

## การวิเคราะห์พฤติกรรมการความล้าของเพลารองในรถปิ๊กอัพ

### Analytical on Fatigue Behavior of Counter Shaft in Pick-Up Car

อภิวัฒน์ ฐิติวัฒน์วรจจี, ประเสริฐ เสกกกล้า\*, ดนุสรณ์ เหลียงพานิช และ กฤษณะ นามโยธา

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

248 ซอย เพชรเกษม 110 แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160

Apiwat Thitiwatworarujee, Prasoet Sekkla\*, Danusorn Leangpanich and Krisana Namyotha

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thonburi University,

248 Soi Phetkasem 110, Nong Khang Phlu Subdistrict, Nong Khaem District, Bangkok 10160, Thailand

\*Corresponding author Email: Prasoet.sekkla@effem.com

(Received: May 25, 2025 / Revised: December 17, 2025 / Accepted: December 21, 2025)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินอายุความล้าในเพลารองภายใต้ความเค้นสลับ (Cyclic load) ของเหล็กกล้า SCM420 โดยมุ่งเน้นศึกษาชิ้นงานทดสอบที่ได้จากตัวอย่างเพลารองในรถยนต์ที่ผ่านการใช้งานและเพลาใหม่ ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความล้าแบบ R.R. Moore ชิ้นงานทดสอบมีทั้งหมด 5 ชิ้น ขนาดความยาว 90 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. กำหนดให้ภาระที่กระทำแตกต่างกันตามลูกตุ้มน้ำหนัก 5 ระดับ คือ 60 80 100 120 และ 140 N ผลการทดสอบพบว่ากราฟมีลักษณะลดลงเป็นเส้นโค้ง จำนวนรอบที่นับได้สูงสุดของเพลาเก่าที่ผ่านการใช้งานอยู่ที่ 2,618, 628 รอบ และจำนวนรอบที่นับได้สูงสุดของเพลาใหม่อยู่ที่ 4,158,674 รอบ โดยใช้น้ำหนักถ่วงเท่ากัน คือ 60 N เมื่อเปรียบเทียบจะมีอายุการใช้งานแตกต่างกันถึง 10 เท่า สรุปได้ว่าเมื่อลดระดับความเค้นที่กระทำต่อชิ้นทดสอบให้น้อยลง อายุการล้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยเป็นไปตามลักษณะเส้น S-N Curve และผลลัพธ์ของการประเมินอายุความล้าจากการทดสอบด้วยเครื่องแบบ R.R. Moore นำมาเปรียบเทียบกับผลของการจำลองเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม Ansys ปรากฏว่าอัตราการประเมินด้วยโปรแกรม Ansys สูงกว่าการทดลองประมาณ 5%

**คำสำคัญ:** เหล็ก SCM420 อายุการล้า เพลารอง โปรแกรม Ansys

#### Abstract

This aims of this research to the fatigue life evaluation of counter shafts under cyclic load of SCM420 steel. The focus is on the study of test specimens from old and new secondary shafts of automobiles. The tests were conducted using an R.R. Moore fatigue testing machine. There were tests for 5 specimens, each with a length of 90 mm and a diameter of 8 mm, and the loads were different according to five pendulum weights: 60, 80, 100, 120, and 140 N. The test results showed that the S-N Curve were in a decreasing curve. The maximum counted fatigue life of the old shafts were 2,618, 628 cycles, and the maximum counted fatigue life of the new shafts were 4,158,674 cycles, using the same counterweight of 60 N. When compared the fatigue life was different by 10 times. It can be concluded that when the stress level applied to the test pieces was reduced, Fatigue life will increase along the S-N Curve and the fatigue life evaluation results from R.R. Moore test were compared with the results of numerical simulation using Ansys program. It was found that the evaluation rate of Ansys program was higher than the experiment by about 5%.

