ค่าพลังงานความร้อนรายปีและต้นทุนวัฏจักรชีวิตของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศรูปแบบใหม่

Annual Energy Yield and Life Cycle Cost (LCC) of a New Prototype of Evacuated Tube Collector (ETC)

พรนิภา นุโนชา[1]* ธวัช สุริวงษ์[1]*

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

*pornnipa.n@gmail.com, tawats@nu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอค่าพลังงานความร้อนรายปีและต้นทุนวัฏจักรชีวิตของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ (ETC) รูปแบบใหม่ที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์นี้ใช้ท่อสุญญากาศจำนวน 15 ท่อ คิดเป็นพื้นที่ดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 1.08 m^2 และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด (η_{max}) เท่ากับ 0.72 ผลการประเมินค่าพลังงานความร้อนรายปีต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 1,117.9 kWh/m^2 หรือมีค่าเท่ากับ 1,207.3 kWh (4,346.4 MJ) สำหรับต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศนี้ สำหรับการประเมินค่าต้นทุนวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost, LCC) ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ พบว่ามีค่าเท่ากับ 22,993 บาท ซึ่งเป็นค่าต้นทุนวัฏจักรชีวิตที่ต่ำกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ สรุปได้ว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีความสามารถในการแข่งขันเชิงพาณิชย์ และมีศักยภาพในการผลิตพลังงานความร้อนหรือน้ำร้อน สำหรับภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมที่ต้องการน้ำร้อนในกระบวนการผลิต

คำสำคัญ : ตัวเก็บรังสีอาทิตย์; อะลูมิเนียมอะโนไดซ์; ตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์; ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

Abstract

This research presents the annual energy yield and economic evaluation of a new prototype of evacuated tube collector (ETC) with applied anodized aluminium sheet as solar absorber. The size of ETC was 15 vacuum tubes with 1.08 m^2 solar absorber area. The maximum thermal efficiency (η_{max}) of ETC was 0.72. As the results, annual energy yield of ETC per a unit area of solar absorber was 1,117.9 kWh/m^2 or 1,207.3 kWh (4,346.4 MJ) for the prototype ETC (1.08 m^2 solar absorber area). According to the Life Cycle Cost (LCC) evaluation, LCC of this prototype ETC was 22,993 Baht which is lower than commercial solar collector. Therefore, the evacuated tube collector (ETC) with applied anodized

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

aluminium sheet as the solar absorber can be competitive with commercial solar collector, and it is high potential for producing the hot water in household and industrial sectors that required hot water in manufacturing.

Keywords : Solar collector, Anodized aluminium, Solar absorber, Life cycle cost

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตเมื่ออัตราการเพิ่มประชากรสูงขึ้นการใช้พลังงานจึงมีอัตราความต้องการเพิ่มขึ้นตาม ส่งผลให้หน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนภายในประเทศเล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ด้านพลังงานทดแทน รวมถึงการประเมินหาค่าพลังงานความร้อนและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเทคโนโลยีนั้นๆ ซึ่งถือว่าเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญ พลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นพลังงานสะอาดจากธรรมชาติ ปราศจากการก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม พลังงานแสงอาทิตย์ถูกนำมาใช้ประโยชน์สองด้านหลักๆ คือ การผลิตไฟฟ้าและการผลิตความร้อน ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนหรือเทคโนโลยีตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) ซึ่งในประเทศไทยมีการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 25 ปี [1] ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จำแนกประเภทตามการติดตามดวงอาทิตย์ (Tracking) เช่นตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงชนิดรางพาราโบลา (Parabolic trough collector) และแบบที่ไม่มีการติดตามดวงอาทิตย์ (Station collector) เช่น ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat-plate collector, FPC) และแบบท่อสุญญากาศ (Evacuated tube collector, ETC) [2] ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบไม่มีการติดตามดวงอาทิตย์เป็นที่ยอมรับและได้มีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายสำหรับการผลิตน้ำร้อนในบ้านเรือน โรงแรม และโรงพยาบาล อย่างไรก็ตามสำหรับประเทศไทยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ยังไม่ได้รับความนิยมในการติดตั้งและใช้งานมากนัก เนื่องจากสภาพอากาศและปริมาณความต้องการการใช้น้ำร้อนภาคครัวเรือนยังไม่สูง และต้นทุนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่นำเข้ามาจากต่างประเทศเป็นหลักและผลิตเองในประเทศได้เพียงบางส่วน โดยส่วนที่มีต้นทุนสูงคือท่อเลือกรับรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่มีการเคลือบสารเลือกรับรังสีอาทิตย์ที่บริเวณผิวด้านนอกของท่อแก้วชั้นใน ซึ่งกระบวนการเคลือบสารเลือกรับรังสีอาทิตย์นี้จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง (การเคลือบด้วยโลหะ) เช่น Sputtering, Evaporation Pyrolysis และ Electro-deposition เป็นต้น [3-5] ซึ่งการผลิตในประเทศไทยทำได้ยาก เนื่องจากเทคนิคส่วนใหญ่ต้องใช้เครื่องมือที่มีขนาดใหญ่และราคาแพง ส่งผลให้ไม่มีการผลิตตัวเก็บรังสีอาทิตย์ภายในประเทศ อย่างไรก็ตาม การเตรียมผิวเคลือบด้วยกระบวนการอะโนไดซ์ (Anodization) เป็นเทคนิคหนึ่งที่โรงงานอุตสาหกรรมอะลูมิเนียมของประเทศไทยมีความสามารถและศักยภาพสูง

