

การหุ้มฉนวนกันความร้อนสำหรับเครื่องฉาบผิวฟิล์ม CVD

รัฐศักดิ์ ตั้งพิทักษ์ไกร¹ และ สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

¹ratthasak.t@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประหยัดพลังงานของชุดลดความร้อนโดยการหุ้มฉนวนที่เครื่องฉาบกระจก CVD ในกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ บริษัทบางกอกโซลาร์ จำกัด โดยทำการเลือกฉนวนที่มีขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องจักรมากที่สุด จากนั้นวัดค่าพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการติดตั้งฉนวนกันความร้อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าหลังติดตั้งฉนวนกันความร้อนลดลงได้ถึง 151.82 kWh ต่อเครื่องต่อวัน ซึ่งคิดเป็น 28.86 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ใช้ในแต่ละวันในการฉาบ อุณหภูมิรอบข้างเครื่องจักรอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส และยังคงประสิทธิภาพของการปฏิบัติงานฉาบได้เช่นเดิม

คำสืบค้น

ฉนวนกันความร้อน , การถ่ายเทความร้อน , กระบวนการฉาบด้วยไอเคมี

THERMAL INSULATION COATING FOR SURFACE-FINISHING CHEMICAL-VAPOR-DEPOSITION (CVD) MACHINE

Ratthasak Tungpitukkrai¹ and Sompong Putivisutisak²

*¹Energy Technology and Management Program, Graduate School,
Chulalongkorn University*

²Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

¹ratthasak.t@hotmail.com

ABSTRACT

The main objective of this research is to effectively insulate the glass CVD surface for solar panel production at Bangkok Solar Co.,Ltd. By selecting an appropriate insulation, then measuring the energy consumption before and after the insulation installation for 24 hours, it can be seen that the energy consumption is decreased about 151.82 kWh per machine per day, accounting for 28.86 percent of the total energy use. The ambient temperature is at 30 degrees Celsius. It is found that the deposition machine is still operating normally compared to that before the insulation installation.

KEYWORDS

Insulation, Heat Transfer, Chemical Vapor Deposition (CVD)

1. บทนำ

ในกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องมีการให้ความร้อนกับกระจกที่เป็นวัสดุยึดเกาะสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิกอน ซึ่งจะต้องทำการอบที่เครื่องอบกระจก CVD โดยต้องให้ความร้อนคอยเลี้ยงเครื่องที่อุณหภูมิประมาณ 200 - 250 องศาเซลเซียส เพื่อช่วยเพิ่มแรงยึดติดของสารกึ่งตัวนำกับกระจก อุณหภูมิที่ผิวของเครื่องอบอยู่ที่ประมาณ 60 - 120 องศาเซลเซียส และในกระบวนการนี้เอง ทำให้บริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงอยู่ตลอดเวลา อุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้ทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนักมากขึ้น เพราะต้องคอยจ่ายลมเย็นมาให้กับผู้ปฏิบัติงานบริเวณนี้ งานการทำงานของเครื่องจักรดังกล่าวกับเครื่องปรับอากาศจึงอยู่ในลักษณะสวนทางกันคือ เครื่องอบต้องการความร้อนแต่คนที่ปฏิบัติงานรอบข้างเครื่องต้องการความเย็น ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าสูงมาก นอกจากนั้นความร้อนจากกระบวนการนี้ยังส่งผลกระทบต่อกระบวนการอื่นๆ อีก เช่น ห้องควบคุมอุณหภูมิ ฝุ่นและความชื้น ซึ่งต้องคอยควบคุมตัวแปรเหล่านี้้อยู่ตลอดเวลา เครื่องจักรที่มีการใช้น้ำหล่อเย็นแลกเปลี่ยนความร้อนจากตัวแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งต้องทำงานหนักถ้าอุณหภูมิรอบข้างสูงขึ้น โดยปั๊มสุญญากาศอาจหยุดการทำงานถ้าอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นสูงเกินค่าที่เครื่องจะรับได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเนื่องกับการผลิต จึงจำเป็นต้องหาวิธีที่จะช่วยบรรเทาอาการเหล่านี้ให้ได้ โดยยังคงรักษาปริมาณและคุณภาพในการผลิตต่อไป พร้อมทั้งเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าให้กับสถานประกอบการ

การหุ้มฉนวนให้กับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนเป็นวิธีการที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ สำหรับเครื่องจักรในที่นี้คือเครื่องอบกระจก CVD ปกติเมื่อเราไม่ได้หุ้มฉนวนจะเกิดการแผ่รังสีความร้อนทำให้อุณหภูมิภายในโรงงานสูงขึ้นพนักงานจึงต้องเปิดพัดลมหรือเปิดประตูหน้าต่างคอยระบายลมร้อนออกไปจากบริเวณที่ตนทำงานอยู่ ซึ่งก็ยิ่งทำให้เพิ่มการสูญเสียความร้อนมากขึ้นอีก โดยพัดลมที่ใช่เป่าให้กับพนักงานจะพาความร้อนออกจากเครื่องไป ซึ่งลมที่เป่ากลับกลายเป็นลมร้อนจากเครื่องหนึ่งขยายไปยังอีกที่หนึ่งก็ยิ่งทำให้พนักงานที่ทำงานอยู่ในบริเวณดังกล่าวหายใจลำบากมากขึ้น ซึ่งถ้าอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่ก่อให้เกิดความร้อนเหล่านี้ได้รับการหุ้มฉนวนกันความร้อน ก็จะสามารถลดรังสีความร้อนที่แผ่ออกมาลงได้

