

บทที่ 4

วิธีการวิจัย

บทนี้กล่าวถึง วิธีการ ขั้นตอน วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย โดยเริ่มจากการทดลองผลิตล้อยางต้นให้ยางชั้นในมีความสม่ำเสมอ จากนั้นทดสอบความกลมของล้อยางต้น ทำการทดสอบสมดุลงแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางต้น นำผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อดูว่าล้อยางต้นที่ผลิต มีความสมดุลการหมุนเป็นอย่างไร และมีความสมดุลการหมุนอยู่ในระดับใดเมื่อเปรียบเทียบกับล้อยางต้นที่ผลิตจากบริษัทอื่นๆและจากต่างประเทศ

4.1 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

การวิจัยเรื่องความสมดุลรอบแกนหมุนของล้อยางต้นสองชั้นหลังการปรับยางชั้นในให้สม่ำเสมอ ประกอบด้วย 6 กิจกรรมหลักคือ

4.1.1 กิจกรรมที่ 1: การทดลองผลิตล้อยางต้นตัวอย่าง

วัตถุประสงค์ของกิจกรรม : หาวิธีการผลิต ที่ทำให้ยางชั้นในของล้อยางต้นมีความสม่ำเสมอและคงรูป

4.1.1.1 การทดลองการผลิตล้อยางต้นในห้องปฏิบัติการ

4.1.1.1.1 การทดลองวิธีการควบคุมยางชั้นในให้คงรูป ด้วยวิธีการพรีฟอร์ม (pre-form) ในห้องปฏิบัติการ

4.1.1.1.2 การทดลองวิธีการควบคุมยางชั้นในให้คงรูปด้วยวิธีการพรีเคียว (pre-cure) ในห้องปฏิบัติการ

4.1.1.2 การทดลองผลิตล้อยางต้นตัวอย่างขนาดใช้งานจริงในโรงงาน

ทำการผลิตล้อยางต้นตัวอย่าง ขนาด 6.00-9 Rim ด้วย 4 วิธีการได้แก่

- ล้อยางที่ 1 ผลิตด้วยวิธีการที่ 1 คือ ล้อยางต้นที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนแบบเก่าของโรงงาน

- ล้อยางที่ 2 ผลิตด้วยวิธีการที่ 2 คือ ล้อยางต้นที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนที่ออกแบบและสร้างใหม่

- ล้อยี่ 3 ผลิตด้วยวิธีการที่ 3 คือ ล้อยางตันที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนที่สร้างขึ้นใหม่แล้วอัดเส้นยางชั้นในด้วยแม่พิมพ์ก่อน เรียกว่า วิธีการพรีฟอร์ม (pre-form) ก่อนการนำไปพันกับยางนอกแล้วนำไปอบให้สุกพร้อมกัน วิธีการนี้มีส่วนคล้ายกับการทำพรีเคียว (pre-cure)

- ล้อยี่ 4 ผลิตด้วยวิธีการที่ 4 คือล้อยางตันที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนที่สร้างขึ้นใหม่แล้วอัดร้อนยางชั้นใน เป็นการอบกึ่งสุกด้วยแม่พิมพ์ก่อน เรียกว่า วิธีการพรีเคียว (pre-cure) ก่อนการนำไปพันกับยางนอกแล้วนำไปอบให้สุกพร้อมกัน

4.1.2 กิจกรรมที่ 2: การตรวจสอบความสมมาตรของหน้าตัดยางชั้นในของล้อยางตันตัวอย่างขนาดใช้งานจริงที่ทดลองผลิตในโรงงาน

วัตถุประสงค์ของกิจกรรม : ตรวจสอบความคงรูปและสม่ำเสมอของหน้าตัดของยางชั้นในของล้อยางตันตัวอย่างขนาดจริงที่ทดลองผลิตในโรงงาน ของแต่ละวิธีการผลิต

นำล้อยางตันที่ได้ทดลองทำการผลิตด้วยวิธีการต่างๆ ทั้ง 4 วิธีการในโรงงานมาตรวจสอบความสมมาตรของหน้าตัดยางชั้นในโดยวิธีการตัดล้อยางตรวจสอบ

4.1.2.1 การตัดล้อยางตัวอย่างขนาดใช้งานจริงเพื่อตรวจสอบความคงรูปของยางชั้นใน

ในการตัดล้อยางเพื่อตรวจสอบความคงรูปของยางชั้นในมีขั้นตอนและวิธีการดังนี้คือ

1) นำล้อยางมาขีดเส้นแบ่งออกเป็น 8 ส่วน และขีดเส้นประแบ่งครึ่งอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ขีดเส้นแบ่งล้อยางออกเป็น 8 ส่วนพร้อมขีดเส้นประ

2) นำล้อยางที่ได้ทำการแบ่งส่วนไว้แล้วไปตัด โดยจะตัดออกเป็น 2 ส่วนที่ตำแหน่งเส้นประ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การตัดล้อยางออกเป็น 2 ส่วน

3) นำล้อยางแต่ละส่วนมาตัดด้วยเครื่องเลื่อยที่เป็น ใบมีด โดยจะตัดตามเส้นที่ขีดไว้ ดังนั้นจะได้ล้อยางทั้งหมด 10 ส่วน ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ใช้เลื่อยตัดย่อยออกเป็น 10 ส่วน

4.1.2.2 การตรวจวัดความสมมาตรของหน้าตัดยางชั้นใน

เมื่อได้มีการนำล้อยางต้นที่ผลิตด้วยวิธีการต่างๆ มาตัดเป็นชิ้นส่วน โดยใน 1 เส้น จะถูกตัดแบ่งออกเป็น 10 ชิ้น หลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบความสมมาตรของหน้าตัดยางชั้นในดังนี้

- 1) การทดสอบจะทำ 4 หน้าตัดใน 1 เส้น
- 2) นำหน้าตัดของล้อยางที่จะทำการตรวจสอบมาขีดเส้นแบ่งเป็น 2 ส่วน และใช้เครื่องวงกลมแบ่งมุม ๆ ละ 10 องศา แล้วนำมาขีดเส้นตามองศาที่แบ่งไว้ และกำหนดให้มุมที่อยู่ด้านขวามือมีค่าเป็นบวก (10 องศา ถึง 80 องศา) ส่วนด้านซ้ายมือมีค่าเป็นลบ (-10 องศา ถึง -80 องศา) ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 หน้าตัดของล้อยางต้นที่ทำการแบ่งส่วน

- 3) ใช้เวอร์เนียร์วัดระยะจากจุดศูนย์กลางถึงขอบของยางชั้นใน ตามตำแหน่งองศาต่างๆ ดังรูปที่ 4.5 และบันทึกค่าระยะที่ได้
- 4) หาผลต่างของระยะที่ตำแหน่งมุมตรงข้าม เช่น ตำแหน่งมุม +10 กับ -10 และ +20 กับ -20
- 5) นำผลต่างที่ได้ในแต่ละหน้าตัดมาหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่าเฉลี่ยหนึ่งค่าต่อหนึ่งล้อ จะได้ค่าเฉลี่ยทั้งหมด 4 ค่า (4 หน้าตัด) นำค่าผลต่างที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้ง รวมถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- 6) นำค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้ มาแสดงด้วยกราฟ



รูปที่ 4.5 การใช้เวอร์เนียวัดระยะ

4.1.3 กิจกรรมที่ 3: การตรวจสอบความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างยางชั้นในและชั้นนอก

วัตถุประสงค์ของกิจกรรม : ตรวจสอบความแข็งแรงที่ยึดติดกันระหว่างชั้นของยางชั้นในและชั้นนอก ของแต่ละวิธีการผลิต

ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบหาแรงดึงที่ใช้ในการทำให้ยางชั้นนอกและยางชั้นในแยกออกจากกัน เป็นการศึกษาว่าวิธีการผลิตล้อยางต้นที่จะควบคุมยางชั้นในให้คงรูป ด้วยวิธีการต่างๆ นั้นส่งผลต่อความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างชั้นของล้อยางต้นอย่างไร โดยจะทำการทดสอบดังนี้

1) นำชิ้นส่วนของล้อยาง ไปทดสอบแรงดึงหาความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างยางชั้นนอกและชั้นใน ดังรูปที่ 4.6 (ขนาด 8 cm x 5 cm หนาประมาณ 1 cm) บากเป็นแนว V ทั้ง 2 ด้าน ที่รอยต่อของยางชั้นนอกและชั้นในเข้าไปประมาณ 15-20 % ของพื้นที่ทั้งหมด เพื่อให้เกิดการขาดที่รอยต่อของยางทั้งสองชั้น

2) นำชิ้นทดสอบไปทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine สำหรับทดสอบการดึง ดังรูปที่ 4.7 เพื่อหาแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ยางแยกออกจากกัน

- 3) ค่าแรงดึงที่ได้ไปคำนวณหาความแข็งแรงเมื่อรู้พื้นที่หน้าตัดที่ถูกบาก
- 4) ทำการเปรียบเทียบความแข็งแรงระหว่างวิธีการต่างๆ



รูปที่ 4.6 ชิ้นทดสอบความแข็งแรงยึดติด



รูปที่ 4.7 เครื่อง Universal Testing Machine สำหรับทดสอบการดึง

4.1.4 กิจกรรมที่ 4: ทดสอบความกลมของล้อยางตัน

วัตถุประสงค์ของกิจกรรม

1) วัดค่าความกลมของล้อยางตันเพื่อเป็นข้อมูลไปศึกษาว่าความกลมของล้อยางมีผลอย่างไรต่อการสิ้นสະเทือน

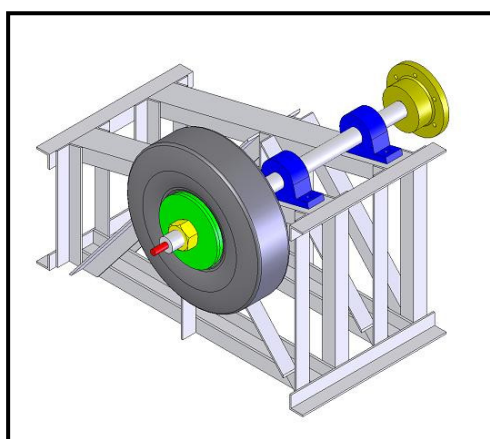
2) ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความกลมของล้อยางตัน เช่น แรงขันบีบกระทะล้อ

3) ศึกษาความกลมของล้ออย่างตันยี่ห้อต่างๆว่ามีความกลมต่างกันอย่างไร โดยเน้นเปรียบเทียบกับยางตันจากบริษัทชั้นนำ

