บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ในปัจจุบันมีการนำยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตล้อยางตันใช้กับรถฟอร์คลิฟท์ (forklift) สำหรับขนถ่ายสินค้าที่มีน้ำหนักมากๆในโรงงานอุตสาหกรรม ล้อยางที่ใช้เป็นแบบยางตันสองชั้นประกอบด้วยยางตันชั้นนอกและยางตันชั้นใน ยางตันชั้นนอกมีสมบัติทนต่อการสึกหรอฉีกขาดและเจาะทะลุ ส่วนยางตันชั้นในมีความแข็งกว่าชั้นนอก ทั้งนี้เพื่อรับแรงอัดจากน้ำหนักรถและน้ำหนักบรรทุก การใช้งานล้อยางตันประสบปัญหาในเรื่องการกระดอนและการสั่นสะเทือนขณะขับขี่มากกว่าใช้ล้อยางแบบบรรจุลม (Inflated Tire) ล้อยางบรรจุลมจะตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนและกระดอนน้อยกว่าล้อแบบยางตันเนื่องจากลมภายในยางช่วยดูดกลืนการสั่นสะเทือนขณะขับขี่ได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามล้อยางบรรจุลมอาจระเบิดได้เมื่อบรรทุกสัมภาระหนักๆ และต้องใช้เทคโนโลยีในกระบวนการผลิตซับซ้อนกว่า

ผู้ประกอบการ SME ภายในประเทศ มีเครื่องจักรและเทคโนโลยีในการผลิตล้อยางตันสองชั้น ผู้ใช้ล้อยางตันที่ผลิตภายในประเทศพบปัญหาการใช้งานล้อยางตัน เมื่อใช้งานล้อเกิดการกระดอนและสั่นสะเทือนขณะวิ่งบนพื้นเรียบ ทำให้สัมภาระที่บรรทุกตกหล่นระหว่างการใช้งานจากการค้นเอกสารเบื้องต้น [4-11] อธิบายสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของล้อยางขณะใช้งานในด้าน

1.) การเกิดแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนเนื่องจาก มวลในล้อยางกระจายไม่สม่ำเสมอรอบแกนหมุน บางจุดในล้อมีมวลมากน้อยไม่เท่ากัน เมื่อล้อกลิ้งไปจุดที่มีมวลมากจะมีแรงเหวี่ยงมาก (Centrifugal Force) ทำให้ขาดความสมดุลของแรงขณะล้อยางหมุนไป

2.) การขาดความกลมของล้อยาง (out of round tire) รัศมีของล้อยางจากจุดศูนย์กลางของล้อถึงเส้นรอบวงนอกมีค่าไม่คงที่ตามแนวเส้นรอบวง เมื่อล้อยางหมุนไปก็จะเกิดการกระดอนคล้ายกับการทำงานของลูกเบี้ยว

โดยทั่วไปแล้วการขาดสมดุลดังกล่าวอาจเกิดในกระบวนการผลิต เช่น แบบที่หล่อยางไม่กลมจริง อาจทำให้ล้อยางที่หล่อได้ออกมาเบี้ยว หรือขณะพันล้อยางแต่ละชั้นก่อนนำไปอบไม่สามารถควบคุมยางแต่ละชั้นให้แน่นสม่ำเสมอและคงรูปเท่ากันตลอดรอบแกนหมุน รวมถึงการควบคุมความร้อนให้กระจายอย่างสม่ำเสมอภายในแบบขณะอบ

จากการเยี่ยมชมโรงงานผลิตล้อยางตันสองชั้นสำหรับใช้กับรถฟอร์คลิฟท์ภายในประเทศ พบหลักฐานและปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุข้างต้นคือ