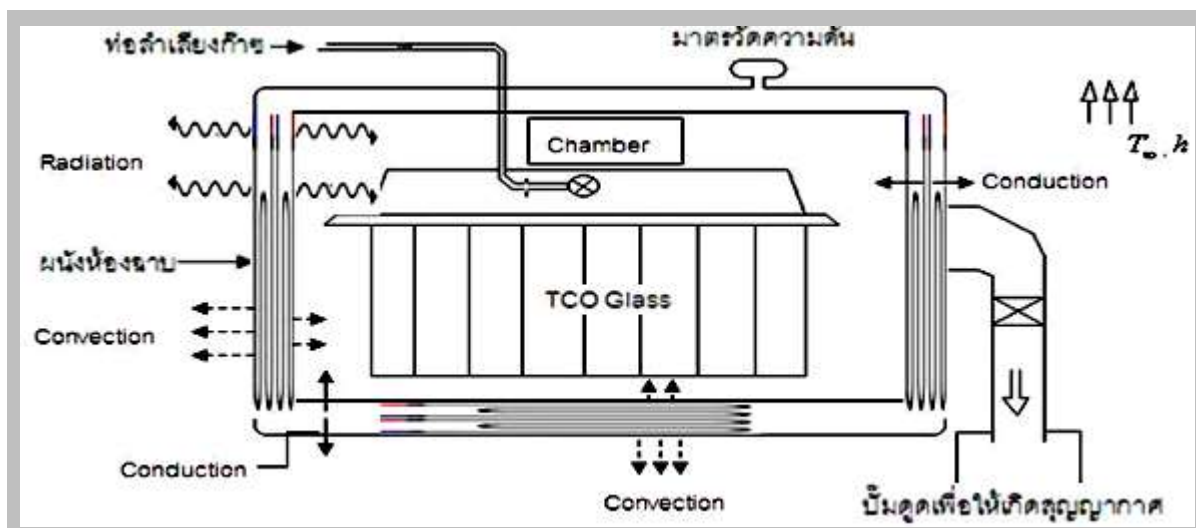
สำหรับการหุ้มฉนวนอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ใช้ไฟฟ้านี้ ได้มีการรายงานในงานวิจัยและกรณีศึกษาก่อนหน้านี้ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ วิชัย แซ่ลี และประภาพรรณ เคลือบวัฒนรัตน์ [1], วรณัฐ แฉ่งสว่าง [2] และกรณีศึกษาในโครงการ [3,4] เป็นต้น อย่างไรก็ตาม รายงานทั้งหมดข้างต้นไม่ได้ให้รายละเอียดในการคำนวณ และเทคนิคในการหุ้มฉนวนที่มากนัก บทความนี้จะจึงได้มุ่งเน้นไปในส่วนของรายละเอียดดังกล่าว โดยได้เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับผลจากการตรวจวัดด้วย ทั้งนี้เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้ที่ต้องการนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่คล้ายกัน

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการอบกระจก CVD เพื่อผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell Manufacturing)

เทคโนโลยีการอบกระจกที่ใช้เป็นแบบ PECVD (Plasma Enhance Chemical Vapor Deposition) คือ กระบวนการที่สร้างฟิล์มลงบนกระจกตัวนำชนิดโปร่งแสง TCO (Transparent Conductive Oxide) โดยใช้สารตั้งต้นที่เป็นก๊าซซิลเลน (Silane Gas : SiH_4) ซึ่งเป็นก๊าซหลัก ปล่อยเข้าไปในห้องอบกระจก (Chamber) ที่โครงสร้างเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมประกบด้วยขวดลดความร้อน เพื่อสร้างฟิล์มชนิด พีและเอ็น จะมีการปล่อย RF (Radio Frequency) ความถี่สูงที่

13.56 MHz เพื่อทำปฏิกิริยาและปล่อยพลาสมา(Plasma) ของปฏิกิริยาซึ่งเป็นอะตอมของซิลิคอนตกเคลือบลงบนกระจก ตัวนำชนิดโปร่งแสง TCO ส่วนก๊าซที่ใช้ผสมเข้าไปในกระบวนการผลิตเป็นสารเจือปนเพื่อสร้างหัวต่อ พี-ไอ-เอ็น ซึ่งเป็นโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ มีดังนี้ คือด้านที่มีศักย์เป็นบวกชั้น P-layer (Positive Layer) ได้แก่ ก๊าซ TMB (Tri- Methyl Boron, $B(CH_3)_3$), CH_4 (Methane), SiH_4 (Silane), H_2 (Hydrogen) ส่วนที่เป็นชั้น I-Layer (Intrinsic Layer) ได้แก่ ก๊าซ SiH_4 และ H_2 และชั้นเอ็น N-Layer (Negative Layer) ซึ่งมีศักย์เป็นลบ ได้แก่ ก๊าซ SiH_4 , H_2 และ PH_3 (Phosphine) และเมื่อจบแล้วเสร็จจะมีปั๊มคอยดูดก๊าซที่เหลือเพื่อไปกำจัดและทำห้องฉาบให้เป็นสุญญากาศอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำกระจกออกจากห้องฉาบเพื่อเข้าสู่กระบวนการต่อไป



