สมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการวิเคราะห์ความเสียหายที่ส่งผ่านเฟืองเฉียงรถยนต์บรรทุกขนาดเล็ก

MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF PICKUP'S HELICAL GEAR TRANSMISSION FAILURE ANALYSES

วิษณุ บุญมาก และ กัณวริช พลูปราชญ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ถ. รังสิต-นครนายก อ. องครักษ์ จ. นครนายก 26120

Visanu Boonmag[1] Ganwarich Pluphrach[1]
[1]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
Srinakharinwirot University, Rangsit-Nakornnayok Rd., Ongkharak, Nakhornnayok 26120

บทคัดย่อ

การแตกหักของเฟืองเฉียงขับที่ตำแหน่งเกียร์ 5 ในรถปิ๊กอัพคันหนึ่งที่มีอายุการใช้งานมานานกว่า 6 ปี โดยมีการบำรุงรักษาอย่างถูกวิธี เฟืองทำจากเหล็กกล้าผสมต่ำ JIS-SCr 420 การวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองมีหลายวิธีคือ 1) การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่อง Spectrometer 2) การตรวจสอบความแข็งด้วยวิธีวิกเกอร์ส 3) การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ พิจารณาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 4) การวิเคราะห์ความเค้นดัดของเฟืองด้วยสมการ AGMA และ 5) การเปรียบเทียบผลลัพธ์ทั้งหมดร่วมกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลของการวิเคราะห์สรุปได้ว่า การแตกหักของเฟืองเฉียงขับเกิดจากความล้าซึ่งเป็นผลมาจากความเค้นดัดที่เกินค่า Tensile strength ของวัสดุ 1300 MPa ลักษณะรอยแตกบริเวณผิวรอบนอกของเฟืองมีการแตกผ่านเกรน และการแตกระหว่างเกรน ซึ่งเป็นการแตกหักแบบเปราะ ส่วนที่แกนกลางของเฟืองมีการแตกแบบแยกออกและแบบรอยบุ๋ม ความเสียหายในบริเวณนี้เป็นแบบผสมมีการแตกหักแบบเปราะและแบบเหนียวปนกัน โดยที่สามารถเห็นการรวมเป็นส่วนผสมของออกไซด์ล้อมรอบด้วยคาร์ไบด์ ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งเป็นเหตุแห่งความเสียหายที่เกิดขึ้นในฟันเฟืองเฉียงดังกล่าว ทั้งนี้ผลของการวิเคราะห์สอดคล้องกับสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้พร้อมเป็นข้อมูลสำหรับการหาวิธีป้องกันมิให้เกิดการชำรุดของเฟืองต่อไป

คำสำคัญ: เฟืองเฉียง, การแตกหัก, ความล้า, รถยนต์บรรทุกขนาดเล็ก

ABSTRACT

The fracture of a driving helical gear of 5th position gearing system in the gear-box of some pick-up car which was approximately used as 6 years of service. This gear helical was already made from low alloy steel as JIS-SCr 420. It has been determined in many ways on the failure analysis of this helical gear i.e. 1) Composition (wt%) analysis with a spectrometer, 2) Vickers test, 3) Microstructural analysis with optical microscope, which the crack of surface layer and energy dispersive spectroscopy using a scanning electron microscope, 4) Helical gear's AGMA bending stress equation analysis and 5) All results comparison with finite element method. This analysis of summary results of this driving helical gear was determined by the fatigue, which the load of bending stress was over taken than tensile strength of the material (1,300 MPa). The fracture characteristic of the helical gear's surface was expected with the fracture as transgranular and Intergranular, which had been absolutely observed as the brittle fracture. On the axial of helical gear was fractured as the cleavage features and pitting. This mixing failure area can be illustrated by the brittle and ductile fracture. It can be seen that the mixing failure area of oxide inclusion with carbide surrounding before the liquid state of material will be solidified which as the failure cause of this driving helical gear. The analysis of summary results can be accorded with the assumption of this research and which as the information for a protection of any failure gearing.

KEYWORDS: helical gear, failure, fatigue, Pick-up car

1. บทนำ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความเสียหายของเฟืองเฉียงที่เกิดขึ้นในตำแหน่งเกียร์ 5 ของรถปิ๊คอัพที่มีกำลังขับ 120 kW ผ่านการใช้งานมา 6 ปี เฟืองทำจากเหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐานของ JIS-SCr 420 ที่ได้รับการออกแบบและผ่านกระบวนการผลิต การอบชุบผิวแข็งที่เหมาะสม โดยส่วนใหญ่ความเสียหายที่เกิดกับเฟืองเฉียงนั้นเกิดจากความเค้นดัดในฟันเฟือง (Bending Stress) และความเค้นที่ผิวสัมผัสของฟันเฟือง (Contact Stress) ความเสียหายของฟันเฟืองจากสาเหตุที่กล่าวมานั้น เกิดจากความล้า (Fatigue) เพราะแรงที่กระทำกับฟันเฟืองเป็นแบบกระทำซ้ำกันและมีความถี่ตามรอบการทำงานของเฟือง การวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองสามารถหาได้หลายวิธี เช่น การตรวจสอบด้วยภาพถ่าย การตรวจสอบความแข็งของเฟืองด้วยวิธีวิกเกอร์ส การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (OM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) การตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ธาตุผสมด้วยเครื่อง Spectrometer และวิธี EDS (Energy Dispersive

