

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความห่างของสกรูในการยึดสปอยเลอร์
ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต
โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ
A Study of Factors Affecting The Screw Spacing of Spoilers
in Hard Disk Drives for Productivity Increase
Using Multiple Regression Analysis

กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข^{1*}, ทศพล เกียรติเจริญผล¹, ฮานูฟ ไวยารูป¹, ทัดพล กุลวงศ์², ลักษิณี ตีรารัตน์³
Kittiwat Sirikasemsuk^{1*}, Tossapol Kiatcharoenpol¹, Hanoof Waiyaroop¹, Tadpon Kullawong², Laksiri Treeranurat³

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร 10520

²บริษัท ฟอร์ซฟูล คอร์ปอเรชั่น จำกัด, อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000

³สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

¹Department of Industrial Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok

²Forcefull Corporation Company Limited. Mueang District, Pathum Thani

³Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla

*Corresponding author e-mail: kittiwat.sirikasemsuk@gmail.com

(Received: 5 November 2020, Revised: 8 February 2021, Accepted: 15 February 2021)

บทคัดย่อ

อุปกรณ์สปอยเลอร์ (Spoiler) เป็นหนึ่งในหลายองค์ประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อช่วยลดความเร็วและแรงปะทะของอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณแขนหัวอ่านเขียน (Actuator Arm) และหัวอ่านเขียน (Suspension Slider and Head) ปัญหาที่บริษัทผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แห่งหนึ่ง พบว่า เครื่องจักรสปอยเลอร์ขึ้นสกรูเพื่อยึดชิ้นส่วนสปอยเลอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่แน่น ก่อให้เกิดของเสียขึ้น ซึ่งสามารถวัดได้โดยการใช้ค่าความห่างของสกรู (หรือค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน) ในการยึดสปอยเลอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้เพื่อระบุและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน โดยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขันจะถูกกำหนดขึ้น จากการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน พบว่า มี 4 ปัจจัยหลักที่เป็นไปได้ว่าจะมีผลกระทบ ได้แก่ 1. ค่าแรงบิดใช้ขันสกรู (X_1), 2. ค่ามุมที่หมุนไปของหัวบิต (Bit) (X_2), 3. เวลาที่ใช้ในกระบวนการขันสกรู (X_3), และ 4. ค่าสูญญากาศที่ใช้หีบสกรูจากรางสกรู (X_4) จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า 1. ค่าแรงบิด (ภายใต้ค่าที่พิจารณาในการทดลองนี้) ไม่มีผลต่อค่าความห่างของสกรู, 2. เวลาที่มีผลต่อค่าความห่างของสกรูมากที่สุด เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ เพราะค่า F-Value มากกว่าปัจจัยอื่น, และ 3. ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมได้ถูกระบุในงานวิจัยนี้ อนึ่งในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อคัดเลือกตัวแบบที่เหมาะสมจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

(R^2), และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MS_{error}) นอกจากนี้ยังพิจารณาเพิ่มเรื่องค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) ของค่าความคลาดเคลื่อนด้วย

คำสำคัญ: ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์, สปอยเลอร์, ค่าความห่างของสกรู, ค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน, การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ

Abstract

A spoiler is a part of a hard disk drive that can reduce the airflow velocity and force at an actuator arm and its head. At a case study for a hard disk drive manufacturer, the main problem was that the spoiler was tightened too loosely in the hard disk drive by the spoiler installation machine, thereby gaining a defect. Its response could be measured by the screw spacing (also called ‘the screwdriver encoder’) for the spoiler installation in the hard disk drives. The purpose of this paper was to determine and analyze the factors affecting the screwdriver encoder by means of the multiple regression analysis. The mathematical model of the screwdriver encoder and its significant factors were suitably built. With data collected from the spoiler installation machine and its software, it was found that there were the following four potential factors which plausibly affected the screwdriver encoder: 1. the screw torque, 2. the bit angle, 3. the amount of time spent in tightening the screw, and 4. the vacuum level for picking the screw. From the ANOVA table, it was found that: 1. The screw torque (under the range of these experimental values) did not affect the screw spacing, 2. The amount of time had the largest effect on the screw spacing because its F-Value was more than the others, and 3. The optimal values for setting the spoiler installation machine were explored in this paper. Besides, this research considered the criteria for selection of the suitable model from the coefficient of determination (R^2) and the mean square error (MS_{error}). In addition, the mean absolute deviation (MAD) was simultaneously considered.

Keywords: Hard Disk Drive, Spoiler, Screw Spacing, Screwdriver Encoder, Multiple Regression Analysis

1. บทนำ

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศไทย เป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดใหญ่ ซึ่งถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพสูงในด้านการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ประเทศ แต่จากสภาพอุตสาหกรรมในยุคปัจจุบัน ที่มีการแข่งขันสูงทั้งทางด้านราคาและคุณภาพ ประกอบกับต้นทุนต่าง ๆ ทั้งค่าขนส่ง ค่าสาธารณูปโภคและค่าแรงงานก็มีการปรับตัวสูงขึ้น ส่งผลกระทบให้ต้นทุนการดำเนินธุรกิจสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้องค์กรต้องมองหาหนทางในการลดต้นทุนการผลิตรวมถึงการ

เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต (Productivity) เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันกับคู่แข่ง ดังนั้นจำเป็นต้องระมัดระวังเพื่อไม่ให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต เพราะการเกิดของเสียทำให้เกิดการสูญเสียทั้งเวลา วัตถุดิบ แรงงานและเครื่องจักรในการนำกลับมาผ่านกระบวนการผลิตใหม่ (Rework) ดังนั้นการให้ความสำคัญกับแนวคิดเรื่องคุณภาพ โดยการควบคุมกระบวนการผลิตให้เกิดของเสียให้น้อยที่สุด จึงถือเป็นกลยุทธ์อย่างหนึ่งที่สามารถสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันกับองค์กรอื่นๆ รวมทั้งยังสร้างกำไรอันสูงสุดแก่องค์กรอีกด้วย

บริษัทผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แห่งหนึ่งในประเทศไทย เป็นโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลประเภทฮาร์ดดิสก์ มีส่วนประกอบหลัก คือ หัวสำหรับอ่านเขียนบนทึกข้อมูล (Slider Fabrication) ชุดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Head Gimbal Assembly) ชุดประกอบหัวอ่านและเขียนสำเร็จรูป (Head Stack Assembly) และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive) ปัจจุบันกรณีศึกษาได้พัฒนาสายการผลิตให้อยู่ในรูปแบบกระบวนการผลิตแบบประกอบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ในด้านต้นทุน คุณภาพ และความรวดเร็วในการส่งมอบให้ได้ทันตามความต้องการ จากปัจจัยต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต เช่น การออกแบบเครื่องจักร ประสิทธิภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ การตั้งค่าตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการทำงานของเครื่องจักร อาจทำให้ชิ้นงานบางส่วนเกิดข้อบกพร่องจนไม่สามารถใช้งานได้ หรือส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและหาสาเหตุหลักของปัญหาที่ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดข้อบกพร่อง เพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์ที่อาจมีปัญหาผ่านไปถึงลูกค้า เมื่อพิจารณาเครื่องจักรของสายการผลิตแบบประกอบอัตโนมัติในภาพรวมแล้ว พบว่า มีข้อเสียเกิดขึ้นหลากหลายประเภท โดยที่เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) เกิดการทำงานผิดพลาดมากที่สุดในส่วนของการขันสกรู ดังนั้น ข้อความแห่งปัญหาของงานวิจัย คือ เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) ขันสกรูเพื่อยึดชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่แน่น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน (Screwdriver Encoder) และสร้างสมการถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression) ในการระบุความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยต่อค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน (Screwdriver Encoder) รวมถึงการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ขอบเขตของงานวิจัยนี้จะศึกษากระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของผลิตภัณฑ์ V ซึ่งมียอดขายสูงสุด และศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) เท่านั้น โดยทำการเก็บข้อมูลในช่วง

เดือนสิงหาคม 2562 ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.10

อนึ่งการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณทั้งแบบเชิงเส้นตรงและโพลีโนเมียล จะถูกนำมาใช้เพื่ออธิบายความเชื่อมโยงระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระหลายตัว (ก่อให้เกิดความสัมพันธ์เชิงสาเหตุทางคณิตศาสตร์) และพยากรณ์ค่าของปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรตามที่ต้องการ นำไปสู่การสร้างกลไกการเรียนรู้เพื่อตั้งค่าและควบคุมเครื่องจักรอย่างถูกต้องต่อไปในอนาคต

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรมด้านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และการยึดสกรู

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หรือจานบันทึกแบบแข็ง (Hard Disk Drive) เป็นหนึ่งในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลมีทั้งแบบใช้ภายในและภายนอกเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่มีความเร็วและความจุในการจัดเก็บข้อมูลได้สูงมาก ภายในฮาร์ดดิสก์จะประกอบด้วยจานโลหะที่เคลือบด้วยสารแม่เหล็กหรือเรียกว่า แผ่นจานฮาร์ดดิสก์ (Platter หรือ Disk) วางซ้อนกันหลายๆ ชั้นขึ้นอยู่กับความจุข้อมูล

ในปัจจุบันแผ่นจานฮาร์ดดิสก์ (Platter หรือ Disk) ถูกออกแบบให้หมุนด้วยความเร็วที่สูง เพื่อเพิ่มความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลและความจุข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้น การหมุนของจานแม่เหล็กด้วยความเร็วที่สูง จะสร้างการไหลของอากาศด้วยความเร็วสูงด้วย แขนหัวอ่านเขียนและจานแม่เหล็กเกิดการสั่นสะเทือน ส่งผลให้การส่งข้อมูลผิดพลาดได้

ในช่วงเริ่มต้นของการใช้สปอยเลอร์ (Spoiler) ได้มีงานวิจัยจำนวนมากที่ถูกตีพิมพ์เพื่อยืนยันถึงข้อดีของการใช้สปอยเลอร์ (Spoiler)

สปอยเลอร์ (Spoiler) นับว่าหนึ่งองค์ประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อช่วยลดความเร็วและแรงปะทะของอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณแขนหัวอ่านเขียน (Actuator Arm) (Gupta, 2007)

Hirono et al. (2004) ได้ทำการทดลองถึงผลกระทบของความยาวและความหนาด้วยขนาดต่าง ๆ ของสปอยเลอร์ (Spoiler) ต่อการใช้พลังงานของหัวหมุนแผ่นจานฮาร์ดดิสก์ (Spindle Motor) โดยใช้เครื่องวัดความสั่นสะเทือนด้วยเลเซอร์

(Laser Doppler Vibrometer) พบว่า ถ้าความยาวและความหนาเพิ่มขึ้น การใช้พลังงานของหัวหมุนแผ่นจานฮาร์ดดิสก์ (Spindle Motor) จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่กลับส่งผลดี คือ ทำให้อัตราการไหลของอากาศและการสั่นของหัวอ่านเขียน (Suspension Slider and Head) ลดลง สรุปคือ ทั้งความยาวและความหนาของสปอยเลอร์ (Spoiler) มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานของหัวหมุนแผ่นจานฮาร์ดดิสก์ (Spindle Motor) และการสั่นของหัวอ่านเขียน และเมื่อเร็ว ๆ นี้ Kankaew et al. (2015) ได้ใช้คอมพิวเตอร์จำลองการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ขนาด 3.5 นิ้ว บนพื้นฐานของพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics (CDF)) ภายใต้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด k-epsilon (k-epsilon Turbulence Model) โดยศึกษาอิทธิพลของความยาวของสปอยเลอร์ (Spoiler) ต่อความเร็วการไหลของอากาศ (Airflow Velocity) ผลการจำลองก็ได้ยืนยันว่า ความยาวของสปอยเลอร์ที่มาก ช่วยลดความเร็วเฉลี่ยของการไหลของอากาศ

