การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14
2-3 พฤศจิกายน 2543 โรงแรม โนโวเทล เชียงใหม่

การปรับปรุงคุณภาพระบบการวัดความสั่นสะเทือนของสปินเดิลมอเตอร์โดยผ่านแนวทางของซิกซิกส์ม่า

Six Sigma Quality Enhancement of Motors Through a Vibration Measurement System

ชิต เหล่าวัฒนา กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ ณัฐพงศ์ วุฒิกร
ศูนย์ปฏิบัติการพัฒนาหุ่นยนต์ภาคสนาม(ฟีโบ้) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
91 สุขสวัสดิ์ 48 แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพ 10140
โทร 02-470-9339, 02-470-9129 โทรสาร 02-470-9111, E-Mail: s1400706@cc.kmutt.ac.th

Djitt Laowattana, Kitisuk Ploypanichalearn and Natapong Vutikorn
Center of Operation for Field roBOtics Development (FIBO), King Mongkut's University of Technology Thonburi
91 Suksawasd 48 Bangmod Bangkok 10140 *Thailand*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้หลักการซิกซิกส์ม่าในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการผลิต ณ บริษัทซีเกตเทคโนโลยี (ประเทศไทย) สาขารังสิต ซึ่งเป็นผู้ผลิตสปินเดิลมอเตอร์ที่ใช้ในการขับดิสก์ไดฟ์ เป้าหมายของการวิจัยคือการลดค่าใช้จ่ายและจำนวนของเสียในกระบวนการผลิตให้ต่ำสุดโดยการปรับปรุงคุณภาพในระบบการวัด เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับลูกค้า และสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการอธิบายกระบวนการและนำสารสนเทศจากข้อมูลมาใช้เพื่อการตัดสินใจให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุด

Abstract

Whitin this research, we apply the Six Sigma discipline to solve problems in real production process at the Seagate technology (Thailand) Rangsit, Seagate is a producer of spindle motors, for disks. The objevtive of this thesis is to reduce all unnecessary expenditures and watses in production process as much as possible we aim at improving quality of measuring systems to create customer confidence. These data will be uses to explain the processes and therefore leading to efficient decision making process in production planning.

1.บทนำ

ระหว่างปี 1970 ถึงปี 1980 การพัฒนาด้านเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว (Technology boom) จึงเป็นเหตุให้การผลิตสินค้ามีความซับซ้อนมากขึ้น ระยะเวลาในการผลิตเร็วขึ้น ต้นทุนในการผลิตต่ำลง ช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์สั้นลงกว่าแต่ก่อนเป็นต้น ดังนั้นในการผลิตจำเป็นต้องมีความยืดหยุ่นต่อการเปลียนแปลงเหล่านี้และจะต้องก้าวตามให้ทันในเรื่องของเทคโนโลยีเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ด้วยเหตุนี้บริษัททั้งหลายจึงจำเป็นต้องแสวงหาแนวทางในการทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจ (*Customer satisfaction*) ในช่วงต้นปี 1980 บริษัทต่างๆ จึงเรียนรู้ว่าภายใต้การแข่งขันที่รุนแรงผู้ชนะในธุรกิจนั้นไม่ใช่เพียงแค่มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีดีอย่างเดียวแต่ต้องทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจแบบเบร็ดเสร็จด้วย (Totai customer satisfaction) บริษัทโมโตโรลา คือ บริษัทหนึ่งที่ตระหนักถึงปัญหาเหล่านี้จึงได้มีการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาแนวทางหนึ่งขึ้นมาเรียกว่าซิกซิกส์ม่าโดย Mikel J Harry และจากการนำโปรแกรมนี้มาใช้นั้นเองทำให้บริษัทโมโตโรล่าเป็นบริษัทที่ประสบความสำเร็จและมีการพัฒนาทางด้านคุณภาพอย่างรวดเร็วจนกระทั่งได้รับ

รางวัล Malcolm Baldrige National Quality Award เมื่อปี 1988

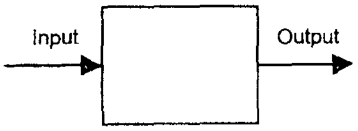
ถึงแม้ชื่อของซิกซิกส์ม่าจะเป็นชื่อทางสถิติก็ตาม แต่จริงๆแล้วมันเป็นหลักของการบริหารซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement) โดยเน้นไปที่การปรับปรุงแบบพลิกโฉมหน้า (Breakthrough) หรือเป็นการปรับปรุงที่เน้นผลลัพธ์ เพื่อค้นหางานที่ไร้มูลค่าเพิ่มหรือปัญหาที่ซ่อนเร้นอยู่ในระบบ (Hidden Factory) ปัญหาที่ได้รับการเลือกมานั้นต้องมีเสถียรภาพ ดังนั้นการเลือกโครงการต้องถูกกำหนดโดยผู้บริหารระดับสูง แล้วดำเนินการบริหารเพื่อการปรับปรุงคุณภาพที่บังคับทั่วทั้งองค์กร (Company Wide) และเป็นทางเลือกใหม่ในการจัดการกับปัญหาเพื่อการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง โดยการเปลี่ยนมุมมองในการมองกระบวนการเสียใหม่ให้มองกระบวนการในระยะยาว (Long Term) เนื่องจากถ้าเรามองกระบวนการแต่เพียงในช่วงเวลาสั้นๆ (Short Term) แต่เพียงอย่างเดียวอาจทำให้พลาดโอกาสในการแก้ไขปัญหาที่มันฝังตัวหรือซ่อนเร้นอยู่ในระบบ และอาจเข้าใจว่ากระบวนการที่ทำงานอยู่นั้นดีอยู่แล้วไม่จำเป็นต้องแก้ไขหรือปรับปรุงอะไร หรือการที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่ตรงกับค่าเป้าหมายนั้นจะตีความกลายเป็นว่ามันเกิดขึ้นโดยธรรมชาติควบคุมไม่ได้ แต่สิ่งต่างๆที่กล่าวมานั้นถ้ามองให้ดีแล้วจะพบว่าตามความเป็นจริงกระบวนการไม่ได้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ดีที่สุดตลอดเวลากล่าวคือในระยะยาวแล้วไม่มีใครที่สามารถควบคุมกระบวนการให้ดีอยู่ได้ตลอดเวลา พนักงานปฏิบัติงานเองก็ไม่ได้ทำงานได้ดีอยู่ตลอดเมื่อทำงานไปนานๆก็จะเกิดความล้าขึ้น หรือเครื่องจักรเมื่อใช้งานไปนานๆก็จะเกิดการเสื่อมสภาพ ชำรุด สึกหรอ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นแค่เพียงตัวอย่างที่นำมากล่าวเพื่อให้เข้าใจในการมองกระบวนการระยะยาว ซึ่งในความเป็นจริงสภาวะต่างๆเหล่านี้มีจำนวนมากมายและแปรเปลี่ยนไปตลอดเวลาซึ่งสิ่งเหล่านี้เกิดขึ้นโดยระบบ