งานวิจัยที่ผ่านมาของผู้วิจัยได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคสำหรับการเปลี่ยนตำแหน่งตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์จากผิวด้านนอกของท่อแก้วด้านในของท่อแก้วสุญญากาศสองชั้น มาเป็นการประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการทำฟิล์มอะโนไดซ์ที่มีการเติมธาตุนิกเกิลลงในฟิล์ม ($Ni\text{-}Al_2O_3$) หรือแผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ร่วมกับท่อแก้วสุญญากาศสองชั้น ซึ่งประสบความสำเร็จในการเปลี่ยนตำแหน่งตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โดยแผ่นอะลูมิเนียมนี้ทำหน้าที่สองอย่างพร้อมกันคือ ทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอาทิตย์และถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ให้กับสารทำงานในท่อความร้อนภายในท่อแก้วสุญญากาศแบบสองชั้น ซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบไม่มีการเคลือบสารเลือกรับรังสีอาทิตย์บนท่อสุญญากาศ [6] รวมถึงมีการรายงานผลการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เศรษฐศาสตร์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ พบว่ามีความสามารถและศักยภาพในการแข่งขันในเชิงพาณิชย์ [7] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมายังไม่ได้มีการพิจารณาในส่วนของการประเมินค่าพลังงานความร้อนรายปีโดยเปรียบเทียบกับค่าพลังงานความร้อนรายปีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้งแบบแผ่นเรียบและแบบท่อสุญญากาศที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ [8] และการประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost, LCC) ให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าพลังงานความร้อนที่สามารถผลิตได้รายปีของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศสองชั้นรูปแบบใหม่ที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าพลังงานความร้อนรายปีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้งแบบแผ่นเรียบและแบบท่อสุญญากาศที่มีจำหน่ายทั่วไปในเชิงพาณิชย์ รวมถึงการประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ

2. วิธีการวิจัย

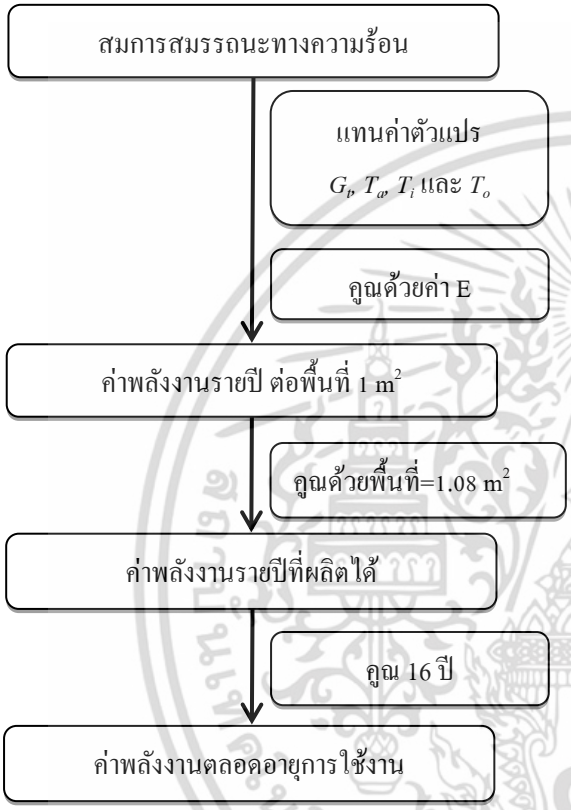
งานวิจัยนี้เป็นการประเมินความเป็นไปได้ของค่าพลังงานความร้อนรายปีที่สามารถผลิตได้ และทางด้านเศรษฐศาสตร์ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศสองชั้นที่มีการนำเอาแผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์ที่มีการเติมธาตุนิกเกิลในชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ ($Ni\text{-}Al_2O_3$) เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โดยนำข้อมูลสมการสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Performance of solar collector) มาคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตได้ต่อปีและตลอดอายุการใช้งาน จากงานวิจัยที่ผ่านมาของผู้วิจัย [6] พบว่าสามารถประยุกต์ใช้อะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศสองชั้นได้ การประกอบต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์รูปแบบใหม่ที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ร่วมกับท่อแก้วสุญญากาศสองชั้นที่ไม่มีการเคลือบสารเลือกรับรังสีอาทิตย์ที่ผิวท่อด้านนอกของท่อแก้วชั้นในจำนวน 15 ท่อ เข้ากับชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ ดังแสดงในรูปที่ 1 สำหรับงานวิจัยนี้มีการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector thermal efficiency) ตามมาตรฐาน ISO9806-1 รายละเอียดการทดสอบแสดงในงานวิจัยของ พรนิภา และคณะ [6]

