



คุณลักษณะจำเพาะของฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีการเติมธาตุดีบุกบนท่ออะลูมิเนียมเพื่อใช้เป็นตัวรับรังสีอาทิตย์
Characterization of Tin-pigmented Aluminium Oxide Films on Aluminium Tube for Using as Solar Receiver

ธวัช สุริวงษ์¹, จิตติพร เจาะจง¹, ชานนท์ บุญมีพิพิธ¹, สุชฤดี สุขใจ¹, ทศพล ตริรุจิริภาพงค์²

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิษณุโลก 65000 E-mail: tawats@nu.ac.th

²สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาคุณลักษณะเฉพาะของท่ออะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการ อะโนไดซ์โดยมีการเติมธาตุดีบุกลงในชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ (Sn-Al₂O₃) เพื่อใช้เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่มีสมบัติเป็นสารเลือกัรับรังสีอาทิตย์ มีการวิเคราะห์ความหนาของฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสี (Reflectance, R) ที่ช่วงความยาวคลื่น 250 ถึง 2,500 นาโนเมตร ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และ Ultraviolet-Visible-NearInfrared Spectrophotometer ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์มีผิวสีดำเข้ม มีความมันวาวน้อย ความหนาเฉลี่ยของชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีธาตุดีบุกในชั้นฟิล์มเท่ากับ 18.9 ไมโครเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α) เท่ากับ 0.078 และ 0.92 ตามลำดับ สำหรับค่าการสูญเสียความร้อน (Heatloss) ของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีค่าที่ต่ำ โดยค่าการสูญเสียความร้อนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.166 วัตต์/เมตรที่ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($T_{abs} - T_{amp} = \Delta T$) เท่ากับ 53.3°C สรุปได้ว่า ท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์ที่มีการเติมธาตุดีบุกในชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์สามารถประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรังสีอาทิตย์ได้

คำสำคัญ: ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector); อะลูมิเนียม (Aluminium); ตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Solar absorber); ตัวรับรังสีอาทิตย์ (Solar receiver); ค่าการสูญเสียความร้อน (Heatloss)

1. บทนำ

ปัจจุบันโลกของเรามีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องส่งผลทำให้วิถีชีวิตและกิจกรรมต่างๆของผู้คนมีความผูกพันและพึ่งพาการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น ขณะนี้การใช้พลังงานไฟฟ้ามีปริมาณ 1 ใน 3 ของการใช้พลังงานทั้งหมด และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ทุกประเทศถือเป็นเรื่องสำคัญเรื่องหนึ่งที่เป็นยุทธศาสตร์ของชาติ เพื่อให้มีความมั่นคงทางด้านพลังงานไฟฟ้าอย่างยั่งยืน [1-2] ดังนั้นการที่ประเทศไทยต้องการมีความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าแบบยั่งยืนและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อเพิ่มคาร์บอนเครดิตของประเทศ ส่งผลให้พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียนเข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้นในความพยายามแก้ปัญหาดังกล่าวพลังงานแสงอาทิตย์นับเป็นพลังงานทดแทนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดชนิดหนึ่งในบรรดาพลังงานทดแทนทั้งหมดในปัจจุบัน สำหรับประเทศไทยพื้นที่ทั้งหมดของประเทศมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูง คือได้รับค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีมีค่าสูงถึง 19-20 MJ/m²-day และ 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วง 18-19 MJ/m²-day [3,4] ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกแรกๆ ที่เหมาะสมกับประเทศไทย ทั้งเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าและเทคโนโลยีผลิตความร้อน สำหรับเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้ามี 2 แบบด้วยกันคือ เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell) ซึ่งปัจจุบันมีโรงไฟฟ้าประเภทนี้อยู่หลายแห่งและกระจายอยู่ทั่วทุกภาคในประเทศ และประเภทที่สองคือ เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงชนิดรางพาราโบลา (Parabolic trough collector) โดยนำความร้อนที่ได้จากการรวมรังสีอาทิตย์จากรางพาราโบลาลงบนท่อรับรังสีอาทิตย์ (receiver tube หรือ absorber tube) ที่บริเวณผิวท่อถูกเคลือบด้วยวัสดุดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (absorber coating) มาถ่ายโอนความร้อนให้กับของไหลที่ไหลภายในท่อรับรังสีอาทิตย์จนมีอุณหภูมิและความดันสูง แล้วนำของไหลที่มีอุณหภูมิและความดันสูงนี้มาหมุนกังหันไอน้ำเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยประสิทธิภาพของอุปกรณ์สามารถทำอุณหภูมิของน้ำหรือน้ำมันได้สูงถึง 60-300°C [5-7] ทั้งนี้หนึ่งในอุปกรณ์หลักของเทคโนโลยีประเภทการรวมแสงอาทิตย์ คืออุปกรณ์รับรังสีอาทิตย์ที่บริเวณผิวถูกเคลือบด้วยวัสดุดูดกลืนรังสีอาทิตย์ หากตัวรับรังสีอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงก็สามารถนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้ แต่อย่างไรก็ตามประเทศไทยมีการนำเข้าอุปกรณ์ดังกล่าวมาจากต่างประเทศเกือบทั้งหมดทำให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีราคาที่สูง และปัจจุบันไม่สามารถผลิตภายในประเทศได้จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการรายงานผลการใช้อะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการทำอะโนไดซ์และมีการเติมธาตุดีบุกลงในชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ (Ni-Al₂O₃) เพื่อใช้เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่มีสมบัติเป็นสารเลือกัรับรังสีอาทิตย์ (Selective solar absorber) สำหรับอุณหภูมิปานกลาง (300-500°C) [8-10] Kennedy C.E. รายงานสารเลือกัรับรังสีอาทิตย์สำหรับงานทางด้านระบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสง (Concentrating solar power, CSP) ที่มีอุณหภูมิการใช้งานที่สูงกว่า 500°C เช่น Co-Al₂O₃, Mo-Al₂O₃, W-Al₂O₃, Pt-Al₂O₃ และ Al₂O₃-Pt-Al₂O₃ โดยมีการเตรียมด้วยเทคนิค RF sputtering และ Chemical vapor

