

เทคนิคการลดไฟฟ้าสถิตในกระบวนการกรองซิลิโคน โดยใช้กรงฟาราเดย์ร่วมกับกราวด์

Electro-Static Discharge Reduction in Silicone Filter Process using Faraday Cage with Ground Technique

กฤษฎ์ เลิศล้ำ^{1,*} และ ชลธิ์ โพธิ์ทอง¹

¹ สาขาวิชาไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ขามเรียง กันทรวิชัย มหาสารคาม 44150

Krit Lertlam¹ and Chonlatee Photong^{1,*}

¹ Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University,

Kantarawichai, Maha Sarakham, 44150, Thailand

*Corresponding Author E-mail: Krit.ler@msu.ac.th

Received: May 18, 2021; Revised: Aug 20, 2021; Accepted: Aug 23, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณไฟฟ้าสถิตและเพิ่มความปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการกรองซิลิโคน โดยใช้เทคนิคกรงฟาราเดย์ ผู้วิจัยค้นพบว่า การเกิดและคายประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและรุนแรงในกระบวนการกรองซิลิโคนเกิดจากการเสียดสีของวัสดุไตรโบอิเล็กทริกซีรีส์ ได้แก่ ซิลิโคน และผ้ากรองไนลอน ที่ถูกอัดด้วยแรงดันขนาด 150–200 บาร์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากไม่สามารถทำการทดลองในสถานที่จริงได้ ผู้วิจัยจึงได้จำลองการเกิดคายประจุไฟฟ้าสถิตและปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในห้องทดลอง เพื่อทดสอบเทคนิคการลดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยใช้กรงฟาราเดย์ร่วมกับกราวด์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบไม่มีกรงฟาราเดย์ แบบมีกรงฟาราเดย์ไม่ต่อกราวด์ และแบบมีกรงฟาราเดย์และต่อกราวด์ จากผลการวิจัยพบว่า การติดตั้งกรงฟาราเดย์สามารถลดปริมาณไฟฟ้าสถิตลงได้ร้อยละ 51 และสามารถลดปริมาณไฟฟ้าสถิตลงได้อีกถึงร้อยละ 71 เมื่อมีการต่อกราวด์ร่วมด้วย

คำหลัก: การลดไฟฟ้าสถิต, กระบวนการกรองซิลิโคน, กรงฟาราเดย์

Abstract

This research aims to reduce electro-static discharge and increase safety for workers in the silicone filling process by using the Faraday cage technique. The research found that the electro-static and its discharge occurred rapidly and severely, which was caused by the friction of triboelectric series material, silicone, and nylon filter cloth, that was compressed by very high compression of 150–200 bars. This electro-static discharge was therefore dangerous for the workers. Because the experiment cannot be carried out in the real place. This research simulated discharge static electricity and other related factors in the laboratory. To test the electrostatic reduction technique using a Faraday cage in combination with ground. The experimental test scenarios were divided into 3 cases: without the Faraday cage, with the Faraday cage but without grounding and with Faraday cage with grounding. According to the research results, it was found that by installing the

Faraday cage solely could reduce the amount of electro-static discharge by 51% but with also the additional grounding could reduce the amount of electro-static by 71% when grounded, compared to one without the Faraday cage.

Keywords: Electro-static reduction, Faraday cage, Silicone filling process

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตซิลิโคนเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมต่าง ๆ และชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากซิลิโคนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น ใช้ในการผลิตกาว สารเคลือบผิว สารหล่อลื่น เครื่องสำอาง รวมไปถึงการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น ซิลิโคน (Silicone) หรือ พอลิซิลอกเซน (Polysiloxanes) เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างสายโซ่หลัก ซึ่งจะประกอบไปด้วย ซิลิคอน (Silicon) ออกซิเจน (Oxygen) และมีหมู่ข้างเคียงเป็นสารพวกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติตามที่ต้องการ [1],[2] มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับประเภทของซิลิโคนที่ต้องการ อุตสาหกรรมผลิตซิลิโคนแห่งประเทศไทยจะแบ่งการผลิตออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ Liquid Injection Molding System (LIMs) Sealant Emulsion และ Silicone Oil ในการวิจัยนี้ได้มุ่งศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตซิลิโคนแบบเหลวด้วยกระบวนการ Liquid Silicone Rubber Injection Molding System (LIMs) ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตอยู่ 4 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการเติมสารเคมี
2. ขั้นตอนการผสมสารเคมี
3. ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ
4. ขั้นตอนการกรองซิลิโคน

จากการศึกษาวิจัยได้พบว่า ขั้นตอนการกรองซิลิโคนประสบปัญหาการคายประจุไฟฟ้าสถิตอย่างรุนแรงในขณะที่กำลังทำการกรองซิลิโคนซึ่งเหตุการณ์นี้ยังส่งผลกระทบต่อบุคลากรที่ปฏิบัติงานในหน้างานถูกไฟฟ้าสถิตช็อต ระดับความความรุนแรงอยู่ในช่วงระดับ 5-9 kV [3] โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าสถิตกับ

ผลที่เกิดกับร่างกายมนุษย์ที่จัดโดยสมาคมอุตสาหกรรมความปลอดภัยนานาชาติโดยใช้ Human Body Model (HBM) เป็นไปตามระดับดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งอยู่ในระดับอันตราย