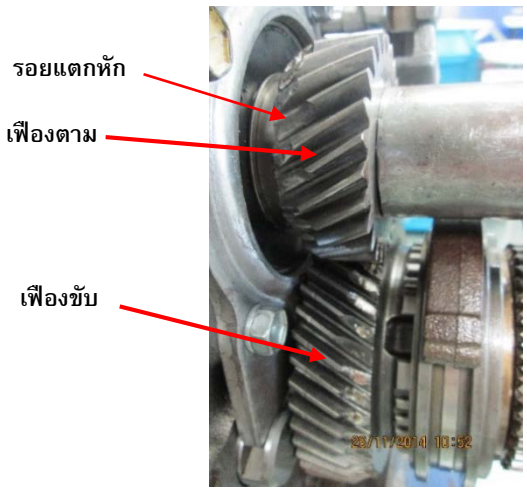
spectroscopy) ความเค้นดัดของเฟืองเฉียงสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้สมการของลูอิสตามมาตรฐานของ AGMA ซึ่งวิธีนี้มีความยุ่งยากมากพอสมควร ปัจจุบันการวิเคราะห์ความเค้นรูปแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางคือ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เครื่องมือต่าง ๆ ที่กล่าวมาล้วนแต่เป็นเครื่องมือที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมรถยนต์

2. วิธีการทดลอง

วิธีการดำเนินงานวิจัยสามารถจำแนกได้หลายลักษณะ ดังนี้

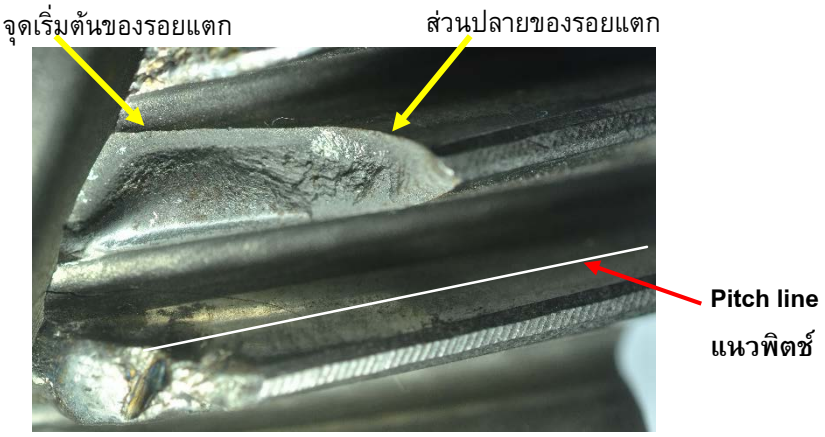
2.1 การตรวจสอบด้วยภาพถ่าย

การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายของเฟืองที่เสียหายจะเห็นว่าจำนวนของฟันเฟืองที่แตกอยู่ติด ๆ กันมีสาเหตุเกิดจากความล้าตัวของวัสดุดังรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าการแตกมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมขนาดใหญ่ที่ปลายด้านหนึ่งของฟันเฟืองและมีพื้นที่เป็น 1/3 ของความกว้างฟันเฟือง [1]



รูปที่ 1 การแตกหักของเฟืองเฉียงที่ตำแหน่งเกียร์ 5

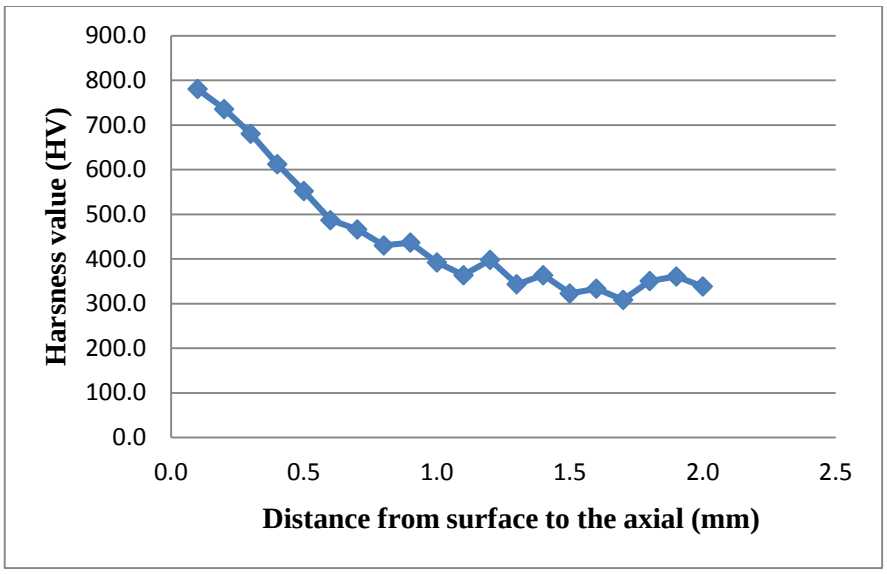
พิจารณารูปที่ 2 ภาพขยายพื้นผิวรอยแตกหักของฟันเฟืองแสดงให้เห็นจุดเริ่มต้นของรอยแตกมีลักษณะเป็นแบบ Beach marks คือการแตกมีลักษณะแบนราบต่อเนื่องไปจนถึงส่วนปลายของรอยแตกจุดเริ่มต้นของรอยแตกจะมองเห็นได้อย่างชัดเจนดังรูปที่ 2 ที่มาของรอยแตกเกิดขึ้นในแนวพิตช์ (Pitch line) ใกล้กับปลายด้านหนึ่งของฟันเฟืองซึ่งบอกได้ว่าโหลดที่กระทำสูงสุดอยู่ที่จุดนี้ [1]



