

## การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดชนิดเคลื่อนที่สำหรับวัดความขนานของรางรถไฟ

อนุวัฒน์ บำรุงกิจ<sup>1</sup> มานพ แยมแพง<sup>2</sup> และ มนุศักดิ์ จานทอง<sup>2\*</sup>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

\* Corresponding Author: manusak.j@en.rmutt.ac.th

<sup>1</sup> นักศึกษาระดับปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

### ข้อมูลบทความ

### บทคัดย่อ

#### ประวัติบทความ :

รับเพื่อพิจารณา : 26 พฤศจิกายน 2563

แก้ไข : 6 สิงหาคม 2564

ตอบรับ : 23 สิงหาคม 2564

DOI : 10.14456/kmuttrd.2021.10

#### คำสำคัญ :

รถไฟ / ความขนาน / ราง / การวัด

การวิจัยเชิงทดลองครั้งนี้เป็นการสร้างและพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อตรวจวัดความขนานของรางรถไฟ โดยการตรวจวัดเป็นแบบเคลื่อนที่และสามารถเปลี่ยนจุดที่ทำการวัดได้ง่าย ทั้งนี้ ตรวจวัดความขนานของรางรถไฟมาตรฐาน BS100A ที่กำหนดให้มีระยะความขนานเท่ากับ 459 mm โดยใช้อุปกรณ์วัดความดันในกระบอกไฮดรอลิก (ไฮดรอลิกพาราเรลเกจ) ร่วมกับอุปกรณ์บันทึกค่าความดัน ตรวจวัดค่าความขนานในระยะทาง 2.2 m ทุกๆ 10 cm ผลการทดลองที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัด 0.89 mm หรือคิดเท่ากับ 11.13 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการวัดด้วยเครื่องมือวัดระยะห่างแบบเลเซอร์ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับไฮดรอลิกพาราเรลเกจนี้มาจากการสะสมความดันในช่วงเวลาหนึ่งก่อนการเปลี่ยนค่าความดันภายในกระบอกสูบ (หรือฮิสเทอรีซิส) การเพิ่มค่าความแข็งตึงของสปริงสามารถลดค่าความแปรปรวนของความดันได้ จากผลการทดลอง สามารถหาค่าความสัมพันธ์ของค่าความดันของไฮดรอลิกพาราเรลเกจกับความขนานของรางรถไฟได้ด้วยสมการพหุนามอันดับที่ 5 อุปกรณ์ไฮดรอลิกพาราเรลเกจที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถนำไปปรับปรุงสำหรับการวัดรางขนานขนาดมาตรฐานได้ในอนาคต โดยสามารถสอบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานหรือแทรกเกจ ซึ่งจะเป็นการพัฒนาไฮดรอลิกพาราเรลเกจไปสู่การใช้งานตรวจวัดความขนานของรางรถไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ

---

## Development of a Mobile Measurement Device Prototype for Parallelity Measurement of Rails

Anuwat Bumrungskij<sup>1</sup> Manop Yamfang<sup>2</sup> and Manusak Janthong<sup>2\*</sup>

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Khlong Hok, Khlong Luang, Pathum Thani 12110

\* Corresponding Author: manusak.j@en.mutt.ac.th

<sup>1</sup> Doctor of Philosophy's Student, Mechanical Engineering, Faculty of Engineering.

<sup>2</sup> Assistant Professor, Mechanical Engineering, Faculty of Engineering.

---

### Article Info

#### Article History:

Received: November 26, 2020

Revised: August 6, 2021

Accepted: August 23, 2021

DOI : 10.14456/kmuttrd.2021.10

---

#### Keywords:

Train / Parallel / Rail /  
Measurement

### Abstract

This experimental research involved the fabrication and development of a prototype to determine rail parallelity; the prototype is mobile in nature and can easily change the point at which measurements are to be made. Parallelity of BS100A standard rails, with a parallel distance of 459 mm, was measured using the developed hydraulic parallel gauge (HPG) along with a pressure transducer. Experimental results were validated with those obtained using a laser distance meter; the measurement accuracy was noted to be 0.89 mm or 11.13 percent difference. The fluctuation of the internal pressure of the hydraulic cylinder, which was due to the accumulation of the stored pressure during the change of pressure, was the source of error. Such a fluctuation can nevertheless be reduced by using a spring with higher stiffness value. Based on the experimental data, the relation between HPG pressure and parallel distance could be correlated using a fifth order polynomial equation. The mobile HPG developed in this research can be further developed and used with the standard gauge rail system after being calibrated with a standard measurement device viz. a track gauge meter. This would result in the development of HPG into practical use in rail parallelity measurement.

