การวิเคราะห์ความเสียหายสะสมภายในรางรถไฟเพื่อประเมินอายุการใช้งานที่เหลือ

Remaining Life Assessment of railroads due to accumulated internal damage during services

คณนันท์ สิทธิพงศ์พิทยา[1], ณรัฐพงศ วัฒนสุนทร[1], อำนวยศักดิ์ เจียรไพโรจน์[2], และ ปัญญา ขันธ์สุวรรณ[1]*

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ที่อยู่ เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

[2] หน่วยวิจัยโลหะ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ที่อยู่ เลขที่ 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

*ติดต่อ: E-mail: panya.ka@kmitl.ac.th, โทรศัพท์ +66(0) 2329 8000 - 2329 8099

บทคัดย่อ

ความเสียหายของหน้าสัมผัสระหว่างล้อกับรางรถไฟมีกลไกความเสียหลัก เนื่องจากการสึกหร่อ และความล้าหน้าสัมผัส ซึ่งหากเกิดรอยบกพร่องแล้ว อาจนำมาซึ่งอุบัติเหตุการตกรางของรถไฟฟ้า ที่ต้องการความเร็วที่สูงขึ้น และน้ำหนักบรรทุกที่สูงขึ้นได้ เพื่อป้องกัน รางและล้อรถไฟจึงได้รับการซ่อมบำรุงโดยวิธีการเจียเอาผิวออกอย่างสม่ำเสมอ ตามระยะเวลาที่กำหนด อย่างไรก็ตามการกำจัดผิวหน้าสัมผัสออก ผิวสัมผัสที่ได้ไม่ใช้ผิวสัมผัวใหม่แท้จริง แต่เป็นเนื้อโลหะภายในที่ได้รับความเสียหายสะสมใต้ผิว ที่นำออกมาใช้งานภายใต้ความเค้นหน้าสัมผัส ด้วยระเบียบวิธีวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ของแบบจำลอง 3 มิติ พบว่าลักษณะการกระจายตัวของความเค้นภายในคล้ายกัน ภายหลังจากการเจียรางออกที่ 6, 12 และ 18 มม. มีค่าความเค้นเฉือนสูงสุดภายในประมาณ 100 MPa ที่ 3 มม. จากผิวสัมผัส ทำให้ปัจจัยของการซ่อมบำรุงจึงประกอบด้วยความซับซ้อนใน 2 ประเด็น ได้แก่ ความลึกของการเจียรางรถไฟฟ้าเพื่อผิวสัมผัสที่ได้ ไม่ใช่เนื้อวัสดุที่ได้รับความเค้นสูงสุดจากการใช้งาน และผลกระทบของต่ออายุการใช้งาน เมื่อนำเนื้อวัสดุส่วนนี้ที่มีความเสียหายสะสมสูงสุดมาใช้งานภายใต้ความเค้นสัมผัสหลังการเจีย งานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการวิเคราะห์อายุการใช้งานของหน้าสัมผัสรางและล้อรถไฟที่ลดลง พร้อมกับช่วงระยะเวลาที่ต้องเจียรราง เมื่อผิวรางหลังการเจียถูกกระทำด้วยแรงขนาดเท่าเดิม ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากการวิจัยนี้จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการประเมินอายุการใช้งานของรางระหว่างใช้งานแบบความเสียหายสะสม

คำหลัก: วิเคราะห์ความเสียหายสะสม, ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์, ความล้าหน้าสัมผัสล้อ-รางรถไฟ

Abstract

Rolling contact fatigue between wheel and rail is one of the major rail structural damages that cause derailment for high speed trains. When higher speeds and more passenger loads had led to larger wheel/rail contact forces, any small surface flaws become unacceptable and thus wheel/rail grinding operation have to be performed regularly. However, the fresh surface acquired wasn’t intact but formerly loaded. During service, materials inside had been accumulating undetected fatigue

damages prone to form subsurface cracks. Bringing them out to surface certainly lessen service time and grinding interval period. A three-dimensional elasto-plastic finite element model is used to calculate subsurface stress at different grinding distance, i.e. 6, 12, 18 mm. It was found that stress distribution profiles are similar with higher stress values for more removal of materials. Grinding out at 3 mm depth is susceptible to lesser rolling contact fatigue life due to at the distance the materials were previously subjected to maximum shear stress at 100 MPa. Complicated issue on how often the grinding operation and the influence of previously loaded on the remaining life of the railroad are partially clarified by this research. The research presented the analysis method to evaluate remaining life of sequential damages namely volumetric shearing fatigue and rolling contact fatigue. Analysis of data received from research is advantaged to evaluate contact life the rail during the application of cumulative damage.

