# สมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตันสองชั้น

# The Rotating Balance of Integral Solid Tire

เสน่ห์ รักเกื้อ[1]* เจริญยุทธ เดชวายุกุล[1] วิริยะ ทองเรือง[1] คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์[2] พฤทธิกร สมิตไมตรี[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
โทรศัพท์ (074) 287-035 โทรสาร (074) 212-893 Email*: s4712048@psu.ac.th

Sanae Rukkur[1]* Charoenyut Dechwayukul[1] Wiriya Thongruang[1] Kanadit Chetpattananondh[2] Pruittikorn Smithmaitrie[1]
[1]Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering Prince of Songkla University
[2]Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering Prince of Songkla University
Hat Yai, Songkla 90112 Tel (074)287-035, Fax (074)212893 Email*: s4712048@psu.ac.th

**บทคัดย่อ**

บทความนี้นำเสนอวิธีและกระบวนการตรวจสอบความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตันที่ผลิตภายในประเทศ โดยการตรวจวัดการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นที่แกนเพลาของล้อยางตัน แบบไม่สัมผัส (non-contact) ด้วยเทคนิคทางแสงเลเซอร์มาใช้ โดยเทคนิคนี้มีความไวเป็นเชิงเส้น ความละเอียดที่ดี และราคาถูก จากการทดสอบล้อยางตันหนึ่งล้อซ้ำๆ กันหลายครั้ง พบว่าค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่า Repeatability ของวงจรทดสอบน้อยกว่า 10.6 % FSO ในการทดสอบทำการควบคุมให้ล้อยางหมุนที่ความเร็วเชิงเส้น 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในการทดสอบล้อยางตันหนึ่งล้อทำการประกอบติดตั้งล้อยางเข้ากับเครื่องทดสอบ 3 ครั้ง และ 1 ครั้งของการติดตั้งจะทำการวัดการเคลื่อนที่ของแกนเพลา 5 ครั้ง ค่าของการเคลื่อนที่แต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน และพบว่าผลที่ได้จากการตรวจวัดสามารถบ่งบอกความไม่สมดุลการหมุน ซึ่งเป็นคุณภาพของล้อยางระหว่างที่ผลิตภายในประเทศและต่างประเทศได้

**Abstract:**

This article is proposed the measurement of rotating balance of domestic solid tyres by a laser based technique which is non-contact, linear sensitivity, good solutions, simplicity and economy. The instrument are designed and constructed. To verity the instrument, the X-Y shaft axis displacements are detected repeatedly, then the repeatability is studied. It is found that the repeatability is less than 10.6 % FSO when the tyres are test at liner velocity of 25 km/hr. To study the measurement of balancing, the solid tyres are detected the displacements several times. In each one tyre measuring, it is reinstalled and removed 3 times. At each instation, it is measured the displacements repeated 5 times. It is found that each measurement gives not difference error. Ii is to confirm that this measurement and this instrument can be used to verity the quality of solid tyres in terms of rotating balance.

## 1. บทนำ

ล้อยางตันสองชั้นที่ใช้กับรถฟอร์คลิฟท์ ซึ่งผลิตเองภายในประเทศ ยังมีปัญหาด้านคุณภาพโดยเฉพาะการสั่นสะเทือนของล้อยางตัน เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของรูปทรงและมวล (Shape and Mass Uniformity) ของยางชั้นในและยางชั้นนอก เกิดความไม่สมดุล (Rotating Unbalance) รอบแกนหมุนเมื่อนำไปใช้งาน ทางผู้ผลิตล้อยางตันได้พยายามปรับกระบวนการผลิต เพื่อควบคุมรูปของล้อยางตันในแต่ละชั้นให้สม่ำเสมอมากขึ้น แต่ยังขาดวิธีการ และอุปกรณ์ตรวจสอบความสมดุลของล้อยางตัน ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเสนอวิธีการ และอุปกรณ์ทดสอบความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตัน ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบคุณภาพของล้อยางตัน สำหรับการพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป

## 2. ทฤษฎีพื้นฐาน

### 2.1 แนวคิดเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนของล้อยางตัน

การสั่นสะเทือนของล้อยางตันเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุเช่น ล้อขาดสมดุลแรงเหวี่ยงขณะหมุน (Unbalanced wheel) ซึ่งเกิดจากมวลกระจายไม่สม่ำเสมอ ไม่มีความสมมาตรของรูปทรง ดังแสดงในรูปที่2.1

และ 2.2 ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตที่ไม่สามารถควบคุมรูปร่างของยางชั้นในให้สม่ำเสมอรอบแกนหมุนได้

