

การวัดความเสียหายของรางรถไฟโดยเครื่องวัดแขนกล 2 แขน Measurement manipulator 2 arms worn view prediction of Rail.

เวธกา กนกเวชยันต์ และ กรรมมันต์ ชูประเสริฐ*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

*ติดต่อ: fengkmc@ku.ac.th, 029428555 ต่อ 1831

บทคัดย่อ

การวัดความเสียหายจากการสึกหรอของรางรถไฟ ซึ่งเกิดจากการเสียดสีของล้อรถไฟกับรางรถไฟหรือเกิดจากการสึกกร่อนจากสนิม ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้รถไฟตกราง จึงต้องมีการตรวจสอบการสึกหรอของรางรถไฟเป็นประจำโดยในการตรวจวัดจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีคุณภาพซึ่งมีราคาสูง ส่งผลทำให้ค่าการบำรุงรักษาเพิ่มขึ้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดซึ่งมีกลไกการทำงานเป็นแขนกล 2 แขน โดยทำการออกแบบในโปรแกรมออกแบบสามมิติ โดยทั้ง 2 แขนจะมีการเคลื่อนที่ของข้อต่อเป็นแบบหมุน โดยมีตัวเข้ารหัสเป็นตัวรับค่ามุมที่เคลื่อนที่ในการวัด ตัวกลไกของแขนกลจะต้องสามารถวัดค่าได้อย่างแม่นยำ ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนที่รับได้จะมีค่าไม่เกิน 0.5 มม. โดยได้ทำการวัดค่าความเสียหายจริงและทำการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อปรับเทียบค่าให้แม่นยำ ซึ่งเราจะนำไปพัฒนาต่อเป็นแขนกล 3 แขน เพื่อให้มีความครอบคลุมมากขึ้น ในลักษณะงานที่คล้ายคลึงกัน

คำหลัก: การวัดความเสียหาย; เครื่องวัดแขนกล 2 แขน; รางรถไฟ

Abstract

The measurements of damages and wear on rail that caused by friction and rust corrosion are mandatory, because rust and wear are ones of the primary causes of train accidents. But the essential tools use in the measuring procedure are high quality and expensive. This results in an increased in the overall maintenance cost hence this project's inspiration.

The aim of this research is to design and build a measuring instrument which operates by mechanism consists of two mechanical arms. It was designed on three dimension designing program. The movements of both arms are provided by rotational joints with the encoder as a receiver of the moving angle in the measurement. The mechanism of these mechanical arms must be able to measure accurately with a tolerance that is not greater than 0.5 mm. The real damages measurements have been taken to use along with a mathematical calculations to accurately calibrate the values, which will be further developed into a 3 arms mechanism for other similar application.

Keywords: Measurement of rail wear; two arms mechanism; rail

1. บทนำ

ในปัจจุบันระบบขนส่งรางเช่นรถไฟ, รถไฟฟ้า เป็นระบบขนส่งมวลชนที่เติบโตอย่างมากในประเทศไทยทำให้มีประชากรจำนวนมากมาใช้งานในแต่ละวัน ซึ่งจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อยืดอายุการใช้งานของรถไฟและเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้โดยสาร

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมางานวิจัยนี้จึงได้ทำการสร้างเครื่องวัดแกนกล 2 แขน ซึ่งเป็นแกนกลแบบ planar เพื่อตรวจสอบความเสียหายของบริเวณหัวรางรถไฟ ที่เกิดจากสาเหตุบางประการ ยกตัวอย่างเช่น การเสียดสีของล้อรถไฟที่กระทำกับหัวรางรถไฟ ในขณะที่รถไฟกำลังเริ่มเคลื่อนที่และตอนที่เกิดการเบรก เป็นผลให้เกิดเป็นรอยสึก เป็นต้น โดยใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ [1] เพื่อทำการสอบเทียบเครื่องวัด โดยเครื่องมือวัดที่ใช้ในการสอบเทียบ ได้แก่ ไมโครมิเตอร์, เครื่อง CMM [2] เป็นต้น

ความเสียหายของบริเวณหัวรางรถไฟ ถ้ามีการสึกมากเกินไปกว่า 27% ของเนื้อที่หน้าตัดหัวราง จะไม่สามารถนำมาใช้งานต่อได้ เนื่องด้วยจะทำให้เกิดปัญหาการไฟตกราง ซึ่งเป็นสาเหตุที่รุนแรงอย่างมาก โดยจะยับยั้งปัญหานี้ด้วยการวางแผนการซ่อมบำรุง [3]

