



การลดของเสียในกระบวนการทดสอบแรงต้านกลับไฟฟ้า กรณีศึกษาอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

Defect Reduction in Back Emf Test Process A Case Study of Electronics Industry

กรวิกา ไพลาลเจริญ¹ และมณฑล ศาสนนันท์

¹ สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,

Cookies1913@hotmail.com

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, nmontale@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการทดสอบค่าแรงต้านกลับไฟฟ้าของฮาร์ดดิสก์รุ่นอาร์วี ซึ่งเป็นของเสียปริมาณมากที่สุดในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ในโรงงานของกรณีศึกษาแห่งนี้ โดยประยุกต์แผนภูมิแก๊งปลาเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลที่เกิดขึ้นส่งผลต่อการทำให้เกิดของเสีย จากนั้นใช้การวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบเพื่อพิจารณาหาสาเหตุที่มีความรุนแรงที่สูง นำไปซึ่งการออกแบบการทดลองวิธีการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลและศึกษาระดับของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียในกระบวนการทดสอบค่าแรงต้านกลับไฟฟ้า

จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทดสอบค่าแรงต้านกลับไฟฟ้าได้แก่ จำนวนรอบของการพันขดลวดทองแดง ขนาดของขดลวดทองแดง ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างแม่เหล็กถาวรของกระบวนการผลิตโรเตอร์ เมื่อทดลองหาระดับที่เหมาะสมนำไปทดลองนำไปผลิตจริง โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการจากสิ่งที่มีของกระบวนการผลิต พบว่าสามารถลดของเสียในกระบวนการนี้จาก 8.9% เป็น 5% คิดเป็นจำนวน 1.3 ล้านชิ้นต่อเดือน เมื่อเลือกช่วงของแรงดันไฟฟ้าในการสร้างแม่เหล็กถาวรได้เหมาะสม

คำสำคัญ: การลดของเสียจากกระบวนการผลิต, การปรับปรุงกระบวนการผลิต, การวิเคราะห์ความล้มเหลว, การออกแบบการทดลอง, โรเตอร์, ขดลวด

ABSTRACT

The objective of this study is to reduce the amount of waste in the Back emf. testing process of Hard disk model RV. Which is the highest volume waste in the hard disk production process in this factory case study by applying the fishbone chart to study the relationship between cause and effect which causes waste Then use the failure analysis and the effect to determine the cause of high severity then to experimental design, factorial design methods, and studying the level of factors affecting waste occurrence in the process of testing electrical resistance

From the study, it is found that the factors that have an effect on the electrical resistance test process are Number of turns of copper winding, Copper wire size and the voltage value used to create a permanent magnet for the rotor manufacturing process. When experimenting to find the suitable level for experimenting with the production by focusing on the improvement of processes based on from the things in the production process current

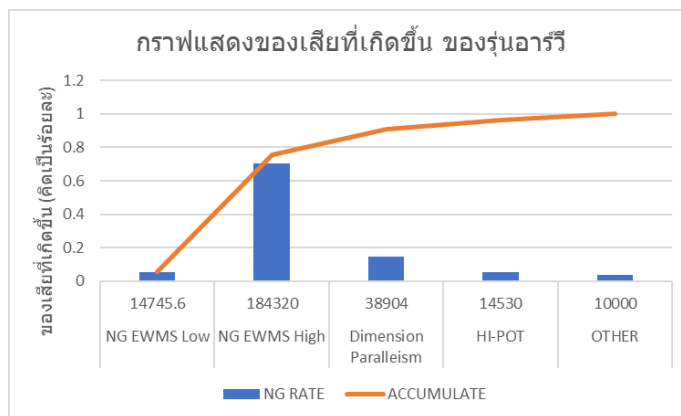


It is found that waste in this process can be reduced from 8.9% to 5%, equivalent to 1.3 million pieces per month. When choosing the right voltage range to create a permanent magnet

Keyword: Waste Reduction Process, Process Improvement, Failure Analysis, Design of Experimental, Rotor, Coil

1. บทนำ

งานวิจัยนี้เกิดขึ้นจากการศึกษากระบวนการผลิตสินค้ารุ่นอาร์วี ในปีที่ทำการศึกษา พ.ศ. 2561 โรงงานแห่งนี้มียอดกำลังการผลิต 1.75 ล้านชิ้นต่อเดือน เกิดของเสียในกระบวนการผลิตคิดเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 1 ที่แสดงถึงรายละเอียดของของเสียที่เกิดขึ้น เมื่อนำข้อมูลของกระบวนการมาวิเคราะห์ พบว่าของเสียที่เกิดจากการทดสอบค่าแรงด้านกลับไฟฟ้า ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า (EWMS) จำนวน 13 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็นจำนวน 199,000 ชิ้นต่อเดือน หรือมูลค่าความเสียหาย 19.4 ล้านบาทต่อเดือน ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง แบ่งได้เป็น 2 กรณีคือกรณีที่ 1 ชิ้นงานวัดค่า EWMS ต่ำกว่าที่กำหนด ทำให้ชิ้นงานทั้งหมดเป็นของเสีย (Scrap) เข้าสู่กระบวนการแยกชิ้นส่วน นำส่วนของเฮาส์ซิงกลับมาใช้ นำมาทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างชิ้นงานระบบอุตราโซนิก ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องขยายกำลัง 3 และ 10 เท่า จึงนำมาประกอบเข้ากับโรเตอร์ชุดใหม่ และนำเข้าสู่การทดสอบค่าแรงด้านกลับไฟฟ้า หากงานที่นำมาวัดซ้ำไม่ผ่านข้อกำหนด พนักงานจะนำงานกลับเข้าสู่กระบวนการแยกชิ้นส่วนและรอการประกอบใหม่ ดังที่กล่าวมา เกิดเป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น โดยจะสามารถนำงานกลับมาแยกชิ้นส่วนได้สูงสุด 3 ครั้งเพื่อไม่ให้เกิดเสียงรบกวน (noise) ระหว่างที่ฮาร์ดดิสก์ทำงาน คิดเป็นค่าใช้จ่ายโดยประมาณ 60 บาทต่อชิ้นต่อครั้ง กรณีที่ 2 ชิ้นงานวัดค่า EWMS สูงกว่าที่กำหนด ทำให้ชิ้นงานทั้งหมดถูกนำเข้าสู่อบเพื่อทำการลดอำนาจของแม่เหล็ก โดยใช้อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 150 นาที ซึ่งเป็นเงื่อนไขเดียวกับการอบงานที่ประกอบใหม่ เมื่อครบเวลาที่กำหนด ให้นำงานออกมาพัก ลดอุณหภูมิชิ้นงานให้เท่ากับอุณหภูมิห้องใช้เวลาโดยประมาณ 1-2 ชั่วโมง จึงนำไปทดสอบค่าแรงด้านกลับ EWMS งานที่วัดค่าได้สูงกว่าที่กำหนดจะถูกนำไปอบซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดิม โดยอบชิ้นงานได้สูงสุดไม่เกิน 3 ครั้ง หากชิ้นงานที่วัดค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้จะถูกส่งไปยังกระบวนการถัดไป จากการศึกษาข้างต้นพบว่าหากโรงงานสามารถควบคุมพารามิเตอร์ของกระบวนการได้อย่างเหมาะสม จะช่วยลดค่าใช้จ่ายของแผนก Rework ลดต้นทุนการผลิต และระยะเวลาในการทำงาน เกิดเป็นโอกาสเชิงธุรกิจในกลุ่มอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ที่มากขึ้น



รูปที่ 1 กราฟแสดงจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น ของสินค้ารุ่นอาร์วี ช่วงที่ทำการศึกษา



การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (อำนาจ ผัดวังและจิรพันธ์ ทาแกง, 2558) ได้ออกแบบ 3 แบบ โดย แบบที่ 1 กำหนดให้ขดลวดเคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก แบบที่ 2 ออกแบบให้สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดผ่านขดลวดตัวนำ แบบที่ 3 ออกแบบให้ทั้งขดลวดและสนามแม่เหล็กหมุนสวนทิศทางกัน ผลการทดสอบพบว่า ที่จำนวนรอบ 420 รอบต่อเฟส, ความเร็วรอบที่ใช้ทดสอบ 250 รอบต่อนาที การทดลองแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สามารถวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้เท่ากัน คือ 3.00-13.3 โวลต์ และในแบบการทดลองที่ 3 สามารถวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้เพิ่มเป็นสองเท่า คือ 5.00-26.7 โวลต์

การออกแบบชุดการทดลองแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแส (ศุภกร กตาทิการกุลและคณะ, 2556) เพื่อหาความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและแม่เหล็ก เมื่อนำลวดตัวนำขนาด 19.5, 30.0, 40.5 และ 55.0 มิลลิเมตร แขนงที่เครื่องเซนโอแกรม นำขดแม่เหล็กที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กมาวางอยู่รอบลวดตัวนำ จ่ายกระแสให้ลวดตัวนำในแนวตั้งฉากกับขดแม่เหล็ก ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร ปรับกระแสเพิ่มครั้งละ 0.5 แอมป์ จนกระทั่งกระแสสูงสุด 3 แอมป์ พบว่ากระแสไฟที่จ่ายเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้แรงแม่เหล็กเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาที่กระแสไฟ 2 แอมป์ ขดลวดที่มีขนาดยาวขึ้นทำให้แรงแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ใช้ข้อมูลที่ทดสอบนำมาพล็อตกราฟสามารถคำนวณหาค่าสนามแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดได้ อยู่ในช่วง 78.7 mT ค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 5.7% ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีกฎมือขวาและแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำ

การลดของเสียจากการขึ้นรูปถาดบรรจุสารคัดสิทธ์ 2.5” ด้วยความร้อน (ชาญณรงค์ อินทรชูและระพี กาญจนะ, 2556) นำเทคนิคแผนภูมิแกงปลาเพื่อระดมสาเหตุ โดยใช้หลัก 5M ประกอบด้วย คน เครื่องจักร วิธีการ วัตถุดิบ และแม่พิมพ์ นำมาวิเคราะห์ผลอันเนื่องมาจากข้อบกพร่อง (FMEA) เพื่อประเมินหาค่าความเสี่ยงขึ้นนำ (RPN) ที่สูงที่สุดตามลำดับ นำไปแก้ไขเพื่อลดค่าความเสี่ยงขึ้นนำ ซึ่งในการวิเคราะห์การขึ้นรูปถาดบรรจุสารคัดสิทธ์นั้นมี 3 ปัจจัยหลักคือ ปัจจัยจากอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ขึ้นรูป แบ่งเป็น 2 ระดับ 190 และ 210 องศาเซลเซียส ปัจจัยจากระยะเวลาที่ให้ความร้อนขึ้นรูป แบ่งเป็น 22 และ 37 วินาที และปัจจัยของระยะเวลาที่ทำให้เป็นสุญญากาศ แบ่งออกเป็น 17 และ 22 วินาที ใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k Full factorial โดยทดลองซ้ำ 2 ครั้ง วัสดุที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นชนิดพอลิเอทิลีน (PE; Polyethylene) ความหนา 0.4 มิลลิเมตร ผลการทดสอบพบว่าทั้งสามปัจจัยที่กล่าวมานั้นเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดของเสีย จึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาช่วงที่เหมาะสมดังนี้ อุณหภูมิความร้อนที่เหมาะสม 190 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ให้ความร้อน 22 วินาที และระยะเวลาที่ใช้ทำสุญญากาศ 17 วินาที ทำให้ของเสียลดลง จาก 3.53 เปอร์เซ็นต์ คงเหลือ 0.93 เปอร์เซ็นต์

การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมในการเพิ่มประสิทธิภาพ เครื่องบรรจุยา (สิริชัย สุรัตน์ชัยการและอรรถกร เก่งพล, 2555) เป้าหมายเพื่อการบรรจุ 54 ขวดต่อนาที ลดเวลาการทำงานนอกเวลาของพนักงาน สาเหตุที่บรรจุยาไม่ทันตามเวลาเนื่องจากเกิดปัญหาฟองสิ้นขณะบรรจุ ระดมความคิดของทีมและจัดทำแผนผังแกงปลาเพื่อรวบรวมสาเหตุที่เป็นไปได้ กำหนดปัจจัยและระดับปัจจัย ออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k factorial ในที่นี้กำหนดปัจจัยออกเป็น 4 ปัจจัยดังนี้ ปัจจัยจากระดับน้ำยาในถังพัก แบ่งเป็น ระบบเดียวกับไบพัด และระดับน้ำยาสูงกว่าไบพัด ปัจจัยจากความเร็วรอบของไบพัด ที่ 280 และ 720 รอบต่อนาที ปัจจัยจากขนาดของหัวบรรจุระหว่าง 7 และ 8 มิลลิเมตร วิเคราะห์ข้อมูลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab พิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลพล็อตข้อมูลระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับการทดลอง พบว่ากราฟไม่มีแนวโน้มจึงอนุมานว่าข้อมูลมีความอิสระต่อกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.05$ พบว่าทั้ง 4 ปัจจัยที่กล่าวมานั้นมีอิทธิพลร่วมกัน



การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว (บุญชัย แซ่สั่วและณัฐรยาน์ โสกุล, 2559) ใช้แผนผังก้างปลารวบรวมความเป็นไปได้ของสาเหตุ ออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k factorial พิจารณาปัจจัยหลัก 4 ปัจจัย 2 ระดับ ดังนี้ ปัจจัยอุณหภูมิที่ใช้ซีล 157 และ 163 องศาเซลเซียส ปัจจัยความเร็วรอบที่ 50 และ 60 รอบต่อนาที ปัจจัยของแรงกด ระหว่าง 5 และ 6 บาร์ และปัจจัยระยะเวลาที่ใช้ซีล 0.4 และ 0.5 วินาที ทำการศึกษาเพื่อหาช่วงที่เหมาะสมดังนี้ อุณหภูมิความร้อนที่เหมาะสม 157 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ซีล 0.5 วินาที แรงกดที่ 6 บาร์ และความเร็วรอบที่ 60 รอบต่อวินาที ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อลดของเสียที่กระบวนการทดสอบค่า EWMS ของสินค้ารุ่นอาร์วี

3. การดำเนินการวิจัย

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานรับจ้างผลิตสินค้าประเภทอาร์ดีสก์ส่งให้แก่ กลุ่มรายใหญ่ รุ่นที่ขายดีที่สุด ในปีพ.ศ. 2561 ที่ผู้วิจัยศึกษาอยู่นั้น คือรุ่นอาร์วี ที่มีกำลังการผลิต 1.75 ล้านชิ้นต่อเดือนโดยเฉลี่ย เกิดของเสียที่ไม่ผ่านการตรวจสอบค่าแรงต้านกลับไฟฟ้า ที่กระบวนการ EWMS คิดเป็นจำนวน 19,900 ชิ้นต่อเดือน หรือคิดเป็น 11 เปอร์เซ็นต์ของสินค้าทั้งหมด หรือคิดเป็นมูลค่า 19,408,896 บาทต่อเดือน และเมื่อแยกชิ้นส่วนมาประกอบซ้ำจะเกิดเป็นต้นทุนที่เพิ่มขึ้นโดยไม่รวมค่าวัสดุอื่น 60 บาทต่อชิ้นต่อครั้งในการแยกชิ้นส่วน จึงเกิดเป็นแนวคิดที่ต้องการลดของเสียที่ไม่ผ่าน ณ กระบวนการทดสอบค่าแรงต้านกลับไฟฟ้า (EWMS Process) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ค่าแรงต้านกลับไฟฟ้าวัดได้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (Back Low) และ กรณีที่ค่าแรงต้านกลับไฟฟ้าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (Back High) จากนั้นระดมสมองจากพนักงานประกอบ พนักงานแผนกประกันคุณภาพ วิศวกรที่รับผิดชอบกระบวนการ ใช้แผนภูมิก้างปลาช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุเพื่อกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ต้องการศึกษา โดยข้อมูลปัจจุบันของกระบวนการผลิต พบว่าสามารถแบ่งออกเป็น 5 สถานีดังนี้