รูปที่ 1 ต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศรูปแบบใหม่ที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์

การคำนวณค่าพลังงานรายปีที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตได้และตลอดอายุการใช้งานสามารถหาได้จากสมการสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่คำนวณผ่านตัวแปรต่างๆ ในสภาวะที่กำหนดตามรายละเอียดในตารางที่ 1 อันได้แก่ G_t, T_a, T_i และ T_o เมื่อใส่ค่าในตัวแปรในสมการสมรรถนะทางความร้อนทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ สภาวะที่กำหนด จากนั้นนำประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้มาคูณกับค่าพลังงานรังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายปีของประเทศไทย (E) ทำให้ได้ค่าพลังงานรายปีที่สามารถผลิตได้ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ($1\ m^2$) นำค่าที่ได้นี้คูณด้วยพื้นที่ของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์สำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ $1.08\ m^2$ ผลที่ได้คือค่าพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถผลิตได้รายปี และสุดท้ายเมื่อคูณด้วยจำนวนอายุการใช้งาน (16 ปี) ทำให้ทราบถึงค่าพลังงานที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ [8] ดังรายละเอียดในแผนภาพการวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนรายปีในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การคำนวณค่าพลังงานรายปีที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน

การประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost, LCC) ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นการประเมินต้นทุนที่เกิดขึ้นตลอดช่วงอายุการใช้งาน มีขอบเขตการพิจารณาจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนอุปกรณ์ประกอบไปด้วยค่าชุดอุปกรณ์ถังน้ำร้อน แผ่นครีบอะลูมิเนียม ค่าดำเนินการอื่นๆ แรงงานในการติดตั้งระบบรวมถึงค่ากระบวนการเคลือบสารเลือกรับรังสีอาทิตย์และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่เกิดตลอดช่วงอายุการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (คิดจากร้อยละ 0.5 ของเงินลงทุน) โดยอายุการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 16 ปี [9] การคำนวณต้นทุนวัฏจักรชีวิตสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 [10, 11] นำค่าใช้จ่ายทั้งหมดนี้มาปรับคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ โดยการใช้อัตราดอกเบี้ยที่กำหนดโดยธนาคารกสิกรไทย [12]

$$LCC = C_C + \sum_{n=1}^{N} \frac{C_n}{(1+i)^n} - \frac{SV}{(1+i)^N} \qquad (1)$$

เมื่อ

C_C = เงินลงทุนเริ่มต้น (Initial capital cost) (บาท)

C_n = ต้นทุนในการดำเนินการ (Operating cost) ค่าซ่อมบำรุง เชื้อเพลิงและ อื่นๆ ในแต่ละปี (บาท)

SV = มูลค่าซากปีที่สุดท้ายของโครงการ (บาท)

i = อัตราดอกเบี้ย (Interest rate) หรือ อัตราคิดลด (Discount rate)

n = อายุการใช้งานโครงการ (Project period)

N = จำนวนปีที่สิ้นสุดโครงการ (Year at the end of project)