เครื่องวัดแกนกล 2 แขนของงานวิจัยได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อนำมาใช้ในการวัดรางรถไฟ โดยเครื่องวัดรางรถไฟแกนกลนั้นมีใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ซึ่งมีราคาที่สูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อลดต้นทุนจากการซื้อเครื่องต้นแบบ โดยนำไปพัฒนาให้เหมาะกับการใช้งานในไทย

2. การสึกของรางรถไฟ

การสึกที่เกิดบริเวณหัวของรางรถไฟ มีหลายสาเหตุ ได้แก่ การเสียดสีระหว่างล้อรถไฟกับรางรถไฟ, การเกิดสนิม, การรับภาระแรงจากผู้โดยสารที่มากเกินไป, แรง

เสียดทานที่เกิดบริเวณทางโค้ง, การเบรกและการออกตัวของรถไฟ เป็นต้น

3. การหาค่าตำแหน่งและเครื่องวัดแกนกล 2 แขน

3.1 เครื่องวัดแกนกล 2 แขน

เครื่องวัดแกนกล 2 แขน ประกอบด้วย incremental rotary encoder 2 ตัว ทำหน้าที่ในการตรวจจับทิศทางการหมุนที่แกนเคลื่อนที่ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ (dsPIC) เป็นตัวประมวลผลสัญญาณของ encoder แล้วแปลงมาเป็นมุมที่แกนกลเคลื่อนที่ไป บริเวณปลายของแขนที่ 2 จะมี round nut เพื่อใช้สัมผัสพื้นผิวที่ต้องการวัด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องวัดแกนกล 2 แขน

3.2 การหาค่าตำแหน่ง

การหาค่าตำแหน่งจากการใช้เครื่องวัดแกนกลนั้นจะคำนวณด้วยวิธีทางเรขาคณิต โดยเปลี่ยนจากค่าที่วัดได้เชิงมุมของ encoder ที่หมุนตามแกนกลซึ่งเคลื่อนที่ไปตามพื้นผิวหน้าตัดของรางรถไฟ ให้เป็นค่าตำแหน่งเชิงเส้นของหน้าตัดของรางรถไฟ ทำให้เกิดเป็นรูปร่างสองมิติ ดังสมการที่ (1) และ (2)

$$x = ((l_1 + \Delta l_1) \cos(\theta_A + \theta_1 + \Delta\theta_1)) + ((l_2 + \Delta l_2) \cos(\theta_B + \theta_2 + \Delta\theta_2)) \quad (1)$$

$$y = ((l_1 + \Delta l_1) \sin(\theta_A + \theta_1 + \Delta\theta_1)) + ((l_2 + \Delta l_2) \sin(\theta_B + \theta_2 + \Delta\theta_2)) \quad (2)$$

x คือ ตำแหน่งบนแกน x หน่วยเป็น มม.

y คือ ตำแหน่งบนแกน y หน่วยเป็น มม.

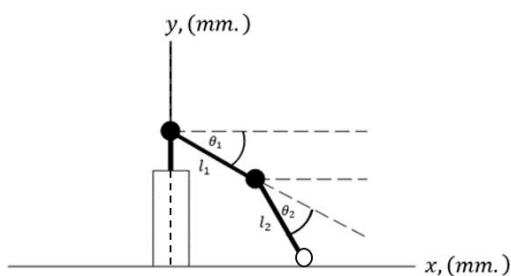
l_1 คือ ความยาวของแขนกลตัวที่ 1 หน่วยเป็น มม.

l_2 คือ ความยาวของแขนกลตัวที่ 2 หน่วยเป็น มม.

θ_1 คือ มุมของแขนกลตัวที่ 1 เทียบกับระนาบ x หน่วยเป็นองศา

θ_2 คือ มุมของแขนกลตัวที่ 2 เทียบกับระนาบ x หน่วยเป็นองศา

โดยสมการที่ (1) และ (2) จะนำมาคำนวณโดยสัมพันธ์กับตัวแปรในรูปที่ 2 และกำหนดให้ θ_A และ θ_B เป็นมุมที่ encoder ที่ตัวที่ 1 และ 2 หมุน ซึ่งเป็นตัวแปรที่แปรผันได้