Keywords: Cumulative damage method, Finite Element Method, Contact Fatigue Wheels-rails

1. บทนำ

ในปัจจุบันการเดินทางและการขนส่งสินค้าด้วยรถไฟมีอยู่ทั่วไปซึ่งล้อกับรางรถไฟต้องรับภาระจากการใช้งานอยู่ตลอดเวลา โดยพื้นผิวของล้อกับรางรถไฟมีการสัมผัสกันในขณะที่รถไฟเคลื่อนที่ทำให้พื้นผิวสัมผัสของรางมีความล้าของหน้าสัมผัสซึ่งทำให้เกิดความเสียหายบนพื้นผิวของตัวรางซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุรถไฟตกราง โดยได้มีงานวิจัย[1]ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวสัมผัสของชิ้นงานซึ่งวิจัยลักษณะรูปแบบของรอยแตกบนหน้าสัมผัสที่เกิดจากความล้าของหน้าสัมผัสของชิ้นงานต่างๆ โดยรอยแตกจะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามลักษณะความเสียหาย (bending and torsional) ที่เกิดขึ้นบนหน้าสัมผัสหรือ Hertzian stress state เพื่อทำการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างหน้าสัมผัสของล้อกับรางตามงานวิจัย[2, 3]โดยทำการสร้างแบบจำลองของหน้าสัมผัสระหว่างล้อกับรางรถไฟ และทำการวิเคราะห์แบบ finite element โดยทำการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ เพื่อตรวจสอบค่าความเค้นกระจายที่เกิดขึ้นบนหน้าสัมผัสการหมุนระหว่างล้อและรางรถไฟที่มีหน้าสัมผัสกันเมื่อมีการเคลื่อนที่

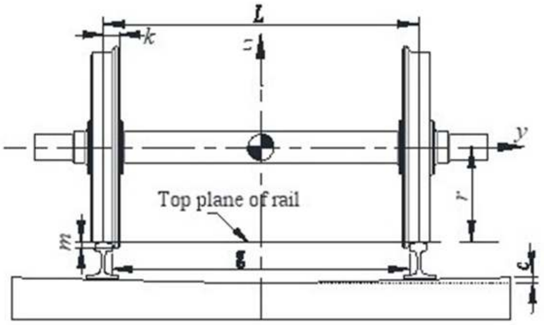
ในการทดสอบเราจะใช้โปรแกรม Marc Mentat ทำการจำลองการสัมผัสระหว่างล้อกับรางรถไฟเริ่มต้นทำการสร้างตัวแบบจำลองขึ้นมาโดยเราจะทำการวาดแบบจำลองการสัมผัสระหว่างล้อกับรางด้วยโปรแกรม AutoCad และทำการ Simulate โดยใช้โปรแกรม Marc Mentat เราทำการวิเคราะห์ความเสียหายบนพื้นผิวสัมผัสของรางก่อนเจียรและหลังเจียซึ่งพบว่าค่าความเค้นที่กระจายบนผิวสัมผัสของรางก่อนเจียและหลังเจียมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากต้องรับแรงที่มีขนาดเท่ากันแต่หน้าสัมผัสใหม่ซึ่งเดิมเป็นบริเวณภายในเนื้อรางรถไฟก่อนจะบำรุงรักษาโดยการเจียนั้นได้รับความเสียหายจากแรงที่กระจายจากหน้าสัมผัสเดิมซึ่งงานวิจัยนี้เราทำการประเมินอายุการใช้งานของรางรถไฟที่เหลืออยู่จากการใช้งานแบบความเสียหายสะสม

2. ทฤษฎีและการทดสอบ

2.1 Wheel-Rail profile & interaction

ตามงานวิจัย[2]ที่ทำการจำลองตำแหน่งของหน้าสัมผัสระหว่างล้อกับรางรถไฟที่เกิดความเสียหายจากความล้าของหน้าสัมผัสโดยเราทำการทดสอบหน้าสัมผัสการหมุนระหว่างล้อ UIC 515 กับ รางรถไฟ UIC 60 ตาม

รูปที่ 1 โดยคุณสมบัติของล้อกับรางที่ใช้ทดสอบ ตาม ตาราง 1



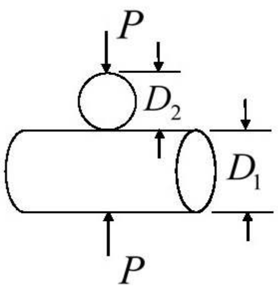
รูปที่ 1 หน้าสัมผัสระหว่างล้อกับราง

ตาราง 1 คุณสมบัติของล้อและราง

คุณสมบัติของอุปกรณ์	ค่าที่กำหนด
Gauge (g)	1435 mm
Cant Angle (c)	1:40
Distance between contact point (L)	1500 mm
Wheel Radius (r)	425 mm
Distance of contact point (k)	70 mm
Distance between contact point and flange (m)	14 mm