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โปรดิวซิบิลลีตี้ (Producibility)

โปรดิวซิบิลลีตี้ คือ วิธีการในการวัดความพึงพอใจของลูกค้าและความเสี่ยงของผู้ผลิต ซึ่งมีดรรชนีในการประเมินดังนี้

2.1.1 First – Time Yield (Y_{FT}) คือ โอกาสในการเกิดเหตุการณ์ที่เราสนใจโดยเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด และเป็นเหตุการณ์จุดใดจุดหนึ่งที่เราให้ความสนใจ ดังรูปที่1 และสมการที่1



รูปที่1 First – Time Yield

$$Y_{FT} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \quad (1)$$

เมื่อ

Output คือ เหตุการณ์ที่เราสนใจ

Input คือ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด

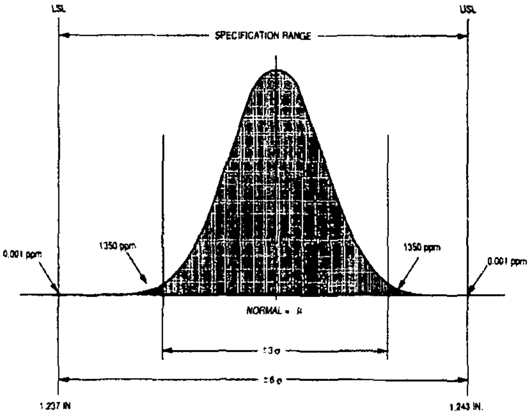
2.1.2 Rolled – Throughput yield (Y_{RT}) คือ โอกาสของเหตุการณ์ที่สนใจเกิดขึ้นพร้อมๆกันภายใต้เงื่อนไขต่างๆเท่ากับผลคูณของความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ (Joint Probability) ในแต่ละเงื่อนไข ซึ่งผลคูณดังกล่าวนี้เรียกว่า Rolled – Throughput yield (Y_{RT}) เมื่อเหตุการณ์ที่สนใจนั้นเป็นอิสระต่อกัน ดังสมการที่2

$$Y_{RT} = \prod_{i=1}^{m} Y_{FT_i} \quad (2)$$

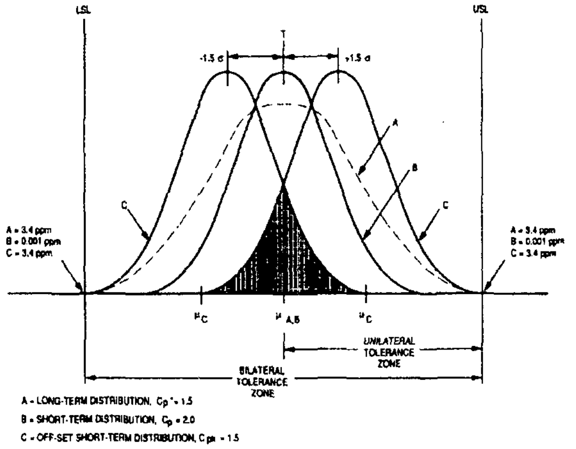
2.2 ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)

2.2.1 Short Term Capability

ในกระบวนการผลิตถ้าเราสามารถควบคุมการผลิตให้ตรงกับที่ออกแบบไว้ได้และสามารถทำให้ทุกอย่างที่เราต้องการควบคุมมันเหมือนเดิมได้นั้นก็หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของกระบวนการต้องตรงกับค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะ ซึ่งแนวความคิดนี้มักเป็นจริงเพียงแค่ในอุดมคติเท่านั้น เนื่องจากภายใต้หลักการนี้ทุกอย่างต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ดีที่สุด ตัวอย่างเช่นวัตถุดิบที่นำเข้ามาต้องดีตรงกับที่ออกแบบไว้ คนงานต้องไม่มีความล้าเกิดขึ้น เครื่องจักรไม่มีการเสื่อมชำรุดหรือสึกหรอเลย ซึ่งมันสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลาสั้นๆเท่านั้น (Instant Reproducibility) ดังรูปที่2 และความสามารถของกระบวนการ ดังสมการที่ 3



