



รูปแบบล้อ Run-flat ที่เหมาะสมสำหรับรถยนต์บรรทุกปกติขนาดเล็กติดเกราะ  
Suitable Run-flat Wheel Shape for Armored Small Truck

นุชนาท ทองใหญ่  
Nuchanat Tongyai

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์	รูปแบบล้อย Run-flat ที่เหมาะสมสำหรับรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็ก ติดเกราะ
ชื่อ นามสกุล	นุชนาด ทองใหญ่
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ประกอบ ชาติภักต์

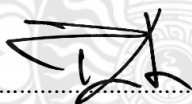
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว



..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย ฟองสมุทร)

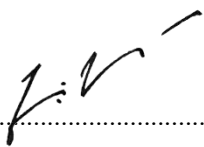


..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชินัน)



..... กรรมการ  
(ดร.ประกอบ ชาติภักต์)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



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

วันที่ 20 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2565

ชื่อวิทยานิพนธ์	รูปแบบล้อ Run-flat ที่เหมาะสมสำหรับรถยนต์บรรทุกทุกปกติขนาดเล็ก ติดเกราะ
ชื่อ นามสกุล	นุชนาท ทองใหญ่
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
สาขาวิชา และคณะ	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2564

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มของความเค้นที่เกิดขึ้นในล้อรันแฟลทโลหะและ ออกแบบรูปแบบของล้อรันแฟลทแบบใหม่ที่สามารถใช้ได้กับรถยนต์บรรทุกทุกปกติขนาดเล็กติดเกราะ วิธีการทดลองและระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้ในกระบวนการวิจัย ผลลัพธ์ที่ได้จากการ เปรียบเทียบด้วยค่าความเครียดจากทั้งสองวิธีได้แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องของทั้งสองวิธี ที่มีความแตกต่างของค่าความเครียดอยู่ในช่วงร้อยละ 10-16 ซึ่งยืนยันขีดความสามารถในการวิเคราะห์ การกระจายความเค้นและการเสียรูปของรันแฟลทด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กระบวนการและ วิธีดำเนินการที่ได้รับการพิสูจน์ในขั้นตอนของ Pre-processing ด้วยโปรแกรม SolidWorks Simulation ได้ถูกนำไปใช้ในการออกแบบวงล้อรันแฟลท กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยถูกนำมาใช้ ในการสร้างกระทะล้อและใช้ออกแบบรูปร่างหน้าตัดของล้อรันแฟลทแบบใหม่ที่สร้างด้วยวัสดุเชิง ประกอบ ซึ่งมีสารตั้งต้นสำคัญเป็นวัสดุกลุ่มโพลีเมอร์และเพิ่มผงวัสดุอลูมิเนียมออกไซด์เพื่อให้เกิด ความแข็งแรง พารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบประกอบด้วย 1) ความกว้างของล้อรันแฟลท 2) รัศมีภายใน และภายนอก ซึ่งรัศมีภายในขึ้นอยู่กับขนาดของกระทะล้อ และรัศมีภายนอกเป็นตัวแปรที่กำหนดค่า ความสูงของล้อรันแฟลท 3) การออกแบบชุดอุปกรณ์การล้อยืดให้สามารถรัดวงล้อรันแฟลทเข้ากับ กระทะล้อได้อย่างแน่นหนา 4) วัสดุที่ใช้ในการสร้างล้อรันแฟลท และ 5) ความดันลมยาง ล้อรัน แฟลทได้รับการออกแบบและสร้างขึ้นในรูปแบบแยกส่วนจำนวน 3 ชิ้นส่วน เพื่อความสะดวกในการ ประกอบเข้าหรือถอดออกจากกระทะล้อ จากการวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นที่เกิดขึ้นในล้อ Run-flat แบบเดิม (ล้อรันแฟลทโลหะ) ความเค้นที่เกิดขึ้นในล้อรันแฟลทไม่เกินขีดจำกัดของค่าความ เค้นที่จุดคราก และมีค่าความปลอดภัยอยู่ระหว่าง 3-5 เท่า สำหรับล้อรันแฟลทแบบใหม่มีความเค้น สูงสุดไม่เกิน 26 MPa การปรับขนาดและมิติของหน้าตัดวงล้อรันแฟลทแล้วก็จะส่งผลให้เกิด ความเครียดและความเครียดอยู่ในช่วงที่วัสดุสามารถรับแรงและใช้งานได้ ทั้งนี้ยังสามารถที่จะลด ขนาดความสูงของวงล้อแฟลทลงเพื่อให้ล้อหลังแฟลทเตี้ยและเพิ่มความกว้างฐานวงล้อรันแฟลทให้ เพิ่มขึ้น จะสามารถช่วยกระจายน้ำหนักไปยังกระทะล้อได้มากขึ้น