2.2 Contact Fatigue

ทำการคำนวณหาความเค้นและความเครียดที่เกิดตามสูตรการหาความเค้นและความเครียดที่สัมพันธ์กับขนาดแรงดันที่เกิดขึ้นระหว่างวัตถุที่มีความยืดหยุ่นดังนี้



รูปที่ 2 Cylinder on a cylinder: axes at right angles

จากรูป 2 ทำการคำนวณหาความเค้นที่กระจายบนผิวสัมผัสระหว่างวัตถุที่มีพื้นผิวโค้งโดยใช้ใช้ทฤษฎี Hertz Contact โดยคำนวณแบบ Cylinder on a cylinder: axes at right angles และตาราง 2 แสดงอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานทั้ง 2 ที่สัมผัสกัน ทำการคำนวณความเค้นที่เกิดขึ้นระหว่างหน้าสัมผัสตามงานวิจัย [4]ดังนี้

$$C_E = \frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \tag{1}$$

ทำการหาค่า C_E จาก (1) โดยค่า v_1 คือ Poisson’s Ratio ของราง, v_2 คือPoisson’s Ratio ของล้อ, E_1 คือค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นของราง, E_2 คือค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นของล้อ

ทำการคำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าสัมผัสโค้งแกนหลักครึ่งแกน (c) ตามสมการ (2)

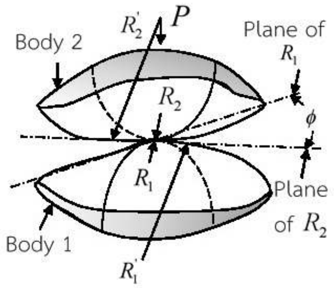
$$c = \alpha \sqrt[3]{P K_D C_E} \tag{2}$$

ทำการหาค่า c คือค่าขนาดพื้นที่หน้าสัมผัสโค้งแกนหลักครึ่งแกน, $K_D = (D_1 D_2 / D_1 + D_2)$ ทำการหาขนาดพื้นที่หน้าสัมผัสโค้งแกนรองครึ่งแกน (d) ตามสมการ (3)

$$d = \beta \sqrt[3]{P K_D C_E} \tag{3}$$

ค่า P เป็นขนาดของแรงที่ทำต่อชิ้นงาน ทำการหาค่าความเค้นตั้งฉากสูงสุดที่เกิดขึ้นบนหน้าสัมผัสระหว่างล้อกับรางรถไฟจากสมการ (4)

$$(\sigma_c)_{\max} = \frac{1.5P}{\pi c d} \tag{4}$$



รูปที่ 3 General case of two bodies in contact

จากรูป 3 ทำการคำนวณความเค้นที่เกิดขึ้นแบบ General case of two bodies in contact ทำการคำนวณค่า K_D จากสมการ (5) ดังนี้

$$K_D = \frac{1.5}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_1' + 1/R_2'} \qquad (5)$$

ตำแหน่งสัมผัสที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุดของรัศมีความโค้งของ R_1 และ R_1' ของชิ้นงาน 1, และ R_2 และ R_2' ของชิ้นงาน 2 ทำการคำนวณหาค่าขนาดพื้นที่หน้าสัมผัสโค้งแกนหลักครึ่งแกน (c) กับขนาดพื้นที่หน้าสัมผัสโค้งแกนรองครึ่งแกน (d) ตามสมการ (2) กับ (3) และทำการคำนวณค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนหน้าสัมผัสระหว่างล้อกับรางรถไฟตามสมการ (4)

โดยในการคำนวณแบบ General case of two bodies in contact ค่า α , β และ λ ที่ใช้ในการคำนวณสามารถหาได้จากตาราง 3

ตาราง 2 อัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกระบอก 1 ต่อ ทรงกระบอก 2

D_1/D_2	1	1.5	2	3	4	6	10
α	0.908	1.045	1.158	1.350	1.505	1.767	2.175
β	0.908	0.799	0.732	0.651	0.602	0.544	0.481
λ	0.825	0.818	0.804	0.774	0.747	0.702	0.641

ตาราง 3 แสดงค่า α , β และ λ

$\cos\theta$	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
α	1.000	1.070	1.150	1.242	1.351	1.486
β	1.000	0.936	0.878	0.822	0.769	0.717
λ	0.750	0.748	0.743	0.734	0.721	0.703

$\cos\theta$	0.60	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90
α	1.661	1.905	2.072	2.292	2.600	3.093
β	0.664	0.608	0.578	0.544	0.507	0.461
λ	0.678	0.644	0.622	0.594	0.559	0.510

