

การเพิ่มความทนทานของสปริงสำหรับกระบวนการผลิตเบาะรถยนต์

Enhancing the Durability of Springs for Car Seat Production

พิพัฒน์พงษ์ มาเมือง¹ มโนชัย พรหมโชติวัฒน์² เจษฎา จันทวงษ์โส¹ สุริยพงศ์ นิลสังข์¹ และ พร้อมพงษ์ ปานดี^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

²บริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด

นิคมอุตสาหกรรมบางปู ตำบลแพรกษา อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ 10280

E-mail: phromphong.pan@kmutt.ac.th*

Pipattanapong Mamuang¹, Manochai Promchotiwat², Jessada Juntawongso¹, Suriyaphong Nilsang¹,
and Phromphong Pandee^{1*}

¹Department of Production Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bang Mod, Thung Khru, Bangkok 10140

²NHK Spring (Thailand) Co., Ltd.

Bangpoo Industrial Estate, Phraek Sa, Mueang Samut Prakan, Samutprakarn 10280

E-mail: phromphong.pan@kmutt.ac.th*

Received 23 Apr 2025; Revised 26 May 2025

Accepted 15 Aug 2025; Available online 30 Jun 2026

บทคัดย่อ

เบาะรถยนต์รุ่น A เริ่มผลิตตั้งแต่ปี 2020 และต้องผ่านการทดสอบความทนทาน (Endurance Test) ซึ่งเป็นการจำลองแรงกดจากการลุกนั่งซ้ำ ๆ เพื่อประเมินความแข็งแรงและอายุการใช้งานของเบาะรถยนต์ โดยต้องไม่เกิดความเสียหายก่อนกำหนด 500,000 รอบ อย่างไรก็ตาม ในปี 2024 พบความเสียหายที่บริเวณสปริงช็อกแรก ก่อนกำหนดในการทดสอบ ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของเบาะ จากการวิเคราะห์ปัญหาพบว่า มีหลายปัจจัยที่อาจส่งผลต่อความเสียหายดังกล่าว โดยหลังจากการตรวจสอบเชิงลึก พบว่าสาเหตุหลักมาจากการอบลดความเค้น (Stress-relief Annealing) ที่ไม่เพียงพอ ทำให้เกิดความเค้นตกค้างภายในสปริงช็อกแรก ส่งผลให้วัสดุเกิดความเสียหายก่อนกำหนดในการทดสอบ เพื่อแก้ไขปัญหานี้ ได้มีการปรับปรุงกระบวนการอบลดความเค้นโดยเพิ่มระยะเวลาอบจาก 15 นาที เป็น 20 นาที ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งช่วยให้โครงสร้างภายในของสปริงสามารถคลายความเค้นได้อย่างเหมาะสม ผลการทดสอบหลังการแก้ไขพบว่าสปริงช็อกแรกสามารถผ่านการทดสอบความทนทานได้สำเร็จโดยไม่เกิดความเสียหาย

คำหลัก: กระบวนการอบลดความเค้น การวิเคราะห์ความเสียหาย การทดสอบความทนทาน

Abstract

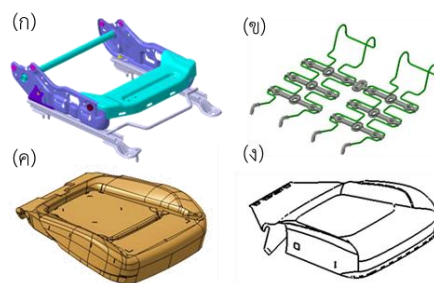
The production of the A-model car seat began in 2020, and it must undergo an Endurance Test, which simulates repeated sitting and standing to evaluate its strength and lifespan. The seat must not sustain damage before the expected durability period at 500,000 cycles. However, in 2024, failures were detected in the zig-zag spring, a critical component of the seat. A thorough analysis identified multiple potential causes of the issue, and an in-depth investigation revealed that the primary cause was insufficient stress-relief annealing. This resulted in residual stress within the zig-zag spring, leading to premature failure during testing. To resolve this problem, the stress-relief annealing process was improved by increasing the heating duration from 15 minutes to 20 minutes at a temperature of 300 °C. This adjustment allowed the internal structure of the spring to release residual stress more effectively. Post-modification testing confirmed that the zig-zag spring successfully passed the endurance test without further damage.