ตาราง 3.1 รายละเอียดของส่วนประกอบที่ใช้งานของแต่ละสถานีงาน

สถานีงาน	ส่วนประกอบ
1. Stator assembly process	Stack coated แกนสเตเตอร์ ชนิดขึ้นด้วยกระบวนการแอนนิล (Anneal)
	Magnet wire เส้นลวดทองแดง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.14 มิลลิเมตร
2. Housing assembly process	FPC ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมกระแสระหว่างตัวจ่ายภายนอก
	Attractive ทำหน้าที่ดึงคู่มือไม่ให้ระลอกตัวขณะหมุนสูงเกินไป
	Stator assembly ขดลวดสร้างความเหนียวนำ
	Baseplate ตัวเรือนของการประกอบ
3. Rotor assembly process	Magnet วัสดุโลหะผสมที่สามารถสร้างอำนาจแม่เหล็กได้ นำมาปรับค่าแรงดันก่อนนำไปประกอบ
	Hub อะลูมิเนียมป้องกันการรั่วของสนามแม่เหล็ก
4. Motor assembly process	Rotor Assembly part รองรับไหลลดความจำ ทำหน้าที่หมุน
	Housing part ตัวโครงสำหรับสร้างสนามแม่เหล็กเหนียวนำ
5. Motor Inspection process	-



จากตารางที่ “3.1” ทำให้ทราบชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบของงานแต่ละสถานี โดยสถานีงานที่ 1 ที่ประกอบด้วย แกนสแตกและลวดทองแดง ถูกนำมาพันตามจำนวนรอบและชนิดของแกนสแตกของแต่ละชิ้นที่แตกต่างกัน เลือกใช้งานตามเอกสารที่แผนกออกแบบ (Designer) กำหนดแบบไว้ให้ สถานีที่ 2 ทำหน้าที่ประกอบตัวเรือนของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ สถานีที่ 3 ทำหน้าที่เลือกใช้แรงดันไฟฟ้าในการสร้างแม่เหล็กถาวรให้กับแม่เหล็กแล้วจึงนำไปประกอบกับฮับ (hub) เรียกว่าสถานีนี้ว่าโรเตอร์ สถานีที่ 4 ทำหน้าที่ประกอบส่วน โรเตอร์และเข้าสั๊ซึ่งให้สามารถทำงานร่วมกัน โดยใช้กาวเป็นตัวประสาน เรียกว่าสถานีนี้ว่ามอเตอร์ สถานีที่ 5 ทำหน้าที่ตรวจสอบฟังก์ชันการทำงานของมอเตอร์ก่อนส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้า ซึ่งในการวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลจากสถานีนี้เป็นผลการตอบสนองต่อค่า BEMF (back electromotive force) ที่ต้องการให้อยู่ในช่วง 3.757 – 4.153 มิลลิโวลต์ ตามเงื่อนไขที่ลูกค้ากำหนด โดยในการศึกษานี้เรียกชื่อตามการใช้งานในกระบวนการผลิตว่าค่า EWMS

โดยผู้วิจัยเริ่มศึกษากระบวนการผลิตโดยรวมของการกระบวนการจนกระทั่งนำชิ้นงานไปทดสอบที่กระบวนการ EWMS ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการออกแบบการทดลอง Design of Experiments (DOE) เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด โดยการทดลองนี้ได้ออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 32 การทดลอง โดยออกแบบการทดลองดังตารางที่ 3.2 ชนิดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดทองแดงที่นิยมใช้งานของโรงงานแห่งนี้มีจำนวน 2 รุ่น คือ 0.12 และ 0.14 มิลลิเมตร จำนวนรอบสำหรับพันขดลวดกำหนดไม่ใ้เกิน 56 รอบเนื่องจากข้อกำหนดระยะความสูงของคอล์ยที่พัน ทำให้ชนกับระยะของฮับที่ส่งผลให้ระยะการยกตัวเพื่อหมุน (Fly height) แผ่นหน่วยความจำไม่เป็นไปตามข้อกำหนด จากข้อมูลการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าสำหรับทำแม่เหล็กถาวรของผลิตภัณฑ์นี้ อยู่ในช่วง 950 ถึง 1050 โวลต์ ผู้ศึกษาวิเคราะห์ห้ถึงก้างปลาสรุปได้ว่าปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดของเสียที่ค่าแรงดันกลับไฟฟ้าไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด มากที่สุดเกิดจากการเลือกใช้พารามิเตอร์ และชนิดของวัสดุของกระบวนการไม่เหมาะสม และทำการระดมสมองเพื่อกำหนดปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อออกมาดังนี้ คือ ตำแหน่งของวงแหวนแม่เหล็กถาวร จำนวนรอบของขดลวด แผ่นแอตทราทิฟ ชนิดของสแตก และกระแสที่ใช้ในการสร้างแม่เหล็กถาวร ดังตารางที่ “3.2” ที่ได้ระบุปัจจัย และระดับของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับปัจจัย		หน่วย
	ต่ำ (-1)	สูง (+1)	
ตำแหน่งของแม่เหล็ก	Bottom	Top	-
จำนวนรอบของขดลวดทองแดง 0.14 มิลลิเมตร	54	56	รอบ
การประกอบด้วยแผ่นแอตทราทิฟ	ไม่ใช้	ใช้	-
ชนิดของสแตก	แอนนิต	แคมป์แอนนิต	มิลลิเมตร
กระแสที่ใช้	1000	1100	รอบ



การวัดค่า EWMS ด้วยเครื่อง EWMS ซึ่งมีหลักการคือ เมื่อจ่ายกระแสเข้าไปยังฮาร์ดดิสก์ ทำให้โรเตอร์หมุนจนกระทั่งได้ความเร็ว 5400 รอบต่อนาที เซนเซอร์จะเคลื่อนลงมาใกล้กับระยะที่โรเตอร์หมุนด้วย ออกแบบให้มีเซนเซอร์ 2 ตัวที่วัดแวนอน และแนวตั้งฉากการหมุน จากนั้นจะส่งสัญญาณไปแสดงผลที่หน้าจอว่า ผ่านหรือไม่ เพื่อให้พนักงานประจำเครื่องทดสอบสามารถแยกงานเสีย ออกจากสายการผลิต เป็นการวัดด้วยวิธีซีโรครอสซิง (EMF Zero-crossing) ที่สามารถวัดค่าได้ค่อนข้างใกล้เคียงการออกแบบ และสะดวกต่อผู้ปฏิบัติงาน ใช้เพียงสองเฟสก็สามารถวัดค่าแรงต้านกลับไฟฟ้าได้ ไม่นำอิทธิพลของขดลวดอาร์เมเจอร์มาประมวลผลการวัดค่า BEMF (Zhao QI, SHEN XING-QUAN, 2011)

3.1 ออกแบบการทดลองตามตารางที่ “3.2” เป็นการออกแบบให้ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าครั้งละ 100 โวลต์ตามคำแนะนำของกลุ่มเครื่อง Magnetizing และขีดความสามารถของเครื่องที่สามารถใช้แรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 900 ถึง 1600 โวลต์ หากใช้แรงดันที่ต่ำกว่าที่กลุ่มแนะนำค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กจะไม่เที่ยงตรง ไม่เสถียรต่อการนำไปใช้งาน หากใช้แรงดันที่สูงกว่าที่กลุ่มแนะนำจะทำให้เครื่องจักรชำรุดได้ง่าย เนื่องจากการทำงานทำให้เกิดความร้อนที่สูง

3.2 ศึกษาการทดลองอิทธิพลของตำแหน่ง ขนาดของแรงดันไฟฟ้า และค่าที่วัดได้จากกระบวนการทดสอบแรงต้านกลับไฟฟ้า (EWMS) จำนวนรอบของขดลวด เมื่อนำมาประกอบเป็นมอเตอร์ ออกแบบการทดลองภายใต้ข้อกำหนดของขนาดของเส้นลวดที่นำมาใช้สร้างขดลวดตัวนำ ในขั้นตอนการผลิตสเตเตอร์ แบ่งออกเป็น 2 แบบคือจำนวนรอบที่ใช้งานในปัจจุบัน 54 รอบ และจำนวนรอบที่ต้องการทดสอบเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ของ EWMS คือ 56 รอบ

