

การพัฒนาเครื่องทดสอบแรงดึงแผ่นฟิล์มและแผ่นปิดด้านหลังที่ใช้ในการผลิต แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์

The Development of EVA Film Tensile Testing Machines and TPT Backsheet Used in The Production of Solar Cell Panels

วรวัฒน์ กาญจนสิงห์¹, ปัญญา เข้มมุข^{1,*}, บัญชา ทรงศักดิ์ศรี¹, ภคิน มัญชุภาวรันธร¹

Worawat Kanjanasing¹, Panya Khemmook^{1,*}, Bancha Songsaksri¹,

Phakin Mulchuphawaranthron¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ฉะเชิงเทรา ไทย 24000

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University,
Chachoengsao, Thailand, 24000

*Corresponding author E-mail: panya.khe@rru.ac.th.

<https://doi.org/10.55674/snrujiti.v3i2.254738>

Received: 2024-06-27

Revised: 2024-08-26

Accepted: 2024-09-30

Available online: 2024-09-30

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องทดสอบแรงดึงแผ่นฟิล์มและแผ่นปิดด้านหลังที่ใช้ในการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตที่หยุดชะงักในการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท โซลาร์ พีพีเอ็ม จำกัด เนื่องจากเครื่องทดสอบแรงดึงแผ่นฟิล์มและแผ่นปิดด้านหลังที่ใช้



งานเกิดความเสียหายบ่อยครั้ง โดยเฉพาะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเมนบอร์ดของเครื่อง ซึ่งต้องใช้เวลา 3-4 สัปดาห์ ในการส่งซ่อมหรือเปลี่ยนเมนบอร์ดตัวใหม่ที่ต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ ด้วยเหตุนี้ จึงได้ทำการพัฒนาเครื่องทดสอบแรงดึงแผ่นฟิล์มและแผ่นปิดด้านหลังที่ใช้

ในการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบขึ้น ซึ่งการทำงานเป็นแบบ Manual และใช้หลักการของระบบนิวเมติกส์ในการทำงาน จากการทดสอบการทำงาน พบว่า เครื่องทดสอบแรงดึงที่ทำการพัฒนาขึ้นสามารถสร้างแรง

ดึงที่ใช้ในการทดสอบชิ้นงานได้สูงสุดถึง 150 นิวตัน และสามารถลดเวลาที่ใช้ในการทดสอบชิ้นงานได้ถึง 3

นาที่/แผ่น โดยลดเวลาการทดสอบชิ้นงานจากเดิมที่ใช้เวลาในการทดสอบ 5 นาที/แผ่น เหลือเพียง 2 นาที/แผ่น

คำสำคัญ: เครื่องทดสอบแรงดึง, แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์, แผ่นฟิล์มและแผ่นปิดด้านหลังแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์

Abstract

This research article presents the development of EVA Film Tensile Testing Machines and TPT Backsheet used in the production of solar cell panels. Its goal is to improve the solar cell panel production process at Solar PPM Co., Ltd., which was disrupted by frequent damage to the EVA Film Tensile Testing Machines and TPT Backsheet that were in use. Especially the damage to the machine's mainboard. It takes 3-4 weeks to send for repairs or replace a new mainboard that has to be imported from abroad. Because of this, EVA Film Tensile Testing Machines and TPT Backsheet have been created to be used in the manufacturing of solar cell prototypes. The manual labor is done using the pneumatic system's principles. According to the results of the test, the developed tensile testing machines can produce a tensile force of up to 150 newtons, which can be used to test workpieces. Additionally, by cutting the testing time for specimens from the original 5 minutes per sheet to just 2 minutes per sheet, the testing time for workpieces can be shortened by up to 3 minutes.