รูปที่ 2 ขยายพื้นผิวรอยแตกหักของฟันเฟืองเฉียง

2.2 การทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็งของเฟืองเฉียงด้วยการวัดความแข็งแบบวิกเกอร์สด้วยเครื่องมือวัดของ (Mitutoyo model MVKH1) การวัดความแข็งตามแนวภาคตัดขวาง ผลที่ได้ดังรูปที่ 3 ค่าความแข็งสูงสุดที่ผิวของเฟืองเท่ากับ 780 HV (63.3 HRC) และค่าความแข็งต่ำสุดที่บริเวณใจกลางของเฟืองเท่ากับ 310 HV (31 HRC)



รูปที่ 3 ค่าความแข็งเฟืองที่เสียหายโดยวัดจากขอบผิวด้านนอกไปถึงแกนกลางของเฟือง

2.3 การตรวจสอบผลทางเคมี

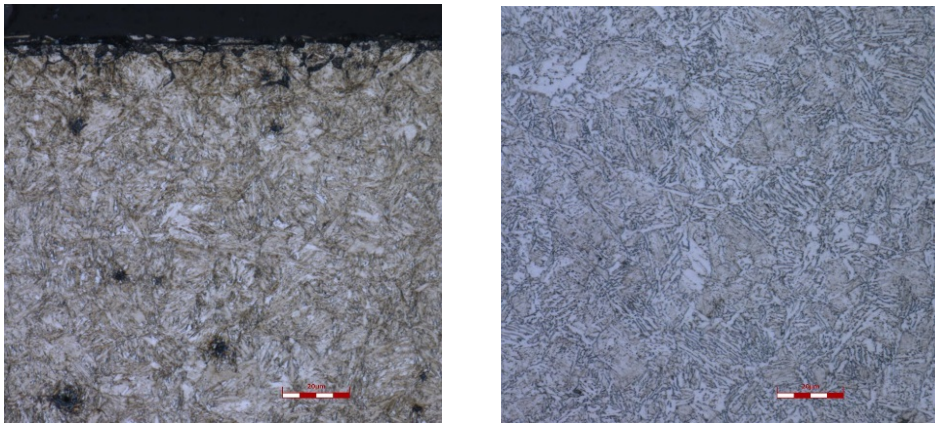
การตรวจสอบสมบัติทางเคมีของเฟืองโดยใช้เครื่อง Spectrometer รุ่น ARL 3640 ผลที่ได้ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 เฟืองเกียร์ทำจากเหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน JIS-SCr 420 ที่มีโครเมียมเป็นส่วนผสมสำคัญ [2]

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบส่วนผสมทางเคมีของเฟืองกับมาตรฐานของ JIS-SCr 420

วัสดุ	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
เฟืองที่เสียหาย ผิวเฟือง	0.564	0.246	0.856	0.019	0.013	0.019	1.021
แกนกลาง	0.223	0.250	0.835	0.020	0.017	0.026	1.116
เฟืองมาตรฐาน Scr 420	0.18-0.23	0.15-0.35	0.60-0.90	$\leq$ 0.030	$\leq$ 0.030	$\leq$ 0.250	0.90-1.20

