



การวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นและการเสียรูปของล้อยางรันแฟลท
สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Analysis of Stress Concentration and Deformation of Run-flat Tires for Passenger
Cars by Finite Element Method

ว่าที่ร้อยตรี ปุณินทร์ มินาบุรณ์
Acting Sub Lt. Poomin Minaboon


วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2564


ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นและการเสีรูปร่างของล้อย่างรันแพลท
สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
ชื่อ นามสกุล ว่าที่ร้อยตรี ภูมินทร์ มินาบุรณ์
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ประกอบชาติภักต์

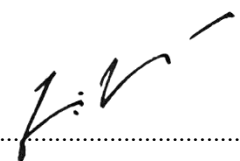
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนาจ)


..... กรรมการ
(ดร.ประกอบชาติภักต์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร


..... รักษาการแทนคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ)

วันที่ 20 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2565

ชื่อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นและการเสีรูบของล้อย่างรันแพลท สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
ชื่อ นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรี ภูมินทร์ มินาบุรณ์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
สาขาวิชา และคณะ	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความเข้มของความเค้น การกระจายของความเค้นและศึกษาการเสีรูบของวงล้อย่างรันแพลท สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ วิธีการทดลองและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้ในกระบวนการวิจัย ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบด้วยค่าความเครียดจากทั้งสองวิธีได้แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องของทั้งสองวิธี ความแตกต่างของค่าความเครียดอยู่ในช่วงร้อยละ 10-16 ซึ่งยืนยันขีดความสามารถในการวิเคราะห์โจทย์ปัญหานี้ได้ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กระบวนการและวิธีดำเนินการที่ได้รับการพิสูจน์ในขั้นตอนของ Pre-processing ด้วยโปรแกรม SolidWorks Simulation กับการทดลองได้ถูกนำไปใช้ในส่วนของการออกแบบวงล้อย่างรันแพลท พารามิเตอร์ที่มีผลต่อความเข้มของความเค้น การกระจายของความเค้นได้รับการวิเคราะห์เพื่อให้เข้าใจผลที่มีต่อการเสีรูบของวงล้อย่างรันแพลทแบบใหม่ กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการวิจัยโดยสแกนกะทะล้อด้วย FARO P06-05 และสร้างโมเดล 3 มิติที่มีลักษณะเป็น Solid modeling ด้วยโปรแกรม Geomagic for SolidWorks ออกแบบหน้าตัดของล้อย่างรันแพลทด้วยการใช้แนวขอบด้านในของกะทะล้อที่ผ่านกระบวนการทำวิศวกรรมย้อนรอย ล้อย่างรันแพลทได้รับการออกแบบให้มีจำนวน 3 ชิ้นส่วน เพื่อให้สามารถประกอบเข้าหรือถอดออกจากกะทะล้อได้อย่างง่าย วงล้อย่างรันแพลทได้รับการออกแบบสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เป็นรถยนต์ขนาดเล็กที่ใช้กันโดยทั่วไป ซึ่งกำหนดน้ำหนักของรถยนต์ไม่เกิน 1,800 กิโลกรัม กะทะล้อมีขนาด 17 นิ้ว การวิเคราะห์ตั้งอยู่บนสมมติฐานการกระจายน้ำหนักของรถยนต์เท่ากันทุกล้อ วัสดุที่ใช้ทำล้อย่างรันแพลทเป็นยางแข็งประกอบที่สามารถรับแรงกดเนื่องจากน้ำหนักของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้ จากการวิเคราะห์พบว่าความเค้นสูงสุดเกิดที่ล้อย่างรันแพลท ณ ตำแหน่งที่พื้นผิวล้อย่างรันแพลทสัมผัสกับถนน มีค่าระหว่าง 30-45 MPa ขึ้นอยู่กับตำแหน่งการสัมผัสกับถนน และกระจายความเค้นไปยังกะทะล้อ พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการกระจายความเค้นและการเสีรูบคือ วัสดุที่ใช้สร้างล้อย่างรันแพลท พื้นที่หน้าตัดและความกว้างของรันแพลท

คำสำคัญ : ล้อย่างรันแพลท, รถยนต์นั่งส่วนบุคคล, วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Thesis title	Analysis of Stress Concentration and Deformation of Run-flat Tires for Passenger Cars by Finite Element Method
Author	Acting Sub Lt. Poomin Minaboon
Degree	Master of Engineering (Mechanical Engineering)
Major program	Mechanical Engineering Faculty of Engineering
Academic Year	2021

ABSTRACT

The research aimed to study parameters affecting the stress intensity and stress distribution as well as the deformation of run-flat tires for passenger cars using the Finite element method. Both experimental methods and finite element methodologies were employed in the research process. The results were obtained by comparing the strain values from the two methods to demonstrate the consistency of both methods. The differences in their strain values were shown in the range of 10-16%, confirming the analyzing capability in this problem through the Finite element method. At the pre-processing step, both procedures and methods were proven with SolidWorks simulation program together with experimentation. These consequences were incorporated to assist the design of run-flat tires. Parameters affecting the stress intensity and stress distribution were evaluated to understand the effects on deformation of the new designed run-flat tires. The reverse engineering process was thus applied in the research process by scanning with FARO P06-05 and creating solid modeling 3D models with Geomagic program for SolidWorks. These could assist in designing the reverse-engineered tire pan. Three components were additionally designed to support the ease in assembling or removing run flat tires from the pan. Run flat tires were finally designed for passenger cars, typically the most common small cars. The weight of this car was limited at not more than 1,800 kg and the thickness of the wheel pan was 17 inches. The analysis information assumed that the vehicle's weight was distributed equally throughout all 4 wheels. The material used to make the run flat tires was a composite tire type that could withstand the pressure occurring from the weight of a passenger car. The results of the analysis demonstrated that the maximum stress on the run flat especially at the position where the run flat surface was in contact with the road was 30-45 MPa which depends on the location of contact with the road. Thus, it affected the stress distribution on the wheel pan. The parameters obtained from the study affecting the stress distribution and deformation were accounted to be such types of materials made for run flat tires, cross-sectional area, and width of run flat tires.

Keywords : Run-flat Tires, Passenger Cars, Finite Element Method

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเมตตากรุณาและอนุเคราะห์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.ประกอบ ชาติภักดิ์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณามอบความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ความช่วยเหลือในทุกด้านทั้งการแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดจนตรวจสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอานรรค ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ชี้แนะแนวทาง ให้ความรู้ ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ดร.ศุภชัย หลักคำ สำหรับคำแนะนำและการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานยางล้อ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา สมาชิกในครอบครัว และครูอาจารย์ทุกท่าน ผู้ที่ให้ความรู้ อนุเคราะห์ ส่งเสริม สนับสนุนด้านทุนทรัพย์และกำลังใจ ค่อยอบรมสั่งสอนจนประสบความสำเร็จในด้านการศึกษา

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ดี ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะมีประโยชน์สำหรับผู้อ่านไม่มากนักน้อยต่อไป

ว่าที่ร้อยตรี ภูมินทร์ มินาบุรณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
1.5 สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับยางรถยนต์และล้อรันแฟลทสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล	12
2.3 การทบทวนวรรณกรรม	16
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย	30
3.2 การวิเคราะห์ความเค้นและความเครียดของล้อรันแฟลทด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	33
3.3 การหาค่าความเครียดของล้อรันแฟลทด้วยการทดลอง	39
3.4 การออกแบบล้อรันแฟลทสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล	40
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลการดำเนินงานและทดสอบความเครียดของล้อรันแฟลทแบบเดิม	43
4.2 ผลการวิเคราะห์ความเครียดของล้อรันแฟลทแบบเดิมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	44
4.3 ผลการออกแบบล้อรันแฟลทแบบใหม่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล	49
4.4 ผลการทดลองและผลวิเคราะห์ความเครียดของล้อรันแฟลทด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	52

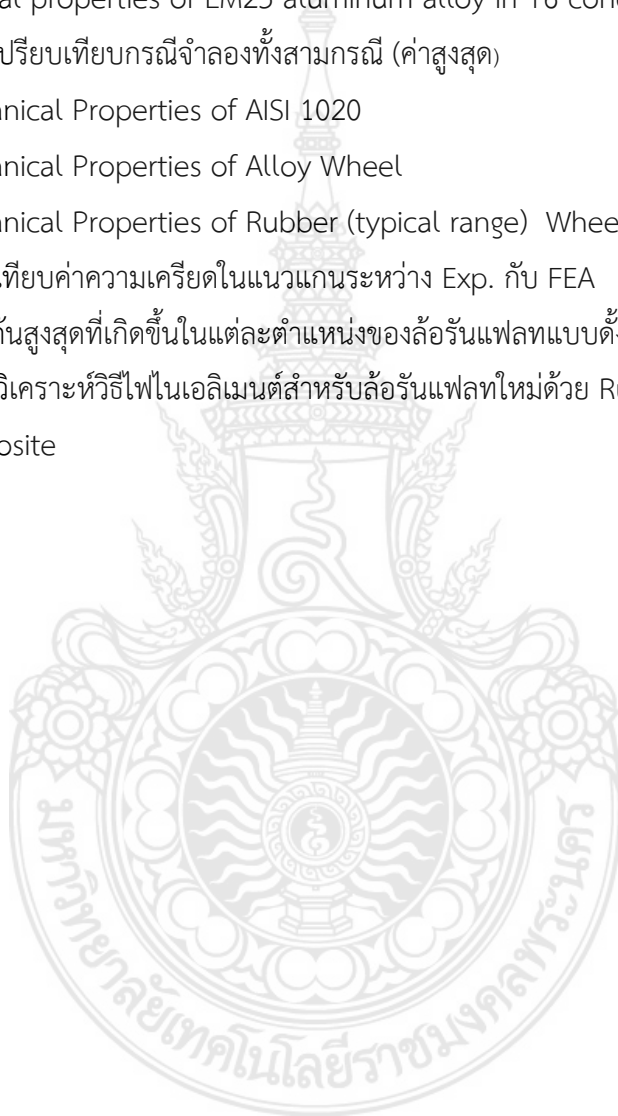
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	57
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	62



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง Normal Tyre และ Flat Tyre	20
2.2 Material properties of LM25 aluminum alloy in T6 condition	21
2.3 ตารางเปรียบเทียบกรณีจำลองทั้งสามกรณี (ค่าสูงสุด)	28
3.1 Mechanical Properties of AISI 1020	42
3.2 Mechanical Properties of Alloy Wheel	42
3.3 Mechanical Properties of Rubber (typical range) Wheel	42
4.1 เปรียบเทียบค่าความเครียดในแนวแกนระหว่าง Exp. กับ FEA	46
4.2 ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งของล้อรถแบบดั้งเดิม	46
4.3 ผลการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับล้อรถใหม่ด้วย Rubber Composite	53



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การเสียหายของยางรถยนต์ที่ผ่านการวิ่งโดยไม่มีลมยางและไม่มีล้อรันแฟลท	1
1.2 ล้อรันแฟลทสำหรับยานเกราะทางทหาร (a)-(b) โมเดลล้อรันแฟลทแบบต่างๆ (c) AKSA Run Flat ที่มีความต้านทานซีปนาวุธ (d) ที่ Run Flat ไม่มีสามารถต้านทานซีปนาวุธ	2
2.1 ลักษณะความเค้นใน 3 มิติ	6
2.2 เอลิเมนต์รูปทรงสี่หน้า	8
2.3 ส่วนประกอบของยาง	13
2.4 ล้อยางรันแฟลท ก) Self-Supporting Tire และ ข) Supporting Ring System	16
2.5 การจำลอง และทำสอบล้อยางรถยนต์โดยเอียง 13°	17
2.6 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในยางเมื่อทำการอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่ได้จากโปรแกรม Ansys Polyflow	18
2.7 a) แสดงชิ้นงานหลังจากการอัด (b) แสดงภาพตัด Section ของชิ้นงาน	18
2.8 ล้อยางลมที่สวมล้อ Run-flat สำหรับการทดสอบ	19
2.9 2D และ 3D ของขอบล้อและส่วนตัดขวางของ Sourav Das	21
2.10 Off road CRF	21
2.11 การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์	22
2.12 การวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นที่ล้อ Run-flat และอัตราของสปริง	23
2.13 ชนิดล้อ non-pneumatic tire แบบรังผึ้งที่ใช้ในการทดสอบที่ความกว้าง 100 mm	24
2.14 ล้อยางแบบ Run Flat assembly	24
2.15 ล้อยางที่เสริมโพนยางที่เป็นแผ่นซีสเสริมในล้อยางลม	24
2.16 ลักษณะล้อยางลม	25
2.17 การกระจายอุณหภูมิบนพื้นผิวภายนอกของยางทดสอบ	25
2.18 Run flat device and a method for fitting the same	26
2.19 Run flat device	26
2.20 การยึดชิ้นส่วนของล้อรันแฟลท	27
2.21 Run-flat support system for a pneumatic tired wheel and method for installing same	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 ความเสียหายของยางในการจำลองทั้ง 3 รูปแบบในช่วงเวลาเดียวกัน	28
2.23 ส่วนประกอบของ Run-flat support	29
3.1 ขั้นตอนกระบวนการศึกษาวิจัย	31
3.2 กรอบการวิจัย (Conceptual Framework)	33
3.3 กระบวนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	34
3.4 โมเดล 3 มิติ ของล้อรันแฟลท และกระทะล้อของรถยนต์บรรทุกปกติขนาดเล็กติด เกราะ	34
3.5 การประกอบล้อรันแฟลทเข้ากับกระทะล้อ	34
3.6 ตัวอย่างการเกยกันของชิ้นงานระหว่างกระทะล้อและล้อรันแฟลท	35
3.7 โมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์	36
3.8 การกำหนดหน้าสัมผัส (Contact) ระหว่างพื้นผิวของชิ้นส่วนต่างๆ	36
3.9 ตัวอย่างการกำหนดชนิดวัสดุ SUS304	37
3.10 เอลิเมนต์และการกำหนดค่าเพื่อแบ่งเอลิเมนต์	37
3.11 การค่าตัวเลือกการวิเคราะห์เป็นแบบ Direct sparse solver	38
3.12 การแสดงผลลัพธ์ (a) หน้าต่างการตั้งค่าความเครียดในทิศทางต่างๆ (b) การใช้ prove ในการแสดงผลค่าความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ และ (c) คำจำกัดความของ Stress components	38
3.13 ตำแหน่งติดตั้ง Strain gage ลงบนกระทะล้อและล้อรันแฟลท	40
3.14 โครงสร้างระบบทดสอบหาค่าความเครียดด้วยเครื่องทดสอบการห้ามล้อ	40
3.15 เครื่องสแกนเลเซอร์ FARO Measurement FARO P06-05 3 มิติ	41
3.16 หน้าตัดของล้ออัลลอยเป็นตัวกำหนดในการออกแบบ	41
4.1 การประกอบล้อรันแฟลทและติดตั้งสเตรนเกจที่ล้ออัลลอยกับล้อรันแฟลท	43
4.2 การติดตั้ง Strain gage เข้ากับกระทะล้อและล้อรันแฟลท	44
4.3 การติดตั้งกระทะล้อและล้อรันแฟลทเข้ากับอุปกรณ์การทดสอบ	44
4.4 โมเดลสามมิติและตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความเค้นด้วยระเบียบวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์	45
4.5 ตำแหน่งที่วัดค่าความเครียด	45
4.6 ความเครียดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณล้อยันแพลทสำหรับกรณีที่ 1 ด้วยภาระ 10,000 N	47
4.8 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณล้อยันแพลทสำหรับกรณีที่ 2 ด้วยภาระ 10,000 N	47
4.9 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณล้อยันแพลทสำหรับกรณีที่ 3 ด้วยภาระ 10,000 N	48
4.10 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณล้อยันแพลทสำหรับกรณีที่ 4 ด้วยภาระ 10,000 N	48
4.11 สแกนล้อยอัลลอยด้วยเครื่อง FARO P06-0513 และโมเดลกระทะล้อ 3 มิติ ที่ได้ จากเครื่องสแกนเลเซอร์ FARO	49
4.12 การกำหนดตัวแปรควบคุมหน้าตัดของล้อยันแพลทแบบใหม่	50
4.13 ภาควัดแสดงโครงสร้างภายในและชุดอุปกรณ์การล้อค	51
4.14 ส่วนประกอบของล้อยันแพลทและการประกอบ	51
4.15 การเสียรูปในโหมด URES (Resultant displacement) ที่สเกลการเสียรูป 10x ด้วยแรงกด 4,400 N	52
4.16 การกระจายความเค้นบนหน้าตัดล้อยันแพลทที่แรงกด 4,400 N	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายบนท้องถนน ซึ่งปัญหาที่พบจากการขับขี้อยนต์นั่งส่วนบุคคลที่สามารถทำให้เกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้ง สาเหตุส่วนใหญ่อันเนื่องมาจากการขับขี้อยนต์ผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ตะปูหรือใบ หรือสาเหตุอื่นๆที่ทำให้ยางรถยนต์นั้นเกิดรอยร้าว จนไม่สามารถขับเคลื่อนรถยนต์ต่อไปอีกได้ ถ้าขับขี้อยนต์ต่อไปเรื่อยๆอาจมีผลทำให้กระทะล้อและยางเกิดความเสียหายมากขึ้น อันเป็นเหตุให้สูญเสียค่าซ่อมแซมมากขึ้นอีกเช่นกัน ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งสถานการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นได้บ่อยในพื้นที่ต่างๆ ทั่วไป ล้อรถยนต์นิรภัย (Run flat) เป็นอีกหนึ่งนวัตกรรมทางเลือกใหม่ของเทคโนโลยียาง ซึ่งเป็นที่ยอมรับ และติดตั้งในรถยนต์หลากหลายยี่ห้อ ด้วยคุณลักษณะที่น่าสนใจ และประสิทธิภาพทางเทคโนโลยี จะช่วยให้ผู้ขับขี้อยนต์สามารถขับเคลื่อนรถยนต์ต่อไปได้อย่างปลอดภัย จะไม่มีปัญหาเรื่องการทรงตัวของรถยนต์เมื่อไม่มีลมยาง เทคโนโลยีของยางที่ใช้ในรถยนต์มีการพัฒนาอยู่เรื่อยๆ นอกจากการเพิ่มประสิทธิภาพ และความแข็งแรงแล้ว ยังเน้นเรื่องด้านความปลอดภัยสำหรับการใช้งานอีกด้วย จึงเป็นจุดแรกเริ่มของล้อยาง Run-flat ช่วงแรกๆเป็นยางตัน มีความคงทนแต่ยังขาดความนุ่มนวล และมีน้ำหนักที่ค่อนข้างมาก หลังจากนั้นเริ่มพัฒนาเป็นยางแบบกลวงโดยภายในของตัวยางจะบางซ้อนกันอยู่ เมื่อเติมลมเข้าไปทำให้น้ำหนักนั้นเบา และแข็งแรง ผลิตง่าย และต้นทุนต่ำ แต่ถ้าเมื่อถูกของแหลมแทงทะลุจากชั้นนอกเข้าไปถึงยางชั้นในเมื่อใด ลมก็จะรั่วออกอย่างรวดเร็ว หรือทำให้เกิดการระเบิดของยางได้ ทำให้อยนต์นั้นเสียการทรงตัว



รูปที่ 1.1 ความเสียหายของล้อยางรถยนต์ที่ผ่านการวิ่งโดยไม่มีลมยาง และไม่มีล้อรันแฟลท [1]

บริษัทชั้นนำแต่ละแห่งที่เป็นผู้ผลิตยางล้อ โดยมีการใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน สามารถแยกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1) Self-support หรือเทคโนโลยี Pax System มีการพัฒนาโดย บริษัท Michelin (ผู้ผลิตยางล้อของฝรั่งเศส) และเป็นต้นกำเนิดของยาง Run Flat Tires ซึ่งได้ออกแบบยางให้ใช้ร่วมกับกระทะล้อ

เท่านั้นโดยภายในของกระทะล้อนั้นจะมีวงแหวนที่เป็นพลาสติกที่มีความทนทานและแข็งแรง ซึ่งยางที่มีลักษณะแบบนี้จะถูกพัฒนาให้สามารถขับเคลื่อนต่อไปได้ประมาณ 80-200 กิโลเมตร ในส่วนข้อจำกัดของเทคโนโลยีนี้ คือมีน้ำหนักที่เพิ่มอยู่ในตัวของพลาสติกที่มีลักษณะเป็นวงแหวน ทำให้ภายในช่วงล่างของรถยนต์มีภาระมากขึ้น ในการประกอบเปลี่ยนชิ้นส่วนของล้อที่มีความยากลำบาก และยางล้อนี้อาจมีราคาที่สูง [2]

2) Self-sealing Standard เป็นเทคโนโลยีที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่เรียกว่า Reinforced Sidewall ซึ่งช่วยเสริมความแข็งแรงทนทานของแก้มยาง มีความยืดหยุ่นในตัวของยางสูง เมื่อมีสิ่งกีดขวางเข้ามาในตัวยาง วัสดุสิ่งนี้จะรับแรงเพื่อไม่ให้สิ่งกีดขวางที่ทำให้ยางเกิดรอยรั่วมีความเสียหาย และรถยนต์สามารถที่จะขับเคลื่อนต่อไปได้ [2]

3) Self Seal Leakage Tyre คือ “ยางที่มีความสามารถซ่อมแซมในตัวยางเองได้” เป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้สารเคลือบที่ของดอกยาง หรือพอลิเมอร์ ซึ่งสารเหล่านี้มีการป้องกันสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ตะปู หรือสิ่งอื่น ๆ ที่ทำให้ยางเกิดรอยรั่ว และสามารถต่อไปได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนยางในสถานการณ์ฉุกเฉิน ทำให้ผู้ที่ขับขี่รถยนต์มีความรู้สึกปลอดภัยยิ่งขึ้น อีกทั้งไม่ต้องกังวลเรื่องอะไหล่ยางหรืออุปกรณ์อื่นๆ สำหรับการเปลี่ยนล้อยาง [2]



รูปที่ 1.2 ล้อรันแฟลทสำหรับยานเกราะทางทหาร (a)-(b) โมเดลล้อรันแฟลทแบบต่างๆ (c) AKSA Run Flat ที่มีความต้านทานซีปนาวุธ (d) ที่ RunFlat ไม่มีสามารถต้านทานซีปนาวุธ [3]

สำหรับรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกราะของกรมการขนส่งทหารบก กองทัพบก (ทบ.) ร่วมกับภาคเอกชน สามารถได้รับการพัฒนาและออกแบบใหม่เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ปลอดภัย ไม่หลวมคลอน ไม่กินเนื้อยางด้านใน ไม่เสียรูปเมื่อได้รับแรงกระแทก สามารถถอดประกอบได้ง่ายและมีความเหมาะสมกับการใช้งาน ให้มีลักษณะดังตัวอย่างรูปที่ 1.2 การออกแบบและการวิเคราะห์ต้องพิจารณาตัวแปรหลายตัว เช่น 1) ความกว้างที่เหมาะสมของล้อ Run flat ทั้งในส่วนที่ติดกับกระทะล้อ

และส่วนที่จะต้องสัมผัสกับผิวยางด้านในเมื่อยางแบน 2) รัศมีภายในและภายนอก ซึ่งรัศมีภายในเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับขนาดกระทะล้อ และรัศมีภายนอกจะเป็นตัวแปรที่กำหนดค่าความสูงของล้อ Run flat 3) การออกแบบรูปทรงเพื่อป้องกันล้อ Run flat กินผิวยางภายใน และรูปทรงของวงล้อรันแฟลทในส่วนที่ต้องสัมผัสกับกระทะล้อ ซึ่งกระทะล้อไม่เรียบมีพื้นที่ที่เอียง ยากต่อการจับยึด 4) การออกแบบชุดอุปกรณ์การล๊อคให้สามารถรัศล้อ Run flat เข้ากับกระทะล้อได้อย่างแน่นหนา ด้วยน้ำหนักรถโดยรวม 2,500 kg 5) วัสดุที่ใช้ในการสร้างล้อ Run flat 6) ความดันลมยาง เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงได้แนวความคิดที่จะสร้างนวัตกรรมรูปแบบล้อรันแฟลทสำหรับรถยนต์บรรทุกปกติขนาดเล็กติดเการะ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสิ่งอุปกรณ์ ทางทหารให้กับประเทศไทย ส่งเสริมและแก้ปัญหาให้กับภาคอุตสาหกรรม ส่งเสริมภาคอุตสาหกรรมให้สามารถผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ นับเป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีที่เป็นของคนไทย

จากข้อมูลข้างต้น ล้อยางนิรภัยดังกล่าว ทางด้านผู้วิจัยมีความสนใจยางล้อนิรภัยประเภท Self-support ซึ่งผู้วิจัยมีแนวคิดออกแบบวิเคราะห์ล้อยาง Run-Flat ที่สามารถใช้กับล้อรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทั่วไป ที่มีราคาถูก และมีประสิทธิภาพสูงในการทำงาน สามารถนำมาใช้ในการขับเคลื่อนได้ทั่วไปบนท้องถนนได้อย่างดีเยี่ยม วัสดุที่เราสนใจมาสร้าง Self-support เป็นยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ผสมกันที่มีคุณสมบัติทางด้านทนความร้อน ความเสียดสี ทนทาน มีความยืดหยุ่นได้ ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความเข้มของความเค้น และการกระจายของความเค้น สำหรับวงล้อยางรันแฟลท
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นและการเสียรูปของล้อยางรันแฟลท สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ใช้ล้อกระทะเหล็ก ระยะเวลาขอบกระทะมีขนาด 17 นิ้ว สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทั่วไป
- 1.3.2 โครงการวิจัยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ร่วมกับการทดลอง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากทั้ง 2 วิธี เพื่อเป็นการยืนยันขีดความสามารถในการวิเคราะห์ของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์
- 1.3.3 รูปแบบของวงล้อรันแฟลทอย่างน้อย 1 รูปแบบ ดังนั้นผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงมีอย่างน้อย 1 รูปแบบ
- 1.3.4 วงล้อรันแฟลททำมาจากยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ผสมกัน

- 1.3.5 ออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของแม่พิมพ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks และ SolidWorks Simulation หรือโปรแกรมทางการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์อื่นๆ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 ทราบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการกระจายของความเค้นและความเครียดในวงล้อรันแพลท
- 1.4.2 ได้ข้อมูลเชิงวิชาการหรือเล่มวิจัยฉบับสมบูรณ์ที่อธิบายกระบวนการวิจัย การวิเคราะห์ การทดสอบความสามารถในการรองรับน้ำหนักของวงล้อรันแพลท การเกิดความเค้น และความเครียดรูปแบบการเสียรูปของวงล้อที่สามารถทำให้วงล้อรันแพลทสามารถนำไปขึ้นทะเบียนนวัตกรรมได้
- 1.4.3 ได้ผลงานวิจัยที่สามารถนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ลงในวารสารและในงานประชุมสัมมนาทางวิชาการ
- 1.4.4 ได้นวัตกรรมที่สามารถนำไปจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญาเป็นอนุสิทธิบัตรได้
- 1.4.5 ส่งเสริมความเข้มแข็งภาคอุตสาหกรรม