Keywords: Tensile Testing Machines, Solar Cell, TPT/EVA

© 2024 Faculty of Industrial Technology reserved

1. บทนำ

การหยุดชะงักในกระบวนการผลิต ส่งผลให้กระบวนการผลิตล่าช้าและไม่ต่อเนื่อง เกิดการสูญเสียด้านเวลา พนักงานไม่มีงานทำในระหว่างวัน เกิดปัญหาเรื่องการส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้าไม่ตรงเวลา บริษัทหรือโรงงานสูญเสียรายได้จากการขายสินค้า หรืออาจถูกปรับจากการส่งสินค้าไม่ตรงตามเวลา ผลกระทบที่กล่าวมานี้ ส่วนใหญ่เกิดจากปัญหาเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมเกิดการขัดข้องไม่สามารถทำงานได้ การบำรุงรักษาและการสำรองอะไหล่จึงเป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้อย่างมากในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อแก้ไขปัญหาการขัดข้องของเครื่องจักร โดยเฉพาะวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ซึ่งเป็นการบำรุงรักษาที่มีวัตถุประสงค์ป้องกันไม่ให้เครื่องจักรชำรุด ช่วยให้เครื่องจักรของโรงงานอุตสาหกรรมสามารถ

ใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง ช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักร เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักร และมีต้นทุนในการดำเนินงานที่ต่ำกว่าการสำรองอะไหล่เพื่อใช้ซ่อมในยามที่เครื่องจักรเกิดการชำรุดเสียหาย [1 - 4]

บริษัท โซลาร์ พีพีเอ็ม จำกัด เป็นบริษัทที่ประกอบธุรกิจเกี่ยวกับการให้บริการด้านระบบพลังงานแสงอาทิตย์ การออกแบบ การติดตั้ง การบำรุงรักษา และการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ ตั้งอยู่ที่ 17/9-10 หมู่ 3 ต.หนองข้างคอก อ.เมือง จ.ชลบุรี ซึ่งปัญหาที่พบบ่อยของบริษัท คือ การหยุดชะงักของกระบวนการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจาก เครื่องทดสอบแรงดึงแผ่นฟิล์ม (EVA Film) และแผ่นปิดด้านหลัง (TPT Backsheet) ที่ใช้ในการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ เกิดการชำรุดเสียหาย ไม่สามารถทำการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างเพื่อตรวจสอบคุณภาพของวัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยเฉพาะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเมนบอร์ดของเครื่อง ที่ต้องใช้เวลาในการส่งซ่อมหรือเปลี่ยนเมนบอร์ดตัวใหม่ประมาณ 3-4 สัปดาห์ เนื่องจาก ต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ

จากปัญหาที่กล่าวมานี้ คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องทดสอบแรงดึงแผ่นฟิล์มและแผ่นปิดด้านหลังที่ใช้ในการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อแก้ปัญหการหยุดชะงักในกระบวนการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท โซลาร์ พีพีเอ็ม จำกัด โดยใช้เป็นเครื่องสำรองในช่วงที่เครื่องทดสอบแรงดึงที่บริษัทใช้งานอยู่เกิดความชำรุดเสียหาย ซึ่งเครื่องทดสอบแรงดึงต้นแบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะเป็นแบบ Manual โดยใช้หลักการของระบบนิวเมติกส์ในการทำงาน ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ สามารถนำเสนอได้ดังต่อไปนี้

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงแผ่นฟิล์มและแผ่นปิดด้านหลังที่ใช้ในการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์

2.2 เพื่อปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตที่หยุดชะงักในการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท โซลาร์ พีพีเอ็ม จำกัด

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

เนื้อหาในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายเกี่ยวกับแผ่นฟิล์มและแผ่นปิดด้านหลังที่ใช้ในการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ หลักการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machines) และขั้นตอนการดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบ ซึ่งรายละเอียดสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

3.1 แผ่นฟิล์มและแผ่นปิดด้านหลังที่ใช้ในการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์

