

การทดสอบความแข็งตึงของล้อยางตันสองชั้น Stiffness Testing of the Integral Solid Tires

วีระชัย เก้าเอี้ยน^{1*} เจริญยุทธ เดชวายุกุล¹ วิริยะ ทองเรือง¹ คณดิด เจษฎ์พัฒนานนท์² และ พงุทธิกร สมิตไมตรี¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

โทร 0-7428-7035 โทรสาร 0-7421-2893 *อีเมลล์ teemvb@yahoo.com

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

โทร 0-7421-2894 โทรสาร 0-7445-9395

Weerachai Kao-ien^{1*} Charoenyut Dechwayukul¹ Wiriya Thongruang¹ Kanadit Chetpattananondh² and
Pruittikorn Smithmaitrie¹

¹Department of Mechanical Engineering , Prince of Songkla University Hatyai , Songkhla

Tel.(66-74) 212893,287035,287036 fax (66-74) 212893

²Department of Electrical Engineering, Prince of Songkla University Hatyai, Songkhla

Tel. +66 74 212894 , +66 74 287045-6 fax : +66 74 459395

บทคัดย่อ

ล้อยางตันสองชั้นมีปัญหาเรื่องการกระดอนขณะใช้งาน สาเหตุหนึ่งคือไม่สามารถควบคุมสมบัติยืดหยุ่นและรูปทรงหน้าตัดของยางชั้นในให้คงรูปรอบแกนหมุนของล้อยางได้ ตัวแปรดังกล่าวรวมกันส่งผลต่อความแข็งตึง (Stiffness) รอบแกนหมุนขณะใช้งาน มีผลต่อการสิ้นสั่นสะเทือนและกระดอน งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการทดสอบตรวจสอบความสม่ำเสมอของความแข็งตึงรอบแกนหมุนของล้อยางตันโดยวัดการยุบตัวของล้อยางแต่ละจุดรอบวงล้อเพื่อเป็นประโยชน์ในการระบุคุณภาพของล้อยางเบื้องต้น โดยใช้ล้อยางตันประเภท 6.00 – 9 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 520 มิลลิเมตร แบ่งตำแหน่งของล้อยางตามเส้นรอบวงจำนวน 16 จุด ทดสอบโดยเครื่องทดสอบการหมุนของล้อยางบนถนนจำลอง (Drum Test) ทำการถอดล้อยางตามตำแหน่งที่ได้แบ่งไว้ให้ยุบตัวด้วยแรงอัดจากกระบอกลิที่ทราบค่าความดันที่ความดันต่างๆ กัน ทำการคำนวณแรงกดที่ล้อกระทำบนถนนจำลองที่ตำแหน่งมุมต่างๆ รอบแกนหมุน จากการทดสอบล้อยางตันตัวอย่างจำนวน 4 เส้น พบว่าระยะยุบของล้อยางไม่มีความสม่ำเสมอรอบแนวแกน ความเบี่ยงเบนของระยะยุบรอบแกนหมุนมีค่าเท่ากับ 0.28, 0.22, 0.39 และ 0.35 ตามลำดับแสดงว่าบางจุดมีความแข็งน้อยและมากต่าง ๆ กัน อย่างไรก็ตามจะต้องมีการผ่าล้อยางเพื่อตรวจสอบความคงรูปของยางชั้นในและสมบัติความยืดหยุ่นเพื่อยืนยันความถูกต้องของการทดสอบต่อไป

คำหลัก: ล้อยางตัน

Abstract

The bounce of forklift truck due to elastic properties and non-uniformity shape at cross section of integral solid tire is

now considerable. These cause the stiffness variation around the rotating-tire axis during loading and running. This study is to propose the nondestructive method in order to investigating the stiffness variation around the rotating axis by the drum test. The four tires model of 6.00-9 and the outer diameter is 520 millimeter, different in manufacturing, are selected and marked circumference 16 points on each tire, and then installed on the Drum test. The tire is compressed onto the Drum by the hydraulic, and then the force (F_{tire}) acting between tire and drum is calculated by known pressure from the hydraulic and compressive spring (known stiffness). The tire is turned following each marked point, and then the stiffness at each point is figured out by F_{tire} . It is found that, there are the stiffness deviation at each tire 0.28, 0.22, 0.39 and 0.35 respectively and the tire code No.16 had low stiffness variation because of the stiffness deviation on each pressure are equal. However the tires are going to cut off for recheck and confirm of the test in the next time