1.5 สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

- 1.5.1 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์/โทรสาร: 0 2836 3000 ต่อ 4138
- 1.5.2 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
399 ถนนสามเสน แขวงจระเข้ยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300
โทรศัพท์/โทรสาร: 0 2665 3777 ต่อ 6099
- 1.5.3 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
744 ถ.สุรนารายณ์ อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 0 4423 3000 โทรสาร: 0 4423 3052

บทที่ 2

ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [4]-[6]

ทฤษฎีวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) ในหัวข้อ 2.1 นี้อ้างอิงเนื้อหาทั้งหมดจากตำรา “วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เบื้องต้น เรียบเรียงโดย รศ.ดร.ธงชัย พองสมุทร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่” ที่เรียบเรียงไว้ดังต่อไปนี้ว่า เป็นวิธีทางตัวเลข เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรม ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ทางโครงสร้าง (Structural) หรืออื่นๆ โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นจะสามารถประมาณค่าผลเฉลยโดยการแก้สมการเชิงพีชคณิตแทนการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ โดยในการแก้ปัญหาดังกล่าวโครงสร้างหรือชิ้นงานจะถูกแบ่งออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ (Element) ในจำนวนที่จำกัด (Finite) และผลเฉลยที่ได้จะเป็นคำตอบที่จุดต่อระหว่างเอลิเมนต์ (โหนด: Node) โดยที่แต่ละเอลิเมนต์จะมีผลเฉลยที่สามารถหาได้ง่าย และเมื่อนำมารวมกันจะสามารถหาค่าผลเฉลยของทั้งโครงสร้างได้ โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นจะสามารถให้ผลเฉลยของค่าการเสียรูปและแรงที่กระทำ ณ จุดหรือโหนดๆ และค่าความเค้นและความเครียดที่แต่ละเอลิเมนต์ได้ ความเครียดกับการเสียรูปและความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นสิ่งจำเป็นในการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ตัวอย่างปัญหาใน 1 มิติ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเสียรูปกับความเครียดดังนี้

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} \quad (2.1)$$

ซึ่งเป็นสมการสำหรับปัญหาที่มีการเสียรูปน้อย (Small Displacement) และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะมีค่าเท่ากับ

$$\sigma_x = E\varepsilon_x \quad (2.2)$$

โดยที่ σ_x คือค่าความเค้นในแนวแกน x และ E คือ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุ

$$[D] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ & & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ & & & & & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

เมื่อ $[D]$ คือ เมทริกซ์คุณสมบัติของวัสดุ

การหาสทิงเฟสเมทริกซ์สำหรับเอลิเมนต์แบบสปริง เมื่อสปริงที่มีค่านิจของสปริง (Stiffness) เท่ากับ k รับแรงดึงเท่ากับ F สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อชิ้นงานกับระยะสปริงยืดตัวได้ตามสมการที่ (2.4)

$$F=kx \quad (2.4)$$

เมื่อนำเอาหลักการของสปริงตามสมการที่ (2.4) มาประยุกต์ใช้กับหลักการไฟไนต์เอลิเมนต์จะสามารถเขียนสมการที่ (2.5) ใหม่ในลักษณะของเมทริกซ์ได้เป็น

$$f' = k'd' \quad (2.5)$$

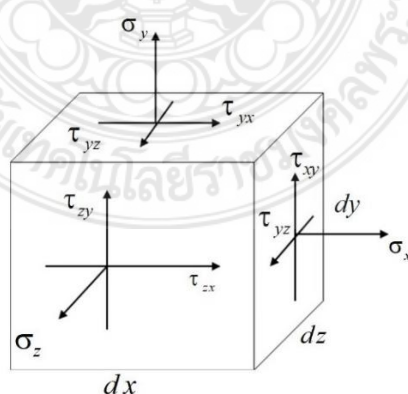
โดยที่ f' คือ เมทริกซ์ของแรงที่กระทำกับสปริง

k' คือ สทิงเฟสเมทริกซ์ของสปริง และ

d' คือ เมทริกซ์ของระยะยืด/หดตัวของสปริง

ในการวิเคราะห์วิเคราะห์เอลิเมนต์ในระบบ 3 มิตินั้น เอลิเมนต์ประเภทนี้จะให้คำตอบมากกว่าเอลิเมนต์แบบ 2 มิติ หรือแบบแกนสมมาตร เอลิเมนต์แบบทรงสี่หน้า (Tetrahedron) เป็นเอลิเมนต์เบื้องต้นสำหรับ 3 มิติ ในส่วนของนี้จะยกตัวอย่างจากหนังสือไฟไนต์เอลิเมนต์เบื้องต้น ผู้แต่ง รศ.ดร. ธงชัย ฟองสมุทร หน้า 175-180

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดใน 3 มิติ ตามรูปที่ 2.1 คือลักษณะของความเค้นที่เกิดขึ้นในเอลิเมนต์แบบ 3 มิติ และเมื่อพิจารณาตามหลักการสมดุล (Equilibrium) จะได้ว่า



รูปที่ 2.1 ลักษณะความเค้นใน 3 มิติ

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}, \tau_{zx} = \tau_{xz} \quad (2.6)$$

ดังนั้นจะมีความเค้นเฉือนแค่ 3 ตัวเท่ากันที่ต้องพิจารณารวมกับความเค้นตั้งฉากจะได้เป็น

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} \quad (2.7)$$

และความเค้นที่เกิดขึ้นในเอลิเมนต์จะมีดังนี้

$$\{\epsilon\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} \quad (2.8)$$

$$\text{โดยที่ } \epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \epsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = \gamma_{yx}, \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} = \gamma_{zy}, \quad \gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} = \gamma_{xz} \quad (2.9)$$

และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเท่ากับ

$$\{\sigma\} = [D]\{\epsilon\} \quad (2.10)$$

โดยที่

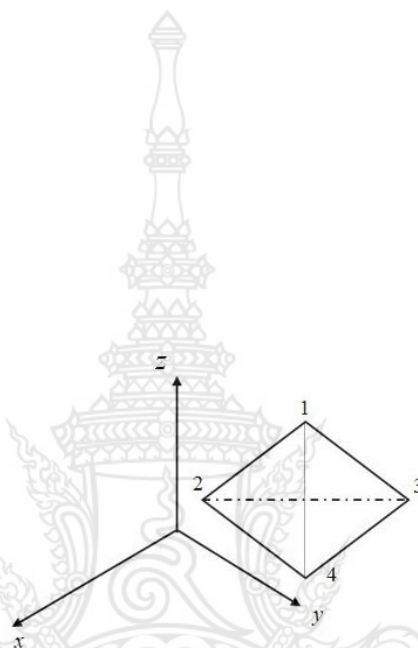
$$[D] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ & & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ & & & & & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

การหาสทิงเฟนสมเมทริกซ์สำหรับเอลิเมนต์แบบทรงสี่หน้า

ขั้นตอนที่ 1 เลือกประเภทของเอลิเมนต์

พิจารณาเอลิเมนต์ 3 มิติแบบสี่หน้า (Tetrahedron) ดังรูปที่ 2.2 โดยที่ 1 เอลิเมนต์ประกอบด้วย 4 โหนด แต่ละโหนดมีระดับความเสรี (Degree of Freedom) เท่ากับ 3 และเมทริกซ์สำหรับการเสียรูปเท่ากับ

$$d = \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ \vdots \\ u_4 \\ v_4 \\ w_4 \end{Bmatrix} \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.2 เอลิเมนต์รูปทรงสี่หน้า

ขั้นตอนที่ 2 เลือกฟังก์ชันของการเสียรูป

กำหนดให้การเสียรูปทั้งหมดยังอยู่ในช่วงของการยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear Elastic) อยู่ดังนั้นจะสามารถเขียนฟังก์ชันของการเสียรูป (u , v และ w) ในแต่ละแนวได้ดังนี้

$$u(x,y,z)=a_1+a_2x+a_3y+a_4z$$

$$v(x,y,z)=a_5+a_6x+a_7y+a_8z$$

(2.13)

$$w(x,y,z)=a_9+a_{10}x+a_{11}y+a_{12}z$$

จากนั้นกำหนดให้ ψ' เป็นฟังก์ชันของการเสียรูปของ u , v และ w โดยที่ในการวิเคราะห์นั้น สามารถทำได้เหมือนกันกับกรณีของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม จะได้ว่า

$$u(x, y, z) = \frac{1}{6v} \left\{ \begin{array}{l} (\alpha_1 + \beta_1 x + \gamma_1 y + \delta_1 z)u_1 + (\alpha_2 + \beta_2 x + \gamma_2 y + \delta_2 z)u_2 \\ + (\alpha_3 + \beta_3 x + \gamma_3 y + \delta_3 z)u_3 + (\alpha_4 + \beta_4 x + \gamma_4 y + \delta_4 z)u_4 \end{array} \right\} \quad (2.14)$$

โดยที่

$$\mathbf{b}_v = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad (2.15)$$

$$\alpha_1 = \begin{vmatrix} x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \beta_1 = \begin{vmatrix} 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_3 & z_3 \\ 1 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \gamma_1 = \begin{vmatrix} 1 & x_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \delta_1 = \begin{vmatrix} 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \\ 1 & x_4 & y_4 \end{vmatrix} \quad (2.16)$$

และ

$$\alpha_2 = - \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \beta_2 = \begin{vmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_3 & z_3 \\ 1 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \gamma_2 = - \begin{vmatrix} 1 & x_1 & z_1 \\ 1 & x_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_3 & y_3 \\ 1 & x_4 & y_4 \end{vmatrix} \quad (2.17)$$

และ

$$\alpha_3 = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \beta_3 = - \begin{vmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \gamma_3 = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & z_2 \\ 1 & x_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad \delta_3 = - \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_4 & y_4 \end{vmatrix} \quad (2.18)$$

และ

$$\alpha_4 = - \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{vmatrix} \quad \beta_4 = \begin{vmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_3 & z_3 \end{vmatrix} \quad \gamma_4 = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & z_3 \end{vmatrix} \quad \delta_4 = - \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix} \quad (2.19)$$

สามารถที่จะเขียนรูปของเมทริกซ์สำหรับฟังก์ชันการเสียดรูปเท่ากับ

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{v} \\ \mathbf{w} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & N_4 & 0 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ w_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ w_3 \\ u_4 \\ v_4 \\ w_4 \end{Bmatrix} \quad (2.20)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{(\alpha_1 + \beta_1 x + \gamma_1 y + \delta_1 z)}{6V} & N_2 &= \frac{(\alpha_2 + \beta_2 x + \gamma_2 y + \delta_2 z)}{6V} \\ N_3 &= \frac{(\alpha_3 + \beta_3 x + \gamma_3 y + \delta_3 z)}{6V} & N_4 &= \frac{(\alpha_4 + \beta_4 x + \gamma_4 y + \delta_4 z)}{6V} \end{aligned} \quad (2.21)$$

ขั้นตอนที่ 3 ระบุความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการเสียรูป และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดกับการเสียรูป ได้ว่า

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \end{Bmatrix} \quad (2.22)$$

หรือ

$$\{\varepsilon\} = [B]\{d\} \quad (2.23)$$

โดยที่

$$[B] = [B_1 \quad B_2 \quad B_3 \quad B_4] \quad (2.24)$$

และ

$$B_1 = \begin{bmatrix} N_{1,x} & 0 & 0 \\ 0 & N_{1,y} & 0 \\ 0 & 0 & N_{1,z} \\ N_{1,y} & N_{1,x} & 0 \\ 0 & N_{1,z} & N_{1,y} \\ N_{1,z} & 0 & N_{1,x} \end{bmatrix} = \frac{1}{6V} \begin{bmatrix} \beta_1 & 0 & 0 \\ 0 & \gamma_1 & 0 \\ 0 & 0 & \delta_1 \\ \gamma_1 & \beta_1 & 0 \\ 0 & \delta_1 & \gamma_1 \\ \delta_1 & 0 & \beta_1 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

และสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

$$\{\sigma\} = [D]\{\epsilon\} \quad (2.26)$$

และ

$$\{\sigma\} = [D][B]\{d\} \quad (2.27)$$

ขั้นตอนที่ 4 หาสมการสทริกซ์และสมการสทิฟเนส
เมื่อพิจารณาในรูปของสมการ $\underline{F} = \underline{K}\underline{d}$ จะได้ว่า

$$[K] = \iiint_V [B]^T [D][B] dV \quad (2.28)$$

ในกรณีที่เป็นเอลิเมนต์แบบทรงสี่หน้า (Tetrahedron) จะมีค่าคงที่ ดังนี้

$$[K] = V [B]^T [D][B] \quad (2.29)$$

ผลจากน้ำหนัก (Body Force)

$$\{f_b\} = \iiint_V [N]^T \{X\} dV \quad (2.30)$$

โดยที่

$$\{X\} = \begin{Bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{Bmatrix} \quad (2.31)$$

ผลจากแรงที่ผิว (Surface Force)

จาก

$$\{f_s\} = \iint_s [N]^T \{T\} dS \quad (2.32)$$

โดยที่

$$\{T\} = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{Bmatrix} \quad (2.33)$$

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับวัสดุ ยางรถยนต์ และล้อรับแพลตฟอร์มสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

2.2.1 ยางธรรมชาติ [4]

ยางธรรมชาติเป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น มีสมบัติเชิงกลที่มีความยืดหยุ่น (elastic) สูง มีความเหนียว (toughness) มีความต้านทานต่อการขีดถู (abrasion resistance) สูง และสามารถยึดติดกับวัสดุอื่นเช่น โลหะและสิ่งทอได้ดีจึงสามารถนำไปใช้งานทางวิศวกรรมได้หลากหลายมากขึ้น อุตสาหกรรมยางประกอบด้วยอุตสาหกรรม 2 ส่วน คือ อุตสาหกรรมต้นน้ำ ซึ่งผลิตวัตถุดิบ และอุตสาหกรรมปลายน้ำ ซึ่งผลิตผลิตภัณฑ์

ยางแปรรูปขึ้นต้น ได้มาจากวัตถุดิบ คือ น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำนม ต้องเติมสารรักษาสภาพน้ำยางไม่ให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนก่อนเวลาที่ต้องการ ซึ่งการนำน้ำยางสดมาแปรรูปเป็นยางแปรรูปขึ้นต้นสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ยางแท่ง และของเหลว ดังนี้

1. ยางแท่ง แบ่งตามกรรมวิธีการผลิตเป็น 3 ประเภท คือ

1.1 ยางแบบธรรมดา ผลิตโดยวิธีดั้งเดิม ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ

1.2 ยางแบบระบุคุณภาพมาตรฐาน ผลิตโดยมีเงื่อนไขการระบุคุณภาพมาตรฐานตามสากล ได้แก่ยางแท่งมาตรฐาน

1.3 ยางแบบอื่นๆ ที่มีวิธีการผลิตเฉพาะตัว เพื่อให้ได้ผลผลิตเหมาะสมกับงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ หรือเพื่อวัตถุประสงค์จะปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติได้แก่ยางที่มีความหนืดคงที่ ยางเทอร์โมพลาสติก ยางอีพอกซีไดซ์ ยางผง ยางเหลว เป็นต้น

2. ของเหลว ได้แก่ น้ำยางข้น ซึ่งมี 2 ประเภท คือ

2.1 น้ำยางข้นธรรมดาที่ไม่ผ่านการดัดแปรด้วยสารเคมี หรือวิธีการใดๆ เพื่อให้โมเลกุลของยางเปลี่ยนแปลง

2.2 น้ำยางข้นที่ผ่านกระบวนการดัดแปรด้วยสารเคมี หรือการฉายรังสีให้โมเลกุลของยางเปลี่ยนแปลง เรียกว่า “น้ำยางคงรูป” หรือ “น้ำยางพรีวัลคาไนซ์”

ผลิตภัณฑ์ยาง อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางจัดเป็นอุตสาหกรรมปลายน้ำ แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ได้แก่

1. กลุ่มยางล้อยานยนต์ ประกอบด้วยยางล้อรถยนต์ รถบรรทุก รถใช้ในอุตสาหกรรมและการเกษตร รถจักรยานยนต์และรถจักรยาน และยางล้อเครื่องบิน

2. กลุ่มผลิตภัณฑ์ยางใช้ในงานวิศวกรรมหรือใช้ในอุตสาหกรรม ประกอบด้วยชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนยางอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ยางใช้ในงานก่อสร้าง สายพาน ท่อยาง และลูกกอล์ฟยาง

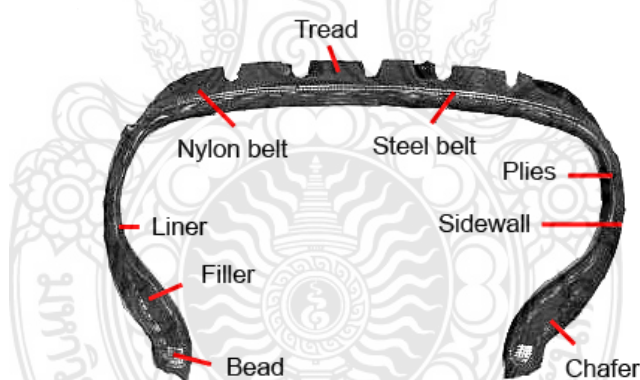
3. กลุ่มผลิตภัณฑ์ยางจากน้ำยางข้น ประกอบด้วยถุงมือ ถุงยางอนามัย เส้นด้ายยางยืด/เส้นด้ายยางยืด ลูกโป่งและอุปกรณ์ที่ใช้ในทางการแพทย์เช่น สายสวนปัสสาวะ สายน้ำเกลือ

4. กลุ่มผลิตภัณฑ์ยางอื่นๆ ประกอบด้วยรองเท้ายาง พื้นรองเท้า ยางรัดของ ผลิตภัณฑ์กีฬา และของเล่น เป็นต้น

ยางรถยนต์เป็นส่วนประกอบรถยนต์รูปวงแหวนที่หุ้มขอบล้อเพื่อปกป้องและช่วยให้สมรรถนะของรถดีขึ้น ยางส่วนใหญ่ เช่น ยางสำหรับรถยนต์และจักรยาน ให้การยึดเกาะระหว่างรถกับถนน ในขณะที่ให้เบาะที่ยืดหยุ่นซึ่งดูดซับแรงกระแทก [7]

วัสดุของยางลมที่ทันสมัยได้แก่ ยางสังเคราะห์ ยางธรรมชาติ ฝ้ายและลวด พร้อมด้วยคาร์บอนแบล็กและสารประกอบทางเคมีอื่นๆ ประกอบด้วยดอกยางและลำตัว ดอกยางให้การยึดเกาะในขณะที่ตัวรถรองรับปริมาณอากาศอัด ก่อนการพัฒนา ยางรุ่นแรกเป็นเพียงแถบโลหะที่สวมรอบล้อไม้เพื่อป้องกันการสึกหรอ ยางในสมัยก่อนเป็นแบบแข็ง (ไม่ใช่แบบลม) ในปัจจุบัน ยางส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างแบบเติมลมได้ ยางลมใช้กับยานพาหนะหลายประเภท รวมทั้งรถยนต์ จักรยาน รถจักรยานยนต์ รถโดยสาร รถบรรทุก เครื่องมือหนัก และเครื่องบิน ยางล้อโลหะยังคงใช้กับหัวรถจักรและรางรถไฟ และยางตัน (หรือโพลีเมอร์อื่นๆ) ยังคงใช้ในการใช้งานที่ไม่ใช่ยานยนต์ เช่น ล้อเลื่อน เกวียน เครื่องตัดหญ้า เป็นต้น [8-10]

ส่วนประกอบของยางประกอบด้วยหลายส่วน เช่น ดอกยาง ขอบยาง แก้มยาง ไทล้อยาง และชั้นยาง มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของยาง [11]

1. ดอกยาง เป็นส่วนหนึ่งของยางที่สัมผัสกับพื้นผิวถนน ส่วนที่สัมผัสกับถนนในช่วงเวลาที่กำหนดคือส่วนติดต่อดอกยางเป็นยางหนา หรือยาง/สารประกอบคอมโพสิตที่คิดค้นขึ้นเพื่อให้มีการยึดเกาะในระดับที่เหมาะสมโดยไม่สึกเร็วเกินไป ลวดลายดอกยางมีลักษณะเฉพาะด้วยรูปทรงเรขาคณิตของร่องดอกยาง ร่องจะวิ่งเป็นเส้นรอบวง และเพื่อให้หน้าไหลออกเป็นส่วนของการออกแบบ ดอกยางที่สัมผัสกับพื้นผิวถนน ช่องว่างคือช่องว่างระหว่างร่องที่ช่วยให้ระบายน้ำออกได้ รูปแบบดอกยางมีขนาดดอกยางที่ไม่สมมาตร (หรือไม่สมมาตร) ตามเส้นรอบวง เพื่อลดระดับเสียงที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งปกติจะตั้งฉากกับร่องยาง ซึ่งช่วยให้น้ำจากร่องยางไหลออกไปด้านข้าง ดอกยางมักได้รับการ

ออกแบบมาให้ยางมีสมรรถนะสูง มีอัตราส่วนช่องว่างขนาดเล็กเพื่อให้ยางสัมผัสกับพื้นถนนมากขึ้น เพื่อการยึดเกาะที่สูงขึ้น แต่อาจผสมด้วยยางที่นิ่มกว่าซึ่งให้การยึดเกาะที่ดีกว่า แต่สึกหรอเร็ว

2. หน้ายาง (Tread) เป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของยาง และเป็นส่วนที่สัมผัสผิวถนน ทำหน้าที่ป้องกันของมีคม ที่จะทำอันตรายต่อโครงยาง ที่หน้ายางก็ประกอบไปด้วยดอกยางและร่องยาง เพื่อทำหน้าที่ในการยึดเกาะถนนมีแรงกฤษเวลาวิ่ง เบรกหยุดได้มั่นใจ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันนี้ดอกยางมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดก็จะให้ประสิทธิภาพที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้น ควรเลือกชนิดของดอกยางให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน

3. แก้มยาง (Sidewall) เป็นส่วนนอกสุดของยางที่ไม่ได้สัมผัสพื้นถนนที่รถวิ่งอยู่ ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายที่มีต่อโครงยางและเป็นยางส่วนที่ยืดหยุ่น (Flexible) มากที่สุดของยาง การสึกหรอของแก้มยางไม่เท่ากัน จนถึงขั้นผ้า แก้มยางคือส่วนหนึ่งของยางที่เชื่อมระหว่างดอกยางกับขอบยาง แก้มยางส่วนใหญ่เป็นยางแต่เสริมด้วยผ้าหรือสายเหล็กที่ให้ความต้านทานแรงดึงและความยืดหยุ่น แก้มยางบรรจุแรงดันอากาศ และส่งแรงบิดที่ใช้โดยเพลาคับไปยังดอกยางเพื่อสร้างการยึดเกาะแต่รองรับน้ำหนักของรถเพียงเล็กน้อย ดังที่เห็นได้ชัดเจนจากการยุบตัวของยางเมื่อเจาะทะลุ แก้มยางขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีเฉพาะของผู้ผลิตแต่ละราย

4. ไหล่ยาง (Shoulder) ประกอบด้วยเนื้อยางที่หนา หน้าที่ของเนื้อยางก็คือ ป้องกันอันตรายที่จะมีต่อโครงยาง ปกติไหล่ยางจะถูกออกแบบเป็นร่องให้เหมาะสมเพื่อช่วยระบายความร้อนภายในยางออกมาได้ง่าย

5. โครงยาง (Carcass) เป็นส่วนประกอบหลักของยาง ซึ่งมีบทบาทสำคัญที่จะรักษาความดันลมภายในยางเพื่อให้ยางสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ รวมทั้งต้องทนทานต่อแรงกระแทกหรือสั่นสะเทือนจากถนนที่มีต่ออย่างได้ดี

6. ผ้าใบเสริมหน้ายาง หรือ เข็มขัดรัดหน้ายาง (Breaker or Belt) เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างหน้ายาง (Tread) กับโครงยาง (Carcass) ในกรณีของยางธรรมดา (Bias Tire) เราเรียกว่า “ผ้าใบเสริมใยหน้ายาง (Breaker)” และในกรณีของยางเรเดียล (Radial Tire) จะเรียกว่า “เข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt)” ซึ่งทำหน้าที่ให้หน้ายางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น รับแรงกระแทกได้ดี และป้องกันไม่ให้โครงยางชำรุดเสียหาย หมายเหตุ มียางธรรมดา (Bias) บางรุ่นที่สภาพการใช้งานไม่รุนแรง อาจจะทำแบบโดยไม่มีชั้นของผ้าใบเสริมหน้ายาง (Breaker) ก็ได้

7. ขอบยาง (Bead) ประกอบด้วยกลุ่มของเส้นลวดเหล็กกล้า (High Carbon Steel) ที่ช่วยยึดส่วนปลายทั้ง 2 ข้างของโครงยางไว้ เพื่อให้บริเวณขอบยาง (Bead) มีความแข็งแรง สามารถยึดแน่นสนิทกับกระทะล้อได้ดี เมื่อนำไปใช้งาน สำหรับยางรถยนต์ที่ไม่ใช้ยางใน (Tubeless Tire) ขอบยางเป็นส่วนที่สำคัญที่จะต้องทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ลมยางรั่วซึมออกมา ยางรถยนต์ซึ่งด้านหนึ่งประกอบด้วยขดลวด (Bead wire) ขอบยางเป็นส่วนที่สำคัญที่จะต้องทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ลมยางรั่วซึมออกมา

ยางรันแฟลท (Run Flat Tires, RFT) คือ ยางรถยนต์ที่จะทำให้รถยนต์สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้ แม้ว่ายางรถจะแบนด้วยการถูกเจาะหรือไม่มีลมยางด้วยเหตุผลต่างๆ ยางรันแฟลทได้ถูกนำเสนอขึ้นในช่วงกลางทศวรรษ 1980 หลังจากนั้นก็จะได้รับความนิยมมากขึ้นและผู้ผลิตรถยนต์ในบางยี่ห้อก็ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับรถยนต์ใหม่ เช่นยางรันแฟลทของ Bridgestone ถึงแม้ว่าจะไม่มีลมยางก็จะสามารถวิ่งได้เป็นระยะทางถึง 80 กิโลเมตร ด้วยความเร็วไม่เกิน 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง [12]

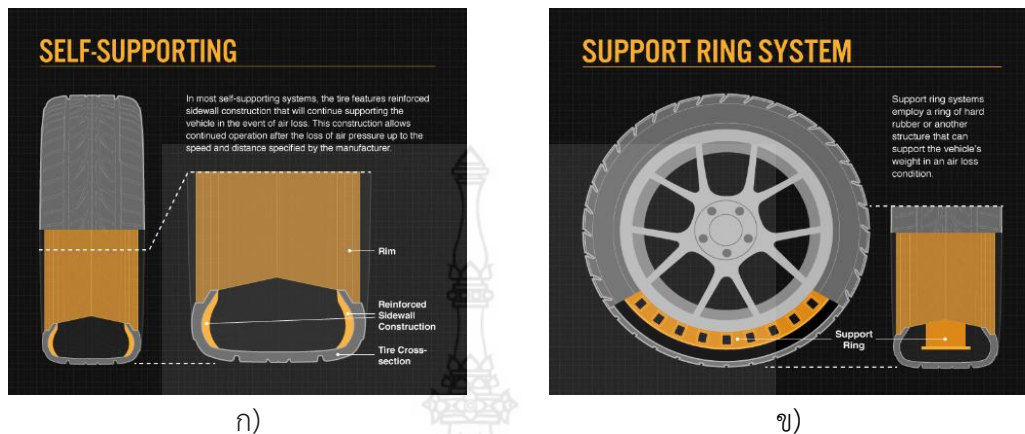
โดยส่วนใหญ่ยาง Run Flat สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ

1) แบบ “Self-Supporting tire” ดังรูปที่ 2.4 ก) เป็นเทคโนโลยีรันแฟลทที่ใช้กันมากที่สุด ในรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในปัจจุบันคือ มีแก้มยางที่รองรับตัวเอง แก้มยางเสริมความแข็งแรงเพื่อรองรับรถเมื่อแรงดันอากาศต่ำ หรือแม้กระทั่งเมื่อยางสูญเสียแรงดันลมยางทั้งหมด ประโยชน์หลักของยางแบบนี้คือ จะพยุงตัวเองช่วยให้สามารถขับต่อไปบนพื้นราบได้ถึง 50 ไมล์หลังจากที่อากาศหมด โดยไม่จำเป็นต้องลงจากรถท่ามกลางอากาศหนาว ฝนตก หรือขึ้นทางหลวงที่พลุกพล่านหรือบนถนนในย่านที่คับแคบของเมือง ผู้ขับขี่จะต้องลดความเร็วลงเหลือประมาณ 50 ไมล์ต่อชั่วโมงเพื่อให้ได้ช่วงระยะขับต่อสูงสุด เสถียรภาพที่ดีขึ้นหลังจากเกิดการระเบิด เนื่องจากยางนี้สามารถรองรับรถได้หลายไมล์โดยไม่มีอากาศ การบังคับเลี้ยวและการควบคุมรถจะยังคงใกล้เคียงปกติ พื้นที่เก็บสัมภาระมากขึ้น หมายถึงยางอะไหล่ส่วนใหญ่จะอยู่ที่พื้นที่ห้องเก็บสัมภาระ ผู้ผลิตรถยนต์สามารถใช้พื้นที่ดังกล่าวเพื่อเพิ่มพื้นที่จัดเก็บในรถให้สูงสุดได้โดยไม่ต้องใช้พื้นที่ว่าง [13], [14]

2) Auxiliary-Supported Run-Flat Tires หรือ Support Ring System ดังรูปที่ 2.4 ข) เป็นระบบเสริมที่รองรับจะรวมล้อและยางที่มีเอกลักษณ์เฉพาะ สำหรับการใช้งานในรถยนต์ อุปกรณ์ดั้งเดิม ในระบบเหล่านี้ เมื่อยางแบนเมื่อใดหน้ายางจะมาสัมผัสผืนถนนวงแหวนล้อรันแฟลท ที่ติดอยู่กับกะทะล้อ ข้อดีของระบบประเภทนี้คือล้อรันแฟลทแยกออกจากยางโดยตรงเป็นชิ้นส่วนคนละชิ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะไม่สึกหรอและไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนล้อรันแฟลท และลดราคาของยางรันแฟลทลง (ซึ่งเสื่อมสภาพเป็นระยะและต้องเปลี่ยน) โดยมากจะถูกนำไปใช้กับรถยนต์ขนาดใหญ่ เช่น รถเกราะล้อ ยาง หรือยานพาหนะที่ใช้ในชายแดน เป็นต้น

3) Self-Sealing Run-Flat Tires คือยางนิรภัยที่ผลิตโดยอาศัยเทคนิคการเคลือบผิวใต้ดอกยางด้วยวัสดุ “Sealant” หรือใช้ Polymer ที่สามารถซ่อมแซมรอยรั่วด้วยตัวเอง ยางแบบซีลตัวเองไม่ใช่ยางรันแฟลทในแง่ที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องใช้ลม แต่มีชั้นเคลือบหลุมร่องฟันภายในยางที่สามารถรักษาแรงดันอากาศในกรณีที่เกิดการเจาะ หากตะปูเจาะที่ยางแล้วถูดอก น้ำยาซีลจะเติมรอยรั่วให้เต็มตราบดีที่อยู่ใกล้ศูนย์กลางของดอกยางและต้องมีขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ข้อได้เปรียบที่ใหญ่ที่สุดของยางแบบนี้คือ คล้ายกับยางทั่วไป สามารถผสมและจับคู่กับยางมาตรฐานได้ และอายุการใช้งานของดอกยางก็เท่ากัน ข้อเสียคือค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น (ประมาณระดับพรีเมียมเท่ากับยางรันแฟลท) และความพร้อมในการใช้งานที่จำกัด ยางประเภทนี้ไม่ใช่ยางมาตรฐานสำหรับรถใหม่

แต่มีจำหน่ายเป็นยางทดแทน Continental และ Pirelli เป็นผู้ผลิตยางรถยนต์สองรายที่ผลิตยางแบบ ซิลตัวเอง [14]



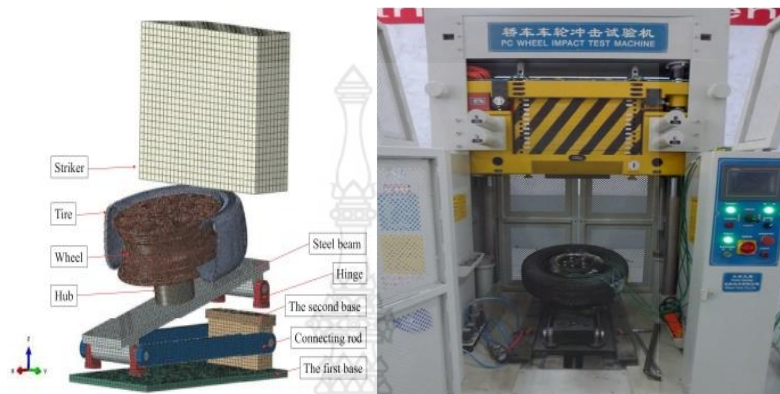
รูปที่ 2.4 ล้อยางรันแฟลท ก) Self-Supporting Tire และ ข) Supporting Ring System [14]

2.3 การทบทวนวรรณกรรม

ยางแบน หมายถึงยางลมที่ปล่อยลมออก ซึ่งอาจทำให้ขอบล้อวิ่งบนดอกยาง ทำให้ขอบกะทะ ล้อรถเสียหาย ขอบล้อกะทะกระแทกพื้นกะทันหัน และอาจส่งผลให้สูญเสียการควบคุมรถ ซึ่งเมื่อขอบกะทะล้อเสียหายจะไม่สามารถแก้ไขซ่อมได้ [15]-[25] อุบัติเหตุครั้งนี้ทำให้ผู้ขับขี่ต้องเสียเงินเป็นจำนวนมากในการเปลี่ยนยางและเปลี่ยนขอบล้อใหม่ เมื่อเปรียบเทียบกับยางแบบไม่ใช้ลม ยางลมที่เติมลมด้วยลมจะให้ข้อดีหลายประการในประสิทธิภาพการขับขี่ของยางหลัก เช่น ความสบายในการขับขี่ การควบคุมและการเข้าโค้ง และการพลิกคว่ำสิ่งกีดขวาง อย่างไรก็ตาม ยังคงประสบปัญหาหลักสองประการที่การเจาะอาจส่งผลให้เกิดความล้มเหลวโดยสิ้นเชิง และการระเบิดด้วยความเร็วสูงอาจนำไปสู่อุบัติเหตุทางรถยนต์ที่เป็นอันตราย ในสถานการณ์เช่นนี้ วิธีเดียวที่จะขับบนถนนได้อีกครั้งคือการเปลี่ยนยางอะไหล่ที่เสียหายด้วยยางอะไหล่ในห้องเก็บสัมภาระ ตามที่ระบุไว้ด้วยคำว่า run-flat ช่วยให้ยานพาหนะสามารถขับเคลื่อนบนถนนด้วยความเร็วปกติในระยะทางที่จำกัด แม้จะเกิดการเจาะทะลุ ยางรันแฟลทหลายประเภทได้รับการพัฒนาโดยผู้ผลิตยางรถยนต์ทั่วโลกตั้งแต่มีการนำแนวคิดมาใช้ และยางที่เป็นตัวแทนคือยางแบบมีแถบที่เปิดตัวในปี 1976 และยางแบบพยางค์ตัวเองที่มีวงแหวนรองรับภายในหรือยางเสริมแรงที่กำกวม สาเหตุที่พบบ่อยที่สุดที่ทำให้ยางแบนคือการเจาะของยางด้วยของมีคม เช่น ตะปู ทำให้อากาศไหลออกและคนขับสูญเสียการควบคุมรถ [26]-[36] ยางอาจปล่อยลมช้าหรือเร็ว [37]-[40] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของการเจาะ

Wan Xiaofei และคณะ [41] ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการจำลอง และทดสอบ ผลกระทบของยางที่มีต่อล้อรถยนต์ โดยทำการทดสอบที่มีแรงกระแทกมากกระทำต่อล้อยางเอียง 13° ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นการจำลองโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของยาง นอกจากนี้

ยังมีการทดสอบแรงกระแทกของล้ออย่างจริงทำการเอียงที่ 13° และจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการจำลองโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดสอบล้ออย่างจริง พบว่าการจำลองเป็นที่แม่นยำสำหรับการทดสอบแรงกระแทกที่ 13° โดยใช้เป็นยางคอมโพสิตเพื่อทำให้ประสิทธิภาพความแม่นยำมากขึ้น



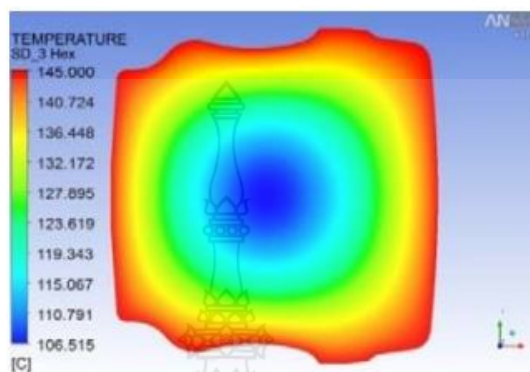
รูปที่ 2.5 การจำลอง และทำสอบล้อรถยนต์โดยเอียง 13° [41]

A. Kongo Kondé และคณะ [42] ได้ทำการจำลองและคาดการณ์พฤติกรรมการหมุนและเสี้ยวของยางล้อของเครื่องบินที่อยู่ภายใต้ภาระแรงโหลดของเพล่าที่มากกระทำเมื่อลงพื้นสัมผัสพื้นผิวถนนที่เรียบและแข็ง ใช้การจำลองโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิต พบว่าการคาดการณ์การตอบสนองของยางขึ้นอยู่กับวัสดุ และลักษณะรูปทรงของยางเป็นอย่างมาก

G. Previati และคณะ [43] ได้ทำการจำลองความเสียหายของล้อด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อล้ออลูมิเนียม เป็นการทดสอบความแข็งแรงของล้ออลูมิเนียมที่มีหลายรุ่นโมเดล โดยใช้สแตนด์ในการวัดความเครียดของตัวล้อยาง เพื่อจำลองวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์หาความแปรปรวนของล้อหลังจากที่ได้รับแรงกระทำในแนวรัศมีของล้อยาง จากการวิเคราะห์พบว่าประสิทธิภาพในการเสี้ยวรูปของล้อยางพลาสติกนั้น นำมาซึ่งการพัฒนาเพื่อให้สามารถออกแบบให้สอดคล้องตามข้อกำหนดที่ได้มาตรฐานได้

L. Sittichai และคณะ [44] ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์กระบวนการอบคงรูปของล้อยางตันด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างจากการนำยาง 3 ชนิด มาเรียงซ้อนกัน โดยวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิ และการคงรูประหว่างในแม่พิมพ์และหลังจากออกจากแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 2.6 จากผลการทดลองพบว่าการกระจายตัวของอัตราคงรูปในแม่พิมพ์ภายใน 3 ชั่วโมงนั้น บริเวณข้างชั้นกลางจะคงรูปน้อยที่สุด โดยมีระดับเพียงแค่ 1-2 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากนั้นนำล้อยางออกจากแม่พิมพ์เพื่อปล่อยให้เย็นตัวลงเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะมีระดับการคงรูปของยางที่ 6-8 เปอร์เซ็นต์ ค่าดังกล่าวจึงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามความแม่นยำของการจำลองนั้นจะเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นได้นั้น ถ้ามีค่าคุณสมบัติของวัสดุรายละเอียด และส่วนประกอบของหน้ายางที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก

ที่สุด ซึ่งในการผลิตล้อยางต้นจริงจะพบปัญหาเรื่องของการที่ยางไม่สุกที่บริเวณกึ่งกลางหน้าตัดยาง จะมีความสอดคล้องกับการทำนายด้วยวิธีไฟไนต์อิเลเมนต์ อย่างไรก็ตามการมีระยะเวลาการอบและปล่อยให้ยางเย็นตัวลงในเวลาที่เหมาะสมก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 2.6 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในยางเมื่อทำการอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่ได้จากโปรแกรม Ansys Polyflow [44]

เจริญยุทธ และคณะ [45] สร้างยาง Run Flat โดยขึ้นรูปยางให้เป็นโพมยางโดยเติมสารฟู (Blowing agent) และเพิ่มความแข็งด้วยการเติมสารตัวเติมเคลย์หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ดังรูปที่ 2.7 นำขึ้น Run flat มาติดตั้งเข้ากับล้อกระทะโดยศึกษาการจับยึดสองรูปแบบได้แก่ 1) กาว 2) สกรู จับยึดผลการทดสอบออกมาว่ากาวไม่สามารถจะยึดชิ้นงานได้ สกรูเป็นตัวจับยึดสามารถวิ่งได้โดยไม่มีล้อยางลม 23 กิโลเมตร และเมื่อสวมล้อยางลมทำให้วิ่งได้เป็นระยะทาง 230 กิโลเมตร หลังจากนั้นนำล้อไปทดสอบตามมาตรฐาน มอก.367-2529 2 กรณี ได้แก่ การทดสอบแบบมีลมที่ความเร็ว 60 80 และ 100 km/hr และแบบไม่มีลม ทดสอบที่มีความเร็ว 40 60 และ 80 km/hr จากผลการทดสอบพบว่า ล้อเกิดการสั่นเมื่อวิ่งขับเคลื่อนที่มีความเร็วสูง อันเนื่องมาจากอุปกรณ์เสริมล้อยางนั้นมีน้ำหนักมาก และมีช่องว่างระหว่างอุปกรณ์เสริมกับตัวกระทะล้อ จึงทำให้เกิดการไม่สมดุลของล้อ จากการวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการศึกษาพัฒนาต่อไป



รูปที่ 2.7 (a) แสดงชิ้นงานหลังจากการอัด (b) แสดงภาพตัด Section ของชิ้นงาน [45]

H. S. Cheah และคณะ [46] ได้ทำการออกแบบและพัฒนา สร้างกลไกให้ยางวิ่งได้หลังจากที่ ยางถูกเจาะ เพื่อให้คนขับมีเวลาเพียงพอที่จะไปโรงปฏิบัติงานในบริเวณใกล้เคียง วัตถุประสงค์คือการ สร้างกลไกในการวิ่งยางแบนเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ยางเสีรูปลาวารเมื่อเจาะทะลุ นอกจากนั้น เมื่อ ยางแบน ความเค้นของระบบกันสะเทือนจะเพิ่มขึ้นตามสภาพถนน ขอบเขตของโครงการคือการสร้าง กลไกในการวิ่งยางแบนโดยการสร้างวงแหวนรองรับภายในยางเพื่อรองรับยานพาหนะหลังจากที่ยาง วิ่งเรียบ และยังสามารถติดตั้งได้กับยางและขนาดล้อทุกประเภท โดยเริ่มต้นคำนวณขนาดของยางแข็ง (กว้างและยาว) สูตรในการคำนวณคือ $2\pi r$ ขนาดของขอบล้อคือ 12 นิ้ว (คูณ 25.4 เพื่อแปลงเป็น มม.) เท่ากับ 957.55 มม. ความกว้างของยางแข็งเลือกเป็น 65 มม. ดังนั้นความยาวสุดท้ายคือ 65 มม. \times 957.55 มม. สำหรับชั้นแรก สำหรับชั้นที่สอง วัดความหนาของยางแข็งและคำนวณ เพื่อความ ปลอดภัย จำเป็นต้องเพิ่มความยาวยางอีก 50 มม. จากนั้นติดยางแข็งที่ขอบด้วยกาว Dunlop ใช้ เลื่อยตัดผิวขอบให้หยาบ ใช้แปรงทากาว Dunlop กับพื้นผิวขอบล้อและพื้นผิวยางแข็ง หลังจาก 5 นาที ติดยางแข็งกับขอบ ตัดยางแข็งพิเศษเพื่อทำให้ปลายเรียบ หลังจากติดยางแข็งแล้ว ให้ใช้พินล๊อค ปลายยาง ที่จุดสิ้นสุดของยาง เราใช้สลักเจาะเพื่อให้แน่ใจว่าจุดสิ้นสุดสามารถต่อเข้าด้วยกันได้ หลังจากเจาะหมดแล้ว ให้ใช้ค้อนเคาะหมดเพื่อให้แน่ใจว่าได้ติดตั้งหมดไว้อย่างสมบูรณ์ ขั้นตอนต่อไปคือ การติดตั้งยางเข้ากับยางใน ชั้นแรก คำนวณขนาดยางโดยใช้สูตรเดียวกับด้านบนกับขนาด จากนั้นทา กาว Dunlop ที่ยางในและพื้นผิวยางแข็ง หลังจากผ่านไป 5 นาที ให้ติดยางเข้ากับยางด้านใน ใช้หมุด ล็อคปลายยาง (เหมือนข้างบน) หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนข้างต้น ให้เริ่มติดตั้งยางเข้ากับขอบล้อโดยใช้ เครื่อง เมื่อการติดตั้งเสร็จสิ้น ให้ทำการทรงตัวที่ยางเพื่อลดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในยาง ในตอนท้าย ของโครงการ จำเป็นต้องมีการทดสอบอย่างง่ายเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ ผลการทดสอบจะรวมความเร็วสูงสุด ของยางแบน ว่ายางแบนจะสามารถใช้งานได้นานเท่าใด



รูปที่ 2.8 ล้อยางลมที่สวมล้อ Run-flat สำหรับการทดสอบ [46]

ผลการวิจัยพบว่า การออกแบบยางปกติมีคุณสมบัติที่ดีกว่าการออกแบบยางแบน จำนวน อัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนักที่สูงกว่าสำหรับค่าแรงม้าที่กำหนด ยิ่งรถมีน้ำหนักน้อยก็ยิ่งใช้กำลังมากขึ้น/ ดีขึ้นเท่านั้น - รถที่มีน้ำหนักน้อยกว่าจะมีแรงเฉื่อยน้อยกว่า เร่งได้ง่ายกว่า และเปลี่ยนทิศทางได้ ในอีก

ด้านหนึ่ง มันมีแรงดุดน้อยกว่า เนื่องจากการดุดขึ้นอยู่กับแรงเสียดทาน ซึ่งผลัดกันขึ้นอยู่กับน้ำหนัก นอกจากนี้ การใช้ยางชนิดนี้ดูเหมือนจะส่งผลเสียต่อการโต้ตอบแบบไดนามิกระหว่างถนนและตัวถังรถ นอกจากนี้ ผลลัพธ์ที่ได้ยังแสดงให้เห็นความจำเป็นในการวิจัยเพิ่มเติมในเรื่องนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการกระจายแรงกดสัมผัสระหว่างยางและพื้นผิวถนนเมื่อยางใช้ยาง [46] รูป Flat Ture แสดงดังรูปที่ 2.8 ได้ผลดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง Normal Tyre และ Flat Tyre [46]

	Normal Tyre	Flat Tyre
Velocity (m/s ²)	V=50km/h =50km/h × (1000m/1km) × (1h/3600s) =13.89/35s = 0.3969m/s ²	V=50km/h =50km/h × (1000m/1km) × (1h/3600s) = 13.89/40s =0.3473m/s ²
Force (N)	F=m × a =670kg × 0.3969m/s ² = 265.92N =265.92/4 =66.48 N	F=m × a =678kg × 0.3473 =235.4N =235.47N/4 =58.87 N
Torque (N.m)	T= rF = (0.24m)(66.48N) =15.96N.m	T= rF = (0.20m)(58.87N) =11.77N.m
Horse Power	HP= (T × RPM)/7120.89 =(15.96)(2000)/7120.89 =4.48HP	HP= T × RPM/ 7120.89 =(11.77)(2000)/ 7120.89 =3.31HP
Power weight ratio	Power to weight ratio = 4.48HP/670kg =0.006687	Power to weight ratio =3.31HP/678kg =0.004882

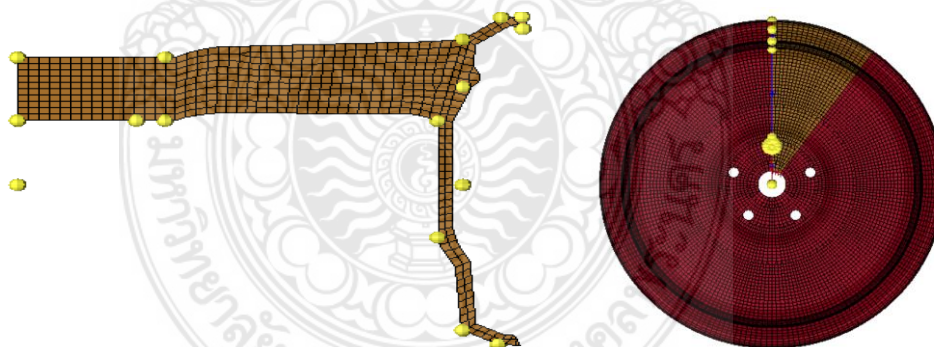
Sourav Das [47] ได้นำเสนอการออกแบบล้ออลูมิเนียมอัลลอยด์สำหรับใช้ในรถยนต์ ซึ่งใช้การอ้างอิงพิเศษในการเพิ่มประสิทธิภาพมวลของล้อ การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงให้เห็นว่ามวลที่ปรับให้เหมาะสมของขอบล้อสามารถลดลงเหลือประมาณ 50% เมื่อเทียบกับล้ออัลลอยด์แบบจานแข็งแบบ Al ที่มีอยู่ การวิเคราะห์ FE แสดงให้เห็นว่าความเค้นที่สร้างขึ้นในส่วนประกอบที่ปรับให้เหมาะสมนั้นต่ำกว่าความเค้นครากที่แท้จริงของโลหะผสม Al การประมาณอายุความล้าโดยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ ภายใต้สภาวะโหลดความล้าในแนวรัศมี ดำเนินการเพื่อวิเคราะห์การกระจายความเค้นและส่งผลให้มีการกระจัดในล้ออัลลอยด์ เส้นโค้ง S-N ของส่วนประกอบแสดงให้เห็นว่าขีดจำกัดความทนทานอยู่ที่ 90 MPa ซึ่งต่ำกว่าความเค้นครากของวัสดุ และปลอดภัยสำหรับการใช้งาน การวิเคราะห์ FE ระบุว่าแม้หลังจากรอบความล้าที่ 1,020 ความเสียหายบนล้อพบเพียง 0.2% วัสดุสำหรับกะทะล้อใช้ Al-Si (BS: LM25 alloy) โลหะผสมส่วนใหญ่ประกอบด้วย 6.5-7.0.0% Si, 0.3-0.4% Mg และส่วนที่เหลือเป็นอลูมิเนียม คุณสมบัติของโลหะผสมที่ใช้อยู่ในสภาวะการอบชุบด้วย

ความร้อน (T6) คุณสมบัติของโลหะผสมแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมในสภาวะที่ผ่านการอบชุบด้วยความร้อนแสดง Al ปฐมภูมิและใกล้ทรงกลมยูเทคติก Si การตกตะกอนที่ติของ Mg₂Si มีหน้าที่ในการปรับปรุงคุณสมบัติ [47]

ตารางที่ 2.2 Material properties of LM25 aluminum alloy in T6 condition [47], [48]

material properties	Magnitude with units
Tensile Stress	230 MPa
Endurance Limit	56 MPa
Modulus of Elasticity	71 (GPa)
Shear Strength	120 MPa
Tensile Yield Stress	185 MPa
Compressive Yield Stress	185 MPa
Elongation (%)	4
Density	2.685 g/cm ³ at 20°C

โมเดล FE ถูกเตรียมไว้สำหรับ 36° ของเส้นรอบวง (Symmetry) เนื่องจากส่วนที่เหลือสามารถสะท้อนได้อย่างแม่นยำ การปรับเปลี่ยนที่จำเป็นสามารถทำได้ในส่วนเดียวกัน เอลิเมนต์ชนิด Hexahedral and pentagonal ถูกนำมาใช้สำหรับการสร้างแบบจำลอง และการวิเคราะห์แบบไฟไนต์เอลิเมนต์ดำเนินการโดยใช้ Hypermesh ขนาดองค์ประกอบ 5 มม. ใช้สำหรับเชื่อมกับองค์ประกอบ 100,118 และ 100,200 โหนด รูปที่ 2.9 แสดงองค์ประกอบ 2D และ 3D ของขอบล้อและส่วนตัดขวางของ Sourav Das [47]

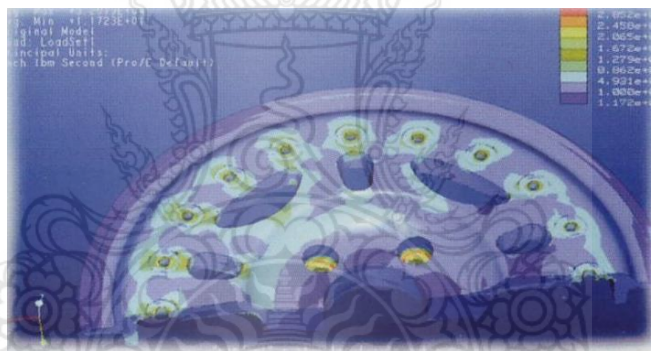


รูปที่ 2.9 2D และ 3D ของขอบล้อและส่วนตัดขวางของ Sourav Das [47]



รูปที่ 2.10 Off road CRF [49]