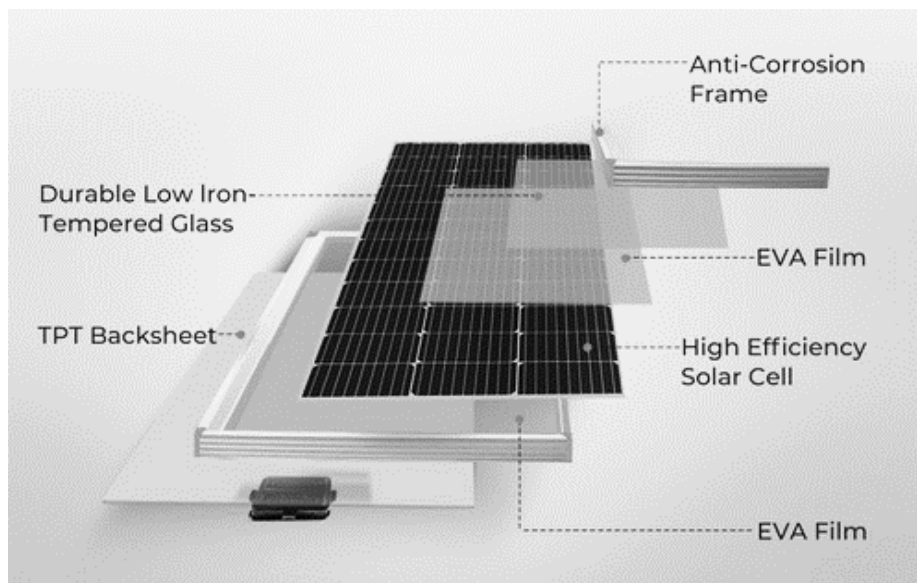
โครงสร้างและส่วนประกอบของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1 [5] ประกอบด้วย กระจก (Glass) ทำหน้าที่ให้แสงส่องผ่านไปยังเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แผ่นฟิล์มหุ้มเซลล์แสงอาทิตย์ชั้นบน (EVA Film) ทำหน้าที่ป้องกันความชื้นและหุ้มเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า แผ่นฟิล์มหุ้มเซลล์แสงอาทิตย์ชั้นล่าง (EVA Film) ทำหน้าที่ป้องกันความชื้นและหุ้มเซลล์แสงอาทิตย์ แผ่นปิดด้านหลัง (TPT Backsheet) ทำหน้าที่ป้องกันการทำลายเซลล์แสงอาทิตย์จากสิ่งแวดล้อม และกรอบอะลูมิเนียม (Frame) ที่มีน้ำหนักเบา เพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในบทความวิจัยนี้จะอธิบายเพิ่มเติมเฉพาะคุณลักษณะของแผ่นฟิล์มและแผ่นปิดด้านหลังที่ใช้ในการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น เนื่องจากเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ทดสอบกับเครื่องต้นแบบที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น

1) แผ่นฟิล์มหุ้มเซลล์แสงอาทิตย์

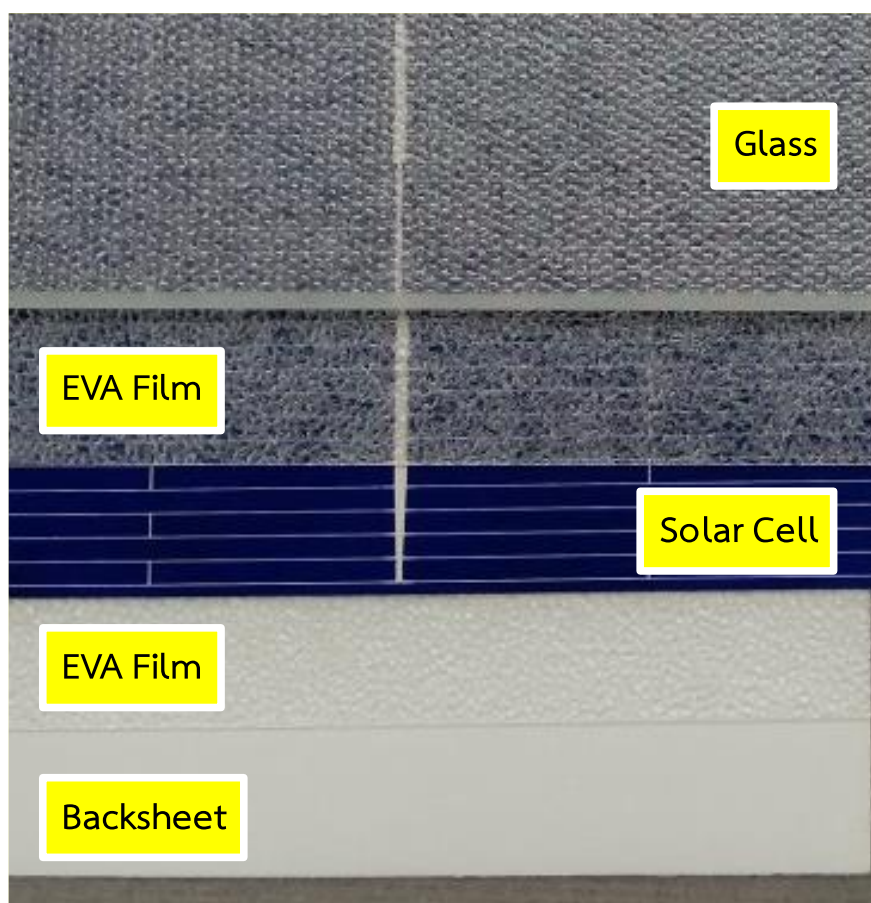
แผ่นฟิล์มหุ้มเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ แผ่นฟิล์ม EVA (Ethylene Vinyl Acetate Film) มีหน้าที่ห่อหุ้มเซลล์แสงอาทิตย์และเคลือบเซลล์แสงอาทิตย์ให้ยึดติดกับกระจกและแผ่นปิดด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มหุ้มเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ป้องกันความชื้น ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นฉนวนไฟฟ้า มีความยืดหยุ่น สามารถขยายตัวและหดตัวได้เป็นอย่างดี และมีความโปร่งใสทำให้แสงสามารถผ่านทะลุไปยังเซลล์แสงอาทิตย์ได้

