



การประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ของการประยุกต์ใช้อะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ
Economic Evaluation of Applying Anodized Aluminium as Solar Absorber in Evacuated Tube Collector (ETC)

พรนิภา นุโนชา¹, ธวัช สุริวงษ์¹

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

E-mail: pornnipa.n@gmail.com, tawats@nu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์ที่ผ่านกระบวนการทำอะโนไดซ์ที่มีการเติมธาตุ निकิลในชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ (Ni-Al₂O₃) หรือแผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์ มาประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โดยต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ จากปกติที่เคลือบบนผิวด้านนอกของท่อแก้วชั้นในมาเป็นที่ตั้งของแผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์ที่ทำหน้าที่ในการนำความร้อนจากตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ไปยังท่อนำความร้อน (Heatpipe) ผลการทดลองพบว่าแผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α) เท่ากับ 0.94 และต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้อะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด (η) มีค่าเท่ากับ 0.72 ผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยกำหนดให้อายุการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เท่ากับ 16 ปี สำหรับต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (LCC) พบว่าเงินลงทุนเริ่มต้นมีค่า 22,794 บาท ต้นทุนในการดำเนินงานมีค่า 1,055 บาท มูลค่าซากปีสุดท้ายมีค่า 856 บาททำให้ค่าต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตเท่ากับ 22,993 บาท และสำหรับต้นทุนพลังงาน (LCOE) พบว่าค่าพลังงานรายปีมีค่า 1,207 kW*h เมื่อคำนวณต้นทุนพลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตมีค่าเท่ากับ 1.23 บาท/kW*h สรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ร่วมกับการนำความร้อนในตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศนั้นมีความเป็นไปได้ในทางเทคนิคและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับนำมาใช้ในระบบการผลิตน้ำร้อน

คำสำคัญ: ตัวเก็บรังสีอาทิตย์; อะลูมิเนียม; ตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์; ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต; ต้นทุนพลังงาน

1. บทนำ

สถานการณ์พลังงานประเทศไทยปี 2556 รายงานว่ามีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.6 น้ำมันสำเร็จรูปมีการใช้ในสัดส่วนที่สูงกว่าพลังงานชนิดอื่น คิดเป็นร้อยละ 47.8 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด สาขาอุตสาหกรรมเป็นสาขาเศรษฐกิจที่ใช้พลังงานในสัดส่วนที่สูงกว่าสาขาอื่นๆ ร้อยละ 36.4 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด[1]จากสถานการณ์ดังกล่าวส่งผลให้ประเทศไทยมีความจำเป็นต้องจัดหาพลังงานทดแทนเพื่อใช้แทนน้ำมัน รัฐบาลจึงมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ โดยได้มีการปรับปรุงแผนพัฒนาและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน 15 ปี เป็นแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (2555-2564) เพื่อผลักดันให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น ในรูปไฟฟ้า ความร้อน และเชื้อเพลิงชีวภาพ[2]

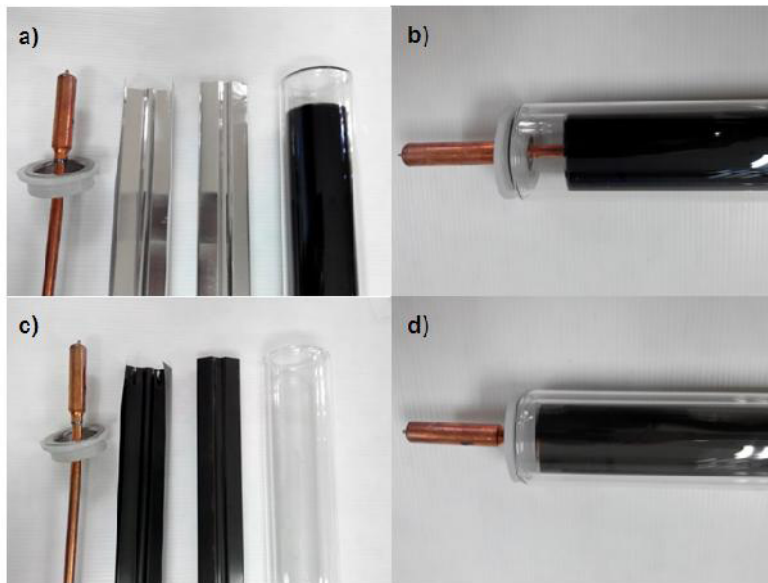
พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานจากธรรมชาติที่มีความสะอาดปราศจากการก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์จำแนกเป็นสองด้านหลักๆ คือ การผลิตไฟฟ้าและการผลิตความร้อน โดยเทคโนโลยีการผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์คือ การใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) มาผลิตน้ำร้อนเพื่อนำไปใช้ในการอุปโภค บริโภค สามารถจำแนกได้สองประเภทตามระดับอุณหภูมิที่ใช้งานคือระบบผลิตความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 100°Cและระบบผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีการนำมาใช้ในประเทศไทยแล้วไม่น้อยกว่า 25 ปี ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถจำแนกประเภทได้ตามการติดตามดวงอาทิตย์ (Tracking) และแบบที่ไม่มีการติดตามดวงอาทิตย์ (Stationary Collectors) ในปัจจุบันตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบไม่ติดตามดวงอาทิตย์เป็นที่ยอมรับและได้มีการนำมาใช้ในการผลิตน้ำร้อนสำหรับบ้านเรือน โรงแรม โรงพยาบาล อย่างกว้างขวาง ที่นิยมใช้คือตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat-plate collector, FPC) และแบบท่อสุญญากาศ (Evacuated tube collector, ETC) อย่างไรก็ตาม สำหรับประเทศไทยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทุกชนิดมีการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นหลักและผลิตเองในประเทศบางส่วน อีกทั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในประเทศยังคงมีราคาที่สูง [3-5]

จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีการใช้งานตัวเก็บรังสีอาทิตย์อย่างแพร่หลาย และหลากหลายประเภทอีกทั้งมีการคิดค้นออกแบบและพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบใหม่ขึ้นมากมาย เพื่อลดค่าใช้จ่าย ลดการสูญเสียความร้อนและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานให้กับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เทคโนโลยีการเคลือบสารเลือกรับรังสีหลายวิธี เข้ามามีบทบาทเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ลดการสูญเสียความร้อนรวมไปถึงลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา แต่เนื่องด้วยเป็นเทคโนโลยีขั้นสูง จึงทำให้ราคาสูงตามไปด้วยจากปัญหาดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงทำการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์จากเดิมที่เคลือบบนผิว

ด้านนอกของท่อแก้วชั้นใน มาเป็นเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมและใช้งานร่วมกับท่อแก้วสุญญากาศ 2 ชั้นเพื่อให้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์ทำหน้าที่นำความร้อนจากท่อแก้วชั้นในไปยังท่อความร้อน (Heat pipe) ซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยไม่มีการเคลือบสารเลือกรับรังสีอาทิตย์บนท่อแก้ว ในงานวิจัยนี้มีการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วยต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต(Life Cycle Cost, LCC) และต้นทุนพลังงาน (Levelized Cost of Energy, LCOE) ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ

2.วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินความเป็นไปได้และความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของการนำเอาแผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์ที่มีการเติมธาตุ निकเกิลในชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ ($Ni-Al_2O_3$) มาประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์มีส่วนประกอบหลักคือ ท่อนำความร้อน (heat pipe) แผ่นอะลูมิเนียม และท่อสุญญากาศสองชั้นที่มีการเคลือบสารเลือกรับรังสีอาทิตย์บนผิวด้านนอกของท่อแก้วชั้นใน (รูป1a) และเมื่อนำส่วนประกอบทั้งหมดมาประกอบเข้าด้วยกันทำให้ได้ท่อรับรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ (รูป1b) ในงานวิจัยนี้มีการเปลี่ยนตำแหน่งตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์จากผิวด้านนอกของท่อแก้วชั้นในมาที่แผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการอะโนไดซ์ที่มีการเติมธาตุ निकเกิลในชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์เพื่อให้มีสมบัติเป็นสารเลือกรับรังสีอาทิตย์หรือเรียกว่าแผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์ และใช้ท่อแก้วสุญญากาศสองชั้นแบบใส (รูป 1c) รูป1d แสดงการประกอบต้นแบบท่อรับรังสีอาทิตย์มีการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ นำต้นแบบท่อรับรังสีอาทิตย์จำนวน 15 ท่อ มาประกอบเข้ากับชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เปลี่ยนตำแหน่งของการเคลือบสารเลือกรับรังสีอาทิตย์นี้ ตามมาตรฐาน ISO 9806-1 เพื่อหาสมการสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และนำสมการสมรรถนะเชิงความร้อนมาคำนวณหาค่าพลังงานที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถผลิตได้ต่อปีและตลอดอายุการใช้งาน