รูปที่2 Short Term Capability



รูปที่3 Long Term Capability

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \qquad (3)$$

เมื่อ

C_p คือ ความสามารถของกระบวนการ

USL คือ ข้อกำหนดเฉพาะด้านบน

2.2.2 Long Term Capability

เมื่อมีการผลิตไปเรื่อยๆในช่วงเวลาหนึ่งนั้น (Long Term) ค่าเฉลี่ยของกระบวนการจะมีการแกว่งไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะเสมอเนื่องจากอิทธิพลของความผันแปรที่เกิดขึ้นโดยระบบ (Perturbing Nonrandom Influences) ความเป็นจริงแล้วในการผลิตนั้นเราไม่สามารถควบคุมสิ่งต่างๆให้คงที่ตลอดเวลาได้ดังนั้นจึงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอเนื่องจากความไม่แน่นอนที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ซึ่งความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นนี้อาจจะมีส่วนประกอบมาจากหลายสาเหตุด้วยกันและผลกระทบจากการเลื่อนนี้เองมีผลทำให้จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นมีเพิ่มขึ้น โดยตามแนวคิดภายใต้หลักการของ Six Sigma นั้นจะยอมให้มีการเลื่อนของกระบวนการไปได้ +/-1.5 Sigma ซึ่งจะทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นในการผลิตนั้นเท่ากับ 3.4 PPM ดังรูปที่3

2.3 ขั้นตอนการแก้ปัญหาตามแนวทางซิกซิกส์ม่าแบ่งเป็นสี่ขั้นตอนดังนี้

2.3.1 Measure Phase

สำหรับในเฟสนี้เราต้องเลือกปัญหาและปัญหาที่เลือกมานั้นต้องถูกกำหนดโดยผู้บริหารและเป็นปัญหาที่มีเสถียรภาพแล้วเปลี่ยนปัญหาให้เป็นตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) เพื่อการประเมินผลิตภัณฑ์

2.3.2 Analyze Phase

สำหรับในเฟสนี้ยังเป็นการประเมินที่ผลิตภัณฑ์อยู่และต้องมีการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาสาเหตุ โดยสาเหตุที่เลือกมาวิเคราะห์นั้นต้องได้รับการยืนยันโดยหลักการทางสถิติ

2.3.3 Improve Phase

สำหรับในเฟสนี้ต้องนำเอาสาเหตุที่ผ่านการวิเคราะห์แล้วมายืนยันผลแล้วเลือกจุดที่ดีที่สุดมาใช้งาน โดยต้องเข้าไปแก้ไขที่กระบวนการ

2.3.4 Control Phase

สำหรับในเฟสนี้เป็นการรักษาไว้ซึ่งสิ่งที่เราได้ทำการเปลี่ยนแปลงไปแล้วให้ได้โดยมุ่งเน้นไปที่ตัวกระบวนการ

3. ผลการวิจัย

บริษัทซีเกตเทคโนโลยี เป็นผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลและบันทึกข้อมูลในรูปของข้อมูลดิจิตอล โดยการเข้าไปศึกษากระบวนการผลิตและวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีการซิกซิกส์ม่าที่บริษัทซีเกตเทคโนโลยี สาขารังสิต ซึ่งเป็นผู้ผลิตสปินเดิลมอเตอร์ที่ใช้ในการขับฮาร์ดดิสก์ สำหรับรายละเอียดของส่วนประกอบในสปินเดิลมอเตอร์

การดำเนินการแก้ปัญหาแบ่งขั้นตอนการทำงานเป็น 4 เฟสด้วยกัน ได้แก่

1. Measure Phase
2. Analyze Phase
3. Improve Phase

4. Control Phase

รายละเอียดของผลการดำเนินงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

3.1 Measure Phase

กระบวนการที่เลือกมาดำเนินการแก้ไขตามแนวทางซิกซิกส์ม่านั้น เป็นกระบวนการหนึ่งในการทดสอบความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์ขณะที่กำลังหมุนอยู่ด้วยความเร็วรอบค่าหนึ่ง สำหรับโมเดลของมอเตอร์ที่เลือกมาศึกษาได้แก่ Cheetah18LP ซึ่งเป็นโมเดลที่มีปัญหาในเรื่องของความแม่นยำในระบบการวัดมากที่สุดโดยการวิเคราะห์จากการประมาณการในเรื่องของความสามารถของกระบวนการโดยประเมินถึงผลในระยะสั้น (Short Term Capability) และระยะยาว (Long Term Capability) และผลจากการวิเคราะห์ระบบการวัด ดังรูปที่4

จากผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากระบบวัดที่นำมาใช้ในการตัดสินใจนั้นไม่มีสารสนเทศเพียงพอที่จะเอาไปอธิบายถึงความผันแปรของกระบวนการได้ โดยแหล่งความผันแปรหลักที่เกิดขึ้นในระบบการวัดได้แก่ความผันแปรที่เกิดจากความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability)และความผันแปรที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลร่วมของพนักงานวัดและชิ้นงาน (Interaction Effect) โดยจะต้องหาแนวทางในการแก้ไขต่อในเฟสถัดไปสำหับในเฟสนี้สามารถสรุปถึงสถานภาพของปัญหาและเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้ดังนี้

สถานภาพปัญหา: ระบบการวัดความสั่นสะเทือนในกระบวนการผลิตสปินเดิลมอเตอร์โมเดล Cheetah18LP มีค่าความผันแปรที่เกิดขึ้นจากระบบการวัด(%GR&R)อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้ (82.72%)