3.3 ออกแบบการทดลองเพื่อหาอิทธิพลของแผ่นแอตทราทิฟ เพื่อพิจารณาอิทธิพลของแผ่นแอตทราทิฟ โดยการผลิตปัจจุบันที่ผู้ออกแบบได้กำหนดให้ใช้งานแผ่นแอตทราทิฟไว้ในขั้นตอนกระบวนการเข้าที่ซึ่ง แต่ผู้ทดลองต้องการทดลองโดย ไม่ใช้แผ่นแอตทราทิฟในการประกอบ เพื่อนำมาพิจารณาอิทธิพลต่อค่า EWMS หรือไม่

3.4 ออกแบบการทดลองอิทธิพลของชนิดสแตนเลสที่มีผลต่อค่า EWMS ของผลิตภัณฑ์อาร์วีหรือไม่ เพื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดแรงต้านกลับไฟฟ้าที่วัดได้ของ การประกอบด้วยสแตนเลสที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ระหว่างชนิดแอนนิลที่ใช้ในกระบวนการผลิตปัจจุบัน และชนิดสปริทแอนนิลที่ได้ใช้งานกับรุ่นอื่น โดยวัดที่แรงดันไฟฟ้าสำหรับการสร้างแม่เหล็กถาวรระหว่างช่วง 900 ถึง 1600 โวลต์

เมื่อได้ผลการทดลองจากข้อ 3.1 – 3.4 ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Minitab เพื่อช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัจจัยหลัก และอิทธิพลร่วมของปัจจัย แล้วจึงหาไปวิเคราะห์เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ควบคุมคุณภาพของชิ้นงาน ที่กระบวนการทดสอบแรงต้านกลับไฟฟ้า โดยมุ่งหวังให้เกิดของเสียที่ลดลงจากปัจจุบัน

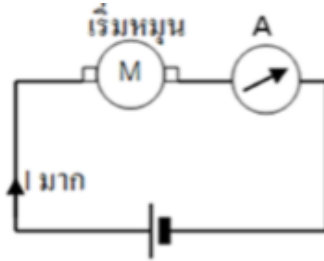
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับ หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่อต้าน (Back electromotive force, counter electromotive force) BEMF เกิดขึ้นเมื่อมอเตอร์มีการหมุน เมื่อแรงดันต่อเข้ากับขดลวดมอเตอร์ทำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดตัวนำ จากนั้นจะเกิดสนามแม่เหล็กทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเกิดแรงดูด แรงผลักทำให้โรเตอร์หมุน

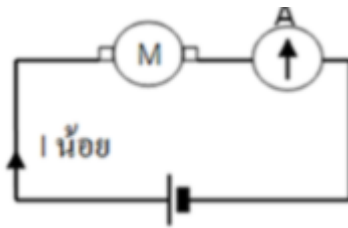
กรณีกระแสสลับ สนามแม่เหล็กจะขยับและขยายตัวตามแรงดัน ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำได้เองโดยไม่มีการหมุน กรณีกระแสไฟตรง เมื่อ โรเตอร์หมุน ทำให้สนามแม่เหล็กหมุนตัดกับตัวนำโรเตอร์ แรงเคลื่อนที่เหนี่ยวนำ



เรียก emf แต่แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำนี้มีทิศทางตรงข้ามกับทิศของแหล่งจ่ายพลังงาน เรียกBEMF ค่าBEMF จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วในการหมุนตัดสนามแม่เหล็กและตัวนำ ในช่วงการเริ่มหมุนหรือช่วงออกตัว(start) เป็นช่วงที่ต้องใช้กระแสสูงในการเริ่มหมุน จากนั้นกระแสจะค่อยๆลดลง ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีผลต่อการใช้งานในอาร์เมเจอร์จึงมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กลับ ดังรูปที่ 3.1 ขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุน กระแสไฟฟ้าที่ใช้เพื่อขับเคลื่อนจะสูง สังเกตจากเกจ A และ รูปที่ 3.2 เมื่อมอเตอร์หมุนอย่างต่อเนื่องแล้วจะสังเกตได้ว่าเกจที่แสดงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนจะน้อยกว่าตอนที่เริ่มหมุน



รูปที่ 3.1 ขณะมอเตอร์เริ่มหมุน สังเกตว่ากระแสที่ใช้ค่อนข้างสูง



รูปที่ 3.2 ขณะมอเตอร์หมุนด้วยอัตราเร็วคงที่ สังเกตว่ากระแสที่ใช้ลดลงจากตอนเริ่มหมุน

(ที่มา: neutron.rmutphysics.com)

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์

$$V_t = I_a R_a + E_b \quad \text{เมื่อ}$$

- E_b = แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ : [V]
- V_t = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ : [V]
- I_a = กระแสไฟฟ้าไหลผ่านอาร์เมเจอร์ : [A]
- R_a = ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ : [Ω]

ทฤษฎีกระแสเหนี่ยวนำ

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหรือฟลักซ์แม่เหล็กรอบลวดตัวนำ ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ) ได้ค้นพบว่า เปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่ผ่าน พื้นที่หน้าตัดของขดลวดจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าทำให้มีกระแสไฟฟ้าในขดลวด โดย แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก Φ_B ที่ผ่านหน้าตัด \hat{A} ของลวดตัวนำวงปิด

$$V_{emf} = N \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right| \quad \text{--- (1)}$$

โดยฟลักซ์แม่เหล็กหาได้จาก

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad \text{--- (2)}$$



ถ้าพันขดลวดจำนวน N รอบ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นหาได้จาก

$$V_{\text{emf}} = N \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right| \quad \text{--- (3)}$$

ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กที่บริเวณใด เปลี่ยนแปลง ฟลักซ์แม่เหล็กจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในตัวนำที่วางอยู่ในบริเวณนั้น เรียกสิ่งที่เกิดขึ้นนี้ว่า การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic induction) และเรียกกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นว่ากระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ พบว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ อัตราเร็วของลวดตัวนำ ขนาดของสนามแม่เหล็ก ความยาวของเส้นลวด

ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux) คือปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กหรือจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งจากหัวหนึ่งไปยังหัวหนึ่ง ของแท่งแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Weber, Wb)

ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก หรือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Magnetic flux density) คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วย พื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตัดตั้งฉากเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีหน่วยเป็น Wb/m^2 หรือ เทสลา (Tesla, T) จากนิยามจะได้ว่า

$$B = \frac{\phi}{A} \quad \text{--- (4)}$$

B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก หรือ มีหน่วยเป็น Wb/m^2 หรือ เทสลา (T)

ϕ คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น Wb

A คือ พื้นที่ที่ตัดตั้งฉาก มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

การออกแบบการทดลอง (Design of experiment)

การออกแบบแผนการทดลองคือการทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือการทดสอบอย่างต่อเนื่อง โดยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้าของระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อสามารถชี้ถึงสาเหตุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ได้จากกระบวนการนั้น โดยปัจจัยที่นำเข้าสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มคือ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้เรียกตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น เครื่องจักร วัสดุที่ใช้ในการทดลอง และปัจจัยภายนอกที่อยู่นอกเหนือการควบคุมได้เรียกตัวแปรปรกอบระบบ เช่น ฝุ่นละออง อุณหภูมิความชื้นที่อยู่นอกเหนือการควบคุมได้

