

การจำลองหาตำแหน่งที่เหมาะสมของวัสดุเปล่งรังสีในปรากฏการณ์เทอร์โมโฟโตโวลต์เทค เพื่อผลิตไฟฟ้า

Simulation Optimization of Emitter's position in Thermophotovoltaic system

โชติวุฒิ ประสพสุข¹ และมานนท์ สุขละมัย²

Chotiwt Prasopsuk¹ and Manon Sooklamai²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

E-Mail Tae_Fully@hotmail.com

²ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการผลิตไฟฟ้าแบบปรากฏการณ์เทอร์โมโฟโตโวลต์เทคเป็นการผลิตไฟฟ้าโดยใช้คลื่นรังสีความร้อนจากวัสดุเปล่งรังสีที่ได้จากแหล่งความร้อนในวิธีต่างๆ และส่งถ่ายคลื่นรังสีความร้อนให้กับเซลล์ผลิตกระแสไฟฟ้าแบบเทอร์โมโฟโตโวลต์เทค ซึ่งจะแตกต่างจากเซลล์ไฟฟ้าทั่วไปคือมีช่วงรังสีที่สั้นกว่า การเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์เทอร์โมโฟโตโวลต์เทคนั้นมุ่งเน้นที่ความเข้มข้นของรังสีความร้อนที่เซลล์ได้รับ ดังนั้นระยะห่างระหว่างวัสดุเปล่งรังสีกับเซลล์เทอร์โมโฟโตโวลต์เทคจึงมีความสำคัญมากในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ตำแหน่งที่เหมาะสมจะต้องไม่ใกล้แหล่งความร้อนมากเกินไปเพราะทำให้เซลล์ได้รับอุณหภูมิสูง แต่หากใกล้เกินไปความเข้มข้นของรังสีที่เซลล์ได้รับก็จะลดลงตามไปด้วย ผู้วิจัยจึงได้ทำการจำลองค่าการแผ่รังสีในแต่ละตำแหน่งของระยะห่างระหว่างวัสดุเปล่งรังสีกับเซลล์เทอร์โมโฟโตโวลต์เทค โดยใช้สมการเงื่อนไขของการแผ่รังสีความร้อนหาตำแหน่งที่ดีที่สุดของเซลล์พบว่าตำแหน่งที่ดีที่สุดอยู่ห่างจากวัสดุเปล่งรังสี 6 เซนติเมตร และสามารถให้ประสิทธิภาพระบบอยู่ที่ 20%

คำสำคัญ: เทอร์โมโฟโตโวลต์เทค การแผ่รังสี วัสดุเปล่งรังสี

Abstract

This article presents a Thermophotovoltaic (TPV) generates electricity from heat source burn inside the emitter device that radiates. TPV cells capture the radiation and convert to electricity. TPV are different from

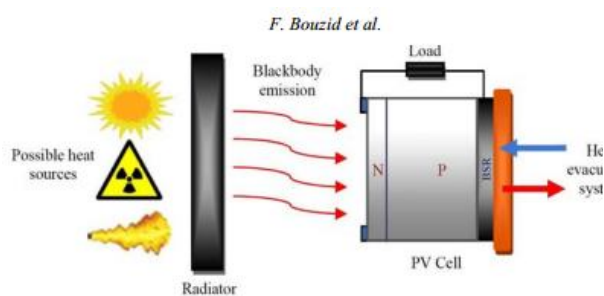
other PV cells because TPV use the infrared wavelength short than other PV cells. To improve system efficiency and reduce system costs, can be focused on infrared wavelength on TPV cells If TPV cells to close with emitter the cell can overheat. But if too far concentrated cells of radiation received will be reduced accordingly. In research simulated the radiation at each position of distance between the radiation of emitter. Using the equation of thermal radiation conditions for optimize of the cells position is 6 cm. and can provide efficiency is 20 %