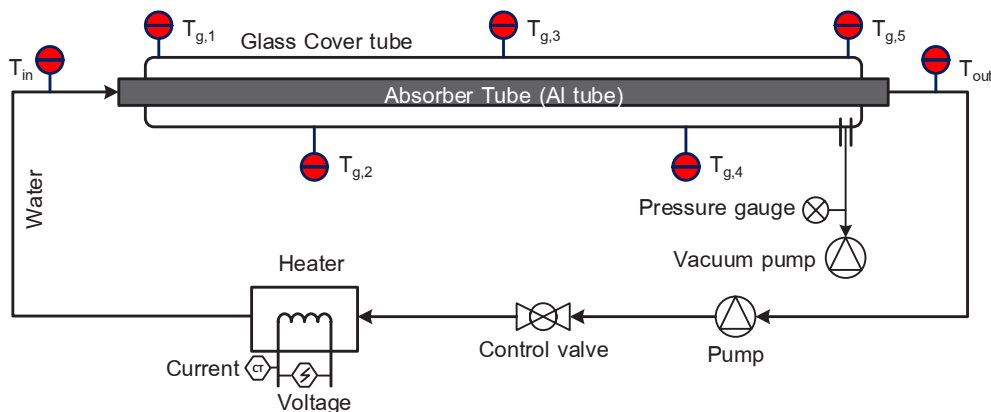
deposition (CVD)[10] เห็นได้ว่างานวิจัยที่ผ่านมา มีการใช้ธาตุเคมีหลายชนิดมาเติมลงบนชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ และใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย แต่ยังไม่มีการรายงานผลการเติมธาตุดีบุกลงบนชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ ($\text{Sn-Al}_2\text{O}_3$) ด้วยกระบวนการอะโนไดซ์ เพื่อนำมาใช้เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์สำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงชนิดรางพาราโบลา ซึ่งเป็นการพัฒนาและเลือกใช้วัสดุภายในประเทศที่สามารถนำมาเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์และเคลือบวัสดุดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ รวมทั้งมีศักยภาพที่ผลิตได้ภายในประเทศเมื่อเทียบกับเทคนิคการเตรียมอื่นๆ เพื่อลดต้นทุนการผลิตอุปกรณ์ชุดนี้ รวมทั้งมีเทคโนโลยีและนวัตกรรมเป็นของตนเองเพื่อพัฒนาศักยภาพการแข่งขันในตลาดโลก และอยู่บนแนวทางของเศรษฐกิจแบบพอเพียง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์หาคุณลักษณะเฉพาะของท่ออะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการทำอะโนไดซ์ โดยมีการเติมธาตุดีบุกลงในชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ ($\text{Sn-Al}_2\text{O}_3$) เพื่อใช้เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่มีสมบัติเป็นสารเลือกรับรังสีอาทิตย์ทำการวิเคราะห์และทดสอบค่าการสูญเสียความร้อน (Heat loss) ของท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์ที่ใช้เป็นตัวรับรังสีอาทิตย์ (Solar receiver) สำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงชนิดรางพาราโบลา

2. วิธีการทดลอง

ท่ออะลูมิเนียมเกรด 6063 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 0.0254 เมตรหนา 3×10^{-3} เมตรและยาว 1.5 เมตร นำไปผ่านกระบวนการทำฟิล์มอะโนไดซ์ที่มีการเติมธาตุดีบุก (Tin, Sn) ลงในชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ (Tin-pigmented aluminium oxide, $\text{Sn-Al}_2\text{O}_3$) หรือเรียกว่าท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์ ณ บริษัท บางปูซูบเคเลือบผิว จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ เพื่อใช้เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในชุดท่อรับรังสีอาทิตย์สำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงชนิดรางพาราโบลาทำการวิเคราะห์ความหนาของฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ของท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น JEOL JSM-5910 โดยมีการทำงานที่ 12 kV สำหรับค่าการสะท้อนรังสี (Reflectance, R) ของท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Ultraviolet-Visible-Near Infrared Spectrometer รุ่น Shimadzu UV-3101PC spectrophotometer ในช่วงความยาวคลื่น 250-2,500 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นเดียวกับช่วงความยาวคลื่นรังสีอาทิตย์การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Solar absorptance, α) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) เมื่อ $R(\lambda)$ คือสเปกตรัมของการสะท้อนแสงของผิวตัวอย่าง และ $I_{\text{sol}}(\lambda)$ คือสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังรังสีอาทิตย์ ($\text{W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$) ตามมาตรฐาน ASTM G173-03 ที่ air mass เท่ากับ 1.5(1.5 AM)[10-12]

$$\alpha = \frac{\int_{0.3 \mu\text{m}}^{2.5 \mu\text{m}} I_{\text{sol}}(\lambda)(1-R(\lambda))d\lambda}{\int_{0.3 \mu\text{m}}^{2.5 \mu\text{m}} I_{\text{sol}}(\lambda)d\lambda} \quad (1)$$



รูปที่ 1: ไดอะแกรมของชุดทดสอบค่าการสูญเสียความร้อน (Heat loss)

ไดอะแกรมการทดสอบค่าการสูญเสียความร้อน (Heat loss) ของท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์ที่ใช้เป็นตัวรับรังสีอาทิตย์แสดงในรูปที่ 1 โดยชุดทดสอบนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาสำหรับการทดสอบค่าการสูญเสียความร้อนของท่อรับรังสีอาทิตย์สำหรับระบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงชนิดรางพาราโบลา [13,14]จากรูปใช้ท่อแก้วที่ทำให้เป็นสุญญากาศโดยต่อเข้ากับปั๊มสุญญากาศ เพื่อให้ช่องว่างระหว่างท่อแก้วกับท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นสุญญากาศที่มีความดันสมบูรณ์เท่ากับ 4.3 ± 1 kPa เพื่อลดการสูญเสียความร้อนของชุดท่อรับรังสีอาทิตย์ สามารถวิเคราะห์และคำนวณค่า

การสูญเสียความร้อนได้ตามสมการที่ 2[14] เมื่อค่า Q_{loss} คือความร้อนที่มีการสูญเสียต่อหนึ่งหน่วยความยาวท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์(วัตต์/เมตร)เมื่อ \dot{m} คืออัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (0.1667 กิโลกรัม/วินาที) ค่า C_p คือค่าความร้อนจำเพาะ (Specific heat) ของน้ำมีค่าเท่ากับ 4.230 kJ/(kg·°C) สำหรับ T_{in} และ T_{out} คืออุณหภูมิน้ำขาเข้าและขาออกชุดท่อรับรังสีอาทิตย์ ตามลำดับ