ในงานวิจัยของ Ikegawa et al. (2006) ได้ศึกษาใช้กับไม่ใช่สปอยเลอร์ (Spoiler) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Hirono et al. (2004) แต่ได้เพิ่มการศึกษาผลกระทบของการใช้ช่องบายพาส (Bypass) เพิ่มเติมขึ้น งานวิจัยนี้ได้ใช้พลศาสตร์ของไหล (CDF) ด้วยการจำลองการไหลแบบหมุนวนขนาดใหญ่ (Large Eddy Simulation (LES)) และวัดความเร็วของการไหลโดยวิธีภาพถ่ายของอนุภาพ (Particle Image Velocimetry (PIV)) การออกแบบการทดลองของเขาได้จำลองการไหลของอากาศโดยแบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ แบบที่ 1 ไม่ได้ใช้ช่องบายพาสและไม่ได้ใช้สปอยเลอร์, แบบที่ 2 มีช่องบายพาสแต่ไม่ได้ใช้สปอยเลอร์, และแบบที่ 3 มีช่องบายพาสและมีการใช้สปอยเลอร์ หมายเหตุ ช่องบายพาสจะเปี่ยงเบนกระแสอากาศออกไปขอบนอก (ซึ่งยังอยู่ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์) และไหลวกย้อนกลับเข้ามาบริเวณรอบ ๆ แขนหัวอ่านเขียน (Actuator Arm) จากผลการทดลองของเขา จะเห็นว่า สปอยเลอร์จะช่วยลดความเร็วของกระแสอากาศ (Airflow Velocity) และเปี่ยงเบนเข้าสู่ช่องบายพาส มีผลให้การสั่นสะเทือนที่แขนหัวอ่านเขียน (Actuator Arm) ลดลงถึง 30%

Ikegawa et al. (2011) ยังได้จำลองการไหลของอากาศด้วย LES และ PIV และทำการทดลองจริง เพื่อเปรียบเทียบการ

กระจายการไหลของอากาศและความดันที่เกิดขึ้นบนหัวอ่านเขียน (Suspension Slider and Head) ระหว่างแผ่นจานฮาร์ดดิสก์ (Platter หรือ Disk) ในแต่ละชั้น ภายใต้การมีและไม่มีสปอยเลอร์ (Spoiler) พบว่า ค่าสูงสุด (Peak) ของแรงดันจะลดลงเมื่อมีสปอยเลอร์ (Spoiler) ที่สำคัญ Ikegawa et al. (2011) ยังพบปรากฏการณ์รูปแบบการไหลที่มีโครงสร้างหลายเหลี่ยม (Polygonal Airflow Structure) เกิดขึ้น ในแต่ละจุดสูงสุดของความดัน อนึ่ง Kubotera et al. (2012) จำลองการไหลแบบ LES บนพื้นฐานของ Dynamic Smagorinsky Model เพื่อศึกษาเพิ่มเติมและยืนยันปรากฏการณ์รูปแบบการไหลที่มีโครงสร้างหลายเหลี่ยมดังกล่าว ซึ่งมีทั้งสามเหลี่ยม, สี่เหลี่ยม, ห้าเหลี่ยม, และหกเหลี่ยม ภายใต้ความถี่ของความดันที่แตกต่างกัน และเกิดขึ้นซ้ำๆ ตลอดเวลา

Aruga et al. (2007) ทำการทดลองวัดค่าสัญญาณระบุตำแหน่งผิดพลาด (Position Error Signal (PES)) ซึ่งเป็นตัวระบุตำแหน่งหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ หลังจากนั้นนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองคอมพิวเตอร์ด้วยพลศาสตร์ของไหล (CDF) แบบ LES ได้ยืนยันว่า ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่หมุนด้วยความเร็วที่สูงขึ้น จะเกิดการรบกวนไปสู่การสั่นสะเทือนที่มากขึ้นด้วย และสามารถลดความรุนแรงลงได้ด้วยการเติมก๊าซฮีเลียม (Helium) ลงในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ที่สำคัญความผิดพลาดในการวางตำแหน่ง (Position Error) ของหัวอ่านเขียน (Suspension Slider and Head) จะลดลงเป็นอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่เติมก๊าซฮีเลียม (Helium)

Kil et al. (2012) ได้ต่อยอดงานวิจัยของ Aruga et al. (2007) เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณสมบัติของการไหลเชิงลึกภายใต้การเติมและไม่เติมก๊าซฮีเลียม (Helium) โดยเน้นศึกษาวัดค่าเฉลี่ยความเร็วของลม (Mean Velocity) และค่าความเข้มของการปั่นป่วน (Turbulence Intensity) ผ่านการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งทั้งสองงานวิจัยได้ศึกษาทั้งรัศมีของแผ่นจานฮาร์ดดิสก์ (Platter หรือ Disk) ทั้งด้านวงใน (Inner Position) และวงนอก (Outer Position) โดยที่งานวิจัยของ Aruga et al. (2007) ได้เน้นวัดที่แขนหัวอ่านเขียน (Actuator Arm) และหัว แต่งานวิจัยของ Kil et al. (2012) ได้เน้นวัดที่ระนาบกึ่งกลาง (Mid-plane) ระหว่างแผ่นจานฮาร์ดดิสก์ (Platter หรือ Disk) ทั้งสองแผ่น และได้เพิ่มระนาบที่อยู่สูงจาก

ระนาบกึ่งกลางขึ้นมาอีก 1.8 มิลลิเมตร ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยของ Kil et al. (2012) สนับสนุนประโยชน์การบรรจุก๊าซฮีเลียมลงในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ในก่อนหน้านี้ได้มีงานวิจัยจำนวนหนึ่ง เช่น Bouchard and Talke (1986) และ Aruga et al. (1984) ได้ศึกษาบรรจุและปิดผนึกก๊าซฮีเลียม (Helium) ลงในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อลดปัญหาเรื่องความสูญเสียที่เกิดจากแรงลมต้าน (Windage Loss) เป็นหลัก คุณสมบัติของก๊าซฮีเลียม (Helium) คือ มีน้ำหนักน้อยเป็นอันดับสอง รองจากก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen) จะนำไปสู่แรงดันลม (Windage Pressure) ที่น้อย และความสูญเสียที่เกิดจากแรงลมต้าน (Windage Loss) ที่น้อย แต่ความหนืดไดนามิก (Dynamic Viscosity) จะมีค่ามากกว่าอากาศ (Schlichting & Gersten, 2016)

Suriyasuphapong and Rojanarowan (2014) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อของเสียจากการโค้งงอ (Bending Defect) ของแผ่นจานฮาร์ดดิสก์ (Platter หรือ Disk) ด้วยเทคนิคซิกม่า (Six Sigma Technique) บนพื้นฐานของวิธีออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน (Fractional Factorial Design) โดยมุ่งเน้นที่ปัจจัยของการตั้งค่าเครื่องจักร พร้อมทั้งสร้างสมการถดถอยโพลีโนเมียลดีกรีที่สอง (Second-order Polynomial Regression) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโค้งงอกับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง จนไปสู่การหาจุดที่เหมาะสมของการตั้งค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ในอดีตนั้นแขนหัวอ่านเขียน (Actuator Arm) ทำงานร่วมกับสเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor) ในการหมุนแขนของหัวอ่านไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยมีคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่แปลคำสั่งที่มาจากคอมพิวเตอร์ จากนั้นก็เลื่อนหัวอ่านไปยังตำแหน่งที่ต้องการเพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูลและใช้หัวอ่านในการอ่านข้อมูล ต่อมาสเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor) ได้ถูกแทนด้วยมอเตอร์ขดลวดเสียง (Voice Coil Motor (VCM)) ที่สามารถทำงานได้เร็ว และแม่นยำกว่า สเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor) (Ganssle, 2008) มอเตอร์ขดลวดเสียง (Voice Coil Motor (VCM)) เป็นขดลวดที่ทำหน้าที่บังคับให้แขนกลเคลื่อนที่ไปมา อย่างละเอียด ซึ่งอาศัยหลักการของการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Electro Magnetic Induction) (Mueller, 2003)

ในงานวิจัยของ Mungtoklang et al. (2009) และ Rungpiputtanapong et al. (2012) ได้ศึกษาการสันสะท้อน (หรือความไม่สมดุล) จากความผิดพลาดเนื่องมาจากกระบวนการประกอบชุดจับยึดด้านบน (Top Clamp Assembly Process) ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เริ่มจากการวางงานบันทึกข้อมูลลงบนสปีนเดิลมอเตอร์ แล้ววางชุดจับยึดด้านบนพร้อมทั้งชั้นสกรูเพื่อจับยึด เมื่อวัดการสันสะท้อนออกมาในรูปมิลลิเมตร ไม่สมดุล หน่วยเป็นมิลลิกรัม เซนติเมตร

ในงานวิจัยของ Mungtoklang et al. (2009) จะสนใจสกรูที่ใช้ยึดรอบ ๆ สปีนเดิลมอเตอร์จำนวน 6 ตัว และพิจารณาถึงแรงบิดเป็นหลัก การขันสกรูถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ซึ่งอยู่คนละฝั่งโดยแบ่งตามเส้นอ้างอิง กลุ่มแรกจะขันด้วยแรงบิดคงที่ 100% และกลุ่มที่สองจะเพิ่มแรงบิดของสกรูโดยบันทึกค่าของไม่สมดุลจากน้อยไปหามาก พบว่า แรงบิดของสกรูแต่ละตัวมีผลต่อจุดกึ่งกลางมวลของชุดแผ่นดิสก์ ซึ่งจุดกึ่งกลางมวลจะเคลื่อนตัวไปในทิศทางของสกรูตัวที่ได้รับแรงมากกว่าสกรูตัวอื่นๆ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความไม่สมดุล

ในงานวิจัยของ Rungpiputtanapong et al. (2012) จะสนใจสกรูที่ใช้ยึดจุดศูนย์กลางสปีนเดิลมอเตอร์ หลังการทดลองพบว่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสันสะท้อนของงานบันทึกข้อมูล ได้แก่ 1. ระยะการประกอบเยื้องศูนย์กลางของสปีนเดิลมอเตอร์กับชุดจับยึดด้านบน 2. ระยะความลึกการขันสกรู (ซึ่งมาจากแรงบิดที่ใช้ขันสกรู) และ 3. แกนหมุนเอียงของแกนหมุนของสปีนเดิลมอเตอร์ซึ่งอ้างอิงจากแกนปกติซึ่งแกนหมุนเอียงส่งผลกระทบต่อการสันสะท้อนมากที่สุด

เมื่อเร็ว ๆ นี้ Dabsomsri and Photong (2020) ได้ทำการทดลองเพื่อหาผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวกับสัญญาณทางไฟฟ้า (ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า) ต่อค่าแรงบิดของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ (Automatic Screw Robot) ในการประกอบชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 กรณี คือ 1. การขันสกรูปกติ (Normal Tightening) 2. การขันไม่ตรงตำแหน่ง (Screw Loose) และ 3. การขันแบบเกลียวสกรูเสียหาย (Screw Loose) จะได้ค่าสัญญาณทางไฟฟ้าในแต่ละกรณีออกมา พบว่า สัญญาณทางไฟฟ้าของไขควงไฟฟ้าในช่วงที่หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการ

ชั้นสกรูสามารถบอกลักษณะการขึ้นสกรูปกติได้ โดยที่ค่ากระแสไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกับค่าแรงบิดมากกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้า และสมการการถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่ายถูกสร้างขึ้นเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดและค่าแรงดันไฟฟ้า