Hutchinson [49] นำเสนอรถหุ้มเกราะที่ได้รับการออกแบบมา (ดูรูปที่ 2.10) เพื่อปกป้องผู้โดยสารในสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตรายแม้แต่การป้องกันที่ดีที่สุดก็อาจไร้ประโยชน์หากรถไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ด้วยเหตุผลนี้ผู้ผลิตรถยนต์ รายใหญ่ทั้งหมดจึงหัน ไปหา Hutchinson เพื่อจัดหาโซลูชันการเคลื่อนย้ายที่จะช่วยให้รถรักษา ความคล่องแคล่วและบรรลุมารกิจโดยส่งมอบรถและผู้โดยสารอย่างปลอดภัย ผลิตขึ้นโดยใช้อุปกรณ์ CNC ที่ทันสมัยจากนั้นจึงได้รับการประเมินและทดสอบอย่างเข้มงวดโดยฝ่ายควบคุมคุณภาพ โดยใช้อุปกรณ์วัดพิคัดที่ควบคุมโดย sophisticated coordinate measurement เพื่อรับรองความถูกต้องของชิ้นส่วนที่ผลก่อนการผลิตการออกแบบใหม่ แต่ละรายการจะผ่านการทดสอบโครงสร้างในห้องปฏิบัติการอิสระ ซึ่งรับรองว่าล้อนั้นเป็นไปตามข้อกำหนดการ ทดสอบของลูกค้ำทั้งหมด มาตรฐานการออกแบบ SAE DOT และ Hutchinson วิศวกรของฮัทชินสันได้พัฒนาการออกแบบล้อแบบใหม่ที่แสดงถึงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีขั้นสูงสุด ดังรูปที่ 2.11 ในการจัดหาโซลูชัน การเคลื่อนย้ายแก่งค์กร หน่วยงานของรัฐ การขนส่งเงินสด และการ ใช้งานพลเรือนอื่น ๆ ที่หลากหลาย ซึ่งรับประกันความปลอดภัยของผู้โดยสารเป็นอันดับแรก [49]

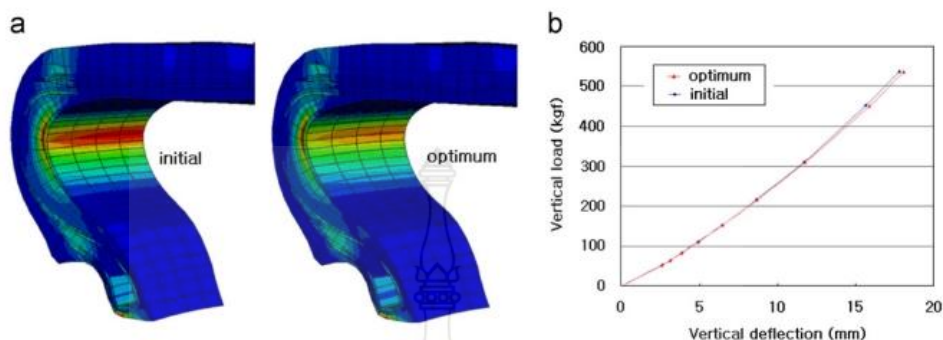


รูปที่ 2.11 การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ [49]

Ballarnut [50] จากปัญหาที่ตรงกันข้ามจึงได้มีการคิดค้นใช้ยาง Tweel Type รูปแบบ Flexible Spoke ซึ่งสามารถวิ่งได้โดยไม่ต้องเติมลมสามารถวิ่งในสภาพถนนที่ครุขระดินลูกรังและสามารถวิ่งต่อได้เมื่อมีตะปูตำและสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าล้อยางลมปกติ แต่ราคาจำหน่ายสูง หลังจากนั้น Michelin บริษัทยางรถยนต์รายแรกที่คิดค้นเทคโนโลยีแบบใหม่ขึ้นมาเรียกว่า Run Flat Tyre ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Pax Systems ลักษณะคล้ายกับล้อยางลมทั่วไป มีวงแหวนโพลีเมอร์หุ้มกะทะล้อก่อนใส่ยาง เมื่อล้อเกิดเหตุยางลมรั่ว ตัววงแหวนจะทำหน้าที่รองรับน้ำหนักแทนยาง ราคาสูง แต่ข้อดีคือสามารถติดตั้งกับล้อธรรมดาและยางทั่วไปได้

j.R. Cho และคณะ [51] ได้ใช้วิธีทำการจำลองโดยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ANN ในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นของยาง ดังรูปที่ 2.12 เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของขอบยางด้านนอก ทำให้พบว่าแก้มของยางเมื่อมีการเคลื่อนที่ด้วยล้อยาง Run-flat เป็นตำแหน่งที่เสียหายมากที่สุด จึง

ทำการเสริมยางเข้าไปที่แก้มยาง จากนั้นใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ เพื่อหาจุดที่เสริมยางเข้าไปแล้วจะไม่ทำให้ยางเกิดการเสียรูป และปลอดภัยยิ่งขึ้น

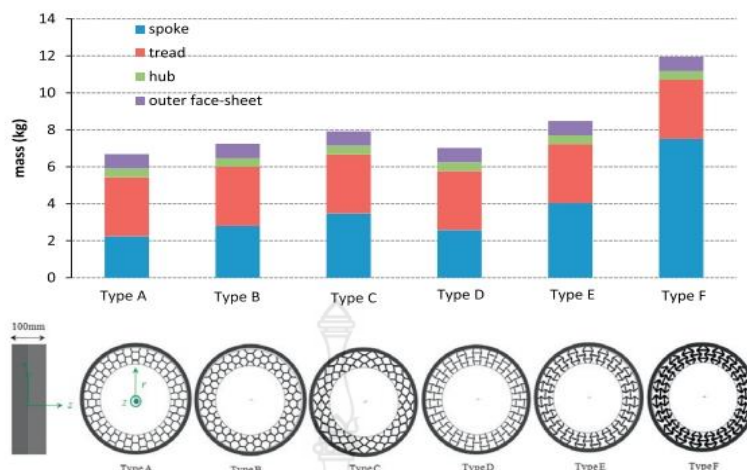


รูปที่ 2.12 การวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นที่ล้อ Run-flat และอัตราของสปริง [51]

Kazuo Hochi [52] ทำการหาค่าประกอบของยางที่เหมาะสมสำหรับการเสริมความแข็งแรงของล้อ Run-flat ซึ่งมีคุณสมบัติคายความร้อนต่ำ และมีความทนทานสูง องค์ประกอบของยางรถยนต์และล้อ Run-flat ประกอบทับเป็นชั้น เรียกว่า (A reinforcing layer) โดยการเสริมความแข็งแรงเสริมที่บริเวณแก้มยาง (Side wall) ทำให้รถสามารถวิ่งได้เมื่อรถเกิดล้อยางลมรั่ว หรือเกิดการระเบิดของยางในระหว่างการขับชี้ แต่อย่างไรก็ตามรถสามารถวิ่งได้ในระยะทางสั้นๆเท่านั้น และไม่สามารถทำความเร็วต่อไปได้ ดังนั้นผู้ผลิตจึงมีการปรับปรุงต่างๆเพื่อสมรรถนะที่ดีขึ้นของรถ ความปลอดภัยของผู้ขับ และผู้โดยสารยิ่งขึ้น

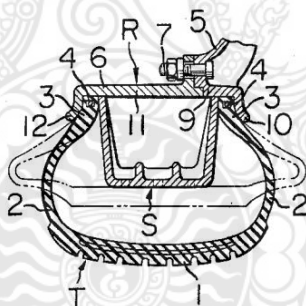
John Stearns [53] กล่าวว่า ล้อยาง Run flat Goodyear สามารถทำงานได้โดยไม่ใช้แรงดันอากาศภายในยางเป็นระยะทางอย่างน้อย 80 กิโลเมตร ซึ่งมาจากความหนาของแก้ม และเสริมด้วยยางที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ สามารถทำงานได้แม้อยู่ภายใต้ของความร้อน และความเครียดเมื่อความดันที่ต่ำ หรือยางเกิดการแบน และทำการได้สร้างล้ออลูมิเนียมใน Pro/ENGINEER ให้กับ Goodyear ถ่ายโอนโมเดลเข้าสู่โปรแกรม ALGOR ด้วยเทคโนโลยี InCAD Algor ผ่านไฟล์ IGES เลือกชนิดเอลิเมนต์เป็น Tetrahedral จำนวน 35,000 เอลิเมนต์ น้ำหนักของรถกระทำลงบนยางสองวงเท่ากับ 1,000 lb ซึ่งเป็นภาระสูงสุด น้ำหนักนี้ถูกนำไปใช้เป็นการคำนวณโหลดลงบนส่วนด้านล่างของล้อ ที่มีการกระจายแรงในรูปแบบพาราโบลา

K. Kim และคณะ [54] ได้ทำการออกแบบ และทดสอบยางรถยนต์แบบ Non-pneumatic tires (NPTs) ทั้ง 6 ประเภท ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งนำมาทดสอบโดยเปลี่ยนแปลงส่วนที่เป็นรังผึ้งมา 6 ลักษณะมาทดสอบ ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบที่ความกว้าง 100 mm ให้จะเห็นว่า ล้อยางที่มีโครงสร้างแบบประเภท C และ F มีค่าความเครียด และคงทนความล้าได้ดีที่สุด จึงเป็นล้อยางที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน และยาวนาน

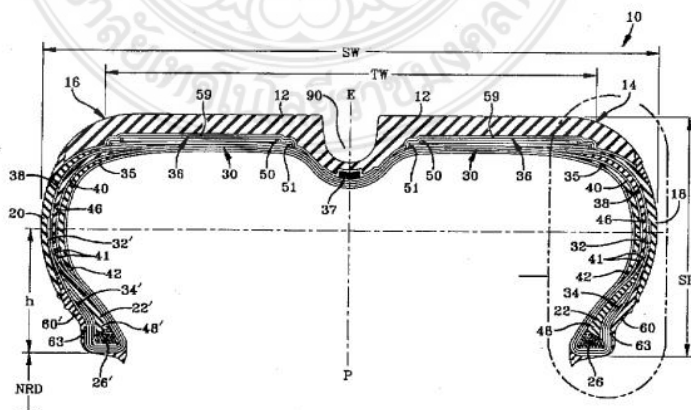


รูปที่ 2.13 ชนิดล้อ non-pneumatic tire แบบรังผึ้งที่ใช้ในการทดสอบที่ความกว้าง 100 mm [54]

Isao และ Shoichi [55] ทำการสร้างล้อยางที่เสริมความแข็งแรงที่ขอบด้วยวัสดุเป็นแบบชั้น (Treinfoming Layer) ซึ่งมีลักษณะแข็งนำมาเสริมในส่วนของตัวแก้มยาง ทำให้อย่างที่ถูกระเบิดด้วยตะปู เรือใบหรือสิ่งมีคมต่างๆทำให้เกิดยางแบนสามารถขับเคลื่อนที่ต่อไปได้ ซึ่งยางชนิดนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะทาง และความเร็วที่กำหนดในการขับขี่ เพื่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ และตัวรถยนต์



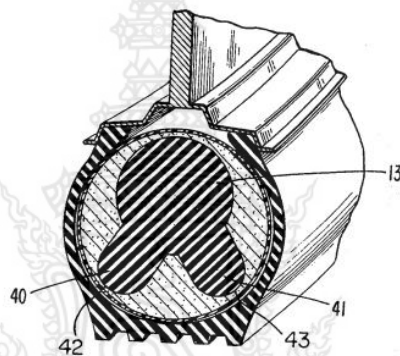
รูปที่ 2.14 แสดงภาพตัดของล้อยางแบบ Run Flat assembly [55]



รูปที่ 2.15 ล้อยางที่เสริมโฟมยางที่เป็นแผ่นซีสเสริมในล้อยางลม [56]

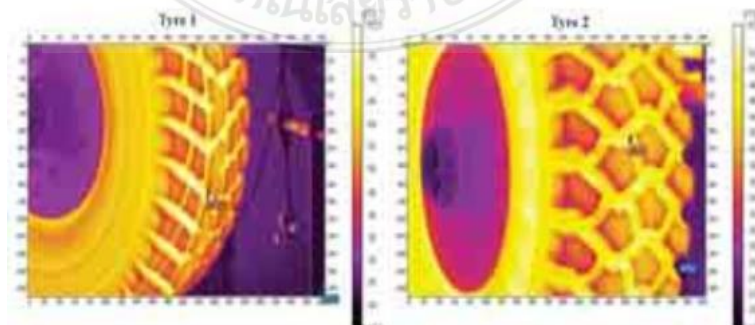
Philip Stuart Hammond [56] ทำการออกแบบล้อลมยางโดยเสริมชั้นโฟมยาง ซึ่งทำมาจากยางสังเคราะห์เพื่อป้องกันการถูกเจาะจากตะปูหรือใบ หรือสิ่งกีดขวางที่สามารถทำให้ยางเกิดการรั่วซึม ระเบิด ซึ่งมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงของตัวกะทะล้อให้เข้ากับโฟมยางที่มีลักษณะเป็นวงแหวน เพื่อที่จะติดตั้งเข้าไปโดยการสวมเข้าที่กะทะล้อ ดังแสดงในรูปที่ 2.15

Thomas G. Campagnac และคณะ [57] กล่าวว่ารถยนต์ที่ไม่มียางในเมื่อเกิดเหตุยางรั่ว อาจทำให้รถสามารถเกิดอุบัติเหตุได้ ดังนั้นจึงได้คิดอุปกรณ์สำหรับเสริมความแข็งแรงเมื่อยางลมรั่ว ออกโดยทำการแทรกวัสดุที่เป็นโฟมมีลักษณะเป็นเส้นเข้าไปในตัวล้อยางลมที่ไม่มียางใน ซึ่งคุณสมบัติของโฟมสามารถยืดหยุ่นได้ ทำให้ล้อยางภายนอกนั้นไม่สามารถบดล้อได้ ทำให้ล้อขับเคลื่อนต่อไป และยังสามารถลดความเสียหายของแก้มล้อได้อีกด้วย แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.16



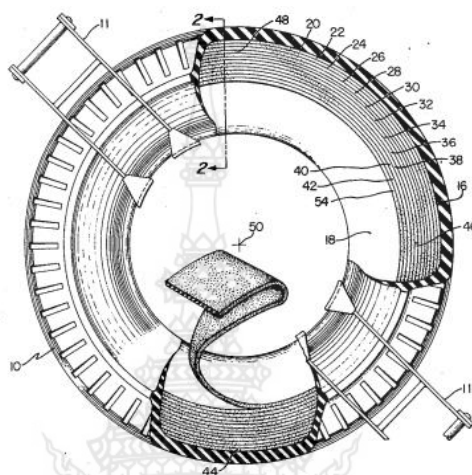
รูปที่ 2.16 ลักษณะล้อยางลม [57]

Grzegorz และคณะ [58] เป็นการศึกษาเกี่ยวกับ Heavy Vehicle โดยใช้วิธีเสริม Run-flat ทำการทดสอบโดย Heat generation , rolling resistance และ radial stiffnees เป็นการทดสอบที่ใช้ล้อยางลมทั้งสองชนิดได้แก่ 1) แบบ Textile และ 2) แบบ Steel carcass เมื่อทดสอบ radial stiffnes และ hysteresis อุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการทดสอบการกระจายตัวสูงสุดที่ของยางด้านในของล้อยางลม และเมื่อทดสอบจนถึงจุดที่เกิดความเสียหายส่วนที่เสียหายส่วนแรกคือขอบของล้อยางลม ดังรูปที่ 2.17



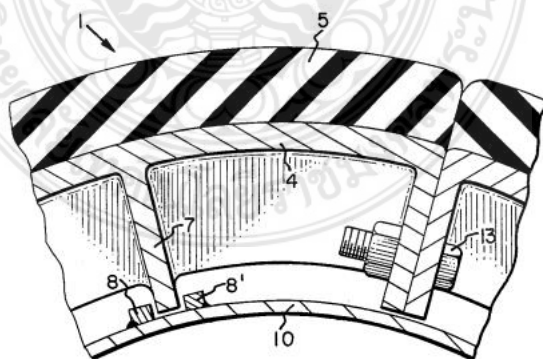
รูปที่ 2.17 การกระจายอุณหภูมิบนพื้นผิวภายนอกของยางทดสอบ [58]

Josep S hawkesk และคณะ [59] ได้ทำการสร้างล้อ run-flat ขึ้น ซึ่งประกอบด้วย beadlock สองด้าน โดยล้อ run-flat สามารถติดตั้งได้กับล้อทุกขนาด และทุกประเภทโดยไม่คำนึงถึงรูปร่าง และความลึกของล้อ อุปกรณ์ของล้อrun-flat สามารถติดตั้งได้โดยใช้เครื่องมือที่มาตรฐาน และสามารถทำให้แข็งแรงในการยึดด้วยการปรับแต่งชุดวาล์ว เพื่อให้การขับขี่ไม่เกิดการแกว่ง หรือสั่นคลอน ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 Run flat device and a method for fitting the same [59]

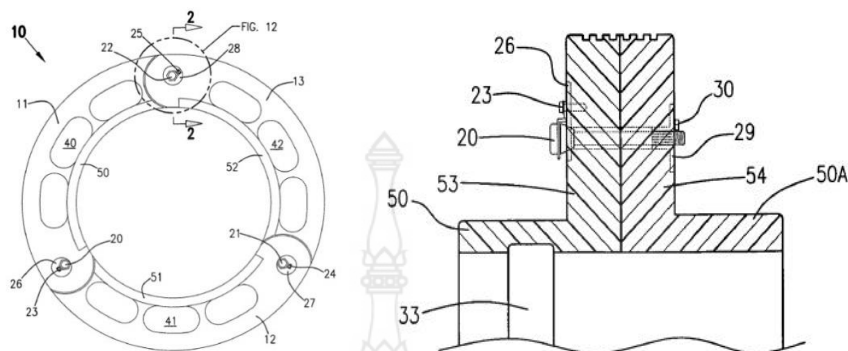
Willaiam T. และคณะ [60] ทำการประกอบล้อ Run-Flat ทั้งสองชั้นประกบเข้าหากัน โดยมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งจุดยึดล้อ Run-flat ประกบกันมีสองจุด โดยใช้เนื้อยึดจุดทั้งสองด้าน ดังรูปที่ 2.19 ส่วนประกอบของล้อ Run-flat ด้านที่รับน้ำหนักเมื่อล้ออย่างลมแบนมีอยู่สองส่วนที่สัมผัสโดยตรง โดยส่วนผสมหลักเป็นยางธรรมชาติจะอยู่ชั้นแรก และชั้นที่สองเป็นเหล็กซึ่งชั้นนี้เป็นชั้นที่ติดกับกะทะล้อ



รูปที่ 2.19 Run flat device [60]

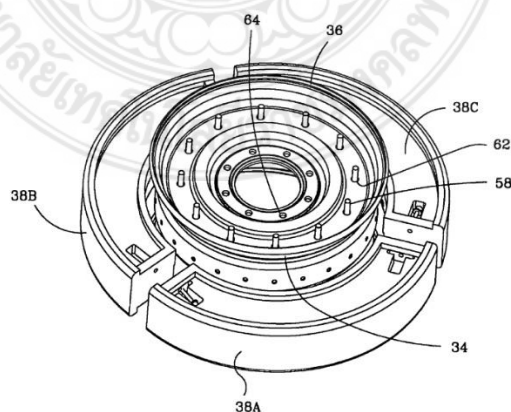
Khaled K. [61] จากปัญหาของล้อ Run-flat ส่วนมากจะมีปัญหาเรื่องการประกบเข้ากันของล้อ Run-flat ทั้งสองชั้น เนื่องจากชั้นงานครึ่งวงกลมสองชั้นที่มีจุดจับยึดยื่นออกมาจะไม่สามารถ

ประกอบล้อกระทะได้อย่างแนบสนิท ผู้ประดิษฐ์จึงสร้างล้อ Run-flat โดยแบ่งเป็น 3 ชั้นส่วนขึ้นมามีดังรูปที่ 2.20 โดยวัสดุที่ทำล้อ Run-flat เป็นเหล็ก และออกแบบจุดจับยึดแบบพิเศษเพื่อป้องกันการคลายตัวของนอตที่ล้อล้อ Run-flat



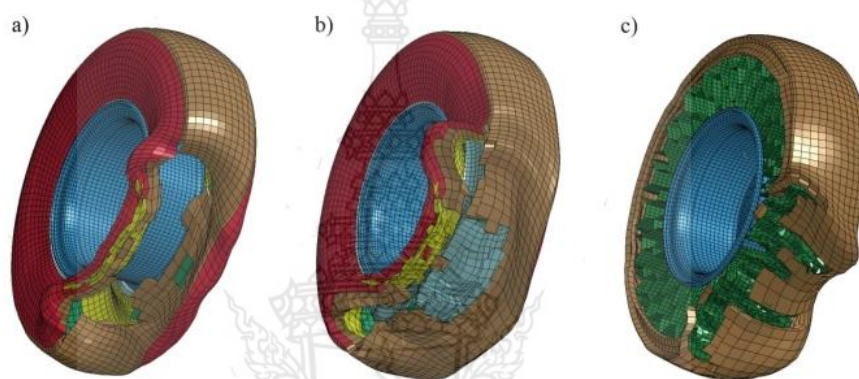
รูปที่ 2.20 การยึดขึ้นส่วนของล้อรันแฟลท [61]

William W. Gradetto [62] กล่าวว่า ล้อยาง Run-flat ที่ใช้สำหรับรถบรรทุกในทางทหารมีจำนวน 3 ชั้นที่ทำมาจากเหล็กมีลักษณะหน้าตัดเรียบ และกระทะล้อมีหน้าตัดเรียบเช่นกัน ซึ่งลักษณะพิเศษของล้อยาง Run-flat ชนิดนี้ คือ 1. จุดจับยึดล้อ Run-flat จะบีบลักษณะหน้าตัดประกบกันและยึดด้วยนอตสองตัวด้านข้างทำบารองรับไว้ 2. จุดจับยึดระหว่างล้อ Run-flat กับกระทะล้อ โดยล้อ Run-flat 1 ชั้นจะใช้ นอตยึด 3 ตัว เพื่อป้องกันการคลอน และรับน้ำหนักเมื่อมีเหตุยางรั่วได้ดี ช่วยทำให้รถสามารถวิ่งไปได้เช่นเดียวกับการใส่ล้อยางลมธรรมดา ไม่มีการแกว่งของล้อ Run-flat ที่ทำให้ล้อเกิดการเสียสมดุล เมื่อล้อ Run-flat ทั้งสามชั้นทำให้สะดวกสบายต่อการประกอบล้อ Run-flat เข้ากับล้อยางลมและกระทะล้อ โดยมีวิธีการคือ 1. ชั้นส่วน Run-flat ใส่เข้าไปในล้อยางลม 2. ประกอบล้อทั้งสามชั้นเข้าด้วยกัน 3. ติดตั้ง Run-flat เข้ากับล้อยางลม และสวมกระทะล้อประกอบเข้าไป 4. ยึดล้อกระทะเข้ากับล้อ Run-flat ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 Run-flat support system for a pneumatic tired wheel and method for installing same [62]

P. Baranowski and J. Malachowski [63] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบช่วงล่างของรถยนต์ทางทหารที่เกิดขึ้นเมื่อถูกการระเบิดของล้อยาง มีการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยออกแบบในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้น โดยทำการจำลองทั้งหมด 3 รูปแบบได้แก่ 1) แบบล้อยางลมปกติ (without modification) 2) แบบล้อยางลมเสริมล้อ Run-flat (Run-flat modification) 3) ล้อยางแบบรังผึ้ง (Honeycomb modification) ดังรูปที่ 2.22 และผลทดสอบความแข็งแรงดังตารางที่ 2.3 จะแสดงค่าความแข็งแรงของยางทั้ง 3 รูปแบบ จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าล้อยางแบบรังผึ้งสามารถป้องกันได้ดีที่สุดเมื่อล้อถูกระเบิด

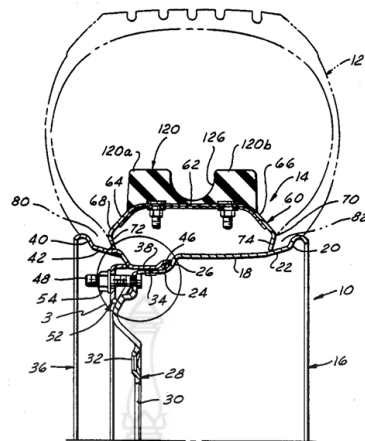


รูปที่ 2.22 ความเสียหายของยางในการจำลองทั้ง 3 รูปแบบในช่วงเวลาเดียวกัน [63]

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบกรณีจำลองทั้งสามกรณี (ค่าสูงสุด) [63]

Quantity maximum value	Case 1 (no modification)	Case 2 (runflat insert)	Case 3 (composite structure)
HMH stress [MPa]	Rim 731.00	Rim 652.00	Rim 419.00
	Spring fixing 408.00	Spring fixing 392.00	Spring fixing 294.00
	Hub 378.00	Hub 461.00	Hub 255.00
Plastic strain [-]	Rim 0.30	Rim 0.23	Rim 0.17
	Spring fixing 0.21	Spring fixing 0.16	Spring fixing 0.07
	Hub 0.14	Hub 0.11	Hub 0.04
Internal energy [kJ]	52.00	47.00	32.50
Axial-end deflection [mm]	11.0	3.50	0.80

Roger E. Payne และคณะ [64] ได้นำเสนอขอยางนิรภัย และชุดประกอบล้อรวมถึงขอบล้อแบบหลายชั้นที่แยกส่วน และขอยางนิรภัยที่ขยายออกไปตามเส้นรอบวงขอบล้อ เพื่อยึดปลายลูกบิดยางกับหน้าแปลนขอยางรองขอบล้อ ขอบล้อเป็นวงแหวนโลหะแผ่นที่มีรูปร่างเป็นช่อง ในส่วนหน้าตัดตามแนวรัศมีที่เปิดอยู่ที่ขอบด้านในตามแนวรัศมีระหว่างขอบด้านข้าง รูปร่างวงแหวนมีส่วนหักตรงกลางซึ่งยื่นโดยทั่วไปในแนวแกน และล้อมรอบด้วยส่วนขากลับด้านในแนวรัศมี ส่วนขาแยกจากกันโดยสัมพันธ์กันในแนวรัศมีไปทางปลายยางและสิ้นสุดในส่วนปลาย วงแหวนประกอบขึ้นที่สมบูรณ์ดอกลายของขอยางขยายออกไปด้านนอกในแนวรัศมีจากระยะที่ชุดได้ล่วงหน้าเพื่อให้มีระยะห่างจากพื้นผิวภายในของยางในสภาพการวิ่งปกติ วงแหวนโลหะแผ่นถูกบีบอัดในแนวแกน [64] ดูรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ส่วนประกอบของ Run-flat support [64]



บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการดำเนินงานวิจัยที่ประกอบไปด้วยวิธีการดำเนินงานวิจัย การออกแบบล้อ Run-flat ที่เหมาะสมสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ที่จะต้องใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์รูปร่างของล้อ Run-flat รวมถึงการวิเคราะห์จุดจับยึดล้อ Run-flat โดยมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1.1 กระบวนการดำเนินงานวิจัย

3.1.1.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับล้อ Run-flat ประกอบด้วยการออกแบบล้อ Run-flat และการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ข้อจำกัดด้านเทคนิค วัสดุ เป็นต้น และการสืบค้นข้อมูลในวารสารวิชาการต่างๆ

3.1.1.2 ออกแบบชุดดุมล้อและอุปกรณ์จับยึดสำหรับกระบวนการทดสอบการใช้งานจริงสำหรับล้อ Run flat แบบเดิม โดยใช้เครื่องทดสอบการห้ำมล้อและอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล Data logger