---

## 1. บทนำ

ระบบขนส่งทางรางกำลังเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมของประเทศไทย ทำให้มีการก่อสร้างเส้นทางเดินรถไฟฟ้ในเขตกรุงเทพมหานคร และทางรถไฟรางคู่ระหว่างเมืองสำหรับการขนส่งสินค้าและการเดินทางของประชาชน ในขั้นต้นนั้นจะเป็นงานก่อสร้างเส้นทางที่เป็นงานด้านวิศวกรรมโยธา หลังจากนั้นจะเป็นงานติดตั้งระบบการเดินรถและอาณัติสัญญาณ อันเป็นงานต่อเนื่องระหว่าง วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ไฟฟ้าควบคุมและวิศวกรรมเครื่องกล ขั้นตอนดังกล่าวจะเสร็จสิ้นไปตามกรอบเวลาของโครงการก่อสร้าง หลังจากทีระบบเดินรถเริ่มให้บริการแก่ประชาชนแล้ว งานส่วนที่ต้องดำเนินการต่อไปควบคู่กับ

การใช้งานคือระบบบำรุงรักษาเพื่อเพิ่มความมั่นใจและความปลอดภัยในการใช้งานให้แก่ประชาชน ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงให้ความสนใจที่จะพัฒนาอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่จะช่วยสนับสนุนการบำรุงรักษาระบบรางเพื่อลดอุบัติเหตุและยืดอายุการใช้งานของราง

อุบัติเหตุที่เกิดกับรถไฟบ่อยครั้งก็คือรถไฟตกราง ซึ่งอาจเกิดจากการหลุดออกของสลักยึดรางกับหมอนรองราง ดังรูปที่ 1 หรือเกิดจากการขยายตัวของรางรถไฟอันเนื่องมาจากความร้อนสะสมในรางรถไฟทำให้รางเกิดการขยายตัว อันเป็นผลให้รางที่ถูกยึดติดกับหมอนรองราง โค้งออกจากแนวรางพร้อมกับหมอนรองราง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ลักษณะผิดปกติของรางรถไฟเนื่องจากสลักยึดรางหลุดออกจากตำแหน่งติดตั้ง [1]



รูปที่ 2 ลักษณะผิดปกติของรางรถไฟเนื่องจากความร้อนของดวงอาทิตย์ [2]

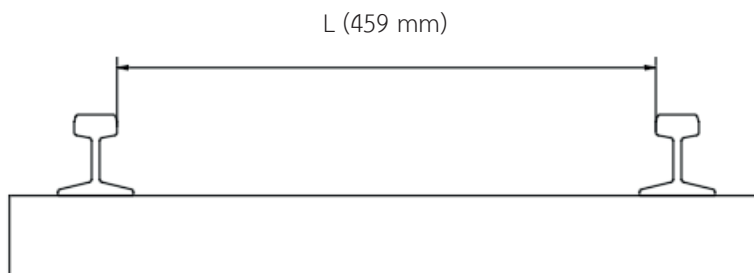
เมื่อศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้กับระบบรางพบว่ามันักวิจัยให้ความสนใจในระบบการตรวจสอบติดตามสาเหตุดังกล่าว เช่น ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างของรางรถไฟ แทรคเกจโดยใช้วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดไว้ด้านล่างของตัวรถจำนวน 2 ชุด ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลในส่วนของตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด ความเร็วของรถ ระยะห่างของรางรถไฟ จุดตัด และค่าความโค้งของรางรถไฟ [3] ศึกษาการตรวจวัดระยะห่างของรางรถไฟด้วย วิธีการ ไดแนมมิคอนสเตรกชันเมธอด โดยใช้ ชาร์จคัพเพิลติไวชแคมเมอเร และ เลเซอร์ 2 ชุด ซึ่งประยุกต์เข้ากับเทคนิคการประมวลผลภาพ ผลจากวิธีนี้คือสามารถตรวจสอบได้รวดเร็วและมีความแม่นยำสูง [4] ศึกษาการนำเลเซอร์ 3 มิติ มาใช้สแกนรางรถไฟ ทั้งแบบทางตรงและประแจสลักราง เพื่อสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดเป็นสีบนภาพรางรถไฟจากนั้นทำการวัดระยะห่างระหว่างรางทั้งสองด้าน นำค่าที่ได้มาเทียบกับข้อมูลของการตรวจวัดรางแบบปกติซึ่งผลที่ได้สามารถบอกระยะห่างของรางและความครบถ้วนของอุปกรณ์ยึดราง [5] ศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดความกว้างของรางรถไฟโดยใช้ เลเซอร์เซนเซอร์ และ มอเตอร์เอ็นโค็ดเตอร์ในการวัดระยะทางในการเคลื่อนที่ โดยมีค่าผิดพลาดอยู่ที่ 0.33 cm แต่ต้องทำอุปกรณ์บังแสงจากดวงอาทิตย์เพื่อไม่ให้มีผลต่อเลเซอร์เซนเซอร์ [6] จากข้อมูล

ดังกล่าวทำให้เข้าใจถึงปัญหาและข้อจำกัดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำสมบัติทางกลของอุปกรณ์ไฮดรอลิก ที่มีการเก็บความดันไว้ในระบบปิด และสามารถเพิ่มหรือลดความดันได้ตามการเปลี่ยนแปลงปริมาตรภายในกระบอกสูบ มาพัฒนาเป็นเครื่องมือวัดความขนานของรางรถไฟจากระยะห่างของรางที่เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยอุปกรณ์ชิ้นนี้จะสามารถติดตั้งไปกับรถตรวจราง และไม่จำเป็นต้องยกออกจากรางขณะใช้งาน ซึ่งเดิมใช้ แทรคเกจ เป็นเครื่องมือวัดและในการใช้งานนั้นต้องยกเปลี่ยนตำแหน่งทุกครั้ง