2) แผ่นปิดด้านหลัง

แผ่นปิดด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ (Back Sheet) คือ วัสดุป้องกันการทำลายเซลล์แสงอาทิตย์จากสภาพแวดล้อม มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง มีคุณสมบัติที่แข็งแรงคงทน มีความเหนียว สามารถป้องกันความชื้นและสารเคมีได้เป็นอย่างดี ทนความร้อน มีค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่สูง ช่วยกระจายแสงและดูดซับแสงอาทิตย์ และช่วยลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ซึ่งโครงสร้างของแผ่นปิดด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบด้วยแผ่นฟิล์มจำนวน 3 ชั้น โดยชั้นบนและชั้นล่างจะเป็นโพลีไวนิลฟลูออไรด์ฟิล์ม (Polyvinyl Fluoride: PVF) ส่วนชั้นกลางจะเป็นโพลีเอทิลีนทีเรพทาเลตฟิล์ม (Poly Ethylene Teraphthalate: PET) หรือ ไมลาร์ แผ่นปิดด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน จะเป็นแบบคอมโพสิตเลเยอร์ที่ผลิตจากบริษัท เคมี DuPont ของอเมริกา หรือ แผ่น TPT [6-9]



ภาพที่ 1 โครงสร้างและส่วนประกอบของแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ [5]



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างแผ่นฟิล์มกับแผ่นปิดด้านหลังที่ใช้ในการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ [8]

3.2 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง

เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machines) คือ เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุเมื่อถูกแรงดึงมากกระทำ ภายในเครื่องจะมีเซนเซอร์ที่รับแรงกระทำของวัสดุ หรือ Load Cell ทำหน้าที่ส่งแรงดันไฟฟ้าแบบอนาล็อกไปยังตัวควบคุมของเครื่องทดสอบแรงดึง หลังจากนั้น ตัวควบคุมจะทำการแปลงค่าอนาล็อกเป็นดิจิตอล และแสดงผลเป็นค่าแรงดึงแบบดิจิตอล