เป้าหมาย: ปรับปรุงเรื่องความแม่นยำในระบบการให้มีค่าของความผันแปรในระบบการวัด(%GR&R) ลดลงเหลือ 30%

จากผลการวิเคราะห์เรื่องความแม่นยำของระบบการวัดสามารถสรุปถึงสาเหตุของแหล่งกำเนิดความผันแปรได้ดังนี้

สาเหตุของเครื่องมือวัดที่มีความสามารถในการวัดซ้ำไม่ดี (57.77%) หมายความว่าถ้านำงานเดิมพนักงานวัดคนเดิมเครื่องมือเดิมมาวัดงานชิ้นนั้นซ้ำๆกัน ค่าวัดที่ได้จากการวัดซ้ำนั้นมีความแตกต่างกันมาก

สาเหตุที่ความสามารถในการทำซ้ำระหว่างเงื่อนไขเป็นศูนย์ (0%) นั้น หมายความว่า ความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดกับงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันแต่ต่างพนักงานกันนั้นเป็นศูนย์ กล่าวคือความผันแปรส่วนใหญ่ในระบบการวัดความสั่นสะเทือนนี้เกิดจากความสามารถในการวัดซ้ำของเครื่องมือวัดมากกว่าความผันแปรที่เกิดจากการเปลี่ยนพนักงานวัด

สาเหตุที่เกิดจากความผันแปรร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงานมีผลต่อความแม่นยำของระบบการวัด(59.28%) เนื่องจากอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองมีผลต่อความผันแปรที่เกิดขึ้นโดยจะต้องพิจารณาและวิเคราะห์ถึงสาเหตุเมื่อมีการเปลี่ยนพนักงานวัดและชิ้นงานไปพร้อมๆกัน

โดยปกติแล้วในการประเมินและวิเคราะห์เรื่องความแม่นยำในระบบการวัดนั้น ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองจะต้องมีความแตกต่างกันเพื่อให้มันสะท้อนถึงภาพความเป็นจริงในกระบวนการ โดยทั่วไปแล้วแนะนำว่าความผันแปรที่เกิดจากความแตกต่างของชิ้นงานควรมีค่าประมาณ 90% ของความผันแปรที่เกิดขึ้นในระบบการวัด แต่จากผลการทดลองพบว่าค่าความผันแปรที่เกิดจากชิ้นงานมีน้อย (31.47%) แสดงว่าชิ้นงานที่ไปดำเนินการเก็บมานั้นยังไม่ครอบคลุมความผันแปรของกระบวนการ ซึ่งจะต้องแก้ไขโดยการวางแผนการเก็บข้อมูลใหม่

3.2 Analyze Phase

แนวทางในการแก้ปัญหาคือจะต้องหาทางกำจัดความผันแปรที่แหล่งกำเนิดความผันแปร โดยสาเหตุหลักเกิดจากความผันแปรที่เกิดจากความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) และความผันแปรที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลร่วมของพนักงานวัดและชิ้นงาน (Interaction Effect) ซึ่งจะต้องวิเคราะห์ดูว่าความผันแปรเหล่านี้เกิดจากอะไร โดยในขั้นแรกได้วิเคราะห์ปัญหานี้ผ่าน Multi-Vari Chart และจากผลการประเมินสามารถสรุปปัญหาที่พบในขณะนี้น่าจะมาจาก 2 สาเหตุหลักด้วยกันคือเครื่องมือวัดขาดคุณสมบัติด้านความถูกต้องในเรื่องความเป็นเส้นตรง (Linearity) และชิ้นงานมีความผันแปรภายในเนื่องจากคลื่นรบกวนในตัวชิ้นงานเอง (Product Noise) และผลการประเมินคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องมือวัดปรากฏว่าเครื่องมือวัดสามารถใช้งานได้ดีในย่านวัดไม่เกิน 200%ACT และแนวทางในการแก้ปัญหาจะมุ่งไปที่การลดค่าเฉลี่ยของความสั่นสะเทือนลงมาเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาทางด้านความผันแปรของเครื่องมือวัดและจากการระดมความคิดสามารถสรุปสาเหตุที่น่าจะมีผลต่อระดับความสั่นสะเทือนเป็น Model ได้ดังรูปที่5

Two-Way ANOVA Table With Interaction

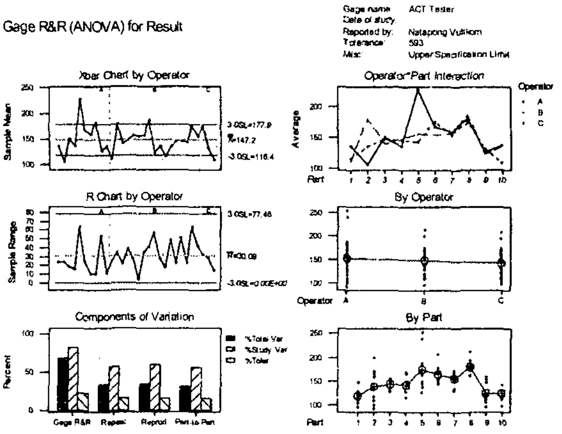
Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	36693.2	4077.03	3.04059	0.02134
Operator	2	1359.5	679.77	0.50696	0.61067
Operator*Part	18	24135.6	1340.87	4.15884	0.00002
Repeatability	60	19344.8	322.41		
Total	89	81533.2			