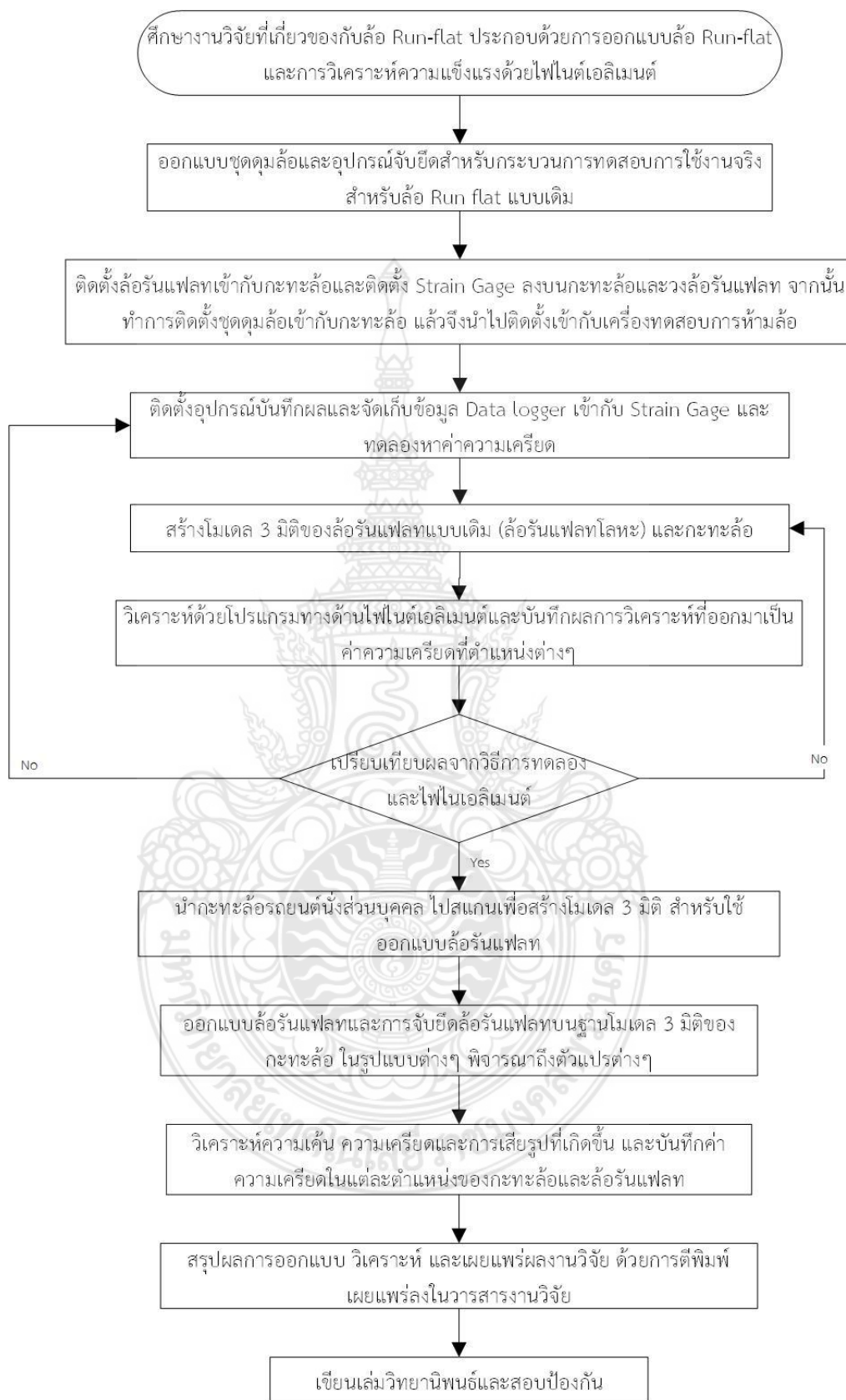
3.1.1.3 ติดตั้งล้อรันแฟลทเข้ากับกระทะล้อและติดตั้ง Strain Gage ลงบนกระทะล้อและวงล้อรันแฟลท จากนั้นทำการติดตั้งชุดดุมล้อเข้ากับกระทะล้อ แล้วจึงนำไปติดตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบการห้ำมล้อ

3.1.1.4 ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกผลและจัดเก็บข้อมูล Data logger เข้ากับ Strain Gage เพิ่มแรงกดเข้าไปที่วงล้อรันแฟลท อ่านค่าความเครียดและเก็บข้อมูล

3.1.1.5 สร้างโมเดล 3 มิติของล้อรันแฟลทแบบเดิม (ล้อรันแฟลทโลหะ) และกระทะล้อ โดยใช้ขนาดจริงที่วัดได้จากกระทะล้อและยางล้อรันแฟลท

3.1.1.6 วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์และบันทึกผลการวิเคราะห์ที่ออกมาเป็นค่าความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ โดยต้องเป็นตำแหน่งที่ตรงกันกับค่าความเครียดที่ได้เก็บบันทึกไว้ในการทดลอง และทิศทางของค่าความเครียดทั้งสองวิธีต้องเป็นค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสามารถปรับทิศทางได้ในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1.1.7 เปรียบเทียบค่าความเครียดจากผลการทดลองและผลที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ หากผลลัพธ์ทั้งสองวิธีให้ค่าที่สอดคล้องกัน จึงจะสามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เลือกใช้มีความสามารถในการแก้ไขโจทย์ปัญหานี้ได้ และใช้กระบวนการ Pre-Processing นี้เป็นรูปแบบในการออกแบบและวิเคราะห์ล้อรันแฟลทแบบใหม่ต่อไป



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนกระบวนการศึกษาวิจัย

3.1.1.8 นำกระทะล้อรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ไปสแกนเพื่อสร้างโมเดล 3 มิติ สำหรับใช้ออกแบบล้อรันแฟลท เพื่อให้ได้ล้อรันแฟลทที่สามารถประกอบเข้ากับกระทะล้อได้อย่างแนบสนิท จากนั้นทำการแก้ไขพื้นผิวโมเดล 3 มิติที่สแกนมาให้ถูกต้องและสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้

3.1.1.9 ออกแบบล้อรันแฟลทและการจับยึดล้อรันแฟลทบนฐานโมเดล 3 มิติของกระทะล้อ ในรูปแบบต่างๆ พิจารณาถึงตัวแปรต่างๆ ที่อธิบายไว้ในกรอบการวิจัยดังรูปที่ 3.2

3.1.1.10 วิเคราะห์ความเค้น ความเครียดและการเสียรูปที่เกิดขึ้น และบันทึกค่าความเครียดในแต่ละตำแหน่งของกระทะล้อและล้อรันแฟลท รวมทั้งส่วนประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ด้วย

3.1.1.11 สรุปผลการออกแบบ วิเคราะห์ และเผยแพร่ผลงานวิจัย ด้วยการตีพิมพ์เผยแพร่ลงในวารสารงานวิจัย

3.1.1.12 เขียนเล่มวิทยานิพนธ์และสอบป้องกัน

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย

3.1.2.1 เครื่องถอดยาง Hofmann monty 32 และเครื่องถ่วงล้อ Hofmann Geodyna

3.1.2.2 เครื่องอัดอากาศ

3.1.2.3 Data Logger เพื่อใช้ในการทดสอบและวัดค่าความเครียดที่กระทะล้อ

3.1.2.4 โปรแกรมช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ (SolidWorks และ SolidWorks Simulation)

3.1.2.5 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลจำนวนมากและรวดเร็ว

3.1.2.6 Stain gage แบบ Uniaxial ชนิด KFG-5-120-C1-11L3M2R พร้อมกาวติด Stain gage

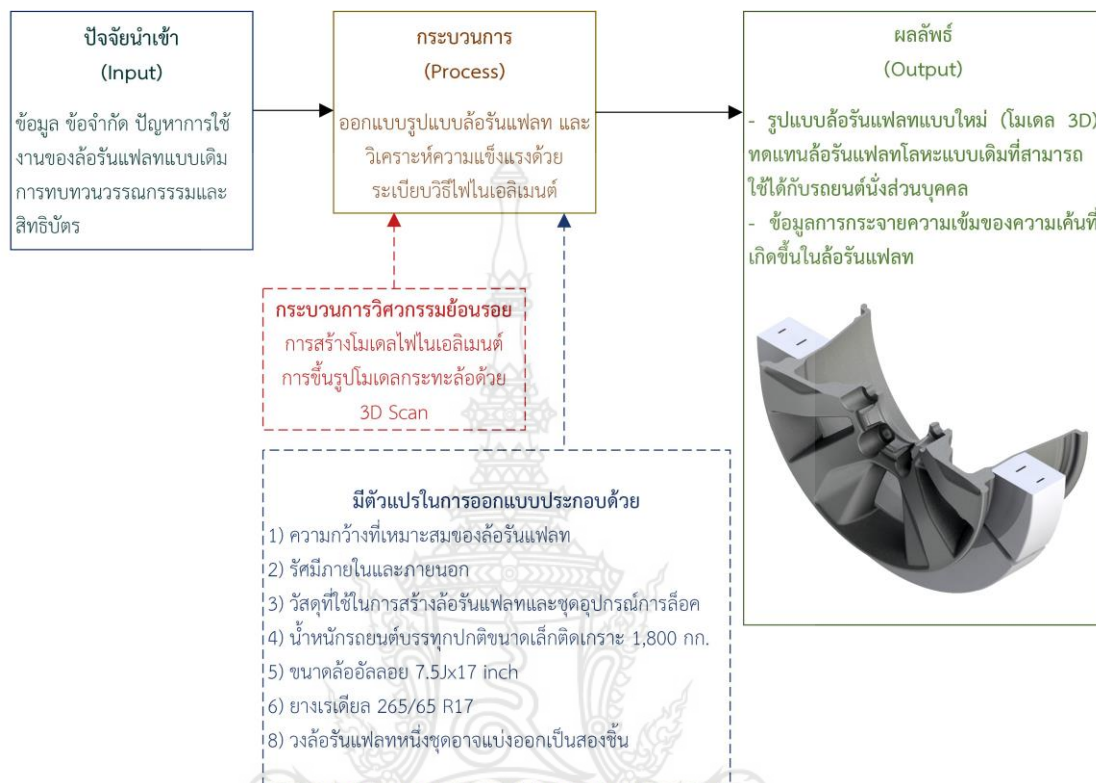
3.1.2.7 เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของล้อยางรถยนต์

3.1.2.8 เครื่องสแกนเลเซอร์ FARO Measurement FARO P06-05 3 มิติ

3.1.3 กรอบการวิจัย

สำหรับกรอบการวิจัย (Conceptual Framework) จะเป็นการวางแผนความคิดของกระบวนการการวิจัย ที่ต้องกล่าวถึงตัวแปรต้นและตัวแปรตามต่างๆ จะต้องมีความสัมพันธ์กันและกันซึ่งจะต้องสอดคล้องกับระเบียบวิธีวิจัยบนพื้นฐานของทฤษฎีต่างๆ ซึ่งมีแนวความคิดการออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของล้อ Run flat และชุดอุปกรณ์การล้อคด้วย SolidWorks และ SolidWorks Simulation เพื่อเป็นข้อมูลสำคัญในการออกแบบ มีตัวแปรในการออกแบบประกอบด้วย 1) ความกว้างที่เหมาะสมของล้อ Run flat 2) รัศมีภายในและภายนอก 3) วัสดุที่ใช้ในการสร้างล้อ Run flat และชุดอุปกรณ์การล้อค 4) น้ำหนักรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 1,800 กก. 5) ขนาดล้ออัลลอย

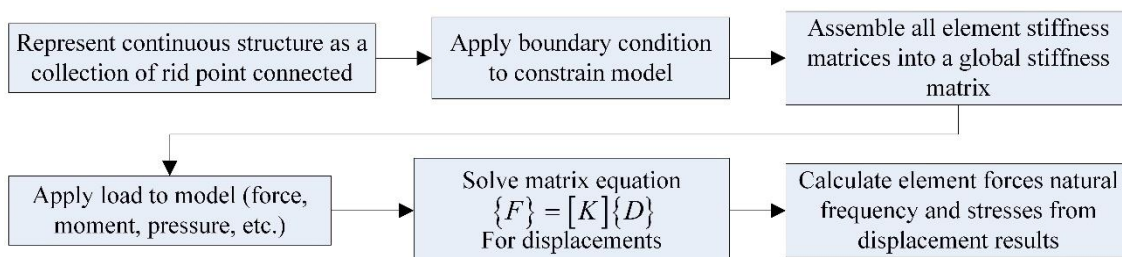
7.5Jx17 inch 6) ยางเรเดียล 265/65 R17 7) ความดันลมยาง 8) วงล้อ Run flat หนึ่งชุดอาจแบ่งออกเป็นสองชิ้น มีกรอบการวิจัยดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กรอบการวิจัย (Conceptual Framework)

3.2 การวิเคราะห์ความเค้นและความเครียดของล้อรันแฟลทด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

กระบวนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงดังรูปที่ 3.3 ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการ คือ 1) Preprocessing 2) Solve Processing และ 3) Post Processing เริ่มจากการนำโมเดลล้อรันแฟลทที่ประกอบเข้ากับล้ออัลลอย (กระทะล้อ) เข้าสู่โปรแกรม SolidWorks Simulaion เลือกประเภทการวิเคราะห์แบบสถิต (Static Analysis) โดยในขั้นตอนแรกต้องกำหนดวัสดุของชิ้นงานโดยล้อรันแฟลทเดิมคือโลหะ AISI 1045 และกำหนดล้ออัลลอยเป็น Alloy Steel (SS) [63] กำหนดการจับยึดโดยให้ล้อรันแฟลทสัมผัสกับล้ออัลลอยให้เป็นการสัมผัสแบบ No penetration และกำหนดรูปแบบการจับยึดของล้อรันแฟลทเป็นการจับยึดแบบ Bolt สร้างฐานก่อนสี่เหลี่ยมขึ้นมาโดยการจำลองให้ล้อไปกดที่ฐานก่อนสี่เหลี่ยมนั้น จากนั้นจับยึดดุมล้ออัลลอยแบบ Fixed Geometry ให้ล้อไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และใส่แรงกดลงไปที่ฐานก่อนสี่เหลี่ยมขนาด 10,000 นิวตัน เมื่อใส่ค่าทั้งหมดครบแล้วไปที่คำสั่ง Mesh เลือก Create Mesh เพื่อให้โปรแกรมสร้างสมการคำนวณในแต่ละพื้นที่จากนั้นกด Run This Study โปรแกรมจะแสดงผลค่าความเค้น ความเครียดและการเสียรูป



รูปที่ 3.3 กระบวนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

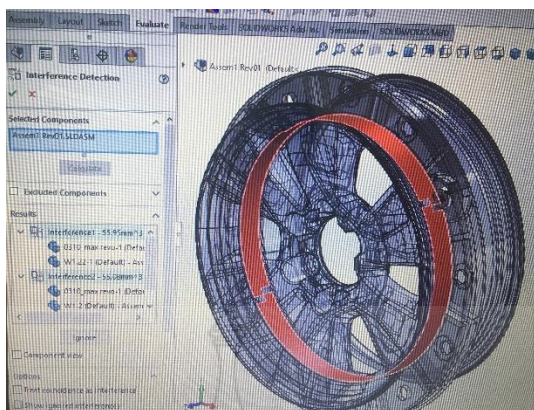


รูปที่ 3.4 โมเดล 3 มิติ ของล้อรันแพลท และกระทะล้อของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลขนาดเล็ก



รูปที่ 3.5 การประกอบล้อรันแพลทเข้ากับกระทะล้อ

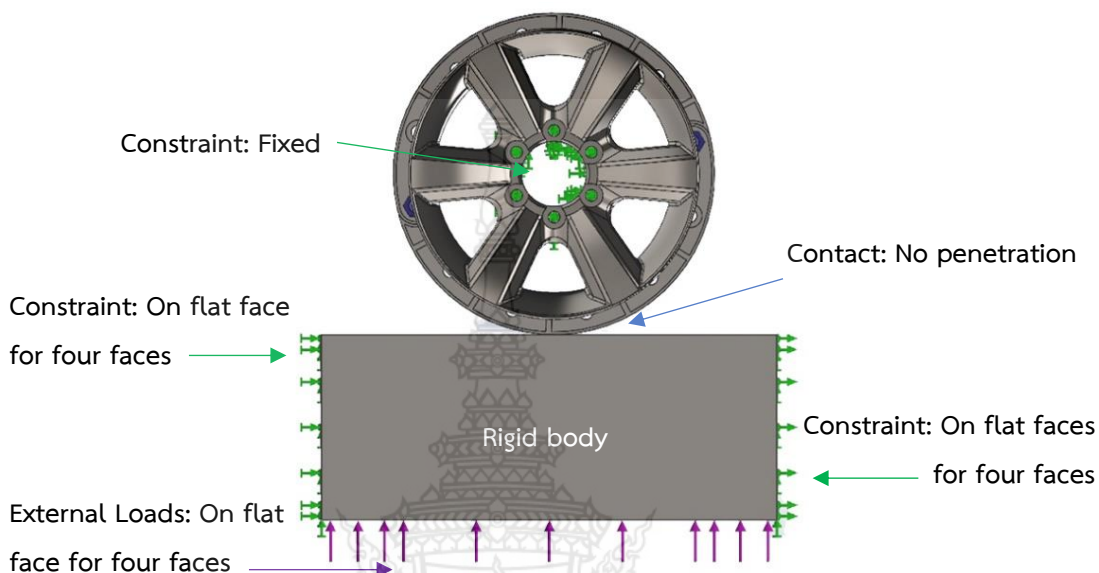
จากรูปที่ 3.4 เป็นโมเดล 3 มิติ ของล้อรันแพลทและกระทะล้อสำหรับใช้วิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และนำมาประกอบเข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.5 ทั้งนี้จะต้องทำการตรวจสอบการเกยกันของแต่ละชิ้นส่วนที่นำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยใช้คำสั่ง Interference Detection ดังรูปที่ 3.6 หากพบการเกยกันจะต้องทำการแก้ไขโมเดล



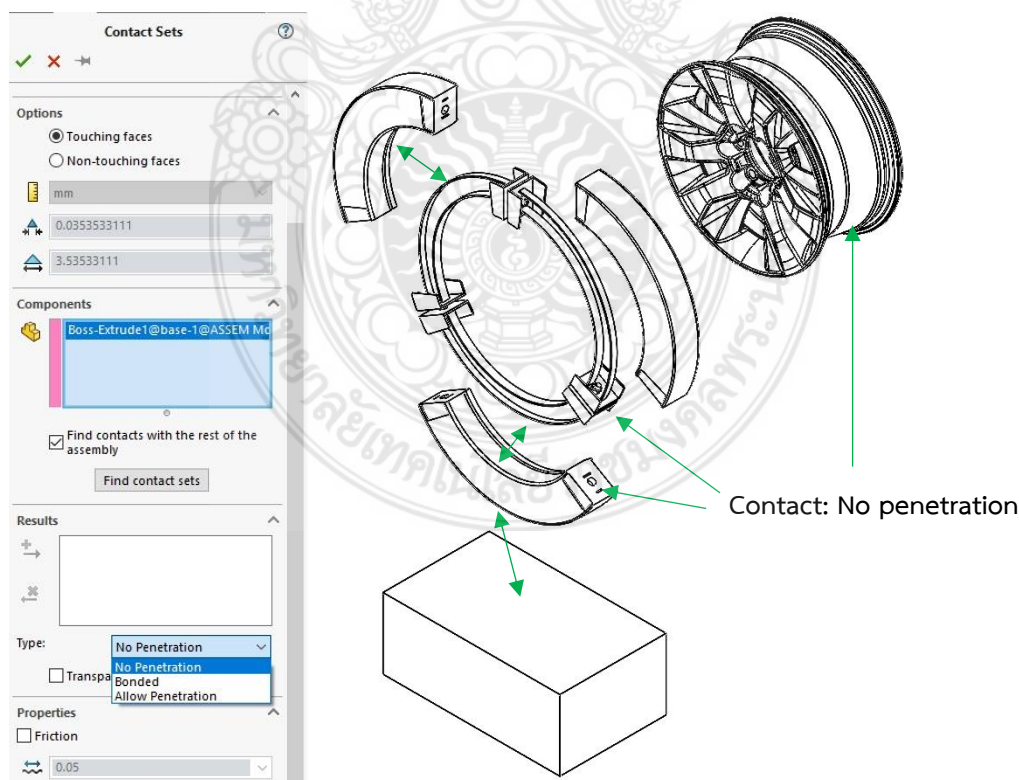
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการเกยกันของชิ้นงานระหว่างกระทะล้อและล้อรันแฟลท

สำหรับกระบวนการ Pre-processing เป็นการเตรียมการโมเดล 3 มิติ ที่ออกแบบและสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม SolidWorks กำหนดสมบัติของวัสดุ ดังตารางที่ 3.2 วัสดุ Aluminum Alloy ใช้กำหนดให้กับล้อแม็กอัลลอย [63] สำหรับ AISI 1020 ใช้กำหนดให้กับล้อเหล็กรันแฟลท ซึ่งเป็นล้อรันแฟลทเดิม และ Rubber ใช้สำหรับล้อรันแฟลทแบบใหม่ การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันจะเกิดหน้าสัมผัสระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ดังนั้นการกำหนดจะเป็นแบบ No Penetration และแบบ Bonded สำหรับการจับยึด (Fixtures) ให้กำหนดที่หน้าแปลนของล้อแม็กและบนพื้นผิวของรูโบลท์ทั้ง 6 รู ส่วนล้อรันแฟลทจะกดเข้ากับถนน ซึ่งในที่นี้ออกแบบเป็นฐานก้อนสี่เหลี่ยมกดเข้าไปยังล้อรันแฟลท แรงที่ใช้ในการกดอัดมีค่าเท่ากับ 4,905 และ 7,848 N เปรียบเสมือนมวลของตัวรถที่กดลงไปเท่ากับ $800 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 7848 \text{ นิวตัน}$ แบบ Static Analysis ไปที่ล้อ Run-Flat โดยมุมกดที่เริ่มต้นการกดให้ เป็น 0, 30, 45 และ 60 องศา ค่าแรงนี้ใช้สำหรับกรณีการวิเคราะห์เพื่อนำค่าความเครียดที่วิเคราะห์ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าความเครียดจากการทดลองเท่านั้น เพื่อยืนยันผลความถูกต้องและพิสูจน์ขีดความสามารถในการวิเคราะห์ของโปรแกรม SolidWorks Simulation สำหรับก้อนสี่เหลี่ยมที่เป็นฐานกดเข้ากับล้อรันแฟลทจะต้องทำการกำหนดเงื่อนไขการจับยึดด้วย เพื่อให้ฐานก้อนสี่เหลี่ยมเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้งเท่านั้น โดยพื้นผิวรอบด้านทั้ง 4 ด้านจะได้รับการกำหนดแบบ On Flat faces ให้สามารถเคลื่อนที่ได้เฉพาะในแนวตั้ง ดังรูปที่ 3.6 กำหนดชนิดของเอลิเมนต์เป็นแบบ 10 Nodes Tetrahedral แบ่งเอลิเมนต์โดยกำหนด Mesh Parameters เป็นแบบ Curvature-based Mesh ซึ่งจะได้ Maximum Element Size ควบคุมขนาดเอลิเมนต์ที่ล้อรันแฟลทและฐานก้อนสี่เหลี่ยมด้วยขนาด 6-30 มิลลิเมตร และได้จำนวนเอลิเมนต์มากกว่า 200,000 เอลิเมนต์ตามลำดับ สำหรับกระบวนการ Solve Processing นั้นได้ใช้รูปแบบสมการการคำนวณของโปรแกรมแบบ Direct sparse solver กระบวนการ Post-processing คือ การนำเสนอผลการวิเคราะห์ที่ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ค่าความเครียด ซึ่งจะต้องปรับค่าความเครียดที่แสดงออกมาให้มีทิศทางที่ถูกต้องสอดคล้องกับทิศทางที่ติดตั้ง strain gage ลงไป และความแข็งแรงของล้อรันแฟลทที่สามารถ

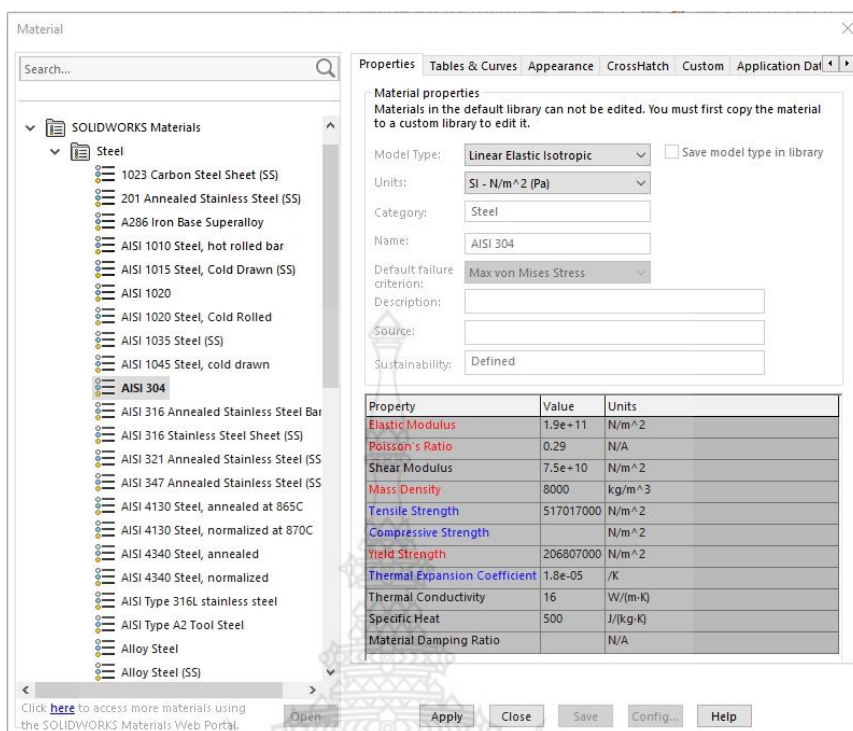
ต้านทานแรงอัดกำลังสูงได้โดยไม่เกิดความเสียหาย โดยอธิบายด้วยค่าความเค้นสูงสุดและการเสียรูปที่อยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น ใช้ความเค้นที่ได้มาจากสมการพลังงานการเสียรูปสูงสุด (Maximum Distortion Energy) ในรูปของ Von Mises และการเสียรูปของล้อรันแพลท