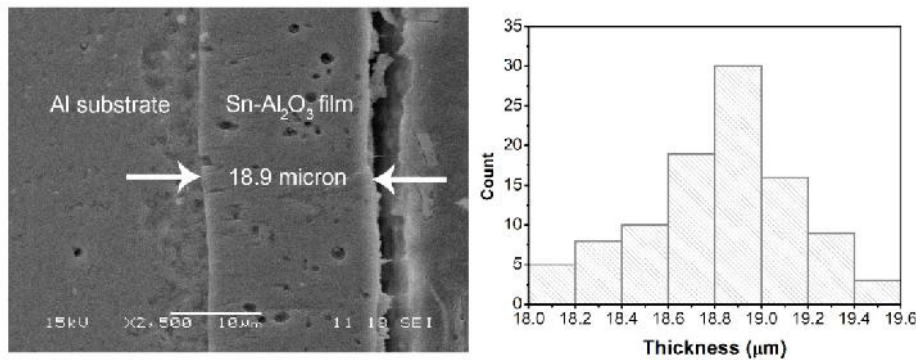
$$Q_{loss} = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) \quad (\text{วัตต์/เมตร}) \quad (2)$$

3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ท่ออะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการทำอะโนไดซ์และมีการเติมธาตุดีบุกลงบนชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ พบว่าผิวท่อมีสีดำเข้ม และมีความมันวาวน้อย เมื่อเทียบกับท่ออะลูมิเนียมทั่วไปที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทำอะโนไดซ์หรือผ่านการทำอะโนไดซ์แต่ไม่มีการชุบธาตุดีบุกลงบนชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ทำให้มีความเป็นไปไม่ได้และเหมาะสมกับการเป็นท่อรับรังสีอาทิตย์ (Receiver tube) เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีสีดำ ซึ่งโดยพื้นฐานแล้ววัสดุที่มีสีดำมีสมบัติการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ดีและนอกจากนี้ฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีการเติมธาตุอินทรีย์ลงในชั้นฟิล์มยังมีสมบัติการเป็นสารเลือกรับรังสีอาทิตย์อีกด้วย (Selective absorber) [10] แสดงดังรูปที่ 2

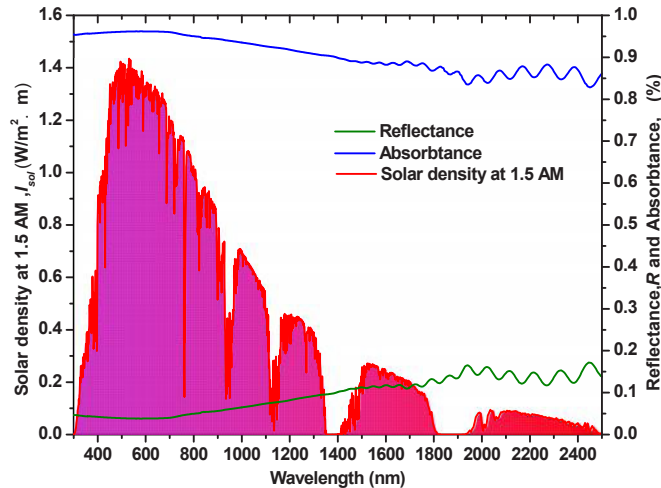


รูปที่ 2: ท่ออะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการทำอะโนไดซ์ (Sn-Al₂O₃)