4) ศึกษาความกลมของล้ออย่างก่อนและหลังการปรับยางในจากวิธีการต่างๆ

4.1.4.1 ออกแบบและสร้างเครื่องวัดความกลมล้ออย่างตัน

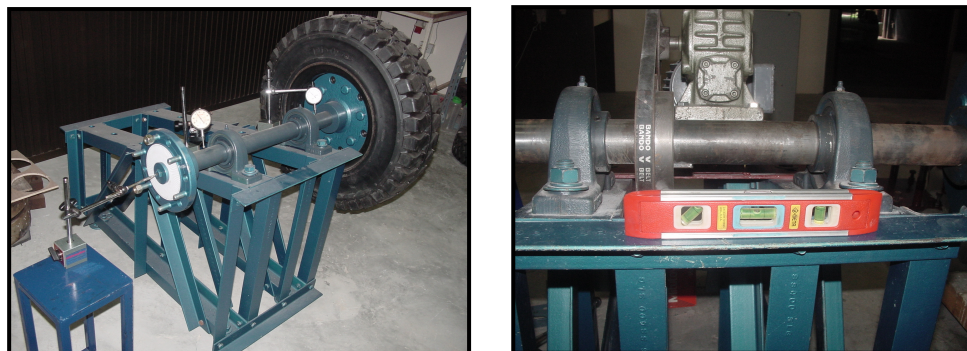
การวัดความกลมของล้ออย่างตันทำได้โดยการวัดรัศมีของล้ออย่างรอบแกนหมุน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องวัดความกลมขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 4.8 ฐานทำจากเหล็กโครงสร้างรูป L และ C ออกแบบให้มีการถอดประกอบแต่ละชิ้นส่วนได้สะดวก ที่ฐานล่างทั้งสองมุมของโครงสร้างมีกลไกปรับแต่งระดับได้ และยึดติดกับพื้น ส่วนบนของฐานจะเอียงเพื่อให้สามารถติดตั้งล้ออย่างได้หลายขนาดโดยไม่ชนกับพื้น บนฐานเอียงเจาะร่องสำหรับยึดแบร็องเพลลาและคูล้อทำจากเหล็กเพลลาและเหล็กแผ่น ปลายเพลลาทั้งสองมีคูล้อมต่างขนาดกันเพื่อติดตั้งล้ออย่างที่ต่างขนาดกันเพลลายึดติดกับแบร็องบนฐานเอียง การออกแบบเช่นนี้สามารถติดล้อได้สองล้อบนหนึ่งเพลลา ในส่วนของการติดตั้งเครื่องวัดความกลม ฐานของเครื่องต้องติดตั้งบนพื้นเรียบและปรับฐานให้ได้ระดับ เมื่อได้ระดับแล้ว จะทำการล็อยยึดติดแน่นกับพื้นเพื่อให้เครื่องทดสอบเคลื่อนที่ได้ เพราะหากเครื่องทดสอบเคลื่อนที่ได้ขณะทำการทดสอบจะทำให้เครื่องทดสอบไม่ได้ระดับ ค่าที่ทดสอบมาได้อาจผิดพลาดไปจากความจริง เพลลาและคูล้อมของเครื่องต้องมีการปรับให้ได้ระดับในทุกแกน ดังแสดงในรูปที่ 4.9



(a) เครื่องวัดความกลมที่ออกแบบไว้

(b) เครื่องวัดความกลมที่สร้างเสร็จ

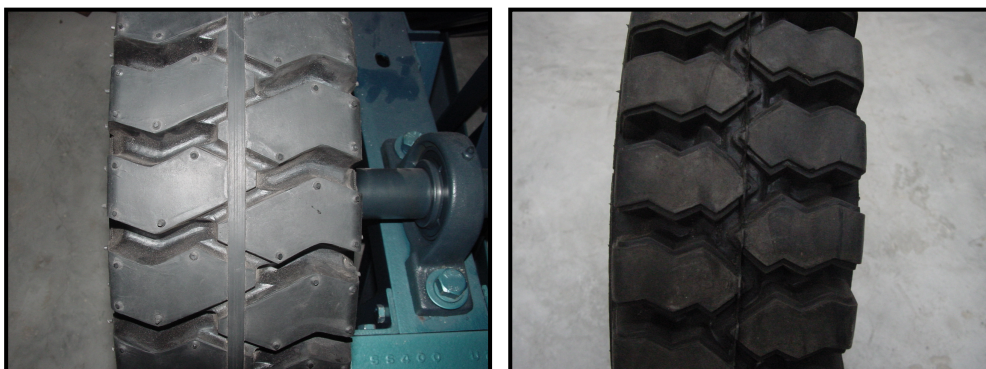
รูปที่ 4.8 เครื่องวัดความกลมล้ออย่างตัน



รูปที่ 4.9 เครื่องวัดความกลมล้อยางและการปรับระดับ

4.1.4.2 ชุดลูกกลิ้งที่ใช้วัดความกลมล้อยาง

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการตรวจวัดความกลมแบบสัมผัสเชิงกล (Mechanical contact measurement method) เนื่องจากลักษณะของดอกยาง และหน้ายางของล้อแต่ละยี่ห้อมีความแตกต่างกัน มีสองแบบคือแบบ Profile S และแบบ Profile HT ดังแสดงในรูปที่ 4.10 แบบของดอกยางและหน้ายางทั้งสองแบบมีความแตกต่างกัน แบบ Profile HT มีสันที่กึ่งกลางหน้ายาง ร่องซีกซ้ายและขวาถูกกันด้วยสันดังกล่าว ในขณะที่แบบ Profile S ไม่มีสันที่กึ่งกลางหน้ายาง ร่องซีกซ้ายและขวาต่อกันที่กึ่งกลางหน้ายาง ดังนั้นการใช้ไดอัลเกจสัมผัสที่สันของหน้ายางเพื่อวัดความกลมโดยตรง ดัง รูปที่ 4.11 ทำให้เกิดปัญหาในส่วนของแรงเสียดทานที่หน้ายางกระทำกับปลายไดอัลเกจ ซึ่งเกิดขึ้นมากขณะกดสัมผัสบนยาง



(ก)

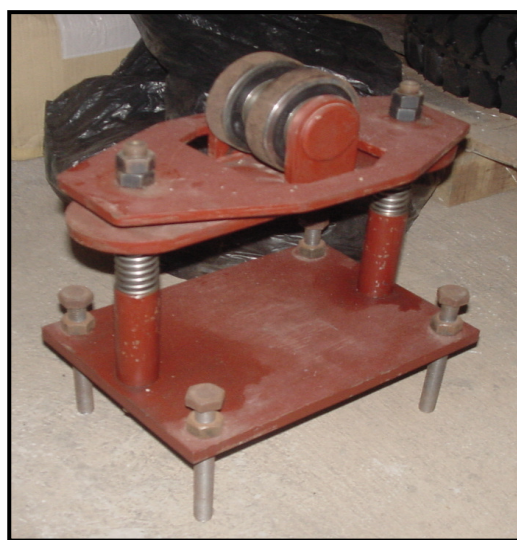
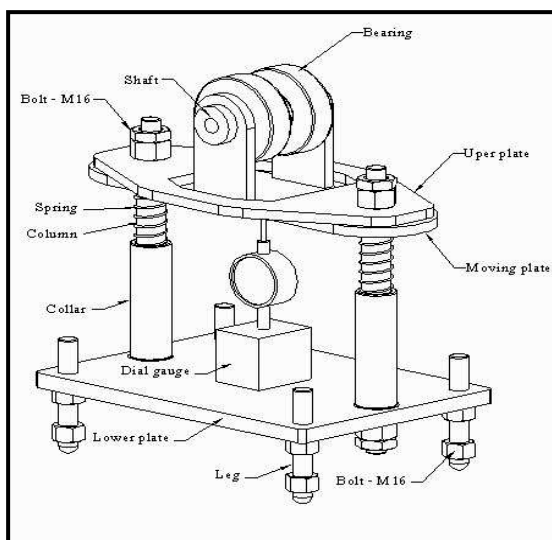
(ข)

รูปที่ 4.10 แบบของดอกยางและหน้ายาง (ก) แบบ Profile HT (ข) แบบ Profile S



รูปที่ 4.11 การวัดความกลมของล้อยางตันโดยใช้ไดอัลเกจสัมผัสหน้ายางโดยตรง

การใช้ไดอัลเกจสัมผัสโดยตรงสามารถทำได้แต่อาจทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาดได้ และเสียเวลาในการวัดมากขึ้น การวัดแบบไดอัลเกจสัมผัสกับยางโดยตรงยังส่งผลให้ปลายไดอัลเกจเกิดการสึกหรอได้ง่ายขณะใช้งาน จึงค้นหาวิธีการวัดความกลมของล้อยางตันใหม่ โดยการออกแบบชุดลูกกลิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.12

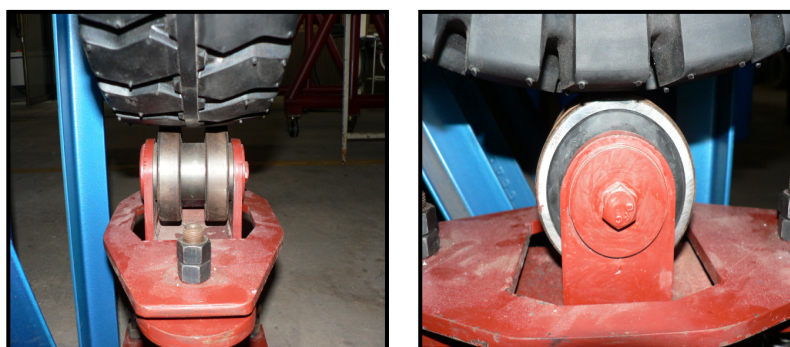


(ก) ชุดลูกกลิ้งที่ออกแบบไว้

(ข) ชุดลูกกลิ้งที่สร้างเสร็จ

รูปที่ 4.12 ชุดลูกกลิ้งที่ใช้วัดความกลมล้อยาง

โดยลูกกลิ้งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้เมื่อรัศมีของล้อข้างเปลี่ยนไปขณะหมุน หลักการโดยทั่วไป ลูกกลิ้งจะสัมผัสที่กึ่งกลางของหน้ายาง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามการเปลี่ยนแปลงรัศมีของล้อข้างต้น เมื่อล้อข้างต้นหมุนไป แผ่นรองรับลูกกลิ้ง (Moving plate) ก็จะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามลูกกลิ้ง โดยมีสปริงเป็นตัวช่วยในการเคลื่อนที่ และเมื่อแผ่นรองรับลูกกลิ้งเคลื่อนที่ขึ้นลง ก็จะทำให้ไดอัลเกจซึ่งติดกับแผ่นรองรับลูกกลิ้ง เคลื่อนที่ตามไปด้วย ทำให้ทราบระยะของรัศมีของล้อข้างต้นตามเส้นรอบวงที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 4.13 แสดงการสัมผัสระหว่างล้อข้างและชุดลูกกลิ้ง

ทำการปรับเทียบชุดลูกกลิ้ง เพื่อตรวจสอบระยะการเคลื่อนที่ของชุดลูกกลิ้งว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริงมากน้อยเพียงไร โดยจะนำชุดลูกกลิ้งมาวัดโดยเครื่องอัดไฮดรอลิก ดังแสดงในรูปที่ 4.14 จะควบคุมให้ก้านสูบของเครื่องอัดไฮดรอลิกเคลื่อนที่ลงครั้งละ 0.05 mm และอ่านค่าการเคลื่อนที่ของชุดลูกกลิ้งจากไดอัลเกจ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1