**คำสำคัญ :** รันแฟลท, รถยนต์บรรทุกทุกปกติขนาดเล็กติดเกราะ, วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, วิศวกรรมย้อนรอย

<b>Thesis title</b>	Suitable Run-flat Wheel Shape for Armored Small Truck
<b>Author</b>	Nutchanat Tongyai
<b>Degree</b>	Master of Engineering (Mechanical Engineering)
<b>Major program</b>	Mechanical Engineering Faculty of Engineering
<b>Academic Year</b>	2021

## ABSTRACT

The objectives of this research were to study the stress intensity in run-flat metal wheels and to design a new type of run-flat wheels that can be used in a small armored regular truck. Experimental methods and finite element methodologies were applied in the research process. The results obtained by comparing the strain values from the two methods demonstrated the consistency of both methods. The differences in stress values were in 1.0-1.6 percentages, which could confirm the capability to analyze the stress distribution and deformation of run-flat by a finite element method. Proven processes and procedures in Pre-processing with SolidWorks Simulation were utilized to design run-flat wheels and a reverse engineering process was next used to create wheel rims and design the cross-sectional shape of new run-flat wheels made of composite materials which have an important reactant; a polymer group and aluminum oxide powder, added to enhance the strength. The designed parameters consisted of 1) the width of the run-flat wheels 2) the internal and external radius in which the internal radius depending on the size of the wheel rim and the outer radius which is a variable that determines the height of the run-flat wheels 3) the design of a lockset for tightening the run flat wheels to the wheel rims 4) materials used in the structure of the run-flat wheels and 5) tire pressure. The run-flat wheels designed and built into three-piece parts were designed for ease of wheel assembly or disassembly out of the wheel rims. By analyzing the intensity of stress accumulated in a conventional run-flat wheel (run-flat metal wheel), the stress generated in a run-flat wheel did not exceed the limit of the Yield stress and had a safety value between 3-5 times for new run flat wheels with a maximum stress of 26 MPa. Sizing and cross-sectional dimensions of run flat wheels thus resulted in stress which was in the range that could be withstood and acceptably employed. It was also possible to reduce the height of the flat wheels to make the rear flats lower and increase the width of the run flat wheels which would help distribute more weight to the wheel rims.

**Keywords :** Run-flat, Small Armored Regular Truck, Finite Element Method, Reverse Engineering

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเมตตากรุณา ช่วยเหลือและอนุเคราะห์จากอาจารย์ ดร.ประกอบ ชาติมุกต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และกรรมการคุมสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณา มอบความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ความช่วยเหลือในทุกด้านทั้งการแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดจน ตรวจสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จงชัย ฟองสมุทร ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการ สอบวิทยานิพนธ์ ชี้แนะแนวทาง ให้ความรู้ ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน ที่กรุณาเป็นกรรมการ สอบวิทยานิพนธ์ ให้ความรู้ ชี้แนะแนวทาง ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ดร.ศุภชัย หลักคำ สำหรับคำแนะนำและการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานยางล้อ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ วรรณศรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา สมาชิกในครอบครัว และครูอาจารย์ทุกท่าน ผู้ที่ให้ความรู้ อนุเคราะห์ ส่งเสริม สนับสนุนด้านทุนทรัพย์และกำลังใจ ค่อยอบรมสั่งสอนจนประสบความสำเร็จใน ด้านการศึกษา

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือในการ ทำวิจัยครั้งนี้ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี ทำยที่สุดนี้ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะมีประโยชน์สำหรับผู้อ่านไม่มากก็น้อยต่อไป

นุชนาท ทองใหญ่

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของโครงการ	4
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
1.5 สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับยางรถยนต์และล้อรันแฟลทสำหรับรถยนต์ทั่วไปและรถยนต์บรรทุก ปกติขนาดเล็กติดเกอรา	13
2.3 การทบทวนวรรณกรรม	16
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย	31
3.2 การวิเคราะห์ความเค้นและความเครียดของล้อรันแฟลทด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	34
3.3 การหาค่าความเครียดของล้อรันแฟลทด้วยการทดลอง	40
3.4 การออกแบบล้อรันแฟลทสำหรับรถยนต์บรรทุกปกติขนาดเล็กติดเกอรา	41
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลการดำเนินงานและทดสอบความเครียดของล้อรันแฟลทจากการทดลอง	44
4.2 ผลการวิเคราะห์ความเครียดของล้อรันแฟลทแบบเดิมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	45
4.3 ผลการออกแบบล้อรันแฟลทแบบใหม่สำหรับรถยนต์บรรทุกปกติขนาดเล็กติด เกอรา	53