1.) ล้อยางตันที่ผลิตได้ยังมีการกระดอนและการสั่นสะเทือนมากกว่าล้อยางที่ผลิตจากบริษัทชั้นนำ ขณะนี้ยังไม่สามารถแก้ปัญหาการกระดอนและการสั่นสะเทือนได้ เนื่องจากผู้ประกอบการยังขาดเครื่องมืออุปกรณ์ในการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของล้อยางตัน เช่น เครื่องทดสอบความกลม เครื่องทดสอบความสมดุลการหมุน เครื่องมือเหล่านี้มีราคาค่อนข้างแพง ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ไม่มีผลิตภายในประเทศ รวมถึงยังขาดหลักการและความรู้ในการวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติทางพลศาสตร์ของล้อยางตัน

2.) จากการตัดผ่ายางตันขนาดเดียวกันที่ผลิตจากกระบวนการและเครื่องจักรเดียวกันเพื่อศึกษารูปร่างของยางตันชั้นในพบว่ารูปร่างยางชั้นในของล้อแต่ละเส้นไม่เหมือนกัน และเปรียบเทียบในล้อเส้นเดียวกันพบว่ามีรูปร่างยางชั้นในต่างกันตามหน้าตัดที่ต่างกัน ล้อยางจากบริษัทชั้นนำมีรูปร่างยางชั้นในสม่ำเสมอกว่า ปัญหาส่วนนี้ทางผู้ผลิตรายงานว่าเกิดจากกระบวนการผลิตที่ไม่สามารถควบคุมให้ยางชั้นในมีรูปร่างคงรูปได้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับขั้นตอน การเตรียมล้อยางก่อนการอบและขณะอบในแบบ

จากปัญหาดังกล่าวในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะแก้ปัญหาในด้านเครื่องมืออุปกรณ์ในการตรวจสอบคุณภาพของล้อยางตัน รวมไปถึงคิดค้นกระบวนการวิธีการในการตรวจสอบคุณภาพของล้อยาง

1.2 ความสำคัญของปัญหาและแนวทางการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตันสองชั้นหลังจากทำการปรับยางชั้นในให้สม่ำเสมอ และสมมาตรมากขึ้น ซึ่งการปรับนี้จะส่งผลต่อพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของล้อยางตัน แนวทางในการแก้ปัญหาในการวิจัยครั้งนี้ คือ การปรับวิธีการม้วนยางโดยใช้เครื่องม้วนแบบใหม่ ดังนี้ 1) การผลิตด้วยเครื่องม้วนยางแบบใหม่ 2) การผลิตด้วยเครื่องม้วนยางแบบใหม่แล้วอัดเย็นยางชั้นในด้วยแม่พิมพ์ก่อน เรียกว่า กระบวนการพรีฟอร์ม (pre-form) ก่อนการนำไปพันกับยางชั้นนอกแล้วนำไปอบให้สุกพร้อมกัน 3) การผลิตด้วยเครื่องม้วนยางแบบใหม่ แล้วอัดร้อนยางชั้นในที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20 นาที ด้วยแม่พิมพ์ก่อนเป็นการอบกึ่งสุก เรียกว่า กระบวนการพรีเคียว (pre-cure) ก่อนการนำไปพันกับยางชั้นนอกแล้วนำไปอบให้สุกพร้อมกัน จากการปรับปรุงล้อยางตันให้ยางชั้นในมีรูปร่างคงที่หลังการอบ มีความจำเป็นที่ต้องพิสูจน์ว่ายางตันที่ได้ปรับปรุงแล้วนั้น มีความสมดุลการหมุนดีขึ้นอย่างไร ในงานวิจัยนี้ได้มีการสร้างเครื่องทดสอบขึ้นมาใช้เพื่อศึกษาสมดุลแรงเหวี่ยงของล้อ

ยางตัน ในรูปการเคลื่อนที่ของแกนเพลาของเครื่องทดสอบสมดุลการหมุนในระนาบขณะหมุนรอบตัวเอง โดยประยุกต์ใช้วิธีขวางกั้นลำแสงซึ่งเป็นวิธีการวัดการเคลื่อนที่ของแกนเพลาเครื่องทดสอบแบบไม่สัมผัส