Keywords: Solid tire

1. บทนำ

ล้อยางตันที่ใช้สำหรับรถฟอร์คลิฟท์เป็นแบบยางตันสองชั้น ประกอบด้วยยางตันชั้นนอกและยางตันชั้นใน ยางตันชั้นนอกมีสมบัติทนต่อการสึกกร่อนและเจาะทะลุ ส่วนยางตันชั้นในมีความแข็งกว่ายางชั้นนอกสำหรับรับแรงอัดจากน้ำหนักรถและน้ำหนักบรรทุก การใช้งานล้อยางตันยังมีปัญหาจากการกระดอนและการสิ้นสั่นสะเทือนขณะวิ่งบนพื้นเรียบ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงอัดในล้อยางขณะกลิ้ง เนื่องจากความ

ไม่สม่ำเสมอของความแข็งตึง (Stiffness) ของยาง รอบแกนมุมน ที่เกิดจากความไม่สมดุลของล้อยาง ความไม่กลมหรือการเยื้องศูนย์ของล้อ สาเหตุดังกล่าวอาจเกิดจากกระบวนการผลิต ยางต้นสองชั้นที่ใช้อยู่ในปัจจุบันไม่สามารถควบคุมรูปร่างของยางชั้นในให้คงรูปตลอดทั้งเส้นได้หลังการอบ ทำให้ล้อยางที่ผลิตได้มีการกระจายมวลไม่สม่ำเสมอหน้าตัดของล้อยางไม่คงที่ ยางเกิดความไม่กลม และเกิดการแยกชั้นกันระหว่างยางชั้นนอกกับยางชั้นใน ขณะใช้งานทำให้อายุการใช้งานของยางสั้นลง

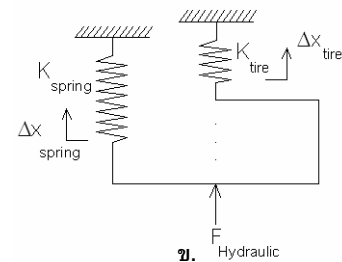
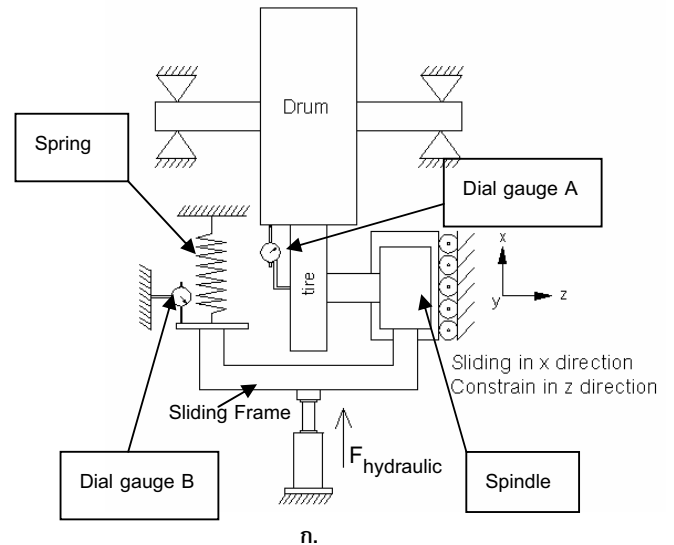
สำหรับงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบหาค่าความแข็งตึงตามแนวรัศมีของล้อยางจะทำให้ทราบถึงความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของยางชั้นใน ซึ่งส่งผลต่อค่าความแข็งตึงของล้อยางตามแนวรัศมีเบื้องต้นได้ การทดสอบทำโดยการวัดระยะยุบของล้อยางรอบแกนมุมนขณะรับแรงกดที่น้ำหนักบรรทุกต่างๆ ที่ล้อยางได้รับขณะใช้งานตามสภาพจริง สำหรับนำข้อมูลไปประกอบกับการทดสอบการสั่นสะเทือนของล้อยางขณะล้อยางถูกกดกลิ้ง และนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปใช้ในการปรับสมดุลและคุณภาพของล้อยางต่อไป