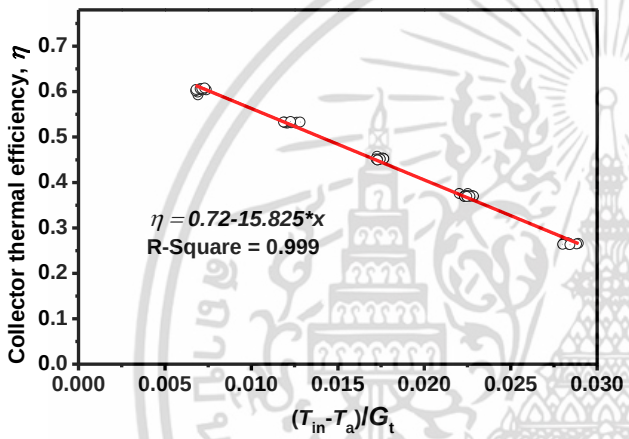
E_n = พลังงานที่สามารถผลิตได้ในแต่ละปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าพลังงานรายปี [3]

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่าตัวแปร	หน่วย
ความเข้มรังสีอาทิตย์	G_t	800	W/m^2
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	T_a	30	°C
อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์	T_i	35	°C
อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์	T_o	60	°C
ค่าพลังงานรังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายปีของประเทศไทย [13]	E	1,800	kWh/m^2-year

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล



รูปที่ 3 สมรรถนะทางความร้อนตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้อะลูมิเนียม อะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ [6]

สมรรถนะทางความร้อนของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ที่ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 9806-1 แสดงดังรูปที่ 3 ในงานวิจัยนี้พิจารณาที่สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (U_L) มีค่าคงที่ ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นตรงระหว่างประสิทธิภาพทางความร้อน (η) กับ $(T_i-T_a)/G_t$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกรณีพิจารณาที่สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม(U_L) มีค่าไม่คงที่ จากสมรรถนะทางความร้อนพบว่าค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุด(η_{max}) ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 0.72 ที่อุณหภูมิน้ำขาเข้ามีค่าเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($\Delta T = T_i-T_a = 0$) และผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อน (F_R) กับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมหรือค่าการสูญเสียความร้อน($-F_RU_L$) มีค่าเท่ากับ 15.83 W/m^2•°C (ความชันของกราฟ) ดังนั้นสมการสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นตรง คือ $\eta = 0.72-15.825x$ เมื่อแกน x คือ $(T_i-T_a)/G_t$ การเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของต้นแบบตัวเก็บรังสี-อาทิตย์แบบท่อสุญญากาศกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ที่ผ่านการทดสอบโดยวิทยาลัยพลังงานทดแทน ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุด (η_{max}) ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบของบริษัท A-G และสูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศ ของบริษัท I แต่มีค่าต่ำกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ของบริษัท H และ J ตามลำดับ

ค่าพลังงานรายปีของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้อะลูมิเนียมอะโนไดซ์กับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ถูกคำนวณจากสมการสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ คือ $\eta = 0.72-15.83x$ เมื่อแกน x คือ $(T_i-T_a)/G_t$ ผ่านตัวแปรต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าค่าประสิทธิภาพต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 0.62 เมื่อคูณด้วยค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีของประเทศไทย (E) ทำให้ได้ค่าพลังงานรายปีของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 1,117.9 kWh/m^2 งานวิจัยนี้มีพื้นที่ของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 1.08 m^2 ดังนั้น

