การศึกษาความสามารถการต้านทานการสึกหรอที่เกิดจากการลื่นไถลในกระบวนการทอ
A Study the Wear Resistance of Sliding on Weaving Process

ปริญญา ศรีสัตยกุล[1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
2 นางลิ้นจี่ ทุ่งมหาเมฆ สาทร กรุงเทพมหานคร 10120
โทร : 02-2879600 E-mail : jour1977@gmail.com, parinya.sr@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อออกแบบสร้างเครื่องทดสอบความต้านทานการสึกหรอที่เกิดจากการลื่นไถลตามมาตรฐานของสมาคมวิชาชีพอเมริกันทางด้านการทดสอบวัสดุ (ASTM) จากนั้นดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบโดยเปรียบเทียบกับพฤติกรรมการสึกหรอของวัสดุจากการทดสอบ เพื่อยืนยันมาตรฐานความแม่นยำถูกต้องของเครื่องทดสอบ ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบนั้น จะเป็นการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (DOE) ในการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยเทคนิคการทดลองเชิงแฟกทอเรียล โดยมีพารามิเตอร์เกี่ยวกับชนิดวัสดุของชิ้นงานทดสอบและพารามิเตอร์เกี่ยวกับระยะเวลาการทดสอบการสึกหรอ (60, 120, 180, 240 และ 300 min) แล้วกำหนดให้ผลตอบสนองเป็นน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานทดสอบ ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติบ่งชี้ว่า เหล็กสแตนเลสที่ผ่านการฮาร์ดโครมจะมีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ (Wear Resistance) ได้ดีกว่าเหล็กสแตนเลสที่ไม่ผ่านการฮาร์ดโครม

คำสำคัญ : ความสามารถการต้านทานสึกหรอ, การลื่นไถล, การทดลองเชิงแฟกทอเรียล

ABSTRACT

The objective of research was designed and created the sliding wear testing machine by American Society for Testing and Materials (ASTM). After that, the wear testing was implemented for standard confirmation of sliding wear testing machine, which it used the testing result of material behavior. In this study, the design and analysis of experiment (DOE) was applied to statistical analysis by the factorial experiment. Two parameters of statistical analysis were type of specimen parameter (Stainless steel-hardchrome : SS-HC and stainless steel-unhardchrome : SS-UHC) and wear time parameter (60, 120, 180, 240 and 300 min). This response of statistical analysis was determined as weight loss of testing material. The statistical result was indicated the wear resistance of SS-HC more than the wear resistance of SS-UHC.

Keywords : Wear resistance, sliding, factorial experiment

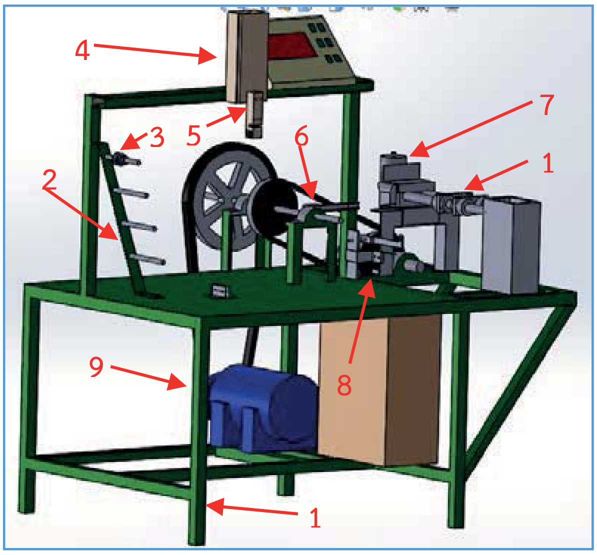
1. บทนำ

การสึกหรอ (Wear) เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นกับทุกชิ้นส่วนที่มีการทำงานในลักษณะสัมผัสหรือเสียดสีกัน องค์ประกอบการสึกหรอมีหลายประการและมีอิทธิพลทำให้เกิดการสึกหรอได้ในรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยทั่วๆ ไปมักจะเกิดจากหลายๆ องค์ประกอบพร้อมกันและยากที่จะระบุว่าการสึกหรอนั้นมีผลมาจากองค์ประกอบใด ดังนั้นการวิเคราะห์การสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ จึงไม่สามารถที่จะศึกษาจากทฤษฏีเพียงอย่างเดียวได้ จำเป็นต้องมีการทดสอบประกอบร่วมกันด้วยจึงจะสามารถวิเคราะห์ผลหรืออิทธิพลขององค์ประกอบต่างๆ ได้ ผลของการสึกหรอทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวข้องหลายประการ อาทิเช่น ประสิทธิภาพการทำงานของชิ้นส่วนนั้นๆ ลดลงและอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรด้วย ปัญหาที่ตามมาอีกอย่างหนึ่งก็คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากเครื่องจักรที่มีชิ้นส่วนที่เกิดการสึกหรอเป็นองค์ประกอบก็จะลดลง จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความแม่นยำสามารถนำไปใช้ในการกำหนดอายุการใช้งาน และการวางแผนการผลิตได้

อุตสาหกรรมประมงถือเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจของประเทศไทย ดังนั้น เครื่องทออุปกรณ์ดักจับสัตว์น้ำต่างๆ (ได้แก่ แห และอวน เป็นต้น) จึงถือเป็นเครื่องจักรที่มีบทบาทสำคัญอย่างมากในกระบวนการทออุปกรณ์ดักจับสัตว์น้ำด้วยเส้นใยสังเคราะห์สังเคราะห์โพลิเมอร์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดความต้องการของลูกค้า คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก สามารถกำหนดส่วนแบ่งทางการตลาดขององค์กรได้ ซึ่งปัญหาในปัจจุบันเกี่ยวกับรอยตำหนิต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนผลิตภัณฑ์ เช่น ขุยบนเส้นใย และร่องลึกบนเส้นใย เป็นต้น โดยเกิดมาจากการสึกหรอของเข็มทอเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมการสึกหรอของเข็มทอจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง แต่เนื่องจากเข็มทอปัจจุบันมีอายุการใช้งานประมาณ 2 ปี ทำให้การสัมฤทธิ์ผลถึงฐานข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการสึกหรอของเข็มทอนั้นยาวนานมาก จากปัญหาของการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการสึกหรอของเข็มทอนี้ การจำลองสถานการณ์ด้วยการสร้างเครื่องทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM จึงถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดเวลาและการดำเนินงานลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังเช่นงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาที่มีการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบเพื่อจำลองสภาพการทำงานจริงสำหรับการศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ Mondal et al. [1] ออกแบบสร้างเครื่องทดสอบการสึกหรอแบบขัดถู โดยมีสภาวะการทดสอบด้วยแรงกดช่วง 1-7 N, ระยะการเคลื่อนที่ไป-กลับ 108 mm และจำนวนการเคลื่อนที่ไป-กลับ 400 cycles/s เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลเพิ่มธาตุสังกะสี (Zn) ต่อพฤติกรรมการสึกหรอชองโลหะผสมอลูมิเนียม ต่อมาในปี ค.ศ.2008 นั้น Vasquez et al. [2] ดำเนินการออกแบบสร้างเครื่องทดสอบการสึกหรอของวัสดุผสมโพลิเมอร์ตามฐาน ASTM G133-02 ในรูปแบบ Ball-on-Flat โดยกำหนดสภาวะการทดสอบมีสารหล่อลื่นที่ควบคุมอุณหภูมิของสารหล่อลื่น แรงกด 25 N ระยะการเคลื่อนที่ไป-กลับ 10 mm ภายหลังจากนั้น Yousif et al. [3] ทำการออกแบบสร้างเครื่องทดสอบการสึกหรอ โดยประยุกต์ใช้มาตรฐาน ASTM ต่างๆ เกี่ยวกับการทดสอบการสึกหรอ ได้แก่ ASTM G99, ASTM G77 และ ASTM G105 เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จึงนำเอามาตรฐาน ASTM มาประยุกต์ใช้ออกแบบสร้างเครื่องทดสอบการสึกหรอที่

เกิดจากการลื่นไถล (Wear Sliding) ขึ้นมา โดยมีข้อกำหนดที่สำคัญของการออกแบบ คือ การทำงานของเครื่องทดสอบการสึกหรอที่เกิดจากการลื่นไถลจะต้องสอดคล้องกับการทำงานของเครื่องทอจริง และสามารถที่จะกำหนดระดับปัจจัยสำคัญๆ ได้หลากหลายระดับ เพื่อช่วยให้งานวิจัยเกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