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าสถิต Human Body Model (HBM) กับผลที่เกิดกับมนุษย์ [3]

HBM (kV)	อาการที่ปรากฏกับมนุษย์
1	ไม่มีความรู้สึก
2	รู้สึกมีอาการชาที่มือ
3	รู้สึกเหมือนโดนเข็มแทงมือ
5	มีอาการชาทั้งท่อนแขน
6	มือและแขนชา ไม่มีแรงถึงข้อมือ
7	มือและแขนชา ไม่มีแรงถึงท่อนแขน
8	มือและแขนชา ไม่มีแรงถึงข้อศอก
9	มือและแขนชา ไม่มีแรงถึงรักแร้
10	มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมือ
11	มืออยู่ในสภาพไร้ความรู้สึก เกิดการกระตุกที่ท่อนแขน
12	แขนไม่สามารถสั่งการได้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเสนอวิธีการลดปริมาณไฟฟ้าสถิตในกระบวนการกรองซิลิโคนและเพิ่มความปลอดภัยในกระบวนการทำงานของบุคลากร เพื่อลดการคายประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นในกระบวนการกรองซิลิโคนและมีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน โดยใช้เทคนิคกรงฟาราเดย์ (Faraday Cage) โดยมีรายละเอียดข้อมูลที่เกี่ยวข้อง การออกแบบอุปกรณ์เพื่อการทดสอบและบันทึกผล และผลการวิจัย ในหัวข้อต่อไป

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ศึกษากระบวนการกรองซิลิโคนและทฤษฎีเพื่อหา

สาเหตุของการเกิดไฟฟ้าสถิต

ในขั้นตอนการกรองซิลิโคนนี้จะใช้เครื่องอัดซิลิโคน (Extruder Machine) ที่อาศัยแรงอัดขนาด 150–200 บาร์ ให้ซิลิโคนเคลื่อนที่ไปยังตัวกรองซิลิโคน (Basket Filter) เพื่อกรองซิลิโคนให้มีความละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นและในขณะที่ซิลิโคนเคลื่อนที่ออกจากตัวกรองซิลิโคนจะเกิดปรากฏการณ์การคายประจุไฟฟ้าสถิตอย่างรุนแรงเกิดขึ้นตามมา จากการศึกษาตัวกรองซิลิโคน (Basket Filter) จะมีส่วนประกอบ ได้แก่ ฝาครอบตะแกรง ลูกบอลในตัวกรอง โครงเหล็กครอบลูกบอล ตะแกรง Filter NMO-50 μ m NMO-80 μ m Stand วาง GAF ท่อต่อแวนอน ท่อข้องอ Pin lock Clamp lock ท่อ U-Bolt lock O-RING ตะแกรง และ O-RING ต่อท่อ พบว่ามีวัสดุที่เป็นไปตามทฤษฎีไตรโบอิเล็กทริก (Triboelectric) [4] ได้แก่ NMO-50 μ m NMO-80 μ m และซิลิโคน ตามทฤษฎีไตรโบอิเล็กทริก (Triboelectric) เกิดจากพื้นฐานของปรากฏการณ์ไฟฟ้าสถิต [3],[5] คือความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าบนพื้นผิวของวัสดุ เมื่อวัตถุทั้งสองชนิดเกิดการเสียดสีกัน อันเนื่องมาจากผลของแรงกระตุ้นเชิงกลที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างวัสดุ โดยที่วัสดุแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการถ่ายเทประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ตามตารางที่ 1 ตารางไตรโบอิเล็กทริก (Triboelectric series) แสดงให้เห็นระดับความสามารถในการถ่ายเทอิเล็กตรอน ความรุนแรงในการเกิดเหตุการณ์การคายประจุไฟฟ้าสถิต [5] ในแต่ละครั้ง มีปัจจัยหลัก 4 ปัจจัยดังนี้

1. ชนิดของวัตถุทั้งสอง ตามตารางที่ 2 ตารางไตรโบอิเล็กทริก (Triboelectric Series) ความรุนแรงในการคายประจุไฟฟ้าสถิตจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการคายและรับอิเล็กตรอนของวัตถุชนิดนั้น ๆ

2. ความรุนแรง และระยะเวลาในการเสียดสีของวัตถุ ยิ่งมีความรุนแรง ระยะเวลา มาก จะให้เกิดการสะสมและคายประจุไฟฟ้าสถิตรุนแรงมากขึ้นตาม

3. ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความชื้นน้อยยิ่งทำให้เกิดการถ่ายเทและสะสมของประจุไฟฟ้าได้ง่าย

4. ลักษณะของพื้นผิวของวัสดุทั้งสอง วัสดุที่มีพื้นผิวที่ขรุขระจะมีพื้นที่ในการเสียดสีมากทำให้การถ่ายเทประจุไฟฟ้าได้มากขึ้น

ตารางที่ 2 ตารางไตรโบอิเล็กทริกซึรี่ [4]

More positively charged (+)	Silver
Rabbit's Fur, Hair	Gold
Glass	Polyester (PET)
Mica	Polystyrene
Wool	Acrylic
Nylon	Polyvinyl Chloride W/plasticizer
Lead	Silicone
Silk	Polyethylene
Aluminum	Polypropylene
Paper	Polytrifluoro chloroethylene
Wood	Teflon (PTFEE)
Amber	Silicon Rubber
Rubber Balloon	Ebonite
Copper	More negatively charged (-)