$\cos\theta$	0.92	0.94	0.96	0.98	0.99
α	3.396	3.824	4.508	5.937	7.774

β	0.438	0.412	0.378	0.328	0.287
λ	0.484	0.452	0.410	0.345	0.288

2.3 Fatigue

เมื่อวัสดุถูกแรงซึ่งต่ำกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength) มากระทำกลับไปกลับมาซ้ำ ๆ กันก็อาจจะเกิดการแตกหักขึ้นได้ เนื่องจากเกิดความล้าหรือ Fatigue ขึ้น ความล้าที่เกิดในวัสดุนี้เป็นสาเหตุใหญ่ของการเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักรต่าง ๆ เพราะตลอดอายุงานของเครื่องจักร เช่น เครื่องยนต์ สวิตช์รีเลย์ ฯลฯ จะต้องเกิดความเค้นสลับไปสลับมาเป็นล้าน ๆ ครั้ง ทำให้เกิดการล้าขึ้นในชิ้นส่วนต่าง ๆ ของมันได้ โดยความล้าจะเกิดเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกจะเกิดรอยแตกขึ้นเมื่อมีความเค้นรวมศูนย์ (Stress Concentration) ในบริเวณนั้นและในระยะที่สองเมื่อมีความเค้นซ้ำไปซ้ำมารอยแตกนี้ก็จะโตขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งแรงกระทำต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุดวัสดุก็จะแตกหักจากกัน

จากการทดสอบความเสียหายบนพื้นผิวรางที่เกิดขึ้นจากการที่ผิวรางต้องรับแรงที่เกิดจากล้อรถไฟที่วิ่งบนรางเป็นเวลานานทำให้ตัวรางเกิดรอยร้าวขึ้นจนทำให้พื้นผิวสัมผัสของรางรถไฟแตกออกจากกันซึ่งได้มีการวิจัยการแตกร้าวที่เกิดจากความล้าของหน้าสัมผัสตาม[1]ซึ่งได้ศึกษารูปแบบรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นบนหน้าสัมผัสของวัตถุต่างๆที่ทำการทดสอบ เช่น แบริ่ง, เกียร์ และรางรถไฟซึ่งในการทดสอบได้มีการศึกษาความเสียหายที่เกิดจากความล้าตามรูปที่ 4

รูปที่ 4 แสดงความเสียหายที่เกิดจากความล้าของหน้าสัมผัสรางรถไฟ

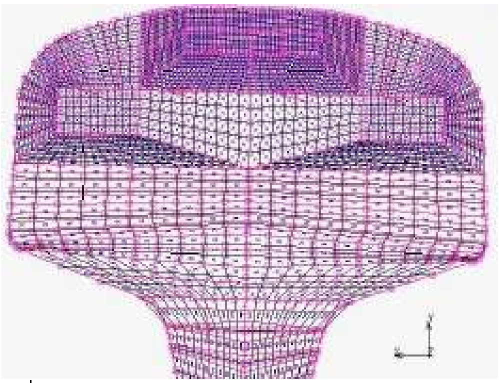
การทดสอบความเสียหายที่เกิดจากความล้านั้นมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับความเสียหายบนหน้าสัมผัสของชิ้นงานทดสอบเมื่อถูกแรงกระทำบนพื้นผิวเป็นระยะเวลานานโดยได้มีงานวิจัยตาม[5]ที่แสดงผลการทดสอบความเสียหายของหน้าสัมผัสชิ้นงานโดยให้รับแรงกระทำบนผิวสัมผัสเป็นระยะเวลานานเพื่อตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการทดสอบชิ้นงาน จากงานวิจัยนี้เราจะนำไปใช้ในการคำนวณหาอายุการใช้งานของราง

2.4 Finite Element Method

ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์หรือที่เรียกย่อๆว่า FEM คือเทคนิควิเคราะห์เชิงตัวเลขที่ใช้สำหรับการแก้ปัญหาการคำนวณตัวเลขทางฟิสิกส์หรือทางวิศวกรรม รูปแบบปัญหาที่เราสนใจทางวิศวกรรมและฟิสิกส์คณิตศาสตร์

สามารถแก้ปัญหาได้โดยใช้การวิเคราะห์แบบไฟไนต์อิลิเมนต์ประกอบด้วยการวิเคราะห์ทางโครงสร้าง, การถ่ายเทความร้อน, อัตราของไหล, การเคลื่อนที่ของมวลและความสามารถทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยรูปแบบปัญหาคือ การหาฟังก์ชันการกระจายตัวของตัวแปรในระบบสามมิติ ซึ่งปัญหาแต่ละอันจะสามารถอธิบายด้วย Differential equation/Integral equation

วิธีการของ Finite Element Method โดเมนของโครงสร้างถูกแบ่งย่อยเป็นองค์ประกอบย่อยที่มีรูปร่างอย่างง่ายขนาดเล็ก องค์ประกอบย่อยนี้จะถูกเรียกเป็น “element”ในแต่ละ element การกระจายตัวของตัวแปรที่เราสนใจนั้น จะมีค่าต่างกันตามตำแหน่งซึ่งจากรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงรูปร่างของ Element, Mesh และNode ของรางรถไฟ