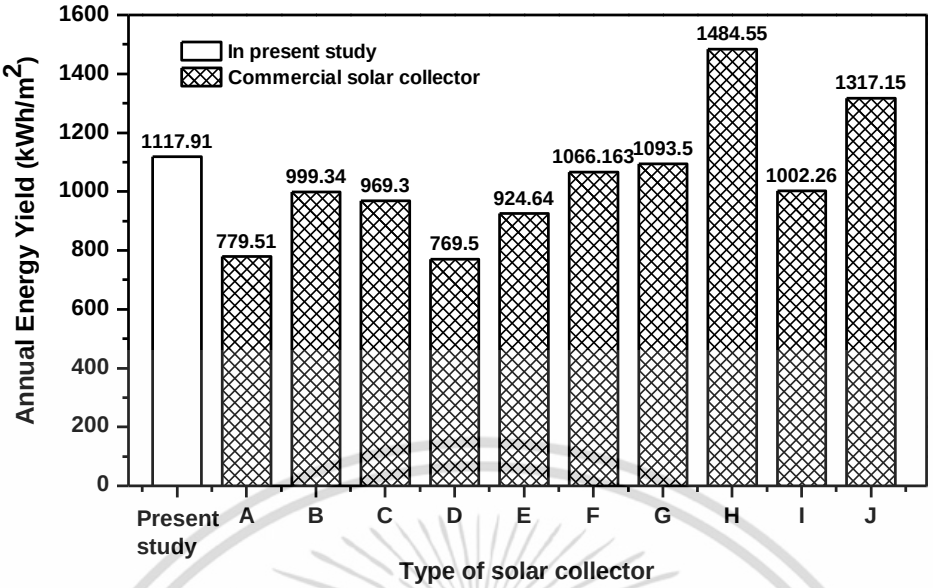
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ได้ค่าพลังงานรายปีที่ต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศนี้สามารถผลิตได้มีค่าเท่ากับ 1,207.3 kWh หรือ 4,346.3 MJ หรือคิดเป็นพลังงานที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน (16 ปี) มีค่าเท่ากับ 19,316.8 kWh หรือ 6,9540.5 MJ เมื่อทำการเปรียบเทียบพลังงานรายปีที่สามารถผลิตได้ต่อพื้นที่ 1 m^2 ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศในงานวิจัยนี้กับค่าพลังงานรายปีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ โดยคำนวณจากสมการสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ของทุกบริษัทดังตารางที่ 2 (บริษัท A-J) ผ่านตัวแปรต่างๆ ในตารางที่ 1 [8] ผลการคำนวณค่าพลังงานความร้อนรายปีของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศจากงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับค่าพลังงานความร้อนรายปีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จากบริษัทต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าค่าพลังงานความร้อนรายปีที่สามารถผลิตได้ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์สุญญากาศเปรียบเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบบริษัท A-H มีค่าพลังงานความร้อนรายปีที่ผลิตได้สูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบของบริษัท A-G ยกเว้นบริษัท H และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศชนิด Heat Pipe ของบริษัท I และ J นั้น พบว่าต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศนี้สามารถให้ค่าพลังงานความร้อนรายปีอยู่ระหว่างค่าพลังงานความร้อนรายปีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ของบริษัท I และ J นอกจากนี้ค่าพลังงานความร้อนรายปีที่ผลิตได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทุกชนิดสอดคล้องกับผลสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมรรถนะทางความร้อนของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้อะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในเชิงพาณิชย์ที่ผ่านการทดสอบโดยวิทยาลัยพลังงานทดแทน [8]

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้อะลูมิเนียมอะโนไดซ์	
ความหนา 11.8 ไมโครเมตร	$\eta = 0.72 - 15.83(T_i-T_a)/G_t$
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	
Company A	$\eta = 0.57 - 21.91(T_i-T_a)/G_t$
Company B	$\eta = 0.62 - 10.37(T_i-T_a)/G_t$
Company C	$\eta = 0.64 - 16.24(T_i-T_a)/G_t$
Company D	$\eta = 0.45 - 3.60(T_i-T_a)/G_t$
Company E	$\eta = 0.65 - 21.81(T_i-T_a)/G_t$
Company F	$\eta = 0.65 - 9.23(T_i-T_a)/G_t$
Company G	$\eta = 0.66 - 8.40(T_i-T_a)/G_t$
Company H	$\eta = 0.88 - 8.84(T_i-T_a)/G_t$
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศ Heat Pipe	
Company I	$\eta = 0.57 - 0.54(Tm^*)-0.0036\ G_t\ (Tm^*)^2$
Company J	$\eta = 0.80 - 2.77(Tm^*)-0.0200\ G_t\ (Tm^*)^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



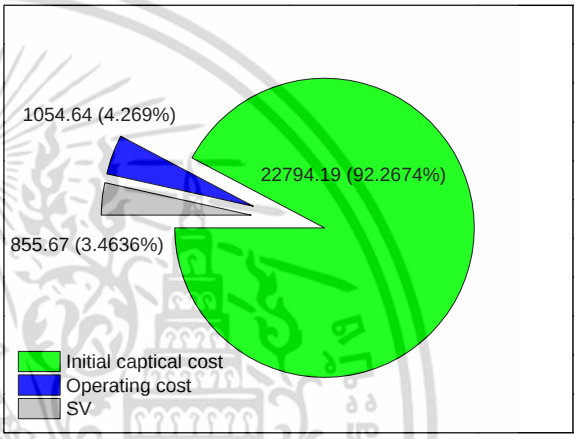
รูปที่ 4 ค่าพลังงานความร้อนรายปีที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตได้