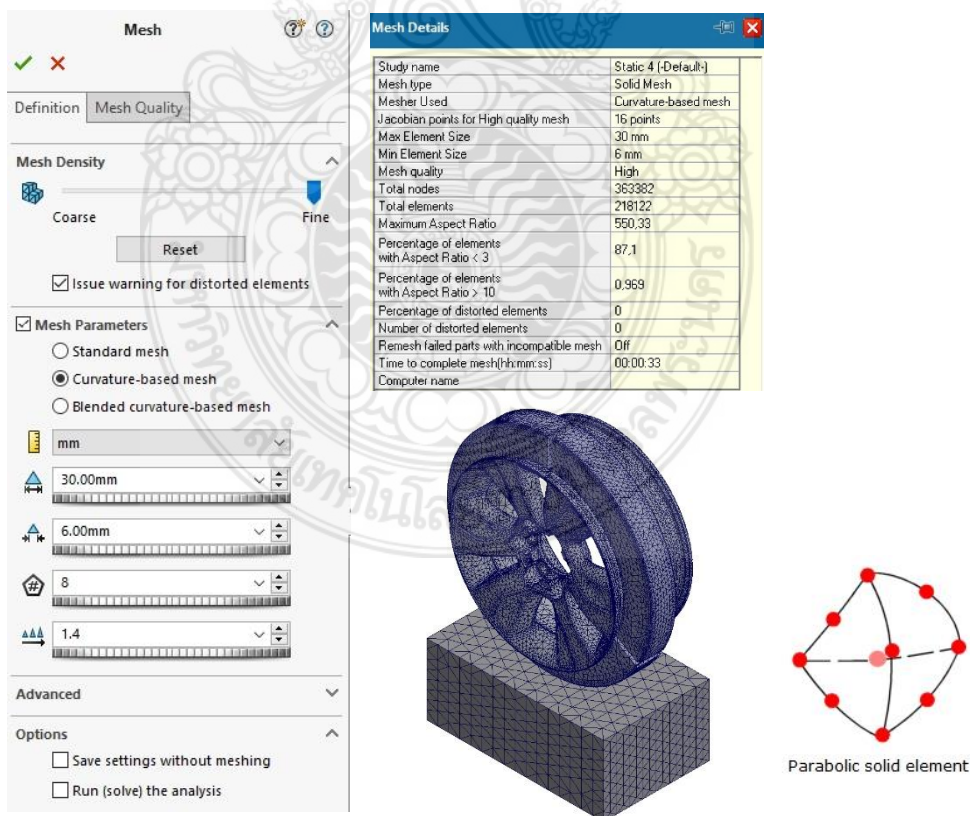
รูปที่ 3.7 โมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับกระทะล้อและล้อรันแพลทแบบเดิม



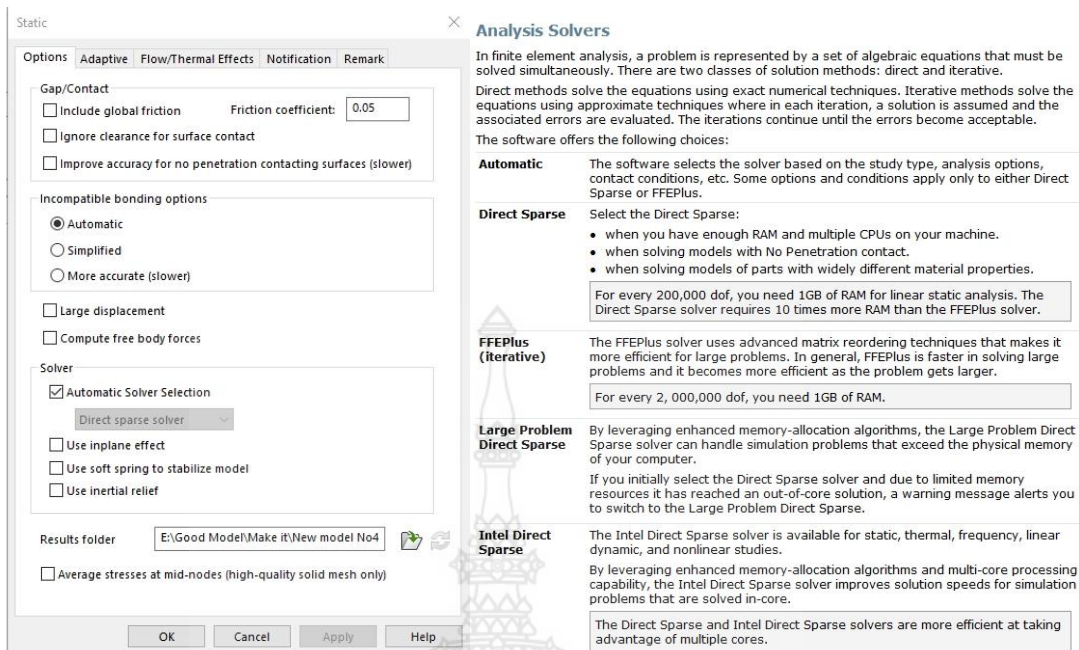
รูปที่ 3.8 การกำหนดหน้าสัมผัส (Contact) ระหว่างพื้นผิวของชิ้นส่วนต่างๆ



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการกำหนดชนิดวัสดุ SUS304



รูปที่ 3.10 เอลิเมนต์และการกำหนดค่าเพื่อแบ่งเอลิเมนต์



รูปที่ 3.11 การค่าตัวเลือกการวิเคราะห์เป็นแบบ Direct sparse solver

(a)

Stress Component	Description
VON	von Mises stress
VONDC: von Mises [Directional Components]	Available only for Linear Dynamic - Harmonic studies. The solver performs the von Mises stress calculations more accurately by taking into account the proper signs (positive or negative) of the six stress components.
P1	Normal stress in the first principal direction
P2	Normal stress in the second principal direction
P3	Normal stress in the third principal direction
INT	Stress intensity = $P1 - P3$ (a)
TRI	Triaxial stress = $P1 + P2 + P3$ (Sum of principal stress components. Also called the first stress invariant because the value remains the same regardless of the coordinate transformation you apply to the stress tensor.)
SX	Normal stress in the X-direction of the selected reference geometry
SY	Normal stress in the Y-direction of the selected reference geometry
SZ	Normal stress in the Z-direction of the selected reference geometry
TXY	Shear stress in the Y-direction acting on the plane normal to X-direction of the selected reference geometry
TXZ	Shear stress in the Z-direction acting on the plane normal to X-direction of the selected reference geometry
TYZ	Shear stress in the Z-direction acting the plane normal to Y-direction of the selected reference geometry
ERR	Energy Norm Error (available for static and drop test studies)
CP	Contact Pressure (b)
ILTXZ	Interlaminar shear on XZ plane
ILTYZ	Interlaminar shear on YZ plane

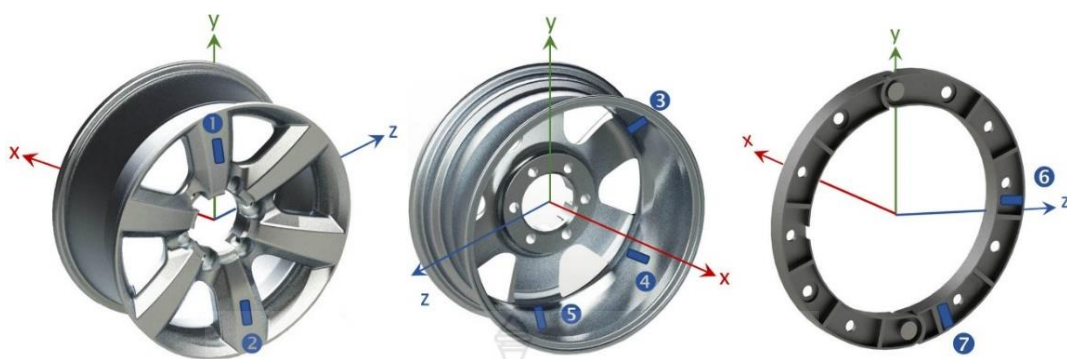
(c)

รูปที่ 3.12 การแสดงผลลัพธ์ (a) หน้าต่างการตั้งค่าความเครียดในทิศทางต่างๆ (b) การใช้ prove ในการแสดงผลค่าความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ และ (c) คำจำกัดความของ Stress components

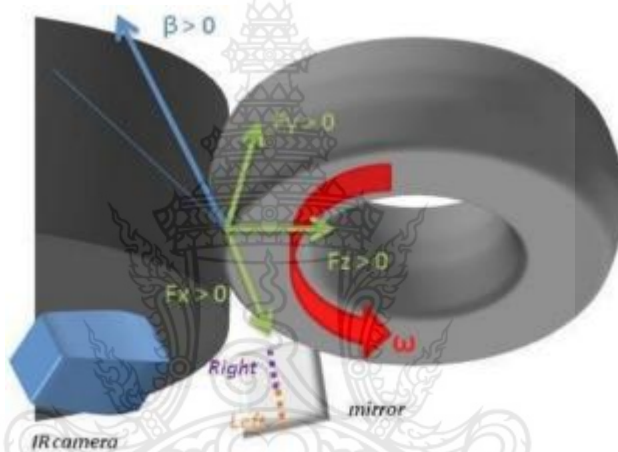
จากรูปที่ 3.8 ต้องทำการกำหนดคุณสมบัติระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ประกอบด้วย การกำหนดค่า No penetration ให้กับพื้นผิวหน้าสัมผัสระหว่าง 1) โครงเหล็กไร้สนิมทั้ง 3 ชั้น กับวงล้อรันแพลททั้ง 3 ชั้น 2) พื้นผิววงล้อรันแพลทกับกระทะล้อ 3) พื้นผิวสัมผัสระหว่างล้อรันแพลทกับชิ้นส่วนแข็งเกร็ง (ตัวแทนถนน) โดยการกำหนดเหล่านี้จะอยู่บนสมมุติฐานที่ไม่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน การกำหนดค่าวัสดุ ให้กำหนดวัสดุสำหรับโครงเหล็กไร้สนิมเป็น SUS304 ที่มีสมบัติดังรูปที่ 3.9 และวงล้อรันแพลทเป็น UHMWPE Composite ที่ได้จากการทดสอบและทดลองจากงานวิจัยของ งามพรรณ ชะโล ซึ่งวัสดุทั้ง 2 ชนิด อยู่บนสมมุติฐานการวิเคราะห์ที่อยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น เป็นวัสดุที่มีสมบัติเหมือนกันในทุกทิศทาง (Isotropic materials) และมีเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) รูปที่ 3.10 เป็นการกำหนดชนิดของเอลิเมนต์เป็น Parabolic solid element หรือ Ten odes tetrahedral ด้วยพารามิเตอร์แบบ Curvature-based mesh ที่มีขนาดเอลิเมนต์ใหญ่สุด 30 mm และเอลิเมนต์ที่มีขนาดเล็กสุดประมาณ 6 mm ได้จำนวนเอลิเมนต์ที่ 218,122 เอลิเมนต์ จำนวน 363,382 โหนด ตัวเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์คือ Direct spare solver ดังรูปที่ 3.11 สำหรับการแสดงผลการวิเคราะห์จะเป็นการแสดงค่าความเครียดเพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าความเครียดในทิศทางต่าง ๆ ดังนั้นจะต้องกำหนดทิศทางแกนหรือการหมุนของชุดล้อให้ถูกต้อง เพื่อให้ค่าที่ได้สามารถนำไปเปรียบเทียบกันได้จริง และค่าความเค้นหรือความเครียดแต่ละทิศทางมีคำอธิบายดังรูปที่ 3.12 สำหรับการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นจะเป็นการแสดงผลด้วยค่าความเค้น Von mises

3.3 การหาค่าความเครียดของล้อรันแพลทด้วยการทดลอง

นำล้อรันแพลทประกอบเข้ากับล้ออัลลอย (กระทะล้อ) ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ที่มีขนาด 17 นิ้ว โดยที่ไม่ต้องใส่ยางรถยนต์ จากรูปที่ 3.13 เป็นการกำหนดตำแหน่งด้วยพิกัดฉาก x, y, z และกำหนดตำแหน่งติดตั้ง strain gage ลงไปที่กระทะล้อและล้อรันแพลท เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับการเปรียบเทียบค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจากการทดลองกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ทำการติดตั้งสเตรนเกจเข้ากับชุดล้อทั้งหมด 12 จุดตามรูปที่ 3.13 จากนั้นติดตั้งสายสัญญาณ Strain gage เข้ากับเครื่อง Data logger และนำเข้าเครื่องทดสอบการห้ามล้อ ดังรูปที่ 3.14 ใช้แรงกดไฮดรอลิกขับเคลื่อนชุดล้อเข้าไปดันเข้ากับชุดดรัม (Test Drum) ของเครื่องทดสอบการห้ามล้อด้วยภาระ 7,000 นิวตัน โดยทำซ้ำ 10 ครั้ง เปรียบเสมือนเป็นการจำลองการทดสอบบนถนนจริง โดยมุมกดที่เริ่มต้นการกดให้เป็น 0,30,45 และ 60 องศา ค่าความเครียดจากสเตรนเกจจะไปแสดงที่ Data logger โดยมีหน่วย um/m ดังรูปที่ 3.14 นำผลที่ได้จาก Data logger มาบันทึกเป็นค่าความเค้นความเครียด จากรูปที่ 3.13 พบว่าด้วยกระทะล้อจะมี 6 ก้าน บนกระทะล้อตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 นั้น กับตำแหน่งหมายเลขที่ 7, 8, 9, 10, 11, และ 12 นั้นอาจจะไม่สามารถแสดงผลของค่าความเครียดที่เกิดขึ้นให้เป็นไปตามแกนต่างๆเพื่อการอ่านค่า เนื่องด้วยใช้ระบบพิกัดฉาก ดังนั้นในแต่ละตำแหน่งจะมีการหมุนชุดวงล้อให้ตำแหน่งการอ่านค่า Strain gage นั้นตรงกันกับทิศทางของแกนระบบพิกัดฉาก



รูปที่ 3.13 ตำแหน่งติดตั้ง Strain gage ลงบนกระทะล้อและล้อรันแฟลท



รูปที่ 3.14 โครงสร้างระบบทดสอบหาค่าความเครียดด้วยเครื่องทดสอบการห้ามล้อ [65]

3.4 การออกแบบล้อรันแฟลทสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

การออกแบบล้อรันแฟลทจะใช้กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยหรือวิศวกรรมย้อนกลับ เพื่อสร้างโมเดล 3 มิติของกระทะล้อ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างวงล้อรันแฟลทต่อไป โดยเมื่อทำสำเร็จแล้ว วิศวกรรมย้อนกลับจะให้สำเนาเสมือนของพิมพ์เขียวที่นำไปใช้กับการออกแบบต้นฉบับ นั่นคือ ล้อรันแฟลทจะสามารถสวมเข้ากับกระทะล้อได้อย่างแนบสนิท

วิศวกรรมย้อนรอยอาจเป็นวิธีที่แม่นยำที่สุดในการสร้างการออกแบบใหม่สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เลิกผลิตไปเมื่อหลายสิบปีก่อน ในกรณีที่พิมพ์เขียวดั้งเดิมสูญหายหรือถูกทำลายไปนาน วิศวกรรมย้อนรอยอาจเป็นวิธีเดียวที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวกลับมาคืนกลับมา สามารถติดตามขั้นตอนของการออกแบบและใช้ข้อมูลเชิงลึกเหล่านั้นเพื่อสร้างแบบจำลองใหม่ ซ่อมแซมชิ้นส่วน หรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์ในอนาคต บางครั้งบริษัทต่างๆ ใช้วิศวกรรมย้อนรอยเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลการออกแบบของผลิตภัณฑ์ที่เลิกผลิตไปนานแล้ว ตัวอย่างเช่น บริษัทขนาดเล็กที่อยู่ในธุรกิจมานานกว่า 40 ปีอาจผลิต

ผลิตภัณฑ์จำนวนมากก่อนการออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยและการจัดเก็บไฟล์ดิจิทัล ดังนั้นผลิตภัณฑ์รุ่นเก่าเหล่านี้อาจใช้พิมพ์เขียวกระดาษที่หายไปนาน ด้วยวิศวกรรมย้อนกลับ บริษัทต่างๆ สามารถกู้คืนการออกแบบที่หายไป และสร้างที่เก็บถาวรของผลิตภัณฑ์ของตนใหม่ได้

เริ่มจากการนำล้ออัลลอยไปติดตั้งลงบนแท่นจับชิ้นงานและสร้างโมเดลกระทะล้อด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ FARO Measurement FARO P06-05 3 มิติ รูปที่ 3.15 ซึ่งจะทำให้ได้พิกัดต่างๆบนผิวกระทะล้อ จากนั้นทำการสร้างพื้นผิวด้วยชุดคำสั่ง Surface โดยใช้โปรแกรม SolidWorks และเปลี่ยน Surface modeling เป็น Solid Modeling ภายหลังจากการได้ Solid modeling จะต้องทำการตรวจสอบพื้นผิวอีกครั้งจากนั้นทำการผ่าครึ่งกระทะล้อ เพื่อให้ได้หน้าตัดดังรูปที่ 3.16 เพื่อใช้เส้นของนอกเป็นแนวอ้างอิงสำหรับการสร้างล้อรันแฟลทต่อไป



รูปที่ 3.15 เครื่องสแกนเลเซอร์ FARO P06-05 3 มิติ



รูปที่ 3.16 หน้าตัดของล้ออัลลอยเป็นตัวกำหนดในการออกแบบ

จากรูปที่ 3.16 ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของกระทะล้อสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล จากลักษณะดังกล่าวทำให้สามารถออกแบบเป็นวงล้อรันแฟลทที่จะเข้าไปประกบได้และสามารถล็อคให้แน่นได้

โดยที่ตำแหน่งหมายเลข 1 และหมายเลข 2 จะเป็นตำแหน่งล้อคโมให้วงล้อรันแพลทที่ออกแบบมาเคลื่อนที่ แนวความชันหมายเลข 3 เป็นความชันที่จะช่วยป้องกันไม่ให้วงล้อรันแพลทที่เข้ามาสวมเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งที่ประกอบเข้าไป ทั้งนี้ วงล้อรันแพลทจะกว้างมาหรือน้อยขึ้นอยู่กับรูปร่างของแนวขอบกระทะล้อและน้ำหนักของรถยนต์ที่ตกลงมา หากน้ำหนักมากจะส่งผลให้แรงกดมีค่ามาก ดังนั้นจะต้องออกแบบให้วงล้อมีความกว้างเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับความสูงของวงล้อรันแพลทจะมากหรือน้อยย่อมมีความจำเป็น เนื่องด้วยหากวงล้อรันแพลทมีความสูงมากเท่าใดนั่นคือระยะระหว่างวงล้อรันแพลทกับพื้นผิวทางด้านในน้อยลง ซึ่งอาจเกิดการกระแทกได้หากล้อยางรถยนต์ไม่แบนและรถยนต์วิ่งด้วยความเร็วปกติทั่วไป ล้อรันแพลทถูกออกแบบเพื่อให้รถยนต์สามารถวิ่งได้ภายในเงื่อนไขที่ยางรถยนต์ไม่มีลมยางและจำกัดความเร็วในการวิ่งประมาณ 30-80 km/hr ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ประเภทของล้อรันแพลท น้ำหนักรถยนต์ เป็นต้น จากตารางที่ 3.1-3.3 เป็นสมบัติของวัสดุสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ตารางที่ 3.1 Mechanical Properties of AISI 1020

Materials	AISI 1020
Elastic Modulus	200 GPa
Poisson's Ratio	0.29
Shear Modulus	77 GPa
Mass Density	7,900 kg/m ³
Tensile Strength	420 MPa
Yield Strength	351 MPa

ตารางที่ 3.2 Mechanical Properties of Alloy Wheel [66]

Mechanical Property	Value
Young's Modulus	22.29 GPa
Yield Stress	222.5 MPa
Poisson's Ratio	0.42
Ultimate Tensile Stress	69.2 MPa
Percentage elongtion	2.8 %
Brinell hardness	48

ตารางที่ 3.3 Mechanical Properties of Rubber (typical range) Wheel

Mechanical Property	Value
Young's Modulus	0.76-7.60 MPa
Bulk Modulus	3,000-3,500 MPa
Poisson's Ratio	-0.50
Shear Modulus	0.35-1.38 MPa

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานในบทที่ 3 จึงได้ผลการดำเนินงานต่างๆ ประกอบด้วย ผลการทดลองเพื่อหาค่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับล้อรถเพลทโลหะและกระทะล้อ ผลการวิเคราะห์ความเครียดของล้อรถเพลทแบบเดิม (ล้อโลหะ) ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากนั้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเครียดทั้งสองวิธีเพื่อตรวจสอบขีดความสามารถของโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ และเป็นวิธีการนำไปสู่การออกแบบล้อรถเพลทแบบใหม่สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่วิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์อันแสดงให้เห็นถึงการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในล้อรถเพลทและกระทะล้อ มีรายละเอียดดังหัวข้อต่างๆ ต่อไปนี้

4.1 ผลการดำเนินงานและทดสอบความเครียดของล้อรถเพลทแบบเดิม

จากระเบียบวิธีวิจัยในบทที่ 3 ได้นำไปสู่การดำเนินงานทดลองและวิเคราะห์ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนล้อรถเพลทและกระทะล้อ เมื่อนำล้อรถเพลทกับกระทะล้อประกอบเข้าด้วยกันและติดตั้ง Strain gage รูปที่ 4.1-4.2 ณ ตำแหน่งต่างๆ และติดตั้งล้อรถเพลทเข้ากับกระทะล้อ นำ Strain gage เชื่อมต่อกับ KYOWA รุ่น EDX-200A ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดและบันทึกสัญญาณ และมี DCS-100A เป็นโปรแกรมช่วยให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถควบคุมการทำงานของ EDX-200A ได้ เช่น การแสดงผลการบันทึกข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล ผ่านการสื่อสารทางสาย USB จากนั้นนำชุดกระทะล้อไปติดตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนของยางล้อ ของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มทร.พระนคร รูปที่ 4.3 และบันทึกค่าความเครียดที่ได้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ Strain gages ที่เลือกใช้นี้เป็นของ KYOWA ชนิด KFG-5-120-C1-11L3M2R มี Gages length เท่ากับ 5 มิลลิเมตร เมื่อติดตั้งแล้วได้ทำการวัดค่าความต้านทานของ Strain gages ทุกตัว ซึ่ง Gages resistance ที่อุณหภูมิบรรยากาศเป็น 24, 50% RH อ่านค่าได้ในช่วง 120.0 – 120.8 Ω



รูปที่ 4.1 การประกอบล้อรถเพลทและติดตั้งสเตรนเกจที่ล้ออัลลอยกับล้อรถเพลท



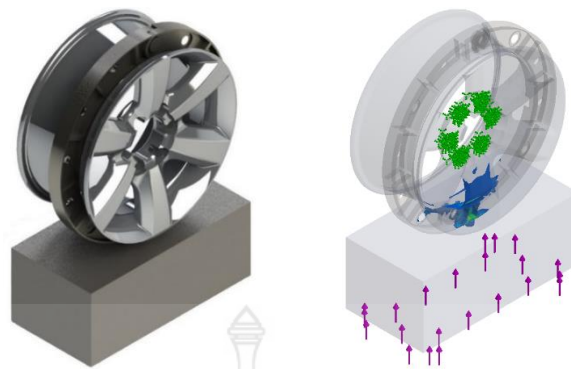
รูปที่ 4.2 การติดตั้ง Strain gage เข้ากับกระทะล้อและล้อรันแพลท



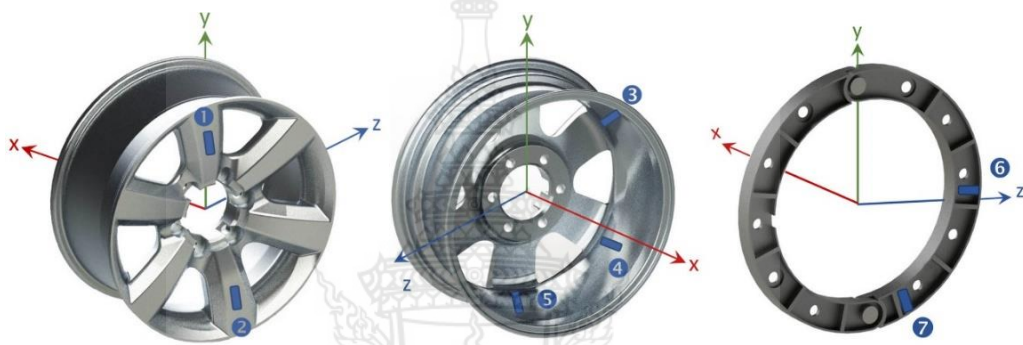
รูปที่ 4.3 การติดตั้งกระทะล้อและล้อรันแพลทเข้ากับอุปกรณ์การทดสอบ

4.2 ผลการวิเคราะห์ความเครียดของล้อรันแพลทแบบเดิมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลวิเคราะห์ความเครียดและการเสียรูปด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม SolidWorks Simulation จากการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.4 จะได้ค่าความเครียดออกมา ซึ่งจะใช้เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.6 เพื่อเป็นการยืนยันวิธีการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการห้ำมล้อว่าสอดคล้องกันหรือไม่ และเมื่อได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันจึงสรุปได้ว่าโปรแกรม SolidWorks Simulation มีขีดความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าว ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีได้แสดงออกมาเป็นค่าความเครียดตามจุดต่างๆ ดังรูปที่ 4.5-4.6 ได้ผลทั้งหมดดังตารางที่ 4.1 และการวิเคราะห์หาค่าความเครียดดังรูปที่ 4.4 ทำด้วยการเพิ่มแรงกดอัดจากพื้น (ก้อนสี่เหลี่ยม) และให้จุดยึดแน่นอยู่ที่ตุ้มล้อ จากการวิเคราะห์จะต้องทำการหมุนวงล้อรันแพลทและกระทะล้อในตำแหน่งที่ต้องการหาค่าความเครียดโดยอ้างอิงตำแหน่งสำคัญดังรูปที่ 4.4 การวิเคราะห์และการทดลองได้ผ่านขั้นตอนการทำซ้ำเพื่อปรับปรุงโมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์และการปรับตั้งการทดลองให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมและถูกต้อง สอดคล้องกัน ได้ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการหาค่าความเครียดจากทั้ง 2 วิธี ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าความแตกต่างอยู่ในช่วงร้อยละ 10-16



รูปที่ 4.4 โมเดลสามมิติและตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความเค้นด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 4.5 ตำแหน่งที่วัดค่าความเครียด



a) ตัวอย่างการเกิดความเครียดในแนวแกน x



b) ตัวอย่างการเกิดความเครียดในแนวแกน y

รูปที่ 4.6 ความเครียดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าความเครียดในแนวแกนระหว่าง Exp. กับ FEA