รูปที่ 1: a-b) ส่วนประกอบและการประกอบท่อรับรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่มีการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์
c-d) ส่วนประกอบและการประกอบต้นแบบท่อรับรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่มีเปลี่ยนตำแหน่งตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์

จากนั้นทำการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Method) เพื่อที่พิจารณาความเหมาะสมของโครงการโดยใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ได้ผลการศึกษาที่เป็นการวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้ 1) วิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Benefit-Cost Analysis) โดยมูลค่าของต้นทุนและผลประโยชน์ที่คำนวณได้ในขั้นต้นเป็นราคาปีที่ 0 นำมาปรับมูลค่าเป็นราคาปัจจุบันสุทธิโดยการใช้อัตราดอกเบี้ยที่กำหนดโดยธนาคารกสิกรไทย[6][2] วิเคราะห์ความคุ้มค่าของของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Project Analysis)

โดยการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost, LCC)เป็นการประเมินต้นทุนที่เกิดขึ้นตลอดช่วงอายุการใช้งานโดยในงานวิจัยนี้ทำการพิจารณาจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนอุปกรณ์ แรงงานในการติดตั้งระบบ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และกำหนดให้อายุการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 16 ปีเท่านั้น[7]ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1[8, 9] และการประเมินต้นทุนพลังงาน (Levelized Cost of Energy, LCOE)เป็นการหาราคาพลังงานเฉลี่ยตลอดอายุการใช้งาน โดยนำต้นทุนที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานซึ่งในงานวิจัยนี้ มีการพิจารณาในส่วนของค่าใช้จ่ายในการลงทุนอุปกรณ์ แรงงานในการติดตั้งระบบ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา นำค่าใช้จ่ายทั้งหมดนี้มาปรับคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิเทียบกับพลังงานที่สามารถผลิตได้ทั้งหมดทำให้ได้ราคาเฉลี่ยของต้นทุนพลังงาน โดยถ้าวัดค่า LCOE ค่าแสดงว่า

ต้นทุนต่อราคาพลังงานมีค่าต่ำ และถ้ามีค่าต่ำกว่าต้นทุนพลังงานปัจจุบันแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูงทั้งทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์
สมการการคำนวณค่า LCOE แสดงในสมการที่ 2 [10-12]

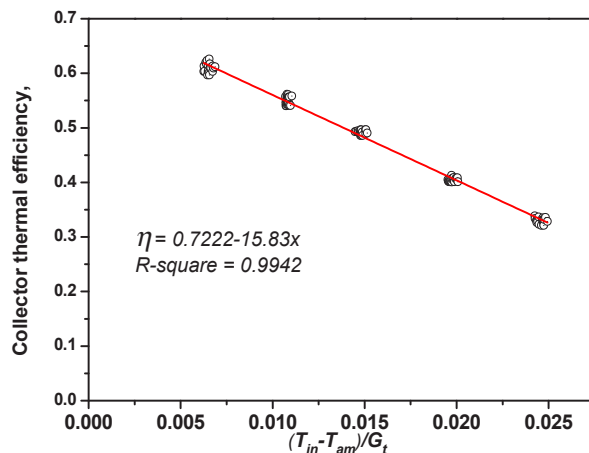
$$LCC = C_c + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+i)^n} - \frac{SV}{(1+i)^N} \quad (1)$$

$$LCOE = \frac{C_c + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+i)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{E_n}{(1+i)^n}} \quad (2)$$

- เมื่อ C_c = เงินลงทุนเริ่มต้น (Initial capital cost) (บาท)
 C_n = ต้นทุนในการดำเนินการ (Operating cost) ค่าซ่อมบำรุง เชื้อเพลิงและอื่นๆ 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

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ที่แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α) เท่ากับ 0.94 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด (η_o) ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 2 เมื่อพิจารณาว่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (U_L) มีค่าคงที่และไม่เปลี่ยนแปลง พบว่าค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดที่อุณหภูมิน้ำเข้ามีค่าเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($\Delta T = T_f - T_o = 0$) มีค่าเท่ากับ 0.72 และมีค่าผลคูณของแพ็คเกจการดึงความร้อนกับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมหรือค่าการสูญเสียความร้อน ($-F_R U_L$) เท่ากับ $-15.83 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (ความชันของกราฟ) และมีสมการสมรรถนะทางความร้อนของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นตรง คือ $\eta = 0.7222 - 15.83x$ เมื่อเปรียบเทียบกับ η_o ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้อะลูมิเนียมอะโนไดซ์กับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบท่อสุญญากาศจากงานวิจัย [13] ซึ่ง η_o มีค่า 0.676 และ 0.572 (second order equation) ตามลำดับ เห็นได้ว่าค่า η_o ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้อะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีค่าสูงกว่างานวิจัยที่มีผ่านมาสำหรับการพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ ($\eta = 0.55-0.70$) [13-15]