การผลิตพลังงานความร้อนรายปีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนน้อยกว่า 500 kWh/m^2 2) มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนตั้งแต่ 501-899 kWh/m^2 3) มีความ สามารถในการผลิตพลังงานความร้อนมากกว่า 900 kWh/m^2 [8] เห็นได้ว่าต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศรูปแบบใหม่ มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนอยู่ในช่วงที่ 3 ที่สามารถผลิตได้มากกว่า 900 kWh/m^2 ซึ่งเป็นกลุ่มที่สามารถผลิตความร้อนได้สูงสุด ดังนั้น สรุปได้ว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้อะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ มีศักยภาพในการผลิตพลังงานความร้อนหรือน้ำร้อนสำหรับการใช้งานในภาคครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรมและอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนเช่นเดียวกันกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

การประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิต (LCC) ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศรูปแบบใหม่ที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ พิจารณาจากต้นทุนและผลประโยชน์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มาทำการวิเคราะห์ โดยต้นทุนของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยต้นทุน 2 ส่วน ดังแสดงในตารางที่ 3 ส่วนแรก คือ เงินลงทุนเริ่มต้น (ค่าลงทุนอุปกรณ์และแรงงานในการติดตั้งระบบ) ประกอบด้วย ค่าอุปกรณ์ชุดผลิตน้ำร้อน 12,053.60 บาท และค่าแผ่นอะลูมิเนียม 770.80 บาท ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองชนิดมีความจำเป็นต้องนำเข้าจากประเทศจีนส่งผลให้มีค่าขนส่งสินค้าและค่าดำเนินการต่างๆ รวมเป็นเงิน 9,600.00 บาท ค่ากระบวนการทำฟิล์มอะโนไดซ์บนแผ่นอะลูมิเนียม 369.79 บาท รวมเงินลงทุนเริ่มต้นเท่ากับ 22,794.19 บาท โดยสามารถคิดเป็นร้อยละของเงินลงทุนเริ่มต้นตามแต่ละรายการเรียงลำดับสัดส่วนเงินลงทุนจากมากไปน้อยได้ดังต่อไปนี้ ค่าอุปกรณ์ชุดผลิตน้ำร้อน ร้อยละ 52.88 ค่าขนส่งสินค้าและค่าดำเนินการต่างๆ ร้อยละ 42.12 ค่าแผ่นอะลูมิเนียม ร้อยละ 3.38 และค่ากระบวนการทำฟิล์มอะโนไดซ์ ร้อยละ 1.62 ตามลำดับ และต้นทุนในการดำเนินการหรือบำรุงรักษาระบบเท่ากับร้อยละ 0.5 ของมูลค่าการลงทุน หรือ 1,054.64 บาท และส่วนที่สองคือผลประโยชน์ประกอบด้วยมูลค่าซากปีสุดท้ายของระบบ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 10 ของมูลค่าการลงทุน เท่ากับ 855.67 บาท ผลประโยชน์ที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ คือมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้โดยได้จากการเปรียบเทียบมูลค่าของไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนในปริมาณที่เท่ากัน ผลการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิต (LCC) ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 22,993 บาท สามารถคิดเป็นสัดส่วนร้อยละของต้นทุนวัฏจักรชีวิต (รูปที่ 5) พบว่าร้อยละ 92.27 คือเงินลงทุนเบื้องต้นซึ่งถือเป็นต้นทุนหลักของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สำหรับร้อยละ 4.37 คือค่าบำรุงรักษา และร้อยละ 3.46 คือมูลค่าซาก (ผลประโยชน์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาต้นทุนวัฏจักรชีวิตของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศรูปแบบใหม่ พบว่ามีค่าที่ต่ำกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของบริษัท I, II และ III ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4 และ รูปที่ 6 เนื่องจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ ส่งผลให้มีราคาสูงตามไปด้วย อันเนื่องมาจากต้นทุนการผลิต ค่าขนส่งและภาษีนำเข้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของท่อดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่เป็นหัวใจหลักในการเปลี่ยนรังสีอาทิตย์ให้เป็นความร้อน ซึ่งเมื่อมีการแตกหักหรือสูญเสียความเป็นสุญญากาศแล้วจำเป็นต้องเปลี่ยนทั้งชุดท่อสุญญากาศ สำหรับต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศรูปแบบใหม่นี้ที่ประยุกต์ใช้อะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ มีข้อได้เปรียบคือสามารถผลิตได้เองด้วยวัตถุดิบและเทคโนโลยีภายในประเทศ ทำให้ราคาต้นทุนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าลดลง และที่สำคัญเมื่อเกิดการแตกหักเสียหายของท่อสุญญากาศ ก็สามารถเปลี่ยนเพียงท่อแก้วสุญญากาศใสเท่านั้น ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนในส่วนของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ทำให้ค่าบำรุงรักษามีค่าลดลงตามไปด้วย และจากราคาที่ถูกลงส่งผลให้ภาครัฐและภาคเอกชนมีความสนใจในการลงทุนติดตั้งระบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์มากยิ่งขึ้น ทำให้การใช้พลังงานทดแทนภายในประเทศมีการเติบโตมากขึ้น รวมถึงเป็นการกระตุ้นให้ภาคอุตสาหกรรมอะลูมิเนียมและอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนมีการเติบโตทางธุรกิจตามไปด้วย