ในงานวิจัยนี้เราได้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ทำการวิเคราะห์ความเสียหายของรางที่เกิดขึ้นจากแรงกดที่เกิดจากการสัมผัสของล้อรถไฟที่วิ่งบนราง ทำให้เราทราบตำแหน่งของรางที่เกิดความเสียหายและนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ โดยการวิเคราะห์ทางระเบียบไฟไนต์อิลิเมนต์ในการทดสอบนี้เราทำการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ เพื่อจำลองบริเวณที่เกิดความล้าบนตำแหน่งผิวรางที่สามารถเกิดความเสียหาย

2.5 Life Fraction Rule for Creep

การประเมินอายุการใช้งานที่เหลือของวัสดุที่ผ่านการใช้งานมาเป็นระยะเวลาหนึ่งโดยอายุการใช้งานที่เหลือนั้นเราสามารถคำนวณได้ตาม[6] สมการ (6)

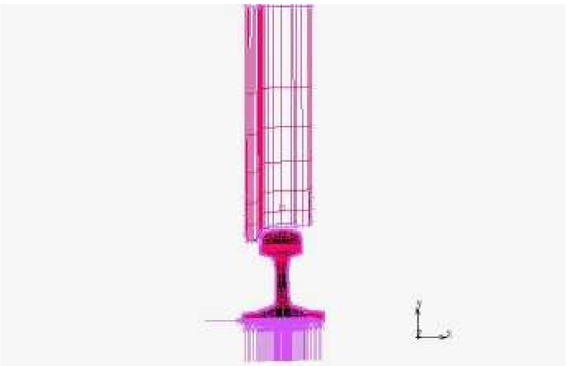
$$\sum t_i/t_r \quad (6)$$

ที่ t_i เป็นช่วงเวลาทั้งหมดที่เกิดความเค้นและอุณหภูมิ, t_r เป็นอายุการใช้งานมากสุดที่เกิดความเสียหายกับชิ้นงานในการทดสอบเหมือนกัน

ในการทดสอบความเสียหายของรางรถไฟเมื่อถูกใช้งานโดยมีการเจียรผิวรางที่เสียหายออกเมื่อครบกำหนด แต่ภายในตัวรางนั้นได้รับความเสียหายจากแรงที่กระทำบนผิวรางซึ่งเราจะทำการหาอายุการใช้งานที่เหลืออยู่

3. การวิเคราะห์

ขั้นตอนการทดสอบเราต้องสร้างแบบจำลองการสัมผัสระหว่างล้อกับรางรถไฟ โดยเราวาดแบบจำลองเป็นรูปแบบ 3 มิติ ทำการวาดด้วยโปรแกรม Marc Mentat แต่เราสามารถ convert ภาพแบบจำลองจากโปรแกรม SolidWorks และ AutoCAD ได้เหมือนกัน ซึ่งแบบจำลองที่สร้างมีลักษณะตามรูปที่ 6 และค่าที่ใช้ทดสอบแบบจำลองรางรถไฟจะแสดงผลตามตาราง 4 ดังนี้



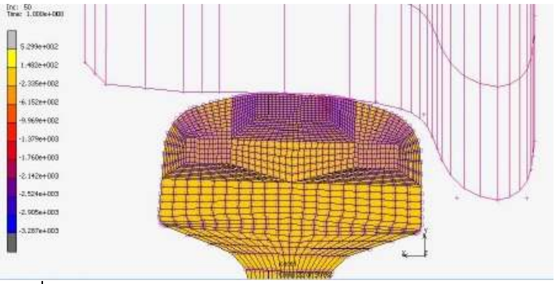
รูปที่ 6 แบบจำลองหน้าสัมผัสของล้อกับรางรถไฟ

ตาราง 4 ค่าที่เราทำการทดสอบ

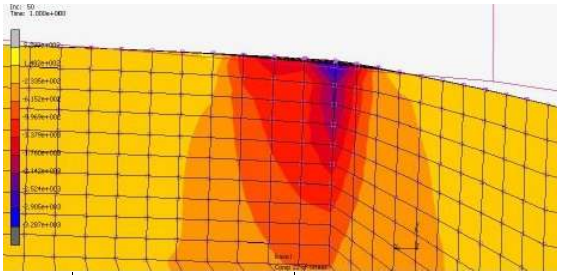
ค่าที่ใช้ในการทดสอบ	หน่วย
ค่า Modulus of Elasticity ของรางรถไฟ (GPa)	207
ค่า Poisson’s ratio ของรางรถไฟ	0.3
ค่า Modulus of Plasticity ของราง	22.7