Keywords: Thermophotovoltaic, Radiation, emitter

1. บทนำ

เซลล์เทอร์โมโฟโตโวลต์เทค (TPV Cell) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำ มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ แต่สามารถใช้ความร้อนจากแหล่งอื่นๆ นอกเหนือจากแสงอาทิตย์ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติหรือก๊าซชีวภาพ ความร้อนจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชั่น หรือความร้อนทั้งจากแหล่งความร้อนอื่นๆ ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นรังสีความร้อนในช่วงคลื่นยาว (Infrared wavelength) แล้วส่งถ่ายให้กับเซลล์ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ [1, 2] ซึ่งนอกเหนือจากข้อได้เปรียบในด้านของแหล่งพลังงานที่หลากหลายแล้ว ยังมีข้อดีอื่นๆ อีก เช่น ขนาดของระบบที่ไม่จำกัดว่าต้องเล็กหรือใหญ่ มีการทำงานที่เงียบและมีความปลอดภัยสูง ปริมาณการ

ปลดปล่อยมลพิษและการบำรุงรักษาที่ต่ำ [3] และยังสามารถใช้ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าแบบอื่นๆ ได้ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบและเพื่อการจัดการบริหารโหลดของการผลิตไฟฟ้าโดยอาจจะเดินเครื่องโดยใช้แหล่งความร้อนเสริมอื่นๆ นอกเหนือจากแสงอาทิตย์ [4, 5] จากการศึกษาเซลล์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนชนิด Low-Bandgap compounds (GaSb/Ge) พบว่าเซลล์สามารถผลิตไฟฟ้าได้และมีประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 13% ภายใต้การแผ่รังสีจากวัตถุที่อุณหภูมิอยู่ในช่วง 1,700 – 2,100 K ในการทดลองเลือกใช้เซลล์เทอร์โมโฟโวลต์เทคนิคนิคม GaSb เพราะเป็นวัสดุชนิดที่ตอบสนองในช่วงอุณหภูมิต่ำ และมีราคาถูกทำให้เป็นที่นิยมใช้ [6, 7] จากการศึกษาตัวเปล่งรังสี (emitter) ชนิดอุณหภูมิต่ำที่สามารถให้ความยาวคลื่นรังสีได้เหมาะสมกับเซลล์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนชนิด InGaSb ซึ่งตัวเปล่งแสงทำจากทังสเตนหรือโมลิบดีนัม (tungsten or molybdenum) โดยสามารถให้กำลังการเปล่งแสงได้มากกว่าตัวเปล่งแสงแบบของแข็งทั่วไปถึง 10 เท่า [8] Tanapong และคณะ ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์ TPV โดยใช้ LPG เป็นแหล่งความร้อนจากการทดลองที่ระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ 25 cm, 20cm, 15 cm, 10cm พบว่าที่ระยะ 10 cm มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุด



รูปที่ 1 หลักการทำงานของระบบเทอร์โมโฟโวลต์เทค

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำเซลล์เทอร์โมโฟโวลต์เทคมาใช้ร่วมกับแหล่งความร้อนรูปทรงกลมโดยทำการปรับปรุงลักษณะของการแผ่รังสีของวัสดุเปล่งรังสี โดยพัฒนาจากการแผ่รังสีในลักษณะระนาบ คู่กัน 1 ต่อ 1 [5] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การติดตั้งวัสดุเปล่งรังสี และTPV แบบ 1:1 [8]

ซึ่งการต่อลักษณะนี้ทำให้มีพื้นที่ในการติดตั้งเซลล์จำกัด จึงได้ทำการพัฒนาลักษณะของระบบการแผ่รังสีโดยออกแบบให้วัสดุเปล่งรังสีมีลักษณะรูปร่างเป็นวงกลมซึ่งสามารถติดตั้งเซลล์เทอร์โมโฟโวลต์เทคได้มากกว่า 4 เซลล์ต่อการเผาไหม้ 1 ครั้งซึ่งทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่า



