

การลดปริมาณอนุภาคเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์ที่หลุดออกมาจากแขนจับหัวอ่าน/เขียน ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกมา

Emission Reduction of Piezoelectric Transducer (PZT) Particles from Hard Disk Drive Suspension by Six Sigma Approach

นันทชญา จารัตน์ และ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย

Nunchaya Jarat and Damrong Thawesaengskulthai

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร. 02-2186814-6 โทรสาร 02-2513969, 02-2186813

E-mail nunchaya39@gmail.com, damrong.t@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่าน/เขียน ที่ทำหน้าที่พวยหัวอ่าน/เขียนในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยได้ประยุกต์ใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา และมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณอนุภาคเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์ (PZT) ที่หลุดออกมาจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายโดยตรงกับหัวอ่าน/เขียน และผิวหน้าของแผ่นดิสก์เก็บข้อมูล ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ที่ถูกทิ้ง และลดต้นทุนการแก้ไขและจัดการกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า โดยในการศึกษาครั้งนี้ มุ่งดำเนินการเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา หลังการปรับปรุงพบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT ลดลงต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่ลูกค้ากำหนดไว้ที่ 120 โดยลดลงจาก 169.1 เป็น 108.7 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร คิดเป็น 35.7% ส่งผลให้ต้นทุนความสูญเสียลดลง 81.8%

Abstract

This research is applied Six Sigma methodology to improve production process of Suspensions which main function is to suspend the read/write head in Hard Disk Drive. The objective of this research is to reduce the emitted Piezoelectric Transducer (PZT) particles that will damage the read/write head and disk surface, for reducing the scrap

and rework cost of products which are not meet the product specification. This research is focused to study factors that influence the mean of PZT emission and identify the optimal condition by Six Sigma approach. After improvement, the mean of PZT emission can be reduced to below 120 particles per SQ.CM. which is the specification limit, by reducing the mean of PZT emission from 169.1 to 108.7 particles per SQ.CM. which is 35.7% reduction. This improvement can reduce the cost to be 81.8%.

1. บทนำ

ในกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่าน/เขียนที่ทำหน้าที่พวยและยึดหัวอ่าน/เขียนซึ่งต้องถูกประกอบเข้าไปในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น ความสะอาดของผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงเนื่องจากอนุภาคหรือสิ่งแปลกปลอม ที่มีขนาดใหญ่กว่าระยะความสูงในการบินของหัวอ่าน/เขียน เหนือผิวของแผ่นดิสก์เก็บข้อมูลที่ระยะน้อยกว่า 0.01 ไมครอน จะก่อให้เกิดความเสียหายโดยตรงกับตัวหัวอ่าน/เขียน และอาจเกิดรอยขีดข่วนบนผิวหน้าของแผ่นดิสก์ข้อมูล จนอาจทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เสียหายและไม่สามารถใช้งานได้ ความสะอาดของผลิตภัณฑ์ยังหมายถึงปริมาณอนุภาคชนิดต่างๆ ผุ่น ผง หรือสิ่งแปลกปลอมที่เกาะติดอยู่บนชิ้นงาน ซึ่งมีที่มาจากหลายๆ แหล่ง ทั้งจากการหลุดของเนื้อวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ จากตัวผู้ปฏิบัติงาน หรือจากกระบวนการผลิตทั้ง

เครื่องจักรและสภาวะแวดล้อมการทำงานที่ไม่เหมาะสม โดยอนุภาคหรือสิ่งแปลกปลอมขนาดใหญ่กว่า 0.5 ไมครอน ถูกกำหนดให้ทำการตรวจสอบเพื่อระบุชนิด ขนาด และปริมาณของอนุภาค ด้วยเทคนิคการตรวจวิเคราะห์หาอนุภาคของแข็ง (HPA) ซึ่งถูกค่ากำหนดค่ามาตรฐานการยอมรับไว้ที่ 120 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร โดยผลิตภัณฑ์รอบการผลิต (Lot) ที่มีปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT น้อยกว่าค่าที่กำหนดสามารถส่งมอบไปให้ลูกค้าได้ ส่วนผลิตภัณฑ์ Lot ที่มีปริมาณสูงเกินค่าที่กำหนดนั้น จำเป็นต้องถูกนำไปล้างและตรวจวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์หลังล้างใหม่อีกครั้ง ผลิตภัณฑ์หลังล้าง Lot ที่มีปริมาณอนุภาคน้อยกว่าค่าที่กำหนดสามารถส่งมอบได้ในขณะที่ผลิตภัณฑ์หลังล้าง Lot ที่มีปริมาณอนุภาคสูงเกินค่าที่กำหนดต้องถูกปฏิเสธ โดยต้องถูกทิ้ง ซึ่งจากข้อมูลเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน ปี 2553 พบว่าเปอร์เซ็นต์ของจำนวน Lot ที่ถูกปฏิเสธ (%LRR) มากที่สุด ซึ่งคิดเป็น 85% คืออนุภาค PZT ของผลิตภัณฑ์รุ่น IX ในงานวิจัยนี้จึงนำอนุภาคของผลิตภัณฑ์รุ่นดังกล่าวมาทำการปรับปรุง

สำหรับการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตนั้น ได้มีการนำเทคนิคและวิธีการต่างๆ มาใช้แนวคิดหนึ่งที่น่าสนใจมาใช้อย่างแพร่หลาย คือ ซิกซ์ ซิกมา ซึ่งเป็นแนวคิดที่มีประสิทธิภาพ นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการปรับปรุงคุณภาพ และลดต้นทุนในกระบวนการผลิต เนื่องจากการนำหลักการทางสถิติ มาใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาสาเหตุและนำไปสู่การแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้จึงได้มีการประยุกต์ใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงกระบวนการ เพื่อช่วยลดปริมาณของอนุภาค PZT ที่หลุดออกมาจากผลิตภัณฑ์ และส่งผลให้ต้นทุนจากการแก้ไขชิ้นงานลดลง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การปรับปรุงกระบวนการตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา

การดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา [6-7] ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน เริ่มจากระยะการนิยามปัญหาซึ่งเป็นขั้นตอนการศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการปรับปรุง ต่อมาในระยะการวัด

เพื่อหาสาเหตุของปัญหา เป็นการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด จากนั้นทำการระดมสมองร่วมกับคณะทำงานเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT โดยใช้แผนภาพต้นไม้ (FTA) และใช้การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) จากนั้น ในระยะการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา เป็นการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องต่อปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT ระยะถัดไปคือ ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ซึ่งเป็นขั้นตอนการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง และทำการหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองลดลงมากที่สุด ในระยะสุดท้าย คือระยะการติดตามควบคุม ได้ทำการทดสอบยืนยันผลการทดลองของระดับปัจจัยที่เหมาะสม และจัดทำแผนควบคุม (Control Plan) เพื่อติดตามและควบคุมปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองเพื่อรักษามาตรฐานหลังการปรับปรุงกระบวนการไว้

2.2 การออกแบบการทดลองพื้นผิวผลตอบ (RSM) แบบ

บ็อกซ์ – เบห์นเคน (Box - Behnken Design)

ในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน (Box - Behnken Design) [4-5] โดยการออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนนั้น เป็นการออกแบบการทดลองที่มี 3 ระดับ สำหรับพื้นผิวผลตอบซึ่งถูกสร้างขึ้นจากการรวมเอาการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2^k กับการออกแบบบล็อกไม่บริสุทธิ์ ผลของการออกแบบมีประสิทธิภาพมากในด้านจำนวนของการทดลองที่ไม่มากนัก โดยรูปทางเรขาคณิตของการออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนเป็นรูปทรงกลมที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี $\sqrt{2}$ นอกจากนี้ การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน ยังไม่รวมเอาจุดใดๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างขึ้นจากจุดจำกัดบนและล่างของแต่ละปัจจัยเอาไว้ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์ คือ การรวมของปัจจัยระดับ (Factor Level Combination) ที่แพงมากหรือเป็นไปได้ที่จะ

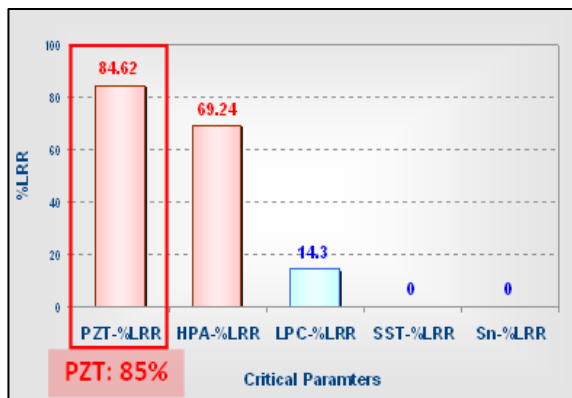
ทำการทดลอง เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านกายภาพของกระบวนการ

3. การดำเนินงานวิจัยและผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ดำเนินงานตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา ตามที่อธิบายในหัวข้อ 2.1 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 ระยะการนิยามปัญหา (Define Phase)

ระยะการนิยามปัญหา เป็นขั้นตอนในการกำหนดทิศทางของงานวิจัยนี้ โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตและเก็บรวบรวมข้อมูลของสภาพปัญหา จากข้อมูลในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน ปี 2553 พบว่าปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT มีเปอร์เซ็นต์ของจำนวน Lot ที่ถูกปฏิเสธ (%LRR) ตามเกณฑ์ข้อกำหนดของลูกค้าสูงสุด คิดเป็น 85% เมื่อเทียบจากจำนวน Lot ทั้งหมดที่ถูกนำมาตรวจสอบ ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนั้นขอบเขตของงานวิจัยครั้งนี้ คือการลดปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT บนผลิตภัณฑ์รุ่น IX โดยกำหนดเป้าหมายเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT ลดลงจาก 169.1 เหลือ 120 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร เท่ากับค่ามาตรฐานที่ถูกกำหนด



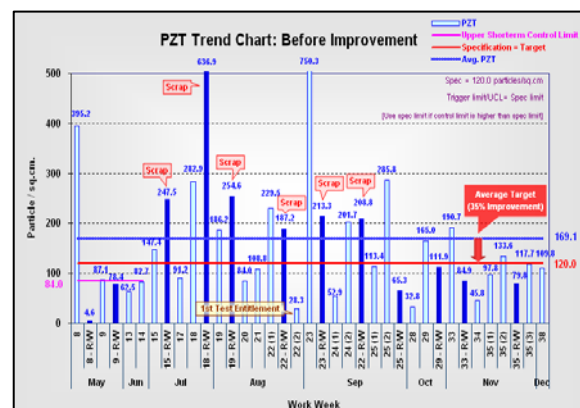
รูปที่ 1 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวน Lot ที่ถูกปฏิเสธ (%LRR) ของอนุภาคแต่ละชนิด ของผลิตภัณฑ์รุ่น IX

3.2 ระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

ในระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา โดย

อาศัยเครื่องมือทางคุณภาพมาช่วยในการวิเคราะห์ เริ่มจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด [2-3] ซึ่งในการตรวจวิเคราะห์อนุภาค PZT ที่หลุดออกมาจากผลิตภัณฑ์นั้น ถูกวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่ต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์สเปกโตรมิเตอร์รังสีเอกซ์ (SEM/EDX) โดยพบว่า %Precision to Total Variation (%P/TV) เท่ากับ 9.37% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10% ตามเกณฑ์การยอมรับของโรงงานการศึกษา จึงยอมรับระบบเครื่องมือวัดนี้ว่ามีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการอยู่ในเกณฑ์ดี ระบบการวัดนี้ให้ค่าวัดที่ถูกต้องคือสามารถที่จะใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้ ในการวิเคราะห์ผลการทดลองที่จะทำการศึกษาต่อไปได้

เมื่อพิจารณาข้อมูลของปัญหาที่เก็บรวบรวมในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกันยายนปี 2553 พบว่าปริมาณของอนุภาค PZT ที่หลุดออกมาจากผลิตภัณฑ์รุ่น IX ก่อนการแก้ไขในกระบวนการ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 169.1 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้ที่ 120 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 2 กราฟแสดงผลของปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT จากผลิตภัณฑ์รุ่น IX ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ

จากนั้น ได้ทำการระดมความคิดเพื่อระบุปัจจัยที่เป็นไปได้ ที่มีผลกระทบต่อปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT เริ่มต้นการคัดเลือกปัจจัยโดยใช้แผนภาพต้นไม้ (FTA) ผล ที่ได้พบว่ามีปัจจัยนำเข้า (KPIV) มีทั้งหมด 6 ปัจจัย ซึ่งเกี่ยวข้องกับสถานะการปรับตั้งเครื่องมือที่ไม่เหมาะสมของ 2 กระบวนการ