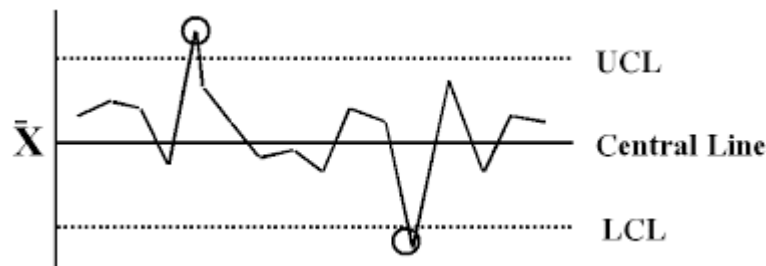
ขั้นตอนการออกแบบการทดลองมีดังนี้

1. กำหนดปัญหาที่ต้องการศึกษา
2. เลือกตัวแปร และระดับปัจจัยของตัวแปรที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการที่ศึกษา
3. คัดเลือกผลตอบสนองที่ต้องการ (Response) โดยมากศึกษากรณีหนึ่งผลตอบสนอง
4. คัดเลือกวิธีการทดลอง โดยการกำหนดระดับตัวแปรที่ใช้ทดสอบเพื่อให้สอดคล้องกับขนาดการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น ดำเนินการทดลองและบันทึกผลการทดลอง
5. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อวิเคราะห์และสรุปผล



แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

เครื่องมือสถิติที่แสดงความเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต ที่มีแนวโน้มต่างออกจากความผันแปรโดยธรรมชาติ ช่วยให้สามารถแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพได้ทัน และรวดเร็ว พิกัดควบคุม (Control Limit) ของแผนภูมิใช้สร้างขึ้นเพื่อกำหนดขอบเขตการผันแปรธรรมชาติ หากค่าที่วัดได้จากกระบวนการออกนอกช่วงพิกัดควบคุมขีดบนและขีดล่าง จะต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยทันทีเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดของเสีย



รูปที่ 3.3 แผนผังควบคุม

ที่มา: <https://sites.google.com/site/206361c1417/home/controlchart>

เครื่องมือทางสถิตินิยมที่ใช้แยกความแปรผันและการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต จากสาเหตุธรรมชาติของการวัดและแนวโน้มที่นอกเหนือความปกติออกจากกัน โดยใช้พิกัดควบคุม (Control limit) เพื่อควบคุมคุณภาพของการผลิต วิธีการสุ่มตัวอย่างเพื่อการยอมรับ (Acceptance sampling) นำไปประยุกต์ใช้ในการรับเข้าของวัตถุดิบหรือใช้ควบคุมคุณภาพสินค้าก่อนส่งออก หากพบว่าค่าวัดได้เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ผู้วิเคราะห์ต้องค้นหาสาเหตุของปัญหาและทำการแก้ไขเพื่อไม่ให้เกิดเป็นของเสียแก่ผลิตภัณฑ์ ลักษณะของแผนภูมิควบคุมดังภาพที่ 3.3 ใช้แสดงคุณภาพสินค้าในกระบวนการผลิต ซึ่งกระบวนการผลิตที่ดีจะมีค่าใกล้เคียงกับเส้นกึ่งกลาง

ขั้นตอนการสร้างแผนผังควบคุม

1. กำหนดคุณสมบัติที่ต้องการควบคุม เช่น การควบคุมค่าแรงต้านกลับไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์รุ่น RV ในช่วงควบคุมของลูกค้า โดยแผนภูมิหนึ่งแผนภูมิจะใช้ควบคุมคุณสมบัติเพียงหนึ่งคุณสมบัติเท่านั้น
2. เลือกชนิดของแผนภูมิควบคุม ระหว่างแผนภูมิควบคุมแบบการวัดชนิดตัวแปร (Variable Control Chart) การวัดเชิงปริมาณ หรือแผนภูมิควบคุมสำหรับการวัดแบบลักษณะ (Attribute Control Chart) การวัดแบบขำรุค ไม่ขำรุค ดีหรือเสีย
3. เก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิต กำหนดจำนวนตัวอย่าง และกำหนดความถี่ในการเก็บข้อมูลระยะเวลาในการเก็บข้อมูล
4. บันทึกและเก็บรวบรวมข้อมูลในใบตรวจสอบหรือ Check lists ตามแบบฟอร์มที่ได้ออกแบบไว้
5. กำหนดขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ ได้แก่ เส้นกลาง (Center line: CL) ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit : UCL) ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit : LCL) $\pm 3\sigma$ หรือ 0.9974 แสดงถึงขอบเขตค่าแปรผันที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้
6. วิเคราะห์ผลจากลักษณะของจุดที่ปรากฏบนแผนภูมิ ถ้ามีลักษณะจุดที่ปรากฏความผิดปกติเกิดขึ้น ในแผนภูมิที่ บ่งชี้ว่าเกิดความแปรผันที่มีสาเหตุระบุได้เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เช่น มีจุดตกอยู่ภายนอกขีดจำกัดควบคุมบน หรือล่าง แสดงว่ากระบวนการผลิต ไม่อยู่ภายใต้การควบคุม ต้องค้นหาสาเหตุและปรับปรุงกระบวนการ



ผลิต โดยการกำจัดสาเหตุแห่งความแปรผันนี้ที่ระบุสาเหตุได้ออกไป แล้วทำการคำนวณขีดจำกัดควบคุมของ แผนภูมิใหม่ จากข้อมูลที่เหลืออยู่ ทำซ้ำ ๆ จนไม่เกิดจุดผิดปกติในแผนภูมิ

7. เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ภายใต้การควบคุมแล้ว แสดงว่าสามารถควบคุมความผันแปรของการผลิตให้อยู่ใน ระดับที่เหมาะสมตามค่าในเส้นกลางของแผนภูมิควบคุม โดยเส้นกลางของแผนภูมิควบคุมคือค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่กระบวนการผลิตนี้สามารถทำได้ และการประมาณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการผลิตสามารถนำเอาแผนภูมิควบคุมที่ได้ไป ใช้ในการควบคุมการผลิตในอนาคตได้

ประโยชน์ของแผนผังควบคุม

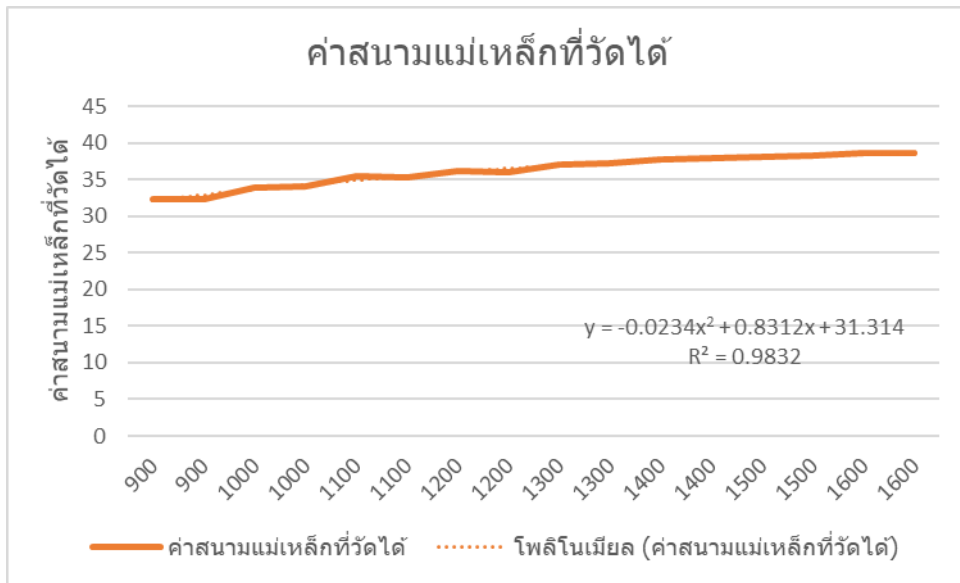
เป็นเครื่องมือที่ช่วยควบคุมคุณภาพการผลิตของกระบวนการ โดยใช้หลักเกณฑ์ของเส้นควบคุมพิสัย และพิจารณาแนวโน้มของค่าที่วัดของกระบวนการ นำไปค้นหาสาเหตุที่ทำให้จุดการวัดของข้อมูลมีความผิดปกติ และทำการแก้ไข ก่อนที่จะเกิดเป็นของเสีย