Gage R&R

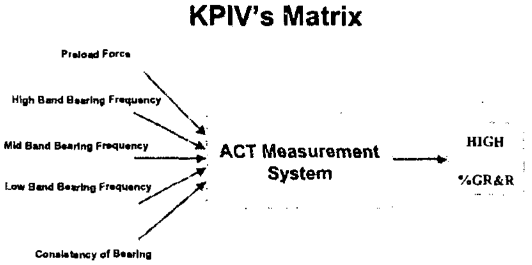
Source	VarComp	StdDev	5.15*Sigma
Total Gage R&R	661.90	25.7274	132.496
Repeatability	322.41	17.9559	92.473
Reproducibility	339.48	18.4251	94.889
Operator	0.00	0.0000	0.000
Operator*Part	339.48	18.4251	94.889
Part-To-Part	304.02	17.4361	89.796
Total Variation	965.92	31.0792	160.058

Source	%Contribution	%Study Var	%Tolerance
Total Gage R&R	68.53	82.78	22.34
Repeatability	33.38	57.77	15.59
Reproducibility	35.15	59.28	16.00
Operator	0.00	0.00	0.00
Operator*Part	35.15	59.28	16.00
Part-To-Part	31.47	56.10	15.14
Total Variation	100.00	100.00	26.99

Number of Distinct Categories = 1

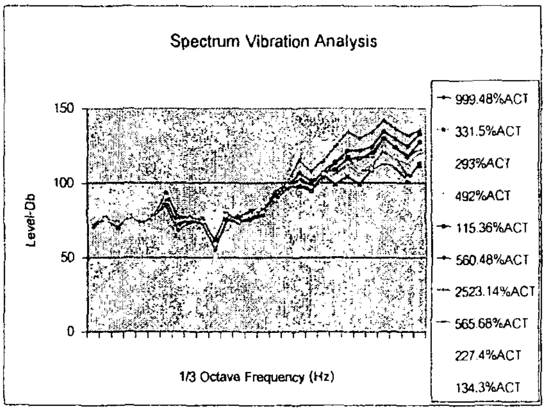


รูปที่4 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด



รูปที่5 Key process input variable

จากผลการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนในรูปของความถี่ (Vibration Spectrum Analysis) ที่ความถี่ 1/3Octave โดยเลือกงานที่ระดับความสั่นสะเทือนต่าง ๆกันมาพิจารณาช่วงความถี่ครอบคลุมทั้งงานดีและงานเสีย สามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่6



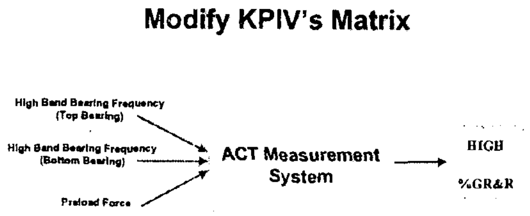
รูปที่6 Vibration Spectrum Analysis (1/3Octave Frequency)

จากผลการวิเคราะห์พบว่าที่ความถี่ตั้งแต่ 0-2,000เฮิรต์ งานที่ระดับความสั่นสะเทือนต่าง ๆกันไม่มีความแตกต่างกันมากนัก แต่ที่ความถี่ตั้งแต่ 2,000เฮิรต์ ขึ้นไปงานที่ระดับความสั่นสะเทือนต่าง ๆกันเริ่มมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดและยิ่งชัดเจนขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น ดังนั้นที่ระดับความถี่สูง ๆหรือในช่วงความถี่สูงน่าจะมีผลต่อความสั่นสะเทือนมาก นั่นคือปัจจัยที่เลือกมาศึกษา

และอีกปัจจัยหนึ่งที่น่าจะมีผลต่อความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นนั่นคือกระบวนการแรงเริ่มต้น (Preload Force) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใส่แรงกดให้กับตัวสปินเดิลมอเตอร์ ภายหลังการประกอบเพื่อกำหนดทางเดินให้กับแบริ่งชนิดกลม โดยใช้ค่าของแรงเริ่มต้นที่ 4,5,6,7 ปอนด์ โดยกำหนดปัจจัยอื่นให้คงที่แล้วดำเนินการทดลองเพื่อวัดผลถึงระดับความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นแล้ววิเคราะห์ผ่านเครื่องมือทางสถิติที่เรียกว่าการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และจากผลการทดลองสรุปได้ว่าการเปลี่ยนค่าของแรงเริ่มต้นไม่มีผลต่อความสั่นสะเทือนอย่างมีนัยสำคัญ แต่ยังมีข้อสงสัยตรงที่ว่าการทดลองนี้เป็นแบบ One Factor at a Time (OFAT) จริงหรือไม่จึงขอเก็บปัจจัยนี้มาศึกษาอีกครั้งและมีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบตัวแปรในการทดลอง

เนื่องจากส่วนประกอบของมอเตอร์นั้นประกอบด้วยแบริ่ง 2 ตัวได้แก่แบริ่งตัวบนและแบริ่งตัวล่าง ดังนั้นผลจากการ

ประกอบแบริ่งทั้ง 2 ตัวน่าจะมีผลต่อระดับความสั่นสะเทือนได้ดังรูปที่7



รูปที่7 Modify KPIV's Matrix

จากรูปแสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่เลือกมาดำเนินการศึกษาทั้งหมด 3 ปัจจัยด้วยกันซึ่งจะต้องทดสอบว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อระดับความสั่นสะเทือนและวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ก็คือ การลดลงของระดับความสั่นสะเทือนนั้นจะต้องทำให้ความผันแปรที่เกิดขึ้นเนื่องจากการวัดซ้ำลดลงด้วย สำหรับการพิสูจน์เพื่อยืนยันผลอยู่ในเฟสถัดไป