2. วิธีการทดลอง



รูปที่ 1 ลักษณะเครื่องทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM

การดำเนินงานวิจัยในส่วนที่ 1 นี้ เป็นการดำเนินการสร้างเครื่องทดสอบความสามารถต้านทานการสึกหรอที่เกิดจากการลื่นไถล จะประกอบด้วยโครงเครื่อง (1), ชุดแกนบรรจุหลอดเส้นใย (2), ชุดปรับความตึงเส้นใย (3), โหลดเซลล์และชุดจับยึดเข็มทอ (4), ชุดปรับระยะห่าง (5), ชุดดึงเส้นใย (6), ชุดควบคุมจำนวนรอบ (7), ชุดตรวจสอบใยขาด (8), มอเตอร์กำลัง (9) และชุดเก็บเส้นใย (10) ซึ่งภาพแนวความคิดเกี่ยวกับโครงร่างของเครื่องทดสอบความสามารถต้านทานการสึกหรอที่เกิดจากการลื่นไถลด้วยการเขียนแบบทางคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1 และเครื่องทดสอบความสามารถต้านทานการสึกหรอที่เกิดจากการลื่นไถลที่ดำเนินการสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 เครื่องทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในการทดสอบการสึกหรอนั้น เริ่มจากการนำชิ้นงานทดสอบ (Specimen) ไปทำความสะอาดแล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดค่าวัดทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นนำชิ้นงานมาจับยึดเข้ากับชุดจับยึดที่ติดอยู่กับโหลดเซลล์ให้ได้ค่าค่าแรงตึงเส้นใย 3 N ตามที่กำหนดไว้ โดยทำให้ปรับระยะด้วยชุดปรับความตึงเส้นใยแล้วจึงเริ่มการทดสอบ โดยดำเนินการทดสอบความสามารถต้านทานการสึกหรอตามแผนการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิคการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Experiment) ที่มีพารามิเตอร์ 2 พารามิเตอร์ ได้แก่ ชนิดวัสดุของชิ้นงานทดสอบ (Specimen) แบ่งออกเป็น 2 ระดับ (Level) นั่นคือ เหล็กสแตนเลสที่ผ่านการฮาร์ดโครม (Stainless Steel-Hardchrome : SS-HC) และเหล็กสแตนเลสที่ไม่ผ่านการฮาร์ดโครม

(Stainless Steel-Unhardchrome : SS-UHC) และระยะเวลาการทดสอบการสึกหรอ (Wear Time) แบ่งออกเป็น 5 ระดับ นั่นคือ 60, 120, 180, 240 และ 300 min แล้วกำหนดให้ผลตอบสนอง (Response) เป็นน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานทดสอบ (Weight Loss) และมีจำนวนชิ้นงานทดสอบซ้ำ (Replicate) อย่างละ 5 ชิ้นต่อชนิดวัสดุของชิ้นงานทดสอบ ผลลัพธ์เชิงสถิติด้วยเทคนิคการทดลองเชิงแฟกทอเรียลทำได้นั้น สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

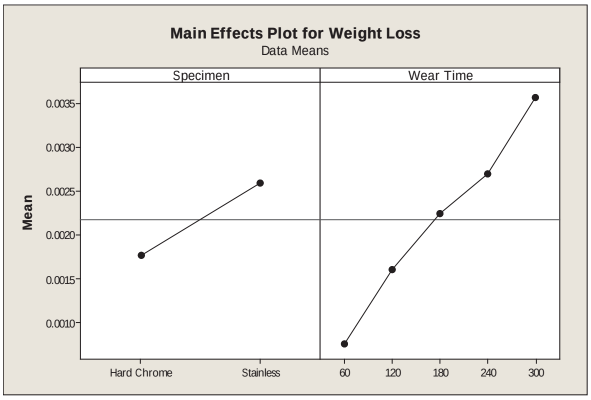
ตารางที่ 1 ผลเชิงสถิติด้วยเทคนิคการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

Source	df	SS	MS	F	P
Specimen (A)	1	0.0000085	0.0000085	474.15	< 0.001
Wear Time (B)	4	0.0000458	0.0000114	639.26	< 0.001
AB	4	0.0000008	0.0000002	11.41	< 0.001
Error	40	0.0000007	< 0.0000001		
Total	49	0.0000558			

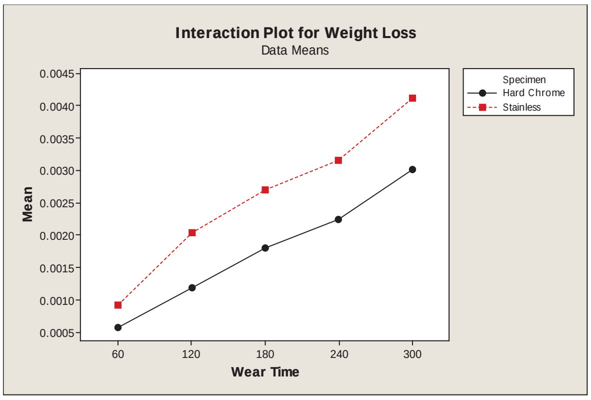
ผลลัพธ์การวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยเทคนิคการทดลองเชิงแฟกทอเรียล พบว่า อิทธิพลหลัก (Main Effect) และผลกระทบร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ (Interaction) ได้แก่ ชนิดวัสดุของชิ้นงานทดสอบ (Specimen) แบ่งออกเป็น 2 ระดับ (Level) นั่นคือ เหล็กสแตนเลสที่ผ่านการฮาร์ดโครม (SS-HC) และเหล็กสแตนเลสที่ไม่ผ่านการฮาร์ดโครม (SS-UHC) และระยะเวลาการทดสอบการสึกหรอ (Wear Time) แบ่งออกเป็น 5 ระดับ นั่นคือ 60, 120, 180, 240 และ 300 min นั้น มีผลต่อน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานทดสอบ (Weight Loss) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้ เมื่อทำการพิจารณาการตรวจสอบที่บ่งชี้เป็นตัวเลขเชิงปริมาณได้จากค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือค่า R^2 (R-square) ซึ่งในกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ R^2 นั้นสามารถประมาณค่าได้จากสมการที่ 1 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ R^2 ของค่าน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานทดสอบ (Weight Loss) ที่ได้มีค่าเท่ากับ 98.72% มีความหมายว่าข้อมูลการทดลองที่เก็บมาจากการดำเนินการทดลองทั้งหมดมีความน่าเชื่อถือสูงมากนั่นเอง [4]