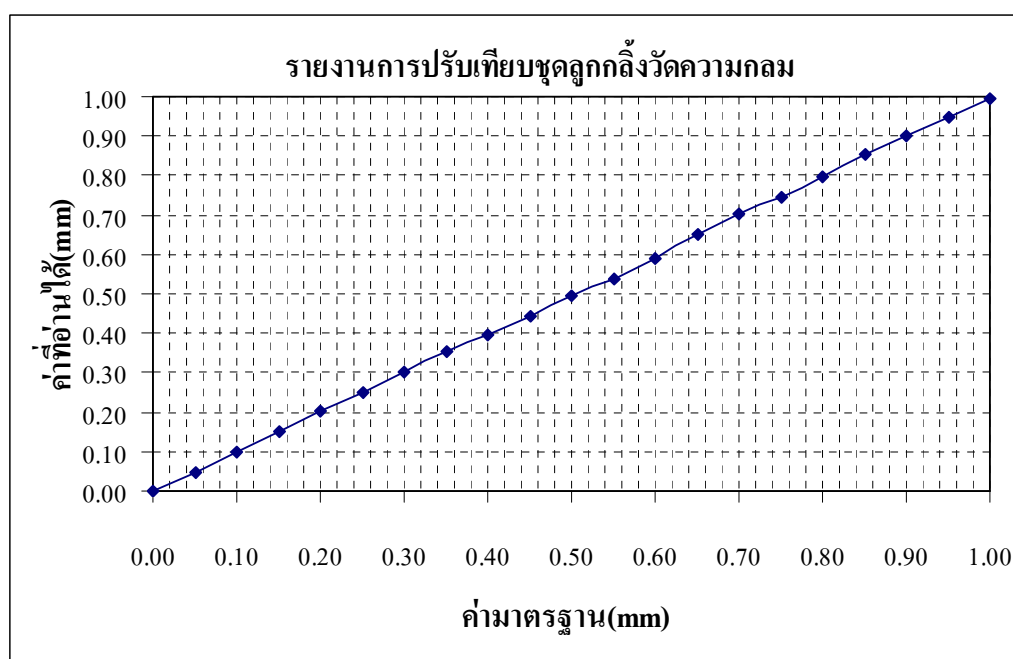
รูปที่ 4.14 การปรับเทียบหาความคลาดเคลื่อนของระยะการเคลื่อนที่ของชุดลูกกลิ้ง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบหาความคลาดเคลื่อนของระยะการเคลื่อนที่ของชุดลูกกลิ้ง

ลำดับที่	ค่าจริง(mm)	ค่าที่วัดได้(mm)	Error
1	0.0000	0.0000	0.000 %
2	0.0500	0.0490	2.000 %
3	0.1000	0.1000	0.000 %
4	0.1500	0.1510	0.667 %
5	0.2000	0.2010	0.500 %
6	0.2500	0.2490	0.400 %
7	0.3000	0.3030	1.000 %
8	0.3500	0.3520	0.571 %
9	0.4000	0.3980	0.500 %
10	0.4500	0.4450	1.111 %
11	0.5000	0.4970	0.600 %
12	0.5500	0.5390	2.000 %
13	0.6000	0.5880	2.000 %
14	0.6500	0.6490	0.154 %
15	0.7000	0.7020	0.286%
16	0.7500	0.7470	0.400 %
17	0.8000	0.7960	0.500 %
18	0.8500	0.8550	0.588 %
19	0.9000	0.8990	0.111 %
20	0.9500	0.9480	0.211 %
21	1.0000	0.9950	0.500%
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย			0.67 0 %
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด			2.000 %

นำค่าที่ได้จากการทดสอบในตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นค่าระยะการเคลื่อนที่จริงของก้านสูบ เครื่องอัดไฮดรอลิกกับค่าระยะการเคลื่อนที่ของชุดลูกกลิ้งที่อ่านได้ มาเขียนกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.15

จากกราฟจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ที่ได้มีความเป็นเชิงเส้น ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 0.67 % ของค่าที่อ่านได้ ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 2.00 % ของค่าที่อ่านได้ที่ 0.05 mm ซึ่งจะเห็นว่า เปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนของระยะการเคลื่อนที่ของชุดลูกกลิ้งที่สร้างขึ้น เพื่อนำไปใช้ในการวัดรัศมีของล้อยางต้นในการตรวจสอบความกลม มีค่าน้อยมาก แสดงว่าชุดลูกกลิ้งที่สร้างขึ้นมีความน่าเชื่อถือสูงสามารถนำไปใช้ทดสอบความกลมของล้อยางต้นได้



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่จริงกับระยะการเคลื่อนที่ของชุดลูกกลิ้ง

4.1.4.3 ออกแบบและสร้างกระทะล้อสำหรับการทดสอบล้อยาง

กระทะล้อที่ใช้กับรถฟอร์คลิฟท์ (forklift) โดยทั่วไปจะเป็นกระทะล้อแบบสองซีก ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกันทั้งซีกซ้ายและขวาในการประกอบกระทะล้อเข้ากับล้อยางต้น ต้องนำกระทะล้อแต่ละซีกวางคนละด้านของล้อยางต้น โดยวางให้รูเจาะขนาดเดียวกัน ตรงกันระหว่างสองซีก จากนั้นนำกระทะล้อไปอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ดังแสดงในรูปที่ 4.17 เพื่อให้กระทะล้อแต่ละซีกเคลื่อนที่เข้าใกล้กัน จากนั้นนำสลักเกลียวใส่รูเจาะแล้วขันแป้นเกลียวเพื่อบีบให้กระทะล้อประกอบเข้ากับยางต้น ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.16 กระทะล้อแบบสองซีก



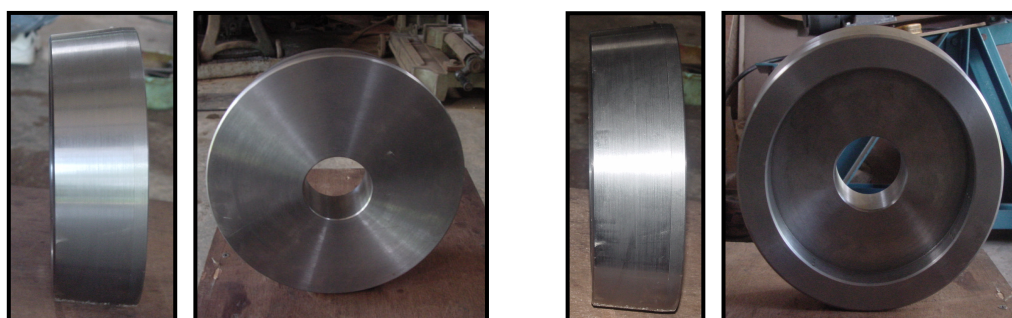
รูปที่ 4.17 อัดกระทะล้อเข้ากับล้อยางตัน



รูปที่ 4.18 ชันแป้นเกลียวบีบกระทะล้อให้ประกบกัน

จากการที่ใช้กระทะล้อแบบสองซีกในการทดสอบล้อยาง มีปัญหาในการควบคุมแรงบิดที่ขันสลักเกลียวแต่ละตัวให้เท่ากัน ซึ่งถ้าหากไม่สามารถควบคุมแรงบิดที่ขันสลักเกลียวแต่ละตัวให้เท่ากันได้ อาจส่งผลให้ล้อยางตันถูกบีบ ทำให้ล้อยางเปลี่ยนรูปไปจากความเป็นจริงได้ และกระทะล้อแบบสองซีกนี้เมื่อทำการถอดประกอบเข้ากับล้อยางหลายๆ เส้น ซึ่งแรงบีบรัดของล้อยางตันที่กระทำกับกระทะล้อมีค่าสูงมาก ในขณะที่เดียวกันแรงในการอัดกระทะล้อจากเครื่องอัดไฮดรอลิกก็มีค่าสูงมากเช่นกัน จากสาเหตุดังกล่าวข้างต้นจะทำให้กระทะล้อเสียรูปทรงและความกลมของกระทะล้อก็เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะส่งผลถึงความกลมของล้อยางตันด้วย ทำให้ค่าความกลมของล้อยางที่วัดได้ผิดพลาดจากความเป็นจริง และในการถอดเปลี่ยนกระทะล้อแบบสองซีกนี้ต้องใช้เวลานานมาก ทำให้ในการทำงานวิจัยต้องเสียเวลาไปในส่วนนี้โดยไม่จำเป็น จึงได้หาวิธี

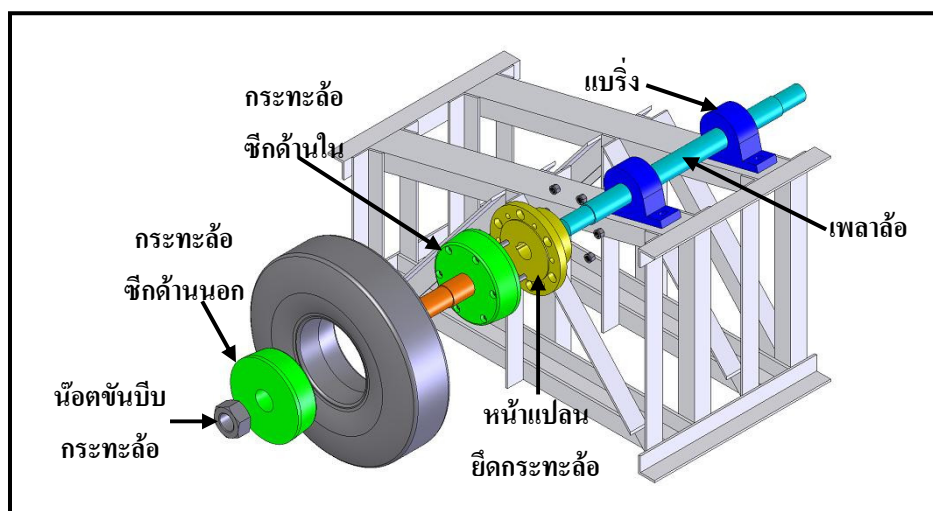
แก้ปัญหาทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยการออกแบบและสร้างกระทะลื้อขึ้นมาใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 กระทะลื้อแบบใหม่นี้จะใช้น็อตในการขันบีบกระทะลื้อให้เข้ากับล้อยางเพียงตัวเดียว จึงสามารถขจัดปัญหาในส่วนของการใช้แรงบิดขันสลักเกลียวแต่ละตัวที่ไม่เท่ากันไปได้ และกระทะลื้อแบบใหม่นี้ถูกออกแบบให้มีความแข็งแรงมากกว่ากระทะลื้อแบบสองซีก สามารถที่จะรับแรงบีบรัดจากล้อยางตันได้โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป การถอดประกอบก็ใช้เวลาน้อยและมีความสะดวกในการปฏิบัติงานมากกว่า โดยแสดงส่วนประกอบกระทะลื้อแบบใหม่ในรูปที่ 4.20



(ก)

(ข)

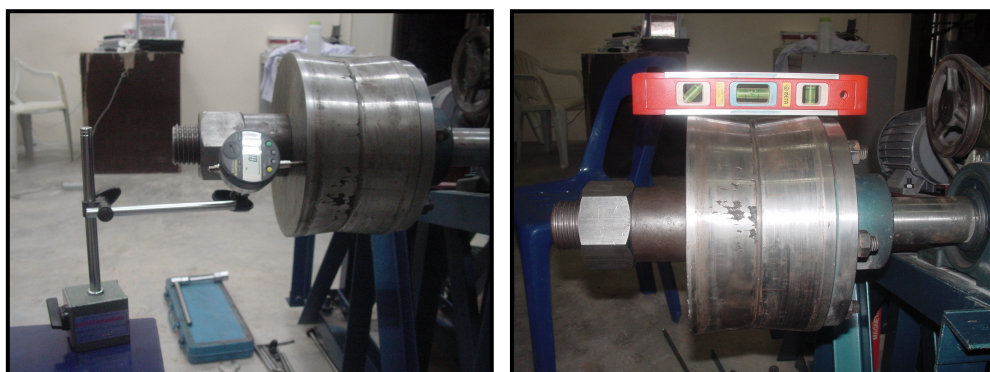
รูปที่ 4.19 กระทะลื้อแบบใหม่ (ก) กระทะลื้อซีกด้านนอก (ข) กระทะลื้อซีกด้านใน