## 2. ทฤษฎี

### 2.1 หลักการตรวจสอบและบำรุงรักษาทางรถไฟ

ในการวิจัยครั้งนี้จะมุ่งเน้นที่การตรวจวัดความขนานของรางรถไฟทางตรงที่มีการเบี่ยง เข้า - ออก จากแนวของราง โดยกำหนดให้รางด้านหนึ่งยึดตรงตามแนวราง และรางอีกด้านหนึ่งปรับให้มีระยะห่างน้อยที่สุดกับระยะห่างมากที่สุดที่ยอมรับได้ ซึ่งจะเป็นรางที่เบน เข้า - ออก จากแนวราง โดยมีระยะห่างของรางอ้างอิงคือ  $L = 459 \text{ mm}$  ดังรูปที่ 3 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของทางรถไฟสำหรับการซ่อมบำรุง รวมถึงประแจและทางตัด ตามมาตรฐาน EN13231 ช่วงความเร็วการใช้งานไม่เกิน 80 km/h อยู่ที่ +7, -3 mm [7]



รูปที่ 3 การวัดระยะห่างของรางรถไฟทางตรง

### 2.2 แนวคิดทฤษฎีพื้นฐาน

หลักการเกิดความดัน เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณของแรง (F) ที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัด (A) ในทิศทางตั้งฉาก ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [8]

$$P = F/A \quad (1)$$

เมื่อ P คือ ความดัน ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )

F คือ แรงที่กระทำต่อพื้นที่ในแนวตั้งฉาก ( $\text{kgf}$ )

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง ( $\text{cm}^2$ )

### 3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจดังนั้นอุปกรณ์ชุดนี้จะใช้ชื่อว่า ไฮดรอลิกพาราเรลเกจ (บทความต่อจากนี้จะใช้ HPG แทนชื่อของอุปกรณ์) ประกอบด้วย

- อุปกรณ์วัดความดัน เป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดค่าความดันที่เกิดขึ้นภายในระบบและส่งสัญญาณแบบแอนะล็อก 4 mA ที่แรงดัน 0 bar และ 20 mA ที่ความดันสูงสุด โดย อุปกรณ์วัดความดัน ที่ใช้ในการทดลองเป็นรุ่น TR-PS2W-20Bar ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 อุปกรณ์วัดความดันที่ใช้ในการทดลอง

- อุปกรณ์บันทึกค่าความดัน เป็นรุ่น MPS-384SD เป็นอุปกรณ์บันทึกผลความดันที่ อุปกรณ์วัดความดันส่งสัญญาณออกมา โดยรับสัญญาณ 4 – 20 mA แล้วประมวลผลเป็นค่าความดันบันทึกเป็นข้อมูลเก็บไว้ใน เอสดีการ์ด ดังรูปที่ 5 (ก)

- อุปกรณ์วัดระยะห่างของรางเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ เป็นรุ่น RP-60A (บทความต่อจากนี้จะใช้ LDM แทนชื่อของ

อุปกรณ์) ความละเอียดสูงสุดที่วัดได้ 1 mm ค่าการอ้างอิงการวัดจะสามารถปรับได้ 2 รูปแบบคือปรับค่าอ้างอิงจากด้านล่างสุดของเครื่อง อ่านค่าได้ไกลที่สุดที่ 17 cm และค่าอ้างอิงจากส่วนบนสุดของเครื่องอ่านค่าได้ไกลที่สุดที่ 6 cm LDM วัดระยะได้ไกลสุด 60 m และมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่  $\pm 2$  mm ที่ระยะไกลสุดดังรูปที่ 5 (ข)



(ก)



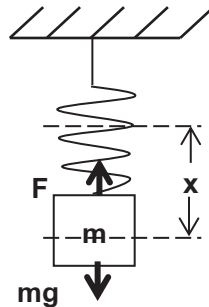
(ข)

รูปที่ 5 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล และ อุปกรณ์วัดระยะ

(ก) อุปกรณ์บันทึกค่าความดัน รุ่น MPS-384SD

(ข) LDM รุ่น RP-60A

- สปริงที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นสปริงตันซึ่งมี ขนาดความโตของลวดสปริง 1.8 mm ค่าคงที่ ของสปริง (k) คือ 654 N/m ซึ่งคำนวณจากกฎของฮุก คือ



รูปที่ 6 แบบจำลองการหาค่าคงที่ของสปริง (k)