4. ผลการวิจัย

4.1 การทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดัน ไฟฟ้าที่ใช้เหนี่ยวนำแม่เหล็กกับปัจจัยต่าง ๆ

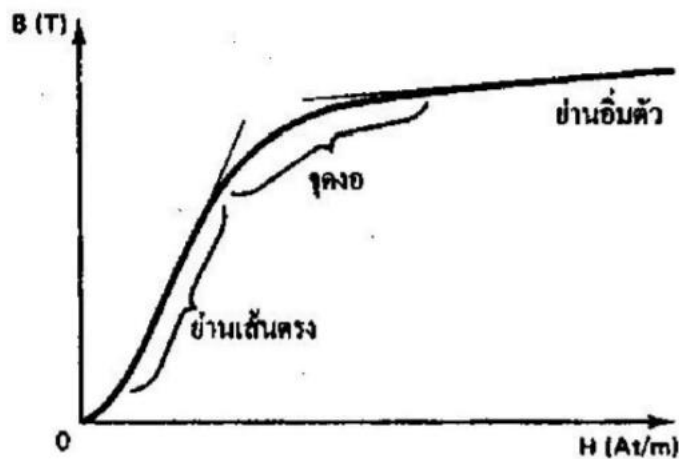
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก ที่ตำแหน่งวางงานในเครื่องสร้างสนามแม่เหล็ก

ตำแหน่งของแม่เหล็ก	แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการเหนี่ยวนำ	ค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้
Top	900	32.31
Bottom	900	32.34
Top	1000	33.94
Bottom	1000	34.06
Top	1100	35.43
Bottom	1100	35.2
Top	1200	36.14
Bottom	1200	36.04
Top	1300	37.06
Bottom	1300	37.28
Top	1400	37.78
Bottom	1400	37.84
Top	1500	38.06
Bottom	1500	38.29
Top	1600	38.62
Bottom	1600	38.61



รูปที่ 2 กราฟแสดงค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้ ในช่วงของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ ในกระบวนการทำแม่เหล็กถาวร

จากข้อมูลผลการทดลองตารางที่ “4.1” และกราฟรูปที่ 2 สามารถพิจารณาได้ว่าที่แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 900 ถึง 1200 โวลต์ (ย่านเส้นตรง) ข้อมูลที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก และเมื่อแรงดันไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1300 ถึง 1600 โวลต์ ค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กไม่เปลี่ยนแปลงมากเมื่อเทียบข้อมูลช่วงแรงดันที่น้อยกว่า 1300 โวลต์ (ย่านอ้อมตัว) จึงทำการศึกษาอิทธิพลอื่นเพื่อสนับสนุนข้อมูล



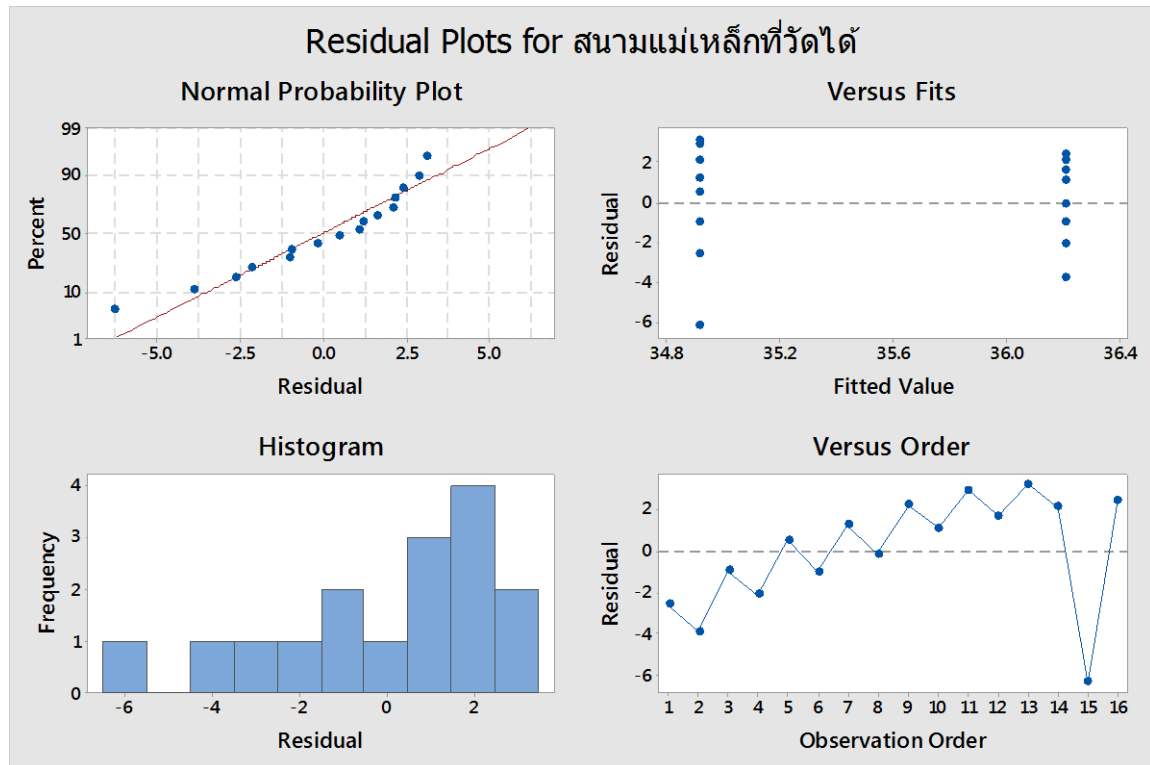
รูปที่ 3 ธรรมชาติของเส้น โค้งแรงแม่เหล็ก ของเหล็กธรรมดา

ที่มา: <https://blog.rmutl.ac.th/montri/assets/dc01.pdf>

พิจารณาจากรูปที่ 3 แสดงเส้น โค้ง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) กับ ความเข้ม สนามแม่เหล็ก (H) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสารแม่เหล็ก คุณสมบัติของสารแม่เหล็กสามารถหาได้จากเส้น โค้ง ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้น แรงแม่เหล็ก (B) และความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) ที่เรียกว่าเส้น โค้ง B-H (B-H curve) หรือเส้น โค้งแรง แม่เหล็ก (Magnetization curve) หากพิจารณาเส้น โค้ง B-H โดยพบว่าช่วงแรงเส้น



โค้งจะเป็นเส้นตรง สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) จะทำให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) เพิ่มขึ้นสัดส่วนโดยตรง และเข้าใกล้จุดคงของเส้นโค้ง ถ้าต้องการจะให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) เพิ่มขึ้นต่อไปอีก จะต้องเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) เป็นปริมาณที่มากกว่าในย่านเส้นตรง และในที่สุดก็จะถึงจุดอิ่มตัว



รูปที่ 4 การวิเคราะห์สัดส่วนข้อมูลของสนามแม่เหล็กที่วัดได้จากตารางทดลอง

จากตารางที่ “4.1” นำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4 เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ พบว่า กราฟบนซ้าย มีลักษณะเป็นเส้นตรง บ่งบอกถึงข้อมูลที่นำมาใช้งาน มีการแจกแจงปกติ กราฟซ้ายล่าง กราฟแท่งแสดง การกระจายตัว กราฟขวาบน เป็นการแสดงข้อมูลความแปรปรวนของประชากร กราฟขวาล่างแสดงถึงแนวโน้มของ ข้อมูลที่ค่าแรงแม่เหล็กจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัว



ตารางที่ 4.2 การทดสอบจำนวนรอบของขดลวด เมื่อนำมาประกอบเป็นมอเตอร์

ตำแหน่งของ แม่เหล็ก	แรงดันไฟที่ใช้ใน การเหนี่ยวนำ	ค่าสนามแม่เหล็ก ที่วัดได้	EWMS (mV)	
			จำนวนขดลวด 54 รอบ	จำนวนขดลวด 56 รอบ
Top	900	32.31	3.725	5.065
Bottom	900	32.34	3.703	5.058
Top	1000	33.94	3.921	5.167
Bottom	1000	34.06	3.886	5.181
Top	1100	35.43	4.138	5.270
Bottom	1100	35.2	4.085	5.272
Top	1200	36.14	4.241	5.373
Bottom	1200	36.04	4.198	5.377
Top	1300	37.06	4.366	5.475
Bottom	1300	37.28	4.271	5.470
Top	1400	37.78	4.391	5.578
Bottom	1400	37.84	4.386	5.583
Top	1500	38.06	4.452	5.680
Bottom	1500	38.29	4.447	5.696
Top	1600	28.62	4.509	5.783
Bottom	1600	38.61	4.512	5.835