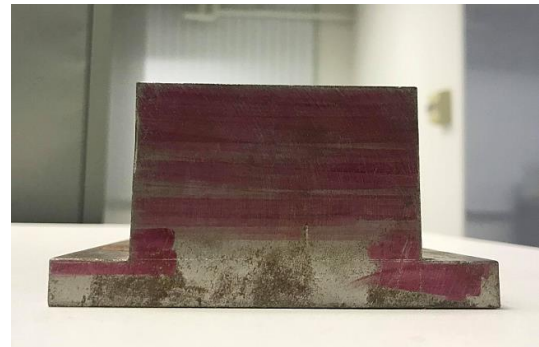


รูปที่ 2 แบบจำลองเครื่องวัดแขนกล 2 แขน

4. การสอบเทียบเครื่องมือวัด

4.1 อุปกรณ์สอบเทียบ

อุปกรณ์สอบเทียบที่เรานำมาใช้เป็นวัตถุที่มีรูปร่างหน้าตัดไม่ซับซ้อน เพื่อใช้ในการหาค่าตัวแปรในสมการที่ (1) และ (2) ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 อุปกรณ์สอบเทียบ

4.2 การติดตั้งเครื่องวัด

ในงานวิจัยนี้ จะติดตั้งเครื่องวัดแขนกลไว้กับอุปกรณ์สอบเทียบ โดยเครื่องวัดจะอยู่บริเวณด้านบน ขอบด้านหลังและด้านขวาของเครื่องวัดขนานเป็นแนวเดียวกันกับอุปกรณ์สอบเทียบ ซึ่งทั้งสองวัตถุนี้จะยึดติดกันด้วยแม่เหล็กที่ฐานของเครื่องวัด หลังจากนั้นทำการวัดจุดเริ่มต้นจากฐานด้านขวาล่าง โดยใช้ round nut สัมผัสเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิง ดังรูปที่ 4

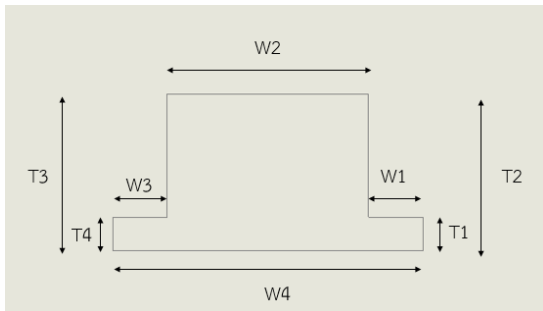


รูปที่ 4 เครื่องวัดแขนกลที่ตำแหน่งอ้างอิง

หลังจากติดตั้งเครื่องวัดแขนกล ทำวัดความยาวและการวัดมุมตามระบบพิกัดเชิงขั้วของแขนที่ 1 และ 2 ตามรูปที่ 2 เพื่อนำมาใช้ในสมการที่ (1) และ (2)

4.3 วิธีการสอบเทียบ

เริ่มจากการวัดอุปกรณ์สอบเทียบด้วยไมโครมิเตอร์ในแต่ละจุด ดังรูปที่ 5 ต่อมานำค่ามาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดแขนกลซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (1) และ (2) โดยตั้งสมมติฐานเพื่อใช้ในการสอบเทียบหาค่า $\Delta l_1, \Delta l_2, \Delta \theta_1$ และ $\Delta \theta_2$



รูปที่ 5 ภาพบอกขนาดของอุปกรณ์สอบเทียบ

สมมติฐานที่ 1 คือ เมื่อวัดอุปกรณ์สอบเทียบซึ่งวางบนพื้นที่มีระนาบเดียวกัน จะได้ว่า $y_{เริ่มต้น} = y_{สุดท้าย}$

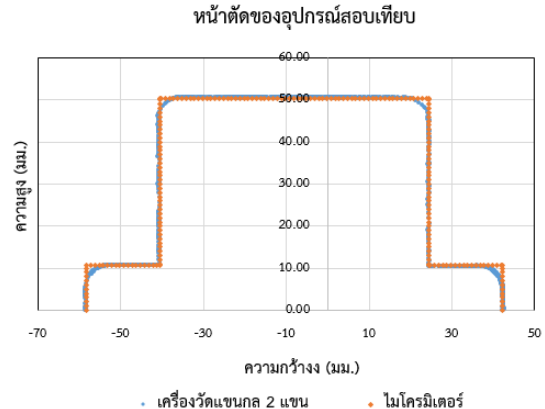
เครื่องวัดแขนกลของงานวิจัยนี้ จะเคลื่อนที่ไปตามรูปร่างของอุปกรณ์สอบเทียบ โดยเริ่มจากทางขวาไปซ้าย ซึ่งแขนกลไม่สามารถเคลื่อนที่โดยสัมผัสผิวตั้งแต่เริ่มต้นไปจนปลายสุดได้ ทำให้ต้องหมุน encoder ตัวแรกไปในทิศทางวนเข็มนาฬิกา เพื่อทำการวัดขนาดอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นสาเหตุให้เกิดสมมติฐานที่ 2