จากการทบทวนวรรณกรรมจะเห็นว่า มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์หลากหลายด้าน งานวิจัยฉบับนี้จะคล้ายกับงานวิจัยของ Suriyasuphapong and Rojanarowan (2014) ซึ่งเน้นติดตั้งแผ่นจานฮาร์ดดิสก์ (Platter หรือ Disk) และคล้ายกับงานวิจัยของ Mungtoklang et al. (2009), Rungpiputtanapong et al. (2012) และ Dabsomsri and Photong (2020) ซึ่งสนใจการยึดสกรู แต่งานวิจัยฉบับนี้เน้นติดตั้งชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler)

2.2 การทบทวนวรรณกรรมด้านการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นและสมการโพลิโนเมียลถูกนำไปใช้ในหลายสาขา (เช่น ทางด้านวิศวกรรมโยธา, วิศวกรรมการผลิตและวัสดุ, การออกแบบผลิตภัณฑ์ ฯลฯ) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามออกมาเป็นสมการทางคณิตศาสตร์

Utairumol and Chunumpan (2010) วิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นช่วยในการกำหนดราคาคาตลาดแทนที่ดินเพื่อการเวนคืนอสังหาริมทรัพย์ โดยมีปัจจัยเชิงคุณภาพที่สนใจเริ่มต้นจำนวน 6 ปัจจัย (ถูกแปลงมาเป็นเชิงปริมาณ) หลังจากการวิเคราะห์ภายใต้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error of Estimates) ที่น้อยสุดและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มากที่สุด พบว่า มีเพียง 3 ปัจจัย ได้แก่ 1. สภาพทำเลที่ตั้ง 2. ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และ 3. ความกว้างด้านที่ดินถนน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ด้วยการแสดงค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามราคาแต่ละแปลงตลอดแนวโครงการ

Prapaporn (2019) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณวัสดุก่อสร้างสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองระหว่างการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นและโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ในการกรองปัจจัยนั้นได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การ

ตัดสินใจ (R^2) และค่า P-value ของค่าสถิติเอฟ (F-test) ในส่วนของการเปรียบเทียบแบบจำลองได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percent Error (MAPE)) ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณวัสดุก่อสร้าง ได้แก่ 1. พื้นที่ใช้สอยเฉลี่ยต่อชั้นของอาคาร และ 2. จำนวนชั้น

Thavorn et al. (2014) ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า (Energy Consumption) ของเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling Machine) สำหรับอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 (Aluminum Alloy 6063) โดยมีปัจจัยที่ใช้ศึกษาอยู่สองชนิด คือ ความเร็วรอบ (Spindle Speed) และอัตราป้อน (Feed Rate) โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) พบว่า ความเร็วรอบไม่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า หลังจากนั้นสมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R^2 (adj)) ที่สูงในการยืนยันถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว

ในการทดลองทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ มีหลายงานวิจัยที่เกิดความสงสัยว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม ซึ่งไม่ได้เป็นแบบเส้นตรงเสมอ เช่น ในปี ค.ศ. 2020 งานวิจัยของ Thakur et al. (2020) ได้ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการสปาร์คของอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน (Pulse-on Time) ระยะเวลาปิดกระแสไฟฟ้า (Pulse-off Time) และระดับของกระแสไฟฟ้า (Current) ต่อความขรุขระหรือความหยาบผิว (Surface Roughness) บนไทเทเนียมอัลลอย 6246 (Titanium Alloy 6246) ด้วยกระบวนการอีดีเอ็ม (Electrical Discharge Machining (EDM)) ด้วยแท่งอิเล็กโทรดกราไฟท์ (Graphite Electrode) โดยมีไดอิเล็กทริกเป็นน้ำมัน (Oil Dielectric) มีสมการถดถอยที่สนใจทั้งหมด 4 แบบ คือ 1. สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) 2. สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองอันตรกิริยา (Linear Regression with two Interactions) 3. สมการถดถอยพหุนามดีกรีที่สอง (Quadratic Regression) และ 4. สมการถดถอยพหุนามดีกรีที่สาม (Cubic Regression) จากการ

วิเคราะห์ทางสถิติ ความสัมพันธ์เป็นแบบสมการถดถอยพหุนาม
ดีกรีที่สองเหมาะสมที่สุด

ในปีเดียวกันนั้น Harhout et al. (2020) ได้วิเคราะห์ปัจจัย
ของกระบวนการกลึงเหล็ก AISI 1050 ต่อความหยาบผิว ด้วย
ระเบียบวิธีการวิจัยที่คล้ายกันกับของ Thakur et al. (2020)
แต่มีการพิจารณาสมการถดถอยดีกรีที่สองและสามแบบมีอันตร
กิริยา พบว่า สมการถดถอยพหุนามดีกรีที่สาม (Cubic
Regression) เป็นสมการที่ดีที่สุด เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของ
ปัจจัยอิสระทั้ง 3 ตัว ได้แก่ อัตราป้อน (Feed Rate), ความลึก
ในการตัด (Depth of Cut) และความเร็วตัด (Cutting Speed)
กับค่าความหยาบผิว นำไปสู่การหาค่าที่เหมาะสมต่อไป

Chantasee (2017) ได้นำเทคนิคการออกแบบเซ็นทรัล
คอมโพสิตแบบเฟสเซ็นเตอร์ (Face-centered Central
Composite Design) ซึ่งเป็นหนึ่งในหลายวิธีดัดแปลง
(Response Surface Method) มาช่วยหาค่าอัตราป้อนและ
ระยะป้อนลึกเพื่อให้ได้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุดในงานกัด
อะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 และได้สมการถดถอยพหุนาม
ดีกรีที่สอง (Quadratic Regression) เพื่อช่วยทำนายค่าความ
หยาบผิว

2.3 ทฤษฎีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณและสถิติ

สมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นเมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระ
หลายตัวสามารถแสดงได้ดังนี้ (Freund et al., 2006)

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i,1} + \beta_2 X_{i,2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i$$

$$= \beta_0 + \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j X_{i,j} + \varepsilon_i$$

และสามารถเขียนอยู่ในรูปของเมทริกซ์ (Matrix Approach)
ดังนี้

$$\begin{matrix} Y & = & X & \beta & + & \varepsilon \\ n \times 1 & & n \times p & p \times 1 & & n \times 1 \end{matrix}$$

ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การ
ถดถอย (Estimated Regression Coefficient) สามารถ
คำนวณหาได้ดังนี้ (Kutner et al., 2005)

$$\begin{matrix} b & = & (XX)^{-1} & (XY) \\ p \times 1 & & p \times p & p \times 1 \end{matrix}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} Y_{n \times 1} &= \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \\ \beta_{p \times 1} &= \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_{p-1} \end{bmatrix} \\ \varepsilon_{n \times 1} &= \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \\ X_{n \times p} &= \begin{bmatrix} 1 & X_{1,1} & X_{1,2} & \dots & X_{1,p-1} \\ 1 & X_{2,1} & X_{2,2} & \dots & X_{2,p-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & X_{n,1} & X_{n,2} & \dots & X_{n,p-1} \end{bmatrix} \\ b_{p \times 1} &= \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_{p-1} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

เมื่อ

i คือ ดรรชนีของชุดข้อมูล เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$

p คือ ดรรชนีของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย เมื่อ

$p = 0, 1, 2, \dots$ โดยที่ $p - 1$ คือจำนวนตัวแปรอิสระ

y_i คือ ตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนอง

$X_{i,1}, X_{i,2}, \dots, X_{i,p-1}$ คือ ตัวแปรอิสระ

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{p-1}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่แท้จริง

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_{p-1}$ คือ ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

ε_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อนข้อมูลชุดที่ i โดยที่ $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$

Y คือ เวกเตอร์ของตัวแปรตามขนาด $n \times 1$

β คือ เวกเตอร์ของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่แท้จริงขนาด
 $p \times 1$

X คือ เวกเตอร์ของค่าตัวแปรอิสระขนาด $n \times p$

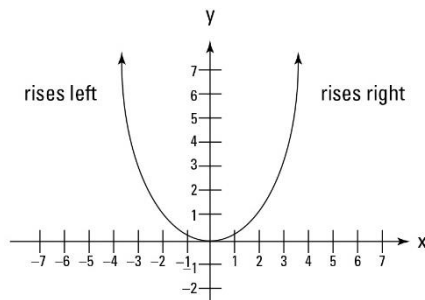
X คือ ทรานสโพสเมทริกซ์ของ X

$(XX)^{-1}$ คือ อินเวอร์สเมทริกซ์ของ XX

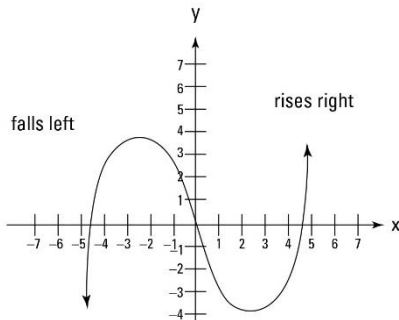
ε คือ เวกเตอร์ของค่าความคลาดเคลื่อนขนาด $n \times 1$

b คือ เวกเตอร์ของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย
ขนาด $p \times 1$

หลาย ๆ ครั้งนักวิจัยอาจมีความสงสัยถึงความสัมพันธ์ของ
ข้อมูลอาจจะไม่ได้เป็นการถดถอยเชิงเส้นดีกรีที่หนึ่ง (Linear
Regression) อาจจะเป็นสมการถดถอยพหุนามดีกรีที่สอง
(Quadratic Regression) ดังรูปที่ 1 หรือสมการถดถอยพหุ
นามดีกรีที่สาม (Cubic Regression) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 สมการถดถอยพหุนามดีกรีที่สอง (Rumsey, 2007)



รูปที่ 2 สมการถดถอยพหุนามดีกรีที่สาม (Rumsey, 2007)

สมการถดถอยพหุนามดีกรีที่สอง (Quadratic Regression) สามารถเขียนได้ ดังนี้

ตัวแปรอิสระหนึ่งตัว:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \varepsilon_i$$

ตัวแปรอิสระสองตัว:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i,1} + \beta_2 X_{i,2} + \beta_3 X_{i,1}^2 + \beta_4 X_{i,2}^2 + \varepsilon_i$$

ตัวแปรอิสระสามตัว:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i,1} + \beta_2 X_{i,2} + \beta_3 X_{i,3} + \beta_4 X_{i,1}^2 + \beta_5 X_{i,2}^2 + \beta_6 X_{i,3}^2 + \varepsilon_i$$

ตัวอย่างของสมการถดถอยพหุนามดีกรีที่สาม (Cubic Regression) เพื่อพิจารณาตัวแปรอิสระสามตัว สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i,1} + \beta_2 X_{i,2} + \beta_3 X_{i,3} + \beta_4 X_{i,1}^2 + \beta_5 X_{i,2}^2 + \beta_6 X_{i,3}^2 + \beta_7 X_{i,1}^3 + \beta_8 X_{i,2}^3 + \beta_9 X_{i,3}^3 + \varepsilon_i$$

จะสังเกตเห็นว่า ถ้ามีตัวแปรต้นเพิ่มมากขึ้นและดีกรีสูงขึ้น จะมีจำนวนพจน์ก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้สมการถดถอยพหุนามมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น

Kutner et al. (2005) ได้กล่าวว่า สมการโพลิโนเมียลดีกรีที่สูงกว่าสาม (High-order Polynomial Model) มักไม่ถูกใช้ เนื่องจากการแปลผลค่าสัมประสิทธิ์จะยากและการประมาณค่า