2.ทฤษฎี

กระบวนการผลิตล้อยางต้นซึ่งไม่สามารถควบคุมความสมดุลการกระจายตัวของมวลของยางชั้นใน เมื่อล้อยางต้นทดสอบกลิ้งอยู่บนล้อขับ ล้อยางต้นทดสอบจะเกิดการกระดอนบนหน้าสัมผัสของล้อขับเนื่องจากความไม่สมดุลของการกระจายตัวของมวลของยางชั้นในส่งผลให้ค่าความแข็งตึงตามแนวรัศมีของล้อยางไม่สมดุลตลอดเส้นรอบวงของล้อ ทำให้ล้อยางต้นทดสอบมีระยะยุบที่ต่างกันเมื่อล้อหมุนเปลี่ยนมุมไป ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนขณะล้อยางกลิ้งบนพื้นถนน [2]

ในการตรวจสอบความแข็งตึงทำโดยการหาค่าระยะยุบของล้อยางเมื่อได้รับแรงกดที่เปลี่ยนไปดังรูปที่ 1 ก ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวได้สร้างขึ้นมาใช้งาน ประกอบด้วย

- 1.ล้อขับ (Drum) สำหรับเป็นพื้นถนน
- 2.ชุดไฮดรอลิกใช้สำหรับกดอัดให้เฟรมเกิดการเลื่อนตัวเข้าไปหาล้อขับขณะทำการกดอัดล้อยาง
- 3.เฟรมเลื่อน ใช้สำหรับรับแรงจากกระบอกล้อไฮดรอลิกถ่ายไปยังสปริงและล้อยางขณะทำการกดอัดและใช้สำหรับเลื่อนล้อยางเข้าไปกดอัดกับล้อขับและเลื่อนออกเมื่อปลดแรงออก
- 4.สปริง ใช้สำหรับถ่ายแรงจากกระบอกล้อไฮดรอลิกไปยังล้อทดสอบขณะทำการกดอัดและคืนเฟรมกลับขณะปลดแรงออก
- 5.เพลามุมนล้อทดสอบ (Spindle) ใช้สำหรับหมุนล้อยางให้เปลี่ยนตำแหน่งตามจุดที่ได้แบ่งไว้
- 6.ไดอัลเกจ A ใช้วัดระยะยุบตัวของล้อยาง
- 7.ไดอัลเกจ B ใช้วัดระยะยุบตัวของสปริง



รูปที่ 1 แนวคิดการทดสอบการยุบตัวของล้อยางต้น
ก.ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบโดยเครื่องทดสอบการหมุนของล้อยางบนถนนจำลอง (Drum Test) และการติดตั้งเกจวัดระยะ

ข.Free body diagram แสดงการกดอัดล้อยาง

สมมติให้ล้อขับ (Drum) เป็นพื้นที่ไม่มีการยุบตัวเมื่อรับแรงกดระยะโก่งของเพลาล้อขับ และระยะโก่งของเพลาล้อทดสอบเทียบกับการเลื่อนของเฟรมและการยุบตัวของล้อยางมีค่าน้อยมาก ๆ

การคำนวณหาค่าแรงกดอัดที่ล้อได้รับคำนวณจากแรงที่สปริงต้านการกดอัดจากกระบอกล้อไฮดรอลิก ดังสมการที่ 1 [1,4,6] แล้วนำมาหักลบกับแรงที่กระบอกล้อไฮดรอลิกกดอัด จะได้แรงที่กดอัดล้อยางดังสมการที่ 3