จากข้อมูลผลการทดลองที่ได้ของตารางที่ “4.2” ในการผลิตสินค้ารุ่นอาร์วี ไม่สามารถใช้ลวดทองแดงขนาด 0.14 มิลลิเมตร จากจำนวนรอบ 54 เป็น 56 รอบได้ เนื่องจากค่า EWMS ที่วัดได้ไม่อยู่ในช่วงของข้อกำหนดที่ต้องการ แม้ว่าการเลือกใช้แรงดันไฟฟ้าสำหรับการเหนี่ยวนำที่ต่ำแล้วก็ตาม

ตารางที่ 4.3 การทดสอบด้วยการประกอบด้วยการใช้แผ่นแอตทราทิฟ และการไม่ใช้แผ่นแอตทราทิฟในการประกอบมอเตอร์อาร์วี

ตำแหน่งของ แม่เหล็ก	แรงดันไฟที่ใช้ใน การเหนี่ยวนำ	ค่าสนามแม่เหล็ก ที่วัดได้	EWMS (mV)	
			ไม่ใช้แผ่นแอตทราทิฟ ในการประกอบ	ใช้แผ่นแอตทราทิฟ ในการประกอบ
Top	900	32.31	3.418	3.725
Bottom	900	32.34	3.555	3.703
Top	1000	33.94	3.768	3.921
Bottom	1000	34.06	3.825	3.886
Top	1100	35.43	3.927	4.138



ตารางที่ 4.3 การทดสอบด้วยการประกอบด้วยการใช้แผ่นแอตทราทิฟ และการไม่ใช้แผ่นแอตทราทิฟในการประกอบมอเตอร์อาร์วี (ต่อ)

ตำแหน่งของแม่เหล็ก	แรงดันไฟที่ใช้ในการเหนี่ยวนำ	ค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้	EWMS (mV)	
			ไม่ใช้แผ่นแอตทราทิฟในการประกอบ	ใช้แผ่นแอตทราทิฟในการประกอบ
Bottom	1100	35.2	3.992	4.085
Top	1200	36.14	4.092	4.241
Bottom	1200	36.04	3.997	4.198
Top	1300	37.06	3.947	4.366
Bottom	1300	37.28	3.972	4.271
Top	1400	37.78	4.092	4.391
Bottom	1400	37.84	4.040	4.386
Top	1500	38.06	4.114	4.452
Bottom	1500	38.29	4.114	4.447
Top	1600	28.62	4.141	4.509
Bottom	1600	38.61	4.138	4.512

จากข้อมูลผลการทดลองของตารางที่ “4.3” การไม่ใช้แผ่นแอตทราทิฟในการประกอบ ทำให้ค่า EWMS ที่วัดสูงกว่าการใช้งานของแผ่นแอตทราทิฟ ซึ่งช่วงควบคุมที่ต้องการอยู่ระหว่าง 3.757 – 4.153 มิลลิโวลต์ การกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลค่อนข้างมากหากไม่ใช้แผ่นแอตทราทิฟในการประกอบชิ้นงาน

ตารางที่ 4.5 การทดสอบชนิดของสแตคว่ามีผลต่อค่า EWMS ของผลิตภัณฑ์อาร์วีหรือไม่

ตำแหน่งของแม่เหล็ก	แรงดันไฟที่ใช้ในการเหนี่ยวนำ	ค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้	EWMS (mV)	
			แอนนีส	สปิริทแอลนีส
Top	900	32.31	3.725	3.770
Bottom	900	32.34	3.703	3.782
Top	1000	33.94	3.921	3.929
Bottom	1000	34.06	3.886	3.846
Top	1100	35.43	4.138	4.110
Bottom	1100	35.2	4.085	4.115
Top	1200	36.14	4.241	4.269
Bottom	1200	36.04	4.198	4.204
Top	1300	37.06	4.366	4.351
Bottom	1300	37.28	4.271	4.314



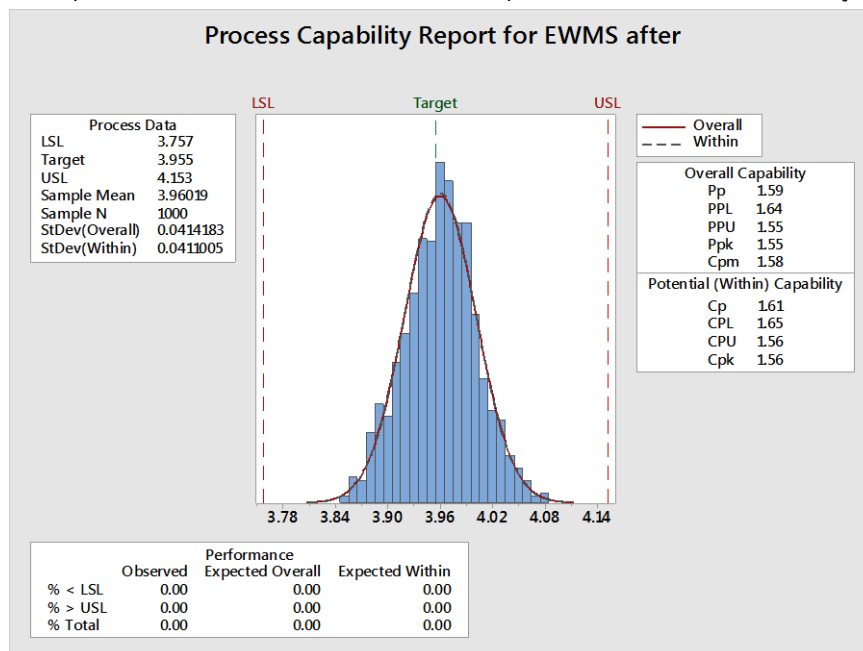
ตารางที่ 4.5 การทดสอบชนิดของสแตกว่ามีผลต่อค่า EWMS ของผลิตภัณฑ์อาร์วีหรือไม่ (ต่อ)

ตำแหน่งของแม่เหล็ก	แรงดันไฟที่ใช้ในการเหนี่ยวนำ	ค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้	EWMS (mV)	
			แอนนิล	สปิริทแอลนิล
Top	1400	37.78	4.391	4.433
Bottom	1400	37.84	4.386	4.380
Top	1500	38.06	4.452	4.453
Bottom	1500	38.29	4.447	4.461
Top	1600	28.62	4.509	4.495
Bottom	1600	38.61	4.512	4.499

ผลการทดลองอิทธิพลของชนิดของสแตกของตารางที่ “4.5” พบว่าการใช้งานชนิดสปิริทแอลนิลวัดค่า EWMS ได้ต่ำกว่าของชนิดแอนนิลที่ใช้งานปัจจุบันเพียงเล็กน้อย p-Value มากกว่า 0.05 จึงอนุมานได้ว่าสามารถใช้งานได้เทียบเคียงกัน

4.2 ทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการควบคุมกระบวนการผลิต ให้เกิดของเสียน้อยลง

จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่าค่า EWMS ของผลิตภัณฑ์อาร์วี ที่แรงดันไฟฟ้าสำหรับเหนี่ยวนำ 1000 โวลต์ แม่เหล็กชั้นบนและชั้นล่างให้ค่าการเหนี่ยวนำที่ใกล้เคียงกัน ($p\text{-value} > 0.05$) การเลือกใช้แผ่นแอตตราทิฟในการประกอบจะช่วยให้ค่า BEMF อยู่ในช่วงที่ต้องการ อีกทั้งช่วยลดการใช้แรงดันไฟฟ้าในกระบวนการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่ต่ำกว่าการประกอบด้วยวิธีการไม่ใช้แผ่นแอตตราทิฟ ช่วยยืดอายุการใช้งานของคอยล์เครื่องเหนี่ยวนำ จำนวนรอบของขดลวดที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่า EWMS สูงขึ้น เมื่อทดลองใช้ที่จำนวน 56 รอบพบว่าไม่สามารถได้ผลิตภัณฑ์อาร์วีได้ตามข้อกำหนด ซึ่งอยู่ระหว่าง 3.757 -4.153 มิลลิโวลต์ นำมาประยุกต์ใช้กับสายการผลิตได้ ดังกราฟรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสามารถของกระบวนการผลิต หลังการประยุกต์ใช้ พารามิเตอร์ใหม่



พบว่าที่การทดสอบชิ้นงาน 1,000 ชิ้น ไม่เกิดของเสียเกิดขึ้น ในกระบวนการทดสอบค่าแรงดันกลับไฟฟ้า (EWMS) จึงอนุมานว่า ช่วงที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์รุ่นอาร์วี นี้คือ แรงดันไฟฟ้าสำหรับแม่เหล็ก คือ 1000 โวลต์ ขนาดขดลวด 0.14 มิลลิเมตร พันจำนวน 54 รอบ ใช้แผ่นแอตทราทิฟในการประกอบ ทำให้เกิดของเสียลดลง

5. การอภิปรายผล

จากการทดลองพบว่าค่า Back EMF ของผลิตภัณฑ์สามารถใช้ทฤษฎีเข้ามาช่วยแก้ไขปัญหาในกระบวนการได้ เมื่อกระแสที่จ่ายให้กับเครื่องสร้างสนามแม่เหล็กถาวรสูง ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัวของแม่เหล็ก แนวโน้มก็จะคงที่ ซึ่งการเลือกความหนาแน่นของแม่เหล็กและช่วงการควบคุมก็เป็นสิ่งที่ควรให้ความสนใจเป็นพิเศษ โดยการวิจัยนี้ก่อนการทดลองผู้จัดทำได้เตรียมแม่เหล็กที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกันโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.1 กรัม นำมาทดสอบที่แรงดันไฟฟ้าในการทดลองเพื่อให้การทดลองเป็นไปอย่างราบรื่น โดยแต่ละกระบวนการผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการเอง จึงอาจทำให้เกิดความผิดพลาดที่น้อยกว่าการผลิตโดยปกติ

งานวิจัยนี้เป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวมาข้างต้น ในเรื่องอำนาจแม่เหล็กที่มากขึ้นส่งผลให้ค่า EWMS ที่วัดได้สูงขึ้น และอิทธิพลของแรงดันที่ใช้, ขนาด และความยาวของลวดตัวนำที่ส่งผลให้ค่า EWMS ได้ต่างกัน แต่จุดสำคัญที่ควรระมัดระวังคือ การควบคุมความหนาแน่นของแม่เหล็ก หากมีมากหรือน้อยเกินไปและหากยังใช้พารามิเตอร์เหมือนกับงานวิจัยก็จะทำให้เกิดของเสียในปริมาณที่มาก ผู้วิจัยเห็นสมควรให้โรงงานกรณีศึกษาลงทุนเครื่องจักรสำหรับทดสอบความหนาแน่นของแวนพวงเหล็กอัดเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จากผลการทดลองที่ได้กล่าวมานั้นเป็นไปตามทฤษฎีของธรรมชาติการซึมซับของแม่เหล็กตามชนิดของวัสดุที่ใช้ งาน การเพิ่มจำนวนรอบก็เปรียบเสมือนการเพิ่มความยาวของขดลวดทำให้แรงดันทานสูงขึ้น ส่งผลให้ค่า EWMS ที่วัดได้สูงขึ้นเช่นกันเนื่องจากเป็นชนิดเดียวกันแต่ทิศทางตรงข้ามเท่านั้น สอดคล้องกับการทดลองของงานวิจัยที่ออกแบบชุดการทดลองแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำ ในเรื่องการเพิ่มหรือลดกระแสและแรงดันให้แก่สนามแม่เหล็ก และขนาดของขดลวดที่เปลี่ยนไปส่งผลให้ค่าแรงดันกลับไฟฟ้าที่วัดนั้นเปลี่ยนแปลงไป ตามทฤษฎีที่กล่าวมา

6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

เมื่อทดลองนำพารามิเตอร์ใหม่ไปทดลองใช้งานในกระบวนการผลิต ที่จำนวน 1,000 ชิ้น ยังไม่พบปัญหาว่าเกิดของเสียที่เกิดจากค่าแรงดันกลับไฟฟ้าไม่อยู่ในช่วงควบคุม จึงสรุปว่าการใช้งานของพารามิเตอร์กระบวนการผลิตในปัจจุบัน ยังไม่เพียงพอสำหรับการลดของเสียที่จะเกิดขึ้น การทดสอบก่อนการผลิตจริงนั้นเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญ เพราะหากไม่ตรวจสอบก่อนนั้นก็อาจจะเกิดปัญหาเช่นดังที่นำมาศึกษาได้ และอีกประเด็นที่สำคัญไม่น้อยไปกว่าการควบคุมพารามิเตอร์ คือการจัดทำมาตรฐานความหนาแน่นของแม่เหล็กในแต่ละล็อต (Lot) เพื่อป้องกันปัญหาว่าบางครั้งมากหรือน้อยเกินกว่ากันและหากยังใช้พารามิเตอร์เหมือนกับงานวิจัยก็จะทำให้เกิดของเสียในปริมาณที่มากเหมือนก่อนการปรับปรุง ผู้วิจัยเห็นสมควรให้โรงงานกรณีศึกษาลงทุนเครื่องจักรสำหรับทดสอบความหนาแน่นของแวนพวงเหล็กอัดเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นในอนาคต การทดลองในงานวิจัยนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของอิทธิพลที่ส่งผลต่อค่าแรงดันกลับไฟฟ้าใช้เป็นเพียงแนวทางในการพัฒนาครั้งต่อไป



กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ต้องขอขอบพระคุณ ท่านรองศาสตราจารย์ ดร.มณฑลีสานนันท อาจารย์ที่ปรึกษา ที่อนุเคราะห์ให้แนวทางและเสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อตรวจสอบและชี้แนะ แก้ไขข้อบกพร่องของงานให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดลองข้อมูลและนำข้อมูลจากงานวิจัยนี้เพื่อใช้ในการปรับปรุงในอนาคต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ นำไปสู่การเลือกใช้งานพารามิเตอร์และวัสดุ นอกจากนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และคณาจารย์ภาควิชาอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ความรู้และอำนวยความสะดวกตลอดเวลาที่ได้เข้ามาศึกษาจนสำเร็จ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าการค้นคว้าฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจ และเป็นแนวทางเพื่อพัฒนาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ไชยชาญ ทินเกิด. (2560). *มอเตอร์ไฟฟ้าและการควบคุม*. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- บุญเรือง มะรังศรี. (2551). *เครื่องจักรกล ไฟฟ้า 1*. งานเอกสารและการพิมพ์กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย. (2548). *สนามไฟฟ้าและแม่เหล็ก*. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- บุญชัย แซ่สั่ว และณัฐชยาน์ ไสกุล. (2559). “การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว”. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สาขาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์.
- สิริชัย สุรัตน์ชัยการ และอรุณกร เก่ง. (2548). “การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมในการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องบรรจุภัณฑ์”. มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม.
- ภานุพงษ์ หมั่นซัด. (2557). “การออกแบบชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากแม่เหล็กฮาร์ดดิสก์เก่า”. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาฟิสิกส์.
- ศุภกร กตาทิการกุล สุเจนต์ พรหมเหมือน และปิติ พายชาญนนท์. (2556). “ชุดทดลองแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแส” มหาวิทยาลัยทักษิณ คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์.
- อำนาจ ผัดวัง และจิรพนธ์ ทาแกง. (2558). “การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขดลวดและสนามแม่เหล็กหมุนสวนทางกัน”. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า.