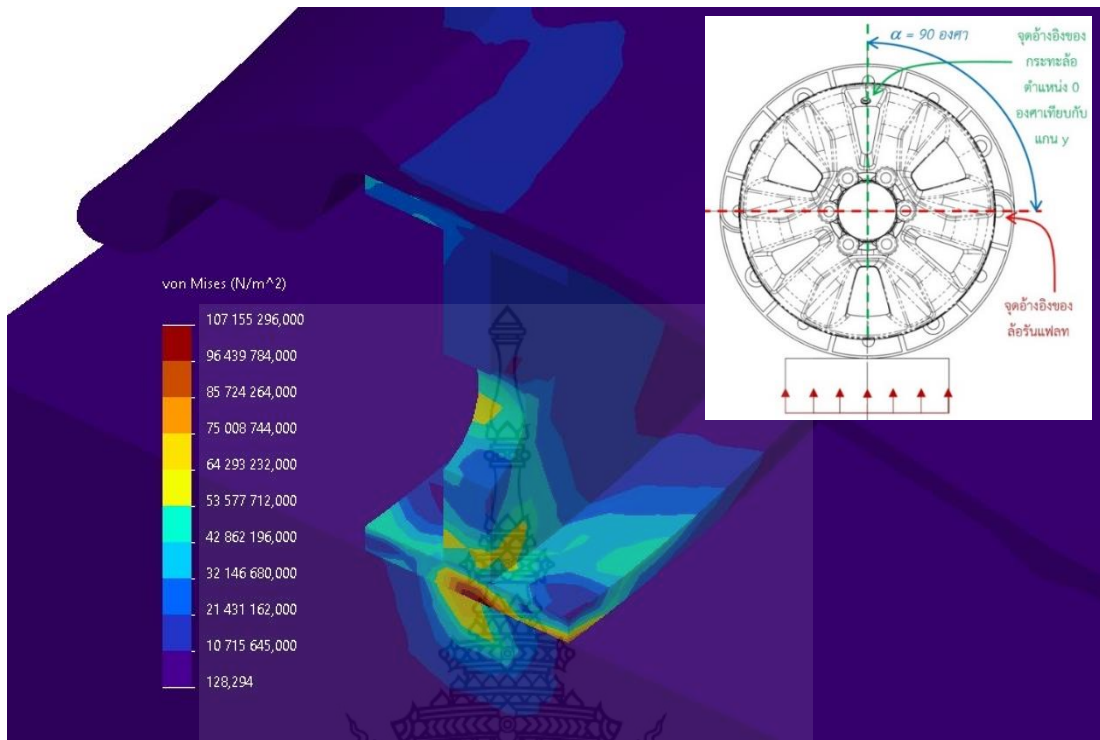
Point No.	Strain				% Diff.		Remark
	Experimental result		FEA result		m=500 kg	m=800 kg	
	m=500 kg	m=800 kg	m=500 kg	m=800 kg			
1	0.00000057	0.00000091	0.00000050	0.00000080	11.88	11.67	y direction
2	0.00002200	0.00003573	0.00001883	0.00003012	14.41	15.70	y direction
3	0.00000038	0.00000093	0.00000032	0.00000083	15.69	10.66	x direction
4	-0.00000198	-0.00000246	-0.00000166	-0.00000214	16.31	12.99	x direction
5	-0.00000180	-0.00000286	-0.00000151	-0.00000241	16.39	15.65	x direction
6	0.00000030	-0.00000041	0.00000027	-0.00000035	11.37	13.95	z direction
7	-0.00000499	-0.00000093	-0.00000444	-0.00000080	11.03	14.03	y direction

จากการเปรียบเทียบและได้ผลการวิเคราะห์และทดลองไปในทิศทางที่ถูกต้องและสอดคล้องกัน จึงได้ดำเนินการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นกับล้อรับแพลตฟอร์ม (ล้อโลหะ) และกระทะล้อ ได้ผลแสดง ดังรูปที่ 4.8-4.11 โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 กรณี ที่เกิดจากมุมการบิดของล้อรับแพลตฟอร์มร่วมกับมุม บิดของกระทะล้อดังรูปที่ 4.7 โดยจุดประสงค์ในการเปลี่ยนตำแหน่งของวงล้อรับแพลตฟอร์มกับกระทะล้อนี้ เพื่อตรวจสอบค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในตำแหน่งต่างๆ ผลการวิเคราะห์พบว่า ด้วยลักษณะของล้อรับ แพลตฟอร์มโลหะมีหน้าแคบจะส่งผลให้เกิดค่าความเค้นสูงที่ล้อรับแพลตฟอร์ม ณ ตำแหน่งที่ล้อรับแพลตฟอร์มสัมผัส กับถนน ค่าความเค้น Von Mises ที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งของล้อรับแพลตฟอร์มแบบดั้งเดิมเทียบกับแรง กดที่ค่าต่างๆ ตั้งแต่ 5000, 6000, 7000, 8000, 9000 และ 10,000 N แสดงดังตารางที่ 4.2

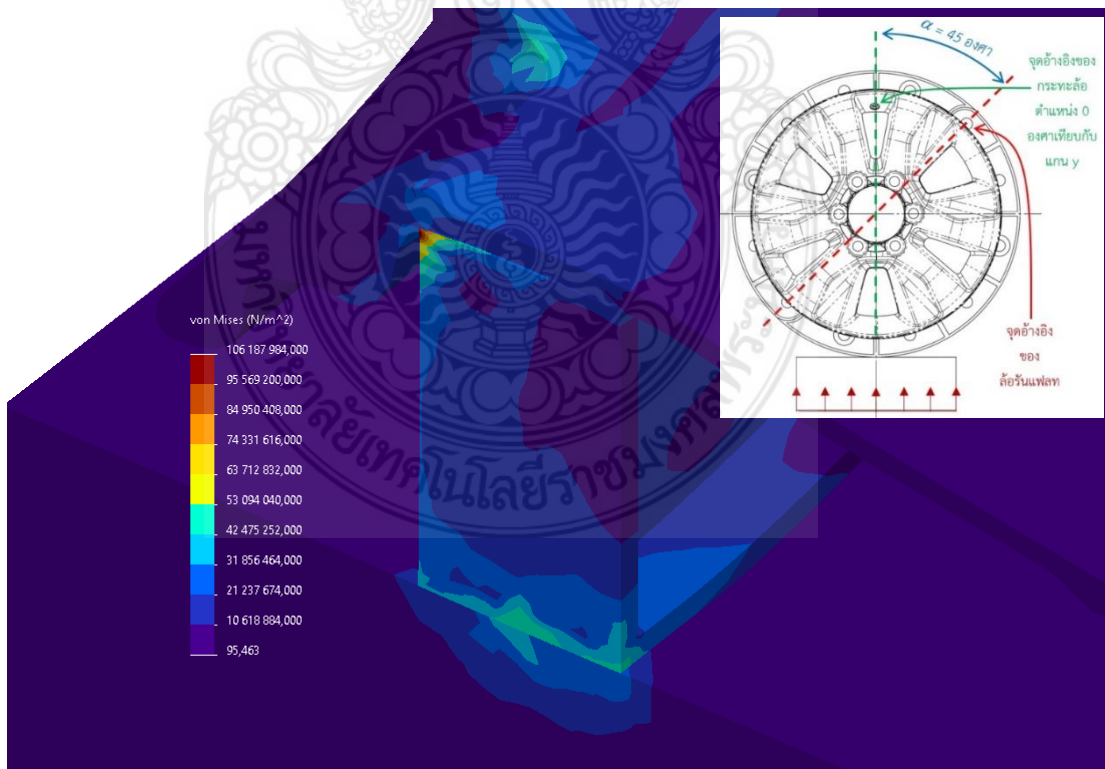
ตารางที่ 4.2 ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งของล้อรับแพลตฟอร์มแบบดั้งเดิม

กรณี	ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นที่แรงกระทำต่างๆ (MPa) (Von-Mises)					
	$F_c=5,000$ N (509 kg)	$F_c=6,000$ N (611 kg)	$F_c=7,000$ N (713 kg)	$F_c=8,000$ (815 kg)	$F_c=9,000$ (917 kg)	$F_c=10,000$ (1020 kg)
1	53.5	64.3	75.0	85.7	96.2	107.1
2	53.1	63.7	74.3	84.95	95.6	106.2
3	53.8	64.6	75.3	86.1	96.9	107.6
4	62.6	75.2	87.6	100.2	112.7	125.2

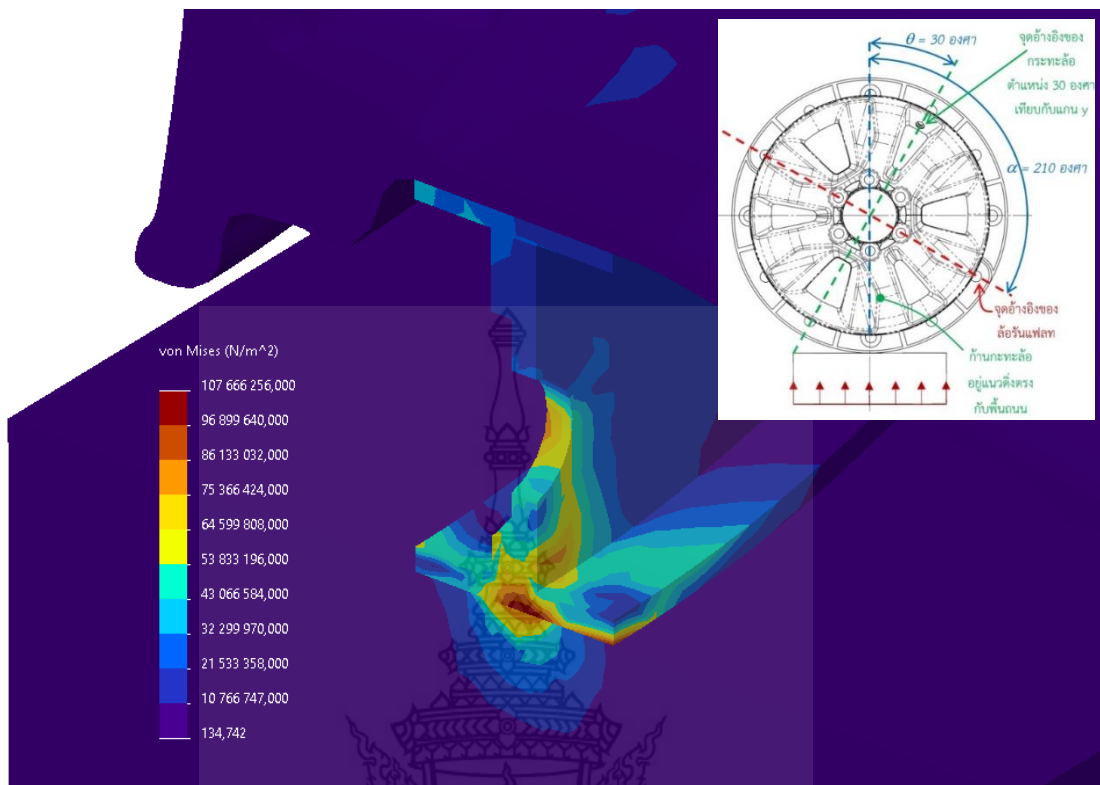
ค่าความเค้นที่จุดครากของวัสดุ AISI 1020 เท่ากับ 351.57 MPa ดังนั้นเมื่อพิจารณาความเค้น สูงสุดที่เกิดขึ้นด้วยภาระ 10,000 N พบว่ามีค่าเท่ากับ 125.2 MPa ดังนั้นค่าความปลอดภัยจึงเท่ากับ 2.8 หากพิจารณามวลของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เป็นล้อกระทะขนาด 17 นิ้ว เช่น Honda Civic จะมี น้ำหนักไม่เกิน 1,300 kg จะเกิดความเค้น 62.6 MPa มีค่าความปลอดภัย 5.6 (ทั้งนี้เป็นการพิจารณา ค่าความปลอดภัยจากน้ำหนักรถเปล่าเท่านั้น)



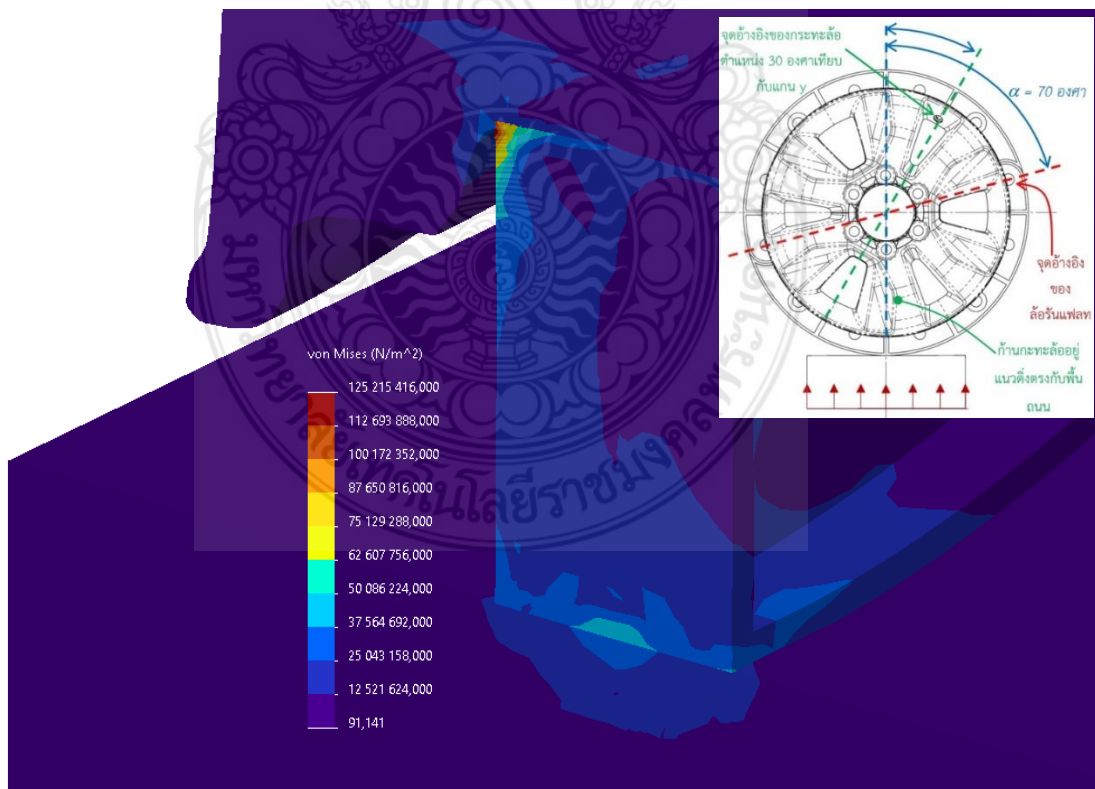
รูปที่ 4.7 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณล้อรับเพลทสำหรับกรณีที่ 1 ด้วยภาระ 10,000 N



รูปที่ 4.8 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณล้อรับเพลทสำหรับกรณีที่ 2 ด้วยภาระ 10,000 N



รูปที่ 4.9 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณล้อรับแพลตฟอร์มสำหรับกรณีที่ 3 ด้วยภาระ 10,000 N



รูปที่ 4.10 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณล้อรับแพลตฟอร์มสำหรับกรณีที่ 4 ด้วยภาระ 10,000 N

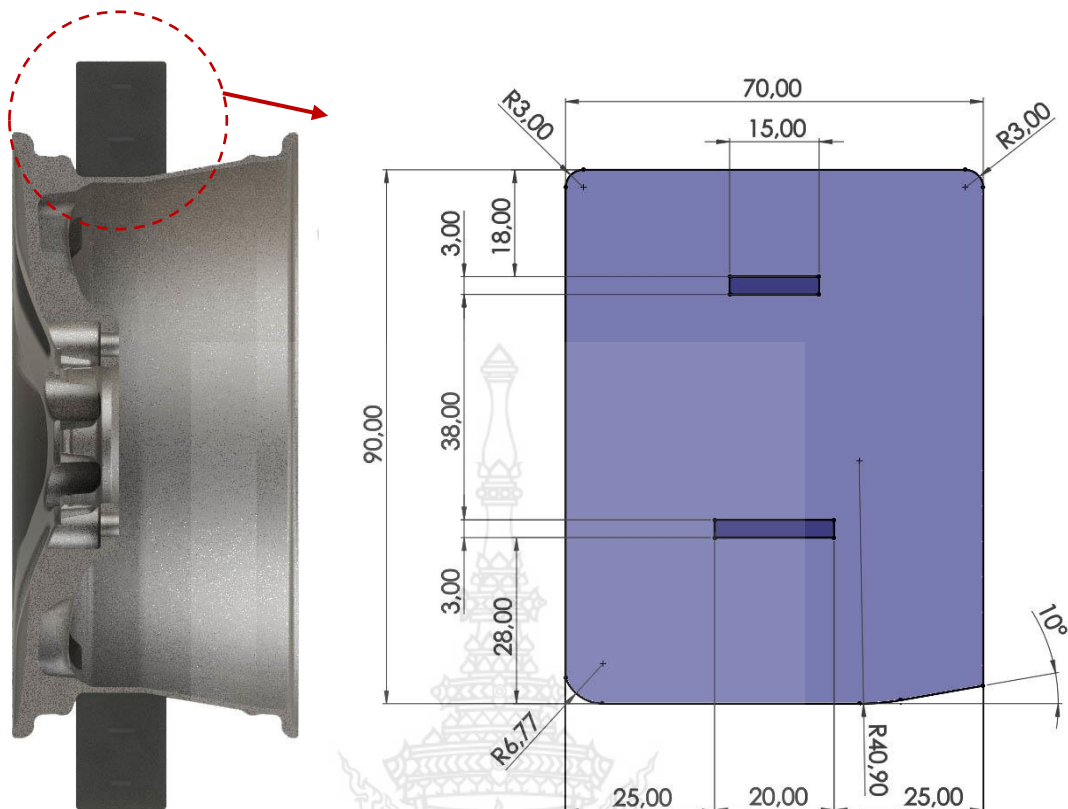
จากการตรวจสอบการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นตั้งแต่รูปที่ 4.7-4.10 และกำหนดแรงกดด้วยขนาดต่างๆ ที่แสดงดังตารางที่ 4.2 ทำให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้คือ จากรูปที่ 4.7 จะเห็นการกระจายของความเค้นเกิดขึ้นสูงสุดที่บริเวณล้อรันแพลทที่สัมผัสกับถนน ซึ่งจะเป็นพื้นที่ที่เป็น Radius web ของล้อรันแพลทและมีการเจาะรู แม้ว่าค่าความเค้นจะเกิดขึ้นสูง ณ ตำแหน่งดังรูปแต่เป็นเพียงจุดจุดหนึ่งเท่านั้น ในพื้นที่บริเวณอื่นๆ นั้นมีการกระจายของความเค้นเกิดขึ้นในช่วงสาม 20-30 MPa ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความเค้นที่จุดครากของล้อรันแพลทโลหะแบบเดิมนั้นมีค่าสูงเกินกว่าค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริง (ภายใต้ภาระแรงกดที่ 10,000 N) ซึ่งหากใช้ภาระที่ 5,000 N ที่กระทำแต่ละล้อ พบว่า ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริงจะลดลงกว่านี้ จึงเป็นเหตุผลให้สามารถที่จะเปลี่ยนวัสดุรวมถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหน้าตัดของล้อรันแพลทได้

4.3 ผลการออกแบบล้อรันแพลทแบบใหม่สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

เริ่มต้นจากการนำกระทะล้อของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไปสแกนด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ FARO Measurement FARO P06-05 ดังรูปที่ 4.11 และทำการสร้างพื้นผิวด้วยกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอย จึงได้โมเดล 3 มิติและแนวขอบกระทะล้อด้านในเพื่อใช้สำหรับออกแบบลักษณะหน้าตัดของล้อรันแพลท ดังรูปที่ 4.11 นำโมเดลกระทะล้อมาเป็นแม่แบบในการสร้างรันแพลทด้วยรูปร่าง เมื่อได้รูปแบบล้อรันแพลทและโมเดล 3 มิติที่เข้าได้กับกระทะล้อ ดังรูปที่ 4.12 จึงออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กไร้สนิม โดยโครงสร้างเหล็กไร้สนิมจะมีขนาดแปรเปลี่ยนไปตามขนาดหน้าตัดของรันแพลท จากรูปที่ 4.13 จะมีมุมสำหรับการถือล้อรันแพลท มุมทั้ง 2 นี้ใช้สำหรับป้องกันไม่ให้ล้อรันแพลทเคลื่อนที่หรือขยับออกทางด้านข้าง ล้อรันแพลทจะไม่สามารถขยับไปซ้ายหรือขวาได้ หากโครงสร้างเหล็กไร้สนิมได้รับการขันยึดเพื่อตั้งให้วงล้อรันแพลทแบบแน่นกับกระทะล้อมากเท่าใด ก็จะทำให้เกิดการล็อกแน่นมากขึ้นเท่านั้น

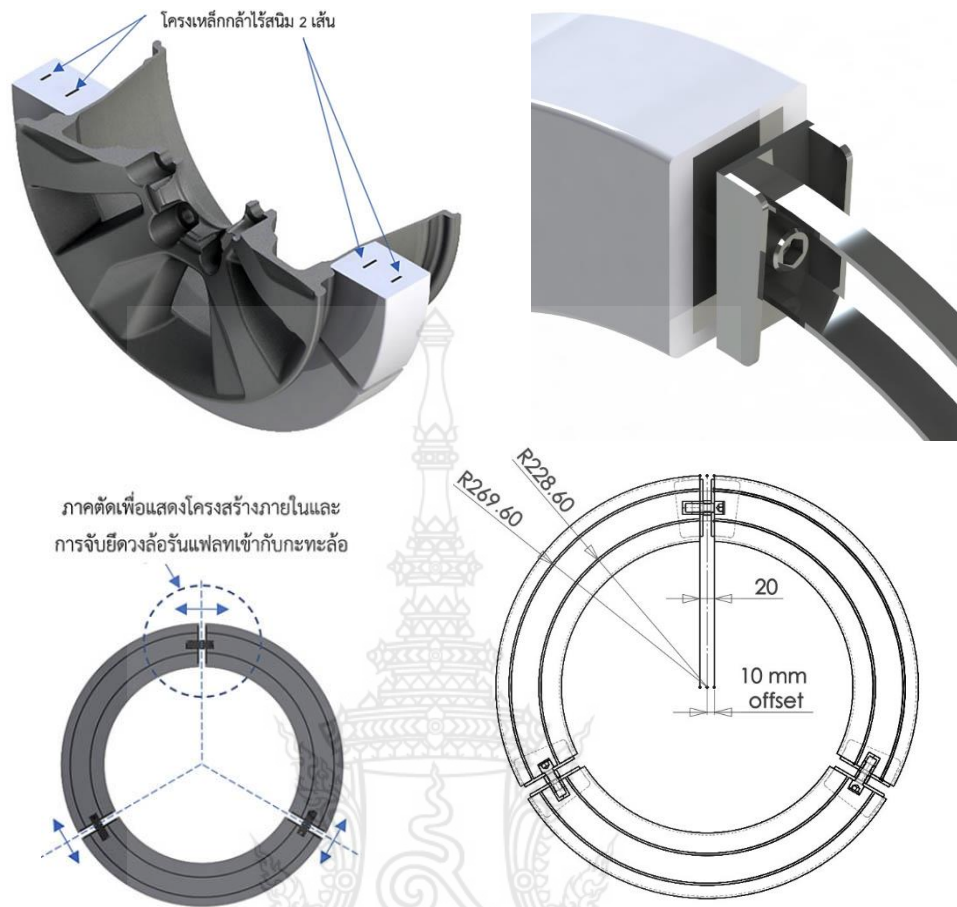


รูปที่ 4.11 สแกนล้ออัลลอยด้วยเครื่อง FARO P06-0513 และโมเดลกระทะล้อ 3 มิติ ที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ FARO



รูปที่ 4.12 การกำหนดตัวแปรควบคุมหน้าตัดของล้อรันแพลทแบบใหม่

จากรูปที่ 4.14 เมื่อได้กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ลงไปบนหน้าตัดล้อรันแพลท พบว่า หากเพิ่มระยะในแนวกว้างให้มากขึ้นจะส่งผลให้ความกว้างของหน้าแปลนเพิ่มมากขึ้นด้วยและมีพื้นที่ในการสัมผัสกับกระทะล้อรวมถึงพื้นที่ถนนมากยิ่งขึ้น การกระจายภาระที่เป็นแรงกดก็จะทำได้ดี ความเค้นที่เกิดขึ้นก็จะลดลง เมื่อได้ทำการออกแบบรูปร่างหน้าตัด และได้ทำการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากรูปที่ 4.13 จะเป็นการแสดงภาคตัดโครงสร้างภายในของวงล้อรันแพลทที่มีโครงเหล็กแผ่นจำนวนสองเส้นเปรียบเสมือนเป็นกระดูกสันหลังให้กับวงล้อรันแพลท สามารถที่จะยึดล้อรันแพลทให้แนบแน่นกับกระทะล้อได้อย่างดี ทั้งนี้ในการขันยึดจะต้องใช้ประแจปากตายใส่เข้าไประหว่างชิ้นส่วนล้อรันแพลททั้งสองชิ้นและขันเข้าเพื่อทำการตรึงชิ้นส่วนล้อรันแพลทแต่ละชิ้นเข้าหากัน ส่วนประกอบและการประกอบวงล้อรันแพลทเข้ากับกระทะล้อแสดงเป็นภาพระเบิดได้ดังรูปที่ 4.14 การออกแบบให้มีชิ้นส่วนจำนวน 3 ชิ้นนั้น นอกจากจะทำให้การประกอบล้อรันแพลทเข้าไปประกบกับกระทะล้อในขณะที่ต้องใส่ยางรถยนต์ด้วยนั้นง่ายขึ้นแล้ว ยังส่งผลให้รันแพลทสามารถประกบได้แนบสนิทและแน่นกับกระทะล้อ ในกรณีที่มียรันแพลทสองชิ้นนั้นจะส่งผลให้การประกบไม่แน่นและมีช่องว่าง แต่การออกแบบให้รันแพลทมีจำนวน 4 ชิ้น พบว่าสามารถดำเนินการได้แต่ไม่มีความจำเป็นและจะส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตตามมา



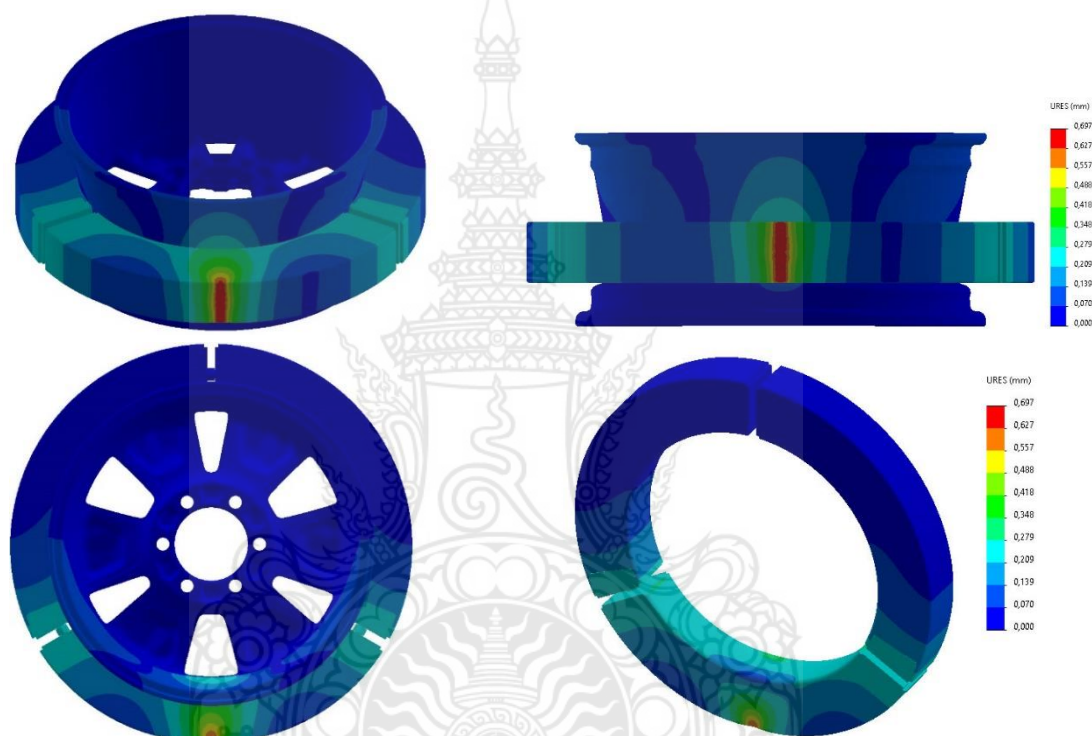
รูปที่ 4.13 ภาคตัดแสดงโครงสร้างภายในและชุดอุปกรณ์การล้อค