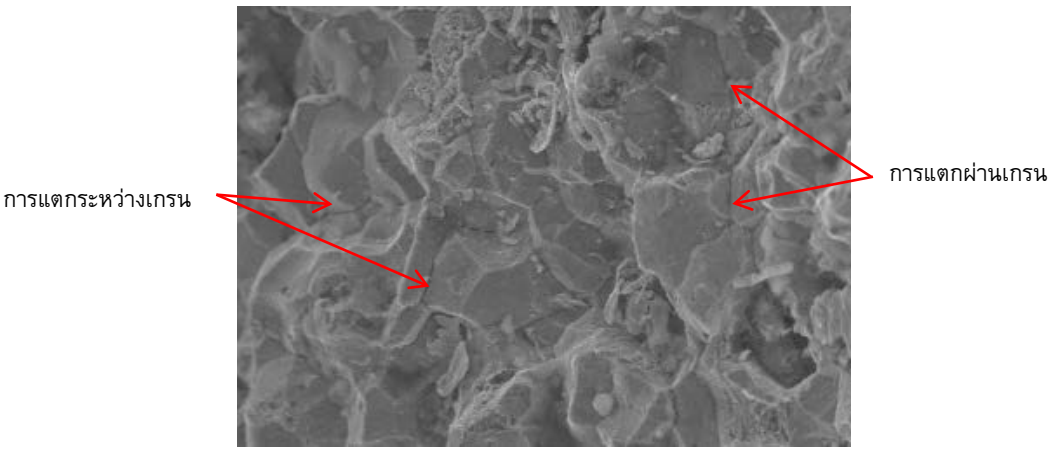
2.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของเฟืองที่เสียหายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์รุ่น OLYMPUS LASER MICROSCOPES: OLS 4000 ที่ผิวของเฟืองมีส่วนประกอบของมาร์เทนไซต์ซึ่งผ่านการเทมเปอร์ดังรูปที่ 4a ส่วนที่บริเวณใจกลางของเฟืองจะมีส่วนประกอบของโครงสร้างจุลภาคที่เป็นเฟอร์ไรต์ผสมเพิร์ลไลต์ดังรูปที่ 4b จากการสังเกตโครงสร้างจุลภาคและผลจากค่าความแข็งสามารถบอกได้ว่าเฟืองชิ้นนี้ได้รับการเพิ่มความแข็งด้วยการชุบแข็งที่ผิวโดยวิธีคาร์เบอไรซิง (Carburizing) จนทำให้ผิวรอบนอกมีส่วนประกอบของมาร์เทนไซต์ (Full martensite) ส่วนชั้นด้านในจะเป็นเฟอร์ไรต์ผสมเพิร์ลไลต์เต็มรูปแบบที่ไม่พบความผิดปกติในโครงสร้างจุลภาคของเฟือง [3]

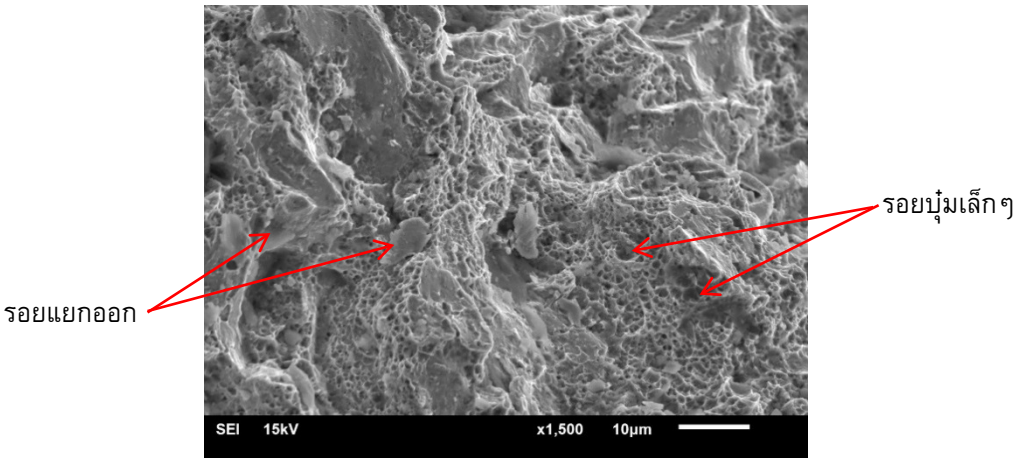


รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของเฟืองที่กำลังขยาย 2129X (a) รูปที่ผิวของเฟืองมีส่วนประกอบของมาร์เทนไซต์ (b) รูปที่แกนกลางของเฟืองจะมีส่วนประกอบของเฟอร์ไรต์และเพิร์ลไลต์

การตรวจสอบรอยแตกหักของฟันเฟืองเกียร์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราด หรือ Scanning Electron Microscope: SEM (HITACHI: S-3400N) ดังรูปที่ 5 ถ่ายบริเวณผิวรอบนอกของเฟืองแสดงให้เห็นว่ามีการแตกผ่านเกรน (Transgranular) ซึ่งเป็นผลของการเปลี่ยนแนวระนาบที่แยก (Cleavage features) ออกจากเกรนหนึ่งไปสู่อีกเกรนหนึ่งและมองเห็นการแตกระหว่างเกรน (Intergranular fracture) รอยแตกจะเกิดตามแนวขอบเกรนซึ่งโดยปกติเกิดจากขอบเกรนซึ่งอ่อนแอและเปราะ ลักษณะดังกล่าวเป็นการแตกหักแบบเปราะ รูปที่ 6 ถ่ายในบริเวณแกนกลางของเฟืองแสดงให้เห็นว่ามีลักษณะการแตกแบบแยกออก อีกทั้งมีลักษณะเป็นหลุม (Pit) อีกด้วย ความเสียหายในบริเวณนี้เป็นแบบผสมซึ่งมีการแตกหักแบบเปราะและแบบเหนียวปนกัน [4]