รูปที่ 1 กระบวนการฉาบฟิล์มบางแบบอะตอมซิลิคอน

เมื่อพิจารณาโครงสร้างทั่วไปของเครื่องฉาบกระจก CVD (รูปที่ 1) พบว่าขณะทำการฉาบอะตอมของซิลิคอนลงบนแผ่นกระจกโปร่งแสง TCO นั้น จำเป็นต้องทำให้ตัวแผ่นกระจกมีอุณหภูมิสูงเพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะของอะตอมซิลิคอน ดังนั้นจึงมีขั้นตอนการให้ความร้อนภายในห้องฉาบ (Chamber) ที่อุณหภูมิประมาณ 200 - 250 องศาเซลเซียส ควบคู่กันไปในขณะที่ฉาบ ส่วนความร้อนที่ผิวด้านนอกของห้องฉาบอยู่ที่อุณหภูมิ 60 - 120 องศาเซลเซียส

2.2 การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นขณะเครื่องฉาบทำงาน

กลไกการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นขณะเครื่องฉาบทำงานจะประกอบไปด้วยกลไก 3 ประเภทควบคู่กัน ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ดังแสดงในแผนภูมิตามรูปที่ 1 ซึ่งเมื่อมีกระแสและแรงดันป้อนเข้าไปในขดลวดความร้อนจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากขดลวดความร้อนโดยกระบวนการนำความร้อน จากนั้นความร้อนที่ได้จะถูกพาออกมาโดยไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดของห้องฉาบ (Chamber) ความร้อนที่เหลืออีกส่วนหนึ่งจะถูกถ่ายเทโดยการแผ่รังสีออกไปสู่บรรยากาศที่ผู้ปฏิบัติงานควบคุมเครื่องจักรอยู่ สิ่งที่เราควรคำนึงถึงในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนอีกประการหนึ่งก็คือ ค่าใช้จ่ายในการซื้อฉนวน ค่าติดตั้งและจุดคุ้มทุน เพราะสิ่งเหล่านี้ล้วนแต่เป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตงานแทบทั้งสิ้น เราจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความระมัดระวังในการเลือกฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม ทั้งขนาดและความหนา อีกทั้งเมื่อติดตั้งแล้วไม่ก่อให้เกิดอุปสรรคในการทำงาน เมื่อเราเลือกชนิดของฉนวนได้แล้ว ก่อนที่จะทำการติดตั้งให้กับเครื่องจักร ควรต้องคำนวณหาค่าความหนาที่เหมาะสมก่อน ในที่นี้ได้เลือกฉนวนเป็นชนิดใยแก้ว

สำเร็จรูปซึ่งมีด้านหนึ่งเป็นฟอยล์สีเงิน เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ หุ้ม ปิดและบุ ได้ดี น้ำหนักค่อนข้างเบา ค่าการสะท้อนความร้อนค่อนข้างสูง (95%) ไม่ติดไฟ และราคาต่อหน่วยค่อนข้างถูกเมื่อเทียบกับฉนวนกันความร้อนชนิดอื่นๆ ในการคำนวณ กำหนดอุณหภูมิบรรยากาศที่ 30 องศาเซลเซียส และทำการสมมติค่าความหนาของฉนวนตั้งแต่ขนาด 1 - 5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดของฉนวนซึ่งหาได้ง่ายตามท้องตลาด ทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h ตามสมการที่ 1 - 3 โดยอ้างอิงค่าพารามิเตอร์จาก Incropera and De Witt [5] ตามตารางในภาคผนวก ที่อุณหภูมิของอากาศเท่ากับ 350 K (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของผิวเครื่องฉนวนกับบรรยากาศ) และความเร็วลมจากพัดลมที่คอยเป่าเพื่อช่วยระบายอากาศให้เครื่องฉนวนที่ 4.88 m/s

โดยค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย คำนวณได้จาก

$$\bar{h} = \frac{\overline{Nu_L} k_a}{L_c} \quad (1)$$

เมื่อ k_a = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศในบริเวณใกล้ผิววัตถุมีค่าเท่ากับ 0.030 W/m.K

L_c = ความยาวของผิวระนาบคือ 1.20 m

และ $\overline{Nu_L}$ คือ ตัวแปรสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบโมเมนต์หรือค่านัสเซลท์นัมเบอร์ (Nusselt Number) ซึ่งคำนวณได้จากสมการสหสัมพันธ์สำหรับการถ่ายเทความร้อนของการไหลผ่านแผ่นราบ [5]

$$\overline{Nu_L} = 0.036 \text{Pr}^{1/3} \text{Re}_L^{0.8} \quad (2)$$

เมื่อ Pr = ค่าพรันด์เทิลนัมเบอร์ (Prandtl Number) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.70 จากการสมมติให้การไหลเป็นแบบปั่นป่วน

และ Re_L = ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds Number) บนผิวระนาบระยะ L_c ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\text{Re}_L = \frac{\rho L_c V_\infty}{\mu} \quad (3)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของของไหล , kg/m³

L_c = ความยาวของผิวระนาบ , m

V_∞ = ความเร็วของของไหลอิสระ

μ = ความหนืดไดนามิกส์หรือความหนืดสัมบูรณ์ , N.s/m²

โดย

ค่า $\rho = 0.9950 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 20.82 \times 10^{-6} \text{ N.s/m}^2$, $V_\infty = 4.88 \text{ m/s}$.