รูปที่ 5 ร้อยละของต้นทุนวัฏจักรชีวิตของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศรูปแบบใหม่

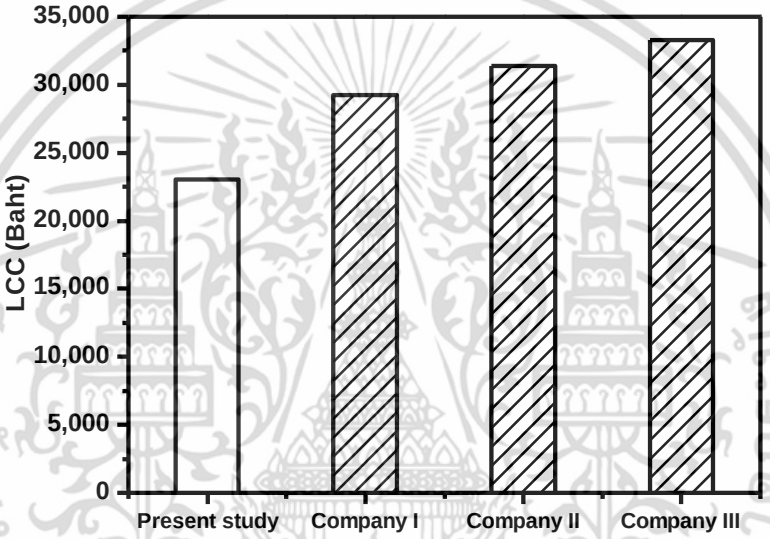
ตารางที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่าตัวแปร	หน่วย
เงินลงทุนเริ่มต้น	C_C	22,794.19	บาท
ต้นทุนในการดำเนินการ	C_n	1,054.64	บาท
มูลค่าซากปีที่สุดท้ายของโครงการ	SV	855.67	บาท
พลังงานที่สามารถผลิตได้ในแต่ละปี	E_n	1,207.97	kWh/ปี
อัตราดอกเบี้ย หรือ อัตราคิดลด	i	6.75	ร้อยละ
อายุการใช้งานโครงการ	n	16	ปี
จำนวนปีที่สิ้นสุดโครงการ	N	15	ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบต้นทุนวัฏจักรชีวิตของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศรูปแบบใหม่กับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์

Type	เงินลงทุนเริ่มต้น (C_o)	ต้นทุนดำเนินการ (C_n)	มูลค่าซากปีสุดท้าย (SV)	ต้นทุนวัฏจักรชีวิต (LCC)
Present study	22,794.19	1,054.64	855.67	22,993.16
company I	29,000.00	1,341.76	1088.63	29,253.13
company II	31,200.00	1,352.06	1171.21	31,380.85
company III	33,000.00	1,526.83	1238.78	33,288.04