$$F_{spring} = K_{spring} \Delta X_{spring} \quad (1)$$

$$F_{hydraulic} = PA \quad (2)$$

$$F_{tire} = F_{hydraulic} - F_{spring} \quad (3)$$

เมื่อ F_{spring} คือ แรงต้านการยุบตัวของสปริง

K_{spring} คือ ค่าความแข็งตึงของสปริง เท่ากับ 37,980 N/m

ΔX_{spring} คือ ระยะยุบของสปริงวัดโดยใช้ไดอัลเกจ A ดังรูปที่ 1ก

$F_{hydraulic}$ คือ แรงอัดจากกระบอกล้อไฮดรอลิก

P คือ ความดันที่อ่านได้จากเกจวัดความดันที่กระบอกล้อไฮดรอลิก

A คือ พื้นที่หน้าตัดของกระบอกไฮดรอลิก
 F_{tire} คือ แรงที่กดอัดล้อทดสอบ

ค่าระยะยุบของสปริง (ΔX_{spring}) มีค่าไม่เท่ากับค่าระยะยุบของล้อคือ ระยะยุบตัวของล้อทดสอบที่สัมผัสกับล้อขับ (ΔX_{tire}) ซึ่งวัดโดยใช้ไดอัลเกจ B ดังรูปที่ 1 ก โดยค่าระยะยุบของสปริงจะมีค่ามากกว่าค่าระยะยุบของล้อทดสอบ เนื่องจากเนื้อหาของล้อยางต้นมีความแข็งมากกว่าสปริง จึงเกิดการยุบตัวได้น้อยกว่า ซึ่งแรงที่กระทำต่อล้อยางจะถูกถ่ายไปยังเพลาล้อส่วนหนึ่ง ค่าความแข็งที่ได้จากแรงกระทำต่อล้อยางจึงเป็นค่าความแข็งโดยรวมของล้อยางและเพลาล้อ

3. วิธีการทดลอง

3.1 การติดตั้งล้อยางต้นบนเครื่องทดสอบ

การติดตั้งล้อบนเครื่องทดสอบจะใช้กระทะล้อแบบ 2 ชีก ซึ่งใช้ได้สำหรับล้อยางแบบบรรจุลมและล้อยางแบบยางตัน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระทะล้อแบบสองชีก

ในการประกอบกระทะล้อเข้ากับล้อยางต้น ทำโดยนำกระทะล้อแต่ละชีกวางคนละด้านของล้อยางต้นและทำการอัดกระทะล้อให้เข้าไปในเส้นรอบวงด้านในของล้อยางด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก และทำการขันน็อตยึดกระทะล้อบีบให้กระทะล้อทั้งสองชีกประกบกันสนิท สำหรับล้อยางต้นขนาด 6.00-9 ทอร์คที่ใช้ในการขันบีบรัดล้อยางและให้กระทะล้อประกบกันสนิทอยู่ในช่วง 60 – 90 ปอนด์-ฟุต [5] โดยจะทำการขันบีบน็อตยึดกระทะล้อที่ 70 ปอนด์-ฟุต

การติดตั้งล้อยางต้นบนเครื่องทดสอบการสันสะเทือนจะติดตั้งตรงตำแหน่งของหน้าแปลนบนเพลาดังรูปที่ 3 ซึ่งทอร์คในการขันดุมล้อยึดให้ล้อติดกับหน้าแปลนอยู่ในช่วง 94-140 ปอนด์-ฟุต [5] โดยจะเลือกใช้ที่ 100 ปอนด์-ฟุต จากนั้นทำการอัดล้อยางให้ชนกับล้อขับ (Drum) โดยใช้แรงอัดจากกระบอกไฮดรอลิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4 แรงกดอัดล้อยางจะใช้แรงอัดที่มีขนาดเท่ากับน้ำหนักขณะใช้งานของรถฟอร์คลิฟท์ ซึ่งน้ำหนักของตัวรถขณะไม่บรรทุกสิ่งของเท่ากับ 3,800 กิโลกรัม สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้สูงสุด 2,500 กิโลกรัม [5] ซึ่งล้อยางต้นแต่ละล้อจะรับน้ำหนักกดขณะไม่บรรทุกสิ่งของ เท่ากับ 950 กิโลกรัม และจะรับน้ำหนักเท่ากับ 1,575 กิโลกรัม เมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด



รูปที่ 3 การติดตั้งล้อยางบนเครื่องทดสอบ



รูปที่ 4 ชุดควบคุมแรงกดอัดล้อยาง

- ก) เฟรมเลื่อนสำหรับกดอัดล้อยาง
- ข) คันโยกสำหรับควบคุมแรงดันกระบอกไฮดรอลิก

แรงอัดที่ใช้กดอัดยาง อ่านจากเกจวัดความดันของกระบอกไฮดรอลิก บนเฟรมควบคุมแรงอัดด้านหนึ่งเป็นสปริงซึ่งผ่านการสอบเทียบ ค่าคงที่ของสปริงเท่ากับ 37,980 นิวตันต่อเมตร โดยมีหน้าที่เพื่อถ่ายแรงจากกระบอกไฮดรอลิกและล้อขณะทำการกดอัดและดันเฟรมกลับขณะปลดแรงออก