จะได้ค่า

$$\text{Re}_L = 0.28 \times 10^6$$

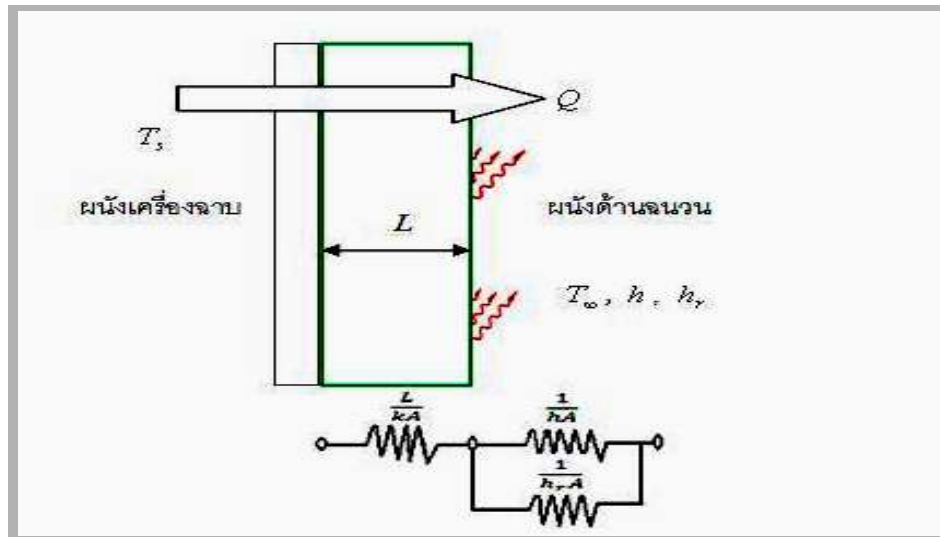
และจะได้ค่านัสเซลท์นัมเบอร์เฉลี่ยเป็น

$$\overline{Nu_L} = 530$$

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ

$$\bar{h} = 13.25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

การถ่ายเทความร้อนรวมที่ไหลผ่านผนังของห้องฉาบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การถ่ายเทความร้อนจากผนังเครื่องฉาบ (Chamber) ด้านในผ่านฉนวนกันความร้อนออกสู่บรรยากาศ

จากสมการการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสี

$$q_{rad} = h_r A (T_s - T_{sur}) \quad (4)$$

และ

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s + T_{sur})(T_s^2 + T_{sur}^2) \quad (5)$$

ทำการแทนค่าพารามิเตอร์เข้าไปในสมการ ซึ่งค่าการแผ่รังสี (Emissivity, ε) หาได้จากตาราง Total Emissivity of Various Surfaces ของ Stainless Steel 304 [6] ซึ่งเป็นผิวของเครื่องฉาบ มีค่าประมาณ 0.44 และค่า σ (Stefan-Boltzmann Constant) มีค่า $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ และพื้นที่ A เท่ากับ 1.44 ตารางเมตร ส่วนค่าอุณหภูมิ T_s จากการวัดมีค่าประมาณ 100 องศาเซลเซียส T_{sur} มีค่าเท่ากับ T_∞ ซึ่งมีค่าประมาณ 30 องศาเซลเซียส จะได้ว่า

$$q_{rad} = 392 \text{ W}$$

ส่วนการถ่ายเทความร้อนโดยการพา นั้นหาได้จาก

$$q_{conv} = hA(T_s - T_\infty) \quad (6)$$

ซึ่งจะได้ $q_{conv} = 1,336 \text{ W}$

จากสมการที่ 4 - 6 พบว่าค่าการแผ่รังสีความร้อนมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนแบบการพา จึงไม่น่ามาคิดคำนวณรวม และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3 จะได้สมการการถ่ายเทความร้อนเป็นดังสมการที่ 7

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{total}} \quad (7)$$

เมื่อ Q คือค่าความร้อนรวมที่ไหลผ่านผนัง (W), ΔT คือผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวของเครื่องจักรและอุณหภูมิที่บรรยากาศ เช่น อุณหภูมิผิวของเครื่องจักรเท่ากับ 100 องศาเซลเซียสแต่อุณหภูมิผ่านฉนวนออกสู่บรรยากาศที่ 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นผลต่างคือ 70 องศาเซลเซียสเป็นต้น จากนั้นทำการหาค่าความต้านทานสัมผัสแบบรวมตามสมการที่ 8 - 9 ซึ่งพื้นที่แต่ละด้านของเครื่องจักรแสดงดังรูปที่ 4 แล้วนำไปแทนค่าใน สมการที่ 7 จะได้ค่า Q ของเครื่องฉาบกระจกทั้งหมดซึ่งประกอบไปด้วยผนัง 6 ด้าน ดังแสดงในรูปที่ 3