2.2. เทคนิคการจัดการไฟฟ้าสถิตโดยทั่วไปจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณ ปัจจุบัน บริษัทอุตสาหกรรมซิลิโคนในประเทศไทยได้ใช้วิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการใช้ คีมคิบบราวน์ในตำแหน่ง ตะแกรง GAF ติดตั้งพื้นกราวด์ อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าสถิตต่าง ๆ ได้แก่ เสื้อ หมวก รองเท้า สำหรับการป้องกันไฟฟ้าสถิต และเกียงพันด้วยจนวนไฟฟ้าสำหรับการปาดซิลิโคน ซึ่งทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ยังไม่สามารถที่ลดหรือป้องกันอุบัติเหตุจากการถูกไฟฟ้าสถิตช็อคได้

ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเทคนิคและวิธีการจัดการไฟฟ้าสถิตต่าง ๆ จากงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยสรุปได้ดังนี้

1. เครื่องกำจัดไฟฟ้าสถิต (Ionizer) [3],[6-7] เป็นระบบที่ปล่อยประจุแบบโคโรนา (Corona Discharge) เพื่อกระจายประจุไฟฟ้าไปในอากาศเพื่อให้สัมผัสกับพื้นผิว

2. การเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) [3],[6],[8] เทคนิคนี้จะเพิ่มความชื้นเข้าไปในอากาศ เมื่อสภาพแวดล้อมนั้นมีความชื้นสูงการเคลื่อนที่เนื่องจากความร้อนทำให้ปริมาณไอน้ำที่เข้ามาชนและดูดซับวัตถุบนพื้นผิว ทำให้มีความต้านทานกระแสไฟฟ้าบนพื้นผิวลดลงและช่วยยับยั้งการถ่ายเทประจุไฟฟ้าได้

3. ตัวนำที่เป็นฉนวนไฟฟ้า [9-11] ทำให้พื้นผิวฉนวนไฟฟ้าโดยการเพิ่มสารป้องกันไฟฟ้าสถิต สารเติมแต่งหรือขุบเคลือบบนพื้นผิววัสดุ

4. ระบบกราวด์ (Grounding) [3],[12],[13] การต่อกราวด์เชื่อมต่อกับทางไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะช่วยในการถ่ายเทประจุไฟฟ้า ลงสู่พื้นดินได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้างมีค่าเท่ากับพื้นดิน

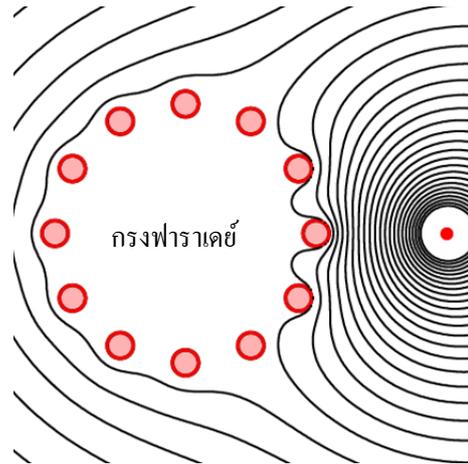
5. กรงฟาราเดย์ (Faraday Cage) [14-16] คือวัสดุที่ทำจากโลหะนำไฟฟ้าเชื่อมต่อกันเป็นตาข่ายสนามไฟฟ้าภายนอกทำให้ประจุภายในตัวนำไฟฟ้ากระจายออกไปในลักษณะที่ทำให้สนามไฟฟ้าหักล้างกันเอง ซึ่งสามารถป้องกันอุบัติเหตุจากการถ่ายเทไฟฟ้าสถิตได้

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการจัดการไฟฟ้าสถิตโดยใช้กรงฟาราเดย์ร่วมกับกราวด์ ซึ่งจะเป็นวิธีการจัดการที่เหมาะสมที่สุด อีกทั้งยังไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของชิปคอนที่จะทำให้เกิดการของการปนเปื้อนของเนื้อชิปคอนตามมาอีกด้วย

2.3. ทฤษฎีกรงฟาราเดย์

กรงฟาราเดย์ (Faraday Cage) คือ แท่งตัวนำหรือโลหะที่นำไฟฟ้าได้ดีเชื่อมต่อกันเป็นตาข่าย (Mesh) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เข้ามากระทบจะทำให้ประจุไฟฟ้าภายในตัวนำเคลื่อนที่เพื่อหักล้างกันกับสนามแม่เหล็ก

ไฟฟ้าภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีเงื่อนไขการกีดขวางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายนอก คือช่องตาข่ายควรมีขนาดเล็กกว่า 1 ใน 8 ของแถบคลื่นความถี่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (λ) จึงจะสามารถลดหรือกีดขวางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายนอกได้ กรงฟาราเดย์จะป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลง ไปอย่างรุนแรงได้เท่านั้น



รูปที่ 1 การกีดขวางสนามไฟฟ้าของกรงฟาราเดย์แบบ 2 มิติ [16]