รถไฟ (GPa)	
ค่า Yield Stress ของรางรถไฟ (MPa)	483
ขนาดของ Load ที่ทดสอบบนผิวราง (MPa)	4000

เมื่อเราทำการกำหนดค่าเป็นที่เรียบร้อยแล้วก็จะทำการ simulate ชิ้นงานตามรูปที่ 7 เพื่อหาตำแหน่งความเสียหายที่เกิดจากความเค้นบนหน้าสัมผัสระหว่างล้อกับรางรถไฟตามรูปที่ 8



รูปที่ 7 การ simulate หน้าสัมผัสระหว่างล้อกับรางรถไฟ



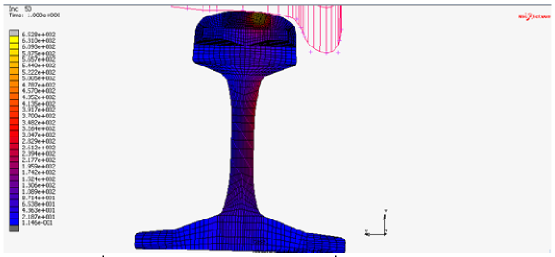
รูปที่ 8 ตำแหน่งความเค้นที่กระจายบนผิวสัมผัสราง

เมื่อได้ผลจากการ simulate แล้วทำการ plot กราฟแสดงความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวชิ้นงานที่เสียหายที่เราสนใจ

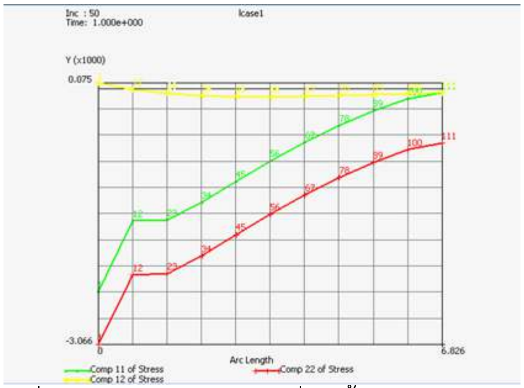
เมื่อทดสอบตามขั้นตอนเรียบร้อยแล้วเราก็จะดำเนินการขั้นต่อไปโดยงานวิจัยนี้เรานำเสนอเกี่ยวกับรางที่เสียหายจากการใช้งานและทำการบำรุงรักษาโดยการเจียพื้นผิวรางออกและทำการทดสอบด้วยแรงขนาดเท่าแรงที่ทดสอบรางก่อนเจียซึ่งเราต้องทำการสร้างแบบจำลองรางหลังเจียขึ้นมาและทำการ simulate เหมือนรางก่อนเจียตามรูปที่ 7,8 ที่ระดับความลึก 6 มม., 12 มม. และ 18 มม. ที่เจียออกของผิวสัมผัสรางที่ที่เสียหาย

4. ผลลัพธ์การวิจัย

ผลลัพธ์ที่ได้จากการ simulate รางก่อนเจียและหลังเจียทำการ plot กราฟความเค้นของรางและนำผลความเค้นที่แสดงจากกราฟแต่ละแบบมาเปรียบเทียบกันเพื่อประเมินความเสียหายของรางที่เกิดขึ้น โดยเริ่มต้นทำการ plot กราฟด้วย Path Plot โดย plot รูปของรางรถไฟก่อนเจียตามรูปที่ 9 และทำการ plot กราฟแสดงความเค้นที่ได้จากการทดสอบตามรูปที่ 10

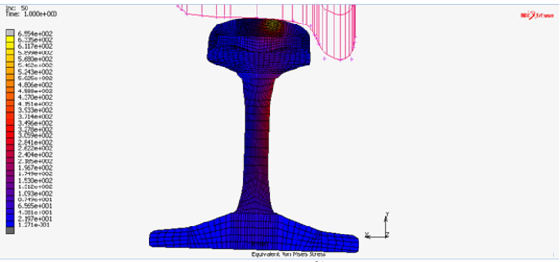


รูปที่ 9 แสดงภาพรางรถไฟที่ทดสอบก่อนเจีย

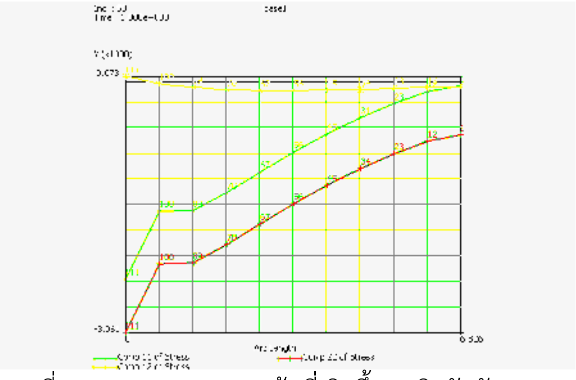


รูปที่ 10 แสดงกราฟความเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวสัมผัสของรางก่อนเจีย