รูปที่ 4.14 ส่วนประกอบของล้อยางรันแพลทและการประกอบ

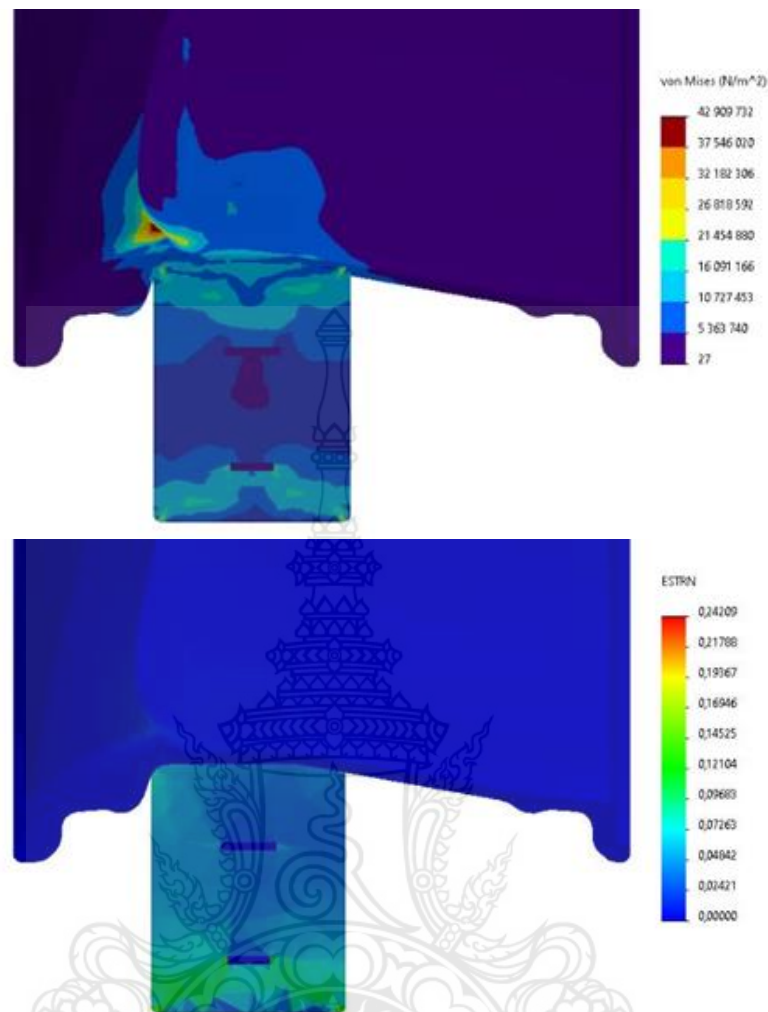
4.4 ผลการทดลองและผลวิเคราะห์ความเครียดของล้อรถด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลองได้ผลการเปรียบเทียบค่าความเครียดในแนวแกน x และแกน y แสดงดังตารางที่ 4.3 โดยวัดค่าความเครียดที่ 7 ตำแหน่งด้วยกัน ซึ่งพบว่าการผลการทดลองและผลวิเคราะห์ความเครียดของล้อรถด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าความแตกต่างของทั้งสองวิธีอยู่ในช่วงร้อยละ 10 ถึง 16 ทิศทางของผลลัพธ์จากทั้งสองวิธีมีความสอดคล้องกัน



รูปที่ 4.15 การเสียรูปในโหมด URES (Resultant displacement) ที่สเกลการเสียรูป 10x ด้วยแรงกด 4,400 N

จากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นถึงการเสียรูปในโหมด URES (Resultant displacement) ที่สเกล 10x ด้วยแรงกดที่ 4,400 N เป็นแรงกดที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และรูปที่ 4.16 เป็นการกระจายความเค้นบนหน้าตัดล้อรถที่แรงกด 4,400 N เช่นกัน ซึ่งเมื่อมีแรงกดที่เพิ่มมากขึ้นเท่าใด จะมีค่าความปลอดภัยมีค่าน้อยลง โดยขณะที่ค่าของความเค้นและความเครียดยิ่งมากขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4.16 การกระจายความเค้นบนหน้าตัดล้อรีนฟเลทที่แรงกด 4,400 N

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับล้อรีนฟเลทใหม่ด้วย Rubber Composite

Results	Compressive force/Wheel, (N)		
	2,700	3,700	4,400
Max. Von Mises stress (MPa)	22.4	24.7	26.3
Equivalent Strain, (ESTRN)	0.09036	0.09948	0.10658
Safety factor (for run flat)	1.5	1.4	1.3

จากตารางที่ 4.3 เป็นผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับล้อรีนฟเลท Rubber Composite ประกอบด้วยค่าความเค้น Von Mises ค่าความเครียดและค่าความปลอดภัย ภายใต้แรงกระทำต่อหนึ่งล้อเท่ากับ 2,700 3,700 และ 4,400 นิวตัน ในส่วนของค่าความเค้น Von Mises เท่ากับ 22.4, 24.7, และ 26.3 และมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.5, 1.4 และ 1.3 ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การดำเนินงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มของความเค้นที่เกิดขึ้นในล้อ Run-flat แบบเดิม ทำการออกแบบและวิเคราะห์รูปแบบของล้อ Run-flat แบบใหม่ที่สามารถใช้ได้กับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ล้อ Run flat ที่ออกแบบและสร้างใช้ได้กับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่านั้น ภายใต้เงื่อนไข ขนาดล้อรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้คือล้ออัลลอยขนาด 7.5Jx17 inch และสร้างโมเดลล้อ Run-flat ด้วยวัสดุ 2 ชนิด และนำมาเปรียบเทียบความสามารถในการใช้งาน ได้แก่ Steel alloy และ Rubber งานวิจัยได้รับการดำเนินการและมีผลลัพธ์ต่อบัวตฤประสงคตามท่ขำงต้น จากการวิจัยในครั้งนี้พบว่า กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering) ที่เป็นกระบวนการพัฒนาและสร้างชิ้นส่วนเครื่องจักรกลขึ้นมาใหม่ให้มีประสิทธิภาพด้านการใช้งานที่ดีกว่าเดิม ในกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยประกอบด้วย การทดลองและการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งมีกระบวนการ ขั้นตอน และผลลัพธ์ที่ได้โดยสรุปดังต่อไปนี้

1. การทดสอบขีดความสามารถของโปรแกรม SolidWorks Simulation ผลการวิจัยได้รับการเปรียบเทียบด้วยค่าความเครียดที่เกิดขึ้นด้วยการทดลองและการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SolidWorks Simulation การเปรียบเทียบด้วยสองวิธีนี้ใช้กับล้อรันแฟลทเดิมของรถยนต์บรรทุกทุกขนาดเล็กติดเกาะที่เป็นล้อโลหะ และขึ้นรูปโมเดลกระทะล้อด้วยการใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ 3 มิติ เพื่อให้ได้โมเดลที่มีขนาดถูกต้องและสามารถใช้วิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ ผลการวิเคราะห์ให้ผลที่สอดคล้องกันไปในทิศทางเดียวกัน จากการวิเคราะห์และทดสอบพบว่าความแตกต่างของทั้งสองวิธี มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 10-16 เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและค่าความขึ้นในห้องทดสอบ ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความไวและความถูกต้องของความเครียด แม้ว่าค่าที่ได้จะแตกต่างกันบ้าง แต่ก็เพียงพอที่จะใช้ผลนี้รับรองกระบวนการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยและกระบวนการ Pre-processing นี้ได้ถูกนำไปใช้กับการออกแบบและวิเคราะห์ล้อรันแฟลทแบบใหม่ ที่ได้รับการออกแบบหน้าตัดและรูปร่างใหม่ด้วยการใช้วัสดุ Rubber แบบใหม่

2. การวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นที่เกิดขึ้นในล้อ Run-flat แบบเดิม (ล้อรันแฟลทโลหะ) จากการที่ได้ทำการทดสอบขีดความสามารถของโปรแกรมที่กล่าวมา และทราบว่าโปรแกรมมีขีดความสามารถในการวิเคราะห์และแก้ไขโจทย์ปัญหานี้ได้ จึงได้ทำการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นกับล้อรันแฟลทแบบเดิม (ล้อรันแฟลทโลหะ) ล้อรันแฟลทประกอบเข้ากับกระทะล้อในมุมต่างๆ เพื่อศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่ง เนื่องด้วยล้อรันแฟลทมีรูปแบบส่วนที่เป็นรู และเป็นสัน อีกทั้ง

กระทะล้อยังมีส่วนที่เป็นก้านกระทะล้อยและช่องว่างระหว่างก้านกระทะล้อย จึงต้องทำการวิเคราะห์ในทุกๆมิติ เพื่อให้เห็นถึงการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้น พบว่า ความเค้นที่เกิดขึ้นในล้อรันแพลทไม่เกินขีดจำกัดของค่าความเค้นที่จุดคราก และมีค่าความปลอดภัยอยู่ระหว่าง 3-5 เท่า นั่นคือการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์นี้แสดงให้เห็นว่าล้อรันแพลทแบบโลหะนี้สามารถใช้งานได้จริงตามที่ใช้งานอยู่นั่นเอง แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือน้ำหนักของล้อรันแพลทหนึ่งวงจะเท่ากับ 11.2 kg ซึ่งมีน้ำหนักมาก และการยึดเข้ากับกระทะล้อยไม่เหมาะสมเกิดการเคลื่อนตัวหมุนตามแกนกระทะล้อย ซึ่งจะเกิดขึ้นในจังหวะที่เกิดการเบรก (ล้อยังมีลมยางปกติ)

3. การออกแบบและวิเคราะห์รูปแบบของล้อ Run-flat แบบใหม่ที่สามารถใช้ได้กับรถยนต์รถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้ทำการออกแบบโมเดลล้อรันแพลทขึ้นมาใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ และหารูปแบบที่ดีที่สุด จากงานวิจัยของ เจริญยุทธ เดชวายุกุล และคณะ [45] ได้นำเสนอรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง “พัฒนาล้อยางเสริมชั้นโฟมยาง” เป็นการสร้างรันแพลทที่ทำจากวัสดุยาง ประกอบด้วยรันแพลทที่แบ่งออกเป็น 3 ชั้น มีการสร้างแม่พิมพ์เพื่อหล่อยางรันแพลท พบว่าช่องว่างของล้อยางรันแพลทกับกระทะล้อยหากไม่แนบแน่นจะส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนขณะใช้งาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบการยึดวงล้อรันแพลทให้แนบสนิทด้วยการเสริมโครงเหล็กเข้าไปภายในของวงล้อรันแพลทและจำเป็นต้องนำชุดล้อยที่ประกอบเข้าด้วยกันทั้งหมดไปทำการติดตั้งตะกั่วถ่วงล้อ เพื่อให้เกิดความสมดุลของมวลล้อยขณะทำการวิ่งใช้งาน งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การออกแบบวงล้อรันแพลทใหม่ให้มี 2 ชั้นส่วน เพื่อให้สะดวกต่อการประกอบเข้ากับกระทะล้อย ระหว่างการออกแบบในแต่ละรูปแบบนั้นก็จะต้องทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้งหมด โดยการพิจารณาค่าความเค้นที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของล้อรันแพลท สำหรับ J. Stearns [53] ก็ได้ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของกระทะล้อยโดยเลือกใช้วิธีการทดลอง และระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ALGOR เปรียบเทียบผลต่าง ๆ เช่น ค่าความเครียดและการเสียรูป ทำให้ได้การกระจายของความเค้นตามมา ซึ่งบทความวิจัยนี้ก็ใช้วิธีการเดียวกัน เพียงแต่มีล้อรันแพลทเพิ่มเติมเข้ามาและโปรแกรมที่เลือกใช้เป็น SolidWorks Simulation ล้อรันแพลทที่ได้รับการออกแบบและสร้างขึ้นเป็นวงล้อแบบแยกส่วน จึงมีความสะดวกและต้นทุนต่ำกว่าการสร้างยางรันแพลทที่แก้มยางมีการเสริมเนื้อยางลงไปให้เกิดความแข็งแรงหรือที่เรียกว่าเป็นรันแพลทในตัว วงล้อรันแพลทแบบแยกส่วนจะสามารถใช้งานได้ยาวนานและต้นทุนไม่สูงเกินไป

4. ได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความเข้มของความเค้น และการกระจายของความเค้นสำหรับวงล้อยางรันแพลท ประกอบด้วย 1) ความกว้างของหน้าล้อรันแพลทยิ่งกว้างจะยิ่งกระจายแรงได้มากขึ้น 2) วัสดุที่ใช้ในการสร้างล้อรันแพลทที่ต้องพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นสูงสุดกับความเค้น Von Mises และใช้ค่าความปลอดภัยเป็นตัวแปรพิจารณา 3) ความสูงของวงล้อรันแพลท ไม่ควรสูงเกินไป แต่ยังคงต้องสูงกว่าขอบกระทะ 4) น้ำหนักรถยนต์ที่นำมาใช้วิเคราะห์จะส่งผลต่อความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้น

5. ได้วิเคราะห์ความเข้มของความเค้นและการเสียรูปของล้อยางรันแฟลท สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล และพบว่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่ล้อยางรันแฟลท ณ ตำแหน่งที่ผิวของรันแฟลทสัมผัสกับถนน

5.2 ข้อเสนอแนะ

แนวทางการออกแบบและวิเคราะห์ล้อยางรันแฟลทสำหรับรถยนต์รถยนต์นั่งส่วนบุคคลนี้ สามารถเป็นแนวทางการต่อยอดเพื่อออกแบบและวิเคราะห์ล้อยางรันแฟลทสำหรับรถยนต์ขนาดต่างๆได้ เพียงแต่รูปแบบหน้าตัดของล้อยางรันแฟลทจะต้องได้รับการพิจารณาใหม่ และยังคงต้องใช้กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยเช่นเดิม โครงสร้างหลักซึ่งอยู่ภายในล้อยางรันแฟลทอาจได้รับการพิจารณาออกแบบใหม่ให้มีเพียง 1 เส้น และออกแบบให้หน้าตัดของล้อยางรันแฟลทไม่สูงมากนัก นั่นคือรัศมีของวงล้อยางรันแฟลทด้านนอกสุดจะต้องมากกว่ารัศมีของขอบกระทะล้อ ในระยะที่ไม่ส่งผลให้ขอบกระทะล้อบดบังได้ เมื่อไม่มีลมยาง

นอกเหนือจากวัสดุ Rubber แล้ว ยังสามารถใช้วัสดุอื่นๆทดแทนได้ และสามารถต่อยอดจากงานวิจัยนี้ไปสู่การออกแบบหน้าตัดรันแฟลทใหม่ด้วยวัสดุอื่นๆ ที่จะทำให้ต้นทุนลดลงและมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนกว่านี้



เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมการขนส่งทางบกกองทัพบก และ บริษัท เจ เอส แอนด์ มิวเสส จำกัด, การวิจัยและพัฒนา
ร่วมรถยนต์บรรทุกปกติขนาดเล็กติดเกาะ รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์, 2558.
- [2] Salmon, P. (2015). Self-support. Retrieved June 27, 2019. [Online]. Available from:
<http://car.boxzaracing.com/knowledge/3026>.
- [3] MSI TDR. (9 May 2019). AKSA RUNFLAT Draws Attention with Rapid Growth in Global
Market. [Online]. Available from: <https://www.savunmahaber.com/en/aksa-runflatdraws-attention-with-rapid-growth-in-global-market/>
- [4] ธงชัย ฟองสมุทร, *วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เบื้องต้น*, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ดารารวรรณการพิมพ์ เชียงใหม่. 2549.
- [5] ชัยวัฒน์ ไชยมหาพฤกษ์, “แผ่นเกาะเซรามิกส์กันกระสุนด้วยวัสดุเชิงประกอบ,” วิทยานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2561.
- [6] นวพล กลางทัพ, “การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการต้านทานการ
เจาะทะลุของกระสุนบนโลหะด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
พระนคร, 2562.
- [7] Sukholthaman, P. and Shirahada, K. (2014) Eco-value co-creation towards a
sustainable tire scrap recovery network: Case of Bridgestone Thailand.
- [8] Erdogan, G., Alexander, L. and Rajamani, R.(2011) Estimation of Tire-Road Friction
Coefficient Using a Novel Wireless Piezoelectric Tire Sensor
- [9] Tesheng, Hsiao, Jing-Yuan, Lan and Hanping, Yang. (2014) Integrated estimation of
vehicle states, tire forces, and tire-road friction coefficient
- [10] Qi, Xiao-jie and Wang, Qiang. (2011) Study on the prediction technology of the
retreaded tire residual life.
- [11] Wikipedia, Tire manufacturing, (1 July 2021). [ออนไลน์] , Available:
https://www.wikiwand.com/en/Tire_manufacturing
- [12] ประกอบชาติภักดิ์, พลรัชต์ บุญมี, ธีระวัฒน์ แม้นดั่ง และราม ชาติภักดิ์, “ล้อ Run-flat
สำหรับรถยนต์บรรทุกปกติขนาดเล็กติดเกาะ,” รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ พ.ศ.2561.

- [13] Ronald Montoya. (Feb, 2022). "What Are Run-Flat Tires?," [ออนไลน์], Available: <https://www.edmunds.com/driving-tips/run-flat-tires-a-primer.html>
- [14] Bridgestone Tyre Sales (Malaysia) Sdn. Bhd. (2022). "RUN FLAT TYRES: HOW THEY WORK," [ออนไลน์], Available: <https://www.bridgestonetyre.com.my/en/tyre-clinic/tyre-talk/run-flat-tyres>
- [15] W. L. Willard Jr, "Run-flat tire with three carcass layers," ed: Google Patents, 1995.
- [16] E. G. Markow, "Run-flat tire incorporating tape-wrapped helical coil band and method of forming," ed: Google Patents, 1987.
- [17] E. G. Markow and M. A. Kopsco, "Run-flat tire and method of making same," ed: Google Patents, 1984.
- [18] H. J. Mirtain and A. M. Devienne, "Run-flat tire and hub therefor," ed: Google Patents, 1977.
- [19] R. S. Cataldo, "Run-flat tire having integral internal support means," ed: Google Patents, 1979.
- [20] I. Osada and S. Sano, "Run-flat support and tire assembly," ed: Google Patents, 1982.
- [21] R. S. Cataldo, "Run-flat tire and wheel arrangement with inverted bead interlock," ed: Google Patents, 1979.
- [22] P. S. Hammond, T. R. Oare, G. E. Tubb, W. M. Buckler Jr, and R. A. Losey, "Run-flat tire with wet handling design," ed: Google Patents, 1997.
- [23] A. Deck and C. Lefaucheur, "Safety tire with sidewall support members having two parts with different flexibilities," ed: Google Patents, 1981.
- [24] E. Nakaski and Y. Igarashi, "Run-flat tire and rim assembly for ATV," ed: Google Patents, 1990.
- [25] J. Cho, J. Lee, K. Jeong, and K. Kim, "Optimum design of run-flat tire insert rubber by genetic algorithm," *Finite Elements in Analysis and Design*, vol. 52, pp. 60-70, 2012.
- [26] M. Davis, *It's Only a Flat Tire in the Rain*: Penguin, 2002.
- [27] J. S. Baker and L. B. Fricke, *The Traffic-accident Investigation Manual: At-scene Investigation and Technical Follow-up*: Northwestern University Traffic Institute Evanston, 1986.

- [28] C. Y. Warner, G. C. Smith, M. B. James, and G. J. Germane, "Friction applications in accident reconstruction," SAE Technical Paper1983.
- [29] E. Z. Klein and T. L. Black, "Anatomy of accidents following tire disablements," SAE Technical Paper 0148-7191, 1999.
- [30] W. M. Hopkins, S. P. Landers, and S. F. Roth, "Tire initiated vehicle control system," ed: Google Patents, 2002.
- [31] S. D. Ko, "Internal tire support wheel," ed: Google Patents, 1991.
- [32] A. Yoshida and M. Kan, "Pneumatic safety tire," ed: Google Patents, 1982.
- [33] H. Noma and S. Saitou, "Radial tire which runs safe after a loss of tire pressure," ed: Google Patents, 1992.
- [34] A. Segoni, "Accident signalling device," ed: Google Patents, 1957.
- [35] O. M. Daoud, "Accident prevention system for vehicles," ed: Google Patents, 2001.
- [36] H. A. Van, "Tire tube," ed: Google Patents, 1951.
- [37] L. Tan, S. Liu, H. Zhang, Z. Gan, C. Chen, B. Hou, *et al.*, "Numerical analysis of the reliability of tire pressure monitoring system installed on wheel hub with glue," in *Electronic Packaging Technology, 2006. ICEPT'06. 7th International Conference on*, 2006, pp. 1-3.
- [38] E. Ichihara, Y. Imamura, and T. Yamada, "Method device and recording medium where program is recorded, for deciding residual travel life and end of life of run-flat tire that continues traveling in run-flat condition," ed: Google Patents, 2009.
- [39] T. G. Campagna, "Tubeless tire with insert for preventing collapse in the event of loss of air pressure," ed: Google Patents, 1983.
- [40] T. Akram, T. Scullion, and R. E. Smith, "Using the multidepth deflectometer to study tire pressure, tire type and load effects on pavements," 1993.
- [41] Wan Xiaofeia, Liu Xiandongb, Shan Yingchunb, Jiang Erc, and Yuan Haiwena, "Numerical and experimental investigation on the effect of tire on the 13° impact test of automotive wheel," *Advances in Engineering Software.*, vol. 133, pp. 20-27, April. 2019.
- [42] A. Kongo Kondé, I. Rosu, F. Lebon, O. Brardo, and B. Devésa, "On the modeling of aircraft tire," *Aerospace Science and Technology.*, vol. 27, pp. 67-75, June. 2012.

- [43] G. Previati, F. Ballo, M. Gobbi, and G. Mastinu, “Radial impact test of aluminium wheels—Numerical simulation and experimental validation,” *International Journal of Impact Engineering.*, vol. 126, pp. 117-134, Jan. 2019.
- [44] สิทธิชัย ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และอริสรา ชัยกิตติรัตน์, “การทำนายระดับการคงรูปของล้อยางตันด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์,” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554.
- [45] เจริญยุทธ เดชวายุกุล และคณะ, (2555). “พัฒนาล้อยางลมเสริมชั้นโฟมยาง” หาดใหญ่: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [46] H. S. Cheah, M. S. Mohammad, N. Ali, A. I. Din, A. Hakim, “Design and Development of The Mechanism for Run Flat Tyre, Part 3,” in *Proceeding of 2nd Integrated Design Project Conference (IDPC)*, Jan. 2016.
- [47] Sourav Das, “Design and Weight Optimization of Aluminium Alloy Wheel,” *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 4, no. 6, Jun. 2014.
- [48] Light Alloys, I.J. Polmear, Edward Arnold Publishers15.
- [49] Hutchinson VFI Runflat System, Hutchinson Worldwide, Military Wheel Products Engineering and Design Services, [Online]. Available from: <https://www.yumpu.com/en/document/view/44802783/hutchinson-vfi-runflat-system/3>
- [50] Ballarnut. (2013). *Run-Flat Tires Technology*. [Online]. Available from: <https://www.autospinn.com/2013/09/run-flat-tires-technology-knowledge>.
- [51] J. R. Cho, J. H. Lee, K. M. Jeong and K. W. Kim, “Optimum design of run-flat tire insert rubber by genetic algorithm,” *Finite Elements in Analysis and Design.*, vol. 52, pp. 60-70, Jan. 2012.
- [52] Kazuo Hochi (2008) *U.S. PATENT No 7,342,064 B2*. Kobe (JP).
- [53] John Stearns, “Reinventing the tire,” *International News / Materials and Design*, vol. 22, pp. 591–593, 2001.
- [54] K. Kim, “flexible cellular solid spokes of a non-pneumatic tire,” Goyang-city, Gyeonggi, Republic of Korea.
- [55] Isao Osada, Izumi (1982) *U.S. PATENT No. 4,346,747*. Tokyo, both of Japan.
- [56] Philip Stuart Hammond (1997) *U.S. PATENT No. 5,685,927*. Akron, Ohio.
- [57] Thomas G. Campagna. (1080) *U.S. PATENT No 4,371,023*. NEW YORK.

- [58] Grzegorz Motrycz et al., "Research on operational characteristics of tyres with run flat insert," *Journal of KONES Powertrain and Transport*, vol. 19, no. 3, 2012.
- [59] Josep S hawkesk David L Turk (1972). *U.S. PATENT No.3, 650,865* both of Ohio (US).
- [60] William T. Smith; Timothy M. Rooney, both of Uniontown; George T. Watts, North Canton, all of Ohio. (1986), *U.S. PATENT no. 4,573,509* akronohio.
- [61] Khaled Khatlb, LeW1ston,(2012),*U.S. PATENT no. 8,118,072 B2* newyork (US).
- [62] William W. Gardetto (2012). *U.S. PATENT no. 8,132,606 B2* Texas (US).
- [63] P. Baranowski and J. Malachowski, "Numerical study of selected military vehicle chassis subjected to blast loading in terms of tire strength improving," *Technical sciences.*, vol. 63, 2015.
- [64] Roger E. Payne, Okemos; J. Bruce Weeks, Eaton Rapids, both of Mich. (1987). Safety tire and rim combination with safety insert. *U.S. PATENT no. 4,823,854*.
- [65] Iulian Rosu et al., "Finite Element Modeling of an Aircraft Tire Rolling on a Steel Drum: Experimental Investigations and Numerical Simulations," *Applied Sciences*. Vol.8, pp. 4, 2018.
- [66] Igbudu, Samuel and Fadare, David, "Comparison of Loading Functions in the Modelling of Automobile Aluminium Alloy Wheel under Static Radial Load," *Open Journal of Applied Sciences*. Vol. 5, pp. 403-413, 2015.

ไม่มีเนื้อหาจากต้นฉบับ



ประวัติการศึกษาและการทำงาน



ชื่อ นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรี ภูมินทร์ มินาบุรณ์	
วัน เดือน ปีเกิด	27 กันยายน 2534	
ภูมิลำเนา	39 หมู่1 ต.ลานตากฟ้า อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม	
ประวัติการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วุฒิมัธยมศึกษา	โรงเรียนกองทัพบกอุปถัมภ์ช่างกล ขส.ทบ.	2554
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2559
ปริญญาตรี		
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	วิศวกรควบคุมงานระบบปรับอากาศ ณ บริษัทหนึ่งศูนย์หนึ่งเอ็นจีเนียริ่ง จำกัด	