ในปี ค.ศ.1905 อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ได้อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตรอน [17] โดยใช้แนวคิดของ แมกซ์ พลังค์ (Max Planck) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบผิวโลหะจะมีลักษณะคล้ายอนุภาคประกอบไปด้วยพลังงานเล็ก ๆ (E) เรียกว่า ควอนตัมพลังงานหรือโฟตอน (Photon) ซึ่งขนาดจะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$E = h \nu \quad (1)$$

โดยที่ E คือพลังงาน (Energy) มีหน่วยเป็นจูล(J) h คือค่าคงที่ของพลังค์ (Planck constant) 6.25×10^{-34} Js. ν คือความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็น Hz หรือ S^{-1} นอกจากนี้ความถี่ของคลื่นยังมีความสัมพันธ์กับความยาวของคลื่นดังต่อไปนี้

$$V = c/\lambda \quad (2)$$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นเมตร (m) c คือ ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กในสุญญากาศ 2.997×10^8 m/s ดังนั้น ค่าพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$E = hc/\lambda \quad (3)$$

งานวิจัยของ เจียรนัย เล็กอุทัย [18] การพัฒนาสร้างเครื่องมือทดสอบววนฮีสเทอรีซิสของค่าโพลาริเซชันและสนามไฟฟ้าสำหรับวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริก งานวิจัยนี้ได้ใช้กรงฟาราเดย์ป้องกันไฟฟ้ารั่ว เนื่องจากมีการป้อนสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มข้นสูงในอุปกรณ์จับชิ้นงาน

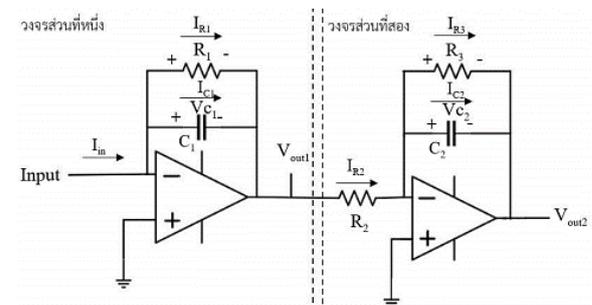
งานวิจัยของ ญัฐดนัย ทองชมพู [19] การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของฟ้าผ่าที่มีต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการป้องกัน งานวิจัยนี้ได้ใช้กรงฟาราเดย์ป้องกันผลกระทบจากค่าของสนามแม่เหล็ก เพื่อการควบคุมในส่วนของปริมาณแสง ระยะห่างในการทดสอบรวมถึงการตรวจวัด ในการออกแบบอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดสอบ

2.4. เครื่องมือวัด

เพื่อที่จะสามารถอ่านค่าได้จากเครื่องออสซิลโลสโคป จึงต้องมีวงจรขยายแรงดันเพื่อใช้วัดปริมาณไฟฟ้าสถิตที่ได้จำลองขึ้นมา ซึ่งผู้วิจัยไม่มีเครื่องมือในการวัดค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตที่แท้จริง จึงได้ศึกษาและเลือกใช้ระบบการวัดประจุจากงานวิจัยการศึกษาลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าสถิตและจุลศาสตร์ไฟฟ้าอนภาคในน้ำมันฉนวน [20] โดยจะใช้ระบบการวัดประจุที่ประกอบไปด้วยออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรมินิเกรเตอร์และวงจรขยายสัญญาณต่ออนุกรมกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 ลักษณะการทำงานของวงจรเมื่อมีแรงดันขาเข้า (V_{in}) กระแสของวงจรในช่วงเริ่มต้นจะไหลมาที่ตัวเก็บประจุ เนื่องจากตัวเก็บประจุ (C_1) มีค่าเป็น 0 เวลาผ่านไปนานกระแสไหลจะผ่านตัวต้านทานเนื่องแรงดันอัดตัวเก็บประจุ (C_1) ไล่เต็มแล้วแรงดันขาออก (V_{out}) ต้องอยู่ในฟังก์ชันประจุ กระแสจึงถูกบังคับให้ไหลผ่านตัวเก็บประจุ (C_1) วิธีการปรับค่าคงที่

ของเวลา (Time constant) ให้มากกว่าเวลา ที่ใช้ในการทดลองสามารถได้โดยปรับค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุ ผลลัพธ์แรงดันขาออก (V_{out}) ที่ได้จะมีค่าส่วนกลับของแรงดันตัวเก็บประจุ ($-V_C$) แรงดัน (V_{out}) ของวงจรที่หนึ่งคือแรงดันขาเข้า (V_{in}) ของวงจรที่สอง เมื่อแรงดันไหลผ่านตัวต้านทาน R_2 และ R_3 ตามลำดับ ตัวเก็บประจุจะต้องมีค่าน้อยมากเพราะต้องการขยายแรงดันขาออกของวงจร ที่หนึ่ง (V_{out}) ที่มีค่าน้อยมาก ๆ สัญญาณที่ไหลออกจากตัวต้านทานคือสัญญาณแรงดันขาออก (V_{out}) ทำหน้าที่ขยายแรงดันแบบกลับขั้วให้หิมค่าเพิ่มขึ้นดังสมการ

$$A_v = -R_3/R_2 \quad (4)$$



รูปที่ 2 วงจรออปแอมป์แบบอินทิเกรตส่วนที่หนึ่งและวงจรขยายส่วนที่สอง [16]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการทดลองในรูปแบบจำลองเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของงบประมาณ ระยะเวลาและวิธีการทดลองที่อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตซิลิโคนในอุตสาหกรรมซิลิโคนแห่งประเทศไทย ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาวิธีการสร้างประจุไฟฟ้าสถิตโดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิต (Van de Graaff Generator) [21] เพื่อนำมาต้นแบบในการศึกษาวิธีการสร้างประจุไฟฟ้าและนำประจุไฟฟ้าออกมาเพื่อนำมาพิสูจน์ความสามารถในการป้องกันไฟฟ้าสถิตโดยใช้เทคนิคกรงฟาราเดย์และใช้เครื่องมือวัดที่จะใช้ในการวัดผลปริมาณไฟฟ้าสถิต