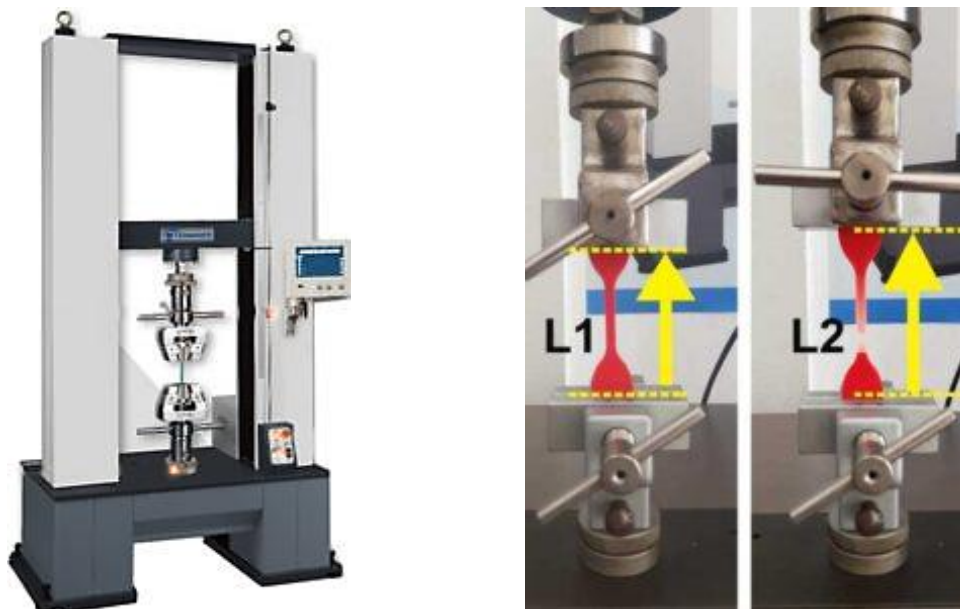
การรายงานผลของเครื่องทดสอบแรงดึงจะบอกค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) (Percentage of Elongation) คือ ระยะยืดของวัสดุที่จุดต่าง ๆ ได้แก่ จุด Yield Point (จุดที่วัสดุเริ่มเปลี่ยนรูปและไม่สามารถกลับมามีสภาพดั้งเดิมได้) จุด Maximum Load (จุดที่วัสดุสามารถทนแรงได้สูงสุด) และจุด Break Point (จุดที่วัสดุขาด เสียหาย) ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณค่า %Elongation สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$\%Elongation = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times 100\% \quad (1)$$

โดยที่ L_1 คือ ความยาวของวัสดุ ณ จุดเริ่มต้น

L_2 คือ ความยาวของวัสดุทั้งหมดหลังจากทำการดึง

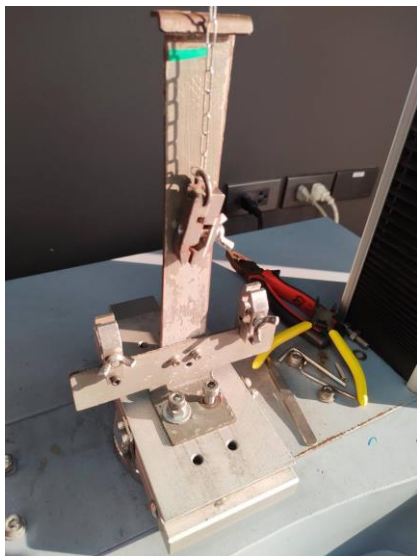
%Elongation คือ ระยะยืดของวัสดุ



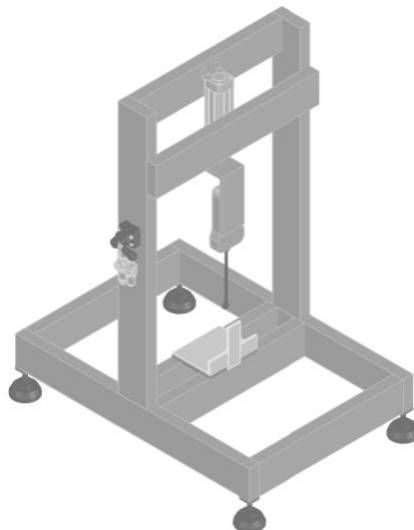
ภาพที่ 3 เครื่องทดสอบแรงดึง [10]

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบ

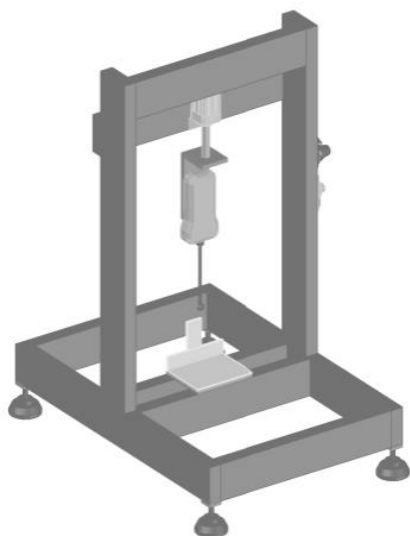
1) ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึงที่บริษัทใช้งานอยู่ในปัจจุบัน และออกแบบโครงสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงตัวใหม่ที่ต้องการพัฒนา ดังแสดงในภาพที่ 4