Keywords: Stress-relief Annealing, Failure Analysis, Endurance Test

1. บทนำ

เบาะรถยนต์รุ่น A ได้เริ่มเข้าสู่กระบวนการผลิตตั้งแต่ปี 2020 และเพื่อให้มั่นใจว่าเบาะที่ผลิตออกมามีคุณภาพสูง และสามารถรองรับการใช้งานในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ บริษัทผู้ผลิตจึงได้กำหนดให้มีการทดสอบคุณภาพของเบาะนี้เป็นประจำทุกปี โดยจะดำเนินการทดสอบ 2 ครั้งต่อปี การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความแข็งแรง ความทนทาน และความปลอดภัยของเบาะ รวมถึงการประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีการใช้งานจริง เพื่อให้มั่นใจว่าเบาะสามารถรองรับการใช้งานซ้ำ ๆ โดยไม่เกิดความเสียหายก่อนกำหนด และยังคงรักษาความสะดวกสบายและความปลอดภัยของผู้โดยสารได้ตลอดอายุการใช้งานของรถยนต์

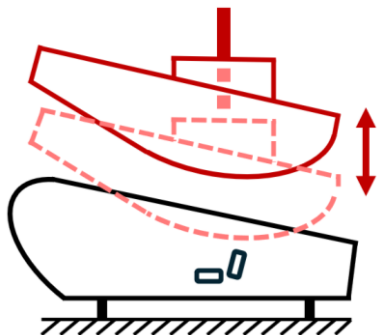
ส่วนประกอบหลักของเบาะรถยนต์รุ่น A มีทั้งหมด 4 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ฐานหลัก (Frame) สปริงซิกแซก (Zig-Zag Spring) ฟองน้ำ (Pad) และเบาะหนัง (Trim Cover) แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งแต่ละส่วนประกอบนี้ มีบทบาทสำคัญในการทำให้เบาะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีอายุการใช้งานที่นาน โดยฐานหลักทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเบาะในการรองรับน้ำหนักและแรงกดจากผู้โดยสาร สปริงซิกแซก ทำหน้าที่ในการกระจายแรงกดและเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับเบาะ ฟองน้ำช่วยเพิ่มความนุ่มสบาย และสุดท้ายเบาะหนังที่ไม่เพียงแต่ทำให้เบาะดูดีและทันสมัย แต่ยังช่วยมีอายุการใช้งานที่นานขึ้น



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเบาะรถยนต์ (ก) ฐานหลัก (ข) สปริงซิกแซก (ค) ฟองน้ำ และ (ง) เบาะหนัง

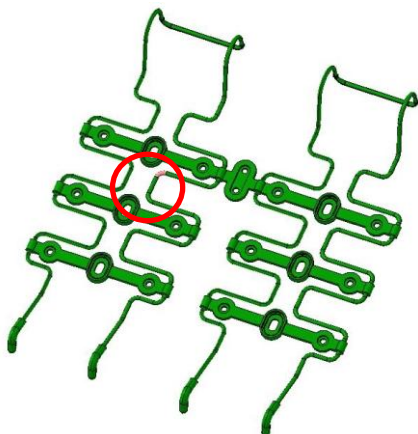
หนึ่งในการทดสอบที่สำคัญคือ การทดสอบความทนทาน (Endurance Test) ซึ่งเป็นการประเมินความแข็งแรง และความสามารถในการทนต่อการสึกหรอจากการนั่งซ้ำ ๆ โดยเลียนแบบสภาวะการใช้งานจริงของผู้ขับและผู้โดยสาร การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่าสปริงและโครงสร้างของเบาะสามารถรองรับแรงกดซ้ำ ๆ ได้โดยไม่เกิดความเสียหายก่อนครบ 500,000 รอบ ซึ่งถือเป็นเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการรับรองความทนทานของเบาะรถยนต์ที่ผู้ผลิตรถยนต์กำหนด การทดสอบดำเนินการโดยใช้เครื่องจำลองแรงกดที่ออกแบบมาโดยเลียนแบบพฤติกรรมของผู้ใช้งานจริง โดยใช้ตุ้มน้ำหนักที่มีค่าตามมาตรฐานกำหนดกดลงบนเบาะในตำแหน่งที่กำหนด แสดงดังรูปที่

2 และดำเนินการทดสอบจนถึงจำนวนรอบที่กำหนด ผลการทดสอบที่ได้แสดงใน ตารางที่ 1 ซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์คุณภาพและอายุการใช้งานของเบาะ นอกจากนี้ ข้อมูลดังกล่าวยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป



รูปที่ 2 การทดสอบความทนทานของเบาะรถยนต์
(Endurance Test)

จากผลการทดสอบในช่วงหลายปีที่ผ่านมา พบว่าเบาะรถยนต์รุ่น A มีความสามารถในการรองรับแรงกดและผ่านการทดสอบความทนทานตามมาตรฐานที่กำหนด อย่างไรก็ตาม ในปี 2024 มีการพบความเสียหายบริเวณ สปริงซิกแซก ดังรูปที่ 3 ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยรองรับน้ำหนักและกระจายแรงกด ทำให้ต้องมีการวิเคราะห์สาเหตุและปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้มั่นใจว่าเบาะสามารถผ่านการทดสอบได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดในอนาคต



รูปที่ 3 การหักของสปริงซิกแซกหลังการทดสอบความทนทานของเบาะรถยนต์

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความทนทานของเบาะรถยนต์รุ่น A ตั้งแต่ปี 2020 ถึง 2024

ปี	ผลการทดสอบครั้งที่ 1	ผลการทดสอบครั้งที่ 2	ผลการทดสอบครั้งที่ 3
2020	ผ่าน	ผ่าน	-
2021	ผ่าน	ผ่าน	-
2022	ผ่าน	ผ่าน	-
2023	ผ่าน	ผ่าน	-
2024	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
Note : เกิดความเสียหายที่ประมาณ 400,000 รอบ			

2. การดำเนินงาน

จากการทดสอบความทนทาน ที่ต้องผ่านจำนวนรอบทำซ้ำ 500,000 รอบ ตามมาตรฐานที่กำหนด ผลการทดสอบที่แสดงใน ตารางที่ 1 พบว่า ตั้งแต่ปี 2020 จนถึงปี 2023 ไม่พบความผิดปกติใด ๆ จากการทดสอบ โดยในแต่ละปีจะมีการทดสอบเบาะ 2 ครั้ง ซึ่งสามารถผ่านการทดสอบได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด แต่ในปี 2024 พบปัญหาความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณชิ้นส่วนสปริงซิกแซกดังรูปที่ 3 หลังจากดำเนินการทดสอบเพื่อยืนยันผลรวมทั้งสิ้น 3 ครั้ง พบว่าสปริงซิกแซก เกิดความเสียหายประมาณรอบที่ 400,000 ซึ่งยังไม่ถึงจำนวนรอบที่กำหนดในการทดสอบ ทำให้ต้องดำเนินการแก้ไขปัญหาดังนี้

2.1 สืบหาสภาพปัญหา

จากการสืบหาสภาพปัญหาปัจจุบัน พบว่ากระบวนการผลิตหลักที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสปริงซิกแซก มี 4 ขั้นตอน ได้แก่

2.1.1 การผลิตลวดที่ใช้ผลิตสปริงซิกแซก

ลวดที่ใช้ในการผลิตสปริงซิกแซก เป็นลวดเหล็กชนิด เหล็กลวดคาร์บอนสูง (Hard Drawn Steel Wire) เกรด SWB (JIS G 3521) [1] เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.6 มิลลิเมตร โดยมีความแข็งแรงทางแรงดึง (Tensile Strength) อยู่ระหว่าง 1370 ถึง 1570 MPa ซึ่งลวดนี้ผลิตโดยผู้ผลิตที่ได้รับการคัดเลือกตามมาตรฐานอุตสาหกรรม เพื่อให้มั่นใจว่าลวดที่ใช้มีสมบัติที่

เหมาะสมกับการผลิตสปริงที่มีความทนทาน

2.1.2 การผลิตสปริงชักแซก

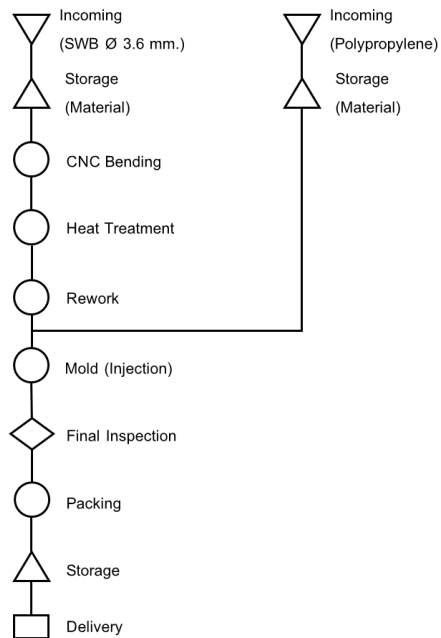
สปริงชักแซกผลิตโดยเริ่มต้นจากการตัดลวดด้วยเครื่องตัด (CNC Bending) เพื่อให้ได้รูปทรงที่ต้องการ หลังจากนั้นจะมีการอบคลายความเค้น (Stress-relief Annealing) เพื่อป้องกันการเกิดความเค้นตกค้างในวัสดุ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการเสียหายจากการทดสอบในระยะยาว ในขั้นตอนสุดท้ายจะมีการฉีดพลาสติกเพื่อประกอบ ดังรูปที่ 4

2.1.3 การประกอบสปริงชักแซกเข้ากับโครงเบาะ

สปริงชักแซกจะผ่านการตรวจสอบต่าง ๆ และประกอบเข้ากับเบาะในสายการประกอบ ชิ้นงานหลังการประกอบสปริงชักแซกเข้ากับโครงเบาะแสดงดังรูปที่ 5