สัมประสิทธิ์ในแต่ละพจน์มีค่าน้อย ยกเว้นจะมีหลักฐานบ่งบอกว่าชุดข้อมูลเป็นสมการโพลิโนเมียลดีกรีที่สูงกว่าสาม

ถึงแม้ว่าปัญหาที่มีความซับซ้อนอาจจะทำให้คิดว่าตัวแบบที่ได้ควรจะมีความซับซ้อนด้วย แต่ในความเป็นจริง จากการศึกษาหลาย ๆ งานพบว่า ตัวแบบที่มีความซับซ้อนน้อยยิ่งทำให้การทำนายมีความแม่นยำมากขึ้น (Armstrong, 2011; Zellner et al., 2001)

โดยทั่วไปเกณฑ์การพิจารณาเลือกรูปแบบของสมการถดถอยพหุนาม (Rumsey, 2007; Glantz et al., 2016; Montgomery & Runger, 2013) ที่นิยมใช้มีดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เป็นค่าสัดส่วนที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม ดังนั้นถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่ามาก แสดงว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่มีความสัมพันธ์กันมาก ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) หาได้จากค่าผลบวกกำลังสองถดถอย (Regression Sum of Squares (SSR)) หารด้วยค่าผลบวกกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Squares (SST))

2. ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R^2 (adj)) ถูกนำมาใช้ เพื่อหลีกเลี่ยงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มจำนวนตัวแปรอิสระ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R^2 (adj)) หาได้จากค่ากำลังสองของการถดถอยเฉลี่ย (Regression Mean Square (MSR)) หารด้วยค่ากำลังสองทั้งหมดเฉลี่ย (Total Mean Square (MS_{total}))

3. ค่ากำลังสองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MS_{error}) มาจากค่าผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Error Sum of Squares (SSE)) หารด้วยองศาเสรี เนื่องจากค่าผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) เป็นการวัดความแปรผันที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอย (หรือตัวแปรอิสระ) หากสมการถดถอยสามารถอธิบายค่าสังเกตได้ดี ค่าพยากรณ์ทุกค่าจะเท่ากับค่าสังเกต นั่นคือ $SSE = 0$ ดังนั้นสมการถดถอยที่มีค่ากำลังสองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MS_{error}) น้อย ควรถูกเลือกมาเป็นตัวแทนข้อมูล เพราะสื่อถึงความแม่นยำของสมการถดถอย อนึ่ง ถ้าถดถอยที่สองของค่ากำลังสองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MS_{error}) จะได้ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

ของการถดถอย (Standard Error of Regression (S)) ซึ่งหลาย ๆ ครั้งจะใช้ค่านี้

นอกจากนี้ ยังมีเกณฑ์การพิจารณาซึ่งถูกใช้ในการคัดเลือกเทคนิคการพยากรณ์ (Wallace & Xia, 2014; Schniederjans et al., 2014; Gardiner & Reefke, 2019) และสามารถมาประยุกต์ใช้กับการคัดเลือกสมการถดถอยในเรื่องของความแม่นยำในการทำนาย คือ ค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation (MAD)) หรือส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย เพื่อใช้วัดการกระจายของข้อมูลที่ได้จากการเฉลี่ยค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างค่าของข้อมูลกับค่ากลางของข้อมูลชุดนั้น ซึ่งค่ากลางอาจเป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตหรือมัธยฐานก็ได้ ค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) ของค่าความคลาดเคลื่อนหาได้จาก

$$MAD = \frac{\sum | \text{ค่าที่เกิดขึ้นจริง} - \text{ค่าที่พยากรณ์} |}{n}$$

แต่ค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) สามารถถูกแปลงให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการพยากรณ์ได้ เรียกว่า ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error (MAPE)) ซึ่งจัดว่าเป็นอีกดัชนีชี้วัดความแม่นยำที่นิยมใช้

วิธีการทดลองทีละปัจจัย (One Factor at a Time) คือ การทดสอบปัจจัยเพียง 1 ปัจจัยเท่านั้น ว่า มีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่ ซึ่งจะเปลี่ยนค่าระดับของปัจจัยนั้นปัจจัยเดียว โดยไม่สนใจปัจจัยหรือตัวแปรอิสระอื่น ๆ (Montgomery, 2017)

ในทางปฏิบัตินั้น ข้อดีของวิธีการทดลองทีละปัจจัยที่ชัดเจนคือ ลดความซับซ้อนของการวิเคราะห์และแปลผล Wu and Hamada (2009) ได้กล่าวถึงข้อเสียของวิธีการทดลองทีละปัจจัย (OFAT) เมื่อไม่ได้ใช้วิธีการทดลองและวิเคราะห์อื่นเพิ่มเติม มีดังนี้ 1. จำนวนการทดลองจะมากกว่าการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) เมื่อพิจารณาความแม่นยำที่เท่ากัน 2. ไม่สามารถประมาณค่าของอันตรกิริยา (Interaction) ได้ 3. ไม่สามารถหาจุดที่ดีที่สุดได้ (Optimal Setting)

งานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้ใช้การกรองปัจจัยเบื้องต้นด้วยวิธีการทดลองทีละปัจจัย (OFAT) หลังจากนั้นได้ใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ ทำให้ลดข้อเสียของวิธีการทดลองทีละปัจจัย (OFAT) ลง

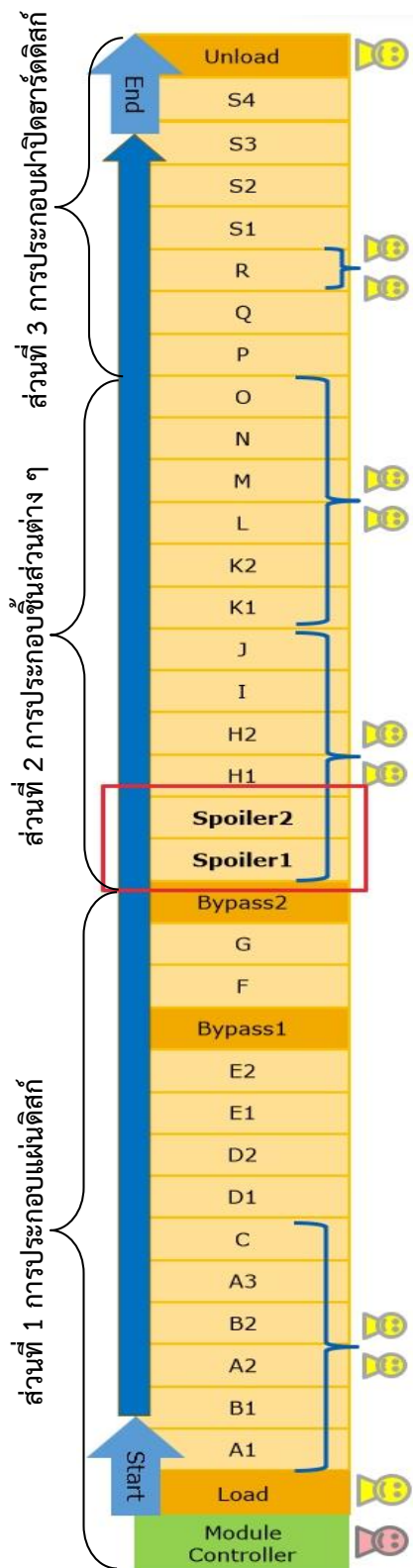
3. การศึกษาสภาพปัจจุบันและลักษณะของปัญหา

บริษัทธนศึกษาได้สร้างสายการผลิตแบบอัตโนมัติที่ใช้ประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของผลิตภัณฑ์ V ซึ่งมีพนักงานทำหน้าที่ป้อนชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จำนวน 11 คน โดยมีสถานีนงานทั้งหมด 32 สถานีนงาน (ดังรูปที่ 3) แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 การประกอบแผ่นดิสก์พร้อมทั้งทดสอบการทำงานของแผ่นดิสก์

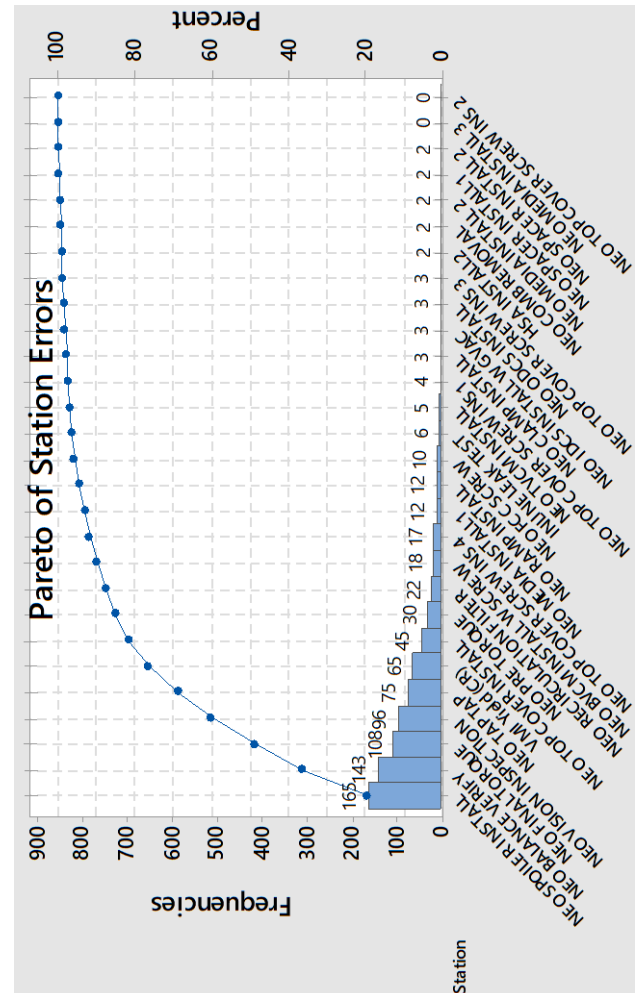
ส่วนที่ 2 การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ซึ่งเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) ที่ผู้วิจัยสนใจอยู่ในส่วนนี้ และ

ส่วนที่ 3 การประกอบฝาปิดฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 3 สายการผลิตแบบอัตโนมัติที่ใช้ประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของผลิตภัณฑ์ V

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องจักรในสายการผลิตแบบประกอบอัตโนมัติของผลิตภัณฑ์ V ตั้งแต่วันที่ 5 สิงหาคม 2562 ถึงวันที่ 18 สิงหาคม 2562 ทั้งหมด 14 วัน พบจำนวนครั้งที่เครื่องจักรเกิดการทำงานที่ผิดพลาด ดังแสดงในรูปที่ 4

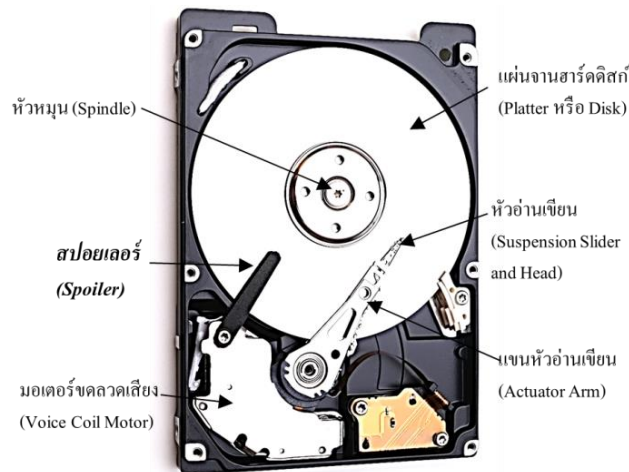


รูปที่ 4 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนครั้งที่ทำงานผิดพลาด