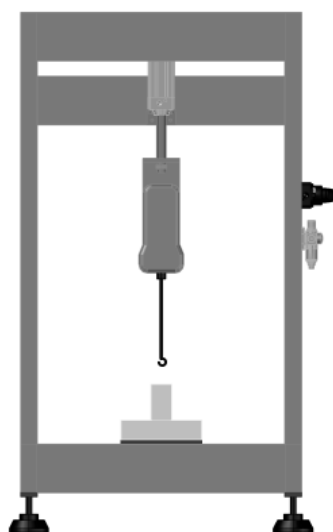
(ก) เครื่องทดสอบแรงดึงที่ใช้งานในปัจจุบัน



(ข) ภาพโครงสร้าง 3 มิติ ด้านหลัง



(ค) ภาพโครงสร้าง 3 มิติ ด้านหน้า



(ง) ภาพโครงสร้างด้านหน้า

ภาพที่ 4 แบบโครงสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงที่ต้องการพัฒนา

2) ออกแบบระบบการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึงที่ต้องการพัฒนา โดยเครื่องทดสอบแรงดึงที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นใหม่นี้จะใช้หลักการทำงานของระบบนิวเมติกส์ ซึ่งเป็นระบบที่ใช้หลักการการอัดอากาศเพื่อทำให้เกิดพลังงานกลในกระบวนการทำงาน และใช้วาล์วควบคุมเป็นตัวควบคุมพลังงานหรือทิศทางการไหลของอากาศให้เป็นไปตามความต้องการ [11 - 12]

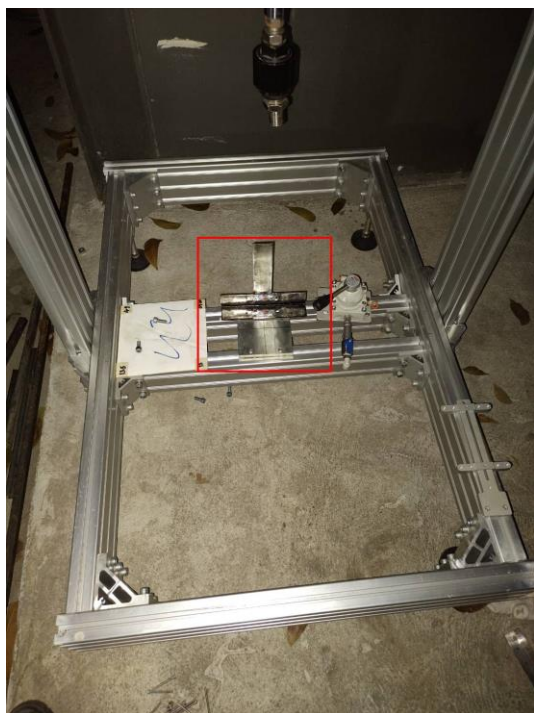
3) ดำเนินการสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงตัวใหม่ที่ใช้หลักการทำงานของระบบนิวเมติกส์ดังแสดงใน
ภาพที่ 5



(ก) ประกอบฐานและโครงเครื่องทดสอบแรงดึง



(ข) วัดระดับน้ำเพื่อปรับความสมดุล



(ค) ติดตั้งเพลาที่ยึดจับชิ้นงานที่ทดสอบ



(ง) ติดตั้งวาล์วปรับทิศทางลม



(จ) ติดตั้งตัว Regulator และเดินสายลม



(ฉ) ทดสอบกับแผ่นทดสอบ TPT/EVA

ภาพที่ 5 การดำเนินการสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงต้นแบบ