เมื่อระบบอยู่ในสภาวะสมดุล

$$F = mg$$

และ F คือ แรงของสปริง จะได้ว่า

$$F = k \cdot x$$

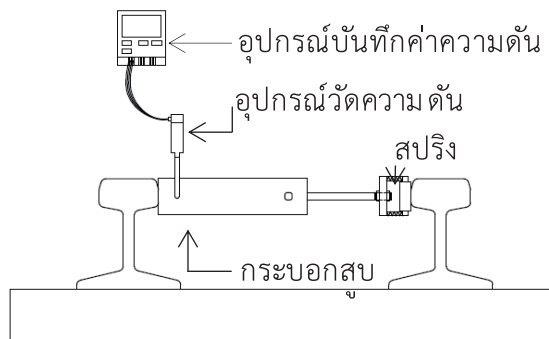
เมื่อ m คือ มวลของวัตถุ (1 kg)

(2) g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $m/s^2$ )

k คือ ค่าคงที่ของสปริง (N/m)

(3) x คือ ระยะยืดของสปริง (0.015m)

ทำการทดลองโดยติดตั้งกระบอกไฮดรอลิกไว้ส่วนล่างของ โป๊ก์ทดสอบ ซึ่งกระบอกไฮดรอลิกจะอยู่ในลักษณะดังรูปที่ 7

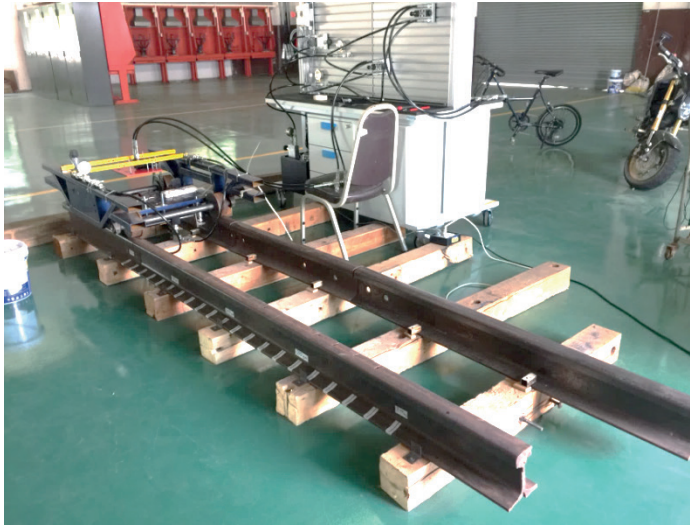


รูปที่ 7 แบบจำลองของระบบที่ใช้ในการทดสอบ

จากนั้นทำการเพิ่มความดันเพื่อให้ก้านลูกสูบยืดออกจนส่วนปลายสัมผัสกับผิวรางด้านในจนสปริงยุบตัวลงมาที่ 10 mm พร้อมทั้งทำการลดความดันในกระบอกไฮดรอลิกให้มีความดันภายใน 10 bar แล้วจึงทำการติดตั้ง อุปกรณ์วัดความดันเข้ากับส่วนท้ายของกระบอกไฮดรอลิกพร้อมทั้งต่อสายสัญญาณมายังอุปกรณ์บันทึกค่าความดัน ซึ่งจะทำการบันทึกค่า

ความดันที่เปลี่ยนแปลงไปทุก 5 s ตามการยืดและหดตัวของสปริง จากสมบัติทางกลที่ทำให้เกิดการ เพิ่ม - ลด ความดันในกระบอกไฮดรอลิกนี้เองที่จะใช้เป็นตัวแปรบอกความหนาแน่นของรางรถไฟที่มีการเบี่ยง เข้า - ออก จากแนวของราง โดยเทียบกับระยะห่างที่วัดได้จาก LDM โดยลักษณะการทดสอบจะเป็นดังรูปที่ 8



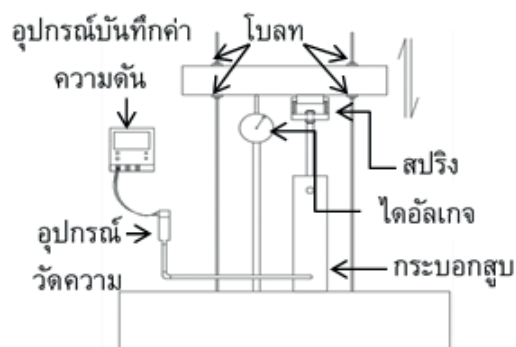


รูปที่ 8 ชุดทดสอบเครื่องมือวัดความขนานของรางรถไฟ

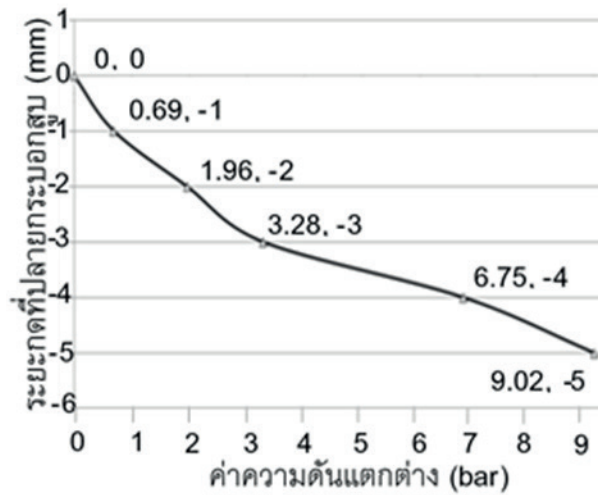
### 3.2 วิธีการทดลอง

ขั้นแรกทำการสอบเทียบ HPG กับ ไดอัลเกจ โดยการติดตั้ง HPG บนโต๊ะทดสอบ ดังรูปที่ 9 จากนั้นทำการเพิ่มความดันในส่วนท้ายของกระบอกไฮดรอลิก เพื่อให้ก้านสูบยืดออกจนลูกกลิ้งสัมผัสกับแท่งกด (10.42 bar) หลังจากนั้นปรับตั้ง ไดอัลเกจ ตามมาตรฐานการใช้งาน แล้วเริ่มกดเพื่อให้สปริงยุบตัวโดยการปรับระดับของ โบลท ลงครึ่งละ 1 mm