3.1. การออกแบบและจัดสร้างระบบต่าง ๆ

3.1.1. ลักษณะการเกิดไฟฟ้าสถิตในกระบวนการกรองซิลิโคนเกิดจากการที่ซิลิโคนเสียดสีหรือเคลื่อนที่

ผ่านฟ้าไนลอนด้วยแรงดันขนาด 150–200 บาร์ ทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนอย่างรุนแรง ผู้วิจัยจึงได้ใช้วัสดุที่เป็นไปตามทฤษฎีไดโตรีโอบิอิเล็กทริกซึ่งใช้ในการเสียดสีเพื่อสร้างประจุไฟฟ้าสถิตได้แก่ ท่อ PVC ขนาด 1 นิ้ว ยาว 16 เซนติเมตร และฟ้าไนลอน ขนาด 25×30 เซนติเมตร และอุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ อิเล็กโทรดรับประจุ ขนาด 20×20 มิลลิเมตร อะลูมิเนียมทรงกระบอก ขนาด 245 มิลลิเมตร มอเตอร์พัดลมขนาด 16 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 3

หลักการการทำงานเมื่อกดเปิดมอเตอร์ท่อ PVC จะหมุนเพื่อเสียดสีกับฟ้าไนลอนและเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างวัตถุอิเล็กโทรดจะทำหน้าที่รับประจุไฟฟ้าส่งไปยังกระป๋องอะลูมิเนียมเพื่อแพร่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าออก วัตถุที่อยู่บริเวณรอบ ๆ กระป๋องอะลูมิเนียมจะถูกเหนี่ยวนำและในที่สุดจะมีการคายประจุไฟฟ้าสถิตออกมา



รูปที่ 3 แสดงภาพจริงของเครื่องสร้างไฟฟ้าสถิต

3.1.2 ระบบการวัดประจุไฟฟ้า จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4 ได้แก่ อิเล็กโทรด ขนาด 10×10 เซนติเมตร ทำหน้าที่รับประจุไฟฟ้า วงจรขยายสัญญาณ ซึ่งจะประกอบไปด้วยวงจรรีเลย์ วงจรขยายสัญญาณต่ออนุกรม ซึ่งจะถูกต่อเข้ากับไฟ 24 Vdc ใช้ตัวเก็บประจุ $C_s = 0.1 \mu\text{F}$ เพื่อกรองสัญญาณความถี่สูง จึงเลือกใช้พารามิเตอร์ของวงจรรีเลย์ที่ $R_0 =$ ความต้านทานของสายไฟ $R_1 = 500 \text{ k}\Omega$ $C_1 = 2200 \text{ pF}$ วงจรขยายมีค่า $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ $R_3 = 500 \text{ k}\Omega$ $C_2 = 100 \text{ pF}$ ซึ่งวงจรส่วนที่สองมีอัตราขยาย -500 เท่า และออสซิลโลสโคปรุ่น GSD-2074A จะทำหน้าที่แสดงผลรูปคลื่นในลักษณะของรูปคลื่น



รูปที่ 4 ระบบวัดประจุไฟฟ้าสถิต

3.1.3 กรงฟาราเดย์ เป็นวัสดุที่ทำมาจากลวดอะลูมิเนียมสานกันเป็นตาข่ายเรียกว่า ตาข่ายอะลูมิเนียม ซึ่งสามารถจัดซื้อได้ง่ายดัง รูปที่ 5 มีขนาด 210×290 มิลลิเมตร ขนาดของลวด 0.3 มิลลิเมตร และขนาดช่องตาข่ายมีขนาด 2×2 มิลลิเมตร



รูปที่ 5 ตาข่ายอะลูมิเนียม

4. วิธีการและผลการทดลอง

4.1. วิธีการทดลอง

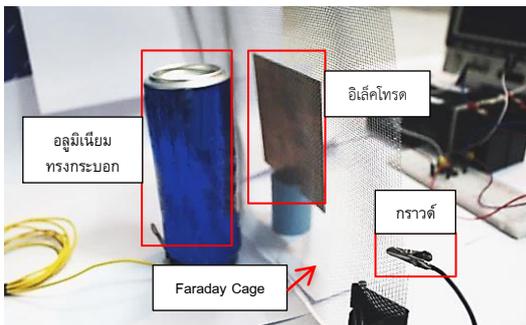
ผู้วิจัยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ การทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยที่ไม่ติดตั้งกรงฟาราเดย์ การทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยติดตั้งกรงฟาราเดย์ และการทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยติดตั้งกรงฟาราเดย์และกราวด์ร่วมด้วย