**Keywords:** SCM420 steel, Fatigue life, Counter shaft, Ansys

## 1. บทนำ

เหล็กกล้า SCM 420 เป็นกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon steel) ที่มีความสามารถในการชุบแข็งสูง มีความเปราะเมื่ออุณหภูมิสูง การเชื่อมที่ดี คุณสมบัติการลึงที่ดี และการยึดตัวเมื่อเย็นที่เยี่ยม โดยทั่วไปจะใช้สำหรับทำชิ้นส่วนที่ต้องการความต้านทานการลึงหรือสูง เช่น เกียร์ เฟลา ท่อแรงดันสูง และอุปกรณ์ยึดทุกประเภท

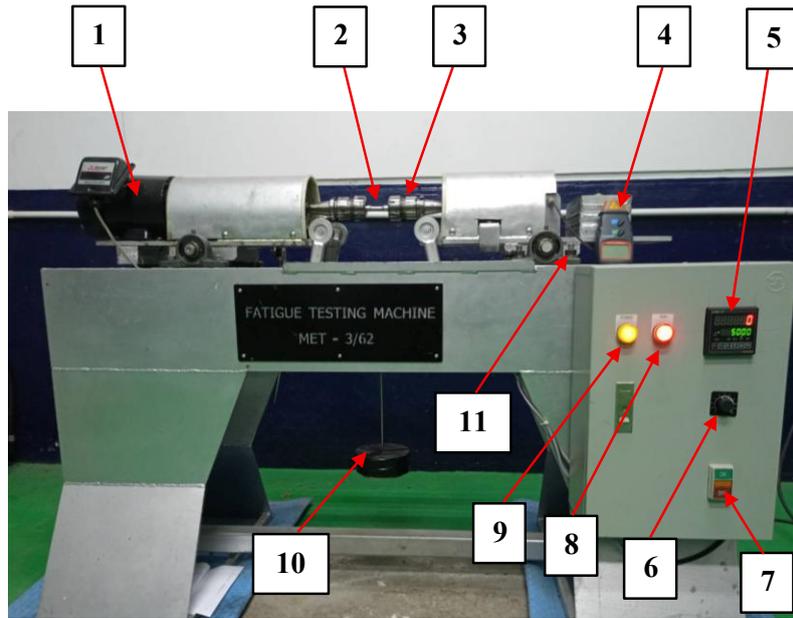
เฟลาเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องจักรที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม การส่งแรงบิดในระยะทางที่กำหนดไว้ใน การออกแบบ โดยทั่วไปที่มักได้รับการแก้ไขด้วยการใช้เฟลาที่ทำจากเหล็กกล้า เมื่อมีการใช้งานเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องจักร เฟลาจะต้องอยู่ภายใต้การรับโหลดแบบไดนามิกที่มีลักษณะซับซ้อน โดยทั่วไปแล้วการรับโหลดของเฟลาจะอยู่ภายใต้แรงบิด และความเค้นดัดร่วมกับความเข้มข้นของความเค้นในระดับต่าง ๆ สำหรับเฟลาของปัญหาที่พบบ่อยคือโหลดที่เกิดจากความล่าช้า ความเสียหายของชิ้นส่วนเฟลาทำให้นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรมีความพยายามที่จะศึกษาพร้อมทั้งค้นหาสาเหตุหลักของการแตกหักของเฟลาและเสนอวิธีการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น