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการวิเคราะห์ความความเค้นและความเครียดของล้อรันแพลทแบบใหม่ด้วยวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์	58
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	62
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารอ้างอิง	65
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	70



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง Normal Tyre และ Flat Tyre	18
2.2	Material properties of LM25 aluminum alloy in T6 condition	19
2.3	ตารางเปรียบเทียบกรณีจำลองทั้งสามกรณี (ค่าสูงสุด)	29
3.1	สมบัติของวัสดุสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	43
3.2	Mechanical Properties of Alloy Wheel	43
4.1	เปรียบเทียบค่าความเครียดในแนวแกนระหว่าง Exp. กับ FEA	47
4.2	ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งของล้อรันแฟลทแบบดั้งเดิม	48
4.3	การกำหนดขนาดพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับหน้าตัดล้อรันแฟลท	56





## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 รถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกราะที่พัฒนาโดยบริษัท เจเอส แอนด์ มิวเสส จำกัด (อนุเคราะห์รูปโดย บริษัท เจเอส แอนด์ มิวเสส จำกัด)	1
1.2 การเสียหายของยางรถยนต์ที่ผ่านการวิ่งโดยไม่มีลมยางและไม่มีล้อรันแฟลท	2
1.3 ล้อรันแฟลทโลหะแบบเดิมสวมเข้ากับกระทะล้อ	3
1.4 ล้อรันแฟลทสำหรับยานเกราะทางทหาร	3
1.5 ล้อรันแฟลทสำหรับยานเกราะทางทหาร (a)-(b) โมเดลล้อรันแฟลทแบบต่างๆ (c) AKSA Run Flat ที่มีความต้านทานซีปนาวุธ (d) ที่รันแฟลทไม่สามารถต้านทานซีปนาวุธ	3
2.1 ลักษณะความเค้นใน 3 มิติ	7
2.2 เอลิเมนต์รูปทรงสี่หน้า	9
2.3 ส่วนประกอบของยาง	13
2.4 ล้อยางรันแฟลท ก) Self-Supporting Tire และ ข) Supporting Ring System	16
2.5 ล้อยาง ก) ล้อยางธรรมดา ข) ล้อยางรันแฟลทแบบ Self-Supporting Tire และ ค) Self Seal Leakage Tire	16
2.6 ล้อยางลมที่สวมล้อรันแฟลทสำหรับการทดสอบ	18
2.7 2D และ 3D ของขอบล้อและส่วนตัดขวางของ Sourav Das	19
2.8 Off road CRF	20
2.9 การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์	20
2.10 การวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นที่ล้อรันแฟลท	21
2.11 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของกระทะล้อรถยนต์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม ALGOR	22
2.12 ชนิดล้อ non-pneumatic tire แบบรั้งฝั่งที่ใช้ในการทดสอบ	23
2.13 ล้อยางแบบ Run-flat assembly	23
2.14 ล้อยางที่เสริมโพนยางที่เป็นแผ่นซีสเสริมในล้อยางลม	24
2.15 ล้อยางเสริมเส้นโพน	24
2.16 ลักษณะล้อยางลม	24
2.17 พัฒนาล้อยางลมเสริมชั้นโพนยาง	25
2.18 การกระจายอุณหภูมิที่ด้านข้างของยางและความเสียหายเมื่อยางแบน	25