2.1.4 การทดสอบความทนทาน

ในขั้นตอนการทดสอบความทนทานจะมีเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น น้ำหนักกดทับที่ 76 กิโลกรัมแรง ความถี่ 110 รอบต่อนาที ระยะแอมพลิจูดการทดสอบ (Amplitude) 38 มิลลิเมตร มุมบิด (Twist) 21 องศา ความถี่ 10 รอบต่อนาที และจำนวนรอบทำซ้ำ 500,000 รอบ โดยต้องไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น เช่น ผ้าขาด รอยยับมากเกินไปบริเวณของเบาะหนัง หรือความเสียหายต่อโครงสร้างเบาะ การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความแข็งแรงและความทนทานของเบาะในระยะยาว โดยไม่ให้เกิดความเสียหายก่อนที่จำนวนรอบที่กำหนด โดยเป็นการรับแรงล้า (Fatigue) ซึ่งเป็นการรับแรงที่กระทำในรูปแบบรอบ (Cyclic Loading) ที่ทำให้วัสดุหรือชิ้นส่วนเกิดความเสียหายหรือเปลี่ยนรูปจากการรับแรงในระยะยาว

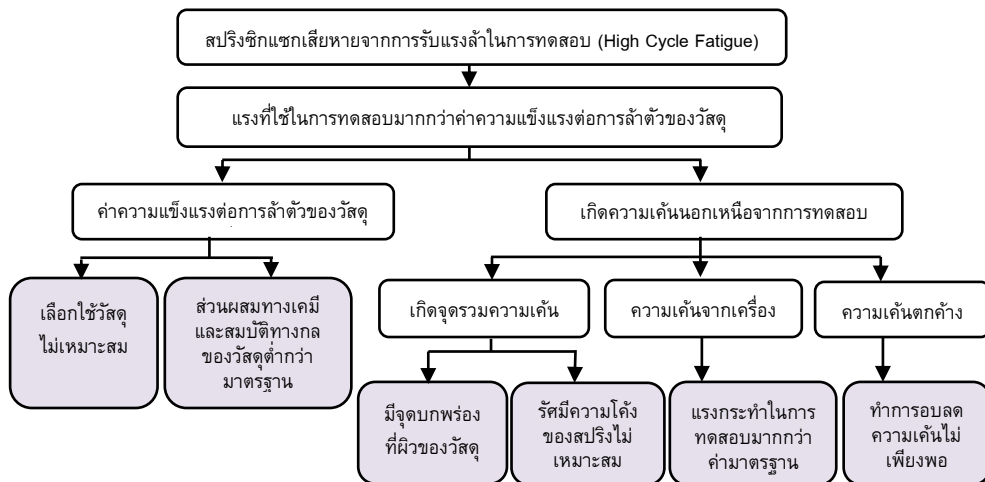


รูปที่ 4 ขั้นตอนการผลิตสปริงชักแซก

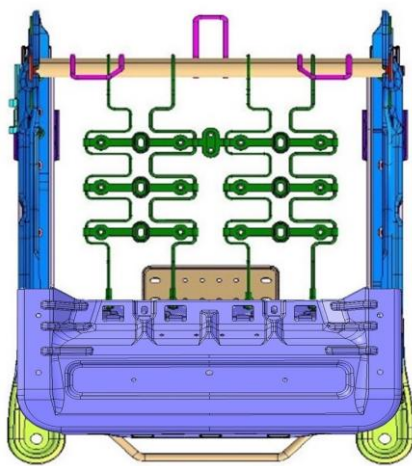
2.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาสปริงชักแซกเกิดความเสียหายจากการทดสอบความทนทาน โดยใช้เครื่องมือ Why-why analysis ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาสาเหตุของปัญหาด้วยการตั้งคำถามว่า "ทำไม" ซ้ำ ๆ เพื่อขุดลึกลงไปหาสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหานั้น ๆ กระบวนการนี้จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือความผิดปกติได้อย่างละเอียดได้ ดังรูปที่ 6

จากรูปที่ 5 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาได้ 6 ข้อ ได้แก่ 1. เลือกใช้วัสดุทำสปริงที่ไม่เหมาะสม 2. สมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ทำสปริงชักแซกต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด 3. สปริงชักแซกมีจุดบกพร่องที่ผิว 4. รัศมีความโค้งของสปริงชักแซกไม่เหมาะสม 5. แรงกระทำที่ใช้ในการทดสอบมากกว่ามาตรฐานกำหนด 6. ทำการอบลดความเค้นไม่เพียงพอ