รูปที่ 3 เปรียบเทียบลักษณะของระบบ TPV ที่สนใจพัฒนา

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ทฤษฎีและหลักการ

2.1.1 แหล่งความร้อน (Heat sources) แหล่งความร้อนมีหน้าที่เป็นแหล่งให้พลังงานแก่ระบบ โดยที่สามารถประยุกต์ใช้ได้จากหลายแหล่งความร้อนด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นพลังงานความร้อนจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ พลังงานความร้อนจากชีวมวลโดยผ่านกระบวนการเผาไหม้ พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงก๊าซหรือเชื้อเพลิงเหลว และพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์โดยเพิ่มความเข้มของแสงอาทิตย์ด้วยชุดรวมแสง เพื่อสร้างความร้อนสำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้แหล่งความร้อนจากการเผาไหม้ของชีวมวล โดยออกแบบเตาเผาไหม้ขนาดเล็กเพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานจริงในอนาคตเพื่อแก้ไขปัญหาด้านพลังงาน

2.1.2 ทฤษฎีการส่งถ่ายรังสีความร้อน ส่วนประกอบหลักของการส่งถ่ายพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ไปยังเซลล์ผลิตกระแสไฟฟ้าประกอบไปด้วยวัสดุเปล่งแสง (Emitter) ส่วนประกอบเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อน เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนรูปแบบพลังงาน จากเปลวเพลิงเป็นความร้อนในรูปของการเปล่งรังสีความร้อน

- ค่าพลังงานการเปล่งรังสีความร้อนของวัสดุเปล่งรังสี

$$P_{\text{rad-emitter}} = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (1)$$

เมื่อ

$P_{\text{rad-emitter}}$ คือ ค่าพลังงานการแผ่รังสีของวัสดุเปล่งรังสี, W

ε คือ ค่าการแผ่รังสีของโลหะ, 0.4

σ คือ ค่าคงที่สเตฟาน-โบลทซ์มันน์, $(5.67 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}^4)$

T คือ อุณหภูมิของวัสดุเปล่งรังสี, K

A_{cell} คือ พื้นที่ของเซลล์เทอร์โมโฟโตโวลต์เทซ

- ประสิทธิภาพของตัวเปล่งรังสีความร้อน

$$\eta_{\text{emitter}} = \left[\frac{P_{\text{rad-emitter}}}{P_{\text{fuel}}} \right] \times 100\% \quad (2)$$

$P_{\text{rod-emitter}}$ คือ ค่าพลังงานการเปล่งรังสีความร้อน, W

P_{Fuel} คือ ค่าพลังงานของเชื้อเพลิง, W

- ประสิทธิภาพของระบบเทอร์โมโฟโตโวลต์เทซ

เมื่อ

$$\eta_{\text{TPV}} = 0.2 \left[1 - \left(\frac{T}{800} - 1 \right)^2 \right], T < 1600 \text{ K} \quad (3)$$