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.19 Run flat device and a method for fitting the same	26
2.20 Run flat device	26
2.21 Run flat tire system and device	27
2.22 ภาพการประกอบชิ้นส่วนล้อรันแฟลท	27
2.23 ภาพการยึดชิ้นส่วนล้อรันแฟลทเข้าด้วยกัน	28
2.24 Run-flat support system for a pneumatic tired wheel and method for installing same	28
2.25 ส่วนประกอบของ Run-flat support	30
3.1 ขั้นตอนกระบวนการศึกษาวิจัย	32
3.2 กรอบการวิจัย (Conceptual Framework)	34
3.3 กระบวนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	35
3.4 โมเดล 3 มิติ ของล้อรันแฟลท และกระทะล้อของรถยนต์บรรทุกปกติขนาดเล็กติด เกาะ	35
3.5 การประกอบล้อรันแฟลทเข้ากับกระทะล้อ	35
3.6 ตัวอย่างการเกยกันของชิ้นงานระหว่างกระทะล้อและล้อรันแฟลท	36
3.7 ไฟไนต์เอลิเมนต์โมเดล	37
3.8 การกำหนดหน้าสัมผัส (Contact) ระหว่างพื้นผิวของชิ้นส่วนต่างๆ	37
3.9 ตัวอย่างการกำหนดชนิดวัสดุ SUS304	38
3.10 เอลิเมนต์และการกำหนดค่าเพื่อแบ่งเอลิเมนต์	38
3.11 การค่าตัวเลือกการวิเคราะห์เป็นแบบ Direct sparse solver	39
3.12 การแสดงผลลัพธ์ (a) หน้าต่างการตั้งค่าความเครียดในทิศทางต่างๆ (b) การใช้ prove ในการแสดงผลค่าความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ และ (c) คำจำกัดความของ Stress components	39
3.13 ตำแหน่งติดตั้ง Strain gage ลงบนกระทะล้อและล้อรันแฟลท	41
3.14 โครงสร้างระบบทดสอบหาค่าความเครียดด้วยเครื่องทดสอบการห้ามล้อ	41
3.15 เครื่องสแกนเลเซอร์ FARO Measurement FARO P06-05 3 มิติ	42
3.16 หน้าตัดของล้ออัลลอยเป็นตัวกำหนดในการออกแบบ	42
4.1 การประกอบล้อรันแฟลทและติดตั้ง Strain gage ที่ล้ออัลลอยกับล้อรันแฟลท	44

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 การติดตั้ง Strain gage เข้ากับกระทะลื้อและลื้อรันแพลท	45
4.3 การติดตั้งกระทะลื้อและลื้อรันแพลทเข้ากับอุปกรณ์การทดสอบ	45
4.4 โมเดลสามมิติและตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความเค้นด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	46
4.5 ตำแหน่งที่วัดค่าความเครียด	46
4.6 การแสดงผลของความเครียดในแนวแกน x และ y	47
4.7 กรณีศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ	48
4.8 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณลื้อรันแพลทสำหรับกรณีที่ 1 ด้วยภาระ 10,000 N	49
4.9 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณลื้อรันแพลทสำหรับกรณีที่ 2 ด้วยภาระ 10,000 N	50
4.10 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณลื้อรันแพลทสำหรับกรณีที่ 3 ด้วยภาระ 10,000 N	51
4.11 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณลื้อรันแพลทสำหรับกรณีที่ 4 ด้วยภาระ 10,000 N	52
4.12 สแกนลื้ออัลลอยด้วยเครื่อง 3d scan ของ FARO P06-05	53
4.13 โมเดลกระทะลื้อ 3 มิติ ที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ FARO ในมุมมองต่าง ๆ	54
4.14 มุมมอง Section view	54
4.15 การกำหนดตัวแปรที่สัมพันธ์ระหว่างลื้อรันแพลท กระทะลื้อ และยางรถยนต์	55
4.16 การกำหนดตัวแปรควบคุมหน้าตัดของลื้อรันแพลทแบบใหม่	55
4.17 มิติของหน้าตัดลื้อรันแพลททั้ง 4 โมเดล	55
4.18 ภาคตัดแสดงโครงสร้างภายใน	56
4.19 โมเดลวงลื้อรันแพลทรูปทรงใหม่ภายหลังจากการปรับปรุงข้อต่อที่ได้จากการทดสอบ และการตัดแสดงโครงสร้างภายใน	57
4.20 ภาพประกอบลื้อรันแพลทรูปทรงใหม่เข้ากับกระทะลื้อภายหลังจากการปรับปรุงข้อต่อจากการทดสอบ	57
4.21 ภาพระเบิดขึ้นส่วนแสดงส่วนประกอบลื้อรันแพลท	58
4.22 กระบวนการ Solve Processing สำหรับวงลื้อรันแพลทหน้าตัดใหม่	59

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.23	ผลการวิเคราะห์ความเค้นรูปแบบของล้อรันแพลทแบบใหม่สำหรับรถยนต์บรรทุก ปกติขนาดเล็กติดเกวาระ	59
4.24	ผลการวิเคราะห์ความเครียดรูปแบบของล้อรันแพลทแบบใหม่สำหรับรถยนต์ บรรทุกปกติขนาดเล็กติดเกวาระ	60
4.25	การกระจายความเค้นของล้อรันแพลทแบบใหม่ด้วยการกำหนดหน้าสัมผัสที่มีค่า สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	61
4.26	การกระจายความเครียดของล้อรันแพลทแบบใหม่ด้วยการกำหนดหน้าสัมผัสที่มี ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	61