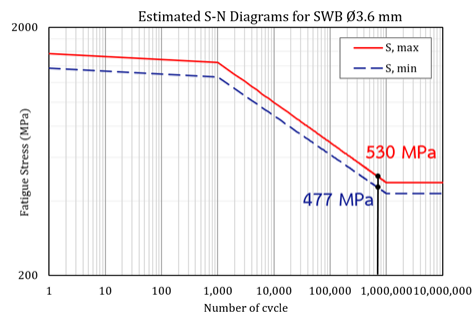


รูปที่ 6 การวิเคราะห์ Why-why analysis เพื่อหาสาเหตุของปัญหาสปริงชกแตกเกิดความเสียหาย



รูปที่ 5 ชิ้นงานหลังการประกอบสปริงชกเข้ากับโครงเบาะ

ชกแตกเมื่อรับความเค้นในการทดสอบ ซึ่งหมายความว่า วัสดุที่ใช้ทำสปริงชก มีความเหมาะสมในแง่ของความทนทานต่อการแตกหัก หรือเสียรูปจากการทดสอบ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การเลือกใช้วัสดุ ไม่มีปัญหา เพราะวัสดุมีความสามารถในการทนทานต่อแรงที่กระทำได้ดีกว่าค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจากการทดสอบ



รูปที่ 7 แผนภาพ S-N ของสปริงที่ระบุการทดสอบ 500,000 รอบ

2.3 พิสูจน์สาเหตุของปัญหา

2.3.1 เลือกใช้วัสดุทำสปริงชกที่ไม่เหมาะสม

การพิจารณาความแข็งแรงต่อการล้าตัว (Fatigue Strength) จากแผนภาพ S-N ซึ่งได้จากข้อมูลการทดลองวัสดุตัวอย่างของบริษัท โดยความแข็งแรงต่อการล้าตัวของวัสดุที่ 500,000 รอบ พบว่า ค่าความแข็งแรงต่อการล้าตัวมีค่า 477 MPa (รูปที่ 7) ซึ่งสูงกว่าค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในกระบวนการทดสอบมีค่าอยู่ที่ 464 MPa โดย รูปที่ 8 แสดงการจำลองการรับแรงของสปริง

2.3.2 ส่วนผสมทางเคมี และสมบัติทางกลของวัสดุต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด

จากเอกสารรับรองสมบัติวัสดุที่ใช้ทำสปริงชก พบว่ามีค่าส่วนผสมทางเคมีอยู่ในช่วงขอบเขตที่กำหนด และค่าความแข็งแรงทางแรงดึงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1500 MPa แต่ในปี 2024 พบว่าวัสดุมีค่าความแข็งแรงทางแรงดึงต่ำที่สุดอยู่ที่ 1413 MPa ซึ่งยังอยู่ในช่วง

ขอบเขตที่กำหนด คือ 1370-1570 MPa แม้ว่าค่าความแข็งแรงทางแรงดึงของวัสดุในปี 2024 จะต่ำกว่าค่าโดยเฉลี่ย แต่ยังคงอยู่ในช่วงขอบเขตที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนด



รูปที่ 8 การจำลองการรับแรงของสปริงช็อกแชก

2.3.3 มีจุดบกพร่องที่ผิวของวัสดุ

จุดบกพร่องที่ผิวของวัสดุหรือชิ้นงานเป็นบริเวณที่ก่อให้เกิดความเข้มข้นของความเค้น (Stress Concentration) สะสมอยู่มากกว่าบริเวณอื่น ๆ จุดบกพร่องเหล่านี้อาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น การขีดข่วน การแตกร้าว การกัดกร่อน หรือแม้กระทั่งข้อผิดพลาดในกระบวนการผลิตที่ไม่สมบูรณ์ จุดบกพร่องเหล่านี้มีผลกระทบที่สำคัญต่อความทนทานของวัสดุ เนื่องจากจะทำให้เกิดการสะสมความเค้นในบริเวณที่บกพร่องมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดการแตกหักหรือเสียหายได้อย่างรวดเร็วเมื่อวัสดุถูกใช้งานภายใต้แรงกดดันหรือลักษณะการใช้งานที่มีการกระทำของแรงล้าหรือแรงที่ซ้ำ ดังนั้น ในกระบวนการประกอบเบาะ หากตรวจพบจุดบกพร่องที่ผิวชิ้นงาน จะดำเนินการส่งคืนชิ้นงานนั้นให้กับผู้ผลิตทันที โดยไม่ให้ชิ้นงานที่มีปัญหานี้ถูกใช้งานต่อไป