3.3 Improve Phase

ปัจจัยที่ต้องดำเนินการศึกษามีทั้งหมดสามปัจจัยด้วยกันได้แก่

1. ปัจจัยA คือ ย่านความถี่สูงของแบริ่งตัวบน
2. ปัจจัยB คือ ย่านความถี่สูงของแบริ่งตัวล่าง
3. ปัจจัยC คือ ค่าของแรงเริ่มต้น

การทดลองเป็นเป็นแบบ Full 2^k Factorial ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการทดลองคือ ต้องการทราบถึงการกำหนดระดับของปัจจัยที่ศึกษาว่าต้องกำหนดไว้ในระดับไหนถึงจะทำให้ความผันแปรที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยที่สุดโดยมีแผนการทดลอง ดังตารางที่1

ตารางที่1 แผนการทดลอง

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C
31	1	1	1	-1	1	1	16	25	1	1	1	1	1
14	2	1	1	1	-1	1	2	26	1	1	1	-1	-1
33	3	1	1	-1	-1	-1	26	27	1	1	1	-1	-1
13	4	1	1	-1	-1	1	23	28	1	1	-1	1	1
42	5	1	1	1	-1	-1	18	29	1	1	1	1	-1
18	6	1	1	1	-1	-1	5	30	1	1	-1	-1	1
41	7	1	1	-1	-1	-1	15	31	1	1	-1	1	1
29	8	1	1	-1	-1	1	7	32	1	1	-1	1	1
20	9	1	1	1	1	-1	4	33	1	1	1	1	-1
34	10	1	1	1	-1	-1	8	34	1	1	1	1	1
39	11	1	1	-1	1	1	27	35	1	1	-1	1	-1
44	12	1	1	1	1	-1	1	36	1	1	-1	-1	-1
35	13	1	1	-1	1	-1	37	37	1	1	-1	-1	1
12	14	1	1	1	1	-1	22	38	1	1	1	-1	1
37	15	1	1	1	1	1	21	39	1	1	-1	-1	1
45	16	1	1	-1	-1	1	48	40	1	1	1	1	1
36	17	1	1	1	1	-1	30	41	1	1	1	-1	1
25	18	1	1	-1	-1	-1	11	42	1	1	-1	1	-1
3	19	1	1	-1	1	-1	19	43	1	1	-1	1	-1
38	20	1	1	1	-1	1	40	44	1	1	1	1	1
46	21	1	1	1	-1	1	24	45	1	1	1	1	1
17	22	1	1	-1	-1	-1	10	46	1	1	1	-1	-1
47	23	1	1	-1	1	1	43	47	1	1	-1	1	-1
6	24	1	1	1	-1	1	9	48	1	1	-1	-1	-1

ดำเนินการเก็บข้อมูลตามแผนการทดลองดังตารางที่1 โดยดำเนินการทดลองให้เป็นไปอย่างสุ่มแบบสมบูรณ์ และปัจจัยที่ใช้ในการทดลองได้รับการกำหนดค่าของชิ้นงานที่นำมาทดลองเป็น 2 ระดับ (Level) ดังตารางที่ 2 สำหรับการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้เป็นแบบ 2^3 แฝคทอเรี-ยล โดยมีปัจจัยที่ต้องการศึกษาทั้งหมด 3 ปัจจัยและแต่ละปัจจัยแบ่งเป็น 2 ระดับ ในการใช้การทดลองแบบ 2^k แฝคทอเรียลนี้เนื่องจากต้องการยืนยันความเชื่อแบบคร่าว ๆถึงสิ่งที่สงสัยว่าจะมีผลต่อระดับความสั่นสะเทือนและความผันแปร ถ้ามีผลจริงก็จะต้องมีการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆต่อไป

ตารางที่2 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	Low Level (-1)	High Level (1)
A	0.3 Anderon Unit	0.8 Anderon Unit
B	0.3 Anderon Unit	0.8 Anderon Unit
C	4 5 Lbs.	6.5 Lbs.

เมื่อได้ผลการทดลองมาแล้วจึงดำเนินการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 3

ตารางที่3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Analysis of Variance for Average (ACT5)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main	3	10538855	10538855	3512952	19.71	0.000
2-Way	3	932094	932094	310698	1.74	0.174
3-Way	1	1035	1035	1035	0.01	0.940
Residual	40	7127919	7127919	178198		
Error	40	7127919	7127919	178198		
Total	47	18599903				

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลผ่าน ANOVA สรุปได้ว่าผลจากปัจจัยที่เกิดจากปัจจัยหลักมีผลต่อค่าความสั่นสะเทือนของสปินเดิลมอเตอร์อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะต้องดำเนินการหาตัวแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆที่มีผลต่อความสั่นสะเทือนในรูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการพยากรณ์และคาดการณ์ถึงผลที่จะเกิดขึ้นโดยการวิเคราะการถดถอย (Regression Analysis) ดังตารางที่ 4

ตารางที่4 การวิเคาะห์ความถดถอย

Analysis of Variance for Average (ACT5)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	11470949	11470949	1911825	11.00	0.000
Linear	3	10538855	10538855	3512952	20.20	0.000
Interaction	3	932094	932094	310698	1.79	0.165
Residual	41	7128954	7128954	173877		
Lack-of-Fit	1	1035	1035	1035	0.01	0.940
Pure Error	40	7127919	7127919	178198		
Total	47	18599903				

จากผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) สรุปได้ว่า อิทธิพลของปัจจัยหลักสามารถอธิบายความผันแปรในระดับความสั่นสะเทือนของสปินเดิลมอเตอร์ได้ และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Multiple Linear Regression Model) สำหรับตัวแบบถดถอยนี้มีความสมรูป (Fit) กับข้อมูล ดังนั้นจึงสามารถหาความสัมพันธ์ในเชิงคณิตศาสตร์ได้โดยมีค่าสัมประสิทธ์ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแบบถดถอย

Estimated Regression Coefficients for Average (ACT5)				
Term	Coef	StDev	T	P
Constant	934.8	60.19	15.532	0.000
A	363.6	60.19	6.041	0.000
B	279.3	60.19	4.640	0.000
C	96.9	60.19	1.609	0.115
A*B	-123.6	60.19	-2.054	0.046
A*C	6.5	60.19	0.108	0.914
B*C	64.0	60.19	1.063	0.294

กำหนดให้

x_1 หมายถึง ค่า ย่านความถี่สูงของแบริ่งตัวบน

x_2 หมายถึง ค่า ย่านความถี่สูงของแบริ่งตัวล่าง

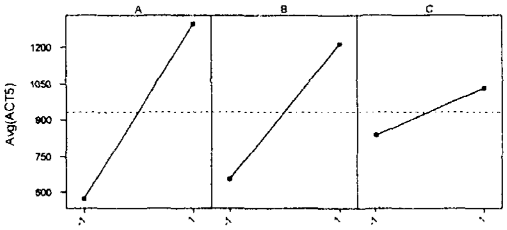
x_3 หมายถึง ค่า ค่าแรงเริ่มต้น

y หมายถึง ค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น

จากตารางที่ 4 และตารางที่ 5 สามารถสรุปเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ ดังสมการที่ 4 และรูปที่ 8 แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของปัจจัยหลักว่ามีผลต่อระดับความสั่นสะเทือนอย่างไร

$$y = 934.8 + 363.6x_1 + 279.3x_2 + 96.9x_3 - 123.6x_1x_2 \quad (4)$$

Main Effects Plot - Data Means for Avg(ACT5)



รูปที่ 8 อิทธิพลของปัจจัยหลักต่อระดับความสั่นสะเทือน

วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)นั้น เป็นการพิจารณาที่ค่าเฉลี่ยแต่การแก้ปัญหาความแม่นยำของระบบการวัดนั้นเป็นการพิจารณาที่ความผันแปร ดังนั้นจึงจะต้องใช้ดัชนีที่เรียกว่า Signal to Noise Ratio เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเกี่ยวกับความผันแปร โดยนำงานที่ได้รับการประกอบเพื่อทดลองตามตารางที่ 1 มาวัดใหม่ ด้วยการวัดซ้ำภายในชิ้นงานเดิม 6 ครั้ง แล้วประเมิน S/N ratio ดังสมการที่ 5 ในแต่ละปัจจัยที่ทำการทดลอง ดังตารางที่ 6

$$S/N = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{y_i^2}\right) \quad (5)$$

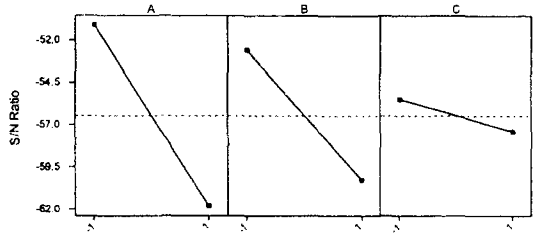
เมื่อ

S/N หมายถึง Signal to Noise Ratio

n หมายถึง จำนวนการทดลองในแต่ละ Trial

y_i หมายถึง ผลของข้อมูลใน Trail

Main Effects Plot for S/N Ratios



รูปที่9 อิทธิพลของ ปัจจัยหลักต่อความผันแปร

จากรูปที่ 8 และรูปที่ 9 สรุปได้ว่าจะต้องกำหนดระดับ (Level) ของแต่ละปัจจัยใหม่ ดังตารางที่ 6 เพื่อไม่ให้มีผลต่อระดับความสั่นสะเทือนและความสามารถในการวัดซ้ำของเครื่องมือวัดมากนัก โดยทำผลิตภัณฑ์ให้มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆที่ไม่สามารถควบคุมได้ที่เข้ามารบกวนระบบ (Robust Design)

ตารางที่ 6 New Operating Point

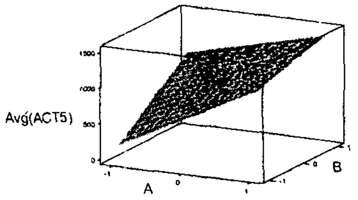
ปัจจัย	Low Level (-1)
A	0.3 Anderon Unit
B	0.3 Anderon Unit
C	4.5 Lbs.