$$R_{total} = (R_{cond} + R_{conv}) \quad (8)$$

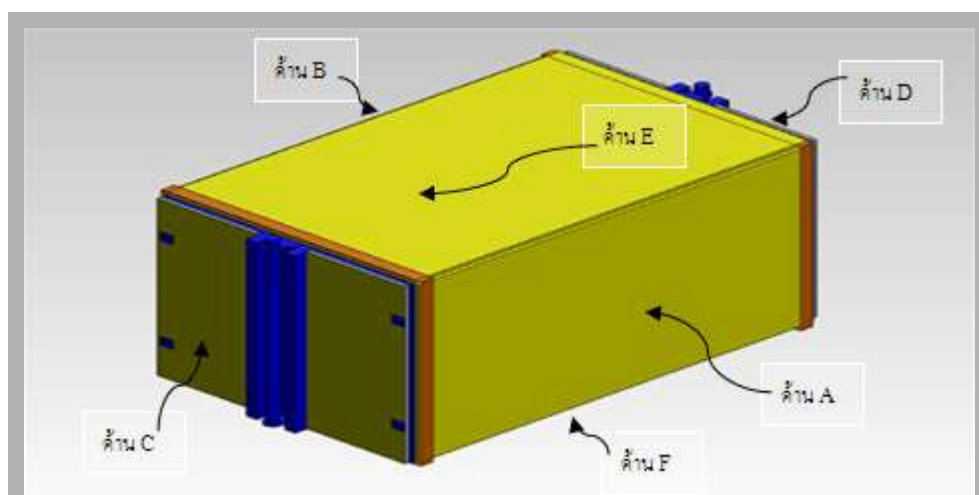
เมื่อ R_{total} คือค่าความต้านทานสัมผัสแบบรวม, R_{cond} คือค่าความต้านทานสัมผัสของการนำความร้อน, R_{conv} คือค่าความต้านทานสัมผัสของการพาความร้อนซึ่งทั้งหมดมีหน่วยเป็น K / W

$$R_{cond} = \frac{L}{kA} \quad (9)$$

เมื่อ L คือค่าความหนาของฉนวน, k ในที่นี้คือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า k_a ของอากาศและ A คือพื้นที่ผิวของด้านแต่ละด้าน

$$R_{conv} = \frac{1}{hA} \quad (10)$$

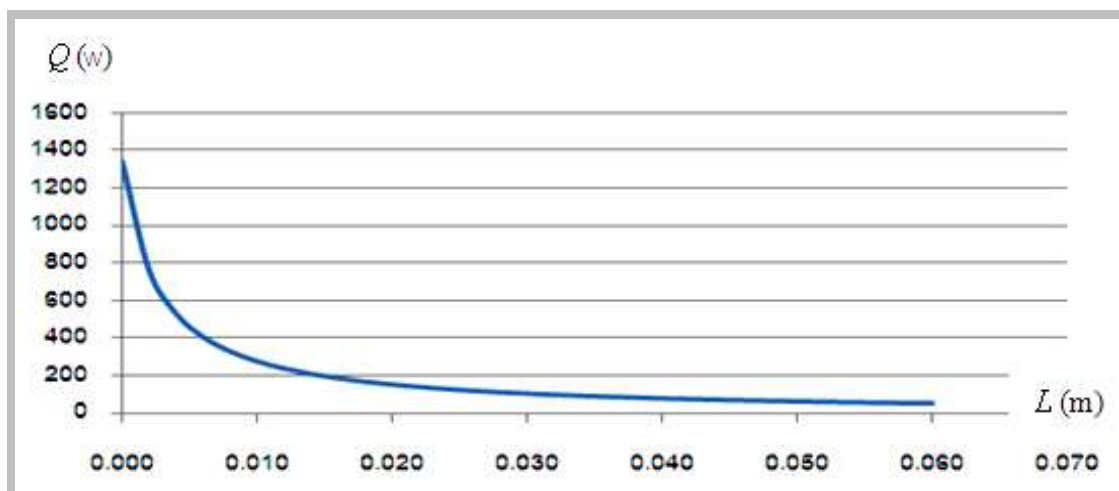
เมื่อ h คือค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนจากการคำนวณตามสมการที่ 1 - 3



รูปที่ 3 แบบจำลองของเครื่องฉาบกระจก CVD

จากรูปที่ 3 สมมติเลือกด้าน C ซึ่งมีพื้นที่ขนาด 1.44 ตารางเมตร เมื่อเลือกค่าความหนาของฉนวนแล้วนำไปคำนวณค่า Q จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความหนาของฉนวนที่เพิ่มขึ้นและค่าการถ่ายเทความร้อนดังรูปที่ 4 จากการที่กำหนดให้ค่าผลต่างของอุณหภูมิ ระหว่างผิวของเครื่องฉนวนกับบรรยากาศมีค่าประมาณ 70 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4 สรุปได้ว่าค่าการถ่ายเทความร้อนจะลดลงเป็นส่วนที่ผกผันกันกับความหนาของฉนวนที่เพิ่มขึ้น ในที่นี้เลือกฉนวนที่มีความหนาขนาด 2.5 เซนติเมตร หรือประมาณ 1 นิ้ว เนื่องจากมีความเหมาะสมกับพื้นที่การปฏิบัติงานมากที่สุดและไม่ก่อให้เกิดการติดขัดกับล้อเลื่อนของผนังห้องฉนวน ซึ่งจากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า ค่าความหนาที่มากกว่า 2.5 เซนติเมตร จะลดความร้อนสูญเสียลงอีกไม่มากนัก



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฉนวนกับค่าการสูญเสียความร้อน