รูปที่ 4.20 ส่วนประกอบกระทะลื้อแบบใหม่

4.1.4.4 วัดความกลมล้อยางต้นที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนแบบเก่า

สำหรับการทดสอบความกลมล้อยางต้นในขั้นตอนนี้ จะเป็นการนำล้อยางที่ยังไม่มีการปรับยางชั้นใน ที่ม้วนขึ้นรูปล้อยางต้นด้วยเครื่องม้วนแบบเก่ามาทำการทดสอบ เมื่อนำกระทะล้อตัวเปล่า ประกอบกับเครื่องทดสอบ จะต้องทำการตรวจระนาบของกระทะล้อให้อยู่ในแนวนอน และแนวตั้งกับพื้น โลก ดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ตรวจสอบระนาบของกระทะล้อ

เมื่อตรวจสอบระดับของกระทะล้อแล้ว ก็จะนำล้อยางต้นมาประกอบเข้ากับเครื่องทดสอบ ซึ่งกระทะล้อจะติดตั้งอยู่บนเพลาล้อ ทำการขันน็อตบีบกระทะล้อ เพื่อให้กระทะล้อและล้อยางต้น ประกอบเข้าด้วยกันเท่านั้น แต่ไม่ใช่แรงขันน็อตในการบีบกระทะล้อ โดยจุดนี้จะถือว่าไม่ใช่แรงขันน็อต (Not-clamping Force) จากนั้นทำการตรวจระนาบของล้อยางต้นหลังการประกอบเข้ากับชุดทดสอบ ให้ล้อยางต้นได้ระดับมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ตรวจสอบระนาบของล้อยางต้นหลังประกอบกับชุดทดสอบ



รูปที่ 4.23 นำชุดลูกกลิ้งเข้ามาติดตั้งและตรวจสอบระดับ

จากนั้นนำชุดลูกกลิ้งเข้ามาติดตั้งได้ตัวอย่าง ทำการปรับระดับชุดลูกกลิ้งให้ได้ระดับในแนวนานกับพื้นโลก ชุดลูกกลิ้งสามารถปรับระดับได้เพราะฐานของชุดลูกกลิ้งทั้ง 4 จุด ถูกรอกแบบมาให้ปรับระดับได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.23

เมื่อทำการติดตั้งชุดลูกกลิ้งเรียบร้อยแล้ว จึงทำการวัดความกลมของล้อยาง โดยจะปรับค่าไดอัลเกจให้เป็นศูนย์ที่ตำแหน่งเริ่มต้นวัด จากนั้นหมุนล้อยางเพื่อทำการวัดรัศมีของล้อยางบนดอกยางทุกๆดอกจนครบตามเส้นรอบวงล้อ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 และบันทึกค่าที่อ่านได้จากของไดอัลเกจที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อทำการวัดรัศมีของล้อยางจนครบรอบการหมุนแล้วก็จะทำการวัดความกลมของล้อยางที่ค่าการขันบีบกระทะล้อค่าอื่นๆ แต่วิธีการวัดจะทำเช่นเดียวกันทุกค่าเพื่อต้องการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของรัศมีล้อยางจากการใช้แรงขันบีบกระทะล้อที่มากขึ้น โดยจะใช้แรงขันบีบกระทะล้อทั้งหมด 5 ค่า คือ 0 ปอนด์-ฟุต, 20 ปอนด์-ฟุต, 40 ปอนด์-ฟุต, 60 ปอนด์-ฟุต, 80 ปอนด์-ฟุต ซึ่งค่ามาตรฐานการขันบีบของล้อยางขนาด 6:00-9 rim 4 จะอยู่ในช่วง 60-90 ปอนด์-ฟุต ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เพื่อศึกษาว่าแรงขันบีบกระทะล้อเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความกลมของล้อยางต้นหรือไม่



รูปที่ 4.24 แสดงการวัดความกลมของล้อยางต้น

นำค่าของรัศมีด้อย่างต้นมาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายของข้อมูลทั้งหมด โดยจะหาว่าข้อมูลแต่ละตัวห่างจากค่ากลาง \bar{X} มากน้อยเพียงใด ซึ่งหาได้จากสมการที่ (4.1)

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \tag{4.1}$$

- เมื่อ SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)
- X_i คือ ข้อมูลแต่ละตัว
- \bar{X} คือ ค่ากลางของข้อมูล
- n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 4.2 แรงขันบีบที่ใช้ในการขันบีบกระทะล้อสำหรับล้อยางต้น และ การขันยึดคูล้อ

TIRE FASTENERS TORQUE						
Model	FRONT WHEEL			REAR WHEEL		
	Tire Spec.	Hub Nut	Split Type Wheel Nut	Split Type Wheel Nut	Hub Nut	Split Type Wheel Nut
FG10, FD10 F(H)G15, F(H)D15 F(H)G18, F(H)D18	Single 6.50-10-10PR	147 to 172 [15 to 17.5] (108 to 127)	81 to 121 [8.3 to 12.3] (60 to 89)	9.8 to 11.3 (71 to 82) Use "LOCTITE" or equivalent thread locking adhesive.	128 to 190 [13 to 19.4] (94 to 140)	81 to 121 [8.3 to 12.3] (60 to 89)
	Double 4.50-12-8PR	226 to 275 [23 to 28] (166 to 202)				
F(H)G20, F(H)D20 FG23, FD23 F(H)G25, F(H)D25	Single 7.00-12-12PR	471 to 549 [48 to 56] (347 to 405)	196 to 294 [20 to 30] (145 to 217)		128 to 190 [13 to 19.4] (94 to 140)	81 to 121 [8.3 to 12.3] (60 to 89)
	Double 5.50-15-8PR	Inner & outer respectively 471 to 549 [48 to 56] (347 to 405)				
FG28, FD28 F(H)G30, F(H)D30	Double 7.00-12-12PR	471 to 549 [48 to 56] (347 to 405)			128 to 190 [13 to 19.4] (94 to 140)	81 to 121 [8.3 to 12.3] (60 to 89)
	Single 28 X 9-15-12PR	471 to 549 [48 to 56] (347 to 405)				
	Double 6.00-15-12PR	Inner & outer respectively 471 to 549 [48 to 56] (347 to 405)				
	Double 28 X 9-15-12PR	471 to 549 [48 to 56] (347 to 405)				

ที่มา : TMC Corporation (2000) ,Operation & Maintenance Manual Forklift Truck, Japan

ผลที่ได้จากการตรวจวัดความกลมจะเป็นข้อมูลทางสถิติเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ร่วมกับค่าความไม่สมดุลการหมุน (Rotating unbalance) ที่จะส่งผลต่อการสั่นสะเทือนในล้อยางต้นและใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงคุณภาพของล้อยางต้นต่อไป

4.1.4.5 วัดความกลมด้อย่างตันที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนแบบใหม่

ในการวัดความกลมด้อย่างตันหลังปรับยางชั้นในให้สม่ำเสมอโดยใช้เครื่องม้วนยางแบบใหม่นั้น จะใช้วิธีการและเครื่องทดสอบความกลมของด้อย่างตัน เหมือนกับวิธีการในหัวข้อ 4.1.4.4

4.1.4.6 วัดความกลมด้อย่างตันหลังปรับยางชั้นในให้สม่ำเสมอด้วยวิธีการพรีฟอร์ม

ในการวัดความกลมด้อย่างตันหลังปรับยางชั้นในให้สม่ำเสมอด้วยเครื่องม้วนยางแบบใหม่ ใช้วิธีการพรีฟอร์มในการผลิตด้อย่างตันนั้น จะใช้วิธีการและเครื่องทดสอบความกลมของด้อย่างตัน เหมือนกับวิธีการในหัวข้อ 4.1.4.4

4.1.4.7 วัดความกลมด้อย่างตันหลังปรับยางชั้นในให้สม่ำเสมอด้วยวิธีการพรีเคียว

ในการวัดความกลมด้อย่างตันหลังปรับยางชั้นในให้สม่ำเสมอด้วยเครื่องม้วนยางแบบใหม่ ใช้วิธีการพรีเคียวในการผลิตด้อย่างตันนั้น จะใช้วิธีการและเครื่องทดสอบความกลมของด้อย่างตัน เหมือนกับวิธีการในหัวข้อ 4.1.4.4

4.1.4.8 วัดความกลมด้อย่างตันที่ผลิตให้มีคุณภาพต่ำ

ในการวัดความกลมด้อย่างตันที่ผลิตให้มีคุณภาพต่ำ จะใช้วิธีการและเครื่องทดสอบความกลมของด้อย่างตัน เหมือนกับวิธีการในหัวข้อ 4.1.4.4

4.1.4.9 วัดความกลมด้อย่างตันมาตรฐานที่มีขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาด

ในการวัดความกลมด้อย่างตันที่มีขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาด จะใช้วิธีการและเครื่องทดสอบความกลมของด้อย่างตัน เหมือนกับวิธีการในหัวข้อ 4.1.4.4

4.1.5 กิจกรรมที่ 5: ทดสอบความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนด้อย่างตัน
วัตถุประสงค์ของกิจกรรม

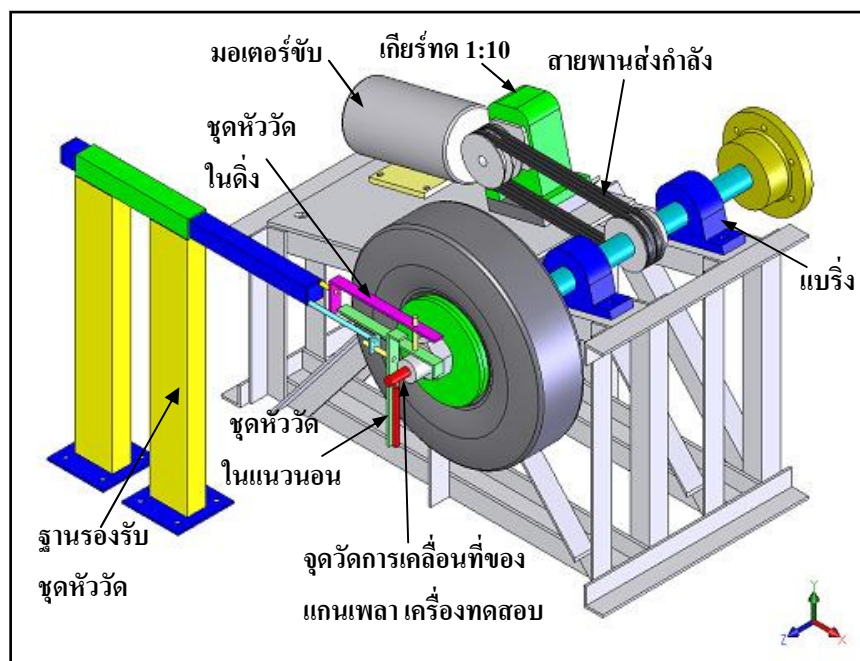
1) ศึกษาความสมดุลแรงเหวี่ยงของด้อย่างตันที่ผลิตด้วยวิธีการต่างๆ กับด้อย่างตันที่มีขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาด

การหมุนของด้อย่างตันที่ไม่สมดุลเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นในด้อย่างตัน ในงานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษาความสมดุลแรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นในด้อย่างตัน เมื่อมีการปรับยางชั้นในให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้นด้วยวิธีการต่างๆ นำผลความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของแต่ละวิธีการผลิต และด้อย่างตันที่มีขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาด มาเปรียบเทียบกัน

4.1.5.1 ความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตันที่ควบคุมการม้วนยาง ชั้นในด้วยเครื่องม้วนแบบเก่า

การวัดความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตัน ทำโดยควบคุมให้ล้อยางหมุนตัวเปล่าที่ความเร็วเชิงเส้น 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วทั่วไปของรถโฟล์คลิฟท์ เมื่อล้อยางไม่สมดุล (Rotating unbalance) ก็จะทำให้เพลลาของเครื่องทดสอบเกิดการสั่น ทำการวัดค่าของ การเคลื่อนที่ในระนาบของแกนเพลลาของเครื่องทดสอบ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตันขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 4.25 โดยชุดขับเคลื่อนประกอบด้วย มอเตอร์ขับเคลื่อนขนาด 3 กิโลวัตต์ ความเร็วรอบในการหมุน 2950 รอบต่อนาที เกียร์ทดมีอัตราทด 1:10 เมื่อมอเตอร์ส่งกำลังผ่านเกียร์ทดจะทำให้เหลือความเร็วรอบของการหมุน 295 รอบต่อนาที และส่งกำลังไปยังมูเลย์ตัวขับ ผ่านสายพานส่งกำลังไปยังมูเลย์ตัวตาม โดยระหว่างมูเลย์ตัวขับและตัวตามมีอัตราทด 1:1 แกนเพลลาของเครื่องทดสอบก็จะถูกขับโดยมูเลย์ตัวตามซึ่งติดอยู่บนแกนเพลลาของเครื่องทดสอบ แกนเพลลาของเครื่องทดสอบก็จะถูกขับด้วยความเร็วที่ต้องการ



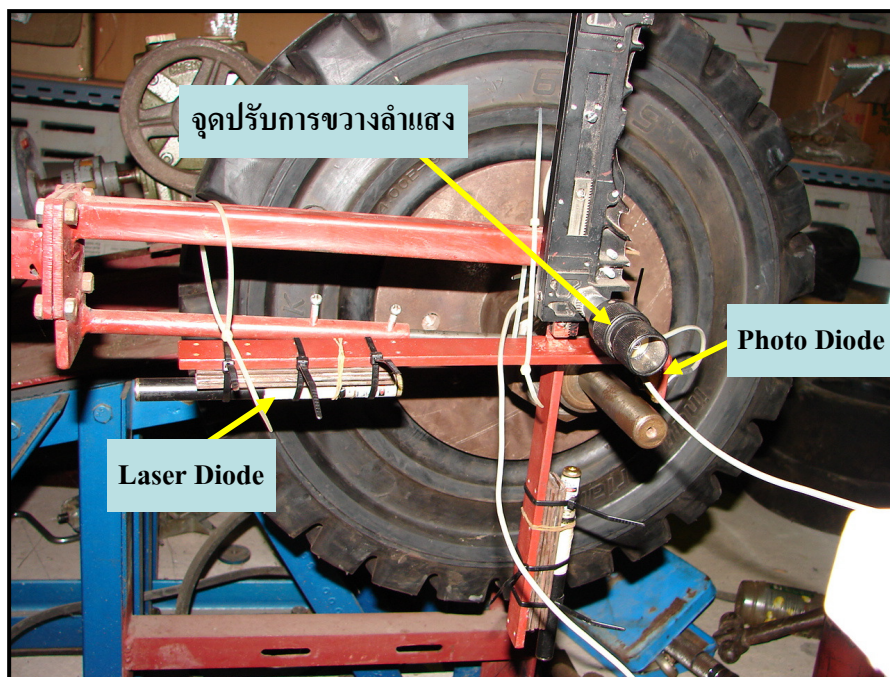
รูปที่ 4.25 ก). เครื่องทดสอบความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตันที่ออกแบบไว้



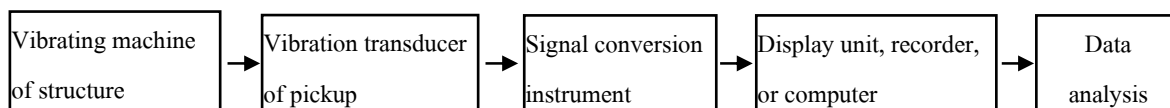
รูปที่ 4.25 ข). เครื่องทดสอบความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตันที่สร้างเสร็จแล้ว
รูปที่ 4.25 เครื่องทดสอบความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตัน

สำหรับเครื่องทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงของล้อยางตันที่สร้างขึ้น จะใช้วิธีการตรวจวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้หลักการของเทคนิคทางแสงเลเซอร์มาตรวจวัดความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของการเคลื่อนที่ของแกนเพลลาของเครื่องทดสอบ ชุดหัววัดจะถูกออกแบบให้สามารถปรับการบังแสงทั้งในแนวนอน และแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.26 ซึ่งในขั้นตอนของการวัดการสั่นสะเทือนที่ล้อยางตันส่งผ่านมายังแกนเพลลาของเครื่องทดสอบนั้น จะต้องทำการปรับลำแสงให้เพลลาขวางกั้นลำแสงครึ่งหนึ่งของลำแสงที่ส่องเต็มหน้าจอ โดยออกแบบให้ชุดหัววัดสามารถปรับระยะการบังแสงได้ในระดับไมโครเมตร และสามารถปรับระยะการบังแสงได้อย่างสะดวก เพียงปรับหมุนที่จุดปรับระยะการขวางลำแสง

ระบบและขั้นตอนการวัดการสั่นสะเทือนของแกนเพลลาเนื่องจากความไม่สมดุลมวลของล้อยางตัน แสดงในรูปที่ 4.27 มีทรานสดิวเซอร์ (Transducers) เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เปลี่ยนปริมาณกายภาพทางกลให้กลายเป็นปริมาณกายภาพทางไฟฟ้าที่สามารถตรวจวัดได้ เช่น กระแสไฟฟ้าหรือแรงเคลื่อน แต่เนื่องจากการรับสัญญาณไฟฟ้าจากทรานสดิวเซอร์มักจะเป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็ก หรืออาจมีสัญญาณรบกวน ทำให้มีสัญญาณอื่นนอกเหนือจากสัญญาณที่เกิดจากการสั่นรวมมากับสัญญาณ แล้วเข้าสู่ระบบการวัดจึงต้องมีการปรับสภาพสัญญาณก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์การปรับสัญญาณอาจจะเป็นการใช้เครื่องขยายสัญญาณให้สัญญาณมีขนาดใหญ่ขึ้น หรือใช้อุปกรณ์กรองสัญญาณ เมื่อสัญญาณได้รับการปรับที่เหมาะสมแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกให้เป็นสัญญาณของดิจิทัล เพื่อนำข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์แล้วนำข้อมูลไปประมวลผลต่อ

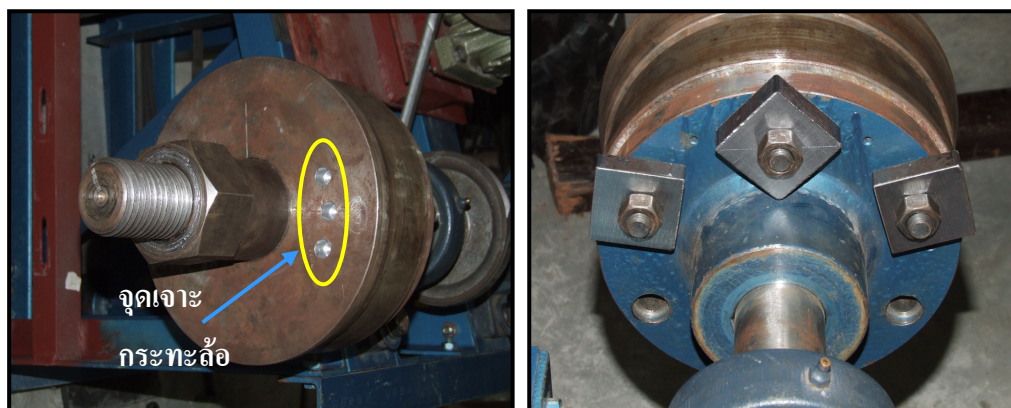


รูปที่ 4.26 แสดงอุปกรณ์ของชุดวัดการเคลื่อนที่ของแกนเพลลาเครื่องทดสอบด้วยเทคนิคทางแสงเลเซอร์



รูปที่ 4.27 ระบบและขั้นตอนการวัดการสั่นสะเทือน

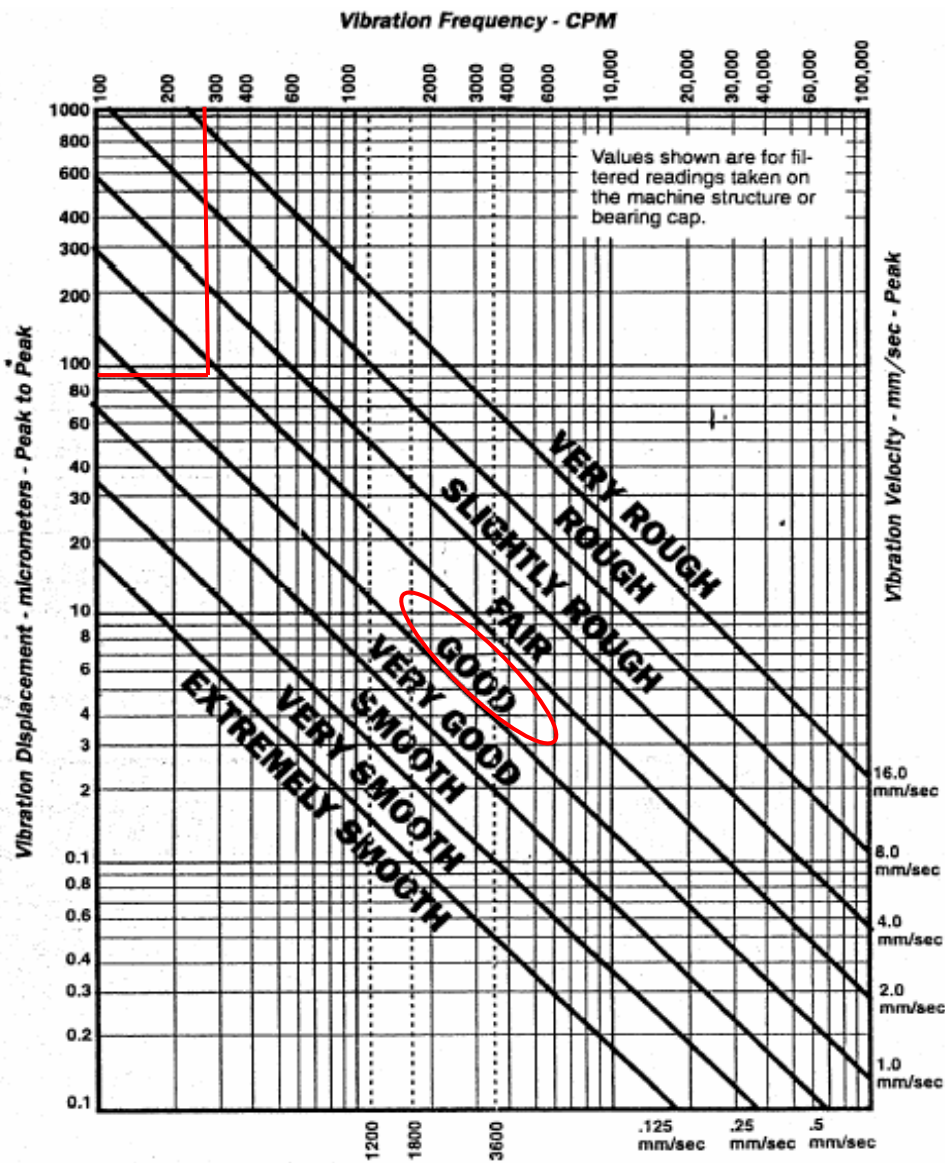
ก่อนทำการทดสอบการสั่นสะเทือนของล้อยางตัน ได้ทำการศึกษาสมมูลเฉพาะเพลาล้อของเครื่องทดสอบก่อน โดยใช้เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่ใช้หลักการของเทคนิคทางแสงเลเซอร์ แบบขวางกั้นลำแสงที่สร้างขึ้นมาสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้ เริ่มต้นจากเดินเครื่องทดสอบในสถานะที่ไม่มีการประกอบล้อยางตันเข้ากับเครื่องทดสอบให้เครื่องทดสอบหมุนตัวเปล่า ควบคุมให้แกนเพลลาของเครื่องทดสอบหมุนที่ความเร็ว 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทำการอ่านค่าการสั่นสะเทือน (Vibration displacement) ของแกนเพลลาเครื่องทดสอบ ทำการถ่วงน้ำหนักและเจาะกระทะล้อเพื่อให้เครื่องทดสอบในสถานะที่ไม่มีการติดตั้งล้อยางตันสมมูลการหมุนมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 แสดงการเจาะและถ่วงน้ำหนัก