2.3.4 รัศมีความโค้งของสปริงช็อกแชกไม่เหมาะสม

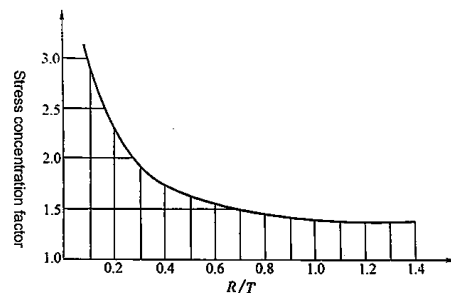
จุดที่มีรัศมีความโค้ง 0 มม. จุดมุม เป็นจุดที่มีความเข้มข้นของความเค้นสะสมอยู่มากกว่าบริเวณอื่น ๆ ของชิ้นงาน ดังรูปที่ 8 เนื่องจากในบริเวณมุมที่มีรัศมีค่อนข้างเล็กจะทำให้เกิดการกระจายตัวของแรงที่กระทำต่อชิ้นงานไม่สมดุล ส่งผลให้เกิดการสะสมความเค้นที่มากขึ้น ณ จุดนั้น ซึ่งอาจทำให้เกิดการแตกหักหรือความเสียหายได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับจุดที่มีการออกแบบให้มีรัศมีโค้งที่ใหญ่กว่า

ในกรณีนี้ระบุว่า รัศมีความโค้ง ณ จุดมุมมีค่าเท่ากับ 7.3 มิลลิเมตร การคำนวณความเค้นที่เกิดขึ้นจากจุดมุมนี้สามารถทำได้โดยใช้ สมการที่ 1 ดังนี้

$$\text{Actual Stress} = \text{Stress Concentration Factor} \times \text{Stress} \quad (1)$$

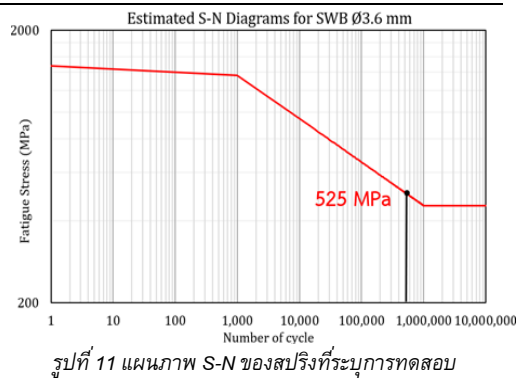
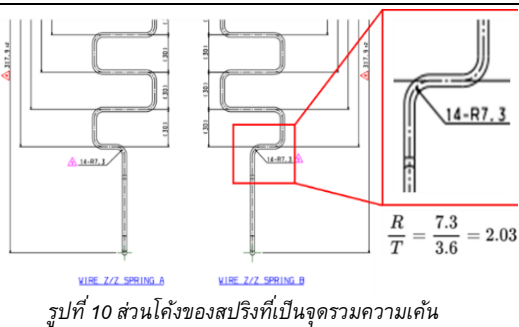
โดยที่ Stress Concentration Factor (K) จะเป็นปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณความเค้นสะสมจากการมีจุดมุมที่มีรัศมีโค้งขนาดเล็ก สมการนี้จะช่วยคำนวณได้ว่าความเค้นที่แท้จริงในจุดมุมจะสูงกว่าค่าความเค้นปกติที่กระทำต่อชิ้นงาน โดย Stress Concentration Factor จะหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ที่แสดงใน รูปที่ 9 [2]

จากกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 9 จะเห็นว่า ค่า Stress Concentration Factor สำหรับรัศมีความโค้ง (R) 7.3 มิลลิเมตร ความหนาสปริง (T) 3.6 มิลลิเมตร (รูปที่ 10) จะมีค่า $R/T = 2.03$ เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์จะได้ค่า Stress Concentration Factor ต่ำกว่า 1.5 ซึ่งหมายความว่า ความเค้นที่เกิดขึ้น ณ จุดมุมนี้จะสูงขึ้น 1.5 เท่าจากค่าความเค้นปกติที่กระทำต่อชิ้นงานทั้งหมด



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress Concentration Factor และ R/T [2]

จากการที่กราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 9 มีลักษณะเป็น Exponential ซึ่งหมายความว่า เมื่อเพิ่มขนาดรัศมีความโค้งขึ้น ค่า Stress Concentration Factor จะลดลงไม่มากนัก ดังนั้น การเพิ่มรัศมีความโค้งที่จุดมุมให้มากขึ้นสามารถช่วยลดการสะสมความเค้นได้ แต่การเพิ่มรัศมีในระดับที่สูงขึ้นในกรณีนี้อาจไม่ทำให้ค่า Stress Concentration Factor ลดลงมากนัก