คือ กระบวนการหยอดกาวและติด PZT และกระบวนการล้าง จากนั้นจึงนำปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับ 2 กระบวนการนั้น มาทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ต่อ ผลที่ได้พบว่ามี 5 สาเหตุที่เป็นไปได้ ที่ทำให้เกิดความล้มเหลว ซึ่งมีคะแนนรวมกันคิดเป็น 78.9% ของคะแนน RPN ทั้งหมด ตามหลักการ 80:20 ของพาเรโต [1] และเมื่อพิจารณาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้ง 5 พบว่ามี 2 สาเหตุที่เกิดจากปัจจัยเดียวกัน จึงสามารถรวมให้เหลือ เพียง 4 ปัจจัยนำเข้า (KPIV) ที่เกี่ยวข้องกับการตั้งค่าของกระบวนการล้าง คือ ค่ากำลังของเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic Power) ค่าความถี่ของเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic Frequency) เวลาการทำงานของเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic Time) และอุณหภูมิของการล้าง (Temperature) ซึ่งปัจจัยที่เลือกทั้งหมดนี้ จะถูกนำไปทำการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญในขั้นตอนต่อไป

3.3 ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เป็นขั้นตอนที่ศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยนำเข้าทั้ง 4 ที่คัดเลือกมาจากการวิเคราะห์ FMEA ซึ่งมีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT

สำหรับขนาดตัวอย่าง (Sample Size) ของการทดลองในขั้นตอนนี้ ผลการคำนวณจากโปรแกรม Minitab พบว่า ต้องใช้จำนวนการทดลองเป็น 155 ครั้ง สำหรับแต่ละระดับของปัจจัย ซึ่งไม่สามารถดำเนินการทดลองจำนวนดังกล่าวได้จริง ด้วยข้อจำกัดของกระบวนการ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขนาดการทดลองให้เป็น 30 ครั้งสำหรับแต่ละระดับของปัจจัย โดยอ้างอิงหลักทฤษฎีสุ่มมิติกลาง (Central Limit Theorem CLT) [4] เพื่อให้แน่ใจว่าชุดข้อมูลที่ได้มีการแจกแจงเข้าใกล้แบบปกติ และเพื่อให้สะดวกในการทดลองและการวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้ ได้เลือกทำการทดสอบสมมติฐาน [4] ของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ทดสอบแต่ละปัจจัยแยกกัน เนื่องจากสะดวกในการปรับตั้งค่าของกระบวนการมากกว่าใช้การออกแบบการทดลองที่ต้องปรับเปลี่ยนการตั้งค่าไปมาแบบสุ่มด้วยการทดลองจำนวน

มาก ขอบเขตของงานวิจัยนี้ไม่ครอบคลุมถึงการออกแบบการทดลองเพื่อปรับตั้งค่าความถี่ของเครื่องอัลตราโซนิก เนื่องจากเครื่องล้าง B รุ่นใหม่ที่ถูกกำหนดให้ใช้ในการปรับปรุงครั้งนี้ ไม่สามารถปรับตั้งค่าความถี่ได้ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองเพียง 3 ปัจจัยนำเข้า คือ ค่ากำลังของเครื่องอัลตราโซนิก เวลาการทำงานของเครื่องอัลตราโซนิก และอุณหภูมิการล้าง ดังในตารางที่ 1 จากนั้นผลที่ได้จากการทดลองถูกนำมาทดสอบการแจกแจงปกติ (Normality Test) และตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นปกติของข้อมูล คือสมมติฐาน $E_{ijk} \sim NID(0, \sigma^2)$ ก่อนนำมาวิเคราะห์ โดยพบว่า ข้อมูลที่ได้นั้น มีการแจกแจงแบบปกติ และรูปแบบของส่วนตกค้างของข้อมูลที่ได้เป็นไปตามสมมติฐาน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลนี้มีความถูกต้องเหมาะสมที่จะใช้วิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัย

ตารางที่ 1 ระดับการทดสอบความมีนัยสำคัญโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA

ชนิดของปัจจัย	ระดับปัจจัย		หมายเหตุ
กำลังของเครื่องอัลตราโซนิก	10%	100%	อ้างอิงการตั้งค่าแบบปัจจุบันรุ่น A สำหรับปัจจัยอื่นที่ต้องการควบคุม
เวลาของเครื่องอัลตราโซนิก	30s	240s	
อุณหภูมิการล้าง	30°C	50°C	

