

## ศักยภาพระบบความร้อนรังสีอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

### The Potential of Solar Thermal System for Thermoelectric Power Generator

จาร์วัฒน์ เจริญจิต\* ฐานวิทย์ แนมใส

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000

\*Corresponding author: E-mail: j.jaruwat@gmail.com

#### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นบทความวิชาการปริทรรศน์การประยุกต์ใช้รังสีอาทิตย์ในรูปแบบความร้อนในภาคการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (TEG) พบว่าระบบมีศักยภาพเป็นแหล่งพลังงานความร้อนให้กับ TEG เพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ ร่วมกับระบบสะสมความร้อน สามารถเพิ่มระยะเวลาทำงาน และความเสถียรของระบบซึ่งเคยเป็นจุดอ่อนของรังสีอาทิตย์มาโดยตลอดได้ และโดดเด่นกว่าเมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์สุริยะ (solar cell) ตามลำดับ โดยแบ่งแหล่งความร้อนออกเป็น 3 ระดับ คือช่วงอุณหภูมิต่ำ (<100°C) สำหรับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภท  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  ช่วงอุณหภูมิปานกลาง (100-400°C) สำหรับวัสดุประเภท  $\text{CeFe}_4\text{Sb}_{12}$ ,  $\text{CoSb}_3$  และช่วงอุณหภูมิสูง (>400°C) สำหรับวัสดุประเภท  $\text{SiGe}$  ทั้งสามชนิดนั้นสามารถประยุกต์ใช้ตามตัวเก็บรังสีแต่ละชนิด เพื่อส่งเสริมให้ TEG เป็นเทคโนโลยี สำหรับการอนุรักษ์พลังงาน และสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

**คำสำคัญ:** การผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ความร้อนรังสีอาทิตย์ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

#### ABSTRACT

This review article describes that the application of solar thermal system in electricity generation using thermoelectric generator (TEG). The system is a heat source for TEG to generate electrical energy through different types of solar collectors associated with heat storage system. The combination of the systems is not only an important factor to increase a working duration and a stability of the system, which has been a weak point of a solar thermal system, but also is better than an electricity generation using solar cell. Common types of TEG include a low range of temperature (<100°C) for a thermoelectric material as  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , a medium range of temperature (100-400°C) for materials as  $\text{CeFe}_4\text{Sb}_{12}$ ,  $\text{CoSb}_3$  and a high range of temperature (>400°C) for material as  $\text{SiGe}$ . All TEGs are varied with types of solar collectors. Therefore, the system can encourage TEG to be a technology for a sustainable energy and environmental conservation.

**Keyword:** Thermoelectric Power Generator, Solar Thermal, Solar Collector

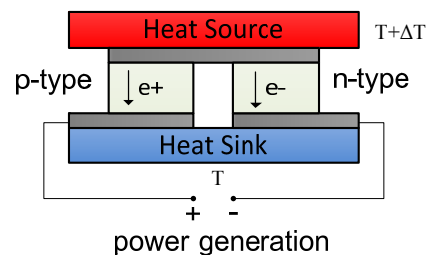
## 1. บทนำ

ในปัจจุบันไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่มีอัตราประโยชน์และมีความสัมพันธ์กับชีวิตประจำวันสูง เนื่องจากสามารถผลิตจากแหล่งหนึ่งและส่งผ่านระบบสายส่งในระยะไกล สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้หลายรูปแบบเช่น พลังงานกล พลังงานความร้อน พลังงานแสงสว่าง เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil) เป็นแหล่งพลังงานปฐมภูมิในการผลิตไฟฟ้า ผ่านการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนเป็นงานกล และเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้เครื่องยนต์ความร้อน เป็นสาเหตุให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (greenhouse effect) และสภาวะโลกร้อน (global warming) ตามลำดับ ส่งผลกระทบรุนแรงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (climate change) ในปัจจุบัน โดยพบว่าลำดับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยในช่วง 15 ปี (พ.ศ.2533-2547) คำนวณตามคู่มือของคณะทำงานระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) [1] พบว่าอันดับภาคการปลดปล่อยไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยจัดอันดับภาคที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ ภาคพลังงาน 69-76% ภาคการเกษตร 20-24% ภาคกระบวนการอุตสาหกรรม 7-10% และภาคของเสีย 4.1-4.6% โดยส่วนประกอบของก๊าซเรือนกระจกเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 70% ส่วนใหญ่มาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้า ประกอบกับความไม่มั่นคงทางพลังงานและเชื้อเพลิงในอนาคตของประเทศไทย ส่งผลให้กระทรวงพลังงานจัดทำแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ในระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ.2555-2564, AEDP, 2012) [2]