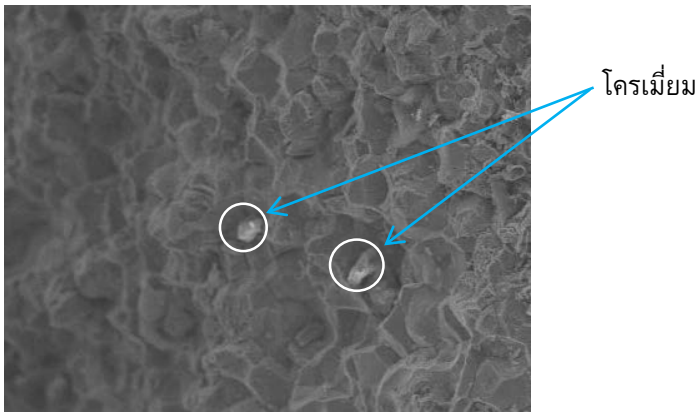


รูปที่ 5 ภาพจากกล้องขยายกำลังสูง (SEM) ถ่ายบริเวณผิวรอบนอกของเฟืองสามารถมองเห็นการแตกผ่านเกรนและการแตกหักระหว่างเกรน กำลังขยาย 500x (10 μm)

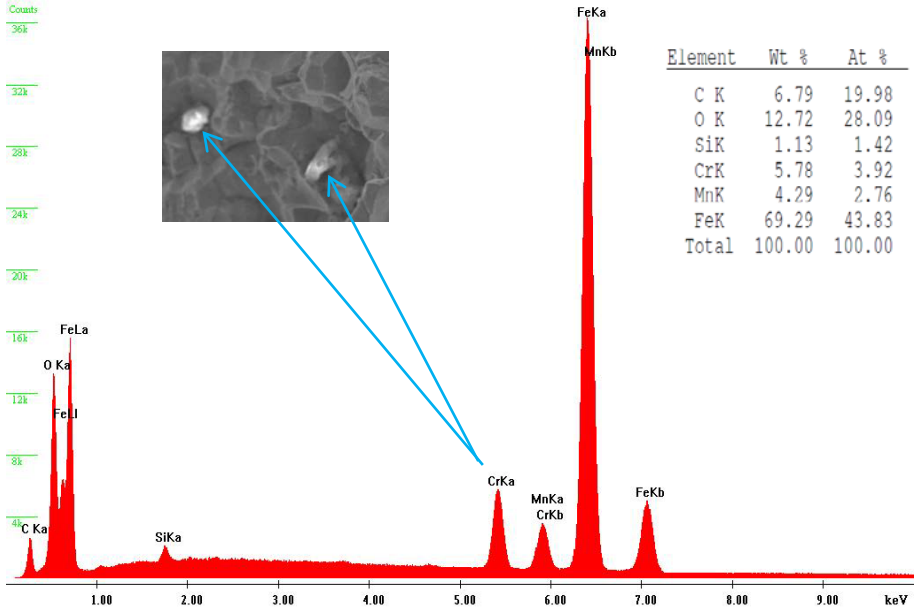


รูปที่ 6 **ภาพจากกล้องขยายกำลังสูง (SEM) ถ่ายที่ใจกลางของเฟืองสามารถมองเห็นลักษณะการแตกแบบแยกออกและมีลักษณะเป็นรอยบุ๋มเล็ก ๆ โดยมีกำลังขยาย 1500x (10 µm)**

การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณด้วย EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) พิจารณาจุดที่เกิดการรวมตัวกันของธาตุ (Included Elements) ดังแสดงในรูปที่ 7 แนวของการสแกนจะเห็นว่ามีธาตุโครเมี่ยมสูงที่สุดในบริเวณรอบวงกลมสีขาว หากพิจารณารูปที่ 8 ตรงแนวกราฟ EDS จะเห็นว่ามีธาตุโครเมี่ยมที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนองค์ประกอบอื่นๆ คือเหล็ก คาร์บอน แมงกานีส ซิลิกอน และออกไซด์ มีการรวมตัวกันเป็นส่วนผสมของออกไซด์ล้อมรอบด้วยคาร์ไบด์ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของแข็ง สรุปผลได้ว่าการแข็งตัวเป็นเหล็กกล้าผสมต่ำจะมีองค์ประกอบของออกไซด์ (สีเข้ม) ล้อมรอบด้วยคาร์ไบด์ Fe3C [5]



รูปที่ 7 **จุดที่เกิดการรวมตัวกันของธาตุต่าง ๆ ซึ่งมีโครเมี่ยมสูงสุด กำลังขยาย 200x (20 µm)**



รูปที่ 8 กราฟ EDS จุดที่เกิดการรวมตัวกันของธาตุผสมต่ำ

2.5 การวิเคราะห์ความเค้นดัดโดยสมการของลูอิสเปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