ค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลลาของเครื่องทดสอบในรูปการสั่นสะเทือน (Vibration displacement) ต่ำสุดที่ทำสมดุล (Balancing) ได้อยู่ที่ 0.092 มิลลิเมตร นำค่าการสั่นสะเทือนที่ได้มาเปรียบเทียบกับ Machinery Vibration Severity Chart ดังรูปที่ 4.29 เพื่อดูระดับของการสั่นสะเทือน (Vibration displacement) ของแกนเพลลาเครื่องทดสอบว่าอยู่ในระดับใด ซึ่งผลที่อ่านได้จาก Machinery Vibration Severity Chart ค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลลาของเครื่องทดสอบในรูปของการสั่นสะเทือน (Vibration displacement) อยู่ในระดับเกณฑ์ที่ดี นั้นหมายความว่าเมื่อทำการทดสอบความสมดุลการหมุนของล้ออย่างตัน ค่าการสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดได้จะเป็นค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการไม่สมดุลการหมุนของล้ออย่างตันจริง มีค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากเครื่องทดสอบน้อย ทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้มีผลถูกต้องและยอมรับได้ เมื่อทำสมดุลเครื่องทดสอบให้มีความสมดุลอยู่ในระดับเกณฑ์ที่ดีแล้วทำการทดสอบช่วงการวัดของเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ใช้หลักการเทคนิคทางแสงเลเซอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ตรวจวัดการสั่นของแกนเพลลาเครื่องทดสอบ โดยทำการจัดวางชุดทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.30 ξ_1 คือ ปริมาณความเข้มแสงที่ส่องไปยังจอร์รับแสงเต็มจอขณะไม่มีการบังลำแสงอ่านค่าได้ 3.03 มิลลิเมตร ปรับตั้งชุดหัววัดให้เพลลาของเครื่องทดสอบบังลำแสงที่ส่องไปยังจอร์รับแสงครึ่งละ 0.2 มิลลิเมตร ξ_2 คือปริมาณลำแสงที่เพลลาขวางกั้น เคนเครื่องทดสอบให้เพลลาของเครื่องทดสอบที่มีการติดตั้งล้ออย่างตันเข้าไปด้วย หมุนที่ความเร็วรอบ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บันทึกค่าการสั่นของเพลลาของเครื่องทดสอบ ทำการทดสอบไปจนเพลลาของเครื่องทดสอบบังลำแสงที่ส่องไปยังจอร์รับแสงทั้งหมด ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

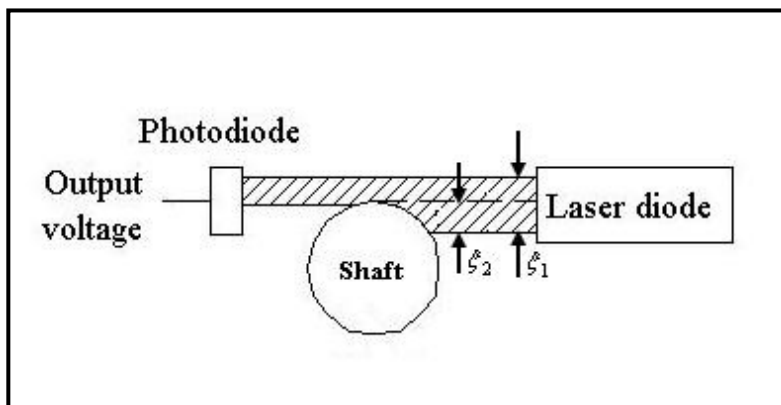
METRIC MACHINERY VIBRATION SEVERITY CHART



รูปที่ 4.29 Machinery Vibration Severity Chart ในหน่วยเมตริก

ที่มา : IRD Mechanalysis,Inc.(1993). IRD Mechanalysis IQ

2000 Application Guide, USA. [20]

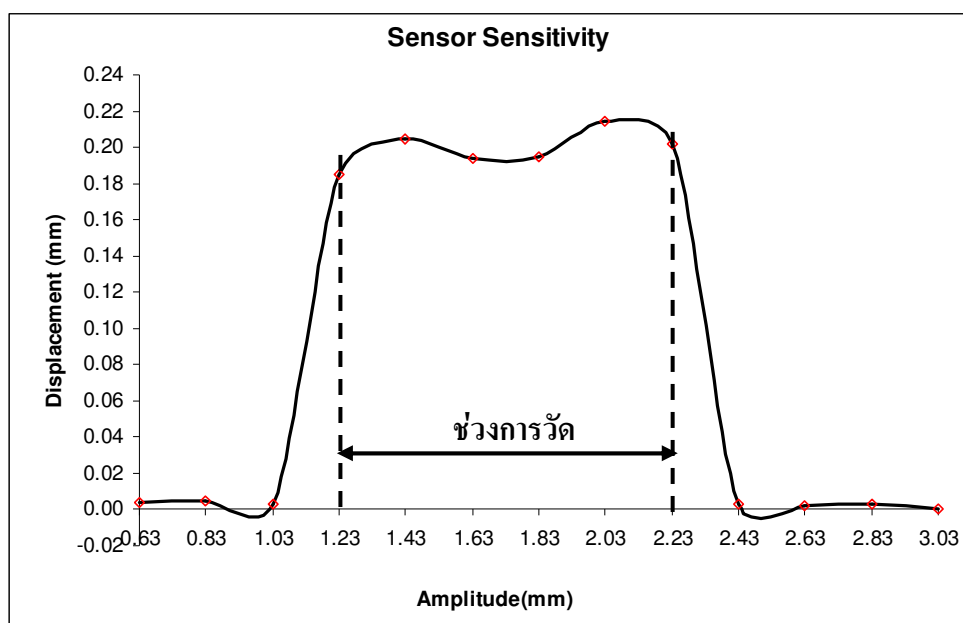


รูปที่ 4.30 การทดลองหาช่วงการวัดของเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนที่ใช้เทคนิคทางแสงเลเซอร์

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบช่วงการวัดของเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่ใช้เทคนิคทางแสงเลเซอร์

ครั้งที่	ζ_2 (mm)	Peak to Peak (mm)
1	3.03	0.000000
2	2.83	0.003400
3	2.63	0.002620
4	2.43	0.003150
5	2.23	0.201730
6	2.03	0.214570
7	1.83	0.194690
8	1.63	0.193600
9	1.43	0.204830
10	1.23	0.184670
11	1.03	0.003400
12	0.83	0.004500
13	0.63	0.004220

นำผลการทดลองมาพล็อตกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.31 จากกราฟ ช่วงการวัดของเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่ใช้เทคนิคทางแสงเลเซอร์ จะอยู่ในช่วง 1 มิลลิเมตร ถ้าวัตถุมีการสั่นสะเทือนไม่เกิน 1 มิลลิเมตร เครื่องมือวัดนี้สามารถตรวจวัดได้



รูปที่ 4.31 แสดงช่วงการวัดของเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่ใช้เทคนิคทางแสงเลเซอร์

ทำการทดสอบหาค่า Repeatability ของวงจรถดสอบโดยการทดสอบสมมูลการหมุนของล้ออย่างตัน 1 เส้น ทำการประกอบล้ออย่างตันเข้ากับชุดทดสอบเพียงครั้งเดียวไม่มีการถอดล้อออกมาแล้วประกอบเข้าไปใหม่ แต่จะทำการเลื่อนชุดหัววัดออกและทำการเลื่อนเข้าไปยังตำแหน่งจุดวัดที่เพลาใหม่ทุกครั้ง เพื่อทำการทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องวัดการสั่นสะเทือน โดยวัดการเคลื่อนที่ของแกนเพลลาของเครื่องทดสอบสมมูลการหมุนของล้ออย่างตัน โดยทำการทดสอบ 10 ครั้ง ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการเคลื่อนที่ของแกนเพลลาของเครื่องทดสอบสมดุกลการหมุนเพื่อหาค่า

Repeatability ของวงจรถดสอบ

ครั้งที่	Peak to Peak (mm)		ครั้งที่	Peak to Peak (mm)	
	X	Y		X	Y
1	0.30016	0.3755	6	0.27833	0.3517
2	0.30176	0.37275	7	0.27596	0.35304
3	0.30825	0.38180	8	0.27553	0.36472
4	0.27927	0.35259	9	0.2939	0.38413
5	0.27668	0.36178	10	0.29952	0.35271

ค่า Repeatability ของวงจรถดสอบคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{repeatability} = \frac{\max \text{imum} - \min \text{imum}}{\max \text{imum}} \times 100 \quad (4.1)$$

นำค่าจากตารางที่ 4.4 แทนค่าในสมการที่ (4.1)

$$\text{repeatability}_X = \frac{0.30825 - 0.27553}{0.30825} \times 100 = 10.61 \% \text{FSO}$$

$$\text{repeatability}_Y = \frac{0.3818 - 0.3517}{0.3818} \times 100 = 7.88 \% \text{FSO}$$

จากผลของการหาค่า Repeatability ของวงจรถดสอบพบว่า ค่า Repeatability ของวงจรถดสอบน้อยกว่า 10.61 %FSO ซึ่งเป็นค่าที่น้อย