ในการวิเคราะห์และทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) โดยผลที่ได้พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง หรือมีผลต่อค่าเฉลี่ยของปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งต้องนำไปปรับปรุงและหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป คือ ค่ากำลังของเครื่องอัลตราโซนิก เวลาการทำงานของเครื่องอัลตราโซนิก และอุณหภูมิการล้าง

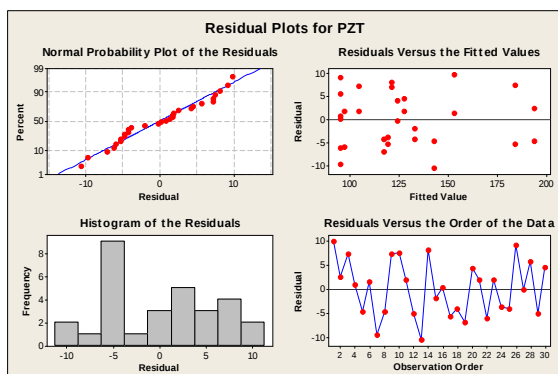
3.4 ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

ในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ เป็นขั้นตอนการศึกษาเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสม ที่ทำให้ปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT ลดลงต่ำกว่ามาตรฐานที่ถูกกำหนด โดยได้เลือกทำการออกแบบการทดลองพินผิวผลตอบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน เนื่องจากการออกแบบทดลองที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบที่มีระดับของปัจจัยตั้งแต่ 3 ระดับขึ้นไป ซึ่ง ตรงกับระดับของปัจจัยที่ต้องการศึกษาดังตารางที่ 2 และยังให้จำนวนการทดลองจากการทำซ้ำ 2 ครั้ง ทั้งหมดเพียง 30 การทดลอง ซึ่งเหมาะสมและสามารถทำการทดลองได้จริงในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 2 ระดับของการออกแบบการทดลองแบบ

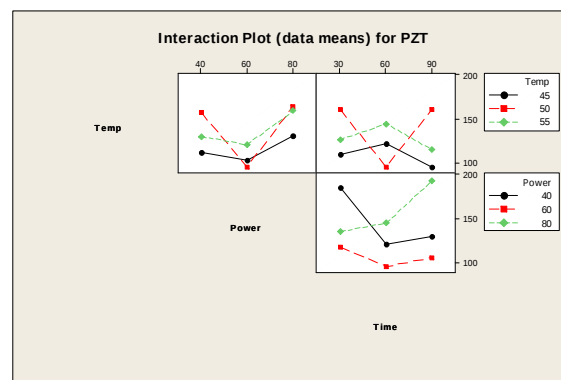
ชนิดของปัจจัย	ระดับปัจจัยในการทดลอง		
กำลังของเครื่องอัลตราโซนิก	40%	60%	80%
เวลาของเครื่องอัลตราโซนิก	30s	60s	90s
อุณหภูมิการล้าง	45°C	50°C	55°C

จากนั้น ผลการทดลองที่ได้ ถูกนำไปวิเคราะห์สมมุติฐานของความเป็นปกติของข้อมูล โดยพบว่า ผลการทดสอบเป็นไปตามเงื่อนไขการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง $\varepsilon_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ ดังแสดงในรูปที่ 3

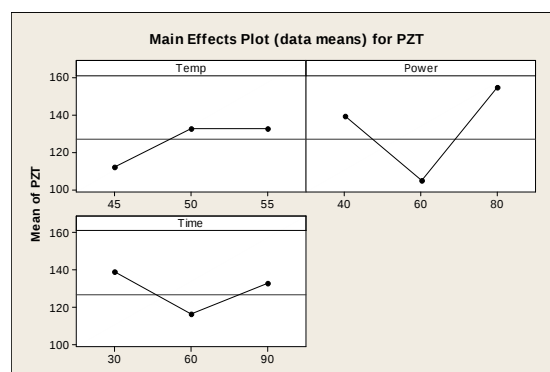


รูปที่ 3 กราฟส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual)

สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้น ได้ทำการวิเคราะห์ผลหลัก (Main Effect) และผลอันตรกิริยา (Interaction Effect) ของปัจจัยทั้งสามที่มีผลกระทบต่อปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT ในกระบวนการ ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 โดยพบว่าให้ผลเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมด้วยฟังก์ชัน Response Optimization ของโปรแกรม Minitab เมื่อเลือกให้ค่าตอบสนองมีค่าน้อยที่สุด โดยกำหนดค่าเป้าหมายไว้ที่ 120 ผลที่ได้พบว่า ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม (Optimal Condition) คือ การตั้งกำลังของเครื่องอัลตราโซนิกที่ 60 % เวลาการทำงานของเครื่องอัลตราโซนิกที่ 60 วินาที และอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยได้คำนวณของปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT เฉลี่ยเท่ากับ 95.26 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 4 กราฟแสดงผลหลัก (Main Effect) ต่อค่าตอบสนอง



รูปที่ 5 กราฟแสดงผลอันตรกิริยา (Interaction Effect) ต่อค่าตอบสนอง

ตารางที่ 3 ผลของระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

ชนิดของปัจจัย	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม
กำลังของเครื่องอัลตราโซนิก	60%
เวลาของเครื่องอัลตราโซนิก	60 วินาที
อุณหภูมิการล้าง	50°C

Optimal D 1.0000	Hi Cur Lo	Temp 55.0 [50.0] 45.0	Power 80.0 [60.0] 40.0	Time 90.0 [60.0] 30.0
PZT Minimum $y = 95.2583$ $d = 1.0000$				

รูปที่ 6 กราฟแสดงระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ในระหว่างการปรับปรุงแก้ไขนี้ ยังได้ทำการทดสอบยืนยันผลเบื้องต้น เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT และอนุภาคอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องจากการเปรียบเทียบการตั้งค่าทั้งสองระดับ คือ ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมบนเครื่องล้าง B รุ่นใหม่ กับการตั้งค่าแบบปัจจุบันของเครื่องล้างรุ่น A จากผลการทดสอบยืนยันเบื้องต้นในตารางที่ 4 พบว่าปริมาณการหลุดเฉลี่ยของอนุภาค PZT ที่ได้จากการทดลองที่ระดับปัจจัยที่เหมาะสม เท่ากับ 71.5 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งลดต่ำลงจากผลการทดลองที่ได้จากการตั้งค่าแบบปัจจุบันที่เท่ากับ 168.8 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงที่ 57.64%

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบยืนยันเบื้องต้นของการทดลอง

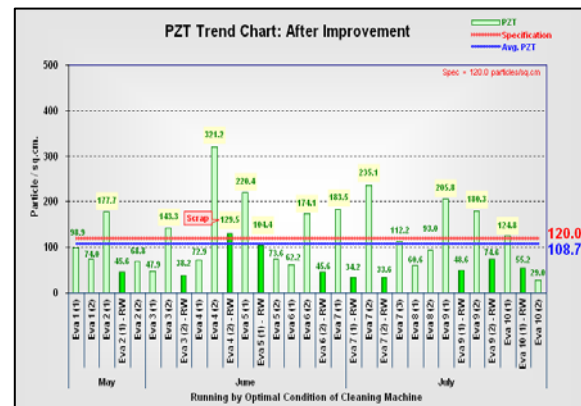
ระหว่างการตั้งค่าที่ระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับแบบปัจจุบัน

KPOV	Parameter	DOE [Optimized Level] Power 60% U/S Time 60 sec Temp 50°C	Control Group "A"
Primary Metric	PZT	71.5	168.8
Secondary Metric	LPC $\geq 0.3 \mu\text{m}$	12022.3	15069.6
	HP	5.3	5.0
	Si-O	15.3	27.9
	SST	115.1	136.3

3.5 ระยะเวลาติดตามควบคุม (Control Phase)

และในระหว่างการติดตามควบคุม เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการดำเนินงานวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการทดสอบยืนยันผลของระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองในระยะยาวอีกครั้ง จากนั้นจัดทำแผนควบคุม (Control Plan) และจัดทำเป็นมาตรฐานและกำหนดวิธีการในการปฏิบัติงาน เพื่อรักษามาตรฐานในการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้

ในการทดสอบยืนยันผลของระดับปัจจัยที่เหมาะสม ได้ทำการทดลองเก็บข้อมูลสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เป็นเวลานาน 10 สัปดาห์ ตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนกรกฎาคม ปี 2554 โดยผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟแสดงผลของปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT จากผลิตภัณฑ์รุ่น IX หลังการปรับปรุงกระบวนการ