รูปที่ 1 ลักษณะของเฟลาของใหม่และเฟลาของที่เสียหาย

งานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา มีนักวิจัยที่ทำการศึกษาความเสียหายเนื่องจากความล่าช้าของเฟลาซึ่งดังรายละเอียดต่อไปนี้ [1] ทำการศึกษาเรื่องความเค้นดัดที่ความเร็วรอบสูงและพฤติกรรมการแตกหักของเหล็กหล่อเหนียว EN-GJS700-2 ที่ใช้ในเฟลาข้อเหวี่ยง โดยตรวจสอบรอยแตกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากนั้นผลลัพธ์ที่ได้รับบ่งชี้ว่าอายุการใช้งานของเฟลาด้วยเส้นโค้ง S-N จากข้อมูลของ FEMFAT เนื่องจากตัวอย่างชิ้นงานมาตรฐานได้จากเฟลาข้อเหวี่ยงเพื่อพิจารณาผลกระทบที่มีต่อการผลิต การวิเคราะห์ความเสียหายจะสังเกตเห็นความแตกต่างของรูปร่างรอยร้าวที่เกิดจาก Cyclic load การหลอกร้อนของกราไฟต์จากเมทริกซ์เฟอร์ริติก - เฟอร์ลิติก (เป็นหลักฐานของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบพลาสติก) รอยแตกขนาดเล็กและรอยแตกทุติยภูมิ (ใกล้กับกราไฟต์ที่เป็นก้อนกลม) รอยแยก (เนื่องจากการแตกหักที่เปราะ) รอยขีดข่วน (อันเป็นผลมาจากแรงเสียดทานระหว่างสองพื้นผิวที่แตกหัก) และสารฝังใน [2] ทำการศึกษาพฤติกรรมความล่าช้าของเฟลาในเทอร์โบชาร์จเจอร์ในรถดีเซลที่ใช้ในงานเหมือง จากการศึกษพบว่าสาเหตุหลักของความเสียหายคือความล่าช้าที่เกิดจากการรับโหลดแบบซ้ำไปซ้ำมา อายุการใช้งานจากความล่าช้าของเฟลาที่รับโหลดแบบความเค้นดัดนั้นถูกประเมินโดยการวิเคราะห์ตามเกณฑ์ของ Goodman และ Gerber ตามมาตรฐานของ ASME โดยใช้สมการของ Elliptic และ Soderberg การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์มีการใช้ซอฟต์แวร์ MSC Fatigue ผลการทดลองจากการรับโหลดแบบซ้ำไปซ้ำมาซึ่งเป็นผลการรับแรงบิดแบบโหลดคงที่ที่เกิดกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่เปลี่ยนแปลงต่ออายุความล่าช้าของเฟลาภายใต้ความเค้นดัดแบบกลับไปกลับมา [3] ได้ทำการประเมินค่าความคลาดเคลื่อนของความแข็งแรงต่อความล่าช้าของเฟลาในสภาวะความล่าช้าแบบที่รอบดัดสูง โดยทำการทดสอบเชิงทดลองกับเฟลาตัวอย่างเพื่อหาค่าความผันแปรของความแข็งแรงต่อความล่าช้า ได้มีการพัฒนารูปแบบจำลองเชิงความน่าจะเป็นที่พิจารณาการแตกหักของเหล็กกล้าชุบแข็งและอบคืนตัวจากทั้งพื้นผิวและภายใน ดังนั้น จึงได้สร้างแบบจำลองทางสถิติของพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อความผันแปร พารามิเตอร์เหล่านี้ทำหน้าที่เป็นข้อมูลป้อนเข้าในวิธีการหาความแข็งแรงเฉพาะที่สำหรับกลไกการแตกหัก โดยใช้การจำลองแบบมอนเตคาร์โล สามารถสร้างเฟลาแบบสุ่มได้ เฟลาที่สร้าง

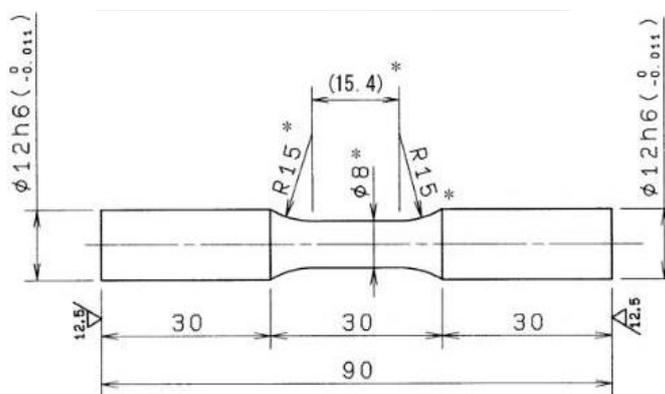




รูปที่ 2 เครื่องทดสอบความล้าแบบ R. R. Moore ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบความล้าแบบ R. R. Moore

ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์	ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์
1	มอเตอร์ทดสอบ	7	ปุ่ม Start, Stop
2	ชิ้นงานทดสอบ	8	หลอดแสดงเครื่องกำลังทำงาน
3	หัวจับชิ้นงานทดสอบ	9	หลอดแสดงเครื่องหยุดทำงาน
4	เครื่องวัดความเร็วรอบ	10	ลูกต้อน้ำหนัก
5	มาตรวัดจำนวนรอบ	11	Limit switch
6	สวิตช์ควบคุมความเร็วรอบ		