$$\eta_{\text{TPV}} = 0, T > 1600 \text{ K}$$

- ค่าการผลิตไฟฟ้าของเซลล์เทอร์โมโฟโตโวลต์เทซ

$$P_{\text{electric}} = (G \eta_{\text{TPV}}) / A_{\text{cell}} \quad (4)$$

$$G = P_{\text{radiation}} / A_{\text{emitter}} \quad (5)$$

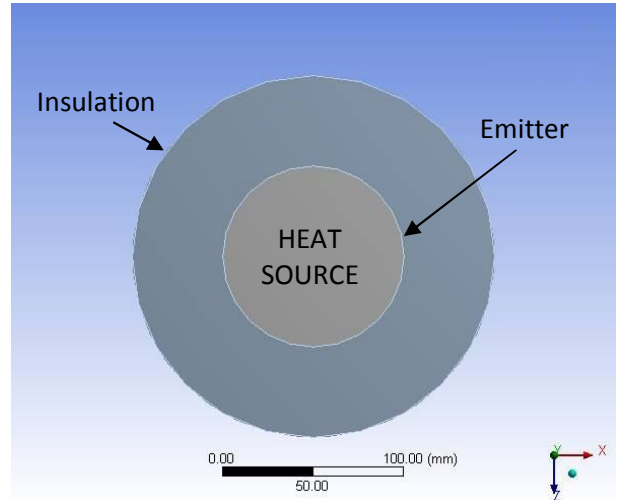
เมื่อ

P = Electric Power of TPV Cell

G = Irradiation intensity at the plane of the cell

A = Cell Area

2.2 วิธีการทดลอง



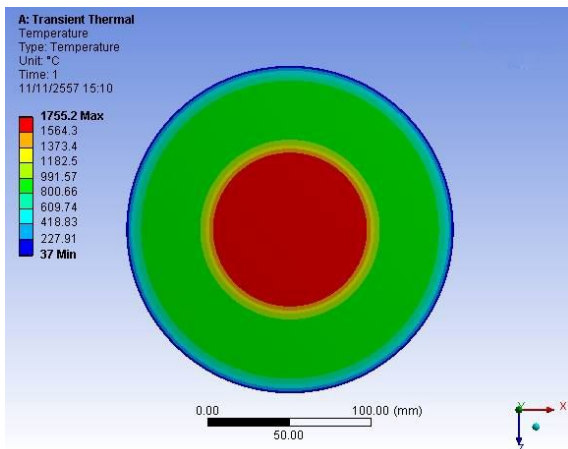
รูปที่ 3 Geometry and dimensions of the modeled TPV system

การจำลองระบบการทำงานของระบบเซลล์เทอร์โมโฟโตโวลต์เทซ กำหนดขนาดของเตาชีวมวลและวัสดุเปล่งรังสี ดังรูปที่ 2 แหล่งความร้อนได้จากการเผาไหม้กลบเป็นเชื้อเพลิง วัสดุเปล่งรังสีเป็นท่อเหล็กกลมบาง สูง 20 เซนติเมตร ทำหน้าที่แผ่รังสีให้แก่เซลล์ โดยทำการจำลองการแผ่รังสีจากแหล่งพลังงานความร้อนขนาด 25 kW โดยทำการศึกษาอุณหภูมิของเซลล์เทอร์โมโฟโตโวลต์เทซ (T_{cell}) ในตำแหน่งในตำแหน่งที่ต่ำกว่า 10 เซนติเมตร โดยแบ่งระยะเป็น 8, 6 และ 4 เซนติเมตร เพื่อนำผลการจำลองมาพิจารณาค่าการผลิตไฟฟ้าที่ดีที่สุดของเซลล์เทอร์โมโฟโตโวลต์เทซ

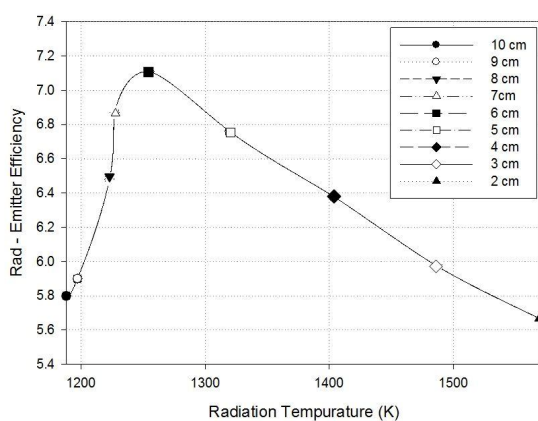
3. ผลการทดลอง

จากแบบจำลองผลทางคณิตศาสตร์ ของการแผ่รังสีของวัสดุเปล่งรังสีที่แหล่งความร้อนอุณหภูมิ 2000K จากแบบจำลองเรขาคณิตของระบบทำงานของ TPV system ดังแสดงในรูปที่ 3 นำไปการจำลองการแผ่รังสีของวัสดุเปล่งรังสี ผ่านสมการการแผ่รังสี ได้ช่วงของอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (T_{rad}) ดังรูปที่ 4 นำอุณหภูมิการแผ่รังสีมาวิเคราะห์เพื่อหา