รูปที่ 2: ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ

การคำนวณค่าพลังงานรายปีของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์เก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ สามารถหาได้จากสมการสมรรถนะทางความร้อนของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งคำนวณผ่านพารามิเตอร์ต่างๆ ในตารางที่ 1 อันได้แก่ G_b , T_a , T_m และ T_o เมื่อคำนวณแล้วได้ค่าประสิทธิภาพ และ



คุณด้วยค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีของประเทศไทย (E) ค่าพลังงานรายปีของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ $1,117.9 \text{ kWh/m}^2$ เมื่อคุณด้วยพื้นที่ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 1.08 m^2 ทำให้ได้ค่าพลังงานที่ต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์นี้สามารถผลิตได้ตลอดปีมีค่าเท่ากับ $1,207.3 \text{ kWh}$ หรือ $4,346.4 \text{ MJ}$ การผลิตพลังงานความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนน้อยกว่า 500 kWh/m^2 2) มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนตั้งแต่ $501-899 \text{ kWh/m}^2$ 3) มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนมากกว่า 900 kWh/m^2 [16] เห็นได้ว่าต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนอยู่ในช่วงที่สามารถผลิตได้มากกว่า 900 kWh/m^2 ซึ่งเป็นกลุ่มที่สามารถผลิตความร้อนได้สูงสุด

ตารางที่ 1: ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าพลังงานรายปี [16]

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่าตัวแปร	หน่วย
ความเข้มรังสีอาทิตย์	G_t	800	W/m^2
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	T_a	30	$^{\circ}\text{C}$
อุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์	T_i	35	$^{\circ}\text{C}$
อุณหภูมิน้ำออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์	T_o	60	$^{\circ}\text{C}$
ค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีของประเทศไทย [17]	E	1,800	$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{year}$

ตารางที่ 2: ต้นทุนและผลประโยชน์ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์

รายละเอียด	มูลค่า(บาท)
ต้นทุน (Investment Cost)	
ค่าลงทุนอุปกรณ์ชุดผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ (ท่อไม่เคลือบสารเลือกรับรังสีอาทิตย์) ($380 \text{ USD} \times 31.72$)	12,053.6
ค่าอุปกรณ์แผ่นอะลูมิเนียม ($30 \times 0.81 \text{ USD} \times 31.72$) [18, 19]	770.80
ค่าอาหารขาเข้า ภาษีมูลค่าเพิ่ม	3,078.00
ค่าขนส่งจัดเก็บสินค้า	6,060.00
ค่า paper less	307.00
ค่า cargo ท่าเรือ	155.00
ค่าทำอะลูมิเนียมอะโนไดซ์ สารเลือกรับรังสีอาทิตย์ รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม [20]	369.79
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษา (Operating and Maintenance Cost)	1,054.64
ผลประโยชน์ (Benefit)	
พลังงานที่สามารถผลิตได้	69,542.95 MJ
มูลค่าซากปีสุดท้ายของโครงการ [21]	855.67

ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ มีการใช้ข้อมูลต้นทุนและผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 มาทำการวิเคราะห์โดยใช้ตัวชี้วัดความคุ้มค่าของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์คือต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (LCC) และการประเมินต้นทุนพลังงาน (LCOE) พิจารณาต้นทุนหรือรายจ่าย (Cost) ทางการเงินของโครงการประกอบด้วย ต้นทุน 2 ส่วน คือค่าลงทุนอุปกรณ์และแรงงานในการติดตั้งระบบ และค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (0.5% ของเงินลงทุนเบื้องต้น) [7] มีการพิจารณาผลประโยชน์ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในรูปแบบของพลังงานความร้อน โดยสามารถแสดงต้นทุนและผลประโยชน์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์ในแต่ละส่วนในตารางที่ 2 โดยพลังงานที่สามารถผลิตได้ตลอดวัฏจักรชีวิตเท่ากับ $69,543 \text{ MJ}$ และมูลค่าซากเท่ากับ 855 บาท (10% ของเงินลงทุนเบื้องต้น) [21] สำหรับค่าของตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์และการประเมินต้นทุนพลังงานแสดงในตารางที่ 3 โดยใช้เงินลงทุนเริ่มต้นและ ต้นทุนในการดำเนินโครงการ เท่ากับ 22,794 และ 1,055 ตามลำดับ ผลการคำนวณค่าต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (LCC) มีค่าเท่ากับ 22,993 บาท