รูปที่ 3 ขนาดของชิ้นงานทดสอบความล้า

2.4 การประเมินความล้าด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การประเมินความล้าด้วยโปรแกรม Ansys จะทำควบคู่ไปกับการวิเคราะห์การตัด ( $\sigma_d$ ) และโมเมนต์บิด ( $M_o$ ) ตามหลักเกณฑ์การออกแบบของกูดแมน (DE-Goodman) ผลของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเค้นที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐานของกูดแมน การจำลองเชิงตัวเลขจะเริ่มจากการใช้โปรแกรม Solid Works 2016 ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ หลังจากนั้นจะนำไปแปลงลงในโปรแกรม Ansys โดยกำหนดคุณสมบัติของวัสดุเพลลาที่ใช้เทียบกับ SCM 420 ซึ่งใช้ค่าความหนาแน่นเท่ากับ  $7850 \text{ kg/m}^3$  และ อัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.29 [6] แบบจำลองการทำงานของเมชที่สร้างขึ้นด้วยเอลิเมนต์ชนิดรูปทรงสี่เหลี่ยมหน้าขนาด 1 mm มีจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมด 104 เอลิเมนต์ จำนวนโหนดเท่ากับ 7,118 โหนด และองศาความเป็นอิสระในการเคลื่อนที่ (Degrees of freedom , DOF) เท่ากับ 1,601 ถูกเลือกสำหรับการควบคุมเมช แต่ละโหนดมี DOF เคลื่อนที่ไปตามทิศทางของแกน x, y และ z เท่านั้น รวมทั้งใช้ค่าของแรงบิดเท่ากับ 140 N-m ในการจำลองเชิงตัวเลขกับชิ้นงานตามแบบของชิ้นงานตัวอย่างที่ต้องรับแรงบิด [7]

### 3. ผลการทดลอง

#### 3.1 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

การตรวจสอบสมบัติทางเคมีของเพลลาองโดยใช้เครื่อง Optical emission spectrometer: ARL 3460 ผลที่ได้ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบทางเคมีของเพลลาองที่เสียหายอยู่ในค่ามาตรฐานของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SCM 420 ที่มีโครเมียม-โมลิบดีนัมเป็นส่วนผสมสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 2

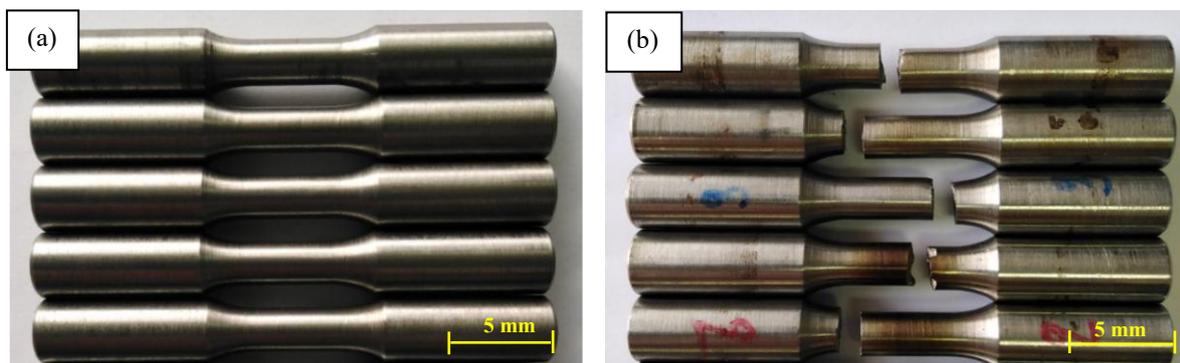
ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบทางเคมีของเพลลาอง SCM 420 steel (%wt)

Materials	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Fe
Failed shaft	0.394	0.228	0.791	0.0201	0.0124	1.08	0.152	Balance
SCM 420 [8]	0.38-0.43	0.15-0.35	0.60-0.90	$\leq 0.030$	$\leq 0.030$	0.90-1.20	0.15-0.30	Balance

#### 3.2 การทดสอบความล้าด้วยเครื่องทดสอบความล้าเป็นแบบ R.R. Moore

การศึกษาผลกระทบของภาระที่ใช้ในการทดสอบจะปรับเปลี่ยนค่าที่แตกต่างกันคือตั้งแต่ 60 80 100 120 และ 140 N ตามลำดับ โดยใช้ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 1725 rpm วัสดุที่นำมาทดสอบคือเหล็กกล้าคาร์บอน SCM 420 ที่ได้มาจากตัวอย่างของเพลลาเก่าที่ผ่านการใช้งานและเพลลาใหม่