รูปที่ 2.1 มวลของล้อยางกระจายไม่สม่ำเสมอ

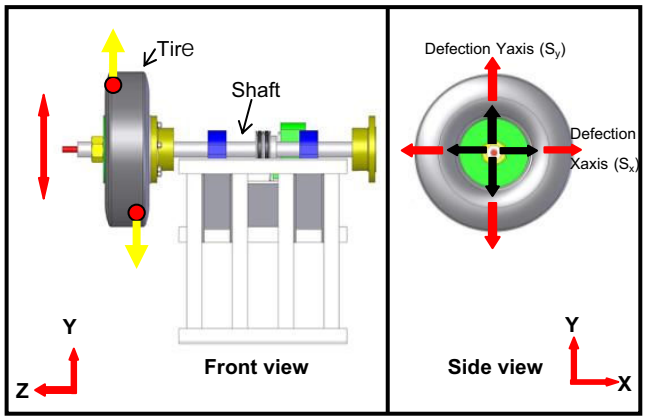
รูปที่ 2.2 แสดงหน้าตัดของยางชั้นในที่ไม่คงรูป

**2.2 แนวคิดความไม่สมดุลการหมุนของล้อยางตันสองชั้นเนื่องจากแรงเหวี่ยง**

ความไม่สมดุลการหมุนของล้อยางตันเกิดจากมวลของล้อยางตันกระจายไม่สม่ำเสมอ พื้นที่หน้าตัดของยางชั้นในไม่สมมาตรหรือเท่ากันรอบแกนหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 บางจุดมีมวลมาก บางจุดมีมวลน้อย เมื่อล้อกลิ้งไปจุดที่มีมวลมาก จะมีแรงเหวี่ยง (Centrifugal force) มากกว่าจุดที่มีมวลน้อย ทำให้เกิดความไม่สมดุลของแรงขณะล้อยางหมุน โดยทั่วไปแล้วสาเหตุดังกล่าวเกิดจากล้อยางที่ผลิตมาไม่มีคุณภาพ ทำให้เกิดการหมุนที่ไม่สมดุล ชนิดของความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นในล้อยางตันมี 2 ชนิด คือ ความไม่สมดุลสถิตศาสตร์ (Static Unbalance) และความไม่สมดุลทางพลศาสตร์ (Dynamic Unbalance) ซึ่งความไม่สมดุลทั้ง 2 ชนิด จะมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของมวลที่หมุนรอบตัวเองและแปรผันไปตามตำแหน่งและทิศทางของแกนการหมุน สำหรับการศึกษานี้เน้นเฉพาะความไม่สมดุลทางพลศาสตร์

**2.2.1 ความไม่สมดุลทางพลศาสตร์ (Dynamic Unbalance)**

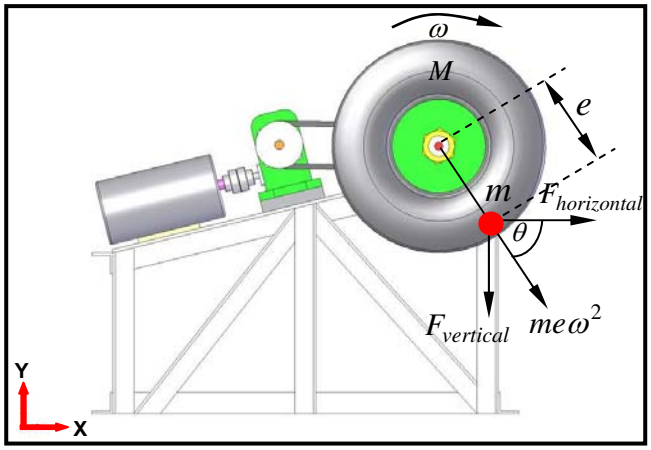
ความไม่สมดุลทางพลสาสตร์จะเกิดขึ้นเมื่อแกนความเฉื่อย (Principal Axis of Inertia) ของวัตถุไม่อยู่ในตำแหน่งแกนการหมุน (Axis of rotation) ซึ่งโมเมนต์ (Moment) หรือแรงคู่ควบ (Couple) ไม่สมดุล สามารถอธิบายได้เหมือนกับความไม่สมดุลสถิต 2 จุด อยู่ในระยะต่างกันไป ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เมื่อความไม่สมดุลเกิดขึ้นมากกว่า 1 ระนาบ เป็นผลให้แกว่งไปมา (Rocking moment) เมื่อวัตถุหมุน ตัวอย่างเช่น พิจารณาเพลาที่มีล้อยางติดตั้งอยู่ โดยล้อยางนั้นมีมวลที่ไม่สมดุล 2 จุด มวลดังกล่าวมีน้ำหนักเท่ากันและทำมุม180 ° ต่อกัน ล้อยางจะหมุนแบบสมดุลสถิตตามแนวแกนของเพลาแต่ล้อยางที่ไม่สมดุลนี้จะมีการหมุนด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำให้เกิดการแกว่งของเพลา โดยการเคลื่อนที่เป็นปัญหา 2 ลำดับขั้นความเป็นอิสระ (Degree of Freedom) เนื่องจากมีทั้งการเปลี่ยนรูปและการเคลื่อนที่ เชิงมุมของเพลาเกิดขึ้นพร้อมๆกัน [2,3,4,6] ระบบจะมี ความสมดุลทางพลศาสตร์