ตำแหน่งที่ดีที่สุดของการติดตั้งเซลล์เทอร์โมโฟโวลเทจให้ระบบ



รูปที่ 4 การกระจายอุณหภูมิการแผ่รังสีของ Emitter ที่อุณหภูมิผิว

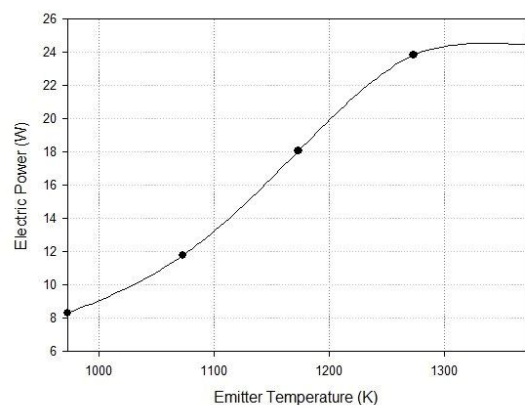


รูปที่ 5 การกระจายอุณหภูมิการแผ่รังสีของ Emitter ที่อุณหภูมิผิว

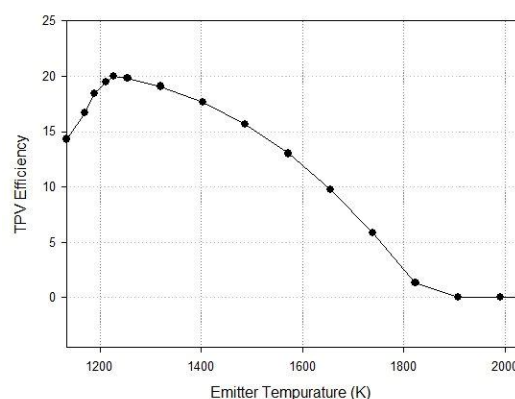
จากการจำลองอุณหภูมิการแผ่รังสีของวัสดุเปล่งรังสี เมื่อนำมาวิเคราะห์ตำแหน่งของระยะการติดตั้งของ TPV cell โดยแบ่งการวัดเริ่มจากระยะห่างเริ่มจากขอบเตาไปจนถึงวัสดุเปล่งรังสี โดยเพิ่มระยะห่างที่ 1 เซนติเมตรพบว่าที่ระยะ 6 เซนติเมตร จากขอบเตาให้ประสิทธิภาพการแผ่รังสีที่ดีที่สุด

จากการจำลองระบบการทำงานของเซลล์เทอร์โมโฟโวลเทจ ในสถานะที่วัสดุเปล่งรังสี 973-1400 K เมื่อเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ ปรากฏว่า ที่อุณหภูมิของวัสดุเปล่งรังสีที่ 1,173 K จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงที่สุด และลดลงตามค่าอุณหภูมิที่ลดลง เมื่อ

พิจารณาจากกราฟรูปที่ 6 พบว่า กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากช่วงอุณหภูมิวัสดุเปล่งรังสีที่ 1,173 K นั้นจะให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากช่วง 1,073 K มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งกระแสไฟฟ้าในช่วงอุณหภูมิวัสดุเปล่งรังสี 1,073 K และ 973 K นั้นมีสัดส่วนของค่ากระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้เพราะหากพิจารณาทฤษฎีหลักการทำงานของเซลล์เทอร์โมโฟโวลเทจจะพบว่าช่วงอุณหภูมิที่เซลล์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ดีอยู่ที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 1,173-1,375 K เป็นต้นไป ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดที่เตาเผาสามารถผลิตได้มีค่าอยู่ในช่วงที่เซลล์เพิ่งเริ่มทำงานได้ จึงทำให้ค่าการผลิตกระแสไฟฟ้าแตกต่างจากค่าอุณหภูมิ 1,073 K และ 973K เป็นอย่างมาก