ซึ่งเป็นค่าต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตที่ต่ำกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดที่มีราคาที่สูงกว่ามากเนื่องจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ ไม่สามารถผลิตได้ในประเทศ ส่งผลให้ต้องใช้เงินลงทุนที่สูงตามไปด้วย

ตารางที่ 3: ตัวแปรและข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่าตัวแปร	หน่วย
เงินลงทุนเริ่มต้น	C_c	22,794.34	บาท
ต้นทุนในการดำเนินการ[7]	C_n	1,054.64	บาท
มูลค่าซากปีที่สุดท้าย[21]	SV	855.67	บาท
พลังงานที่สามารถผลิตได้ในแต่ละปี	E_n	1,207.97	kWh/ปี
อัตราดอกเบี้ย หรือ อัตราคิดลด [6]	i	6.75	ร้อยละ
อายุการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์[7]	n	16	ปี
จำนวนปีที่สิ้นสุดการใช้งาน[7]	N	15	ปี

ผลจากการวิเคราะห์ค่าต้นทุนพลังงาน (LCOE) มีค่าเท่ากับ 1.23 บาท/kWh และเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนพลังงานกับต้นทุนพลังงานชนิดอื่นๆ ในตารางที่ 4 พบว่าต้นทุนพลังงานของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์นี้ มีค่าต่ำกว่าต้นทุนพลังงานเชิงพาณิชย์ ได้แก่ ก๊าซปิโตรเลียมเหลวและไฟฟ้า ซึ่งมีค่าต้นทุนพลังงานเท่ากับ 3.30 และ 3.93 บาท/kWh หรือมีต้นทุนพลังงานน้อยกว่า 62.72 และ 68.70% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทดแทนคือ แกลบ (0.18 บาท/kWh) พบว่าต้นทุนพลังงานของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์นี้มีค่าสูงกว่า เนื่องจากราคาแกลบที่นำมาคำนวณนี้ยังไม่มีการรวมค่าขนส่ง ปัจจุบันราคาแกลบในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยมีราคาไม่แน่นอนขึ้นกับค่าขนส่งเป็นหลัก และมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวล หรือเพื่อผลิตความร้อนอื่นๆ จากผลการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตและต้นทุนพลังงานของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สรุปได้ว่าต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์นี้มีศักยภาพในการแข่งขันในเชิงพาณิชย์เพื่อใช้เป็นระบบผลิตน้ำร้อนในครัวเรือนหรือในโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 4: ต้นทุนพลังงาน(LCOE) ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์เทียบกับชนิดพลังงานอื่นๆ

ชนิดพลังงาน	LCOE (บาท/kWh)
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์	1.23
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (ลิตร)	3.30
ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	3.93
แกลบ (กก.)	0.18

4. สรุปผลการทดลอง

จากการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์สูงเข้าใกล้อุดมคติและประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η) เท่ากับ 0.72 ผลการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบสุญญากาศมีต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (LCC) เท่ากับ 22,993 บาท และต้นทุนพลังงาน (LCOE) เท่ากับ 1.23 บาท/kWh เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนพลังงานกับต้นทุนพลังงานเชิงพาณิชย์ชนิดอื่นๆ เช่น ก๊าซปิโตรเลียมเหลวและไฟฟ้า พบว่าต้นทุนพลังงานของต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์นี้มีค่าต่ำกว่า 62.72 และ 68.70% ตามลำดับ ดังนั้นต้นแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศที่ประยุกต์ใช้แผ่นอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีศักยภาพในการแข่งขันในเชิงพาณิชย์เพื่อใช้เป็นระบบผลิตน้ำร้อนในครัวเรือนหรือในโรงงานอุตสาหกรรม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ)-ปริญญาโท ปี 2557 และสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช) ที่สนับสนุนทุนวิจัยผ่านทุนงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยตลอดทั้งโครงการและขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำงานวิจัย และอุปกรณ์ทดสอบต่างๆ