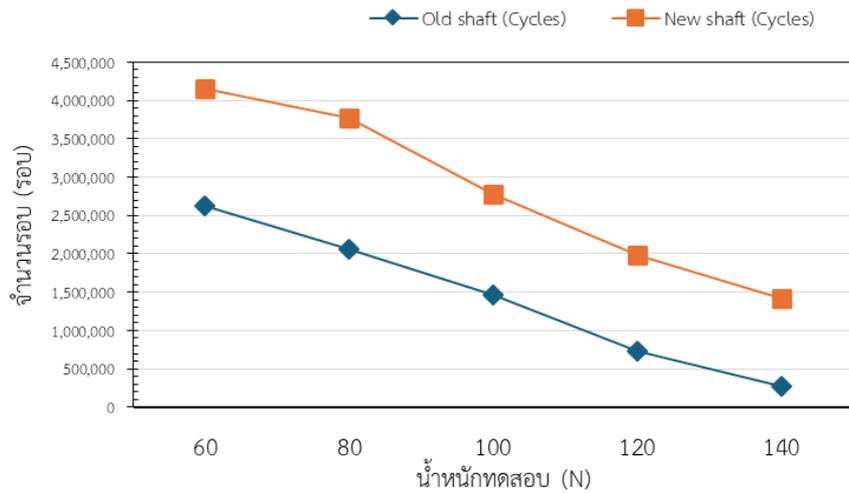
ผลของการทดลองด้วยเครื่องทดสอบความล้าในตัวอย่างชิ้นงานเพลลาทั้ง 5 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 4 เป็นภาพตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ทดลองทั้งก่อนและหลังในการทดลองนี้ และค่าอายุการล้าของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความล้าของเพลลาเก่าที่ผ่านการใช้งานและเพลลาใหม่ ได้ค่าออกมาดังแสดงในตารางที่ 3 และสามารถนำมาเขียนกราฟ S-N ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 เหล็ก SCM420 ใช้ทดสอบความล้า (a) ชิ้นงานก่อนการทดสอบ (b) ชิ้นงานหลังการทดลอง

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการทดสอบความล้าเพลาก่า และเพลานำใหม่ของวัสดุเหล็ก SCM420

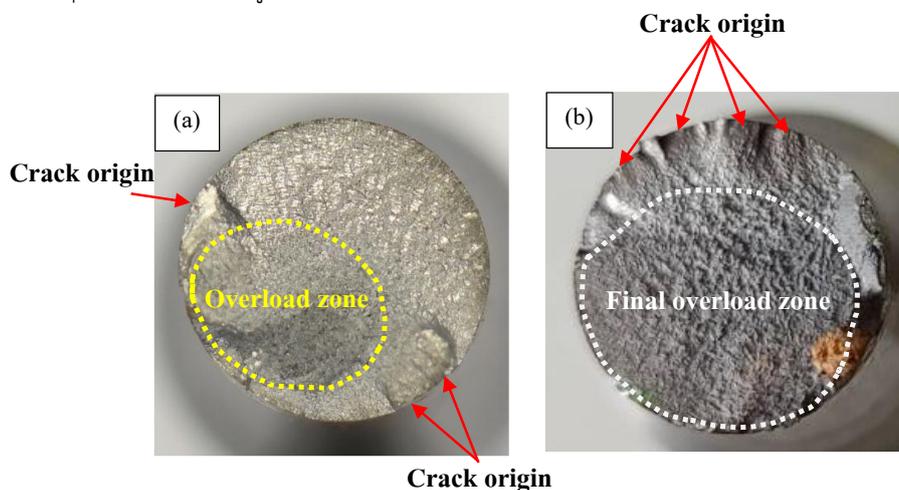
ลำดับ	Load (N)	Old shaft (Cycles)	New shaft (Cycles)
1	60	2,618, 628	4,158,674
2	80	2,061,955	3,771,147
3	100	1,460,842	2,785,945
4	120	729,637	1,989,185
5	140	268,594	1,412,425



รูปที่ 5 เปรียบเทียบผลทดสอบความล้าของ เหล็ก SCM420 ในเพลาก่า และเพลานำใหม่

ผลการทดลองเพื่อประเมินหาอายุของความล้าของวัสดุภายใต้ความเค้นสลับ (Cyclic load) ของเหล็ก SCM420 จะทำการทดลองขึ้นงานทั้งหมด 5 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 5 จะสังเกตเห็นว่าแนวโน้มของกราฟมีลักษณะลดลงเป็นเส้นโค้ง การทดลองแต่ละครั้งจะลดน้ำหนักถ่วงลงทีละ 20 N พบว่าโดยจำนวนรอบที่นับได้สูงที่สุดของเพลาก่าที่ผ่านการใช้งานอยู่ที่ 2,618, 628 รอบ ใช้น้ำหนักถ่วงเท่ากับ 60 N และจำนวนรอบที่นับได้น้อยที่สุดอยู่ที่ 268,594 รอบ ใช้น้ำหนักถ่วงเท่ากับ 140 N