4. ผลการวิจัย

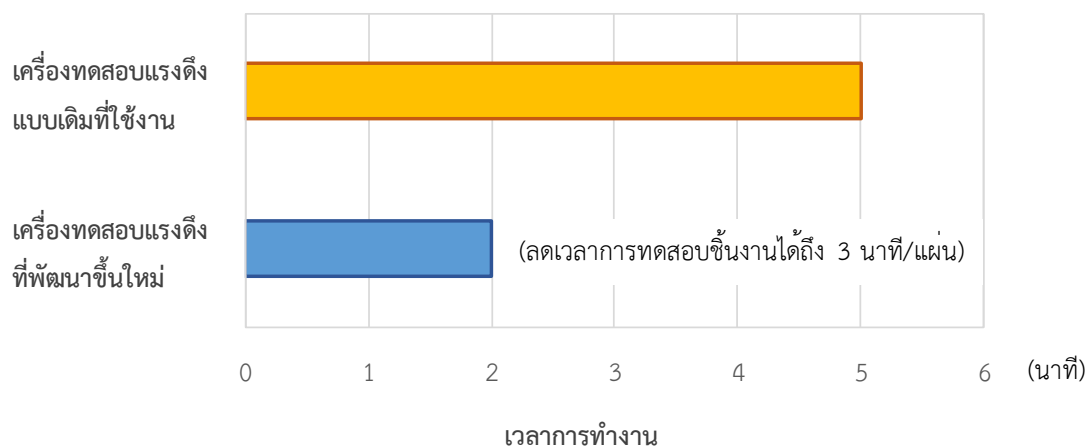
หลังจากได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงต้นแบบ โดยใช้หลักการทำงานของระบบนิวเมติกส์ ที่มีลักษณะการทำงานแบบ Manual ลำดับต่อไป จะเป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึงต้นแบบ ซึ่งผลที่ได้เป็นดังนี้

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึงต้นแบบโดยแผนก QC ของบริษัท โซลาร์ ฟิฟตี้เอ็ม จำกัด ดังแสดงในภาพที่ 6 พบว่า เครื่องทดสอบแรงดึงที่ทำการพัฒนาขึ้นสามารถดึงชิ้นงานที่ต้องการทดสอบ ด้วยแรงสูงสุดถึง 150 นิวตัน ซึ่งเพียงพอต่อการทดสอบชิ้นงาน โดยแผ่น TPT/EVA ที่ทดสอบต้องการแรงดึงไม่ต่ำกว่า 110 นิวตัน นอกจากนี้ เครื่องทดสอบแรงดึงที่ทำการพัฒนาขึ้นยังสามารถลดเวลาที่ใช้ในการทดสอบ ชิ้นงานได้ถึง 3 นาที/แผ่น โดยลดเวลาการทดสอบชิ้นงานจากเดิมที่ใช้เวลาในการทดสอบ 5 นาที/แผ่น เหลือเพียง 2 นาที/แผ่น ดังกราฟที่แสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 6 ทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึงต้นแบบโดยแผนก QC ของบริษัท

เวลาที่ใช้ในการทดสอบชิ้นงานแผ่น TPT/EVA



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบเวลาที่ลดลงในการทดสอบชิ้นงาน