ส่วนประกอบต่างๆ ของเฟืองเฉียงแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขนาดพร้อมส่วนประกอบของเฟืองเฉียง

ลักษณะ	สัญลักษณ์	ขนาด	หน่วย
กำลังสูงสุดที่ความเร็วรอบ/นาที	$H @ n_p$	120 @ 3200	kW @ rpm
จำนวนฟันเฟืองตาม	N_p	26	ฟัน
จำนวนฟันเฟืองขับ	N_G	46	ฟัน
เส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองตาม	d_p	64	มม
เส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองขับ	d_G	109	มม
โมดุล	m	2.25	-
มุมกด	ϕ	20°	องศา
มุมฮีลิก	ψ	30°	องศา
ความกว้างของฟันเฟือง	F	23	มม

สมการความเค้นดัดของลูอิสตามมาตรฐานของ AGMA [6]

$$\sigma_b = \frac{W_t K_o K_m}{K_v F m J} \quad (1)$$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของเฟืองตาม (d_p) = mN_P = 2.25 x 26 = 58.5 mm

ความเร็วแนวพิตช์ (V) = $\frac{\pi d_p n_p}{60\times10^3}$ = $\frac{\pi\times58.5\times3200}{60\times1000}$ = 9.80 m/s

แรงส่งกำลังของเฟือง (W_t) = $\frac{H}{V}$ = $\frac{120}{9.80}$ = 12.24 kN

แฟคเตอร์โหลดเกินกำลัง (K_o) = 1.25

แฟคเตอร์การกระจายของโหลด (K_m) = 1.3

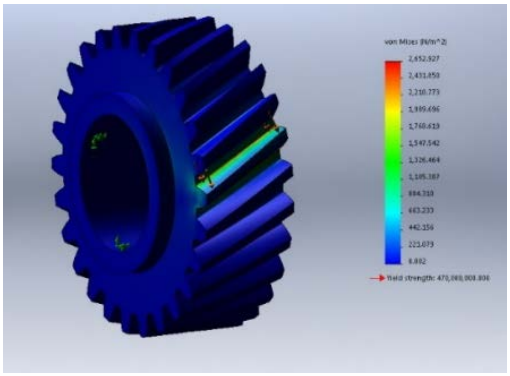
ไดนามิคแฟคเตอร์ (K_v) = $\frac{3.5}{3.5+\sqrt{V}}$ = $\frac{3.5}{3.5+\sqrt{9.80}}$ = 0.53

แฟคเตอร์เรขาคณิต (J) = 0.26

$$\sigma_b = \frac{12.24\times10^3\times1.25\times1.3}{0.53\times23\times2.25\times0.26} = 2{,}789.17 \text{ N/mm}^2$$

วิเคราะห์ความเค้นดัดด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

ผลของการวิเคราะห์ความเค้นดัดโดยใช้โปรแกรม Solid works 14 ตามเงื่อนไขขอบเขตที่ถูกนำมาใช้ในฟันเฟืองเกียร์แสดงให้เห็นว่าความเค้นที่กระทำกับฟันเฟืองเกิดขึ้นดังรูปที่ 9 และค่าความเค้นดัดทีเกิดขึ้นกับฟันเฟืองจะมีการเปลี่ยนแปลงตามแรงที่ส่งกำลังของเฟือง W_t ที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 3 [7]

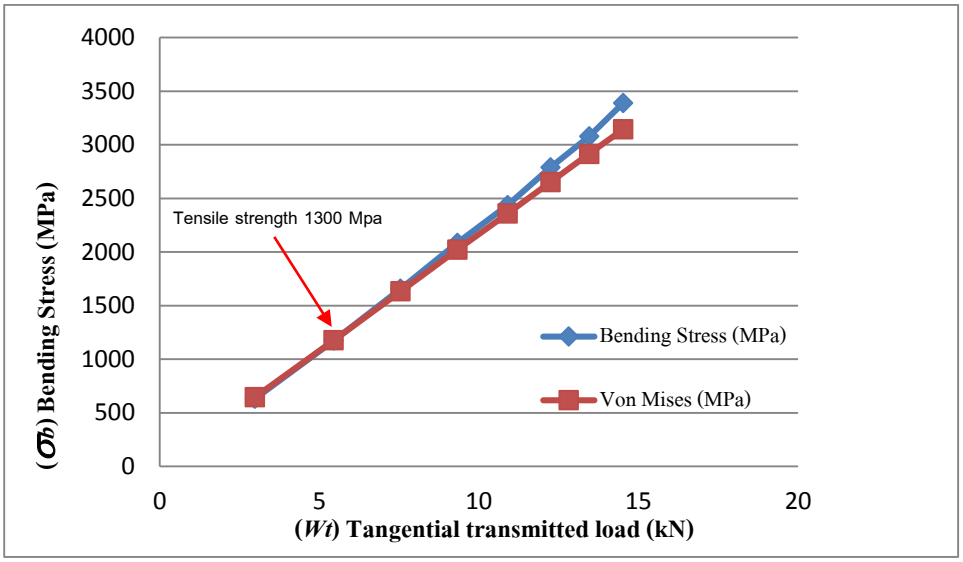


รูปที่ 9 ค่าความเค้นดัดที่เกิดจากแรงส่งกำลังของเฟือง W_t = 12.24 kN

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าความเค้นดัดระหว่างสมการของลูอิสกับผลทางไฟไนต์เอลิเมนต์