สมมติฐานที่ 2 คือ ถ้าตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไปนั้นสามารถมีชุดคำตอบของ θ_1 และ θ_2 2 ชุด ตำแหน่งนั้นจะมีค่า x และ y ที่เท่ากัน

หลังจากที่นำสมมติฐานที่ 1 และ 2 มาใช้ในการสอบเทียบสมการที่ (1) และ (2) ซึ่งเป็นผลเฉลยที่ใช้กับการติดตั้งเครื่องวัดจากรูปที่ 4 จะได้เป็นสมการที่ (3) และ (4) โดยมีเงื่อนไขว่า ค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 มม. เป็นดังตารางที่ 1 โดยอ้างอิงจากรูปที่ 6

$$x = ((65 - 0.5) \cos(\theta_A - 17 + 0.151)) + ((120 - 1.7) \cos(\theta_B - 79 - 1.22)) \quad (3)$$

$$y = ((65 - 0.5) \sin(\theta_A - 17 + 0.151)) + ((120 - 1.7) \sin(\theta_B - 79 - 1.22)) \quad (4)$$



รูปที่ 6 ขนาดหน้าตัดของอุปกรณ์สอบเทียบ

จากรูปที่ 6 ตำแหน่งบริเวณมุมของอุปกรณ์สอบเทียบที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดแขนกล 2 แขน มีค่าที่ไม่ใกล้เคียง เนื่องด้วยการไหลจาก round nut ที่ใช้วัด

ตารางที่ 1 ผลการทดลองของอุปกรณ์สอบเทียบ

ช่วงของความยาว	ขนาดของอุปกรณ์สอบเทียบ (มม.)		
	ไมโครมิเตอร์	เครื่องวัดแขนกล 2 แขน	ค่าคลาดเคลื่อน
w1	17.590	17.711	-0.121
w2	65.130	65.273	-0.143
w3	17.590	17.677	-0.087
w4	100.315	100.452	-0.137
T1	10.765	10.490	0.275
T2	50.340	50.486	-0.146
T3	50.430	50.618	-0.188
T4	10.780	10.616	0.164

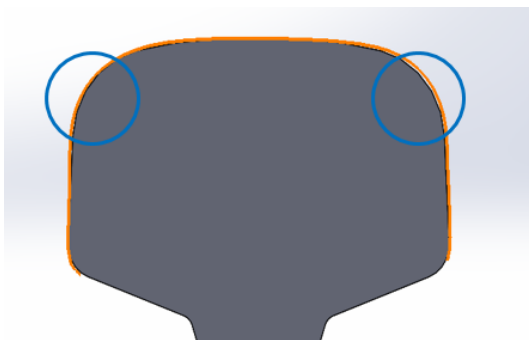
ผลการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 มม. จึงสามารถนำสมการที่ (3) และ (4) ไปใช้ในการวัดความเสียหายจากรางรถไฟ ด้วยเครื่องวัดแขนกล 2 แขน

5. ผลจากการวัดรางทดสอบBS100Aของรางรถไฟ

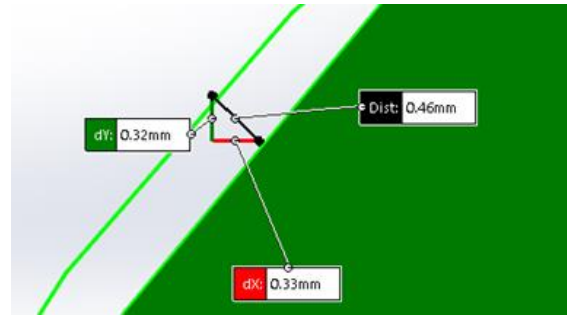
หลังจากที่ติดตั้งเครื่องวัดแขนกล จึงนำไปวัดบนรางรถไฟชนิด BS100A ตามรูปที่ 7 โดยติดตั้งให้แนวด้านหลังของเครื่องวัดและรางรถไฟขนานเป็นแนวเดียวกัน ลักษณะคล้ายกับรูปที่ 4 จากนั้นทำการวัดรางรถไฟทดสอบ โดยวัดเฉพาะบริเวณหัวรางรถไฟที่สัมผัสกับล้อรถไฟ ผลของการวัดรางรถไฟด้วยเครื่องวัดแขนกล 2 แขนเทียบกับขนาดรูปร่างมาตรฐานบนCAD3มิติของรางรถไฟ ซึ่งมีส่วนต่างที่ชัดเจนบริเวณที่วงกลมไว้ทั้งด้านซ้ายและขวา ดังรูปที่ 8 โดยแสดงให้เห็นระยะห่างของส่วนต่างที่วงกลม ในรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ



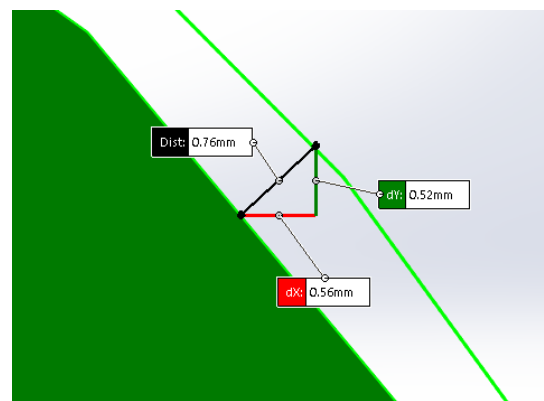
รูปที่ 7 รางรถไฟทดสอบชนิด BS100A



รูปที่ 8 แสดงผลการวัดจริงบนรางทดสอบเทียบกับขนาดของรูปร่างมาตรฐานบน CAD3มิติของรางรถไฟ BS100A



รูปที่ 9 ภาพขยายบริเวณส่วนต่างทางด้านซ้ายของรางทดสอบเทียบกับขนาดรูปร่างมาตรฐานของรางรถไฟ BS100A



รูปที่ 10 ภาพขยายบริเวณส่วนต่างทางด้านขวาของรางทดสอบเทียบกับขนาดรูปร่างมาตรฐานของรางรถไฟ BS100A

6. สรุปผลการทดลอง

จากการนำชุดเครื่องวัดแขนกลมาทดสอบโดยการติดตั้งเครื่องวัดบนอุปกรณ์สอบเทียบตามรูปที่ 4 ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 1 นั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 มม. และเมื่อนำเครื่องวัดมาวัดบนรางทดสอบของการรถไฟชนิด BS100A ในรูปที่ 7 ค่าที่ได้ให้ผลโดยเมื่อนำมาเทียบกับ ขนาดมิติในโปรแกรมCAD มีค่าต่างไปถึง 0.76 มม. ซึ่งยังไม่ใช่ผลการวัดเทียบกับการวัดด้วยเครื่อง CMM อย่างไรก็ตามการวัดก็ให้ผลนี้ที่มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงและมีความจำเป็นที่จะต้องนำรางทดสอบชุดนี้ไปวัดค่าบนเครื่อง CMM เพื่อจะนำมาเทียบกับการวัดด้วย

เครื่องวัดแขนกล จึงจะเป็นการสอบเทียบหาความคลาดเคลื่อนที่ถูกต้อง

นอกจากนี้ยังสามารถนำเครื่องวัด 2 ชุดประกอบบนปลายแท่ง 2 ด้านเพื่อนำไปวัดชุดรางถัดไป หรือสามารถนำมาวัดหน้าตัดสองมิติของวัตถุชนิดอื่นได้ ด้วยการติดตั้งเครื่องวัดตามรูปที่ 4 โดยใช้สมการที่ (3) และ (4) ในการคำนวณหาตำแหน่ง ในกรณีที่น่าไปวัดหน้าตัดที่มีขนาดใหญ่เกินขอบเขตที่แขนกลวัดได้ สามารถดัดแปลงเครื่องวัด โดยการเพิ่มขนาดของแขนกลทั้งสองในอัตราส่วนที่เท่ากัน

หากนำเครื่องวัดแขนกล 2 แขน ไปพัฒนาเป็น 3 แขน ทำให้สามารถวัดหน้าตัดของวัตถุที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ ยกตัวอย่างเช่น หน้าตัดของรางรถไฟ เป็นต้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Alexandr, K., Yier, W., Stephane, C. and Anatol, P. Design of Experiments for Calibration of Planar Anthropomorphic Manipulators, IEEE/ASME International 2011, Budapest, Hungary.
- [2] Gerhardt, L. and Hyun, K. View planning applied to coordinate measuring machine (CMM) measurement, IEEE, May 1995, Taipei, Taiwan.
- [3] Madalina, C., Gavril, K., Vladimir, M. and Zsolt, O. Rail-wheel Interaction and Its Influence on Rail and Wheels Wear, *Procedia Manufacturing*, vol. 32, 2019, pp. 895-900.