การทดลองนี้จะต้องมีการติดตั้งระบบต่าง ๆ ดังตัวอย่างในรูปที่ 6 ซึ่งระยะห่างระหว่างอะลูมิเนียมทรงกระบอกและแผ่นอิเล็กโทรดรับประจุไฟฟ้าจะห่างกันด้วยระยะ 3.5 เซนติเมตรในทุกรูปแบบ เนื่องจากระยะห่างมีผลต่อแรงกระทำระหว่างประจุ [22] โดยสมการดังนี้

$$F = Kq_1q_2/r^2 \quad (5)$$

โดยที่ F คือ แรงกระทำระหว่างประจุ มีหน่วยเป็น นิวตัน K คือ ค่าคงที่ 9×10^9 q_1 คือ ประจุไฟฟ้าจุดที่ 1 มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ q_2 คือ ประจุไฟฟ้าจุดที่ 2 มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ r = ระยะห่างระหว่างจุดประจุ มีหน่วยเป็นเมตร

ในกรณีที่มีการติดตั้งกรงฟาราเดย์จะมีวางตำแหน่ง ตรงกลางระหว่างทรงกระบอกและแผ่นอิเล็กโทรด และการติดตั้งกราวด์จะเทียบกับกรงฟาราเดย์



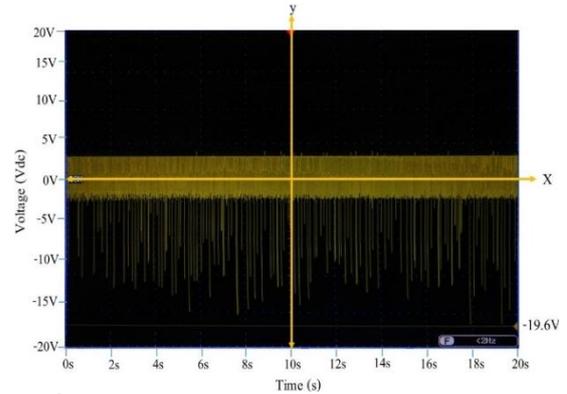
รูปที่ 6 การวางตำแหน่งของอะลูมิเนียมทรงกระบอกกรงฟาราเดย์ติดตั้งระบบกราวด์ และแผ่นอิเล็กโทรด

4.2. วิธีการเก็บผลการทดลอง

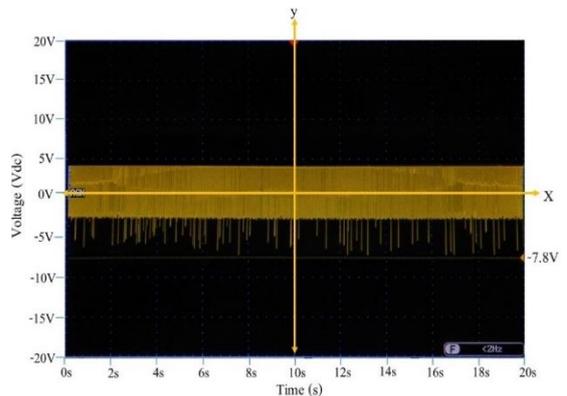
ห้องทดลองมีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าแรงดันไฟฟ้าสถิต [3] และอีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพของซิลิโคน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีการควบคุมอุณหภูมิห้องโดยอ้างอิงค่าจากห้องที่ใช้ในกระบวนการกรองซิลิโคน โดยมีอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส และความชื้นที่ 47%HR ปรับออสซิลโลสโคปสเตลแรงดัน DC 5V คาบเวลา (T) 2s เก็บผลการทดลอง 40 ครั้ง ครั้งละ 20 วินาที โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

1. เปิดเครื่องออสซิลโลสโคปและปรับวัดสเตลแรงดันที่ DC 5V และเวลา 2s
2. เปิดมอเตอร์เพื่อหมุนท่อ PVC ให้เสียดสีกับผ้าไนลอน
3. เมื่อครบเวลา 20 วินาที จึงกด Stop ที่เครื่องออสซิลโลสโคป และมอเตอร์พัลตามลำดับ
4. ถ่ายภาพและเก็บผลการทดลอง

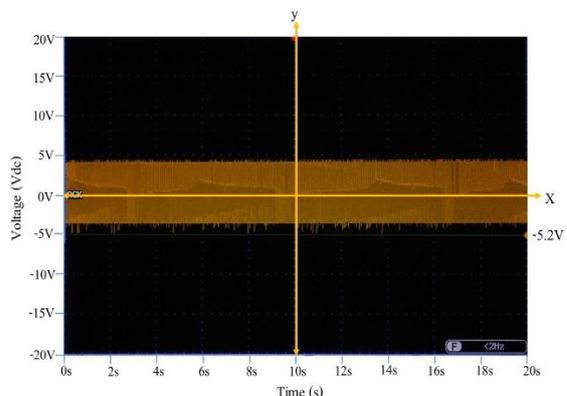
จากการทดลองวัดผลทั้ง 3 รูปแบบแสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาการทดลอง 20 วินาที ค่าปริมาณไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 7-9 ผู้วิจัยจึงได้เลือกเก็บผลแรงดัน (ΔV) สูงสุดของช่วงเวลาการทดลองในแต่ละรูปแบบ



รูปที่ 7 ตัวอย่างผลการทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยที่ไม่ติดตั้งกรงฟาราเดย์