ดังนั้นบทความวิชาการปริทรรศน์นี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอความเป็นไปได้ของข้อมูลและแนวทางการใช้รังสีอาทิตย์ เป็นแหล่งความร้อนให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric generator, TEG) สำหรับการผลิตไฟฟ้า โดยการใช้พลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar thermal power) เป็นทางเลือกใหม่ สำหรับการลดความต้องการใช้พลังงาน

ฟอสซิลในระยะยาว ประกอบกับประเทศไทยมีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยที่  $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$  มีศักยภาพทางความร้อน และอุณหภูมิสำหรับอุตสาหกรรม และภาคพลังงานต่างๆ [3, 4] โดยมุ่งเน้นไปที่การใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (solar collector) และเทคโนโลยีระบบสะสมพลังงานความร้อน เพื่อประยุกต์ใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานความร้อน สำหรับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วย TEG ซึ่งผลิตไฟฟ้าได้จากความแตกต่างของอุณหภูมิทั้ง 2 ด้านของวัสดุ TEG โดยปราศจากการเคลื่อนที่ และปลดปล่อยมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการทำงานร่วมกันระหว่างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ระบบสะสมพลังงานความร้อน และ TEG สามารถเพิ่มความเสถียรของรังสีอาทิตย์ และสามารถเพิ่มระยะเวลาการทำงานในช่วงที่ไม่มีรังสีอาทิตย์ หรือเวลากลางคืนได้ โดยใช้ความร้อนที่สะสมในเวลากลางวัน เป็นแหล่งความร้อนให้กับ TEG ส่งผลให้ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ในการสะสมไฟฟ้าในเวลากลางวัน เมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์สุริยะ (solar cell) ตามลำดับ

## 2. การผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric generator, TEG)



รูปที่ 1 การทำงานของการผลิตไฟฟ้าด้วย TEG [5]

เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric generator, TEG) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นกำลังไฟฟ้า โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างรอยต่อด้านอุณหภูมิสูงและด้านอุณหภูมิต่ำ ตามปรากฏการณ์ซีเบก (Seebeck effect) [6, 7] ที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างรอยต่อของวัสดุสองชนิดแล้วทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่รอยต่อโดยรอยต่อด้านอุณหภูมิสูงจะมีศักย์ไฟฟ้าสูง

กว่ารอยต่อด้านอุณหภูมิต่ำทำให้อิเล็กตรอนเกิดการเคลื่อนที่จากรอยต่อด้านอุณหภูมิสูงไปยังรอยต่อด้านอุณหภูมิต่ำ และเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ดังรายละเอียดในรูปที่ 1 โดยวัสดุที่ใช้ใน TEG จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำสองชนิดคือสาร N-Type และสาร P-Type ซึ่งต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้าและต่อขนานกันทางความร้อน โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเมื่อป้อนพลังงานความร้อนเข้าที่ด้านหนึ่งของ TEG และควบคุมอุณหภูมิอีกด้านหนึ่งไว้ที่ระดับต่ำกว่า โดยใช้ตัวระบายความร้อน โดยความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า สามารถอธิบายผ่านสมการทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงในสมการที่ (1)-(5) ตามลำดับ

$$Q_h = \alpha IT_h + K\Delta T - 0.5I^2R \quad (1)$$

$$Q_c = \alpha IT_c + K\Delta T + 0.5I^2R \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P}{Q_h} = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h} = \frac{\alpha I\Delta T - I^2R}{\alpha IT_h + K\Delta T - 0.5I^2R} \quad (3)$$