แรงบิด (N.m)	แรงส่งกำลังของเฟือง (kN)	ค่าความเค้นดัด σ_b (MPa)	Von Mises (Solid 14) (MPa)
96	2.97	629.29	644.76
175	5.44	1173.22	1175.35
243	7.54	1655.68	1632.05
301	9.32	2084.45	2021.60
351	10.89	2435.59	2357.41
395	12.24	2789.17	2,652.92
434	13.45	3077.39	2914.86
468	14.51	3388.75	3143.25

จากรูปที่ 10 ค่าความเค้นดัดที่ได้จากการคำนวณและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ความเค้นดัดจะเพิ่มขึ้นตามแรงบิดที่เพิ่มขึ้น สรุปคือในกรณีที่แรงบิดมีมากเกินกว่า Tensile strength 1300 N/mm^2 [8] จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เฟืองแตกในระหว่างเปลี่ยนเกียร์



รูปที่ 10 เปรียบเทียบค่าความเค้นดัดระหว่างสมการของ AGMA กับวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

3. ผลการทดลองและอภิปราย

การตรวจสอบความเสียหายด้วยภาพถ่ายแสดงให้เห็นรอยแตกหักเป็นสามเหลี่ยมที่ปลายของฟันเฟืองทั้งนี้พื้นที่รอยแตกเป็นหนึ่งในสามของความกว้างฟันเฟืองซึ่งเกิดจากความล้าของวัสดุ ซึ่งบอกได้ว่ามีโหลดกระทำสูงสุดเกิดขึ้นในแนวพิตช์ของฟันเฟือง

จากการทดสอบความแข็งพบว่าค่าความแข็งสูงสุดอยู่ที่ผิวของเฟืองมีค่าเป็น 63.3 HRC และค่าความแข็งต่ำสุดที่บริเวณใจกลางของเฟือง 31 HRC การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วย OM จะเห็นว่าที่ผิวรอบนอกมีส่วนประกอบของมาร์เทนไซต์ ส่วนบริเวณใจกลางมีส่วนประกอบของเฟอร์ไรต์กับเพิร์ลไลต์ ผลจากค่าความแข็งและโครงสร้างจุลภาคสามารถบอกได้ว่าเฟืองชิ้นนี้ ได้รับการเพิ่มความแข็งด้วยการชุบแข็งที่ผิวโดยวิธีคาร์เบอร์ไรซิง (Carburizing) และไม่พบความผิดปกติในโครงสร้างจุลภาคของเฟือง

การตรวจสอบรอยแตกของเฟืองด้วย SEM พบว่าลักษณะของรอยแตกบริเวณผิวรอบนอกของเฟืองมีการแตกผ่านเกรนและการแตกระหว่างเกรน ซึ่งเป็นการแตกหักแบบเปราะ ส่วนที่แกนกลางของเฟืองมีการแตกแบบแยกออกและแบบรอยบุ๋ม ความเสียหายในบริเวณนี้เป็นแบบผสมคือมีการแตกหักแบบเปราะและแบบเหนียวปนกัน

การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ธาตุผสมด้วยวิธี EDS จุดที่เกิดการรวมตัวกันของธาตุผสมจะเห็นว่ามีธาตุโครเมี่ยมที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนองค์ประกอบอื่นคือเหล็ก คาร์บอน แมงกานีส ซิลิกอน และออกไซด์ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่ามีการรวมตัวกันเป็นส่วนผสมของออกไซด์ล้อมรอบด้วยคาร์ไบด์ก่อนที่จะมี

การเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง สรุปคือเปอร์เซ็นต์การรวมตัวของออกไซด์กับคาร์ไบด์ในโครงสร้างจุลภาคจะเป็นสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นในฟันเฟือง

ผลการคำนวณที่ได้จากสมการของลูอิสตามมาตรฐานของ AGMA เปรียบเทียบกับวิธีไฟไนเอลิเมนต์นั้นมีค่าความเค้นดัดมีค่าใกล้เคียงกันมากเมื่อแรงบิดเพิ่มสูงขึ้นจนเกินค่า Tensile strength ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เฟืองเกิดการแตกหัก