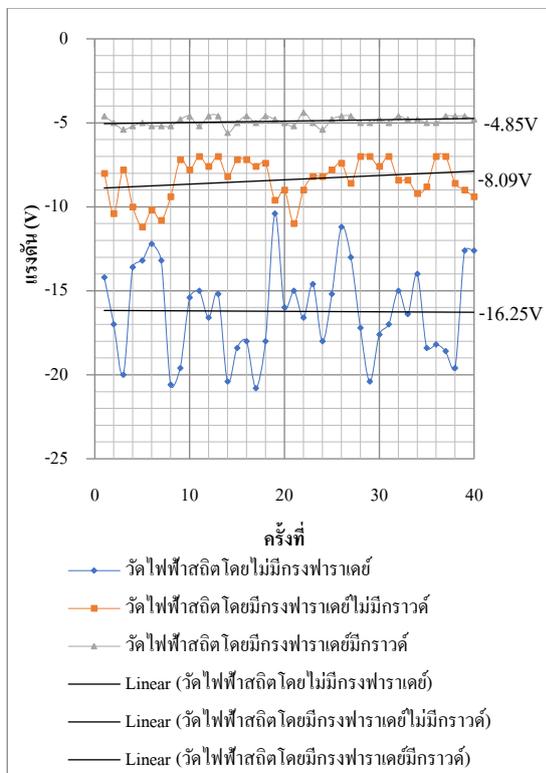
รูปที่ 8 ตัวอย่างผลการทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยติดตั้งกรงฟาราเดย์



รูปที่ 9 ตัวอย่างผลการทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยติดตั้งกรงฟาราเดย์และกราวด์

4.3.ผลการทดลอง

รูปที่ 10 จากกราฟผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าการทดลองในรูปแบบที่ 1 แสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตที่ได้ทำการทดลองในแต่ละครั้งมีที่ค่าไม่คงที่ขึ้น ๆ ลง ๆ เกิดจากปริมาณไฟฟ้าสถิตหลงเหลืออยู่ในวัตถุ และการออกแรงจับผ้าไนลอนเพื่อให้เกิดเสียดสีกับท่อ PVC ในแต่ละครั้งไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนไม่เท่ากันส่งผลทำให้การวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตมีค่าไม่คงที่และวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยเฉลี่ยได้ -16.25 โวลต์ การทดลองในรูปแบบที่ 2 สังเกตได้ว่าค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตที่วัดได้ในแต่ละครั้งมีค่าลดลงเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับการทดลองในรูปแบบที่ 1 และยังไม่มีความคงที่ขึ้น ๆ ลง ๆ เช่นเดียวกัน โดยสามารถวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยเฉลี่ยได้ -8.09 โวลต์ การทดลองในรูปแบบที่ 3 แสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตลดลงเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับการทดลองในรูปแบบที่ 1 และ 2 ยังคงค่าไม่คงที่ขึ้น ๆ ลง ๆ เพียงเล็กน้อย วัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยเฉลี่ยได้ -4.85 โวลต์



รูปที่ 10 กราฟผลการทดลอง

5. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

5.1.สรุปผลการทดลอง

การทดลองในรูปแบบที่ 1 จะมีค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตเฉลี่ยที่ -16.52 โวลต์ เมื่อเทียบกับปริมาณไฟฟ้าของการทดลองในรูปแบบที่ 2 และ 3 จะแสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตลดลงถึง 8.43 โวลต์ และ 11.67 โวลต์ หรือเปรียบเทียบเป็นปริมาณร้อยละ 51% และ 71% ลดลงตามลำดับ

5.2.อภิปรายผลการทดลอง

จากข้อสรุปผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากรงฟาราเดย์สามารถลดปริมาณไฟฟ้าสถิตได้ซึ่งเป็นตามทฤษฎีของกรงฟาราเดย์ กรงฟาราเดย์ที่ผู้วิจัยได้นำมาทดลองสามารถกีดขวางคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่ออกมาได้เป็นบางส่วนส่งผลทำให้เกิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตไปยังอิเล็กโทรดของระบบการวัดได้น้อยลงถึง 51% และยังมีประจุไฟฟ้าบางส่วนที่ยังหลงเหลืออยู่ในหลอดตาข่าย เนื่องจากไม่มีการติดตั้งระบบกราวด์เพื่อให้อิเล็กโทรดลงสู่พื้นดิน เมื่อกรงฟาราเดย์มีการติดตั้งระบบกราวด์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำประจุภายในกรงฟาราเดย์ส่งผลทำให้ประจุที่อยู่พื้นผิวโลกจะเคลื่อนที่ขึ้นมาตามแรงเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้กรงฟาราเดย์มีประสิทธิภาพในการกีดขวางมากขึ้นถึง 71% ระบบการวัดที่ได้ค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตที่นำมาใช้ในการทดลองยังไม่ใช่ค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตที่แท้จริงเนื่องจากผู้วิจัยไม่มีเครื่องมือที่สามารถวัดค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตที่แท้จริง