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การบันทึกค่าทางไฟฟ้าใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power meter) ชนิดที่มีการบันทึกข้อมูลได้ เพื่อเก็บข้อมูลก่อนและหลังการติดตั้งฉนวนกันความร้อนสำหรับเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ

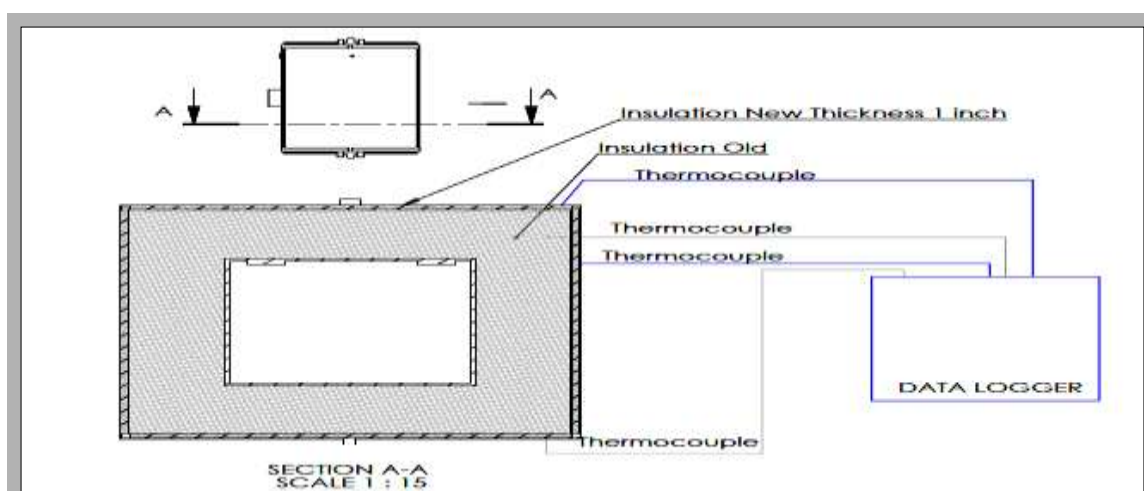


รูปที่ 5 การติดตั้งฉนวนกันความร้อนให้กับเครื่องฉาบกระจก CVD

ทำการติดตั้งฉนวนกันความร้อนให้กับเครื่องอบกระจก CVD ดังรูปที่ 5 โดยมีขั้นตอนโดยย่อดังนี้

1. ทำการตัดฉนวนกันความร้อนให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ
2. นำฉนวนที่ตัดแล้วมาประกอบเข้ากับตัวเครื่องโดยใช้เทปอลูมิเนียมเป็นตัวประสาน
3. นำอลูมิเนียม แบบเส้นบาง กว้าง 2 เซนติเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ตัดให้ยาวเกินกว่าขนาดรูปของเครื่องจักร ประมาณ 1-2 เซนติเมตร ตามมุมแคบต่างๆ เพื่อจับยึดและพับเข้ารูป เสริมความแข็งแรงให้กับฉนวนอีกครั้ง ขณะทำการติดตั้งควรสวมหน้ากาก แว่นตา กันละอองจากฉนวนใยแก้ว และหลังจากที่ทำการติดตั้งเสร็จแล้ว ควรทำความสะอาดร่างกายหรือส่วนที่สัมผัสใยแก้วในทันที

หลังจากที่ทำการติดตั้งฉนวนกันความร้อนให้กับเครื่องอบกระจก CVD เสร็จแล้ว จึงทำการวัดค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบ หลังทำการติดตั้งฉนวนกันความร้อน ดังรูปที่ 6 ซึ่งตัววัดอุณหภูมิที่ใช้เป็น Thermocouple แบบแทงสอดเข้าไปภายใน ฉนวนกันความร้อนลึก 15 เซนติเมตร 3 ระดับ ด้าน บน กลาง และด้านล่าง นานจุดละ 5 นาที ทำซ้ำกันจุดละ 3 ครั้ง แสดงค่าดังตารางที่ 1