พร้อมกับบันทึกค่าความดันจนระยะของสปริงลดลงถึง 5 mm ซึ่งทำให้ความดันสูงมากกว่า 19 bar แล้วทำการคลาย โบลท เพิ่มระยะสปริงกลับมาจากจนถึงตำแหน่งเริ่มต้นครึ่งละ 1 mm พร้อมบันทึกค่าความดัน นำค่าความดันที่บันทึกได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะหดและยืดออกของสปริงเทียบกับผลต่างความดันจะได้กราฟดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 แบบจำลองการสอบเทียบความดันที่เกิดขึ้นกับ HPG จากระยะหด - ยืด ของสปริง

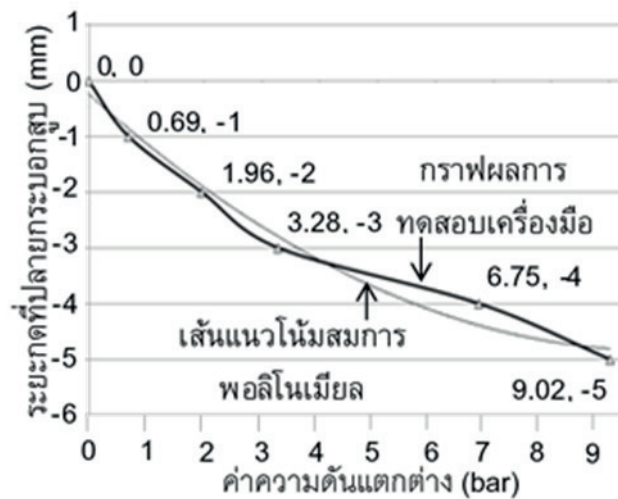


รูปที่ 10 ความดันเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระยะกุดที่ปลายกระบอกสูบ

เพื่อให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะกุดที่ปลายกระบอกสูบและผลต่างของความดันที่เปลี่ยนแปลงในกระบอกไฮดรอลิก สำหรับใช้ในการทดลอง ต้องทำการเพิ่มเส้นแนวโน้มและเส้นแนวโน้มที่เหมาะสมกับผลการทดลองนี้คือสมการพอลิโนเมียล อันดับ 2, 3, 4 และ 5 เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของอันดับที่ใช้ในการคำนวณระยะยึด - หด ของสปริง ซึ่งได้สมการดังนี้ สมการพอลิโนเมียล อันดับที่ 2

$$y = 0.0478x^2 - 0.9379x - 0.2384 \quad (4)$$

$$R^2 = 0.9819$$



รูปที่ 11 เส้นแนวโน้มของสมการพอลิโนเมียลอันดับที่ 2

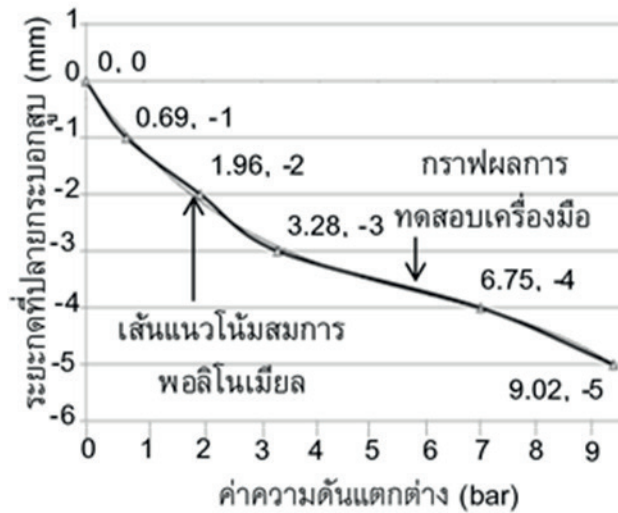


## สมการพอลิโนเมียล อันดับที่ 3

$$y = -0.0116x^3 + 0.2x^2 - 1.4142x - 0.0295$$

(5)