1.3 การตรวจเอกสาร

เอกสาร [4-6] กล่าวถึงสาเหตุหลักสองประการที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของล้อยางบรรจุลม ประการแรก คือ ความไม่สมดุลของล้อ (unbalanced wheel) เกิดจากล้อยางมีมวลกระจายไม่สม่ำเสมอ บางจุดมีมวลมาก บางจุดมีมวลน้อย เมื่อล้อกลิ้งไปจุดที่มีมวลมากจะมีแรงเหวี่ยง (Centrifugal Force) มากกว่าจุดที่มีมวลน้อย ทำให้เกิดความไม่สมดุลของแรงขณะล้อยางหมุนไป ประการที่สอง คือ การเปลี่ยนแปลงความแข็งตึงหรือค่าสปริง (stiffness) ระหว่างศูนย์กลางล้อยางถึงจุดสัมผัสขณะกลิ้ง ความไม่คงที่ของค่าความแข็งตึงเกิดจากความไม่คงที่ของขนาดหน้าตัดยางและสมบัติยืดหยุ่นของยางในแนวรัศมี หรืออาจเกิดจากความไม่กลมของล้อยาง (out of round tire) ได้แก่ เส้นรอบวงในหรือวงนอกของล้อยางไม่กลม หรือเส้นรอบวงทั้งสองวงกลมแต่ศูนย์กลางไม่ตรงกัน การนำล้อที่ขาดความกลมไปใช้งานเปรียบเหมือนการนำลูกเบี้ยวมาใช้งาน ระยะจุดศูนย์กลางของล้อกับจุดสัมผัสระหว่างล้อกับพื้นจะเปลี่ยนแปลงขณะกลิ้ง ส่งผลทำให้เกิดการกระดอนและสั่นสะเทือนขณะขับขี่ได้

Clijmans, L. *et al.* [7] ทำการศึกษาผลกระทบของความดันลม ความแข็งตึงของยางและมวลของยางว่ามีผลอย่างไรต่อความถี่ในการสั่นสะเทือนของรถตัดหญ้าขนาดใหญ่ที่ใช้ในการเกษตร

Shteinhauz , G.D. *et al.* [8] กล่าวถึงสาเหตุของการสั่นสะเทือนของยางมีสาเหตุมาจากความไม่สม่ำเสมอของถนน เช่น มีความขรุขระเป็นหลุมเป็นบ่อ มีเนิน เกิดจากการควบคุมรถของผู้ขับขี่ เช่น การบังคับพวงมาลัย ความเร็ว การหยุดรถ เกิดจากลักษณะของล้อยาง เช่น ความไม่สมดุลของล้อยาง ซึ่งเป็นผลของมวลที่ไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของดอกยาง (Tread Pattern) ความไม่สม่ำเสมอของล้อยางซึ่งเกิดจากการสึกหรอตามอายุการใช้งาน

Oldenettel, H. [9] รายงานว่าการสั่นสะเทือนของยาง มีผลกระทบโดยตรงต่อความสะดวกสบายในการขับขี่บนถนนไม่เรียบ และในขณะที่ยางกลิ้งไปบนถนนการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นของยางส่งผลให้เกิดเสียงรบกวน

Jame, C. [10] รายงานว่าในกระบวนการผลิตล้อยางมักเกิดความผิดพลาดของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือการได้รูปของล้อยาง ซึ่งเกิดจากความผิดพลาดของแม่พิมพ์ ความผิดพลาดในส่วนผสมของวัสดุยางที่ใช้ รวมถึงความผิดพลาดในกระบวนการการผลิตที่ไม่สามารถ

ควบคุมขนาดยางให้คงที่ได้ ความผิดพลาดของขนาดล้อยางส่งผลให้ล้อไม่กลมและศูนย์กลางของล้อเยื้องไปจากที่ควรจะเป็น เมื่อนำล้อลักษณะนี้ไปใช้ก็เปรียบเสมือนใช้ล้อที่เบี้ยวไม่มีความสมดุลทางพลศาสตร์ อีกทั้งแรงอัดที่เกิดขึ้นในล้อยางจะไม่คงที่ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการสั่นสะเทือนขณะขับขี่ได้