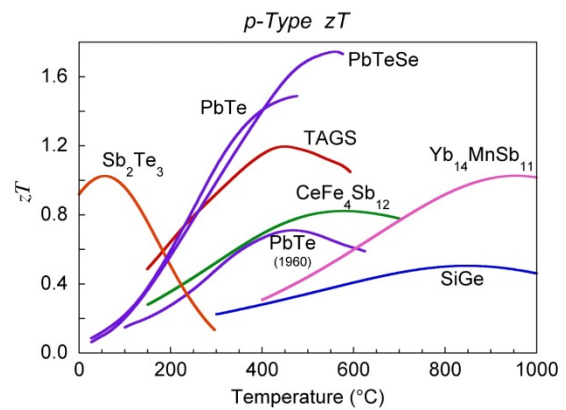
โดยประสิทธิภาพสูงสุดในการแปลงความร้อนเป็นไฟฟ้าของ TEG จะคำนวณจากประสิทธิภาพคาร์โนต์

$$\eta_{\max} = \frac{T_h - T_c}{T_h} \frac{M - 1}{M + T_c/T_h} \quad (4)$$

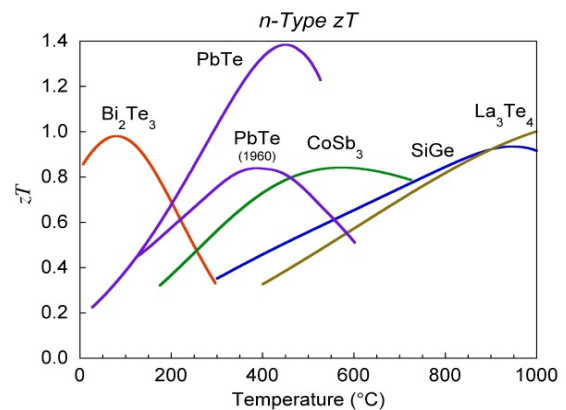
$$M = \sqrt{1 + ZT_{av}} \quad (5)$$

เมื่อ  $\eta$  คือ ประสิทธิภาพ TEG,  $P$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิต (W),  $Q_h$  คือ ค่าพลังงานความร้อนที่ดูดกลืนจากแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิสูง ( $T_h$ ),  $Q_c$  คือ ค่าพลังงานความร้อนที่ระบายออกที่อุณหภูมิต่ำ ( $T_c$ ) (W),  $I$  คือ กระแสไฟฟ้า (A),  $\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ของซีเบก (Seebeck coefficient) (V/K),  $K$  คือ ค่าการนำความร้อน (W/m-K),  $R$  คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้า ( $\Omega$ ) ของ TEG,  $ZT$  คือ ตัวแปรไร้มิติที่แสดงค่าความสามารถ

(figure of merit) หรือศักยภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงาน เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิในวัสดุ TEG ชนิดต่างๆ และเมื่อพิจารณาจากสมการที่ (3)-(5) พิจารณาได้ว่า ประสิทธิภาพของ TEG เป็นตัวแปรที่ขึ้นกับ ค่า  $ZT$  และความแตกต่างของอุณหภูมิของวัสดุ โดยวัสดุที่มีค่า  $ZT$  สูง ต้องมีสมบัติดังนี้ คือ 1. สัมประสิทธิ์ของซีเบกสูง 2. ค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ 3. ค่าการนำความร้อนต่ำ ตามลำดับ



(ก)



(ข) (5)

รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $ZT$  เทียบกับอุณหภูมิของวัสดุ TEG ชนิดต่างๆ (ก) p-type และ (ข) n-type ที่ย่านอุณหภูมิใช้งาน ตั้งแต่ 0-1000°C [8]

จากสมการ พบว่า การถ่ายเทความร้อนเข้า-ออกผ่าน TEG ส่งผลต่อประสิทธิภาพและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ขึ้นกับตัวแปรของค่า  $ZT$  ของวัสดุ TEG ที่อุณหภูมิต่างๆ รูปทรงเรขาคณิตที่เหมาะสมในการถ่ายเทความร้อน และความแตกต่างของอุณหภูมิ

ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2 พบว่าวัสดุแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดที่ช่วงอุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งมีตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิต่ำ-อุณหภูมิสูง เช่น  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  เป็นวัสดุกึ่งตัวนำ N-Type และ P-Type ที่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นวัสดุ TEG ที่ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า  $100^\circ\text{C}$  ( $100\text{--}375\text{ K}$ ) [10] โดยมีค่า  $ZT$  ของวัสดุสูงสุด 0.8 [9] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุ TEG ชนิดต่างๆ [9]