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การพัฒนาเครื่องทดสอบแรงดึงแผ่นฟิล์มและแผ่นปิดด้านหลังที่ใช้ในการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ของบทความวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ ปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตที่หยุดชะงักในการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท โซลาร์ พีพีเอ็ม จำกัด เนื่องจาก เครื่องทดสอบแรงดึงแผ่นฟิล์มและแผ่นปิดด้านหลังที่ใช้งานเกิดความเสียหายบ่อยครั้ง โดยเฉพาะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเมนบอร์ดของเครื่อง ที่ต้องใช้เวลา 3-4 สัปดาห์ ในการซ่อมหรือเปลี่ยนเมนบอร์ดตัวใหม่ที่ต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ ด้วยเหตุนี้ จึงได้ทำการพัฒนาเครื่องทดสอบแรงดึงแผ่นฟิล์มและแผ่นปิดด้านหลังที่ใช้ในการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบขึ้น ซึ่งการทำงานเป็นแบบ Manual และใช้หลักการของระบบนิวเมติกส์ในการทำงาน จากการทดสอบการทำงาน พบว่า เครื่องทดสอบแรงดึงที่ทำการพัฒนาขึ้นสามารถสร้างแรงดึงที่ใช้ในการทดสอบชิ้นงานได้สูงสุดถึง 150 นิวตัน และสามารถลดเวลาที่ใช้ในการทดสอบชิ้นงานได้ถึง 3 นาที/แผ่น โดยลดเวลาการทดสอบชิ้นงานจากเดิมที่ใช้เวลาในการทดสอบ 5 นาที/แผ่น เหลือเพียง 2 นาที/แผ่น เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาป้อนค่าพารามิเตอร์ของแผ่นฟิล์มและแผ่นปิดด้านหลังแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับเครื่องทดสอบแรงดึงในทุกครั้งที่ทำการทดสอบ นอกจากนี้ ยังช่วยลดต้นทุนในการซื้อเครื่องทดสอบแรงดึงตัวใหม่มาใช้งานได้ถึง 150,000 บาท/เครื่อง ช่วยลดการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศ และสามารถนำวัสดุและเทคโนโลยีที่มีภายในประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุจิตรา อดุลย์เกษม, อภิรัตน์ สุวรรณเพ็ชร, นิชาภัทร ผ่องใส และอรรวรรณ เขาวลิต. (2558). ต้นแบบระบบการควบคุมและจัดการเครื่องจักรและอะไหล่เครื่องจักร: กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำตาล, สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร, ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2558, หน้า 89-101.
- [2] ปัญญา เข้มมุข, บัญชา ทรงศักดิ์ศรี และสุรกิจ ทองสุก. (2566). การศึกษาการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันตู้จ่ายไฟฟ้าหลักในโรงงานอุตสาหกรรม, วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนวัตกรรม, ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2566, หน้า 1-10.
- [3] ธนพล กิมะพันธ์, ปัญญา เข้มมุข และประยุทธ์ อินแบน. (2567). การพัฒนาเครื่องตัดท่อพลาสติกหุ้มสายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ, วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนวัตกรรม, ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2567, หน้า 1-11.

- [4] ธนิษฐานันท์ จันทรย์ชัย และอังกร ลาภธเนศ. (2563). การหยุดชะงักของโซ่อุปสงค์และโซ่อุปทานที่มีผลต่อสมรรถนะโซ่คุณค่าและระดับการบริการลูกค้า, วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน 2563, หน้า 71-90.
- [5] Uk.Renogy. (2023). **200 Watt 12 Volt Monocrystalline Solar Starter Kit**. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://uk.renogy.com/renogy-200-watt-12-volt-monocrystalline-solar-starter-kit/> สืบค้นเมื่อ 6 พฤษภาคม 2567.
- [6] สันติ มั่นคง และสมชัย หิรัญโรตม. (2557). การศึกษาสมบัติของวัสดุแผ่นปิดด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการทดสอบร้อนชื้น, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชวมงคลธัญบุรี, ปีที่ 12 ฉบับที่ 1, หน้า 63-74.
- [7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2554). หลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โครงการพัฒนาศักยภาพด้านเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์, กระทรวงพลังงาน, ฉบับที่ 1, 2554.
- [8] Hangzhou XinDongKe Energy Technology Co., Ltd. (2022). **แผ่นรองพลังงานแสงอาทิตย์ tpt eva**. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://th.dongkeenergy.com/product/tpt-solar-backsheet> สืบค้นเมื่อ 7 พฤษภาคม 2567.
- [9] Xiamen Wanhos Solar Technology Co., Ltd. (2023). **ความรู้พื้นฐานของโมดูลโซลาร์เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์**. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://th.pv-mounting.com/info/basic-knowledge-of-solar-photovoltaic-modules-49377841.html> สืบค้นเมื่อ 7 พฤษภาคม 2567.
- [10] Astro Instrument Co., Ltd. (2024). **Tensile strength tester**. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.astroinstrument.com/knowledge/tensile-strength-tester/> สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567.
- [11] Flu-Tech Co., Ltd. (2024). **ระบบนิวเมติกส์ (Pneumatic System)**. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://flutech.co.th/pneumatic-system/> สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567.
- [12] FactoryMartOnline. (2024). **การหาอัตราความลื่นเป็ลียงของ กระบอกลม**. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.factorymartonline.com/content/7996> สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2567.
- [13] วรวัฒน์ กาญจนสิงห์. (2566). **การพัฒนาเครื่องเทนไซล์**. ปรินญาณิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์.