จากรูปที่ 4 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนครั้งที่เครื่องจักรของสายการผลิตแบบประกอบอัตโนมัติเกิดการทำงานผิดพลาด ซึ่งแกนแนวนอนแสดงชื่อเครื่องจักร แกนแนวตั้งแสดงจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่า เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) เกิดการทำงานผิดพลาดมากที่สุด ในกระบวนการขึ้นสกรู

เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Installation Machine) มีหน้าที่วางและขึ้นสกรูเพื่อยึดชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) ใน

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) ดังรูปที่ 5 เป็นองค์ประกอบหนึ่งในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของผลิตภัณฑ์ V มีหน้าที่ช่วยควบคุมกระแสลม โดยการลดความเร็วลมภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 5 ลักษณะและตำแหน่งของสปอยเลอร์ (Spoiler)

หมายเหตุ เครื่องจักรทำงานผิดพลาด หมายถึง ของเสียเกิดขึ้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด และเป็นอุปสรรคต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพ (Productivity)

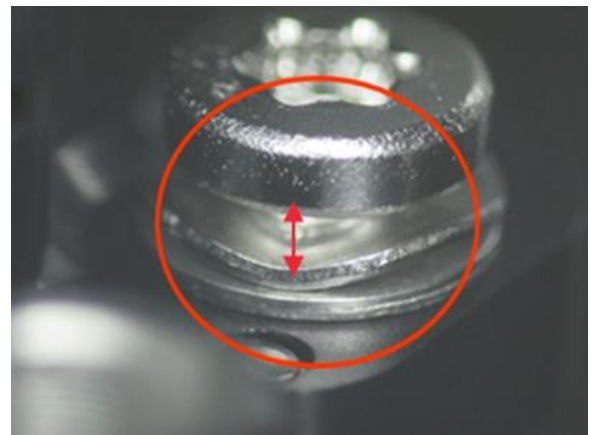
เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. แขนหุ่นยนต์ (End Effector (1)) หยิบสปอยเลอร์ (Spoiler) จากถาด (Tray) และนำสปอยเลอร์ (Spoiler) ไปวางที่ตัวส่ง (Presenter)
2. ตัวส่ง (Presenter) เคลื่อนที่ในแนวแกน y เพื่อนำสปอยเลอร์ (Spoiler) ไปตำแหน่งที่แขนหุ่นยนต์ (End Effector (2)) จะมาหยิบสปอยเลอร์ (Spoiler)
3. แขนหุ่นยนต์ (End Effector (2)) หยิบสปอยเลอร์ (Spoiler) จากตัวส่ง (Presenter) และนำสปอยเลอร์ (Spoiler) ไปวางในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
4. แขนหุ่นยนต์ (Screwdriver End Effector (3)) หยิบสกรูจากรางสกรูและทำการขันสกรูเพื่อให้สปอยเลอร์ (Spoiler) ยึดกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

จากการศึกษากระบวนการผลิตของสายการผลิตแบบอัตโนมัติที่ใช้ประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ผู้วิจัยพบว่า เครื่องจักร

ติดตั้งสปอยเลอร์ (Spoiler Installation Machine) มีปัญหาที่ทำให้เครื่องจักรเกิดการทำงานผิดพลาดในกระบวนการขันสกรู

ลักษณะของชิ้นงานที่เกิดจากการทำงานผิดพลาดในกระบวนการขันสกรู คือ การขันสกรูล้มเหลว (Screwdriver Fail) หรือสกรูสูงกว่าระดับที่กำหนด ดังรูปที่ 6 ซึ่งเกิดจากเครื่องจักรในส่วนของแขนหุ่นยนต์ที่ใช้ในการขันสกรู (Screwdriver End Effector) ขันสกรูไม่แน่น



รูปที่ 6 การขันสกรูล้มเหลว (Screwdriver Fail) หรือสกรูสูงกว่าระดับที่กำหนด

ข้อความแห่งปัญหาของงานวิจัย คือ เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Installation Machine) ขันสกรูเพื่อยึดชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่แน่น ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้ค่าเอ็นโคดเดอร์ของการขัน (Screwdriver Encoder) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ป้อนกลับที่ใช้ตรวจจับระยะหรือตำแหน่งของสกรู

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัย (ดูรูปที่ 7) มีขั้นตอนดังนี้

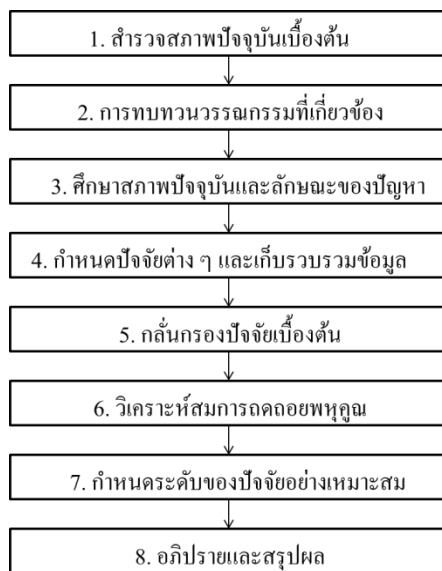
1. สำรวจสภาพปัจจุบันเบื้องต้นเพื่อกำหนดปัญหาและขอบเขต
2. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
3. ศึกษาสภาพปัจจุบันและลักษณะของปัญหาอย่างละเอียด
4. กำหนดปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และเก็บรวบรวมข้อมูล
5. กลั่นกรองปัจจัยเบื้องต้น
6. วิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ และตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

7. กำหนดระดับของปัจจัยอย่างเหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าความห่างของสกรูที่ต้องการ

8. อภิปรายและสรุปผล

หัวข้อก่อนหน้านี้ได้มีการกำหนดปัญหาของงานวิจัยวัตถุประสงค์ การทบทวนวรรณกรรม รวมถึงการศึกษาสภาพปัจจุบันไปแล้ว

หลังจากนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน (Screwdriver Encoder) รวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอย และสรุปผลการวิจัยตามลำดับ



รูปที่ 7 วิธีการดำเนินงานวิจัย

4.1 กำหนดปัจจัยและค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ ค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน (Screwdriver Encoder) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ตรวจจับระยะหรือตำแหน่งของสกรู

ค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน (Screwdriver Encoder) มาจากอุปกรณ์เอ็นโค้ดเดอร์ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดระยะทางและวัดความเร็วจะอาศัยหลักการวัดระยะทางจากการหมุนรอบตัวเอง ถ้าระยะทางการหมุนรอบตัวเองมาก ทำให้ค่าความห่างของสกรู (ตามรูปที่ 6) จะลดลง

ค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน มีค่าเป้าหมายอยู่ในช่วง 1 ± 0.55 มิลลิเมตร (mm) แต่ทางบริษัทต้องการให้เข้าถึงค่า $0.45 - 0.65$ มิลลิเมตร เพื่อให้การยึด Spoiler มีคุณภาพมากขึ้น

ตัวแปรอิสระหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

ตัวแปรที่ 1. ค่าแรงบิด (Torque) ค่าแรงบิดที่ใช้ขันสกรูโดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.48 ถึง 1.50 ปอนด์ (lbs)

ตัวแปรที่ 2. ค่ามุม (Angle) ค่ามุมที่หมุนไปของหัวบิต (Bit) ที่ใช้ขันสกรู โดยไม่มีช่วงของค่าที่กำหนด

ตัวแปรที่ 3. เวลา (Time) เวลาที่ใช้ในกระบวนการขันสกรู โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่หัวบิต (Bit) หมุนจนกระทั่งหัวบิต (Bit) ขันสกรูสำเร็จ โดยมีค่าอยู่ในช่วง $\leq 4,000$ มิลลิวินาที (ms)

ตัวแปรที่ 4. ค่าสุญญากาศ (Vacuum) ค่าสุญญากาศที่ใช้หีบสกรูจากรางสกรู โดยมีค่าอยู่ในช่วง 8.4 ถึง 9.7 เมกะปาสคาล (MPa)

ตัวแปรที่ 5. ค่าตำแหน่งแกน Z (Screwdriver Z) ค่าตำแหน่งแกน Z ของแขนหุ่นยนต์ที่ใช้ในการขันสกรู (Screwdriver End Effector) โดยมีค่าเท่ากับ 240.93 มิลลิเมตร (mm)

ตัวแปรที่ 6. ค่าระยะการเคลื่อนที่ของตัวเตะสปอยเลอร์ (Kicker Encoder) ค่าอุปกรณ์ป้อนกลับที่วัดระยะการเคลื่อนที่ของตัวเตะที่ใช้เตะชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) ให้อยู่ในตำแหน่งที่กำหนดก่อนการขันสกรู โดยมีค่าเท่ากับ 214.748 มิลลิเมตร (mm)

ตัวแปรที่ 7. ค่าตำแหน่งแกน X (X axis) ค่าตำแหน่งแกน X ของแขนหุ่นยนต์ที่ใช้ในการขันสกรู (Screwdriver End Effector) โดยมีค่าเท่ากับ 65.89 มิลลิเมตร (mm)

ตัวแปรอิสระต่าง ๆ มาจากการระดมความคิดเห็นของผู้ปฏิบัติงาน หัวหน้างาน และวิศวกรกระบวนการ รวมถึงทีมผู้วิจัย โดยส่วนใหญ่ตัวแปรอิสระที่ถูกเลือกมาพิจารณาจะสามารถตั้งโปรแกรมเพื่อเปลี่ยนค่าได้

ส่วนค่าของตัวแปรอิสระต่าง ๆ เป็นช่วงที่ถูกใช้งานจริง ณ ปัจจุบัน การปรับค่าเกิดขึ้นจากผู้ควบคุมเครื่องจักรเมื่อเห็นว่าการผลิตพลาดกำลังจะเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นแล้ว และเกิดจากความคาดเคลื่อนของตัวเครื่องจักรเอง

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สนใจตัวแปรที่ 1 ถึงตัวแปรที่ 4 ได้แก่

1. ค่าแรงบิดใช้ขันสกรู
2. ค่ามุมที่หมุนไปของหัวบิท (Bit)
3. เวลาที่ใช้ในกระบวนการขันสกรู และ
4. ค่าสูญญากาศที่ใช้หีบสกรูจากรางสกรู

ส่วนตัวแปรที่ 5 ถึงตัวแปรที่ 7 มีค่าของข้อมูลเป็นค่าคงที่ จึงไม่นำปัจจัยดังกล่าวมาศึกษา

4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรของเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Installation Machine) ที่ใช้ในกระบวนการขันสกรูจาก JSON File โดยแปลงไฟล์ดังกล่าวมาเป็นไฟล์เอกซ์เซล (Excel) เพื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของปัญหาที่ทำให้เครื่องจักรเกิดการทำงานผิดพลาดในกระบวนการขันสกรู

ข้อมูลที่รวบรวมได้ตั้งแต่ช่วงวันที่ 8 กันยายน 2562 ถึงวันที่ 12 กันยายน 2562 ซึ่งใน 1 วันมีจำนวนชิ้นงาน 1,000 กว่าชิ้น โดยผู้วิจัยสุ่มค่าวันละ 100 ชิ้น เป็นระยะเวลา 5 วัน รวมข้อมูลที่นำไปวิเคราะห์ทั้งหมด 500 ข้อมูล สามารถแสดงตัวอย่างได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการขันสกรู

Product Code	Torque	Angle	Time	Vacuum	Screwdriver Encoder
WX11D690N497	1.490	4004.3	2954	8.688	0.615
WX31D89A0DAF	1.493	4132.2	2976	9.300	0.986
WX31D89A0EKC	1.496	4029.6	2954	9.188	0.924
WX31D89A00TS	1.492	4218.7	2991	9.263	1.029
WX31D89A0CLT	1.495	4015.8	2955	9.137	0.913
WX31D89A0C27	1.498	4161.4	2990	9.237	1.004
WX31D89A0AF7	1.496	4255.2	3017	9.212	1.042
WX31D89A0DAY	1.493	4148.1	2995	9.175	0.997
WX31D89A0DXA	1.491	4326.4	3037	9.212	1.071
WX31D89A0EJD	1.493	4068.4	2971	9.137	0.95
WX31D89A0AUR	1.495	4106.3	2982	9.7	0.965
WX31D89A00ZN	1.491	4293.5	3026	9.212	1.05
WX31D89A0CY6	1.491	4094	2965	9.2	0.932
WX31D89A0CLC	1.498	4176.7	2993	9.15	0.995
WX31D89A0E25	1.491	3995.3	2950	9.2	0.901
WX31D89A0ACP	1.493	4132.6	2982	9.237	0.971
WX31D89A0A5D	1.493	4197.9	2997	9.188	1.01
WX31D89A0C11	1.488	4114	2979	9.15	0.954
WX31D89A0A7L	1.496	4018.8	2961	9.2	0.92
WX31D89A0C75	1.494	3982.3	3230	9.15	1.126
WX31D89A0CUH	1.495	4107.7	2983	8.962	0.76
WX31D89A0A95	1.493	3968.2	2942	8.875	0.692
WX31D89A0D9D	1.492	4037.9	2961	9.137	0.725
WX31D89A0F4J	1.493	3996.4	2950	9.05	0.701
WX31D89A0E48	1.499	4084.6	2978	9	0.763
WX31D89A0F7C	1.495	4282.4	3022	9.075	0.869
WX21D690LU7C	1.496	4283.3	3027	8.988	0.858
WX31D89A0V82	1.495	4220.8	3001	9.125	0.794
WX21D690L8CU	1.496	4256.5	3019	9.125	0.831
WX21D690L4HZ	1.494	4228.1	3000	8.787	0.829
WX31D89A0AV7	1.493	4176.6	2988	8.787	0.768
WX21D690L13D	1.500	4086.5	2963	9.025	0.666
WX21D690LJZD	1.493	4297.0	3015	9.175	0.771
WX21D690L2XS	1.495	4368.7	3032	9.137	0.821
WX21D690LJF6	1.494	4161.2	2991	9.175	0.720
WX31D89A0F2Z	1.496	4067.1	2972	9.025	0.736
WX21D690LF80	1.493	4021.5	2949	8.838	0.701

อนึ่ง วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) ได้ถูกใช้ในการเก็บข้อมูล มีหลักการที่สำคัญ คือ ทุก ๆ ชิ้นงานใน 1 วันจะมีโอกาสถูกเลือกเท่ากันเพื่อตรวจสอบความผิดพลาดหรือข้อบกพร่อง โดยใช้โปรแกรมมินิแทบเวอร์ชั่น 17 (Minitab 17.0) สร้างและสุ่มหมายเลขชิ้นงานขึ้นมา

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างของข้อมูลที่ถูกสุ่มและแปลงไฟล์ JSON File มาเป็นไฟล์เอกซ์เซล (Excel) ในคอลัมน์แรก จะบันทึกรหัสของผลิตภัณฑ์ คอลัมน์ถัด ๆ ไปจะเป็นค่าของตัวแปรอิสระทั้ง 4 ปัจจัย และค่าตัวแปรตาม (นั่นคือ ค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน) เช่น ข้อมูลผลิตภัณฑ์รายการแรกที่ถูกสุ่มขึ้นมามีรหัส WX11D690N497 โดยมีค่าแรงบิดที่ใช้ขันสกรู (Torque) 1.490 ปอนด์ ค่ามุมที่หมุนไปของหัวบิต (Bit) เท่ากับ 4004.3 รอบต่อนาที (rpm) เวลาที่ใช้ในกระบวนการขันสกรู 2954 มิลลิวินาที และ ค่าสัญญาณที่ใช้หีบสกรูจากรางสกรู 8.688 เมกะปาสคาล ทำให้ได้ค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขันเท่ากับ 0.615 มิลลิเมตร

4.3 การกรองปัจจัยเบื้องต้นด้วยวิธีการทดลองที่ละปัจจัย

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัว เพื่อต้องการทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ได้ผลดังรูปที่ 8 และสามารถวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ได้ดังตารางที่ 2

ผลการวิเคราะห์การกรองปัจจัยเบื้องต้นระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม จะเห็นว่าค่าแรงบิด (Torque) ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน (Screwdriver Encoder) เพราะมีค่า P-Value เท่ากับ 0.705 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.10 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.03% หมายความว่า สมการถดถอยที่ใช้ประมาณค่าไม่สามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามหรือค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน (Screwdriver Encoder) ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดข้อมูลของค่าแรงบิด (Torque) ออกจากการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป เพื่อลดความซับซ้อนการวิเคราะห์

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์การกรองปัจจัยเบื้องต้น

ตัวแปร	รูปแบบสมการ	P-Value for Regression	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
ค่าแรงบิด (Torque: X_1)	$Y = 2.44 - 1.12 X_1$	0.705	0.03%
ค่ามุม (Angle: X_2)	$Y = -2.309 + 0.000738 X_2$	0.000	28.15%
เวลา (Time: X_3)	$Y = -4.0088 + 0.001586 X_3$	0.000	83.27%
ค่าสัญญาณ (Vacuum: X_4)	$Y = -1.199 + 0.2163 X_4$	0.000	4.57%

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	0.0033	0.003314	0.14	0.705
Torque	1	0.0033	0.003314	0.14	0.705
Error	486	11.2029	0.023051		
Lack-of-Fit	10	0.0693	0.006929	0.30	0.982
Pure Error	476	11.1336	0.023390		
Total	487	11.2062			

ก) การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแรงบิด (Torque)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	3.1550	3.15504	190.45	0.000
Angle	1	3.1550	3.15504	190.45	0.000
Error	486	8.0512	0.01657		
Lack-of-Fit	462	7.7859	0.01685	1.52	0.106
Pure Error	24	0.2653	0.01105		
Total	487	11.2062			

ข) การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ามุม (Angle)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	9.3314	9.33136	2418.85	0.000
Time	1	9.3314	9.33136	2418.85	0.000
Error	486	1.8749	0.00386		
Lack-of-Fit	141	0.5421	0.00384	1.00	0.506
Pure Error	345	1.3328	0.00386		
Total	487	11.2062			

ค) การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลา (Time)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	0.5116	0.51157	23.25	0.000
Vacuum	1	0.5116	0.51157	23.25	0.000
Error	486	10.6947	0.02201		
Lack-of-Fit	60	2.1831	0.03638	1.82	0.000
Pure Error	426	8.5116	0.01998		
Total	487	11.2062			

ง) การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัญญาณ (Vacuum)

รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบการทดลองที่ละปัจจัย (One Factor at a Time)

4.4 การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามอาจไม่ได้เป็นการถดถอยเชิงเส้นตรงที่หนึ่ง (Linear Regression) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานว่า ตัวแปรอิสระทั้งสามอาจมีความสัมพันธ์ต่อค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขึ้นเป็นแบบสมการโพลีโนเมียลดีกรีที่สองหรือสามก็ได้

สมการถดถอยพหุคูณในงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 5 รูปแบบ โดยมีที่มาจากงานวิจัยของ Thakur et al. (2020) และ Harhout et al. (2020) ดังนี้

รูปแบบที่ 1 คือ สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression)

รูปแบบที่ 2 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองอันตรกิริยา (Linear Regression with two Interactions)

รูปแบบที่ 3 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองและสามอันตรกิริยา (Linear Regression with Two and Three Interactions)

รูปแบบที่ 4 คือ สมการถดถอยพหุนามดีกรีที่สอง (Quadratic Regression)

รูปแบบที่ 5 คือ สมการถดถอยพหุนามดีกรีที่สาม (Cubic Regression)

จากการออกแบบการทดสอบรูปแบบของสมการถดถอยพหุคูณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 3

จากการทบทวนวรรณกรรม เกณฑ์การพิจารณาเลือกรูปแบบของสมการถดถอยพหุคูณ (Rumsey, 2007; Glantz et al., 2016; Montgomery & Runger, 2013) มีดังนี้

1. ดูจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R^2 (adj)) มีค่าสูงที่สุด
2. ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MS_{error}) จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) มีค่าน้อยที่สุด
3. ดูค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ไม่ควรถูกวิเคราะห์ว่ามีค่าเท่ากับศูนย์ (Sudasma-Na-Ayudhya and Luangpaiboon, 2008)
4. ค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation (MAD)) ของค่าความคลาดเคลื่อน (Wallace & Xia, 2014; Schniederjans et al., 2014; Gardiner & Reefke, 2019)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัววัดเรื่องค่าความคลาดเคลื่อนทั้งในเรื่องของค่ากำลังสองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MS_{error}) และ ค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) ของค่าความคลาดเคลื่อน เพื่อเลือกตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าทุกรูปแบบจะผ่านเกณฑ์ในเรื่องของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R^2 (adj)) รวมถึงค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MS_{error}) ที่มีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3 การทดสอบรูปแบบของสมการถดถอยพหุคูณ

รูปแบบที่	ชื่อรูปแบบ	รูปแบบสมการถดถอยพหุคูณ	สัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ (R^2)	R^2 (adj)	MS_{error}	MAD
1.	Simple Linear Regression	$Y = -4.554 + 0.000126 X_2$ $+ 0.001495 X_3 + 0.0322 X_4$	84.00%	83.90%	0.00370	0.038554606
2.	Linear Regression with Two Interactions	$Y = -0.48 + 0.00018 X_2 - 0.00106 X_3 -$ $0.030 X_4 + 0.000000 X_2 X_3$ $- 0.000094 X_2 X_4 + 0.000152 X_3 X_4$	84.04%	83.84%	0.00372	3.364689586
3.	Linear Regression with Two and Three Interactions	$Y = 324 - 0.0753 X_2 - 0.111 X_3 -$ $35.4 X_4 + 0.000026 X_2 X_3$ $+ 0.00813 X_2 X_4 + 0.0121 X_3 X_4 -$ $0.000003 X_2 X_3 X_4$	84.07%	83.84%	0.00372	23.40242467
4.	Quadratic Regression	$Y = 20.80 - 0.00325 X_2 + 0.000000 X_2^2$ $- 0.00187 X_3 + 0.000001 X_3^2 - 2.87 X_4$ $+ 0.1609 X_4^2$	84.40%	84.21%	0.00363	2.866268885
5.	Cubic Regression	$Y = 46 - 0.054 X_2 + 0.000013 X_2^2 -$ $0.000000 X_2^3 + 0.0503 X_3 -$ $0.000016 X_3^2 + 0.000000 X_3^3 - 6.0 X_4$ $+ 0.51 X_4^2 - 0.013 X_4^3$	84.42%	84.13%	0.00365	30.40288116

ในที่นี้ใช้ข้อมูล 5 วันเดิม ซึ่งมีจำนวนข้อมูล 500 ข้อมูล เพื่อคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) เพื่อช่วยวัดความแม่นยำของรูปแบบสมการถดถอย พบว่า รูปแบบที่ 1 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) มีค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) ต่ำที่สุด (MAD = 0.038554606), มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R^2 (adj)) ที่สูง, ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MS_{error}) มีค่าไม่สูง, และค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์มีค่าไม่เท่ากับศูนย์