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	Type	TEG materials	ZT(maximum)
< 150	p	$\text{Bi}_2\text{Te}_3$	0.8
150	n	$\text{Bi}_2\text{Te}_3$	0.8
150	p	$\text{Zn}_4\text{Sb}_3$	-
-	p,n	PbTe	0.7-0.8
500	p	TeAgGeSb (TAGS)	1.2
500-	p	$\text{CeFe}_4\text{Sb}_{12}$	1.1
700	n	$\text{CoSb}_3$	0.8
700-	p,n	SiGe	0.6-1.0
900	p	LaTe	0.4

ดังนั้นการเลือกใช้ TEG ที่ผลิตจากวัสดุให้เหมาะสมกับแหล่งความร้อนเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง โดยแนวทางที่นิยมประยุกต์ใช้ที่ผ่านมาก็คือการนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการทางความร้อนต่างๆ กลับคืนมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าด้วย TEG (Waste heat thermoelectric generators) เช่นความร้อนทิ้งจากโรงไฟฟ้า, รถยนต์ และความร้อนในอุตสาหกรรมที่ได้มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล [5, 11] สำหรับการพัฒนาการใช้ TEG ในอุตสาหกรรม จากรายงานโครงการวิจัยการพัฒนา TEG ชั้นสูงในประเทศญี่ปุ่น [12] พบว่าได้กำหนดเป้าหมายของการวิจัยและพัฒนา TEG ชั้นสูงออกเป็น 2 แนวทางควบคู่กันไป คือการพัฒนาโมดูลของ TEG แบบหลายชั้นต้อน (cascaded modules) เพื่อทำงานที่อุณหภูมิตั้งแต่ 300-850 K และโมดูลของ TEG จากวัสดุ Bi-Te เพื่อทำงานที่อุณหภูมิตั้งแต่ 300-473 K อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2 อาศัยแหล่งความร้อนจากอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ ความร้อนทิ้งจาก

เตาไฟฟ้าอุตสาหกรรม, เครื่องยนต์ดีเซลระบบ Co-Generation, หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่ และหลอดฉายโปรเจคเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยความร่วมมือของบริษัทเอกชนรายใหญ่

ตารางที่ 2 เป้าหมายสุดท้ายของการพัฒนาโมดูลของ TEG ชั้นสูง ในการผลิตไฟฟ้า [12]

Module	Final target			
	$T_h$ [K]	$T_c$ [K]	$\Delta T$ [K]	$\eta_m$ [%]
Zn-Sb/ Bi-Te cascaded	723	323	400	11.0
Co-Sb/ Bi-Te cascaded	700	300	400	11.5
Silicide/ Bi-Te cascaded	853	303	550	15.0
Bi-Te	403	303	100	4.2
Bi-Te	473	323	150	5.3

ตารางที่ 3 เป้าหมายสุดท้ายของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้า TEG ในอุตสาหกรรมต่างๆ [12]

Thermoelectric power generation systems	Final target		
	$T_h$ [K]	$T_c$ [K]	$\eta_s$ [%]
1. industrial electric eating furnaces	873	323	10
2. diesel engine cogeneration system	773	323	4.3
3. large scale electric transformer	403	303	3.0
4. projector system	473	323	4.5

นอกจากนี้ ได้มีการประยุกต์ใช้พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบงานวิจัย (Solar thermoelectric generators; STEGs) [11, 13] โดยออกแบบให้ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ถ่ายทอดความร้อนให้กับ TEG โดยตรง หรือถูกดูดซับด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และ

ถ่ายเทความร้อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ให้แก่ด้านอุณหภูมิสูงสำหรับเป็นแหล่งความร้อนของ TEG ตามลำดับ ผลของความต้านทานความร้อนของ TEG ส่งผลให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิที่แปรผันตามค่าความร้อนจากรังสีอาทิตย์และสารทำงานในระบบ ส่งผลให้ TEG ผลิตไฟฟ้า แปรผันตามความแตกต่างของอุณหภูมิ [13] นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาการใช้ TEG ผลิตไฟฟ้า ร่วมกับเซลล์สุริยะ (solar cell) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบการผลิตไฟฟ้าด้วย solar cell ให้สูงขึ้น วิธีการดังกล่าวส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 18% [14] โดยการนำ TEG มาระบายความร้อนออกจากเซลล์สุริยะ (solar cell) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบความร้อนรังสีอาทิตย์ ให้มีความสม่ำเสมอและเพิ่มระยะเวลาการทำงานของระบบรังสีอาทิตย์ในช่วงที่ไม่มีรังสีอาทิตย์ ซึ่งเป็นจุดอ่อนของระบบดังกล่าว ส่งเสริมให้เทคโนโลยีดังกล่าว มีศักยภาพสูงขึ้น