รูปที่ 2.3 Dynamic Unbalance

(Dynamic Balance) เมื่อ ผลรวมของแรงเฉื่อยเท่ากับศูนย์ ( $\sum$ inertia forces = 0) โดยการปรับสมดุลของแรงเฉื่อย (inertia forces) ความไม่สมดุลทางพลศาสตร์ (Dynamic Unbalance) ที่เกิดขึ้นในล้อยางเมื่อล้อยางหมุนจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ไปมาทางด้านข้าง ดังรูปที่ 2.3 เนื่องจากมีจุดที่หนักอยู่สองจุดบนล้อยาง

พิจารณาระบบที่มีส่วนหมุนของล้อยางตัน กำหนดให้ล้อยางตันมีมวลเท่ากับ M และสมมุติให้มีมวลที่ทำให้เกิดการไม่สมดุล เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของหน้าตัด มวลที่ไม่สมดุลมีขนาด $m$ อยู่ห่างจากแกนเพลาหมุนเท่ากับ $e$ ดังแสดงในรูปที่ 2.4




รูปที่ 2.4 แสดงแนวแรงที่กระทำบนมวลที่ไม่สมดุลของล้อยาง

ทำให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของมวลกระทำกับเพลามีขนาดเท่ากับ $me\omega^2$ เมื่อ $\omega$ คือความเร็วรอบส่วนหมุน แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแกนเพลา [1,4]

การเคลื่อนที่ของเพลาตามแนวนอนมีขนาดเท่ากับ

$$F_{horizontal} = me\omega^2 \cos\theta \qquad (2.1)$$

การเคลื่อนที่ของเพลาตามแนวดิ่งมีขนาดเท่ากับ

$$F_{vertical} = me\omega^2 \sin\theta \qquad (2.2)$$

เมื่อสมมุติให้ระบบของล้อยางตันและแบริ่งเป็นระบบมวล-สปริง-ตัวหน่วง (mass-spring-damper system) และสมมุติให้แรงบิดไม่มีผลต่อการสั่นสะเทือนของล้อยางตันจะได้สมการการเคลื่อนที่ของแกนเพลาดังนี้

สมการการเคลื่อนที่ตามแนวนอน

$$M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = me\omega^2 \cos\theta \qquad (2.3)$$

สมการการเคลื่อนที่ตามแนวดิ่ง

$$M\ddot{y} + c\dot{y} + ky = me\omega^2 \sin\theta \qquad (2.4)$$

แต่เนื่องจากความหนาของน้ำมันที่หล่อลื่นแบริ่งมีความหนาน้อยมาก ดังนั้นค่าของ $c$ จึงมีค่าน้อย สามารถที่จะตัดทิ้งไปได้ ดังนั้นสมการ (2.3) และ สมการ (2.4) ลดรูปเป็นดังนี้

สมการการเคลื่อนที่ตามแนวนอน

$$M\ddot{x} + kx = me\omega^2 \cos\theta \qquad (2.5)$$

สมการการเคลื่อนที่ตามแนวดิ่ง

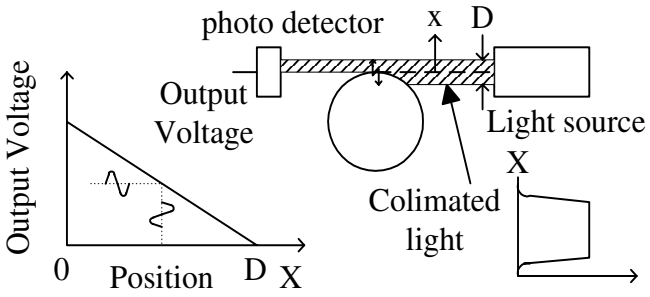
$$M\ddot{y} + ky = me\omega^2 \sin\theta \qquad (2.6)$$

**สัญลักษณ์**

| | | |
|---|---|---|
| $M$ | : | มวลของล้อยางตัน |
| $m$ | : | มวลที่ไม่สมดุล |
| $e$ | : | ระยะห่างของมวลที่ไม่สมดุลจากแกนหมุน |
| $\omega$ | : | ความเร็วรอบการหมุน |
| $c$ | : | ค่าคงตัวการหน่วงของระบบ |
| $k$ | : | ค่า stiffness ของเพลาล้อ |
| $\theta$ | : | มุมของมวลที่ไม่สมดุลหมุนไปจากแนวระดับ |
| $x$ | : | ระยะทางเคลื่อนที่ในแนวนอน |
| $\dot{x}$ | : | ความเร็วในแนวนอน |
| $\ddot{x}$ | : | ความเร่งในแนวนอน |
| $y$ | : | ระยะทางเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง |
| $\dot{y}$ | : | ความเร็วในแนวดิ่ง |
| $\ddot{y}$ | : | ความเร่งในแนวดิ่ง |

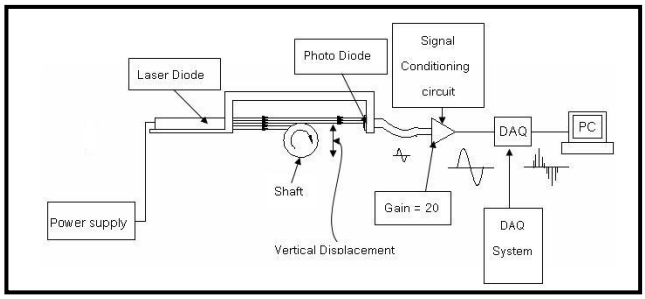
**2.2.2 การวัดการสั่นสะเทือนด้วยเทคนิคทางแสงเลเซอร์**