การกำหนดระดับของปัจจัย A, B, C ไว้ที่ Low Level สามารถแก้ปัญหาของระบบการวัดได้ ทั้งเรื่องของค่าเฉลี่ยและเรื่องของความผันแปร ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นในรูปของพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) ดังรูปที่ 10 และเส้นทางเดิน (Contour Line) ดังรูปที่ 11 โดยพิจารณาที่ปัจจัย A และ B เท่านั้น เนื่องจากปัจจัย C ตามตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีผลต่อระดับความสั่นสะเทือนไม่มากนัก และในการแก้ปัญหาจะต้องดำเนินการผลิต Bearing ให้มีจุดการควบคุมผลิตภัณฑ์ใหม่ และถ้าสามารถควบคุมค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในตัว Bearing ได้แล้วจะสามารถควบคุมระดับความสั่นสะเทือนได้ โดยการประมาณการตามสมการที่ 4 จะได้

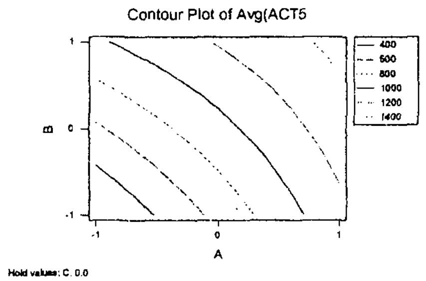
$$y = 934.8 + 363.6(-1) + 279.3(-1) + 96.9(-1) - 123.6(-1)(-1)$$

$$y = 71.4$$

จากการประมาณค่าระดับความสั่นสะเทือนตามสมการที่ 4 สามารถควบคุมค่าความสั่นสะเทือนไว้ได้ที่ 71.4%ACT ซึ่งสามารถลดปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการวัดลงได้



รูปที่ 10 Response Surface



รูปที่ 11 Contour Line

4. สรุป

จากผลทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis;MSA) ความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นต่อสปินเดิลมอเตอร์ โมเดล Cheetah18Lp ที่บริษัทซีเกตเทคโนโลยี สาขารังสิต พบว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในระบบการวัดมีค่ามากจนไม่สามารถนำข้อมูลที่ได้มาอธิบายความผันแปรของกระบวนการได้ ดังนั้นแนวทางในการแก้ปัญหาจึงต้องดำเนินการแก้ไขที่ระบบการวัดก่อนโดยจัดการที่แหล่งกำเนิดของความผันแปร ซึ่งแบ่งความผันแปรที่เกิดขึ้นในระบบการวัดดังกล่าวออกเป็นสองแหล่งใหญ่ๆด้วยกันคือ ความผันแปรที่เกิดขึ้นจากการวัดซ้ำ (Repeatability) และความผันแปรร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงาน (Interaction Effect) จากการวิเคราะห์และศึกษาถึงระบบการวัดที่ผ่านมานี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อระดับความสั่นสะเทือนนั้นมีทั้งหมดอยู่สามปัจจัยด้วยกันคือย่านความถี่สูงของแบริ่งตัวบน ย่านความถี่สูงของแบริ่งตัวล่าง และค่าแรงเริ่มต้น ซึ่งจะต้องทำการศึกษาถึงปัจจัยเหล่านี้เพื่อยืนยันถึงความเชื่อหรือสมมุติฐานที่ตั้งไว้ โดยการทดลองแบบ Full 2^k Factorial แล้วประเมินถึงผลของความผันแปรที่เกิดขึ้นต่อความสั่นสะเทือนด้วย Signal to Noise Ratio จากการวิเคราะห์พบว่าอิทธิพลของปัจจัยหลักมีผลต่อระดับความสั่นสะเทือนของสปินเดิลมอเตอร์โดยตรงและมีผลต่อความสามารถในการวัดซ้ำของเครื่องมือวัดด้วย ดังนั้นในการแก้ปัญหาจึงจำเป็นที่จะต้องกำหนดระดับของปัจจัยใหม่เพื่อควบคุมค่าความสั่นสะเทือนให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้โดยการเปลี่ยนจุดควบคุมของผลิตภัณฑ์ใหม่ (Operating Point) สำหรับในเฟสสุดท้ายซึ่งเป็นเฟสของการควบคุมผู้วิจัยมิได้วิเคราะห์เนื่องจากว่าในเฟสนี้ต้องเข้าไปควบคุมการผลิตของผลิตภัณฑ์คือแบริ่ง แต่เนื่องจากบริษัทซีเกต สาขารังสิต มิได้เป็นผู้ผลิต แบริ่งเอง จึงไม่สามารถทำการศึกษาในเฟสถัดไปได้ แต่จากการศึกษาที่ผ่าน

มาก็ทำให้เราได้รู้ว่าในการประกอบสปินเดิลมอเตอร์สิ่งที่มีผลต่อระดับความสั่นสะเทือนและความผันแปรของระบบการวัดนั้นคืออะไร ซึ่งถือเป็นสารสนเทศที่มีประโยชน์ในการแก้ไขปัญหาในขั้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ศูนย์ปฏิบัติการพัฒนาหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้รับความร่วมมือกับบริษัทซีเกตเทคโนโลยี ประเทศไทย สาขารังสิต ในการเข้าไปศึกษาวิจัยถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในโรงงาน สำหรับงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัทมา ณ. โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Robert V. White "An Introduction to Six Sigma With a Design Example" Proceedings of the 1992 IEEE Engineering Management Conference

[2] William K. Hoehn, Ph.D. "Robust Designs Through Design to Six Sigma Manufacturability" Proceedings of the 1992 IEEE Engineering Management Conference

[3] P. Arpaia "Experimental Optimization of Flexible Measurement Systems" IEEE Proc.-Sci Meas. Technol., Vol. 143, No. 2, March 1996

[4] Mikel J. Harry and J. Ronald Lawson "Six Sigma Producibility Analysis and Process Characterization" Addison-Wesley Publishing Company, USA

[5] Montgomery D.C. and William W. Hines "Probability and Statistics in Engineering and Management Science" John Wisley&Sons Inc, USA

[6] Montgomery D.C. and William W. Hines "Design and Analysis of Experiment" John Wisley&Sons Inc, USA