### 3. ความร้อนรังสีอาทิตย์ (Solar Thermal)

#### 3.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector)

ปัจจุบันมีตัวเก็บรังสีอยู่หลายชนิด มีคุณลักษณะเฉพาะและมีศักยภาพเชิงความร้อน หรือช่วงอุณหภูมิที่ผลิตได้ แตกต่างกันไปพบว่าช่วงอุณหภูมิดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้ในกระบวนการทางความร้อนในหลายระดับตามความเหมาะสม แต่ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ และเหมาะสำหรับนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม โดยทั่วไปที่นิยมใช้จะมีอยู่สองชนิดคือตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ และตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบยึดอยู่กับที่ (stationary) ติดตั้งในแนวทิศเหนือ-ใต้สามารถรับรังสีตลอดทั้งปี ทำมุมกับแนวระดับเท่ากับตำแหน่งละติจูด (latitude) เพื่อให้ตั้งฉากกับรังสีอาทิตย์ นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาตัวเก็บรังสีแบบอื่น ๆ บนพื้นฐานของการรวมรังสีอาทิตย์ เพื่อเพิ่มความเข้มข้นรังสีผ่านตัวรวมรังสีอาทิตย์ (solar concentrator) โดยการเพิ่มค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับรังสีต่อพื้นที่ดูดซับรังสี หรืออัตราส่วนการรวมรังสี (concentration ratio) ให้รังสีรวมกันอยู่แนวท่อความร้อน (tubular

หรือโฟกัสเป็นจุดรวมแสง (point) เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของรังสีอาทิตย์ในบริเวณแลกเปลี่ยนความร้อน ไม่กระจายออกนอกจุดรับรังสีส่งผลให้อุณหภูมิสารทำงานสูงขึ้นตามอัตราส่วนดังกล่าว และติดตั้งระบบการติดตามดวงอาทิตย์ แบบแกนเดียว (single-axis tracking) เพื่อหันติดตามโดยหมุนรอบแกนหนึ่งแกนในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก และสองแกน (two-axis tracking) เพื่อหันติดตามในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก รวมถึงแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ ตามลำดับส่งผลให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถรวมแสง (point) ให้ตั้งฉากกับตัวเก็บรังสีได้ตลอดการทำงาน ไม่แปรเปลี่ยนตามมุมของดวงอาทิตย์ ส่งผลให้อุณหภูมิสารทำงานสูงขึ้น ตามลำดับ ดังรายละเอียดในรูปที่ 3

		Collector Type		Concentration Ratio, $C_1$ 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			$C \leq 1$	$320 < T < 460$		
		Compound Parabolic Reflector			$1 \leq C \leq 5$	$340 < T < 510$		
	Solar Tracking	Single Axis	Parabolic Reflector		Tubular Absorbers	$5 \leq C \leq 15$	$340 < T < 560$	
			Fresnel Refractor			$15 < C < 40$	$340 < T < 560$	
			Cylindrical Refractor			$10 < C < 40$	$340 < T < 540$	
		Two Axis	Parabolic Dish Reflector			Point Absorbers	$10 < C < 50$	$340 < T < 540$
			Spherical Bowl Reflector				$100 < C < 1000$	$340 < T < 1200$
			Heliostat Field				$100 < C < 300$	$340 < T < 1000$
					$100 < C < 1500$	$400 < T < 3000$		

รูปที่ 3 ลักษณะ และอุณหภูมิทำงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ [15]

#### 3.2 ระบบสะสมความร้อน (Heat storage systems)

การสะสมความร้อนในระบบผลิตความร้อนรังสีอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสม ในการเพิ่มเสถียรภาพการทำงานของระบบความร้อน เพื่อความคงที่ ต่อเนื่อง สามารถเพิ่มระยะเวลาการทำงานในช่วง