จากรูปที่ 2.7 แสดงถึงเครื่องมือวัดค่าการสั่นสะเทือนแบบไม่สัมผัสด้วยเทคนิคทางแสงเลเซอร์ [7] อุปกรณ์หลักของเครื่องวัดนี้ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นเลเซอร์ไดโอด (Laser diode) 5 mW ขนาดความกว้างของลำแสงเป็น 3 mm ความยาวคลื่นเป็น 650 nm และอุปกรณ์ตรวจรับแสงเป็นโฟโตไดโอด (Photodiode) ที่มีแถบความถี่เป็น 100 kHz




รูปที่ 2.7 แสดงหลักการของเครื่องวัดการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปการสั่นสะเทือนด้วยเทคนิคทางแสงเลเซอร์

ในการใช้งานสำหรับวัดค่าการสั่นสะเทือนของวัตถุ ต้องทำการปรับเลื่อนอุปกรณ์หลักของเครื่องมือวัดให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของเส้นแสดงความไวของเครื่องมือวัด (x=D/2) โดยที่ D เป็นความกว้างของลำแสงขนานจากแหล่งกำเนิดแสง ค่าการกระจัดของความสั่นสะเทือน (Vibration displacement) บนพื้นผิวของวัตถุที่มีการสั่นสะเทือนสามารถตรวจวัดได้จากปริมาณแสงที่เข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับแสง ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นค่าแรงดันทางไฟฟ้า ถ้าการกระจายของความเข้มแสง (Light intensity) จากแหล่งกำเนิดสม่ำเสมอ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการกระจัด X กับแรงดันทางไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจรับแสงเป็นเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 2.7 การวัดการสั่นสะเทือน เมื่อวางวัตถุที่ต้องการวัดความสั่นสะเทือนให้ขวางกั้นปริมาณของลำแสงจาก Light source ไปยัง Photodetector ให้เป็นครึ่งหนึ่งแล้ว ค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปการสั่นสะเทือน ของสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จาก Photodetector จะถูกขยายด้วยวงจรขยายที่มีอัตราขยายเป็น 20 เท่าเพื่อนำสัญญาณที่วัดได้ไปประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ดังแสดงไว้ในแผนผังดังในรูปที่ 2.8




รูปที่ 2.8 แผนผังแสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนด้วนวิธีการขวางกั้นลำแสง

**3. วิธีการทดสอบ**

ในการทดสอบจะทำการทดสอบล้อยางตันสองชั้น ขนาด 6.00-9 Rim 4 (เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอกขนาด 520 มิลลิเมตร) จำนวน 18 ล้อ ดังแสดงรายการล้อยางตันในตารางที่ 1 ซึ่งมีกระบวนการผลิตและยี่ห้อต่างๆกัน (ในที่นี้ขอไม่อ้างอิงชื่อยี่ห้อ)

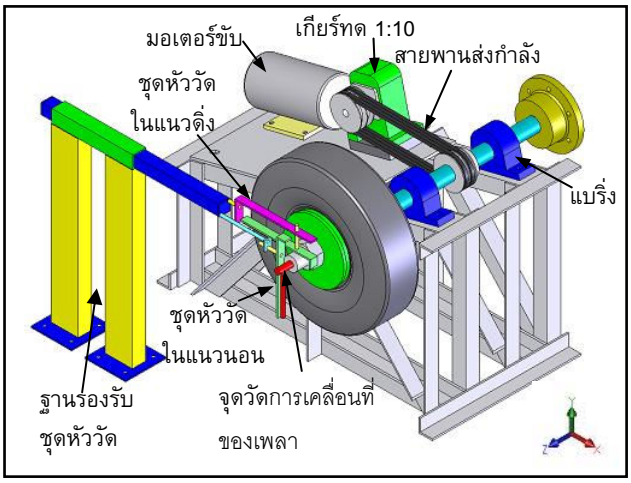
ตารางที่ 1 รายการล้อยางตันที่ใช้ในการทดสอบ

| No. | ขนาดล้อ | น้ำหนัก (กก.) | No. | ขนาดล้อ | น้ำหนัก (กก.) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6.00-9rim4 | 26.1 | 10 | 6.00-9rim4 | 27.4 |
| 2 | 6.00-9rim4 | 26.6 | 11 | 6.00-9rim4 | 27.4 |
| 3 | 6.00-9rim4 | 26.3 | 12 | 6.00-9rim4 | 22.8 |
| 4* | 6.00-9rim4 | 27 | 13 | 6.00-9rim4 | 23 |
| 5* | 6.00-9rim4 | 26.8 | 14 | 6.00-9rim4 | 23.4 |
| 6* | 6.00-9rim4 | 26.9 | 15 | 6.00-9rim4 | 26.6 |
| 7 | 6.00-9rim4 | 25.4 | 16 | 6.00-9rim4 | 26.5 |
| 8 | 6.00-9rim4 | 25.4 | 17 | 6.00-9rim4 | 26.6 |
| 9 | 6.00-9rim4 | 25.5 | 18 | 6.00-9rim4 | 26.6 |