ทำการเจียพื้นผิวของรางรถไฟที่ทำการทดสอบออกโดยเจียลึกลงไปภายในตัวราง 6 มม. และทำการ simulate แบบเดียวกับรางก่อนเจียตามรูปที่ 11 และทำการ plot กราฟความเค้นที่ได้รูปที่ 12

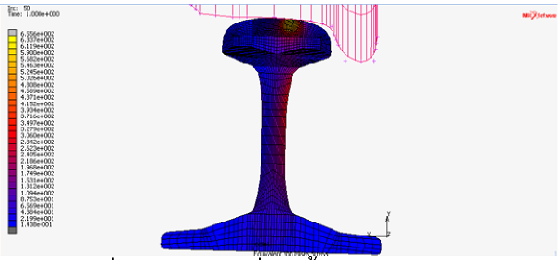


รูปที่ 11 รางรถไฟที่เจียพื้นผิวออก 6 มม.

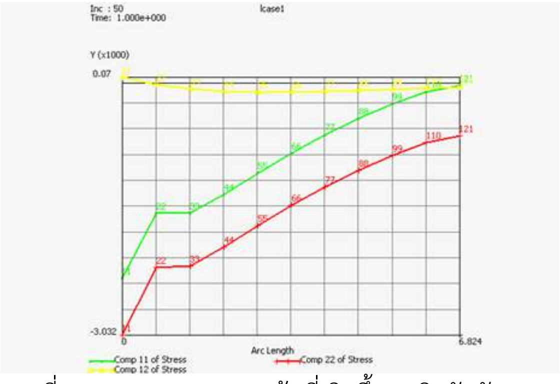


รูปที่ 12 แสดงกราฟความเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวสัมผัสของรางที่เจียพื้นผิวออก 6 มม.

นำรางทดสอบมาทำการเจียผิวสัมผัสออก 12 มม. ตามรูปที่ 13 และรูปที่ 14

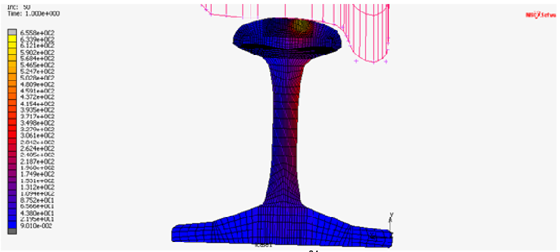


รูปที่ 13 รางรถไฟที่เจียพื้นผิวออก 12 มม.

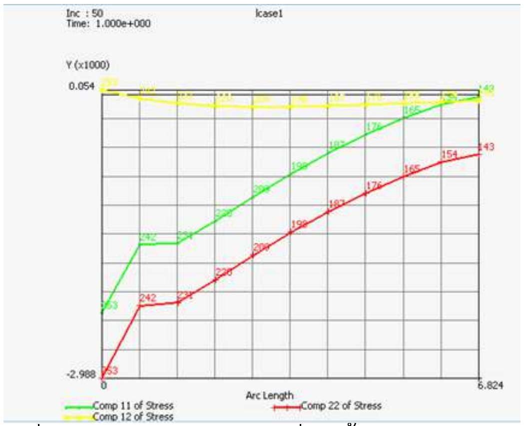


รูปที่ 14 แสดงกราฟความเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวสัมผัสของรางที่เจียพื้นผิวออก 12 มม.

ทำการทดสอบรางที่เจียออก 18 มม. ตามรูปที่ 15 และรูปที่ 16



รูปที่ 15 รางรถไฟที่เจียพื้นผิวออก 18 มม.



รูปที่ 16 แสดงกราฟความเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวสัมผัสของรางที่เจียพื้นผิวออก 18 มม.

จากกราฟของชิ้นงานที่เราทดสอบความเค้นที่เกิดขึ้น โดยตำแหน่งเริ่มต้นของกราฟคือตำแหน่งความเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวรางและตำแหน่งสุดท้ายของกราฟที่แสดงคือ

ตำแหน่งความเค้นที่เกิดขึ้นภายในรางเราจะนำผลลัพธ์ที่ได้มาสรุปตามตาราง 5, 6 และ 7 ดังนี้

ตาราง 5 แสดงความเค้นตั้งฉากบนแนวแกน x (comp11) ที่เกิดขึ้นบนรางรถไฟ

ความลึกของผิวรางที่เจียรออก	ขนาดความเค้นที่เกิดขึ้น	
	ผิวราง	ภายในตัวราง
0 มม.	-2434 MPa	-48 MPa
6 มม.	-2409 MPa	-42 MPa
12 มม.	-2350 MPa	-34 MPa
18 มม.	-2297 MPa	-23 MPa