3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

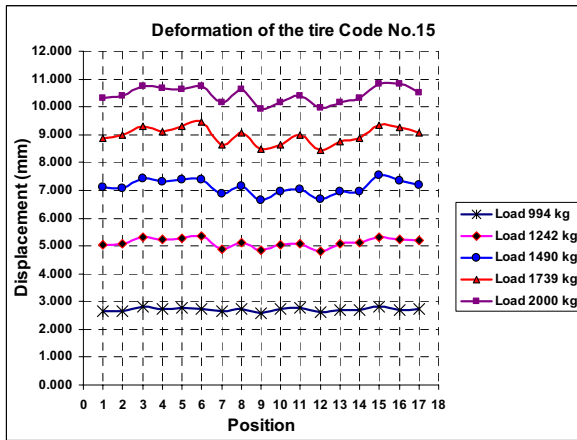
การหาค่าความแข็งของล้อยางต้นขณะอยู่หนึ่งๆ จากทำการกดอัดล้อยางทดสอบให้ไปสัมผัสกับล้อขับซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้

1. แบ่งตำแหน่งล้อยางทดสอบออกเป็น 16 ส่วนเท่า ๆ กัน (สุ่มตำแหน่งเริ่มต้น) ซึ่งจะได้ความกว้างของมุมเท่ากับ 22.5 องศา ความยาวของช่วงที่ล้อยางสัมผัสกับล้อขับสูงสุด เท่ากับ 10.2 เซนติเมตร
2. ติดตั้งล้อยางทดสอบบนเครื่องทดสอบการสันสะเทือน ทำการสตาร์ทมอเตอร์ ควบคุมความเร็วรอบของล้อขับให้หมุนที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที กดอัดล้อยางให้สัมผัสกับล้อขับโดยใช้แรงดันในการกดอัดโดยอ่านจากเกจวัดความดันที่ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขันน็อตยึดเฟรมให้อยู่นิ่งไม่ให้ความดันลดลงเนื่องจากการดันกลับของสปริง ทำการเดินเครื่องเป็นเวลา 20 นาที
3. ติดตั้งเกจวัดระยะ (Dial Gauge) เพื่อวัดระยะยุบของสปริงและระยะยุบของล้อยางดังรูปที่ 1 ก
4. ทำการกดอัดล้อยางให้ล้อยางยุบตัว โดยทำการกดอัดด้วยแรงดันเริ่มต้น 15 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ปรับค่าเริ่มต้นของเกจวัดระยะทั้งสองตัว บันทึกค่าระยะหดของสปริงและระยะยุบของล้อยาง โดยอ่านค่าจากเกจวัดระยะ เปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่ใช้ในการกดอัดล้อยางให้อยู่ระหว่าง 1,000 กิโลกรัม ถึง 2,000 กิโลกรัม โดยจะควบคุมที่ เกจวัดความดัน ของกระบอกไฮดรอลิก ใช้ความดันที่ 25, 30, 35 และ 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ทำการกดอัดและบันทึก ค่าระยะยุบจนครบทั้ง 16 ตำแหน่ง
5. ทดสอบล้อยางตัวอย่างล้อละ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าระยะยุบเฉลี่ยในแต่ละตำแหน่ง และ ทดสอบล้อตัวอย่างทั้งหมด
6. นำค่าระยะยุบของยางและ สปริงเนื่องจากกระบอก ไฮดรอลิก กดอัดที่แต่ละตำแหน่ง มาคำนวณหาค่าความแข็งของ ล้อยาง