หมายเหตุ: * คือล้อยางที่ผลิตจากต่างประเทศ

**3.1 ทดสอบความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตัน**

ในการทดสอบล้อยางตันหนึ่งล้อจะทำการถอดประกอบติดตั้งล้อยางเข้ากับเครื่องทดสอบ 3 ครั้ง และในแต่ละครั้งจะวัดการเคลื่อนที่ของแกนเพลา 5 ครั้ง เพื่อศึกษาการสั่นสะเทือนของล้อยางตัน จากนั้นนำค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้ทั้ง 15 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย โดยใช้เครื่องทดสอบความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตันที่ออกแบบและสร้างขึ้นเอง ดังแสดงในรูปที่ 3.1

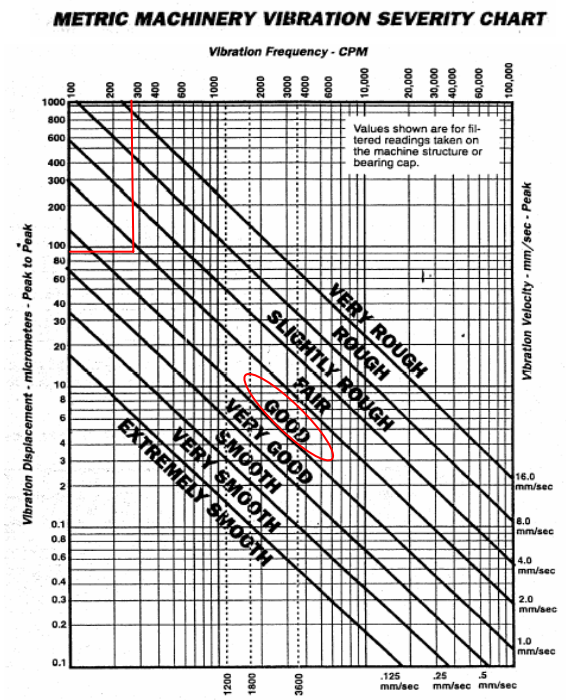



รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุน

ตัวฐานของเครื่องทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนทำจากเหล็กโครงสร้างรูป L และ C ผสมกัน เน้นออกแบบให้มีการถอดประกอบแต่ละชิ้นส่วนได้สะดวกที่ฐานล่างทั้งสี่มุมถูกยึดติดกับพื้น มีกลไกปรับแต่งระดับได้ เพลาและดุมล้อทำจากเหล็กเพลาและเหล็กแผ่น โดยชุดขับล้อยางตันประกอบด้วย มอเตอร์ขับขนาด 3 กำลังม้า ความเร็วรอบการหมุน 2950 รอบต่อนาที เกียร์ทดมีอัตราทด 1:10 เมื่อมอเตอร์ส่งถ่ายกำลังผ่านเกียร์ทดจะทำให้เหลือความเร็วรอบของการหมุน 295 รอบต่อนาที และส่งถ่ายกำลังไปยังมูเลย์ตัวขับ ผ่านสายพานส่งถ่ายกำลังไปยังมูเลย์ตัวตาม โดยระหว่างมูเลย์ตัวขับและมูเลย์ตัวตามมีอัตราทด 1:1 แกนเพลาของล้อยางก็จะถูกขับโดยมูเลย์ตัวตามซึ่งติดอยู่บนเพลาล้อยางตัน เพลาล้อก็จะถูกขับด้วยความเร็วที่ต้องการ

เครื่องวัดการสั่นสะเทือนโดยวิธีขวางกั้นลำแสงที่กล่าวถึงในหัวข้อ 2.2.2 นำมาติดตั้งที่หัวเพลา โดยจะติดตั้งในแนวดิ่งและแนวนอน เพื่อวัดการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในแนวแกน X และแกน Y ในรูปแบบของการสั่นสะเทือน และทำการจัดวางชุดหัววัดที่ประกอบไปด้วย Laser pointer และ Photodiode ให้แกนเพลาขวางกั้นลำแสงที่ส่องไปยัง photo detector ให้มีขนาดความยาวของลำแสงเป็นครึ่งหนึ่งของลำแสงที่ส่องเต็ม ซึ่งชุดหัววัดถูกออกแบบมาให้สามารถปรับระยะได้ในระดับไมโครเมตร ก่อนทำการทดสอบกับล้อยางตัน ได้ทำการศึกษาสมดุลของเพลา โดยใช้เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบขวางกั้นลำแสงที่สร้างขึ้นมาทำการ Balancing ให้เครื่องทดสอบมีความเร็วในการหมุนที่ความเร็วรอบ 285 rpm และอยู่ในสภาวะที่ไม่ติดตั้งล้อยางตัน ทำการเจาะกระทะล้อและทำการถ่วงน้ำหนัก เพื่อให้เครื่องทดสอบในขณะที่ไม่ติดตั้งล้อยางตันสมดุลการหมุนมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปของการสั่นสะเทือนต่ำสุดที่ทำสมดุลได้อยู่ที่ 0.092 มม. นำค่าการสั่นสะเทือนที่ได้มาเทียบกับ Machinery Vibration Severity Chart [8] ดังรูปที่ 3.3 เพื่อดูระดับของการสั่นสะเทือนของเครื่องทดสอบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีหรือไม่ดีเพียงใด