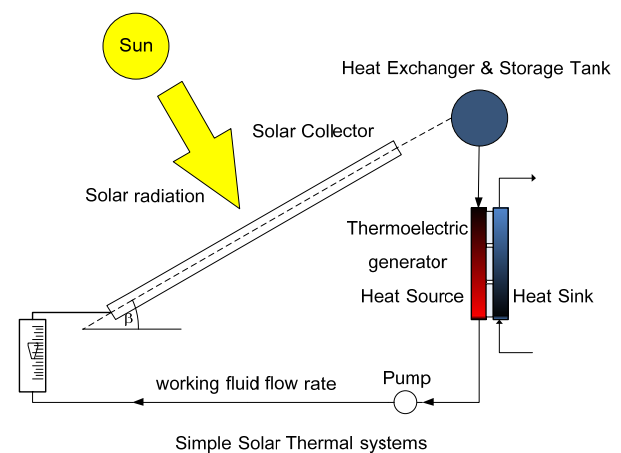
ที่ไม่มีรังสีอาทิตย์ หรือเวลากลางคืนได้ โดยสะสมความร้อนในสารทำงานประเภทต่าง ๆ โดยการจัดเก็บความร้อนโดยตรงจากรังสีอาทิตย์ 3 ประเภทคือแบบความร้อนสัมผัส (sensible heat) แบบความร้อนแฝง (latent heat) ใช้สารเปลี่ยนสถานะ (phase change material, PCM) [16] และแบบความร้อนในรูปเคมี (chemical energy storage) ที่สารตัวกลางมีการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีเมื่อมีการรับความร้อนหรือคายความร้อน [17] เมื่อพิจารณาความเหมาะสมทางด้านประสิทธิภาพความร้อนระหว่างความร้อนสัมผัสเทียบกับแบบความร้อนแฝง พบว่า PCM มีข้อดีชัดเจนจากความสามารถในการสะสมความร้อนสูงกว่าแบบความร้อนสัมผัสหลายเท่า ที่ปริมาตรสารทำงานเท่ากัน ส่งผลให้การใช้ปริมาณของสารทำงานน้อยกว่ามาก เป็นการประหยัดต้นทุนในส่วนจากระบบสะสม โดยระบบที่ใช้ PCM จะมีขนาดของระบบสะสมความร้อนเล็กกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ เนื่องจากสามารถสะสมความร้อนได้ในรูปแบบความร้อนแฝงและความร้อนสัมผัส

#### 4. สรุปแนวทางการพัฒนา

จากข้อมูลข้างต้น พบว่าการใช้รังสีอาทิตย์ในรูปแบบความร้อนมีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งความร้อนให้กับ TEG ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า จากความแตกต่างของอุณหภูมิ  $\Delta T$  ทั้ง 2 ด้านของ TEG ผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ ที่เหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิใช้งานของวัสดุ TEG พบว่าการประยุกต์ใช้รังสีอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าด้วย TEG ผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และสารทำงานในระบบเสริมด้วยระบบสะสมความร้อนที่ใช้ PCM เป็นสารตัวกลาง ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเพิ่มระยะเวลาทำงาน และความเสถียรของระบบซึ่งเคยเป็นจุดอ่อนของรังสีอาทิตย์มาโดยตลอดได้ และโดดเด่นกว่าเมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์สุริยะ (solar cell) ตามลำดับ เนื่องจากสามารถอาศัยความร้อนที่สะสมในเวลากลางวันในการผลิตไฟฟ้าในเวลากลางคืนด้วย TEG ในขณะที่ solar cell ผลิตไฟฟ้าไม่ได้ โดยต้องลงทุนในการติดตั้งแบตเตอรี่ในการกักเก็บพลังงาน

ไฟฟ้าไว้ใช้ในเวลากลางคืน ส่งผลให้ลงทุนเพิ่มและการกำจัดแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งานต่อเนื่องต่อไป

