large_scale_solar_thermal_systems_handbook.pdf [10 Sep 2011]

Norton, B. *Solar Energy*. Available from: <http://www.thermopedia.com/content/1136> [16 Feb2012]

Sampathkumar, K., Arjunan, T.V., Pitchandi, P., & Senthilkumar, P. (2010). Active solar distillation A detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1503-1526.

Siangsukone, P., Jareanjit, J., Therdyothin, A., Tia, W., Wongwailikit, K., & Tiansuwan, J. (2008). The Development of Solar Ethanol Distillation for Thai Local Community. *The 8th Asean Science and Technology Week Scientific and Technical Conferences*. Hotel Sofitel, Pasay City, Philippines, July 3-4.

Thirugnanasambandam, M., Iniyan, S., & Goic, R. (2010). A review of solar thermal technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 312-322.

Vorayos, N., Kiatsiriroat, T., & Vorayos, N. (2006). Performance analysis of solar ethanol distillation. *Renewable Energy*, 31, 2543-2554.