$$R^2 = 0.9984$$



รูปที่ 12 เส้นแนวโน้มของสมการพอลิโนเมียลอันดับที่ 3

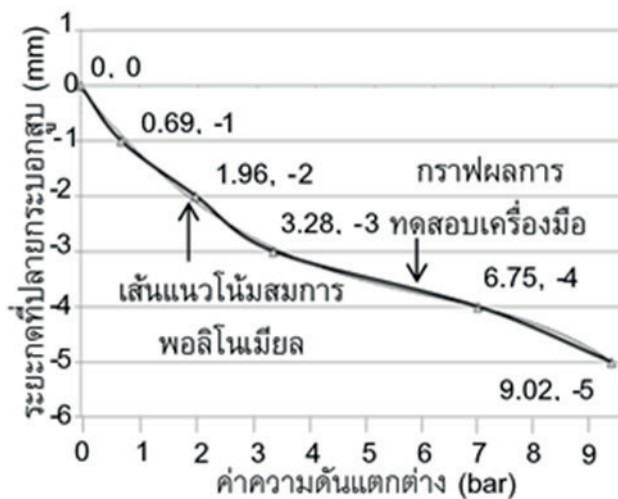
## สมการพอลิโนเมียล อันดับที่ 4

$$y = -0.0005x^4 - 0.003x^3 + 0.1528x^2$$

(6)

$$- 1.3374x - 0.0444$$

$$R^2 = 0.9984$$

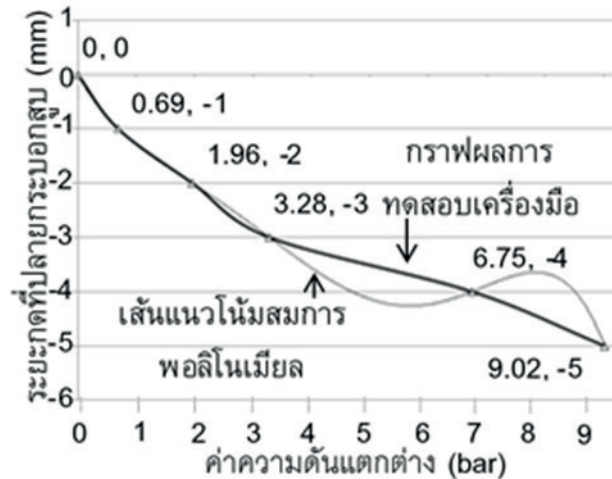


รูปที่ 13 เส้นแนวโน้มของสมการพอลิโนเมียลอันดับที่ 4

สมการพอลิโนเมียล อันดับที่ 5

$$y = -0.0023x^5 + 0.0459x^4 - 0.3141x^3 + 0.936x^2 - 1.9601x + 10^{-9}$$

$$R^2 = 1$$



รูปที่ 14 เส้นแนวโน้มของสมการพอลิโนเมียลอันดับที่ 5

เมื่อ  $y$  คือ ระยะกุดที่ปลายกระบอกสูบ (mm)  
 $x$  คือ ผลต่างของความดัน ( $\Delta P$ ) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 8 (bar)

$$x = \Delta P = P_x - P_0$$

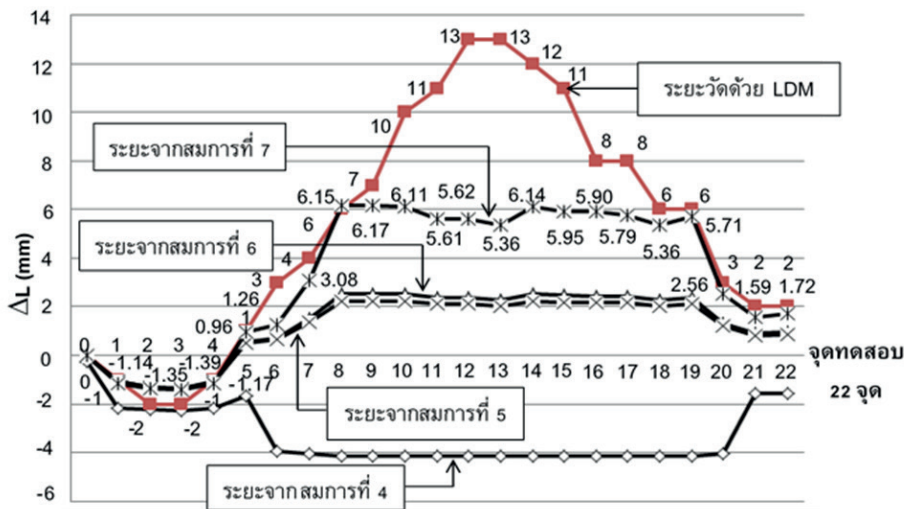
เมื่อ  $P_0$  คือ ความดันเริ่มต้นที่ทำให้กระบอกไฮดรอลิกยืดออกจนลูกกลิ้งสัมผัสกับผิวรางรถไฟและกดให้สปริงหดตัวลง (bar)

$P_x$  คือ ความดันที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะการเบี่ยงของรางรถไฟทดสอบ (bar)

ต่างความดันที่บันทึกได้มาแทนค่าในสมการที่ 4, 5, 6, และ 7 จะได้ระยะการเปลี่ยนแปลงของสปริงที่ปลายกระบอกสูบ จากนั้นนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับระยะห่างที่วัดได้จาก LDM จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 15