ในทำนองเดียวกันจำนวนรอบที่นับได้สูงที่สุดของเพลานำใหม่ที่ 4,158,674 รอบ ใช้น้ำหนักถ่วงเท่ากับ 60 N และจำนวนรอบที่นับได้น้อยที่สุดอยู่ที่ 1,412,425รอบ ใช้น้ำหนักถ่วงเท่ากับ 140 N เมื่อนำจำนวนรอบในการทดสอบความล้าของเพลาทั้ง 2 แบบมาเปรียบเทียบจะมีค่าแตกต่างกันถึง 10 เท่า จากการทดลองสรุปได้ว่าเมื่อลดระดับความเค้นที่กระทำต่อชิ้นทดสอบให้น้อยลง อายุการล้าจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยเป็นไปตามลักษณะของเส้นโค้ง S-N

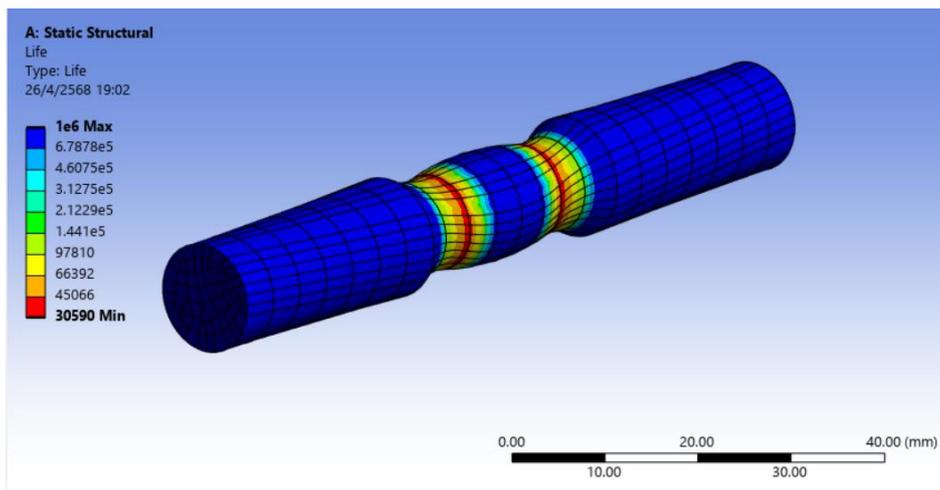


รูปที่ 6 ลักษณะรอยแตกของชิ้นงาน (a) เพลาก่าที่ผ่านการใช้งาน (b) เพลานำใหม่

การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายของลักษณะการแตกหักจากความล้าในการตัดแบบหมุน ผิวหน้ารอยแตกหักของเพลากล้าที่ผ่านการใช้งานและเพลาลูกใหม่ดังรูปที่ 6 จะสังเกตเห็นได้ว่าจะมีลักษณะที่คล้ายกัน แสดงให้เห็นจุดเริ่มต้นของรอยแตกหรือ crack origin เกิดขึ้นหลายจุด จากนั้นรอยแตกจะขยายตัวอย่างช้าๆ ผ่านพื้นที่ fatigue zone หรือบริเวณที่ได้รับความเสียหายจากการรับแรงแบบคyclic ซ้ำไปซ้ำมา ในช่วงระหว่างการขยายตัวของรอยแตกอย่างช้าๆ จะมีความผันแปรของแรงที่กระทำและมีผลต่ออัตราการขยายตัวของรอยแตก มีลักษณะเป็นแบบ beach marks ซึ่งเป็นแนวเส้นที่แสดงลักษณะการขยายตัวของรอยแตก เมื่อรอยแตกขยายตัวไปได้ระยะหนึ่งจะทำให้วัสดุเหลือพื้นที่ในการรับแรงน้อย และทำให้เกิดเป็นพื้นที่รับแรงเกินพิกัด (Final overload zone)