จากข้อมูลหลังการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการในรูปที่ 7 พบว่าจำนวนผลิตภัณฑ์ Lot ที่ถูกทิ้งลดลงจาก 6 Lot เหลือเพียง 1 Lot และค่าเฉลี่ยของปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT อยู่ที่ 108.7 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งลดลงต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่ถูกกำหนดไว้ที่ 120 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร และลดลงจากค่าเฉลี่ยก่อนการปรับปรุงที่ 169.1 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร คิดเป็น 35.7% โดยส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายและต้นทุนความสูญเสียรวมลดลงเป็น 81.8% เมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง

จากนั้นได้จัดทำแผนควบคุม (Control Plan) เพื่อใช้ควบคุมกระบวนการ โดยได้ควบคุมการปรับตั้งค่าปัจจัยของ

กระบวนการล้างทั้ง 3 ปัจจัย เพิ่มเติมเข้าไปในแผนควบคุมของผลิตภัณฑ์รุ่น IX ดังนี้

- o กำลังของเครื่องอัลตราโซนิก กำหนดให้ตั้งค่าที่ 60%
- o เวลาการทำงานของเครื่องอัลตราโซนิก กำหนดให้ตั้งค่าเวลาการล้างที่ 60 วินาที
- o อุณหภูมิการล้าง กำหนดให้ตั้งค่าที่ 50 องศาเซลเซียส

และกำหนดวิธีการปรับตั้งค่าในมาตรฐานการปฏิบัติงานของกระบวนการล้างสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น IX โดยได้ทำการแก้ไขมาตรฐานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันในตรงกับการปรับตั้งค่าที่กำหนดผ่านการอนุมัติโดยหัวหน้างาน วิศวกรควบคุมกระบวนการผลิตและผู้จัดการฝ่าย และมีการแจ้งให้พนักงานและบุคคลที่เกี่ยวข้องรับทราบถึงการเปลี่ยนแปลง เพื่อกำหนดให้พนักงานทำการปรับตั้งค่าตามที่กำหนดอย่างเคร่งครัด

4. สรุปผล

จากปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาที่ต้องการลดปริมาณของเสียซึ่งเกิดจากปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT ของผลิตภัณฑ์รุ่น IX ที่สูงเกินข้อกำหนดของลูกค้า จึงได้นำแนวทางซิกซ์ซิกมา เข้ามาประยุกต์ใช้ โดยอาศัยเครื่องมือคุณภาพและเครื่องมือทางสถิติต่างๆ เพื่อออกแบบการทดลอง วิเคราะห์ผล และควบคุมกระบวนการผลิตอย่างถูกต้อง หลังการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ พบว่า สามารถปรับลดค่าเฉลี่ยของปริมาณการหลุดของอนุภาค PZT ให้ต่ำกว่าค่าเป้าหมายซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ลูกค้ากำหนดได้ โดยลดลงเป็น 35.7% และจากผลการปรับปรุงกระบวนการนี้สามารถลดค่าใช้จ่ายและต้นทุนความสูญเสียรวมลดลงเป็น 81.8% เมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยการสนับสนุนด้านความรู้ ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ จากรองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ระหว่างการทำงานวิจัยเป็นอย่างดีโดยตลอด ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้โอกาส

ในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณคณะทำงานที่ช่วยในการระดมสมอง ซึ่งประกอบด้วยคณะทำงาน ตั้งแต่ระดับผู้จัดการฝ่าย วิศวกรควบคุมกระบวนการ และพนักงานที่เกี่ยวข้องทุกคน ที่กรุณาช่วยเหลือและให้คำแนะนำเพื่อทำให้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, “สถิติสำหรับงานวิศวกรรม”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545
- [2] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, “การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย MINITAB”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545
- [3] ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย, “การควบคุมคุณภาพสำหรับ นักบริหารและกรณีศึกษา”, สำนักพิมพ์ บริษัทเอ็มแอนดีอี จำกัด, 2540
- [4] ปารเมศ ชูติมา, “การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม”, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- [5] D.C. Montgomery, “Design and Analysis of Experiments”, 2009
- [6] S. P. Peter, “The SIX SIGMA Way how GE Motorola and other top companies are honing their performance”, 2000
- [7] W. B. Forrest, “Implementing SIX SIGMA Smarter Solutions Using Statistical Methods”, 1999