2.3.5 แรงกระทำที่ใช้ในการทดสอบมากกว่ามาตรฐานกำหนด

จากการตรวจสอบ พบว่ามีการตรวจเช็คเครื่องทดสอบอย่างสม่ำเสมอผ่านใบตรวจสอบรายวัน (Daily Check Sheet) และสามารถสอบกลับการทดสอบได้ นั่นคือเครื่องทดสอบออกแรงกระทำเป็นไปตามที่กำหนดตามมาตรฐานที่ตั้งไว้

2.3.6 ทำการอบลดความเค้นไม่เพียงพอ

สปริงซิกแซกที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยการดัดจะมีความเค้นตกค้างภายในชิ้นงาน ปัจจุบันมีการอบลดความเค้น (Stress-relief Annealing) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อต้องการพิสูจน์ว่ามีการอบลดความเค้นเพียงพอหรือไม่ จึงต้องคำนวณหาว่าปัจจุบันมีความเค้นตกค้างหลงเหลือจากกระบวนการอบหรือไม่ โดยใช้ผลต่างของความแข็งแรงต่อการล้าตัว (Fatigue Strength) ที่เกิดความเสียหาย (400,000 รอบ) และความเค้นสูงสุด (Maximum stress) ดังสมการที่ 2

$$\text{Residual stress} = \text{Fatigue strength} - \text{Maximum stress} \quad (2)$$

ความแข็งแรงต่อการล้าตัว ที่เกิดความเสียหายจากการทดสอบ 400,000 รอบ คือ 525 MPa (รูปที่ 11) ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการทดสอบคือ 464 MPa (รูปที่ 7) จากการคำนวณพบว่า ค่าความเค้นตกค้างที่หลงเหลืออยู่ในสปริงซิกแซกหลังจากการอบลดความเค้น คือ 60 MPa

ดังนั้นการอบลดความเค้น ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ช่วยลดการสะสมของความเค้นภายในชิ้นงานได้ แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีความเค้นตกค้างที่เหลืออยู่ที่ประมาณ 60 MPa ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการอบลดความเค้นในกระบวนการปัจจุบันไม่สามารถขจัดความเค้นตกค้างทั้งหมดออกไปได้ ความเค้นตกค้างในวัสดุจะส่งผลต่อความแข็งแรงทางแรงดึงของวัสดุ [3, 4] จากข้อมูลพบว่า ค่าความแข็งแรงทางแรงดึงของสปริงซิกแซกหลังจากการอบลดความเค้นมีค่าเป็น 1480 MPa ซึ่งเพิ่มขึ้นจากชิ้นงานก่อนการอบลดความเค้น (1413 MPa)

2.4 กำหนดมาตรการตอบโต้

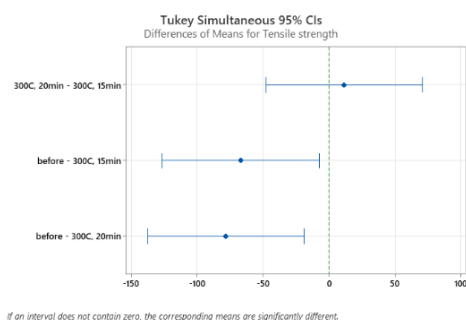
จากการพิสูจน์สาเหตุของปัญหาพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้น คือ การอบลดความเค้นไม่มากพอ ซึ่งจากการสำรวจข้อมูลที่ผ่านมาพบว่า ในปี 2020 ถึง 2023 ลวดที่นำมาใช้ในการผลิตสปริงซิกแซกมีค่าความแข็งแรงทางแรงดึงที่สูงจึงเป็นเหตุให้ความเค้นตกค้างในวัสดุไม่ส่งผลต่อการทดสอบความทนทาน แต่อย่างไรก็ตามปี 2024 ลวดมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ลดต่ำลงจากเดิม แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์กำหนด ทำให้ค่าความเค้นตกค้างในสปริงซิกแซกส่งผลต่อการทดสอบความทนทาน

ตารางที่ 2 อุณหภูมิ และเวลาในการอบลดความเค้นที่เหมาะสม

วัสดุ	เวลา	อุณหภูมิ
SWB	30 นาที	232 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 ความแข็งแรงทางแรงดึงของสปริงก่อนและหลังการอบลดความเค้นตกค้าง

ก่อนการอบ	300 องศาเซลเซียส 15 นาที	300 องศาเซลเซียส 20 นาที
1413 ± 10 MPa	1480 ± 4 MPa	1492 ± 17 MPa