### 3.3 การเปรียบเทียบผลประเมินอายุของความล้าด้วยเครื่องทดสอบและโปรแกรม Ansys

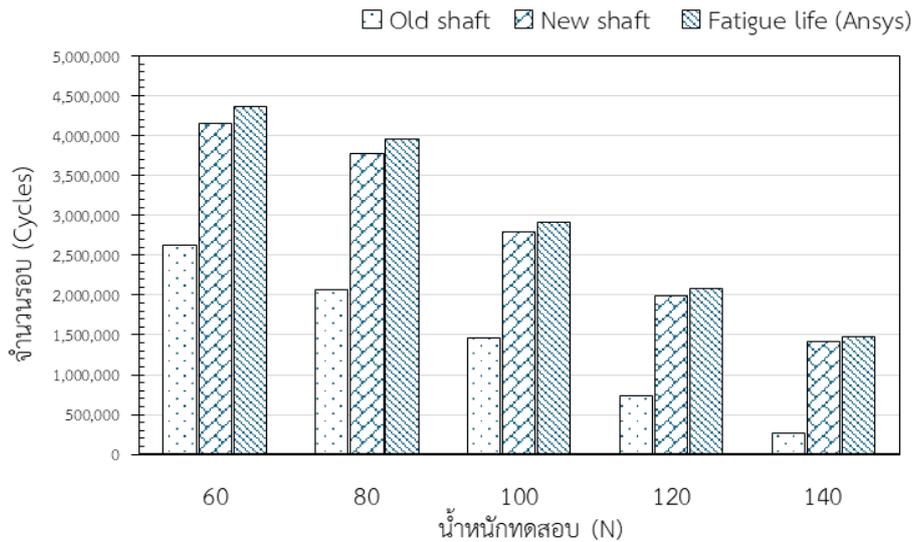
การจำลองเชิงตัวเลขที่สอดคล้องกับการทดสอบความล้าของเพลากล้าที่ผ่านการใช้งานและเพลาลูกใหม่ที่รายงานข้างต้นดำเนินการโดยใช้โปรแกรม ANSYS ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาคือค่าพิกัดความล้า (Endurance Limit) ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งแถบสีจะเป็นจำนวนอายุของความล้า บริเวณพื้นที่สีแดงมีจำนวนรอบต่ำสุด 30,590 รอบ บริเวณพื้นที่สีเหลืองมีจำนวนรอบ 66,392 รอบ บริเวณพื้นที่สีเขียวมีจำนวนรอบ 144,100 รอบ บริเวณพื้นที่สีฟ้ามีจำนวนรอบ 460,750 รอบ และบริเวณพื้นที่สีน้ำเงินมีจำนวนรอบสูงสุด 1,000,000 รอบ เมื่อมีการนำผลลัพธ์ของการประเมินอายุความล้าจากการทดสอบด้วยเครื่องแบบ R.R. Moore ในเพลาลูกใหม่มาเปรียบเทียบกับผลของการจำลองเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม ANSYS ปรากฏว่าอัตราการประเมินของ ANSYS สูงกว่าการทดลองประมาณ 5% ซึ่งสมเหตุสมผล ตารางที่ 4 และกราฟในรูปที่ 8 เป็นผลการประเมินอายุความล้าทั้ง 3 แบบ



รูปที่ 7 ค่าพิกัดความล้า Endurance Limit ที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลขด้วยโหลด 140 N-m

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการทดสอบความล้าเพลากล้าและเพลาลูกใหม่กับการจำลองเชิงตัวเลข

ลำดับ	Load (N)	Old shaft (Cycles)	New shaft (Cycles)	Fatigue life (Ansys)
1	60	2,618, 628	4,158,674	$4.36 \times 10^6$
2	80	2,061,955	3,771,147	$3.95 \times 10^6$
3	100	1,460,842	2,785,945	$2.92 \times 10^6$
4	120	729,637	1,989,185	$2.08 \times 10^6$
5	140	268,594	1,412,425	$1.48 \times 10^6$



รูปที่ 8 อายุความล้าจากการทดสอบเพลากล้าและเพลานิวเปรียบเทียบกับการจำลองเชิงตัวเลข

#### 4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อประเมินอายุการล้าในเพลารอง ที่ใช้กับรถยนต์ภายใต้ความเค้นสลับ (Cyclic load) ของเหล็ก SCM420 จากการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