รูปที่ 6 ภาพจำลองการวัดค่าอุณหภูมิฉนวนกันความร้อนที่เครื่องอบกระจก CVD

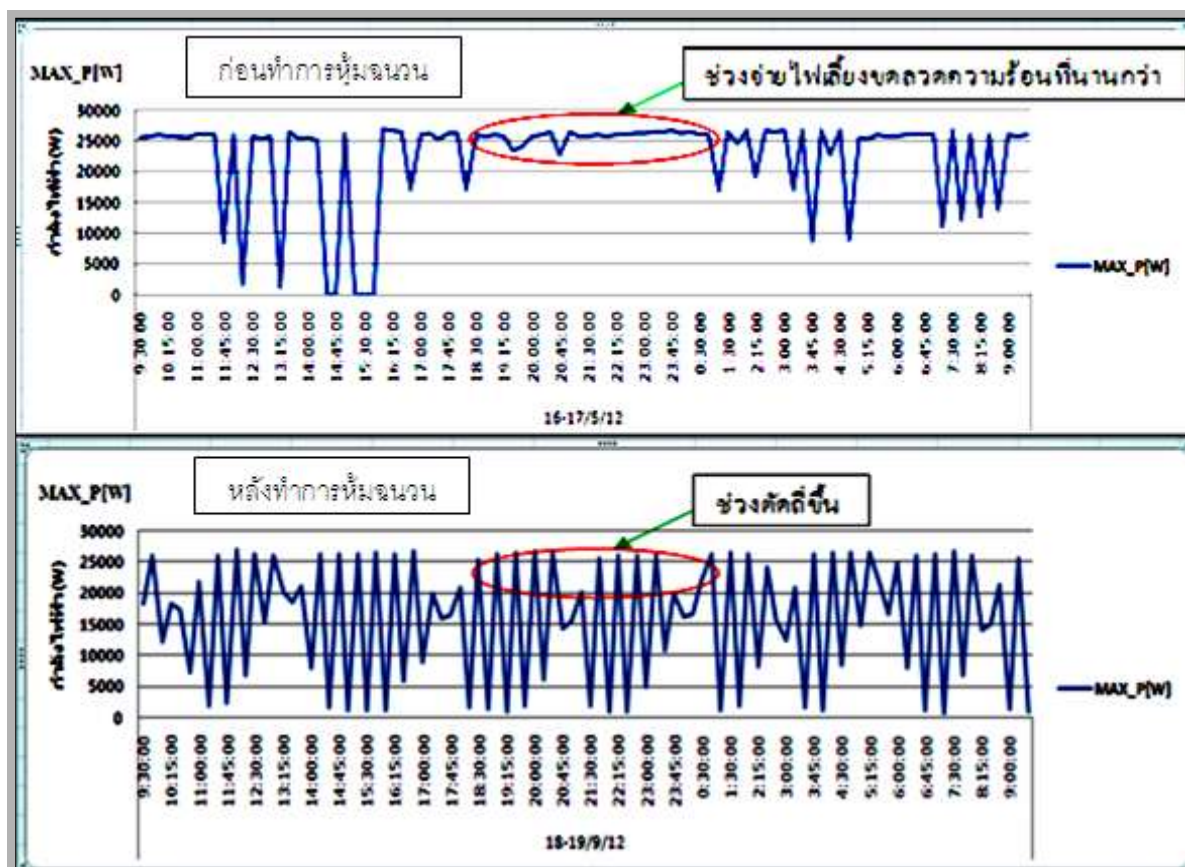
อุณหภูมิที่วัดได้จริงที่ผิวโลหะ	อุณหภูมิที่คำนวณก่อนติดตั้ง	ผลต่าง (%)
ด้าน A : 66.41 องศาเซลเซียส	ด้าน A : 64.92 องศาเซลเซียส	2.24
ด้าน B : 66.90 องศาเซลเซียส	ด้าน B : 64.92 องศาเซลเซียส	2.96
ด้าน C : 101.31 องศาเซลเซียส	ด้าน C : 99.08 องศาเซลเซียส	2.19
ด้าน D : 101.10 องศาเซลเซียส	ด้าน D : 99.08 องศาเซลเซียส	1.99

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าอุณหภูมิที่เครื่องจักรและผลการคำนวณ

จากรูปที่ 6 ได้มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนข้างนอกที่ฉนวนเดิม ซึ่งฉนวนเดิมมีความหนา 1 นิ้ว และหุ้มด้วยโลหะ Stainless หนา 1 มิลลิเมตร ที่ด้าน A, B, E และ F ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 3 ส่วนด้าน C และ D ทำการหุ้มฉนวนใหม่ (เดิมไม่มีการหุ้มฉนวน) จากตารางที่ 1 พบว่าอุณหภูมิที่ผิวของโลหะจากการวัดและคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีความ

คลาดเคลื่อนไม่เกิน 3% ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการฉาบกระจก CVD เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาที่สม่ำเสมอของชั้นฟิล์มและจากการทดสอบ พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถสร้างอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างสม่ำเสมอเช่นเดิม และจากการทดสอบค่ากำลังวัตต์ต่อพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังพบว่ามีความใกล้เคียงกันกับแบบที่ไม่หุ้มฉนวน ซึ่งเมื่อคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ พบว่าการจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนของเครื่องฉาบ CVD ลดลง

เมื่อสังเกตจากกราฟในรูปที่ 7 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าช่วงที่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าป้อนเข้าไปในขดลวดความร้อนหลังจากหุ้มฉนวนกันความร้อนแล้วนั้น มีค่าลดน้อยลงจากช่วงที่ยังไม่ได้หุ้มฉนวนกันความร้อน



รูปที่ 7 ผลการวัดค่าทางไฟฟ้าก่อนและหลังการติดตั้งฉนวนกันความร้อน

หลังจากที่ทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าของขดลวดความร้อนก่อนและหลังการหุ้มฉนวนพบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้ไปของขดลวดความร้อนก่อนติดตั้งฉนวนกันความร้อนให้กับเครื่องฉาบกระจก CVD เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งการทำงานฉาบอยู่ที่ 525.97 kWh ต่อเครื่องต่อวัน และค่าพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้ไปของขดลวดความร้อนหลังจากหุ้มฉนวนความร้อนให้กับเครื่องฉาบกระจก CVD มีค่าเท่ากับ 374.15 kWh ต่อเครื่องต่อวัน ซึ่งลดลงจากเดิม 151.82 kWh ต่อเครื่องต่อวัน คิดเป็น 28.86 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละวันในการฉาบกระจก CVD และเมื่อพิจารณาช่วงเวลาในการตัดต่อของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนหลังการติดตั้งฉนวนพบว่ามีการตัดต่อที่ถี่ขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลงานการวิจัยของ วิชัย แซ่ลี และประภาพรณ เคลือบวันฉนวน [1] เมื่อได้คุณสมบัติตามกำหนดระบบควบคุมจะตัดการจ่ายกำลังไฟฟ้า