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ความเสียหายของเฟืองเฉียงที่ใช้ในรถปิ๊กอัพ โดยมีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี สมบัติทางกล และโครงสร้างจุลภาคของเฟืองที่ทำมาจากเหล็กกล้าผสมต่ำ JIS-SCr 420 ซึ่งผ่านกระบวนการผลิตและการชุบผิวแข็งที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ผิวรอบนอกของเฟืองมีการแตกผ่านเกรนและการแตกระหว่างเกรน ลักษณะดังกล่าวเป็นการแตกหักแบบเปราะ โครงสร้างจุลภาคมีส่วนประกอบของมาร์เทนไซต์ ในบริเวณแกนกลางของเฟืองมีการแตกแบบแยกออกและมีลักษณะเป็นรอยบุ๋ม ความเสียหายเป็นแบบผสมซึ่งมีการแตกหักแบบเปราะและแบบเหนียวปนกัน โครงสร้างจุลภาคมีส่วนประกอบของเฟอร์ไรต์ผสมกับเพิร์ลไลต์

2. รอยแตกหักเกิดจากความล้าแล้วการเพิ่มระดับแรงกระทำในบริเวณใจกลางจะเกิดอย่างช้าๆ ในระหว่างที่ระดับความเค้นเพิ่มขึ้นทีละน้อยนี้รอยแตกจากความล้าก็ขยายตัวต่อไปจนกระทั่งถึงความล้าวิกฤต ทำให้เฟืองไม่สามารถรับแรงกระทำต่อไปได้อีกจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เฟืองเกิดการแตกหัก

3. เปอร์เซ็นต์การรวมตัวของออกไซด์กับคาร์ไบด์ในโครงสร้างจุลภาคที่ไม่เหมาะสม (Inclusion) เป็นสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นในฟันเฟือง เช่นกรณีนี้โครงสร้างจุลภาคของออกไซด์ซึ่งล้อมรอบด้วยคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นก่อนที่จะมีการเปลี่ยนสถานะ ซึ่งเป็นสิ่งที่ยากต่อการควบคุมในการผลิต โดยส่วนใหญ่จะทำด้วยการเติมสารที่ช่วยขับออกไซด์

4. ความเค้นดัดที่เกิดจากแรงบิดมีค่ามากกว่า Tensile strength ของวัสดุเฟืองดังผลที่ได้จากวิธีการคำนวณและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นตัวบ่งบอกได้ว่าค่าความเค้นดัดสูงสุดไม่ควรเกิน 1300 N/mm2 ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ออกแบบเฟือง (จากกรณีดังกล่าวก็จะช่วยให้ผู้ที่นำรถยนต์ไปเพิ่มกำลังจะได้ตระหนักถึงผลเสียหายที่ตามมาจากการเพิ่มความแรงของเครื่องยนต์ เพราะจะมีผลกับเกียร์และระบบส่งกำลัง)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษารองศาสตราจารย์ ดร.กัณวริช พลูปราชญ์ ศาสตราจารย์ ดร.ฮาดี ซูตันโต นอกจากนี้ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัตน์ จอมขวา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชานนท์ มูลวรรณ และ คุณสำเริง เนตรภู่ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัย สิ่งที่ลืมมิได้คือความอนุเคราะห์ต่อการใช้เครื่องมือวิเคราะห์จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

References

[1] Osman Asi. (2005). “Fatigue Failure of a Helical Gear in a Gearbox”. **Engineering Failure Analysis**. Vol.13. (7): 1116-1125.

[2] JIS G 4053. (2003). **Japanese Industrial Standard**. First English Edition. Japan.

[3] Samroeng Netpu and Panya Srichandr. (2012). “Failure Analysis of a Helical Gear in a Gearbox Used in a Steel Rolling Mill”. **Journal of Materials Science and Engineering.** : 289-294.

[4] William D. Callister, Jr. (2005). **Materials Science and Engineering an Introduction**. Bangkok: Top Publishing Co., Ltd. (In Thai)

[5] Samroeng Netpu and Panya Srichandr. (2013). “Failure Analysis of a Helical Gear in a Power Plant”. **Engineering Failure Analysis**. Vol. 32: 81-90.

[6] Chamroon Tantipisalkul. (2007). **Mechanical Engineering Design 1**. 4th edition. Bangkok: Threelada Ltd. (In Thai)

[7] J. Venkatesh and Mr. P. B. G. S. N. Murthy. (2014). “Design and Structural Analysis of High Speed Helical Gear Using Ansys”. **J. Venkatesh Int. Journal of Engineering Research and Applications.** Vol. 4. Issue 3: 1-5.

[8] Saarstahl. **Material Specification Sheet.** Available: http://www.saarstahl.com/fileadmin/saarstahl_extranet/images/04_produkte/walzstahahlsorten/English/7147_7149_20MnCr5_20MnCrS5.pdf.

ประวัติผู้เขียนบทความ

วิษณุ บุญมาก ตำแหน่งอาจารย์ สาขาเทคโนโลยีรถยนต์ วิทยาลัยเทคโนโลยียานยนต์โตโยต้า หมายเลขโทรศัพท์ 086-9908096 อีเมล์: boonmagvisa@gmail.com

กัณวริช พลูปราชญ์ ตำแหน่งรองศาสตราจารย์ ดร. ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ หมายเลขโทรศัพท์ 089-1411135 อีเมล์: pganwarich@yahoo.com