4.1 แนวโน้มของกราฟ S-N มีลักษณะลดลงเป็นเส้นโค้ง พบว่าจำนวนรอบที่นับได้สูงสุดของเพลากล้าที่ผ่านการใช้งานอยู่ที่ 2,618, 628 รอบ และจำนวนรอบที่นับได้สูงสุดของเพลานิวอยู่ที่ 4,158,674 รอบ โดยใช้น้ำหนักถ่วงเท่ากันคือ 60 N เมื่อเปรียบเทียบจะมีอายุการใช้งานแตกต่างกันถึง 10 เท่า จากการทดลองสรุปได้ว่าเมื่อลดระดับความเค้นที่กระทำต่อชิ้นทดสอบให้น้อยลง อายุการล้าจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยเป็นไปตามลักษณะเส้น S-N Curve

4.2 จากการเปรียบเทียบผลการตรวจสอบด้วยภาพถ่ายของลักษณะการแตกหักในเพลากล้าที่ใช้งานและเพลานิวปรากฏว่ามีลักษณะที่ใกล้เคียงกันมากคือพบว่ามีจุดเริ่มต้นของรอยแตกหรือ crack origin เกิดขึ้นหลายจุด จากนั้นรอยแตกจะขยายตัวอย่างช้าๆ ผ่านพื้นที่ fatigue zone และการขยายตัวของรอยแตกเป็นแบบ beach marks เมื่อรอยแตกขยายตัวไปได้ระยะหนึ่งจะทำให้วัสดุเหลือพื้นที่ในการรับแรงน้อย และทำให้เกิดเป็นพื้นที่รับแรงเกินพิกัด (final overload zone) ในพื้นที่ดังกล่าวพบวาร์รอยแตกที่ขยายตัวส่วนใหญ่มีลักษณะทางมหภาคเป็นการแตกแบบเปราะ

4.3 ผลลัพธ์ของการประเมินอายุความล้าจากการทดสอบด้วยเครื่องแบบ R.R. Moore ในเพลานิวมาเปรียบเทียบกับผลของการจำลองเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม ANSYS ปรากฏว่าอัตราการประเมินของ ANSYS สูงกว่าการทดลองประมาณ 5%

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Mohammad Jamalkhani Khameneh, Mohammad Azadi, "Evaluation of high-cycle bending fatigue and fracture behaviors in EN-GJS700-2 ductile cast iron of crankshafts." Engineering Failure Analysis, vol. 85, 2018, pp. 189-200.
- [2] Sajjad Seifoori, Ahmad Mahdian Parrany, Mojtaba Khodayari, "A high-cycle fatigue failure analysis for the turbocharger shaft of BELAZ 75131 mining dump truck," Engineering Failure Analysis, vol. 116, 2020, pp. 104752.
- [3] Sebastian Vetter, Erhard Leidich, Alexander Hasse, "Method to estimate the fatigue strength scatter of shafts in the high-cycle and very-high-cycle fatigue regimes," Engineering Failure Analysis, vol. 143, 2023, pp. 106861.
- [4] Suresh Mysamy, Neelakrishnan Subramanyan, "Fatigue failure prediction through factor of safety and stress concentration in a malfunctioned AISI 4140 automotive crankshaft," Materials Research Express, vol. 10, 2023, pp. 126516.

- [5] P. Janmanee, R. Saodaen, C. Thanadngarn, T. Kumnorkaew, K. Jamkamon, K. Utjimajiratthitikarn, "Effect of fatigue behaviour on fracture in the 4th gear of a pick-up truck." Archives of Materials Science and Engineering, vol. 126, 2024, pp. 5-14.
- [6] Otai Special Steel. (2024, October 20). ASTM 4118 Steel | SCM420 | 18CrMo4 | 1.7243 [Online]. Available: <https://www.astmsteel.com/product/astm-4118-steel-scm420-18crmo4-1-7243/>
- [7] วิษณุ บุญมาก และ กนกอร รจนากิจ, "การวิเคราะห์ความเสียหายของเพลากรองในรถบรรทุกขนาดเล็ก," วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม, ปีที่ 17, ฉบับที่ 3, 2567, pp. 133-144.
- [8] Japanese Steels and Alloys. (2024, October 20). SCM420-Chemical composition, standards and properties: [https://steeljis.com/jis\\_steel\\_datasheet.php?name\\_id=15](https://steeljis.com/jis_steel_datasheet.php?name_id=15)