โดยมีกรอบแนวคิดการทำงานของระบบความร้อนรังสีอาทิตย์สำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วย TEG ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยสามารถแบ่งแหล่งความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ ผ่านสารตัวกลางคือน้ำร้อนหมุนเวียนในระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ โดยสามารถแบ่งระดับอุณหภูมิออกเป็น 3 ระดับอุณหภูมิให้เหมาะกับการใช้เป็นแหล่งความร้อนสำหรับ TEG แยกตามวัสดุ TEG ดังนี้ คือช่วงอุณหภูมิต่ำ ( $<100^{\circ}\text{C}$ ) สำหรับวัสดุประเภท  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  ช่วงอุณหภูมิปานกลาง ( $100-400^{\circ}\text{C}$ ) สำหรับวัสดุประเภท  $\text{CeFe}_4\text{Sb}_{12}$ ,  $\text{CoSb}_3$  และช่วงอุณหภูมิสูง ( $>400^{\circ}\text{C}$ ) สำหรับวัสดุประเภท SiGe ขึ้นกับประเภทของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยทำงานร่วมกับการสะสมความร้อนแฝง (PCM heat storage) สนับสนุนให้ระบบสามารถเพิ่มระยะเวลาการทำงานในช่วงที่ไม่มีรังสีอาทิตย์ หรือเวลากลางคืนได้ เพื่อให้ TEG เป็นเทคโนโลยี เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน



รูปที่ 4 กรอบแนวคิดระบบความร้อนรังสีอาทิตย์  
สำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วย TEG

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เขียนบทความวิชาการ และบทความวิจัย ที่ได้ใช้อ้างอิงในครั้งนี้อย่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่สนับสนุนบทความนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Towprayoon, S., Sorapipatana C. and Chidthaisong, A., "Thailand's First Assessment Report on Climate Change 2011 Work Group III: Greenhouse Gas Mitigation," *The Joint Graduate School of Energy and Environment (JGSEE)* King Mongkut's University of Technology Thonburi Bangkok Thailand, pp. 2-3, 2011.
- [2] Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021. (2012, Feb. 16). [Online] Available: <http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf>
- [3] J. Jareanjit, "The Thermal Potential of Solar Water Heating in Industrials Cluster," *Burapha Sci. J.*, vol. 17, pp. 132-139, 2012.
- [4] J. Jareanjit and K. Srisuwan, "A Trend of Research on Solar Thermal System on Industrial Energy," *KKU Res. J.*, vol. 18, pp. 80-99, 2013.
- [5] B.I. Ismail and W.H. Ahmed, "Thermoelectric Power Generation Using Waste Heat Energy as an Alternative," *Recent Patents on Electrical Engineering*, vol. 2, pp. 27-39, 2009.
- [6] L.E. Bell, "Cooling, heating, generating power and recovering waste heat with thermoelectric systems," *Science*, vol. 321, pp. 1457-1461, 2008.
- [7] A. Martínez, D. Astrain and A. Rodríguez, "Dynamic model for simulation of thermoelectric self-cooling applications," *Energy*, vol. 55, pp. 1114-1126, 2013.
- [8] G.J. Snyder. (2014, Jan. 16). [Online] Available: <http://www.its.caltech.edu/~jsnyder/thermoelectrics>.
- [9] S.F. Tie and C.W. Tan, "A review of energy sources and energy management system in electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 20, pp. 82–102, 2012.
- [10] S. Karabetoglu, A. Sisman, Z.F. Ozturk and T. Sahin, "Characterization of a thermoelectric generator at low temperatures," *Energy Conversion and Management*, vol. 62, pp. 47–50, 2012.
- [11] M.H. Elsheikh, , D.A. Shnawah, M.F.M. Sabri, S.B.M. Said, M.H. Hassan, M.B.A. Bashir and M. Mohamad, "A review on thermoelectric renewable energy: Principle parameters that affect their performance," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 30, pp. 337–355, 2013.
- [12] T. Kajikawa, "Current state of thermoelectric power generation technology in Japan," *Journal of Thermoelectricity*, vol. 2, pp. 21-31, 2007.
- [13] H. Xi, L. Luo, and G. Fraisse, "Development and applications of solar-based thermoelectric technologies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, pp. 923–36, 2007.
- [14] M. Fisac, F.X. Villasevil and A.M. López, "High-efficiency photovoltaic technology including thermoelectric generation," *Journal of Power Sources*, vol. 252, pp. 264-269, 2014.
- [15] B. Norton. (2012, Feb. 16). *Solar Energy*. [Online] Available: <http://www.thermopedia.com/content/1136A>.
- [16] Y. Tian and C.Y. Zhao, "A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications," *Applied Energy*, vol. 104, pp. 538–53, 2013.

- [17] Gil, M. Medrano, I. Martorell, A. Lazaro, P. Dolado, B. Zalba and L.F. Cabeza, "State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part1 - concepts, materials and modellization," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 31-55, 2010.