ดังนั้นการนำกรงฟาราเดย์มาใช้ในระบบการทำงานจริงยังต้องมีการศึกษาและทดสอบเพื่อหาปริมาณไฟฟ้าสถิตที่แท้จริง ความเหมาะสมของขนาดกรงฟาราเดย์ และลักษณะการติดตั้งกรงฟาราเดย์ในกระบวนการกรองซิลิโคนเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทำงาน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการ WIL (Work-integrated Learning) โดยได้รับความร่วมมือจาก

บริษัท ShinEtsu Silicone (Thailand Limited) และคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. C. Shit and P. Shah, "A review on silicone rubber," *National Academy Science Letters*, vol. 36, no. 4, pp. 355–365, 2013.
- [2] K. E. Polmanteer, "Silicone rubber, its development and technological progress," *Rubber chemistry and technology*, vol. 61, no. 3, pp. 470–502, 1988, doi: 10.5254/1.3536197.
- [3] S. Srirod, and P. Damrongkulkamjorn, "Reduction of Electrostatic Hazards in Textile Finishing Plants," *Kasetsart Engineering Journal*, vol. 22, no. 69, pp.1–12, 2009.
- [4] S. Pan and Z. Zhang, "Fundamental theories and basic principles of triboelectric effect: A review," *Friction*, vol. 7, no. 1, pp. 2–17, 2019, doi: 10.1007/s40544-018-0217-7.
- [5] M. A. Kelly, G. E. Servais, and T. V. Pfaffenbach, "An investigation of human body electrostatic discharge," in *the 19th International Symposium for Testing & Failure Analysis*, Los Angeles, CA, USA, Nov. 15–19, 1993, pp. 167–173.
- [6] A. Wattanahuttakum, S. Deem, and B. Limpiyapun, "Effect of electrostatic on weighing accuracy," *Bulletin of Applied Sciences*, vol. 8, no. 8, pp. 64–71, 2019.
- [7] N. Jai-ngam. "Reduction of defects from electrostatic discharge in the head gimbal stack assembly line by applying the six sigma method," M.S. diss., Dept. Ind. Eng., Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 1999.
- [8] S. Arunsawad, "Preparation of Graphene/Poly (Pyrrole-co- Formyl Pyrrole) Composites for Antistatic Polyurethane Coating," M.S. diss., Dept. Petrochemistry and Polymer Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2014.
- [9] P. Nuamcharoen, "Physical properties of reduced graphene oxide/poly (butylene succinate) composites," M.S. diss., Dept. Petrochemistry and Polymer Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2015.
- [10] K. Sathansatit, S. Chousakul, W. P. Ouajai and S. Ouajai, "Mechanical, Thermal and Electrical Properties of LLDPE Filled with Polypyrrole and Carbon Black," *Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 21, no. 2, pp. 349–356, 2011.
- [11] W. Srihata and S. Kaewpirom, "Anti-electrostatic Discharge Materials from Chitosan/poly (ethylene glycol) Blends," *The Journal of Industrial Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 1–10, 2013.
- [12] S. Damrongkittikul, D. Saenrak et al., *CODE OF PRACTICE FOR DESIGN, INSTALLATION, INSPECTION AND TESTING OF GROUNDING SYSTEM*. Council of Engineers, Bangkok, Thailand, 2011.
- [13] M. Chaoluang, P. Sanposh and W. Kanokbannakorn, "ANALYSIS OF GROUNDING SYSTEM FOR SAFETY IN GAS PRODUCTION AND GAS FILLING PLANT," *Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology)*, vol. 9, no. 18, pp. 136–149, 2017.
- [14] M. Pusayatanont and B. Sookananta, "External Lightning Protection Systems," *UBU Engineering Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 112–124, 2013.
- [15] S. J. Chapman, D. P. Hewett and L. N. Trefethen, "Mathematics of the Faraday cage," *Siam Review*, vol. 57, no. 3, pp. 398–417, 2015.

- [16] N. A. Zakaria, R. Sudirman and M. N. Jamaluddin, "Electromagnetic Interference Effect from Power Line Noise in Electrocardiograph Signal using Faraday Cage," in 2008 IEEE 2nd International on Power and Energy Conference, Johor Baharu, Malaysia, Dec. 1–3, 2008, pp. 666–671. doi: 10.1109/PECON.2008.4762559.
- [17] E. T. Whittaker, "Albert Einstein, 1879–1955," *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, vol. 1, pp. 37–67, 1955, doi: 10.1098/rsbm.1955.0005.
- [18] J. Lekuthai, B. Cherdhirunkorn and J. Panityotai, "Development of the Polarization-Electric Field Hysteresis Loop Measurement Set for Ferroelectric Materials," *Thai Science and Technology Journal (TSTJ)*, vol. 23, no. 3, pp. 466–474, 2015.
- [19] N. Thongchompoo, "A Study and Analysis of Lightning Effects on PV and Protection," M.S. diss., Dept. Electr. Eng., Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand.
- [20] P. Rojthanawanit, "Study on the electrostatic and electrokinetic characteristics of particles in an insulating oil," M.S. diss. Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2019.
- [21] J. W. Boag, "The design of the electric field in a Van de Graaff generator," in *Proceedings of the IEE-Part IV: Institution Monographs*, vol.100, no. 5, pp. 63–82, 1953, doi: 10.1049/pi-4.1953.0010.
- [22] M. Kim, Y. Cheong and J. Song, "The meanings of physics equations and physics education," *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 73, no. 2, pp. 145–151, 2018, doi: 10.3938/jkps.73.145.