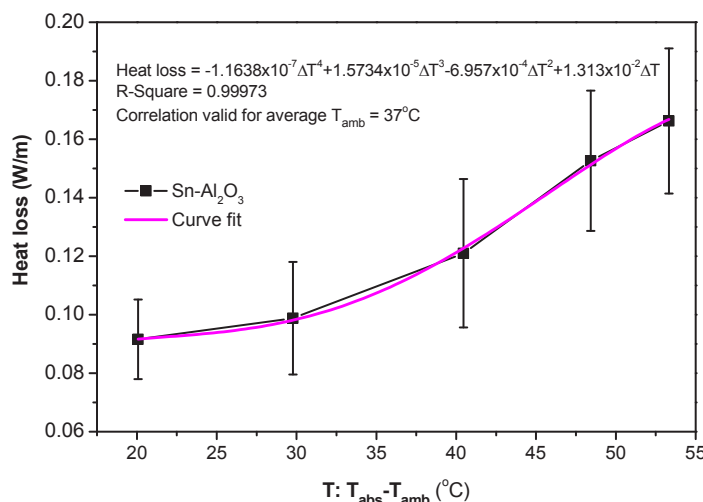
รูปที่ 3: ภาพตัดขวางของท่ออะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการทำอะโนไดซ์ (Sn-Al₂O₃)

รูปที่ 3 แสดงภาพตัดขวางของท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าท่ออะลูมิเนียมมีลักษณะแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกเป็นผิวท่ออะลูมิเนียม และส่วนที่สองเป็นฟิล์มของอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีการเติมธาตุดีบุกภายในชั้นฟิล์ม ซึ่งชั้นฟิล์มนี้เกิดขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการทำอะโนไดซ์ โดยความหนาของชั้นฟิล์มมีแนวโน้มคงที่ตลอดชิ้นงาน และมีความหนาของชั้นฟิล์มเฉลี่ยเท่ากับ 18.9 ไมโครเมตร



รูปที่ 4: ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectance, R) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Absorbance, α) ของท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์เปรียบเทียบกับความหนาแน่นกำลังรังสีอาทิตย์ที่ air mass เท่ากับ 1.5AM ในช่วงความยาวคลื่น 250-2,500 นาโนเมตร

รูปที่ 4 แสดงผลจากการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (R) และผลจากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α) ในช่วงความยาวคลื่น 250-2,500 นาโนเมตร โดยใช้ค่าความหนาแน่นกำลังรังสีอาทิตย์ที่ air mass เท่ากับ 1.5AM ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์ที่มีการเติมธาตุดีบุกมีค่าที่ค่อนข้างต่ำและมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่สูง โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 0.078 และ 0.92 ตามลำดับ โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับสมบัติตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ทางอุดมคติคือ มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ต่ำหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ ($R=0$) และมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่สูง ($\alpha=1.0$) ในช่วงความยาวคลื่น 300-2,500 นาโนเมตร [10,16] ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของรังสีอาทิตย์ที่ผ่านมายังโลก เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาและที่มีการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมตัวเก็บรังสีอาทิตย์ พบว่าตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบมีสมบัติเลือกเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 0.85-0.95 [10,16] นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ชนิดอะลูมิเนียมอะโนไดซ์ที่มีการเติมธาตุชนิดอื่นลงบนชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ เช่น นิกเกิล ($Ni-Al_2O_3$) [17] โคบอล ($Co-Al_2O_3$) โมลิบดีนัม ($Mo-Al_2O_3$) ทังสเตน ($W-Al_2O_3$) และแพลทินัม ($Pt-Al_2O_3$) [10] พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.85-0.97, 0.94, 0.96, 0.85 และ 0.90-0.98 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์ที่มีการเติมธาตุดีบุกมีค่าใกล้เคียงและอยู่ในช่วงที่มีสมบัติการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่สูง จากผลวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สามารถสรุปได้ว่าท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์ที่มีการเติมธาตุดีบุกลงบนชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์สามารถใช้เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้



รูปที่ 5: ค่าการสูญเสียความร้อน (Heat loss) ของชุดท่อรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์

ตามหลักการพื้นฐานของการสูญเสียความร้อนของชุดท่อรับรังสีอาทิตย์พบว่าเป็นฟังก์ชันกับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างของไหลภายในท่อดูดกลืนรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม หรือเป็นฟังก์ชันกับความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิ

สิ่งแวดล้อม รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ค่าการสูญเสียความร้อน (Heat loss) กับความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($T_{\text{abs}} - T_{\text{amp}} = \Delta T$) ของท่อชุดรับรังสีอาทิตย์สำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงชนิดรางพาราโบลาที่ใช้ท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ในช่วง ΔT ที่ 20-53°C ค่าการสูญเสียความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ ΔT มีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.166 วัตต์/เมตร ที่ $\Delta T = 53.3^\circ\text{C}$ ค่าการสูญเสียความร้อนของชุดท่อรับรังสีอาทิตย์ของงานวิจัยนี้มีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากช่องว่างระหว่างท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์กับท่อแก้วมีความเป็นสุญญากาศที่สูง ส่งผลให้มีส่วนช่วยลดค่าการนำความร้อนและการพาความร้อนของอากาศภายในช่องว่าง เหลือเพียงการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีเท่านั้น เนื่องจากไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการนำหรือพาความร้อน สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียความร้อนกับ ΔT คือ $\text{Heatloss} = -1.1638 \times 10^{-7} \Delta T^4 + 1.15734 \times 10^{-5} \Delta T^3 - 6.957 \times 10^{-4} \Delta T^2 - 1.313 \times 10^{-2} \Delta T$ (วัตต์/เมตร) โดยมีค่า R-square = 0.9997 อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 37°C ค่า โดยสมการความสัมพันธ์นี้สอดคล้องงานวิจัยที่มีการทดสอบการสูญเสียความร้อนของชุดท่อรับรังสีอาทิตย์สำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงชนิดรางพาราโบลา เช่น Solel's UVAC3 [13] และ 2008 PTR70 [14] เมื่อเปรียบเทียบค่าการสูญเสียความร้อนของชุดท่อรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์กับ Solel's UVAC3 [13] และ 2008 PTR70 [14] ที่ $\Delta T = 53.3^\circ\text{C}$ พบว่าชุดท่อรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีค่าการสูญเสียความร้อนต่ำกว่า โดย Solel's UVAC3 และ 2008 PTR70 มีค่าการสูญเสียความร้อนเท่ากับ 13.94 [13] และ 8.52 วัตต์/เมตร [14] ตามลำดับ เป็นไปได้ว่าค่าการสูญเสียความร้อนที่ต่ำกว่างานวิจัยที่ผ่านมาอาจเนื่องมาจากช่องว่างการทดสอบค่าการสูญเสียความร้อนของชุดท่อรับรังสีอาทิตย์มีการทำให้ช่องว่างระหว่างท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์กับท่อแก้วมีความเป็นสุญญากาศที่สูงตลอดเวลาการทดสอบ โดยมีความดันสัมบูรณ์เท่ากับ 4.3 ± 1 kPa ซึ่งอาจมีระดับความเป็นสุญญากาศที่สูงกว่าชุดท่อรับรังสีอาทิตย์ทั่วไป ส่งผลทำให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์กับท่อแก้วเกิดขึ้นในปริมาณที่น้อยกว่า ดังนั้นท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์ที่มีการเติมธาตุดีบุกลงในชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมอะโนไดซ์มีความเหมาะสมทางเทคนิคคือมีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่สูง ในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอาทิตย์ และมีค่าการสูญเสียความร้อนในชุดท่อรับรังสีอาทิตย์สำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงชนิดรางพาราโบลาที่ต่ำ นอกจากนี้ถ้าพิจารณาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์มีศักยภาพเนื่องจากสามารถผลิตได้เองภายในประเทศและมีราคาถูก