ตาราง 6 แสดงความเค้นตั้งฉากบนแนวแกน y (comp22) ที่เกิดขึ้นบนรางรถไฟ

ความลึกของผิวรางที่เจียรออก	ขนาดความเค้นที่เกิดขึ้น	
	ผิวราง	ภายในตัวราง
0 มม.	-3066 MPa	-651 MPa
6 มม.	-3061 MPa	-644 MPa
12 มม.	-3032 MPa	-640 MPa
18 มม.	-2988 MPa	-627 MPa

ตาราง 7 แสดงความเค้นเฉือนบนแนวแกน xy (comp12) ที่เกิดขึ้นบนรางรถไฟ

ความลึกของผิวรางที่เจียรออก	ขนาดความเค้นที่เกิดขึ้น	
	ผิวราง	ภายในตัวราง
0 มม.	74.62 MPa	-45.11 MPa
6 มม.	73.4 MPa	-50.9 MPa
12 มม.	70.1 MPa	-52.3 MPa
18 มม.	54.1 MPa	-60.2 MPa

ผลลัพธ์ที่ได้จากตารางทำให้เราทราบขนาดของแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าสัมผัสรางก่อนเจียและหลังเจียรางรถไฟ เมื่อพิจารณาจากกราฟค่าทั้งหมดที่ได้จะถูกใช้ทดสอบโดยให้รางรับแรงเป็นระยะเวลาที่กำหนดก่อนที่เราจะเจียราง เพื่อนำหน้าสัมผัสเดิมออกและหน้าสัมผัสใหม่ที่ได้เดิมเป็นบริเวณเนื้อภายในรางก่อนเจียซึ่งมันได้รับความเสียหายจากแรงที่กระทำบนผิวรางลงมาโดยเราจะใช้ข้อมูลที่ได้นี้คำนวณหาอายุการใช้งานของรางรถไฟที่เหลืออยู่

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่าความเค้นที่ได้จากการ simulate รางรถไฟที่ใช้งานก่อนเจียรและหลังเจียรมีขนาดของแรงที่กระทำบนหน้าสัมผัสของรางใกล้เคียงกันจากตารางที่ 5,6 ตำแหน่งที่มีค่าความเค้นตั้งฉาก (comp11,comp22) สูงสุดอยู่ตำแหน่งผิวของรางส่วนตำแหน่งค่าความเค้นเฉือน(comp12)สูงสุดเมื่อพิจารณาจากกราฟ 10,12,14,16 ทำให้ทราบว่าตำแหน่งที่มีค่าความเค้นภายในสูงสุดโดยมีค่าประมาณ 100 MPa ที่ระยะ 3 มม. จากผิวสัมผัสของราง

ในการทดสอบเราทำการเจียรางบริเวณหน้าสัมผัสที่เสียหายออกเพื่อบำรุงรักษาแต่หน้าสัมผัสใหม่ที่ได้มีอายุการใช้งานลดลงเนื่องจากเดิมหน้าสัมผัสใหม่หลังเจียเป็นบริเวณภายในเนื้อรางซึ่งได้รับความเสียจากแรงที่กระจายบนผิวสัมผัสก่อนหน้านี้ค่าที่ได้ถูกนำมาใช้คำนวณหาอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของรางรถไฟและประเมินความเสียหายบริเวณผิวสัมผัสที่เกิดขึ้นของรางก่อนที่จะมีการเจียในอนาคต

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Glaeser., W.A., S.J. Shaffer., and B. Laboratories. (1996). "Contact Fatigue." Fatigue and Fracture 19: 331-336.

[2] Esen., İ. and M. Eroğlu. (2015). "3D FINITE ELEMENT ANALYSIS OF UIC 60 RAIL AND UIC 515 WHEEL ROLLING CONTACT AND UNDERSTANDING STARTING MECHANISM OF WEAR."

[3] Liu, Y., L. Liu, and S. Mahadevan (2007). "Analysis of subsurface crack propagation under rolling contact loading in railroad wheels using FEM." Engineering Fracture Mechanics 74(17): 2659-2674.

[4] YOUNG, W.C. and R.G. BUDYNAS (2002). " Roark's Formulas for Stress and Strain." McGraw-Hill: 689-705.

[5] Ito, S., N. Tsushima, and H. Muro (1982). "Accelerated RoUing Contact Fatigue Test by a Cylinder-to-Ball Rig." Rolling Contact Fatigue Testing of Bearing Steels ASTM STP 771(American Society for Testing and Materials): 125-135.

[6] Viswanathan, R. "LIFE ASSESSMENT OF HIGH TEMPERATURE COMPONENTS."