เมื่อปรับตั้งเครื่องทดสอบความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตันให้มีความพร้อมแล้วก็ทำการติดตั้งล้อยางตันกับเครื่องทดสอบความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตัน ดังแสดงในรูปที่ 4.32 จากนั้นนำกระทะล้อด้านนอกมาประกอบเพื่อทำการบีบล้อยางตันให้ยึดติดกับเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.32 แสดงการประกอบล้อยาง รูปที่ 4.33 แสดงการประกอบล้อยางกับกระทะล้อด้านนอก
กับกระทะล้อด้านใน

จากนั้นทำการขันบีบกระทะล้อโดยใช้แรงในการขันบีบ 80 lb-ft ดังแสดงในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 แสดงการขันบีบกระทะล้อ

รูปที่ 4.35 แสดงการติดตั้งและปรับระยะการบัง
ลำแสง



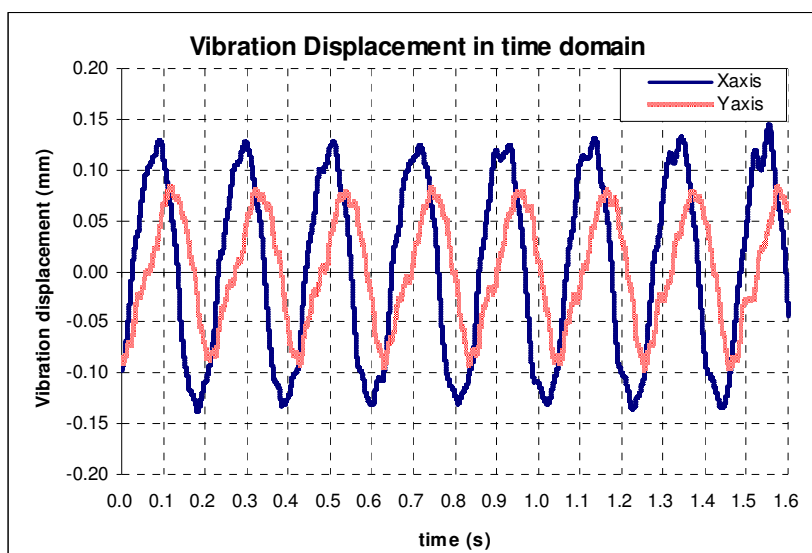
รูปที่ 4.36 แสดงปริมาณของลำแสงที่ปรับให้ส่องไปยังจอร์รับแสงเพียงครึ่งหนึ่ง

จากนั้นทำการเลื่อนชุดหัววัดแบบขวางกั้นลำแสงในแนวนอน และแนวตั้ง เข้าไปติดตั้งที่จุดวัดการสั่นสะเทือนของเพลลาเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.35

ทำการปรับระยะการบังลำแสง ให้ลำแสงส่องไปยังจอร์รับแสงเพียงครึ่งหนึ่งของลำแสงที่ส่องเต็มจอ โดยอ่านค่าของปริมาณลำแสงที่ส่องไปยังจอร์รับแสงจากโวลต์มิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.36 เมื่อปรับค่าของลำแสงให้วางเพลลาล้อครึ่งหนึ่งได้แล้ว จะดำเนินการทดสอบสมมูลการหมุนของล้ออย่างตันโดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

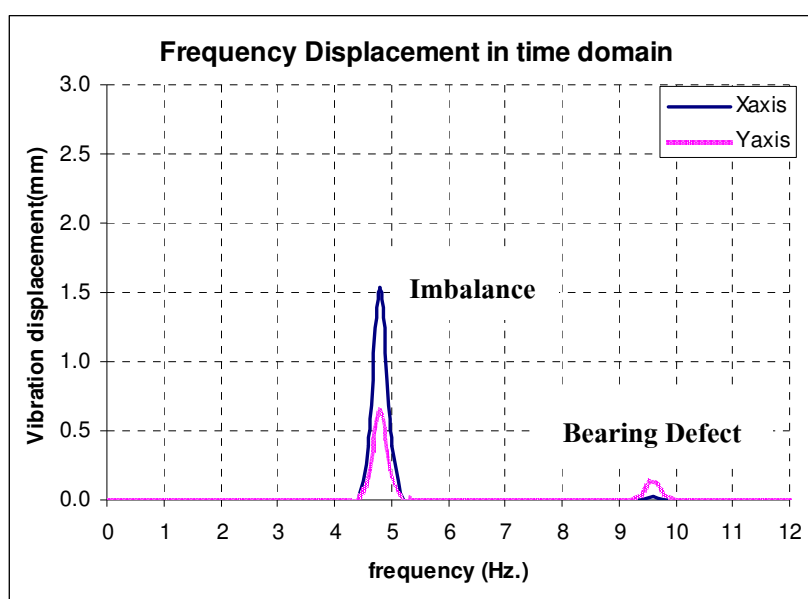
ในการทดสอบล้ออย่างตัน 1 เส้น นั้นจะทำการติดตั้งและถอดล้ออย่างออกจากเครื่องทดสอบ 3 ครั้งด้วยกัน และในหนึ่งครั้งของการติดตั้งล้ออย่างเข้ากับเครื่องทดสอบจะทำการวัดการเคลื่อนที่ของแกนเพลลาจากการหมุนของล้ออย่าง 5 ครั้ง โดยแต่ละครั้งก็จะทำการเลื่อนชุดหัววัดแบบขวางกั้นลำแสงทั้งในแกนนอนและแกนตั้งออก และทำการติดตั้งใหม่ทุกครั้ง ดังนั้นในการทดสอบสมมูลการหมุนของล้ออย่างตันหนึ่งล้อก็จะได้ผลการทดสอบ 15 ครั้ง นำผลของแต่ละครั้งมาหาค่าเฉลี่ยและนำมาวิเคราะห์ผล

นำผลการทดสอบสมมูลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้ออย่างตันมาแสดงผล ค่าการสั่นสะเทือน (Vibration displacement) ของแกนเพลลาของเครื่องทดสอบ แสดงผลบนโดเมนของเวลา (Time domain) และบนโดเมนความถี่ (Frequency domain) ดังแสดงในรูปที่ 4.37 และ 4.38 ตามลำดับ



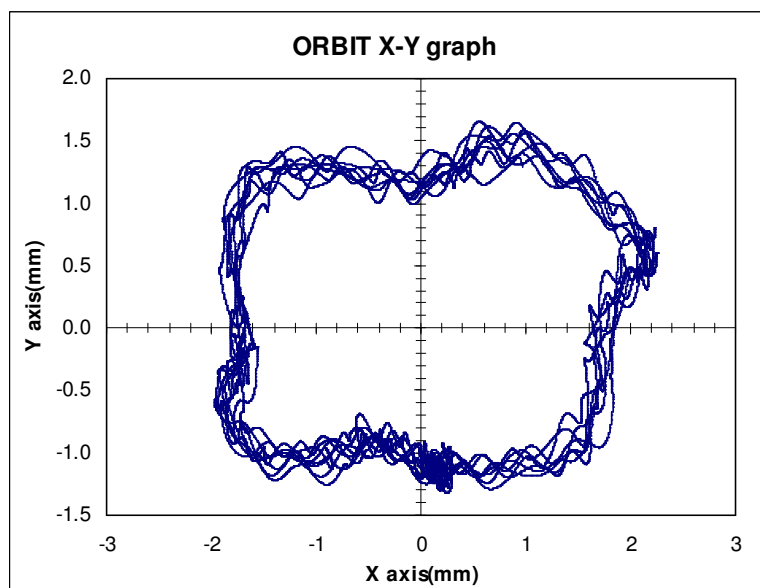
รูปที่ 4.37 ตัวอย่างการแสดงผลทดสอบล้ออย่างตันบนโดเมนเวลา [21]

จากรูปที่ 4.37 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้ถูกแสดงอยู่บนโดเมนเวลา แสดงการเคลื่อนที่ของแกนเพลลาของเครื่องทดสอบในระนาบ ซึ่งแสดงในรูปของ Peak to Peak มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร ค่าดังกล่าวที่วัดได้จะเป็นตัวบอกลักษณะเบื้องต้นมีค่าการสั่นสะเทือนมากน้อยเพียงไร โดยการสั่นสะเทือนในลักษณะนี้ในสภาวะการทดสอบในงานวิจัยนี้ส่วนหนึ่งเกิดจากการหมุนที่ไม่สมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกน รูปที่ 4.38 แสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ การแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปแบบนี้ทำให้สะดวกในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเนื่องจากความไม่สมดุลของล้อยางตัน



รูปที่ 4.38 ตัวอย่างการแสดงผลทดสอบล้อยางตันบนโดเมนความถี่ [21]

สำหรับค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลลาของเครื่องทดสอบในรูปของการสั่นสะเทือนในแนวระนาบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.39 ซึ่งสามารถทำให้วิเคราะห์ลักษณะของการแกว่งของแกนเพลลาของเครื่องทดสอบเนื่องจากความไม่สมดุลของล้อยางตัน และเป็นการรวมสัญญาณการเคลื่อนที่ของแกนเพลลาทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่งตั้งฉากกันเข้าด้วยกัน การวิเคราะห์สามารถดูรูปของกราฟแล้วนำมาศึกษาการเคลื่อนที่ของแกนเพลลาของเครื่องทดสอบเนื่องจากความไม่สมดุลของแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตันได้



รูปที่ 4.39 ตัวอย่างการแสดงผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของแกนเพลลาในระนาบ [21]

4.1.5.2 ความสมดุลแรงเหวี่ยงล้อย่างตันที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องมือแบบใหม่

ในการวัดความสมดุลแรงเหวี่ยงล้อย่างตันหลังปรับยางชั้นในให้สม่ำเสมอด้วยเครื่องมือแบบใหม่นั้นจะใช้วิธีการวัดความสมดุลแรงเหวี่ยงของล้อย่างตันเหมือนกับวิธีการในหัวข้อ 4.1.5.1

4.1.5.3 ความสมดุลแรงเหวี่ยงล้อย่างตันหลังการปรับยางชั้นในให้สม่ำเสมอด้วยวิธีการพรีฟอร์ม

ในการวัดความสมดุลแรงเหวี่ยงล้อย่างตันหลังปรับยางชั้นในให้สม่ำเสมอด้วยวิธีการพรีฟอร์มนั้นจะใช้วิธีการวัดความสมดุลแรงเหวี่ยงของล้อย่างตันเหมือนกับวิธีการในหัวข้อ 4.1.5.1

4.1.5.4 ความสมดุลแรงเหวี่ยงล้อย่างตันหลังการปรับยางชั้นในให้สม่ำเสมอด้วยวิธีการพรีเคียว

ในการวัดความสมดุลแรงเหวี่ยงล้อย่างตันหลังปรับยางชั้นในให้สม่ำเสมอด้วยวิธีการพรีเคียนั้นจะใช้วิธีการวัดความสมดุลแรงเหวี่ยงของล้อย่างตันเหมือนกับวิธีการในหัวข้อ 4.1.5.1

4.1.5.5 ความสมดุลแรงเหวี่ยงล้อยางตันที่ผลิตให้มีคุณภาพต่ำ

ในการวัดความสมดุลแรงเหวี่ยงล้อยางตันที่ผลิตให้มีคุณภาพต่ำจะใช้วิธีการวัดความสมดุลแรงเหวี่ยงของล้อยางเหมือนกับวิธีการในหัวข้อ 4.1.5.1

4.1.5.6 ความสมดุลแรงเหวี่ยงล้อยางตันมาตรฐานที่มีขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาด

ในการวัดความสมดุลแรงเหวี่ยงล้อยางตันที่มีขายอยู่ทั่วไปในท้องตลาดนั้นจะใช้วิธีการวัดความสมดุลแรงเหวี่ยงของล้อยางเหมือนกับวิธีการในหัวข้อ 4.1.5.1

4.1.6 กิจกรรมที่ 6: การตรวจสอบความสมมาตรของหน้าตัดยางชั้นในของล้อยางตันที่ทำการผลิตจริงในสายการผลิตของโรงงาน

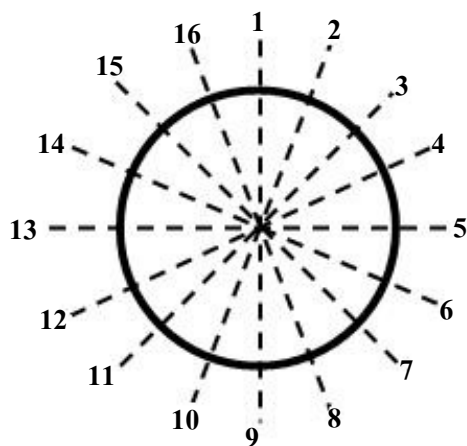
วัตถุประสงค์ของกิจกรรม : ตรวจสอบความคงรูปและสม่ำเสมอของหน้าตัดยางชั้นในล้อยางตันที่ดำเนินการผลิตจริงในสายการผลิตของโรงงาน แต่ละวิธีการผลิตและล้อยางตันมาตรฐาน

ในกิจกรรมนี้จะทำการทดสอบเช่นเดียวกับกิจกรรมที่ 2 แต่ล้อยางตันที่นำมาทำการตรวจสอบในกิจกรรมที่ 6 นี้เป็นล้อยางตันที่ได้ดำเนินการผลิตจริงในสายการผลิตของโรงงาน รวมถึงล้อยางตันมาตรฐาน และได้ผ่านการทดสอบในกิจกรรมที่ 5 มาแล้ว เพื่อที่จะนำผลการทดสอบในกิจกรรมต่างๆ มาวิเคราะห์ผลต่อไป

4.1.6.1 การตัดล้อยางเพื่อตรวจสอบความคงรูปของยางชั้นใน

ดำเนินการเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.1.2.1 แบ่งล้อยางตันออกเป็น 16 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4.40 โดยทำการตัดล้อยางตันที่ผลิตด้วยกระบวนการต่างๆดังนี้

- 1) ล้อยางตันที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนยางแบบเก่า
- 2) ล้อยางตันที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนยางแบบใหม่
- 3) ล้อยางตันที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนยางแบบใหม่แล้วนำยางชั้นในไปผ่านการอัดเย็นเรียกว่าวิธีการพรีฟอร์มก่อนนำไปพันกับยางชั้นนอกแล้วนำไปอบให้ยางสุกพร้อมกัน
- 4) ล้อยางตันที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนยางแบบใหม่แล้วนำยางชั้นในไปผ่านการอบกึ่งสุกเรียกว่าวิธีการพรีเคียวก่อนนำไปพันกับยางชั้นนอกแล้วนำไปอบให้ยางสุกพร้อมกัน
- 5) ล้อยางตันที่ผลิตให้มีคุณภาพต่ำ
- 6) ล้อยางตันที่ผลิตจากบริษัทอื่นๆและจากต่างประเทศ



รูปที่ 4.40 แสดงการแบ่งส่วนล้อยางต้นเพื่อนำไปตัด

4.1.6.2 การตรวจวัดความสมมาตรของหน้าตัดยางชั้นใน

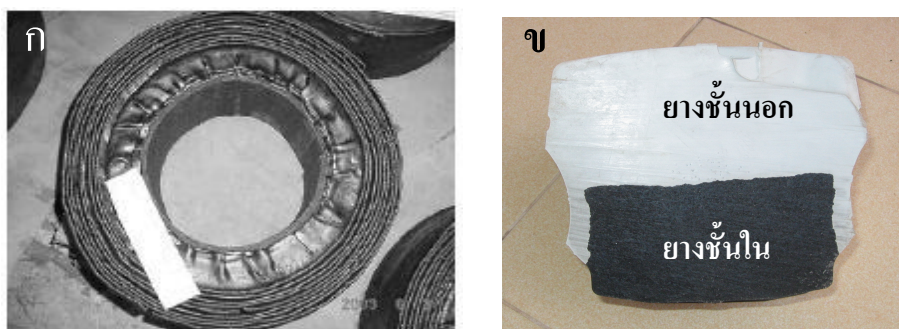
ใน 1 เส้น นำหน้าตัดของล้อยางมาทำการตรวจสอบความสมมาตรของหน้าตัดยางชั้นใน 7 หน้าตัด โดยดำเนินการทดสอบเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1.2.2 โดยตรวจวัดความสมมาตรล้อยางต้นที่ผลิตด้วยกระบวนการต่างๆดังนี้

- 1) ล้อยางต้นที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนยางแบบเก่า
- 2) ล้อยางต้นที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนยางแบบใหม่
- 3) ล้อยางต้นที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนยางแบบใหม่แล้วนำยางชั้นในไปผ่านการอัดเย็นเรียกว่าวิธีการพรีฟอร์มก่อนนำไปพันกับยางชั้นนอกแล้วนำไปอบให้ยางสุกพร้อมกัน
- 4) ล้อยางต้นที่ควบคุมการม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนยางแบบใหม่แล้วนำยางชั้นในไปผ่านการอบถึงสุกเรียกว่าวิธีการพรีเคียวก่อนนำไปพันกับยางชั้นนอกแล้วนำไปอบให้ยางสุกพร้อมกัน
- 5) ล้อยางต้นที่ผลิตให้มีคุณภาพต่ำ
- 6) ล้อยางต้นที่ผลิตจากบริษัทอื่นๆและจากต่างประเทศ

4.2 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

4.2.1 ล้อยางตัน (Solid Tire)

ล้อยางตันที่ใช้ทำการทดสอบตลอดการวิจัยนี้ เป็นล้อยางขนาด 6:00-9 Rim 4 เป็นยางตันสองชั้น โดยยางชั้นในได้จากการผสมยางธรรมชาติกับผ้าใบส่วนของยางชั้นนอกทำจากยางธรรมชาติ 100 % โดยการนำยางชั้นนอกและชั้นในมาทำเป็นแผ่นแล้วนำมาพันขึ้นรูป เรียกว่า “ยางเขียว” (green tire) ดังรูปที่ 4.41 ซึ่งเป็นล้อยางขนาดที่นิยมใช้กันมาก



รูปที่ 4.41 แสดง (ก) ยางเขียวที่ผ่านการพันแล้ว (ข) ยางตันที่ประกอบด้วยยางชั้นนอกและชั้นใน

ล้อยางตันที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัยนี้มีลักษณะจำเพาะของล้อยางตันดังแสดงในตารางที่ 4.5 และแสดงรายการของล้อยางตันที่ใช้ในการทดสอบ จำนวน 23 เส้น ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงลักษณะจำเพาะของล้อยางตันที่ใช้ในการทดสอบ

Tire size	6-9 rim 4
Outside Diameter (mm.)	520
Maximum Width (mm.)	159
Weight (kg)	≈ 27

ตารางที่ 4.6 แสดงรายการของล้อยางต้นขนาด 6:00-9Rim4 ที่ใช้ในการทดสอบ

No.	ยี่ห้อ	รหัสล้อ	วิธีการผลิต	น้ำหนัก (Kg.)
1	Pio-tyres	47092- PPT1-1511	ใช้เครื่องม้วนเก่า	26.1
2	Pio-tyres	48011-PPT2-8	ใช้เครื่องม้วนเก่า	26.6
3	Pio-tyres	48011-PPT2-9	ใช้เครื่องม้วนเก่า	26.3
4	Pio-tyres	60221-PPT-A	การพรีฟอร์ม	26.6
5	Pio-tyres	60221-PPT-B	การพรีเคียว	26.5
6	Pio-tyres	60221-PPT-C	ผลิตให้ไม่สมดุล	26.6
7	Pio-tyres	49023-PPT2-270	ใช้เครื่องม้วนใหม่	26.6
8	Pio-tyres	0609P2-3374	ผลิตให้ไม่ได้ศูนย์	26.6
9	Pio-tyres	0609P2-3376	ใช้เครื่องม้วนใหม่	26.6
10	Pio-tyres	0609P2-3378	การพรีเคียว	26.5
11	Pio-tyres	0609P2-3380	การพรีฟอร์ม	26.5
12	BRIDGESTONE	BA3603	ล้อยางมาตรฐาน	27
13	BRIDGESTONE	BA2905 I	ล้อยางมาตรฐาน	26.8
14	BRIDGESTONE	BA2905 II	ล้อยางมาตรฐาน	26.9
15	BERGOUGNAN	951 AT 0916	ล้อยางมาตรฐาน	25.4
16	BERGOUGNAN	857 BV 0398	ล้อยางมาตรฐาน	25.5
17	BERGOUGNAN	858 BV 0172	ล้อยางมาตรฐาน	25.4
18	TOKAI	AUG1848101	ล้อยางมาตรฐาน	25.4
19	TOKAI	AUG1848039	ล้อยางมาตรฐาน	25.5
20	TOKAI	JUN0749251	ล้อยางมาตรฐาน	25.5
21	KOMACHI	9312T405	ล้อยางมาตรฐาน	27.4
22	KOMACHI	9312T404	ล้อยางมาตรฐาน	27.4
23	KOMACHI	92325214	ล้อยางมาตรฐาน	27.5

ล้อยางต้นที่ใช้ในการทดสอบสามารถที่จะแบ่งออกเป็นกลุ่มๆตามวิธีการผลิตและยี่ห้อดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การแบ่งกลุ่มล้อยางตามวิธีการผลิตและยี่ห้อ

กลุ่ม	ยี่ห้อ	วิธีการผลิต	หมายเลขล้ออ้างอิงจากตารางที่ 4.6
1	Pio-tyres	เครื่องม้วนเก่า	1,2,3
2	Pio-tyres	เครื่องม้วนใหม่	7,9
3	Pio-tyres	เครื่องม้วนใหม่+พรีฟอร์ม	4,11
4	Pio-tyres	เครื่องม้วนใหม่+พรีเคียว	5,10
5	Pio-tyres	ผลิตให้ไม่สมดุล	6,8
6	Bridgestone	ล้อมาตรฐาน	12,13,14
7	Bergougnan	ล้อมาตรฐาน	15,16,17
8	Tokai	ล้อมาตรฐาน	18,19,20
9	Komachi	ล้อมาตรฐาน	21,22,23



รูปที่ 4.42 แสดงล้อยางตันสองชั้นขนาด 6:00-9Rim4 ยี่ห้อต่างๆ

4.3 เครื่องมือสำหรับการวิจัย

- 4.3.1 เครื่องทดสอบความกลมของล้อยางตัน
- 4.3.2 ชุดลูกกลิ้งช่วยวัดความกลม
- 4.3.3 กระจะล้อแบบเรียว (taper)
- 4.3.4 เครื่องทดสอบความสมดุลรอบแกนหมุนของล้อยางตัน
- 4.3.5 เครื่องมือวัดละเอียด
- 4.3.6 เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบวิธีการขวางกันลำแสง
- 4.3.7 เครื่อง Universal Testing Machine สำหรับทดสอบการดึง
- 4.3.8 เครื่องตัดยาง