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการวิเคราะห์หลักขณะจำเพาะของท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์ที่มีการเติมธาตุดีบุกลงในชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมอะโนไดซ์ ($\text{Sn-Al}_2\text{O}_3$) ด้วยกระบวนการอะโนไดซ์เพื่อนำมาประยุกต์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในท่อรับรังสีอาทิตย์สำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงชนิดรางพาราโบลา โดยท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์มีสีดำเข้ม มีความมันวาวน้อย ความหนาเฉลี่ยของชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีธาตุดีบุกในชั้นฟิล์มเท่ากับ 18.9 ไมครอนเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (R) และสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α) มีความสอดคล้องกับสมบัติตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในอุดมคติในช่วงความยาวคลื่น 250-2,500 นาโนเมตร (ค่า $R=0$ และ $\alpha=1$) สำหรับค่าการสูญเสียความร้อน (Heatloss) ของชุดท่อรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากในระบบชุดท่อรับรังสีอาทิตย์มีช่องว่างระหว่างท่ออะลูมิเนียมอะโนไดซ์กับท่อแก้วที่มีความเป็นสุญญากาศที่สูง ดังนั้นท่ออะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการทำท่ออะโนไดซ์ที่มีการเติมธาตุดีบุกในชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์สามารถประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในชุดท่อรับรังสีอาทิตย์สำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรวมแสงชนิดรางพาราโบลาได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช) และมหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับทุนงบประมาณแผ่นดิน (ปกติ) ประจำปี 2557 รหัสโครงการวิจัย R2557B042 ที่สนับสนุนทุนวิจัยตลอดทั้งโครงการรวมทั้งขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำงานวิจัย และอุปกรณ์ทดสอบต่างๆ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2554, "รายงานประจำปี 2554", www.egat.co.th/images/stories/annual/reports/2554/annual-2011-all.pdf [10 สิงหาคม 2555].
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2554, "รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2554", www.eppo.go.th/info/cd-2011/index.html [10 สิงหาคม 2555].
- [3] สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555, "แผนที่พลังงานแสงอาทิตย์", <http://dede.go.th> [11 สิงหาคม 2555].



- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2557, “คู่มือการพัฒนาและการลงทุนการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์”, http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/h_solar.pdf [22 กรกฎาคม 2557].
- [5] Kalogirou S.A., 2004, “Solar thermal collectors and applications”, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30, 231-295.
- [6] Kalogirou S.A., 2009, “Solar Energy Engineering: Process and Systems”, United State of America: Academic Press.
- [7] Fernandez-Carcia, A., Zarza, E., Valenzuela, L. and Perez, M., 2010, “Parabolic-trough solar collectors and their applications”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1695-1721.
- [8] Kadirgan, F., Wäckelgård, E., Söhmen, M., 1999, “Electrochemical characterization of Al₂O₃-Ni thin film selective surface on aluminium”, *Turk. J. Chem*, 23, 381-391.
- [9] Salmi, J., Bonino, J.-P., Bes, R.S., 2000, “Nickel pigmented anodized aluminum as solar selective absorbers”, *J. Mat. Sci.*, 35, 1327-1351.
- [10] Kennedy, C.E., 2002, “Review of mid-to High-Temperature Solar Selective Absorber Materials”, Technical Report, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Colorado, NREL/TP-520-31267, <http://large.stanford.edu/publications/coal/references/troughnet/solarfield/docs/31267.pdf> [1 สิงหาคม 2557].
- [11] Katumba, G., Olumekor, L., Forbes, A., Makiwa, G., Mwakikunga, B., Lu, J., Wäckelgård, E., 2008, “Optical, thermal and structural characteristics of carbon nanoparticle embedded in ZnO and NiO as selective solar absorbers”, *Solar Energy Materials & Solar cells*, 92, 1285-1292.
- [12] National Renewable Energy Laboratory (NREL), “Reference Solar Spectral Irradiance: Air Mass 1.5”, <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/#a> [24/09/2556].
- [13] Burkholder, F., Kutscher, C., 2008, “Heat loss testing of Solel’s UVAC3 parabolic trough receiver”, Technical Report, National Renewable Energy Laboratory (NREL), 1-13, <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/42394.pdf> [1 สิงหาคม 2557].
- [14] Burkholder, F., Kutscher, C., 2009, “Heat loss testing of Schott’s 2008 PTR70 parabolic trough receiver”, Technical Report, National Renewable Energy Laboratory (NREL), 1-53, <http://www.nrel.gov/docs/fy09osti/45633.pdf> [1 สิงหาคม 2557].
- [15] Touloukian, Y.S., DeWitt, D.P., 1972, “Thermal radiative properties, nonmetallic solid”, *Thermophysical Properties of Matter*, 8, New York, Plenum Publishing.
- [16] Peuser, F.A., Remmers, K.H., Schnauss, M., 2002, “Solar thermal Systems”, Berlin: Solarpraxis AG.
- [17] Sützer, S., Kadirgan, F., Söhmen, H.M., Wetherilt, A.J., Türe, İ.E., 1998, “Spectroscopic characterization of Al₂O₃-Ni selective absorbers for solar collectors”, *Solar Energy Materials & Solar cells*, 52, 55-60.