Takayuki , K. *et al*. [11] กล่าวถึงการสั่นสะเทือนของล้อรถยนต์ทำให้เกิดเสียงดังขณะขับขี่โดยสามารถแบ่งได้ 3 ส่วน ส่วนแรกคือการสั่นสะเทือนของยางทั้งหมดที่เกิดเนื่องจากความขรุขระของถนน ส่วนที่ 2 คือการสั่นสะเทือนที่พื้นหน้ายาง และส่วนที่ 3 ความถี่ resonance ของช่องอากาศในล้อยาง สาเหตุหลักของการสั่นสะเทือนของล้อยางเกิดขึ้นเนื่องจากผิวด้านข้างของยางเป็นส่วนใหญ่ และยังเกิดจากรูปแบบของผิวหน้ายางอีกด้วย

Erigin, T. *et al*. [12] เสนอเครื่องทดสอบล้อยางที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการวิจัยเพื่อวัดแรงกระทำกับยางขณะหมุน เครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นเป็นแบบ Drum type tire machine

เครื่องวัดค่าการสั่นสะเทือนโดยทั่วไปมีสองแบบคือ แบบแรกเป็นเครื่องวัดแบบสัมผัสกับวัตถุที่ต้องการวัดอย่างเช่นมาตรวัดความเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric-accelerometer) และแบบสเตรนเกจ (strain-gauges) [13] เป็นเครื่องวัดที่นิยมใช้กันมากแต่ในการใช้งานบางประเภทการวางเครื่องวัดแบบสัมผัสอาจจะทำได้ลำบากและน้ำหนักของเครื่องวัดแบบสัมผัสอาจส่งผลต่อคุณลักษณะบางประการของการสั่นสะเทือนได้ นอกจากนี้สภาวะแวดล้อมอย่างเช่น อุณหภูมิ และความชื้นยังส่งผลต่อค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้เช่นกัน

แบบที่สองเครื่องวัดแบบไม่สัมผัสกับวัตถุที่ต้องการวัดซึ่งได้นำวิธีการวัดด้วยแสงมาใช้โดย Bowie, G.E. [14] และ Damming, P. [15] ได้ใช้เทคนิคอินเตอร์เฟอโรเมตริก (interferometric Techique) ซึ่งเป็นการวัดค่าการสั่นสะเทือนมีความแม่นยำสูงแต่การติดตั้งอุปกรณ์วัดยุ่งยากและอุปกรณ์วัดมีราคาแพง

Menadier, R. *et al*. [16] และ Wen, *et al*. [17] ได้ใช้เทคนิคการตรวจวัดแสงสะท้อนมาจากพื้นผิวของวัตถุที่ทำการวัดซึ่งอุปกรณ์จะมีราคาถูกแต่ค่าความไวของเครื่องวัดไม่เป็นเชิงเส้นจึงทำให้การปรับเทียบมีความลำบาก การวัดค่าความสั่นสะเทือนจะมีค่าผิดพลาดได้เมื่อนำไปวัดค่าความสั่นสะเทือนของวัตถุที่มีผิวสกปรกและวัตถุที่มีผิวโค้ง

Chetpattananondh,K. *et al*. [18] ได้เสนออุปกรณ์การวัดการสั่นสะเทือนซึ่งเป็นการวัดการสั่นสะเทือนของระบบแบบไม่สัมผัสด้วยวิธีการขวางกั้นลำแสง โดยมีอุปกรณ์หลักได้แก่ แหล่งกำเนิดลำแสง และอุปกรณ์ตรวจรับแสง (Photo detector) อาศัยหลักการที่ว่าเมื่อแสงถูกขวางทำให้มีความเข้มของแสงที่ตกกระทบไปยังอุปกรณ์ตรวจรับแสงเปลี่ยนแปลงไปค่าสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