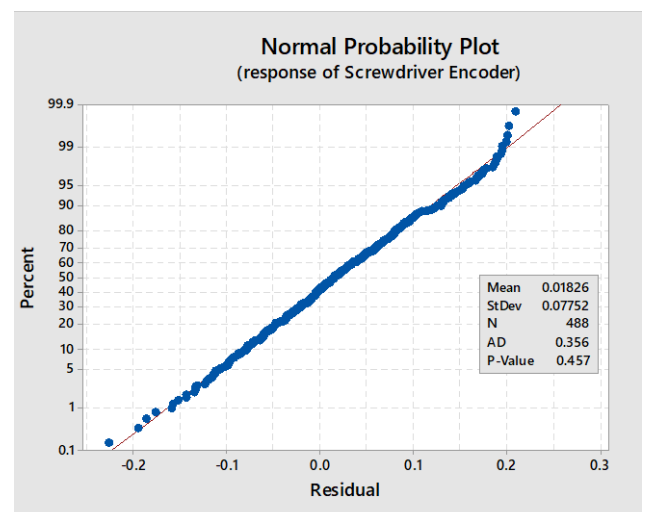
การตรวจสอบค่าเศษเหลือ (Residual) ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ เพื่อยืนยันว่าข้อมูลมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยตั้งสมมติฐานว่า

H_0 : ค่าเศษเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ค่าเศษเหลือไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

ผลจากการตรวจสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9 พบว่า ค่า P-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.10 จึงไม่สามารถ

ปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ดังนั้นค่าเศษเหลือมีการกระจายตัวแบบปกติ



รูปที่ 9 การแจกแจงแบบปกติของค่าเศษเหลือ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกรูปแบบที่ 1 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ให้เป็นสมการที่ดีที่สุด โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ดังนี้

$$Y = -4.554 + 0.000126 X_2 + 0.001495 X_3 + 0.0322 X_4$$

ซึ่งสามารถดูผลของการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของรูปแบบที่ 1 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย ได้ดังรูปที่ 10

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	9.4135	3.13784	847.15	0.000
Angle	1	0.0684	0.06844	18.48	0.000
Time	1	6.0374	6.03736	1629.97	0.000
Vacuum	1	0.0109	0.01087	2.93	0.087
Error	484	1.7927	0.00370		
Total	487	11.2062			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0608603	84.00%	83.90%	83.77%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-4.554	0.188	-24.16	0.000	
Angle	0.000126	0.000029	4.30	0.000	1.35
Time	0.001495	0.000037	40.37	0.000	1.37
Vacuum	0.0322	0.0188	1.71	0.087	1.04

รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของรูปแบบที่ 1

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของรูปแบบที่ 1 เมื่อใช้ค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.10 พบว่า ปัจจัยทั้งสามปัจจัย คือ ค่ามุมที่หมุนไปของหัวบิต (Bit), เวลาที่ใช้ในกระบวนการขันสกรู, และค่าสัญญาณที่ใช้หีบสกรูจากรางสกรูที่ผลต่อค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน แต่ค่าสัญญาณจะส่งผลกระทบน้อยกว่าปัจจัยทั้งสอง และถ้าเปลี่ยนไปใช้ค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ค่าสัญญาณที่ใช้หีบสกรูจากรางสกรูจะไม่มีผลต่อค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขัน อย่างไรก็ตามต้องระวังเรื่องของค่าสัญญาณที่มีค่าน้อยเกินไป อาจจะทำให้สกรูหลุดออกจากการขัน ทำให้ไขควงอัตโนมัติขันฟรีได้ ในทางตรงกันข้ามค่าสัญญาณที่มีค่ามากเกินไป อาจทำให้ตัวสกรูได้รับความเสียหาย

ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X_2 และ X_3 มีค่าเป็นบวกหมายความว่า ค่ามุมที่หมุนไปของหัวบิต (Bit) และเวลาที่ใช้ในกระบวนการขันสกรูยิ่งเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของ

การขัน (Screwdriver Encoder) หรือระยะการหมุนรอบตัวเองเพิ่มมากขึ้นด้วย ส่งผลทำให้ค่าความห่างของสกรูจะลดลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการของการขันสกรูโดยทั่วไป แต่ต้องไม่มากเกินไปเพราะอาจจะทำให้เกลียวของสกรูได้รับเสียหายและขันไม่แน่น

4.5 การวิเคราะห์หาค่าปัจจัยที่เหมาะสม

การวิเคราะห์หาค่าปัจจัยที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมมินิแทบเวอร์ชัน 17 (Minitab 17.0) ของรูปแบบที่ 1 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) น้อยสุดอันดับที่ 1 ให้ผลดังนี้

ค่ามุม (X_2) ที่เหมาะสมเท่ากับ 3922.6 รอบ,

เวลา (X_3) ที่ใช้ในการขันสกรูที่เหมาะสมเท่ากับ 2928

มิลลิวินาทีและ

ค่าสัญญาณ (X_4) ที่ใช้ในการหีบสกรูจากรางสกรูที่เหมาะสมเท่ากับ 8.6 เมกะปาสคาล

เมื่อนำค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยไปแทนในรูปแบบที่ 1 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) จะได้ค่า Y (Screwdriver Encoder) เท่ากับ 0.5945276 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ยังอยู่ในช่วงที่กำหนด

5. สรุปผลการวิจัย

การผลิตของเสียเป็นหนึ่งในความสูญเสียและจัดว่าเป็นอุปสรรคในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต องค์การทุกองค์กรจำเป็นต้องมีระบบการปฏิบัติการหรือการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพเพื่อป้องกันของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต (รวมถึงการลดต้นทุน) ในปัจจุบันภาพรวมนั้น ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีความต้องการจากลูกค้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและคู่แข่งมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม่หยุดยั้ง ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาบริษัทผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แห่งหนึ่งในประเทศไทย หลังจากสำรวจปัญหาทางด้านคุณภาพ แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) ได้ถูกใช้เพื่อจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาด้วยความถี่ของการเกิด ปัญหาที่เร่งด่วนอันดับหนึ่ง คือ เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler) ขันสกรูเพื่อยึดชิ้นส่วนสปอยเลอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่แน่น ก่อให้เกิดของเสียขึ้นจำนวนมาก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหาที่ทำให้เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) เกิดการทำงานผิดพลาดในกระบวนการขึ้นสกรู ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม

จากปัญหาเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Installation Machine) ขึ้นสกรูเพื่อยึดชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่แน่น โดยผู้วิจัยได้เริ่มทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อกรองปัจจัยเบื้องต้นของตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัว ได้แก่ ค่าแรงบิดใช้ขึ้นสกรู (Torque), ค่ามุม (Angle), เวลา (Time) และค่าสูญญากาศ (Vacuum)

ผลสรุปที่สำคัญของงานวิจัย มีดังนี้

1. ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ค่าแรงบิดใช้ขึ้นสกรู (Torque) ที่ถูกใช้ในช่วงระหว่าง 1.48 ถึง 1.50 ปอนด์ (ถือว่าเป็นช่วงแคบ ๆ ที่บริษัทกรณีศึกษาได้ใช้ค่าในช่วงนี้) ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขึ้น (Screwdriver Encoder) ผู้วิจัยจึงตัดข้อมูลของค่าแรงบิด (Torque) ออกจากการวิเคราะห์ในขั้นตอนการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ ผลที่สำคัญถัดมาคือ เวลา (Time) มีผลต่อค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขึ้น (Screwdriver Encoder) อย่างมีนัยสำคัญและมากกว่าตัวแปรอื่น เพราะมีค่า F-Value มากที่สุด

2. ในงานวิจัยฉบับนี้ เลือกรูปแบบที่ 1 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย ให้เป็นตัวแทนทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุด ภายใต้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MS_{error}) และค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) น้อยที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าสูงที่สุด นอกจากนี้ งานวิจัยฉบับนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kutner et al. (2005), Armstrong (2011) และ Zellner et al. (2001) คือ ตัวแบบไม่จำเป็นต้องมีความซับซ้อนมาก เพียงแค่สมการถดถอยอย่างง่ายก็สามารถเป็นตัวแทนของข้อมูล เพราะสามารถทำนายได้แม่นยำมากกว่า

3. ถ้าพิจารณาเพียงแค่ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MS_{error}) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R^2 (adj)) อาจจะสรุปว่า สมการถดถอยทั้ง 5 รูปแบบอาจจะเป็นตัวแทนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ได้ แต่เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) มาพิจารณาเพิ่มเติม พบว่า มีเพียงสมการรูปแบบ

ที่ 1 (สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression)) เท่านั้นที่ให้ค่าความแม่นยำในการทำนายต่ำที่สุด โดยที่รูปแบบที่ 3 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองและสามอันตรกิริยา (Linear Regression with two and three Interactions) และรูปแบบที่ 5 คือ สมการถดถอยพหุนามดีกรีที่สาม (Cubic Regression) ไม่ควรที่จะถูกเลือก เพราะมีค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) ที่มาก

งานวิจัยฉบับนี้ จึงสนับสนุนให้งานวิจัยต่าง ๆ ได้เพิ่มเกณฑ์การวัดค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) หรือค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) มาประกอบการตัดสินใจ และคัดเลือกสมการถดถอย ควบคู่กับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R^2 (adj)) ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Prapaporn (2019), Wallace and Xia (2014), Schniederjans et al. (2014), Gardiner and Reefke (2019)

เมื่อพิจารณาค่าแรงบิดใช้ขึ้นสกรู (Torque) ซึ่งดูเหมือนว่าจะแตกต่างจากงานวิจัยของ Mungtoklang et al. (2009), Rungpiputtanapong et al. (2012), Dabsomsri and Photong (2020) ซึ่งให้ความสำคัญกับค่าแรงบิด (Torque) ว่ามีผลต่อการขึ้นสกรู ดังนั้นผู้วิจัยจึงเชื่อว่า ถ้ามีการทดลองเพิ่มเติม โดยเปลี่ยนค่าแรงบิดใช้ขึ้นสกรู (Torque) ไปเป็นช่วงอื่น ค่าแรงบิดใช้ขึ้นสกรู (Torque) น่าจะมีผลต่อค่าเอ็นโค้ดเดอร์ของการขึ้น

อนึ่ง ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสมไม่สามารถทำการทดลองกับเครื่องจักรจริงได้ เนื่องจากสายการผลิตที่ทำการศึกษาเป็นสายการผลิตแบบประกอบอัตโนมัติ จึงไม่สามารถหยุดการทำงานของเครื่องจักรได้ทันที ซึ่งจะทำให้การทดลองได้ก็ต่อเมื่อมีการซ่อมบำรุงสายการผลิตเท่านั้น เพราะสายการผลิตนี้เป็นสายการผลิตแบบทำงานตามลำดับขั้นตอนและทำงานแบบต่อเนื่อง แต่สามารถนำสมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณไปประยุกต์ใช้ในการทำวิธีการเรียนรู้ด้วยตัวเองของคอมพิวเตอร์หรือแมชชีนเลิร์นนิง (Machine Learning) ได้ เพื่อที่จะสามารถทำการตรวจจับความผิดปกติในการทำงานของเครื่องจักรและป้องกันการเกิดของเสีย