รูปที่ 6 ต้นทุนวัฏจักรชีวิตของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศและตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการคำนวณค่าพลังงานความร้อนรายปีและการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศรูปแบบใหม่ที่ประยุกต์ใช้อะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ พบว่าค่าพลังงานความร้อนรายปีมีค่าเท่ากับ 1,117.9 kWh/m^2 ซึ่งเป็นค่าที่มีศักยภาพเทียบเท่าค่าพลังงานความร้อนรายปีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ สำหรับผลการประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิต พบว่าต้นทุนวัฏจักรชีวิตหลักของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศรูปแบบใหม่นี้มาจากเงินลงทุนเริ่มต้น (92.27%) โดยมีค่าต้นทุนวัฏจักรชีวิต (LCC) เท่ากับ 22,993 บาท ซึ่งมีค่าต่ำตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่มีจำหน่ายทั่วไปในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่ในประเทศไทยนำเข้ามาจากต่างประเทศส่งผลให้ต้นทุนสูงตามไปด้วย ดังนั้น สรุปได้ว่าต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศรูปแบบใหม่ที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ มีศักยภาพทั้งทางด้านพลังงานความร้อนที่ผลิตได้รายปีและทางเศรษฐศาสตร์ ที่สามารถแข่งขันในด้านเทคนิคและเชิงพาณิชย์กับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด เพื่อใช้เป็นระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตพลังงานความร้อนหรือน้ำร้อนในภาคครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรมและอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.)-ปริญญาโท ปี 2557 (MSD57I0148) และสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ผ่านทุนงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปี 2558 (R2558B006) ที่สนับสนุนทุนวิจัยตลอดทั้งโครงการ และขอขอบคุณบริษัท แอลเมท ไทย จำกัด สำหรับการเป็นผู้ร่วมให้ทุนและให้การสนับสนุนในการเตรียมชิ้นงานอะลูมิเนียมอะโนไดซ์ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับความอนุเคราะห์สถานที่ทำงานวิจัย เครื่องมือ และอุปกรณ์ทดสอบ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Bureau of Solar Energy Development and Department of Alternative Energy Development and Efficiency. "Solar Energy Technology," [Online], Available from http://www.dede.go.th/dede/.../usr/.../solar%20energy%20technology_paper.pdf, Cited 7 April 2556.

[2] J.A. Duffie and W.A. Beckman, Solar engineering of thermal processes, 3rd ed., Editor. 2006, Hoboken, N.J. Wiley, 2006.

[3] C.E. Kennedy, " Review of Mid to High Temperature Solar Selective Absorber Materials," National Renewable Energy Laboratory (NREL). (Colorado,.NREL/TP-520-31267), 2002.

[4] S.A. Kalogirou, "Solar thermal collectors and applications," in Progress in Energy and Combustion Science, pp.231-295, 2004.

[5] A. Wazwaz, J. Salmi and R. Bes, " The effects of nickel-pigmented aluminium oxide selective coating over aluminium alloy on the optical properties and thermal efficiency of the selective absorber prepared by alternate and reverse periodic plating technique," Energy Conversion and Management, vol.51, pp.1679-1683, 2010.

[6] P. Nunocha, T. Suriwong and T. Threrujirapapong, " Development and application of anodized aluminium for selective absorber in evacuated tube collector (ETC) ," Naresuan University Journal: Science and Technology, vol.22, No.2, pp.75-84, 2557.

[7] P. Nunocha and T. Suriwong, " Economic Evaluation of Applying Anodized Aluminium as Solar Absorber in Evacuated Tube Collector (ETC)," The 7th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-7), Rajamangala University Of Technology Rattanakosin Hua Hin campus Prachuapkhirikhan , 2557.

[8] C. Sirisamphanwong, R. Ngoenmeesri, N. Ketjoy and W. Cham sa-ard," Determination of Annual Energy Yield of Solar Collector", Naresuan University journal, vol.20, pp.16-23, 2555.

[9] K. Kongcharoen and T. Jitsanguan, "Economic Analysis of Project Investment on Hot WaterProduction from Integrated Solar Energy System : Case Study of Klang Hospital, Rayong Province," The 44th Kasertsart University Annual Conference, Kasertsart University Bangkok, pp.644-651, 2549.

[10] C. Suttibud , “Life cycle assessment and life cycle costing of Jatropha curcas biodiesel production," in Industrial Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai, 2552.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] W. Malee, “Life cycle environmental and costing assessment of proton exchange membrane fuel cell stack", Master thesis, M. Eng., Chiang Mai University Chiang Mai, 2553.

[12] Kasikorn Bank " Minimum Loan Rate", [Online], Available from http://www.kasikornbank.com/ TH/RatesAndFees/ Lending/Pages/Lending.aspx, Cited 19 February 2558.

[13] Electricity Generating Authority of Thailand, " Solar resource map of Thailand (2542)", [Online], Available from http://www3.egat.co.th /re/egat_pv/sun_thailand.htm, Cited 25 August 2557.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้