รูปที่ 3.2 แสดงการเจาะและถ่วงน้ำหนัก

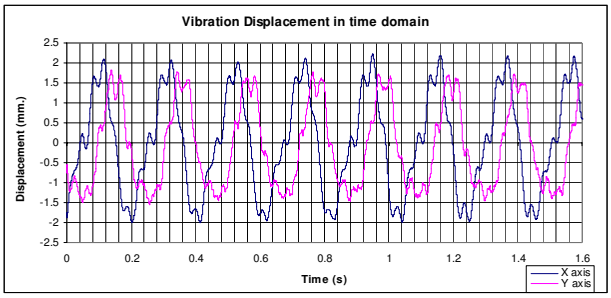



รูปที่ 3.3 Machinery Vibration Severity Chart ในหน่วยเมตริก
ที่มา : IRD Mechanalysis,Inc.(1993). IRD Mechanalysis IQ 2000 Application *Guide*, USA. [6]

จากรูปที่ 3.3 พบว่าค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปของการสั่นสะเทือน ของเครื่องทดสอบในขณะที่ไม่มีการติดตั้งล้อยางตันหลังจากทำสมดุล อยู่ในระดับเกณฑ์ที่ดี

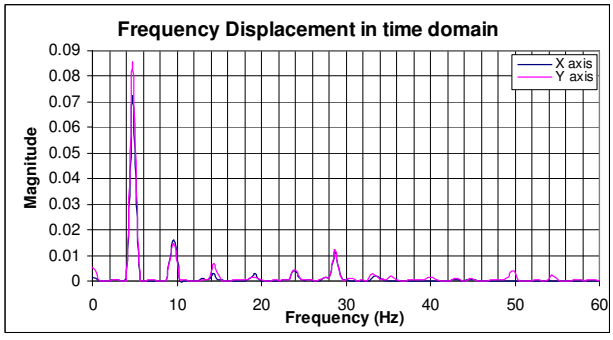
**4 ผลการทดสอบ**

ตัวอย่างผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตัน สามารถแสดงผลของ ค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปของการสั่นสะเทือน บนโดเมนของเวลาและความถี่ ได้ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ สำหรับค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปของการสั่นสะเทือนในแนวระนาบสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 4.3 ซึ่งสามารถทำให้วิเคราะห์ลักษณะของการส่ายหรือแกว่งของล้อยางตันได้




รูปที่ 4.1 ผลทดสอบล้อยางตัน Vibration Displacement in time domain

จากรูปที่ 4.1 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้ถูกแสดงอยู่บนโดเมนเวลา แสดงค่า Amplitude ของระยะการเคลื่อนที่ของแกนเพลา ซึ่งแสดงในรูปของ Peak to Peak มีหน่วยวัดเป็น มิลลิเมตร ค่าดังกล่าวที่วัดได้จะเป็นตัวบอกว่าล้อยางตันมีค่าการสั่นสะเทือนมากน้อยเพียงไร โดยการสั่นสะเทือนในล้อยางตันในสภาวะการทดสอบในงานวิจัยนี้เกิดจากการหมุนที่ไม่สมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกน

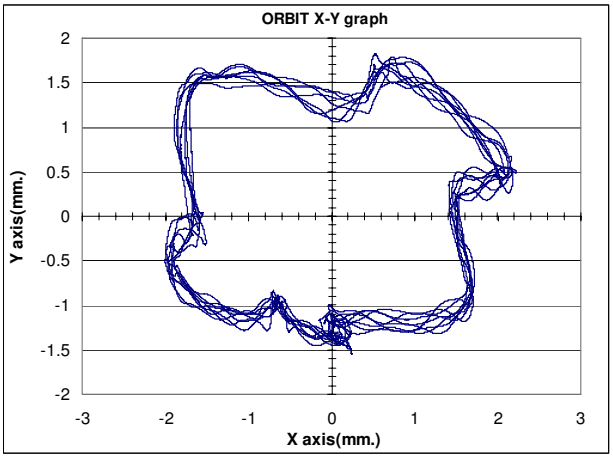



รูปที่ 4.2 ผลทดสอบล้อยางตัน Vibration Displacement in Frequency domain

จากรูปที่ 4.2 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้ถูกแสดงอยู่บนโดเมนความถี่ การแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปแบบนี้ทำให้สะดวกในการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดการสั่นสะเทือนเป็นอย่างมาก ซึ่งจากผลการทดลองในรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าสัญญาการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นที่ทุกๆหนึ่งเท่าของความเร็วรอบ โดยมีค่ามากสุดที่หนึ่งเท่าของความเร็วรอบที่ความถี่ความถี่หนึ่ง ในส่วนของความถี่อื่นๆเกิดขึ้นน้อยมาก ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่าสาเหตุของการเกิดการสั่นสะเทือน เกิดจากการหมุนที่ไม่สมดุลรอบแกน