#### 4. ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดสอบขับเคลื่อนโบกี้บนรางทดสอบยาว 2.2 m และบันทึกค่าทุกระยะ 10 cm จำนวน 22 จุดทดสอบ ช่วงอุณหภูมิในพื้นที่ทดสอบ  $26^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$  เพื่อควบคุมความร้อนสะสมในระบบไม่ให้ส่งผลกับแรงดันภายใน HPG เมื่อนำค่าผลต่างความดันที่บันทึกได้มาแทนค่าในสมการที่ 4, 5, 6, และ 7 จะได้ระยะการเปลี่ยนแปลงของสปริงที่ปลายกระบอกสูบ จากนั้นนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับระยะห่างที่วัดได้จาก LDM จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ลักษณะของเส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงของสปริงที่ปลายกระบอกสูบซึ่งได้จากสมการที่ 4, 5, 6 และ 7

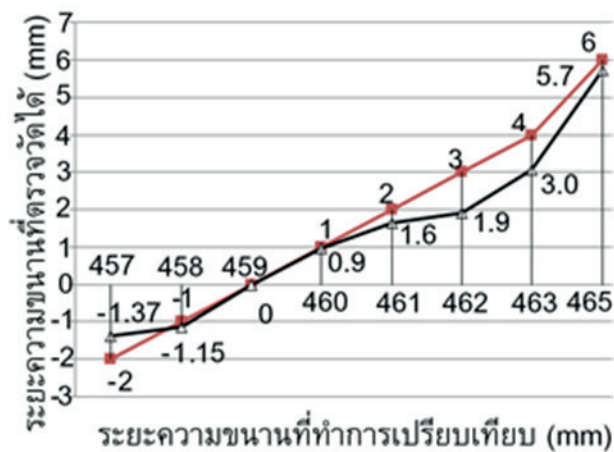
พิจารณาระยะของสปริงที่ปลายกระบอกสูบจากรูปที่ 15 พบว่ากราฟสมการพอลิโนเมียล อันดับที่ 5 มีลักษณะเส้นกราฟใกล้เคียงกับเส้นกราฟระยะห่างของรางที่วัดได้จาก LDM มากที่สุด และเกิดการเบี่ยงเบนของเส้นกราฟอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 3 ช่วงคือ

ช่วงที่ 1 จากจุดเริ่มต้นถึงจุดที่ 8 ระยะห่างของรางทดสอบ อยู่ที่ 457 - 465 mm

ช่วงที่ 2 จุดที่ 9 ถึงจุดที่ 19 ระยะห่างของรางทดสอบ อยู่ที่ 466 - 472 mm

ช่วงที่ 3 จุดที่ 20 ถึงจุดที่ 22 ระยะห่างของรางทดสอบ อยู่ที่ 461 - 462 mm

ในช่วงที่ 2 นั้นมีระยะห่างของรางทดสอบมากกว่าระยะทำงานของ HPG ดังนั้นเพื่อลดค่าความผิดพลาดดังกล่าว จึงเลือกพิจารณาเฉพาะช่วงที่ 1 และ 2 จะได้ระยะแคบที่สุดคือ -2 mm ระยะกว้างที่สุดคือ 6 mm (457 - 465 mm) และเขียนกราฟเปรียบเทียบความหนาที่วัดได้จาก LDM กับ HPG จะได้ รูปที่ 16



รูปที่ 16 เปรียบเทียบระยะห่างของรางรถไฟที่วัดได้จาก LDM กับ สมการที่ 7 เฉพาะช่วงระยะ -2 ถึง 6 mm

จากรูปที่ 16 จะเห็นได้ว่าเกิดการเบี่ยงเบนของเส้นกราฟ 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 อยู่ด้านซ้ายของระยะอ้างอิงเป็นช่วงระยะห่างของราง 457 mm ถึง 459 mm ซึ่งเป็นช่วงที่รางมีระยะแคบลง (ค่าลบ) และ ช่วงที่ 2 จะอยู่ด้านขวาของระยะอ้างอิง

เป็นช่วงระยะห่าง 459 mm ถึง 465 mm ซึ่งเป็นช่วงที่รางมีระยะกว้างขึ้น (ค่าบวก) สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการตรวจวัดจากสมการที่ 9 จะได้ค่าระยะความห่างและเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนของรางทดสอบดังตารางที่ 1

$$Er = [(\Delta L_{HPG} - \Delta L_{LDM} / \Delta L_{LDM}) \times 100] \tag{9}$$

เมื่อ Er คือ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของระบบ

$\Delta L_{HPG}$  คือ ระยะความห่างของรางทดสอบที่เทียบกับระยะอ้างอิง (459 mm)

$\Delta L_{LDM}$  คือ ระยะความห่างของรางทดสอบที่วัดได้จาก LDM เทียบกับระยะอ้างอิง (459 mm)

ตารางที่ 1 แสดงค่าระยะความห่างและเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนของรางทดสอบ

ระยะความขนาน (mm)	$\Delta L_{LDM}$ (mm)	$\Delta L_{HPG}$ (mm)	$ \Delta L_{LDM} - \Delta L_{HPG} $	Er (%)	Erเฉลี่ย (%)
457	- 2	-1.37	0.63	31.5	23.25
458	- 1	-1.15	0.15	15.0	
459	0	0	0	0	0
460	1	0.96	0.04	4.0	17.02
461	2	1.65	0.35	17.5	
462	3	1.91	1.09	36.3	
463	4	3.08	0.92	23.0	
464	5	3.34	0.66	14.5	
465	6	5.74	0.26	4.3	
Erเฉลี่ย (7 point)			0.49	18.8	

ตารางที่ 2 ค่าความขนานของรางรถไฟทดสอบ

อุปกรณ์ในการทดสอบ	ด้านแคบ (mm)	ด้านกว้าง (mm)	ความขนานของรางทดสอบ (mm)
LDM	-2	6	8
HPG	-1.37	5.74	7.11
ค่าความคลาดเคลื่อน (%)			11.13

หมายเหตุ: ค่าความขนานตามมาตรฐาน EN13231 ช่วงความเร็วการใช้งานไม่เกิน 80 km/h ที่ 10 mm (+7,-3)

### 5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ความผิดพลาดระยะของช่วงการวัดที่รางมีระยะแคบ อยู่ที่ 23.25% และช่วงการวัดที่รางมีระยะกว้างอยู่ที่ 17.02% และหากพิจารณาค่าความผิดพลาดทั้ง 7 จุด (ไม่คิดจุดอ้างอิง ที่ระยะ 459 mm) จะได้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 18.8% หรือคิดค่าเฉลี่ยเป็นระยะที่ HPG ตรวจวัดได้จะมีค่าประมาณ 0.49 mm ผลการทดลองจากตารางที่ 2 อุปกรณ์ตรวจวัดความขนานของรางรถไฟชนิดเคลื่อนที่สามารถประมวลผลความขนานของรางรถไฟได้ใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดแบบ LDM โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.89 mm หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 11.13% ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการแปรปรวนของความดันในกระบอกไฮดรอลิก หรือ อีสเทอริซิซ ซึ่งเป็นการสะสมของความดันในช่วงเวลาหนึ่งก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงความดัน [9-10] ผลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยจะนำอุปกรณ์ HPG

ไปทดสอบบนรางรถไฟมาตรฐานมิเตอร์เกจ (ขนาดความกว้าง 1000 mm) เพื่อศึกษาผลกระทบจากสภาพรางรถไฟจริงทั้งในส่วนของอุณหภูมิ และสภาพของรางรถไฟที่ใช้งานจริงอันส่งผลต่อการทำงานของ HPG รวมถึงพัฒนาระบบบันทึกข้อมูลที่สามารถส่งข้อมูลที่ตรวจวัดได้กลับมายังศูนย์บำรุงรักษาเพื่อเตรียมแผนงานซ่อมบำรุงตามวาระ เพื่อให้รางรถไฟอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานและพร้อมให้บริการแก่ผู้โดยสารระบบขนส่งทางรางซึ่งมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยต่อไป

## 6. เอกสารอ้างอิง

1. Thairath online, 2019, Know the Cause of the Train Derailment the Thief Remove Steel Plate Support Tracks and Antique Store for Sale [Online], Available: <https://www.thairath.co.th/news>. [20 August 2019]
2. Kapook, 2020, The Hot Weather Caused the Railway Tracks Bend between Rueso - Lalo Station, Narathiwat Province to Temporarily Close the Railway and Urgent Repairs are Expected to Take 1 - 2 hours [Online], Available : <https://highlight.kapook.com/view> [12 July 2020]
3. Yang, Q. and Lin, J., 2011, "Track Gauge Dynamic measurement Based on 2D Laser Displacement Sensor," *IEEE Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*, 15-17 July 2011, Inner Mongolia, China, pp. 5473 – 5476
4. Zheng, S., Chai, X., An, x. and Li, L., 2012, "Railway Track Gauge Inspection Method Based on Computer Vision," *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 5-8 August 2012, Chengdu, China, pp. 1292-1296.
5. Hackel, T., Stein, D., Maindorfer, I., Lauery, M. and Reiterer, A., 2015. "Track Detection in 3D Laser Scanning Data of Railway Infrastructure," *IEEE Instrumentation and Measurement Society*, 11-14 May 2015, Pisa, Italy.
6. Tam-Ae, S., Pornsopin, J. and Janthong, M., 2018, Railway Track Width Measurement System, Mechanical Engineering Project, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (In Thai)
7. Office of Transport and Traffic Policy and Planning, 2018, Railway Structure Maintenance Manual. (In Thai)
8. Wikipedia, 2020, Pressure [Online], Available : <https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure>. [23 March 2020]
9. Nikfarjam, F. and Sohankar, A., 2015, "Study of Hysteresis Associated with Power-law Fluids Past Square Prisms Arranged in Tandem," *Ocean Engineering*, pp. 698-713
10. Cui, Z., Ngo, H., Cheng, Z., Zhang, H., Guo, W., Meng, X., Jia, H. and Wang, J., 2020, "Hysteresis Effect on Back Washing Process in a Submerged Hollow Fiber Membrane Bioreactor (MBR) Applied to Membrane Fouling Mitigation," *Bioresour Technol*, 300, March 2020 pp. 8