ที่ป้อนเข้าไปในขดลวดความร้อนทำให้การใช้ไฟฟ้าลดน้อยลง โดยมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 4 วัน (คัดจากค่าอุปกรณ์ 1,500 บาท ต่อเครื่อง ไม่รวมค่าแรงในการติดตั้ง)

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เมื่อทำการติดตั้งฉนวนกันความร้อนให้กับเครื่องฉาบกระจก CVD ในกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์เรียบร้อยแล้ว พบว่าการหุ้มฉนวนกันความร้อนโดยตรงในลักษณะนี้ ไม่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์แต่อย่างใด โดยค่ากระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงค่ามาตรฐาน คือได้ค่าแรงดันที่ 70.9 - 1.2 โวลท์ ในขณะที่มีโหลด ส่วนค่ากระแสอยู่ที่ 0.71 - 0.74 แอมแปร์ และค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้คือ 50 - 52 วัตต์ต่อแผ่น แต่การใช้พลังงานในกระบวนการฉาบกระจกของเครื่อง CVD ลดน้อยลง เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าของขดลวดความร้อนจ่ายไฟเลี้ยงน้อยลง ความร้อนสะสมที่อยู่ในห้องปฏิบัติงานฉาบลดลง 12.7 องศาเซลเซียสในบริเวณเครื่องฉาบที่หุ้มฉนวน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการคืนทุนในการลงทุนติดตั้งฉนวนกันความร้อนถือว่ามีความคุ้มค่าอย่างยิ่ง ในส่วนของการทำงานของพนักงาน พนักงานสามารถที่จะสัมผัสกับผิวของเครื่องจักรที่มีฉนวนกันความร้อนหุ้มได้โดยตรงไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อพนักงานและยังเพิ่มปลอดภัยในการทำงานมากขึ้น (จากการตรวจวัดอุณหภูมิที่ผิวของฉนวนมีค่าเท่ากับ 40.6 องศาเซลเซียส) สำหรับปัญหาและอุปสรรคในการทำงานติดตั้งฉนวนกันความร้อนให้กับเครื่องฉาบกระจก CVD นั้น พบว่าในการวัดอุณหภูมิมีความคลาดเคลื่อนบ่อยครั้ง เมื่อนำมาวัด จุดเดียวกันสองเครื่องเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐาน ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิควรมีการสอบเทียบโดยหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรง ไม่ควรใช้เครื่องมือวัดที่หมดอายุการสอบเทียบ ส่วนอีกประเด็นก็คือ โครงสร้างของฉนวนใยแก้วมักเสียรูปร่างได้ง่ายหลังจากติดตั้งควรเสริมความแข็งแรงโดยใช้เส้นแถบอลูมิเนียมหนาขนาด 2 - 3 มิลลิเมตรและกว้างประมาณ 2 - 3 เซนติเมตร ส่วนความยาวตามแต่ขนาด ยึดประกอบตามมุมโค้งเพื่อเสริมความแข็งแรงของแผ่นฉนวน และควรเพิ่มการติดตั้งฉนวนกันความร้อนให้กับเครื่องจักรอื่นอีก เพราะในห้องปฏิบัติงานฉาบนั้นยังมีเครื่องจักรที่ต้องใช้ความร้อนในลักษณะนี้เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ ในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนให้เครื่องจักรแต่ละครั้งนั้นควรมีการวางแผนงาน มีผู้รับผิดชอบโครงการโดยมีการวิเคราะห์ถึงอันตรายที่จะเกิดขณะทำการติดตั้งฉนวนกันความร้อนด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยบางส่วนและขอขอบคุณบริษัท บางกอกโซลาร์ จำกัด ที่เชื้อเพื่อสถานที่เครื่องมือและอุปกรณ์ในการปฏิบัติงานเป็นอย่างดี

บรรณานุกรม

- [1] โครงการพัฒนาผู้ประกอบการอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกไทย สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. กรณีศึกษา การลดต้นทุนพลังงาน โดยการหุ้มฉนวนและลดการใช้พลังงานแสงสว่าง. หน่วยงานปฏิบัติการวิจัยการบริหารอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2553.
- [2] วรณัฐ แจ่มสว่าง. การอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมในโรงงานผลิตชิ้นส่วนพลาสติก.การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, 15-17 ตุลาคม 2551.
- [3] วิชัย แซ่ลี และ ประภาพรพรณ เคลือบวัฒนรัตน์. ผลการประหยัดกำลังไฟฟ้าจากการหุ้มฉนวนลดความร้อนสำหรับเครื่องฉีดพลาสติกในงานอุตสาหกรรม. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์, 20-22 ตุลาคม 2551.
- [4] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. รายงานการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน บริษัท เรืองวาแสงดนตรีดนตรี จำกัด. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มกราคม 2555.
- [5] ASTM A193M Standard Specification for Alloy-Steel and Stainless Steel Bolting Materials for High Temperature, 2007.
- [6] Incropera, F.P. and De Witt, D.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. (3rd ed.), Wiley & Sons, 1990