จากการสังเคราะห์เอกสาร [4-18] ที่สืบค้นระบุถึงสาเหตุของการสั่นสะเทือนในล้อยางลม ได้แก่ ประการแรกความไม่สมดุลทางพลศาสตร์ของมวลที่กระจายไม่คงที่ ล้อยางลมสามารถแก้ไขโดยการถ่วงมวลซึ่งสามารถแก้ไขได้ตามศูนย์บริการล้อยางลมทั่วไป ประการที่สองเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงในล้อยาง เนื่องจากความไม่กลมของยาง (ถ้าไม่กลมเล็กน้อยแก้ไขได้โดยทำ Match mounting แต่ถ้าไม่กลมมากจะต้องแก้ไขที่กระบวนการผลิต) สาเหตุดังกล่าวเกิดจากความผิดพลาดที่แม่พิมพ์ รวมถึงความผิดพลาดในกระบวนการผลิตที่ไม่สามารถควบคุมขนาดยางให้คงที่ได้ ในส่วนของงานวิจัยนี้จะศึกษาและทดสอบล้อยางตันสองชั้น ซึ่งมีความแตกต่างกับล้อยางลมในหลายด้าน เช่น น้ำหนักของล้อยาง ความเร็วรอบในการใช้งานของล้อยางเป็นต้น จากขีดจำกัดดังกล่าวจึงทำให้ไม่สามารถใช้เครื่องทดสอบที่ใช้สำหรับทดสอบล้อยางลม มาใช้ทดสอบล้อยางตันได้ ในงานวิจัยนี้จึงมีการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบสำหรับนำมาใช้กับล้อยางตัน โดยใช้หลักการของเครื่องทดสอบล้อยางลมมาเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับวัดตรวจสอบ ความกลม ความสมดุลของล้อยางตัน โดยมุ่งเน้นการสร้างที่ถูกกว่า ง่ายกว่า ได้ผลถูกต้องและยอมรับได้

1.4 วัตถุประสงค์

1.4.1 เพื่อศึกษาความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตันสองชั้นหลังการปรับยางชั้นในให้สม่ำเสมอ และสมมาตรมากขึ้นด้วยวิธีการต่างๆ

1.4.2 เพื่อศึกษาผลกระทบจากความกลมของล้อยางตันที่มีผลต่อความสมดุลการหมุน ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นในล้อยางตัน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการนำไปใช้พัฒนาการผลิตล้อยางตันให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น เช่น สามารถนำไปเลือกวิธีการผลิตในการควบคุมล้อยางชั้นในของล้อยางตันให้มีความสม่ำเสมอและคงรูป

1.5.2 ได้วิธีการในการทดสอบสมดุลการหมุนล้อยางตัน วิธีการทดสอบความกลมของล้อยางตัน เครื่องทดสอบสมดุลการหมุนของล้อยางตัน เครื่องทดสอบความกลมของล้อยางตัน

1.6 ขอบเขตการวิจัย

1.6.1 ล้อยางตันที่ใช้ในการศึกษาเป็นล้อยางตันสองชั้น ประกอบด้วยยางชั้นนอกและยางชั้นใน

1.6.2 ล้อยางตันที่นำมาศึกษาต้องมีดอกยางของล้อที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันมากที่สุด

1.6.3 วิธีการที่ใช้ผลิตล้อยางตันต้องเป็นวิธีการผลิตที่ทางโรงงานสามารถทำได้สะดวก และไม่ต้องลดหรือเพิ่มขั้นตอนมากขึ้น

1.6.4 ล้อยางตันที่ใช้ศึกษาคือขนาด 6:00-9 Rim 4

1.6.5 การศึกษานี้เกี่ยวข้องกับสมดุลของล้อเนื่องจากแรงเหวี่ยงไม่ได้ทดสอบที่ล้อยางรับแรงอัดเนื่องจากการบรรทุก