รูปที่ 6 สมรรถภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์เทอร์โมโฟโวลเทจและอุณหภูมิของวัสดุเปล่งรังสี ในตำแหน่ง 6 เซนติเมตร



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพของระบบเทอร์โมโฟโวลเทจ

จากรูปที่ 7 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบในภาพรวม หรือประสิทธิภาพการเปลี่ยนความร้อนเป็น

ไฟฟ้า (overall energy conversion efficiency) ของ เซลล์เทอร์โมโฟโตโวลเทซ โดยพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิ ต่างๆ ของตัวเปล่งรังสี จากกราฟพบว่า ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้าจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิของ ตัวเปล่งรังสีที่สูงขึ้น จนเมื่ออุณหภูมิของวัสดุเปล่งรังสีมีค่า มากกว่า 1600 K กราฟประสิทธิภาพมีแนวโน้มลดลง K เพราะว่าเป็นอุณหภูมิช่วงที่เกินการทำงานของเซลล์เทอร์ โมโฟโตโวลเทซ

4. สรุปผลการทดลอง

จากแบบจำลองผลพบว่าตำแหน่งของการติดตั้ง เซลล์เทอร์โมโฟโตโวลเทซมีผลต่อประสิทธิภาพการ ทำงานของระบบเป็นอย่างมาก และอุณหภูมิที่เหมาะสม กับการทำงานอยู่ในช่วง 1100 K เห็นได้จากสมรรถภาพ การทำงานที่เพิ่มขึ้นแบบก้าวกระโดดระหว่างอุณหภูมิ 800 K กับ 1100 K ผลที่ได้จากการจำลองผลนำไปใช้เป็น ข้อมูลในการทดลองจริงและทำการเปรียบเทียบผลการ ทดลองกับแบบจำลองในอนาคต นอกจากนี้ในการทดลอง จริง เป็นการใช้เซลล์ร่วมกับแหล่งความร้อนชีวมวล เพื่อใช้ เป็นพลังงานทดแทนได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] C.L. DeBellis, M.V. Scotto, S.W. Scoles, L. Fraas. Conceptual design of 500 watt portable thermophotovoltaic power supply using JP-8 fuel, Third NREL Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity; AIP Conf. Proc. Vol. 401.pp.355, 1997.
- [2] A.W. Bett, S. Keser, G. Stollwerck, O.V. Sulima. Recent progress in developing of GaSb photovoltaic cells, 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference. pp. 993 – 998, 1997.
- [3] R.E. Nelson. TPV Systems and State of the Art Development, Thermophotovoltaic Generation of Electricity, Fifth Conference, American Inst. Physics Conf. Proc. Vol. 653 pp.3-17, 2003.
- [4] Matteo Bosi, Claudio Ferrari, Francesco Melino, Micheli Pinelli, Pier Ruggero Spina, Mauro Venturini. Thermophotovoltaic Generation: A State of the Art Review. Proceedings of ECOS 2012–The 25th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems. Perugia, Italy. pp.88-1 – 88-21, 2012.
- [5] T.J. Coutts. A review of progress in thermophotovoltaic generation of electricity. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol.3 pp.77–184, 1999.
- [6] Michael G. Mauk. Survey of Thermophotovoltaic (TPV) Devices, Springer Series in Optical Sciences. Vol. 118 pp.673 – 738, 2006.
- [7] V.P. Khostikov, V.D. Rumyantsev, O.A. Khvostikova, M.Z. Shvarts, P.Y. Gazaryan, S.V. Sorokina, N.A. Kaluzhniy, and V.M. Andreev. Thermophotovoltaic cells based on low-bandgap compounds, Thermophotovoltaic Generation of Electricity, Sixth Conf., American Inst. Physics Conf. Freiburg. Vol.738 pp.436–444, 2004.
- [8] T. Karakate, T. DUANG-UM, The power generate potential of thermophotovoltaic system. KMUTT pp.154-178, 2011.