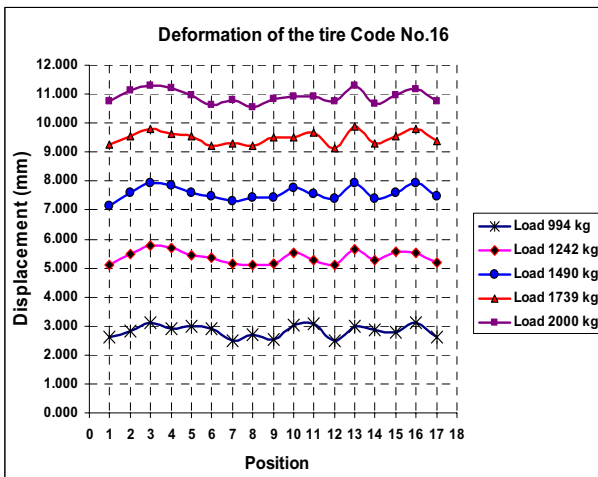
4. ผลการทดสอบ

4.1 ระยะเวลาของล้อยาง

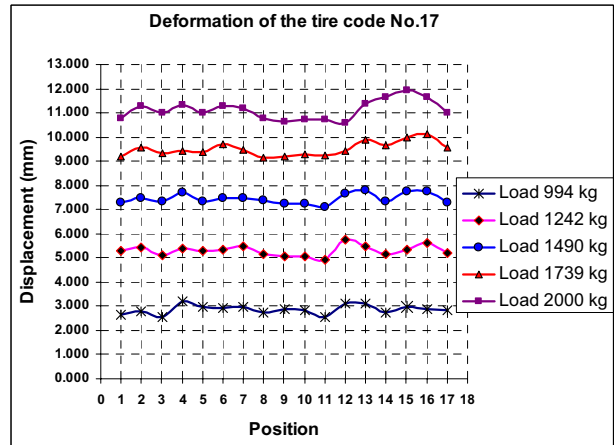
จากล้อยางตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจำนวน 4 ล้อซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ได้แก่ ล้อยาง Code No.15 ผลิตโดยกระบวนการ A ล้อยาง Code No.16 ผลิตโดยกระบวนการ B ล้อยาง Code No.17 ผลิตโดยกระบวนการ C และ ล้อยาง Code No.18 ผลิตโดยกระบวนการ D ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยวบโดยใช้แรงกดอัดค่าต่าง ๆ กับตำแหน่งของล้อยางรอบวงล้อดังรูปที่ 5-8



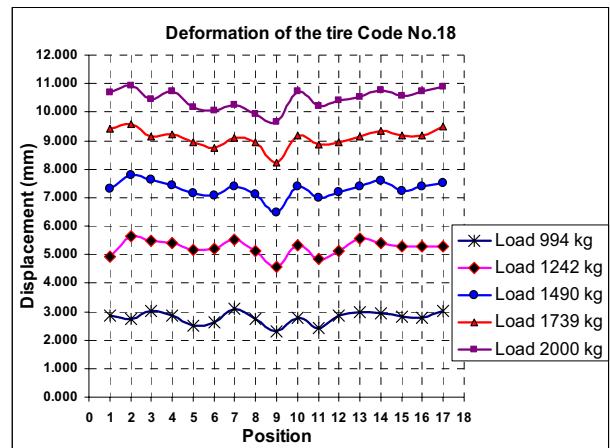
รูปที่ 5 แสดงค่าระยะยวบตัวของล้อยางต้น ตัวอย่างที่ 15 ที่หน้าหนักกดต่าง ๆ



รูปที่ 6 แสดงค่าระยะยวบตัวของล้อยางต้น ตัวอย่างที่ 16 ที่หน้าหนักกดต่าง ๆ



รูปที่ 7 แสดงค่าระยะยวบตัวของล้อยางต้น ตัวอย่างที่ 17 ที่หน้าหนักกดต่าง ๆ



รูปที่ 8 แสดงค่าระยะยวบตัวของล้อยางต้น ตัวอย่างที่ 18 ที่หน้าหนักกดต่าง ๆ

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะยวบที่แรงดันต่าง ๆ ของล้อตัวอย่างดังตารางที่ 1
 ตารางที่ 1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะยวบ

ล้อตัวอย่าง	ค่า เบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะยวบที่แรงดัน				
	20 bar	25 bar	30 bar	35 bar	40 bar
Code No.15	0.07	0.17	0.26	0.31	0.28
Code No.16	0.22	0.22	0.24	0.23	0.22
Code No.17	0.19	0.21	0.21	0.29	0.39
Code No.18	0.22	0.28	0.3	0.32	0.35

จากกราฟแสดงระยะยุบของล้อยาง สำหรับล้อยางตัวอย่าง เดียวกันการยุบตัวของล้อยางเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน ซึ่งการยุบตัวจะปรากฏให้เห็นชัดเจนเมื่อล้อยางได้รับแรงกดขนาด มากกว่า 1,242 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่า

1. ล้อยางตัวอย่าง Code No.15 และ Code No.16 มีระยะการยุบตัวของล้อยางที่ค่อนข้างสม่ำเสมอมากกว่า ล้อยางตัวอย่าง Code No.17 และ Code No.18