จากรูปที่ 4.3 เป็นการแสดงค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลา ทั้งในแนวแกน X และ Y ซึ่งตั้งฉากกันเข้าด้วยกัน การวิเคราะห์สามารถดูรูปของกราฟแล้วนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุ

ผลที่ได้จากการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตันทั้ง 18 ล้อ สามารถแสดงค่า การเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปของการสั่นสะเทือน ในแต่ละล้อได้ ดังแสดงไว้ตามตารางที่ 2 นำค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปของการสั่นสะเทือนทั้งในแกน X และ Y มาหาการกระจัด (Displacement) โดยแทนค่าในสมการ (2.7)




รูปที่ 4.3 การเคลื่อนที่ของแกนเพลาในระนาบ

ค่าการกระจัด (Displacement) คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$S = \sqrt{\left(S_x{}^2 + S_y{}^2\right)} \qquad (2.7)$$

เมื่อ $S$ การกระจัดของแกนเพลา

$S_x$ ระยะการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในแนวนอน

$S_y$ ระยะการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในแนวดิ่ง

เมื่อนำค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปของการสั่นสะเทือนทั้งในแกน X และ Y มาแทนค่าในสมการ 2.7 จะได้ระยะการกระจัดของแกนเพลาดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปของการสั่นสะเทือนของล้อยางตัน

| Code | Average | | |
|---|---|---|---|
| | $S_x\ (mm)$ | $S_y\ (mm)$ | $S\ (mm)$ |
| No.1 | 0.26958 | 0.19593 | 0.3333 |
| No.2 | 0.29063 | 0.32037 | 0.4326 |
| No.3 | 0.27451 | 0.35403 | 0.4480 |
| No.4* | 0.19016 | 0.29150 | 0.3480 |
| No.5* | 0.22872 | 0.16917 | 0.2845 |
| No.6* | 0.19396 | 0.20095 | 0.2793 |

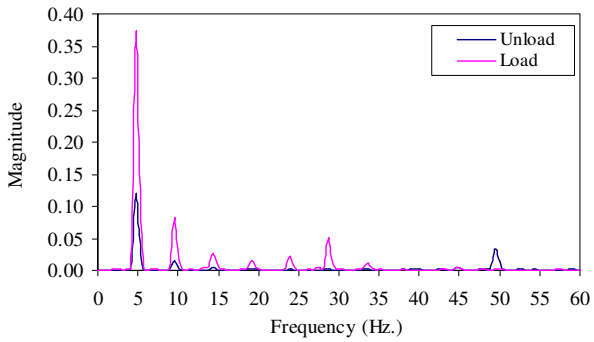
ตารางที่ 2 ค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปของการสั่นสะเทือนของล้อยางตัน (ต่อ)

| Code | Average | | |
|---|---|---|---|
| | $S_x\ (mm)$ | $S_y\ (mm)$ | $S\ (mm)$ |
| No.7 | 0.26447 | 0.18708 | 0.3239 |
| No.8 | 0.25675 | 0.26445 | 0.3686 |
| No.9 | 0.25926 | 0.29868 | 0.3955 |
| No.10 | 0.27682 | 0.28218 | 0.3953 |
| No.11 | 0.27967 | 0.21250 | 0.3512 |
| No.12 | 0.23748 | 0.24345 | 0.3401 |
| No.13 | 0.28296 | 0.32409 | 0.4302 |
| No.14 | 0.28543 | 0.33134 | 0.4373 |
| No.15 | 0.28306 | 0.33852 | 0.4413 |
| No.16 | 0.29049 | 0.30919 | 0.4242 |
| No.17 | 0.39046 | 0.43353 | 0.5834 |
| No.18 | 0.27928 | 0.33562 | 0.4366 |