รูปที่ 12 Tukey Pairwise Comparisons

จากงานวิจัยของ L.C. Canale และคณะ [5] แสดงอุณหภูมิ และเวลาในการอบลดความเค้นที่เหมาะสม ดังตารางที่ 2 พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ออบลดความเค้นปัจจุบันมากกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมแล้ว แต่อย่างไรก็ตามเวลายังสามารถปรับเพิ่มได้ ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการปรับเพิ่มเวลาในการอบลดความเค้น โดยเพิ่มเวลาในการอบจากเดิม 15 นาที เป็น 20 นาที ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และทดสอบความต้านทานแรงดึงด้วยความเร็ว 10 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละการทดลอง ดังตารางที่ 3 และใช้ ANOVA วิเคราะห์ความแปรปรวน จากนั้นใช้ Tukey Pairwise Comparisons เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มหลายกลุ่ม จากการทดสอบพบว่า ค่าความแข็งแรงทางแรงดึงเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดงดังรูปที่ 12

2.5 ติดตามผลและประเมินผลการแก้ไขปัญหา

จากการกำหนดมาตรการตอบโต้เพื่อแก้ไขปัญหาความเสียหายของสปริงช็อกในการทดสอบความทนทานของเบาะรถยนต์ ได้มีการปรับปรุงกระบวนการอบลดความเค้นของสปริงก่อนการประกอบ โดยเพิ่มเวลาอบจาก 15 นาที เป็น 20 นาที ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เพื่อช่วยลดความเค้นตกค้างที่สะสมอยู่ในชิ้นงานสปริงช็อกหลังกระบวนการจัดตั้ง นอกจากนี้ยังได้เพิ่มเงื่อนไขการทดสอบความทนทานจาก 500,000 รอบเป็น 600,000 รอบ คิดเป็น Safety Factor ร้อยละ 20 เพื่อเพิ่มความมั่นใจในการทดสอบความทนทานของสปริงช็อก ผลการทดสอบความทนทานของเบาะรถยนต์หลังการปรับปรุงทั้ง 3 ครั้งพบว่าเบาะรถยนต์สามารถผ่านการทดสอบได้ครบ 600,000 รอบ โดยไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น ซึ่งยืนยันได้ว่าการปรับเพิ่มเวลาในกระบวนการอบลดความเค้นสามารถช่วยลดความเค้นตกค้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของสปริงช็อกแซกได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้มีการกำหนดมาตรฐานใหม่ให้ใช้เวลาอบลดความเค้นที่ 20 นาที ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มความทนทานและลดโอกาสเกิดความเสียหายจากแรงล้าในการใช้งานระยะยาว

3. สรุป

ผลการวิจัยพบว่าสาเหตุหลักของปัญหาความเสียหายของสปริงช็อกในการทดสอบความทนทานเกิดจากความเค้นตกค้างที่ยังคงหลงเหลืออยู่ภายในชิ้นงาน เนื่องจากระยะเวลาในการอบลดความเค้นไม่เพียงพอ โดยในกระบวนการเดิมทำการอบลดความเค้นที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที พบว่าสปริงช็อกเกิดความเสียหายก่อนถึง 500,000 รอบในการทดสอบรับแรง หลังจากการปรับปรุงกระบวนการโดย เพิ่มเวลาอบเป็น 20 นาที ที่อุณหภูมิเดิมที่ 300 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถลดความเค้นตกค้างลงได้ ส่งผลให้ สปริงช็อกแซกผ่านการทดสอบรับแรงได้ถึง 600,000 รอบ โดยไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานการทำงานใหม่ โดยให้ใช้เวลาอบลดความเค้นที่ 20 นาที ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มความทนทานของสปริงช็อก และ

ลดโอกาสการเกิดความเสียหายจากการรับแรงล้าในการใช้งานระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการสหกิจศึกษา ภายใต้การดำเนินงานของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คณะผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างยิ่งต่อบริษัท เอ็นเอชเค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด (สาขาบางปู) ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลและความร่วมมือในการศึกษาและจัดทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Japanese Standards Association. JIS G 3521:2015 Steel Wire for General Industrial Use – Specifications for Carbon Steel Wire for Hard-Drawn Wire. Japanese Industrial Standards (JIS). 2015.
- [2] Budynas R.G., Nisbett. J.K. Shigley's Mechanical Engineering Design. Vol. 9. New York. McGraw-Hill. 2011.
- [3] Joung S.W., Kang U.G., Hong S.P., Kim Y.W., Nam W.J. Aging Behavior and Delamination in Cold Drawn and Post-Deformation Annealed Hyper-Eutectoid Steel Wires. Materials Science and Engineering: A. 2013; 586: 171-177.

- [4] Takahashi J., Kosaka M., Kawakami K., Tarui T. Change in Carbon State by Low-Temperature Aging in Heavily Drawn Pearlitic Steel Wires. Acta Materialia. 2012; 60(1): 387-395.
- [5] Canale L.C., Penha R.N., Totten G.E., Canale A.C., Gasparini M.R. Overview of Factors Contributing to Steel Spring Performance and Failure. International Journal of Microstructure and Materials Properties, 2007; 2(3-4): 262-309.