บรรณานุกรม

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน, 2556, "สถิติพลังงานของประเทศไทยปี 2556 (เบื้องต้น)," www.dede.go.th [7 สิงหาคม 2557].
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2555, "สถิติพลังงานของประเทศไทย(เบื้องต้น)," <http://www.dede.go.th> [7 เมษายน 2556].
- [3] Kennedy, C.E., 2002, "Review of Mid-to High-Temperature Solar Selective Absorber Materials," National Renewable Energy Laboratory (NREL), Colorado, NREL/TP-520-31267.
- [4] Kalogirou, S.A., 2004, "Solar thermal collectors and applications," Progress in Energy and Combustion Science, 30, p. 231-295.
- [5] Wazwaz, A., J. Salmi, R. Bes, 2010, "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. 51(8): p. 1679-1683.
- [6] บมจ.ธนาคารกสิกรไทย, "ดอกเบี้ยอ้างอิง ลูกค้ายรายใหญ่ขึ้นดี ประเภทเงินกู้แบบมีระยะเวลา (Minimum Loan Rate)," <http://www.kasikornbank.com> [11 ธันวาคม 2556]
- [7] กฤษณ์ คงเจริญ, ธันวา จิตต์สงวน, 2549, "การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนโครงการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ :กรณีศึกษา โรงพยาบาลกมล จังหวัดระยอง (Economic Analysis of Project Investment on Hot Water Production from Integrated Solar Energy System : Case Study of Klang Hospital, Rayong Province)," กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, p. 644-651.
- [8] ชลธิชา สุทธิบุตร, 2552, "การประเมินวัฏจักรชีวิตและต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลจากสับปะรด," วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [9] วรลักษณ์ มาลี, 2553, "การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม และต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของชุดหอเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน," วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [10] Hernandez Moro, J.J.M. Martinez Duart, 2013, "Analytical model for solar PV and CSP electricity costs: Present LCOE values and their future evolution," Renewable and Sustainable Energy Reviews. 20(0): p. 119-132.
- [11] Branker, K., M.J.M. Pathak, J.M. Pearce, 2011, "A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity," Renewable and Sustainable Energy Reviews. 15(9): p. 4470-4482.
- [12] Kornbluth, K., J. Greenwood, E. Jordan, Z. McCaffrey, P.A. Erickson, 2012, "Economic feasibility of hydrogen enrichment for reducing NOx emissions from landfill gas power generation alternatives: A comparison of the levelized cost of electricity with present strategies," Energy Policy. 41(0): p. 333-339.
- [13] Zambolin, E.D. Del Col, 2010, "Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions," Solar Energy. 84(8): p. 1382-1396.
- [14] Ma, L., Z. Lu, J. Zhang, R. Liang, 2010, "Thermal performance analysis of the glass evacuated tube solar collector with U-tube," Building and Environment. 45(9): p. 1959-1967.
- [15] Yong, K.S. Taebeom, 2007, "Thermal performances comparisons of the glass evacuated tube solar collectors with shapes of absorber tube," Renewable Energy. 32(5): p. 772-795.
- [16] ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์, รัฐพร เงินมีศรี, นิพนธ์ เกตุจ้อย, วิสุทธิ์ แซ่มสะอาด., 2555, "การประเมินค่าพลังงานความร้อนรายปีที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ผลิตได้," Naresuan University journal. 20(1): p. 16-23.
- [17] กองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายแผนงานพัฒนาโรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2554, "แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542)," <http://www3.egat.co.th> [25 สิงหาคม 2557].
- [18] ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด(มหาชน), "อัตราแลกเปลี่ยนประจำวัน," <http://www.krungsri.com>



[23 พฤศจิกายน 2556].

- [19] HAINING SUNSHINE TRADE CO., L., 23 พฤศจิกายน 2556, "COMMERCIAL INVOICE," 122 LIANHONG RD, YUAN HUA TOWN, HAINING CITY, ZHEJIANG.
- [20] พีระ โฆษิตวีร์วัฒน์, 2557, "ราคาเคลือบสารเลือกรับรังสีอาทิตย์(อะโนไดซ์)," สมุทรปราการ: บริษัท แอลเมทไทย จำกัด.
- [21] อนุรักษ์ ตรีเพชร, พิชัย นามประกาย, 2553, "การศึกษาสมรรถนะเครื่องกลั่นน้ำรูปทรงพีระมิดที่เสริมด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์แผ่นราบและหมุนวนน้ำด้วยวาล์วลอย (Study on performance of a pyramid-like solar still with an auxiliary flat-plate collector and circulating water by a floating valve)," Proceedings of the 48th Kasetsart University Annual Conference: Architecture and Engineering, 188-195.