2. ล้อยาง Code No.17 จะมีระยะยุบที่สม่ำเสมอจนถึงตำแหน่งหนึ่งที่มีระยะยุบมากที่สุด (บริเวณจุดที่ 12 ถึงจุดที่ 15) และจะมีระยะยุบที่ลดลงจนสม่ำเสมอถึงจุดเดิม (บริเวณจุดที่ 15 ถึงจุดที่ 1) แสดงว่าตำแหน่งนั้นชั้นยางในแนวทแยงมีความอ่อนตัวที่สุด อาจเกิดจากรูปร่างไม่ดีหรืออาจเกิดจากสมบัติทางกลของยางไม่เท่ากัน

3. ล้อยาง Code No.18 จะมีระยะยุบที่ลดลงจนถึงตำแหน่งหนึ่งที่มีระยะยุบน้อยที่สุด (บริเวณจุดที่ 3 ถึงจุดที่ 9) และจะมีระยะยุบที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดเดิม (บริเวณจุดที่ 9 ถึงจุดที่ 14) แสดงว่าตำแหน่งที่มีระยะยุบน้อยที่สุดชั้นยางในแนวทแยงมีความแข็งตัวที่สุด

4. ล้อยาง Code No.15 จะมีการยุบตัวที่ไม่สม่ำเสมอมากขึ้น เมื่อได้รับแรงกดอัดที่สูงขึ้นตั้งแต่ 1,480 ถึง 2,000 กิโลกรัม แสดงว่ายังคงมีการรวมตัวของมวลของล้อยางชั้นในบริเวณตำแหน่งที่ 7 ถึง 14 อยู่ ซึ่งจะส่งผลต่อการสิ้นสั่นสูงเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกมากขึ้น

ผลการตอบสนองของล้อยางจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อได้รับแรงกดที่สูง การยุบตัวของล้อยางมีความไม่สม่ำเสมอตลอดเส้นรอบวงของล้อ เนื่องจากรูปร่างของยางชั้นในที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งมีผลต่อค่าความแข็งดึงของล้อยาง ค่าความแข็งดึงของล้อยางแต่ละล้อสามารถคิดที่แรงกดทดสอบสูงสุดเนื่องจากการตอบสนองมีความชัดเจนมากที่สุด

5.สรุป

การตรวจสอบค่าความแข็งดึงของล้อยางในงานวิจัยนี้เป็น การตรวจสอบจากภายนอกโดยไม่ทำลายล้อยาง แต่ยังไม่สามารถระบุโครงสร้างภายในของยางได้แน่ชัด ทั้งนี้จะสามารถยืนยันผลได้ก็ต่อเมื่อมีการตัดผ่าล้อยางตัวอย่าง

จากล้อยางตัวอย่างทั้ง 4 ล้อยางที่ส่งผลต่อการสิ้นสั่นสูงขณะใช้งานน้อยที่สุด คือ ล้อยางตัวอย่าง Code No.16 ที่ผลิตโดยกระบวนการ B เนื่องจากระยะยุบของล้อยางค่อนข้างสม่ำเสมอรอบวงล้อ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะยุบที่แรงกดอัดล้อยางมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งล้อยางตัวอย่างอื่นจะมีความเบี่ยงเบนของระยะยุบเพิ่มขึ้นเมื่อแรงกดอัดล้อยางสูงขึ้น

6.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในงานวิจัยครั้งนี้ และคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ

7.เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนู ฉุยฉาย 2544 การสิ้นสั่นสั่นเชิงกล สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [2] สมบัติ พุทธจักร 2547 สมบัติเชิงฟิสิกส์และเชิงรีโอโลยีและเชิงวิศวกรรมของยาง แผนกฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
- [3] บุญธรรม นิธิอุทัย และคณะ 2534 การทดสอบยางและผลิตภัณฑ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
- [4] Singiresu S. Rao (2004), *Mechanical Vibration 4th Ed*, Pearson Prentice Hall.
- [5] TMC Corporation (2000). *Operation & Maintenance Manual Forklift Truck*, Nishi-shimbashi, Minato-ku, Tokyo, Japan.
- [6] Thomson, W. and Dillon, D.M. (1993). *Theory of Vibration with Application*, Prentice Hall, Columbus, USA.