$$R^2 = \frac{Model\ sum\ of\ squares}{Total\ sum\ of\ squares} \quad (1)$$

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์เกี่ยวกับผลลัพธ์เชิงสถิติด้วยเทคนิคการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ได้แก่ อิทธิพลหลักของพารามิเตอร์ และผลกระทบร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับนั้น สำหรับอิทธิพลหลักของพารามิเตอร์จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ ได้แก่ ชนิดวัสดุของชิ้นงานทดสอบ (Specimen) และระยะเวลาการทดสอบการสึกหรอ (Wear Time) จะไม่ขนานกันกับเส้นอ้างอิง (Reference Line) ในแนวแกนนอน (Horizontal Axis) หมายความว่า พารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์มีผลต่อน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานทดสอบ (Weight Loss) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีความสอดคล้องสัมพันธ์กันกับผลลัพธ์เชิงสถิติด้วยเทคนิคการทดลองเชิงแฟกทอเรียลดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 3 อิทธิพลหลักของพารามิเตอร์



รูปที่ 4 ผลกระทบร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์

ในส่วนผลกระทบร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ พบว่าเส้นกราฟผลกระทบร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ ได้แก่ ชนิดวัสดุของชิ้นงานทดสอบ (Specimen) และระยะเวลาการทดสอบการสึกหรอ (Wear Time) มีลักษณะไม่เป็นเส้นกราฟเดียวกัน นั่นคือ ผลกระทบร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์มีผลต่อน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานทดสอบ (Weight Loss) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีความสอดคล้องสัมพันธ์กันกับผลลัพธ์เชิงสถิติด้วยเทคนิคการทดลองเชิงแฟกทอเรียลดังแสดงในตารางที่ 1

สรุปผลการทดลอง

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยเทคนิคการทดลองเชิงแฟกทอเรียล พบว่า ชนิดวัสดุของชิ้นงานทดสอบ (Specimen) และระยะเวลาการทดสอบการสึกหรอ (Wear Time) มีอิทธิพลต่อน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานทดสอบ (Weight Loss) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยบทสรุปจากการวิเคราะห์ดังกล่าวยังบ่งชี้ว่าเหล็กสแตนเลสที่ผ่านการฮาร์ดโครม (SS-HC) จะมีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ (Wear Resistance) ได้ดีกว่าเหล็กสแตนเลสที่ไม่ผ่านการฮาร์ดโครม (SS-UHC) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาเหล็กสแตนเลส (Stainless Steel) ที่ผ่านการชุบเคลือบฮาร์ดโครม (Hardchrome : HC) และไม่ชุบเคลือบฮาร์ดโครม (Unhardchrome : UHC) จะเห็นได้ว่าชิ้นงานทดสอบทั้ง HC และ UHC นั้น จะแปรผันตรงไปตามระยะเวลาการทดสอบการสึกหรอ (Wear Time) โดยมีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression) กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาการทดสอบการสึกหรอ (Wear Time) มีค่าเพิ่มขึ้นแล้ว น้ำหนักที่หายไป (Weight Loss) ของชิ้นงานทดสอบทั้ง HC และ UHC ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการสึกหรออย่างต่อเนื่อง (Continuous) นั่นเอง

4. กิติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ.2559 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Mondal DP, Das S, Rajput V. Effect of zinc concentration and experimental parameters on high stress abrasive wear behaviour of Al–Zn alloys: A factorial design approach. Materials Science and Engineering A 2005; 406: 24-33.

[2] Vasquez H, Lozano K., Soto V., Rocha A. Design of a wear tester for nano-reinforced polymer composites. Measurement 2008; 41: 870-877.

[3] Yousif B F. Design of newly fabricated tribological machine for wear and frictional experiments under dry/wet condition. Materials and Design 2013; 48: 2-13.

[4] Montgomery DC, *Design and Analysis of Experiments.* 5^{th}, John Wiley & Sons, New York, USA; 2004.