เมื่อพิจารณาถึงข้อดีและข้อเสียของระเบียบวิธีวิจัย ผู้วิจัยเลือกที่จะไม่ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) แต่หันไปใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ โดยผ่านการกรองปัจจัยเบื้องต้นด้วยวิธีการทดลองทีละปัจจัย (One Factor at a Time (OFAT)) เนื่องจากว่า การกรองปัจจัยเบื้องต้นด้วยวิธีการทดลองทีละปัจจัย (OFAT) มีข้อดี คือ ลดปัจจัยที่ต้องพิจารณาลงก่อน เพื่อลดความซับซ้อนของการวิเคราะห์และแปลผลในส่วนถัดไป และในส่วนของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ไม่ส่งผลกระทบดังกล่าว จะถูกรวมในความแปรปรวนเนื่องมาจากความผิดพลาด (Source of Error) ทำให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MS_{error}) จะสูงกว่ากรณีที่ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) แบบไม่กรองปัจจัยก่อน เมื่อคำนวณค่าสถิติเอฟ (F-test) ของปัจจัยหลัก (Main Effect) ทำให้การสรุปผลว่า ปัจจัยหลักอื่น ๆ นั้นส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองยากขึ้นด้วย นั่นคือถ้าผลสรุปว่า ปัจจัยหลักนั้นส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองจะเป็นผลการวิเคราะห์ที่หนักแน่นขึ้น จึงจัดเป็นหนึ่งในข้อดีเมื่อกรองปัจจัยเบื้องต้นด้วยวิธีการทดลองทีละปัจจัยก่อน (OFAT) นอกจากนี้ในส่วนของการเก็บผลการทดลอง ปัจจัยหรือตัวแปรอิสระใดที่ไม่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง (หรือตัวแปรตาม) ก็จะไม่ถูกควบคุม สามารถใช้ค่าดั้งเดิมได้ (คือ ไม่ต้องถูกตั้งค่าที่ระดับต่าง ๆ เพื่อทำการทดลอง) ทำให้ประหยัดเวลาและต้นทุนการทดลอง

ข้อเสียของระเบียบวิธีวิจัยดังกล่าว คือ อันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างปัจจัยที่ถูกกรองออกไปตั้งแต่แรกกับปัจจัยหลักอื่น ๆ จะไม่ถูกพิจารณา สิ่งนี้คือข้อจำกัดของงานวิจัยฉบับนี้

ในงานวิจัยฉบับนี้ ด้วยพฤติกรรมของข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาได้นั้น (ดังในตารางที่ 1) จะเห็นว่าแต่ละปัจจัยมีระดับที่หลากหลายไม่คงที่ และจำนวนซ้ำในทรีตเมนต์คอมบิเนชัน (Treatment Combination) ไม่เท่ากัน (ก่อให้เกิดการทดลองแบบไม่สมดุลขึ้น (Unbalanced Design)) จึงไม่เหมาะสมถ้าจะใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบผลกระทบคงที่ (Fixed-effect-model Factorial Design) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ

หมายเหตุ การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบผลกระทบคงที่ (Fixed-effect-model Factorial Design) จะพิจารณาทุก ๆ ปัจจัย (หรือตัวแปรอิสระ) พร้อมกันในการทำการทดลองและวิเคราะห์ผล โดยที่จำนวนระดับของแต่ละปัจจัยจะถูกกำหนดไว้โดยมีช่วงความห่างที่เท่า ๆ กัน และมีจำนวนของระดับของแต่ละปัจจัยที่แน่นอน จึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้ในงานวิจัยฉบับนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- Armstrong, J. S. (2011). *Illusions in regression analysis*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1969740>
- Aruga, K., Hasegawa, S., & Mizhoshita, Y. (1984). *Design and evaluation of helium sealed large capacity hard disk drives*. Fujitsu Internal Document.
- Aruga, K., Suwa, M., Shimizu, K., & Watanabe, T. (2007). A study on positioning error caused by flow induced vibration using helium-filled hard disk drives. *IEEE Transactions on Magnetics*, 43(9), 3750-3755. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2007.902983>
- Bouchard, G., & Talke, F. E. (1986). Non-repeatable flutter of magnetic recording disks. *IEEE Transactions on magnetics*, 22(5), 1019-1021. <https://doi.org/10.1109/TMAG.1986.1064437>
- Chantasee S. (2017). The effects of machining parameters on milling of 6061-T6 aluminum alloy. *Naresuan University Journal: Science and Technology*, 25(1) , 138-149. <http://www.journal.nu.ac.th/NUJST/article/view/1683>
- Dabsomsri, K., & Photong C. (2020). The study of abnormal screwing and torque measurement technique of automatic screw tightening robot using electrical signal analysis. *The Journal of Industrial Technology*, 16(1), 62-77. <https://doi.org/10.14416/10j.ind.tech.005.03.2020>
- Freund, R. J., Wilson, W. J., & Sa, P. (2006). *Regression analysis* (2nd ed.). Elsevier Inc.
- Ganssle, J. (Ed.). (2008). *Embedded systems: world class designs*. Elsevier Inc.
- Gardiner, D., & Reefke, H. (2019). *Operations management for business excellence: building sustainable supply chains*. Routledge.

- Glantz, S. A., Slinker, B. K., & Neilands T. B. (2016). *Primer of applied regression & analysis of variance* (3rd ed.). McGraw-Hill, Inc.
- Gupta, V. (2007). *Air bearing slider dynamics and stability in hard disk drives*. University of California, Berkeley.
- Harhout, R., Gaceb, M., Haddad, S., Aguib, S., Bloul, B., & Guebli, A. (2020). Predictive modelling and optimisation of surface roughness in turning of AISI 1050 steel using polynomial regression. *Manufacturing Technology*, 20(5), 591-602. <https://doi.org/10.21062/mft.2020.094>
- Hirono, Y., Arisaka, T., Nishijima, N., Shimizu, T., Nakamura, S., & Masuda, H. (2004). Flow-induced vibration reduction in HDD by using a spoiler. *IEEE transactions on magnetics*, 40(4), 3168-3170. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2004.829176>
- Ikegawa, M., Hirono, Y., Mukai, H., & Kaiho, M. (2006). Decreasing airflow velocity in hard disk drives with a spoiler and bypass. *IEEE transactions on magnetics*, 42(10), 2594-2596. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2006.878642>
- Ikegawa, M., Mukai, H., Sugii, T., & Watanabe, M. (2011, November 11-17). Investigation of polygonal airflow structure in hard disk drives with and without spoiler by using fluid simulations and measurements. *Proceedings of the ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. Denver, Colorado, United States. <https://asmedigitalcollection.asme.org/IMECE/proceedings-abstract/IMECE2011/54938/1071/358603>
- Kankaew, W., Tangchaichit, K., & Suriyawanakul, J. (2015). Decreasing airflow velocity in high speed hard disk drive by using spoiler. *Advanced Materials Research*, 1061-1062, 862-865. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1061-1062.862>
- Kil, S. W., Humphrey, J. A., & Haj-Hariri, H. (2012). Numerical study of the flow-structure interactions in an air-or helium-filled simulated hard disk drive. *Microsystem technologies*, 18(1), 57-75. <https://doi.org/10.1007/s00542-011-1375-y>
- Kubotera, H., Kong, D. W., Song, Y., Tokumiya, T., & Kim, C. S. (2012). Computational fluid dynamics and experimental visualization of time-variable air flow pattern inside hard disk drives. *IEEE transactions on magnetics*, 48(8), 2395-2398. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2012.2194299>
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2005). *Applied linear statistical models* (4th ed.). McGraw-Hill Irwin.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2013). *Applied statistics and probability for engineers* (6th ed.). Wiley.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons.
- Mueller, S. (2003). *Upgrading and repairing PCs*. Que Publishing.
- Mungtoklang, S., Pinsopon, U., & Singnam, P. (2009). The study on rotating unbalance in hard disk drive due to screw tightening using the finite element method. *Engineering Journal Chiang Mai University*, 16(2), 21-27. http://researchs.eng.cmu.ac.th/UserFiles/File/Journal/16_2/3Samart.pdf
- Prapaporn, W. (2019). An analysis on material quantity relationship of reinforced concrete buildings between Multiple Linear Regression and Artificial Neural Network. *Naresuan University Engineering Journal (NUEL)*, 14(1), 84-102. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/nuej/article/view/141406/137926>
- Rumsey, D. J. (2007). *Intermediate statistics for dummies*. John Wiley & Sons.
- Rungpiputtanapong, S., Chutima, S., & Tuchinda, A. (2012). The study of production factors of top clamp assembly affecting vibration of hard disc drives using finite element analysis. *Nakhon Phanom University Journal*, 2(1), 13-20. <https://doi.org/10.14416.10j.ind.tech.005.03.2020>
- Schlichting, H., & Gersten, K. (2016). *Boundary-layer theory* (9th ed.). Springer-verlag Berlin Heidelberg.
- Schniederjans, M. J., Schniederjans, D. G., & Starkey, C. M. (2014). *Business analytics principles, concepts, and applications: what, why, and how*. Pearson Education.
- Sudasna-Na-Ayudhya, P., & Luangpaiboon, P. (2008). *Design and analysis of experiment*. Top Publishing.
- Suriyasuphapong, S., & Rojanarowan, N. (2014). The use of the six sigma approach to minimize the defective rate from bending defects in hard disk drive media disks. *Advanced Materials Research*, 974, 298-304. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.974.298>

Thakur, A., Rao, P. S., & Khan, M. Y. (2020). Study and optimization of surface roughness parameter during electrical discharge machining of titanium alloy (Ti-6246). *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.785>

Thavorn, E., Pudwong, S., & Khammuang, K. (2014). A study of factors affecting on energy consumption in CNC milling machine of aluminum alloy 6063. *Naresuan University Engineering Journal (NUEL)*, 9(2), 33-37. <https://doi.org/10.14456/nuej.2014.3>

Utairumol, S., & Chunumpan, W. (2010). Geographic information system (GIS) application for determining land acquisition valuation: a case study of expropriation by department of rural roads. *Naresuan University Engineering Journal (NUEL)*, 5(1), 43-50. <https://doi.org/10.14456/nuej.2010.10>

Naresuan University Engineering Journal (NUEL), 5(1), 43-50. <https://doi.org/10.14456/nuej.2010.10>

Wallace, W. L., & Xia, Y. L. (2014). *Delivering customer value through procurement and strategic sourcing: a professional guide to creating a sustainable supply network*. Pearson Education.

Wu, C. J., & Hamada, M. S. (2009). *Experiments: planning, analysis, and optimization* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Zellner, A., Keuzenkamp, H. A., & McAleer, M. (Eds.). (2001). *Simplicity, inference and modelling: keeping it sophisticatedly simple*. Cambridge University Press.

7. ประวัติผู้เขียน

ผศ.ดร. กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข



อาจารย์ประจำที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานสอน ได้แก่ การจัดการโซ่อุปทาน สถิติวิศวกรรม การวางแผนและควบคุมการผลิต การศึกษาการทำงาน เป็นต้น งานวิจัยที่สนใจพิเศษ คือ บูลวิปเอฟเฟคในห่วงโซ่อุปทาน และการออกแบบการทดลองด้านวิศวกรรม



รศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล

อาจารย์ประจำที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานวิจัยที่สนใจพิเศษ คือ โครงข่ายประสาทเทียม, การผลิตแบบลีน, วิศวกรรมคุณภาพ อีเมลติดต่อ คือ tossapol_k@yahoo.com



นางสาว อนุพ ไวยรูป

สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ. 2563 ปัจจุบันทำงานเป็นวิศวกรฝ่ายการผลิตที่บริษัททางด้านอิเล็กทรอนิกส์และเคมีคอนดักเตอร์แห่งหนึ่ง



ดร.ทัตพล กุลวงศ์

ตำแหน่งที่ปรึกษาและวิทยากรอิสระ สังกัดบริษัท ฟอซพล คอร์ปอเรชั่น จำกัด งานวิจัยที่สนใจพิเศษ คือ วิศวกรรมความน่าเชื่อถือ และการซ่อมบำรุงรักษา อีเมลติดต่อ คือ tadponk@yahoo.com



อาจารย์ ลักสิริ ดรรชนีรัตน์

อาจารย์ประจำที่สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา งานวิจัยที่สนใจพิเศษ คือ การจัดการห่วงโซ่อุปทานอย่างยั่งยืน, การผลิตแบบลีน อีเมลติดต่อ คือ giffindor@yahoo.com