หมายเหตุ: * คือล้อยางที่ผลิตจากต่างประเทศ

## 5 การวิเคราะห์ผล

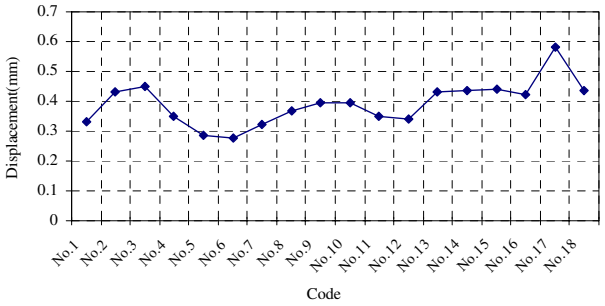
จากผลการทดลองเมื่อนำค่า การสั่นสะเทือนที่มีความสัมพันธ์กับความถี่ ของเครื่องทดสอบในขณะที่ไม่มีล้อยางตัน (base line) และเมื่อมีล้อยางตัน ประกอบเข้ากับเครื่องทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุน มาแสดงผลรวมกัน สามารถเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าค่าของการสั่นสะเทือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นมาก ที่ความถี่ 4.8 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ของระบบ และเกิดขึ้นที่หนึ่งเท่าของความเร็วรอบของการหมุน ค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นนี้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเกิดจากการหมุนที่ไม่สมดุล [8-9] เนื่องมาจากมวลของล้อยางตันกระจายไม่สม่ำเสมอ พื้นที่หน้าตัดของยางชั้นในไม่คงรูป ไม่สมมาตรรอบแกนหมุน สาเหตุเกิดขึ้นมาจากกระบวนการผลิต ซึ่งเกิดขึ้นในขั้นตอนของการม้วนขึ้นรูปล้อยางชั้นในและชั้นนอกก่อนการอบล้อยาง รวมถึงการที่ไม่สามารถควบคุมให้ยางชั้นในมีความคงรูปและสมมาตรได้ในขณะทำการอบล้อยางตัน ส่วนค่าการสั่นสะเทือนที่ความถี่อื่นๆเกิดขึ้นน้อยมาก




รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบค่าการกระจัดขณะมีโหลด และไม่มีโหลด

วิธีการที่จะทำให้ล้อยางตันมีความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนมากขึ้น สามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุงวิธีการม้วนล้อยางชั้นในและชั้นนอกให้คงรูปมากที่สุดก่อนนำไปอบ และควบคุมยางชั้นในให้มีความคงรูปและสมมาตรหลังผ่านกระบวนการอบมาแล้ว

ค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปของการสั่นสะเทือนของล้อยางตันที่วัดได้ในแต่ละล้อสามารถแสดงผลได้ดังในรูปที่ 5.2 จากผลการทดสอบพบว่าค่าการสั่นสะเทือนของล้อยางตัน No.17 มีค่าสูงสุดแสดงว่าล้อยางตันล้อนี้มีการหมุนที่ไม่สมดุลรอบแกนมากสุด ล้อยางตัน No.4 No.5 No.6 มีค่าต่ำสุดแสดงว่าล้อยางตันในกลุ่มดังกล่าวมีการหมุนที่สมดุลแรงเหวี่ยง ซึ่งล้อยางตันในกลุ่มนี้เป็นล้อยางที่ผลิตจากบริษัทต่างประเทศ ในส่วนของล้ออื่นมีค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปของการสั่นสะเทือน อยู่ในระดับปานกลางและมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นกลุ่มของล้อยางตันที่ผลิตภายในประเทศ




รูปที่ 5.2 แสดงค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปของการสั่นสะเทือนของล้อยางตันแต่ละล้อ

## 6. สรุป

1. วิธีการและกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของล้อยางตันในแง่ความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุน สามารถนำไปใช้ตรวจสอบคุณภาพของล้อยางตันได้ระดับหนึ่ง
2. เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบไม่สัมผัส ด้วยวิธีการขวางกั้นลำแสงที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ มีความน่าเชื่อถือ สามารถวัดค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นและนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดการสั่นสะเทือนได้ รวมทั้งสามารถนำไปใช้ในการศึกษาการสมดุลรอบแกนหมุนได้
3. ล้อยางตันที่ในกลุ่มที่ผลิตภายในประเทศมีค่าการสั่นสะเทือนเนื่องจากความไม่สมดุลรอบแกนหมุนอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน และมีค่าการสั่นสะเทือนมากกว่าล้อยางตันที่ผลิตจากบริษัทต่างประเทศ

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ รวมถึงอุปกรณ์และสถานที่สำหรับการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

[1] Singiresu S. R., “Mechanical Vibration” , Pearson Education, USA, 2004
[2] http://www.gsp9700.com/pub/features/intro.cft

[3] Parker, D. and Scribner, D., "Tire Uniformity Tester for Automotive Service Industry, Hunter Engineering Company, USA, 2000

[4] Grim, K. G. and Michell, J.B. Jr., " Understanding the basics of balancing and measuring techniques", Balance technology Inc.,Ann Arbor, MI, 2000

[5] Thomson, W. and Dillon, D.M., "Theory of Vibration with Applicatioin", Prentice Hall, Columbus, USA, 1993

[6] http://www.tireracknewark.com/wheelbalance.htm

[7] Chetpattananondh, K. and Jindapetch, N., "A New Technique of Vibration Measurement for Cylinder", PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment - ICEE-2005, Novi Sad, May 19-20, 2005

[8] IRD Mechanalysis,Inc.1993. IRD Mechanalysis IQ 2000 Application Guide. USA

[9] ก่อเกียรติ บุญชูกุศล, สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และ ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ, "การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน การ เฝ้าตรวจและการจัดการบำรุงรักษา", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2540

[10] เจริญ เพชรมุณี. 2547. เรียนลัด LabVIEW ™ Software for Measurement and Automation. ซีเอ็ด ยูเคชั่นม, กรุงเทพฯ.