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปี 2557 ณ กรมการขนส่งทหารบก กองทัพบก (ทบ.) ได้มีข้อตกลงร่วมกับภาคเอกชนด้วยความร่วมมือและการให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการโครงการวิจัยและพัฒนารถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกราะ ซึ่งกองทัพบกโดยกรมการขนส่งทหารบกเป็นหน่วยเจ้าของโครงการ มีความประสงค์ที่จะวิจัยและพัฒนารถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกราะ ซึ่งภาคเอกชนมีความประสงค์ที่จะเป็นผู้ร่วมดำเนินโครงการและให้การสนับสนุนงบประมาณ ใช้ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย 1 ปี เพื่อใช้เป็นต้นแบบรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกราะ ที่เหมาะสมต่อการใช้งานในจังหวัดชายแดนภาคใต้ รถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกราะ คือ รถกระบะ ยี่ห้อโตโยต้า รุ่น วีโก้ แบบ 4 ประตู ใช้เครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ มีปริมาตรกระบอกสูบ ไม่น้อยกว่า 3,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขับเคลื่อน 4 ล้อ ซึ่งโครงการได้ประสบความสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ มีผลผลิต (Output) เป็นรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกราะ ที่มีระดับประสิทธิภาพในการป้องกันตามมาตรฐาน NIJ 0108.01 ระดับ 3 ดังรูปที่ 1.1

สืบเนื่องจากยานพาหนะที่ใช้งานทางทหาร โดยเฉพาะในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้ นั้น ต้องสามารถตอบสนองการทำงานในพื้นที่เป็นอย่างดี เช่น ต้องมีเกราะที่สามารถป้องกันอันตรายจากการโจมตีด้วยอาวุธกระสุนปืนตามมาตรฐาน NIJ 0108.01 ระดับ 3 ต้องสามารถขับเคลื่อนและหลีกเลี่ยงได้ทันจากการไล่ตามโจมตีของฝ่ายก่อความไม่สงบได้ ปัจจัยเหล่านี้มีความสำคัญและมีความจำเป็นต่อการปฏิบัติงานทางทหาร การป้องกันและปราบปรามการก่อความไม่สงบ การรักษาและป้องกันภัยคุกคามจากผู้กระทำผิดต่างๆ ซึ่งสามารถช่วยลดการสูญเสีย และสร้างความได้เปรียบในการปฏิบัติงานภายใต้เกราะกำบัง ในกรณีการถูกยิงที่ล้อรถยนต์ การขับขึ้นรถยนต์ผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น



รูปที่ 1.1 รถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกราะที่พัฒนาโดยบริษัท เจเอส แอนด์ มิวเสส จำกัด

(อนุเคราะห์รูปโดย บริษัท เจเอส แอนด์ มิวเสส จำกัด) [1]

การขับเคลื่อนผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น ตะปูหรือใบ หรือสาเหตุอื่นใดที่ทำให้ยางรถยนต์รั่ว จนไม่สามารถขับเคลื่อนต่อไปได้ หรือถ้ายังขับเคลื่อนต่อไปก็จะขับเคลื่อนได้ในระยะทางที่ไม่มากนักและช้า สุดท้ายยางรถยนต์ก็จะถูกขอบกระทะล้อบิด ดังรูปที่ 1.2 และไม่สามารถขับเคลื่อนต่อไปได้ เป็นเหตุให้ถูกรุมทำร้ายจากผู้ก่อความไม่สงบที่วางแผนมาเป็นอย่างดี ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้พบได้บ่อยในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 1.2 การเสียหายของยางรถยนต์ที่ผ่านการวิ่งโดยไม่มีลมยางและไม่มีล้อรันแฟลท

ล้อรถยนต์นิรภัยหรือรันแฟลท (Run flat) เป็นอีกหนึ่งนวัตกรรมใหม่ทางเทคโนโลยีซึ่งได้รับการยอมรับและติดตั้งในรถยนต์ระดับชั้นนำหลายยี่ห้อ ด้วยคุณลักษณะที่โดดเด่นและสมรรถนะที่คู่ควรกับรถยนต์ชั้นนำระดับสูง เทคโนโลยีที่โดดเด่นนี้ จะช่วยให้สามารถขับเคลื่อนต่อไปได้อย่างปลอดภัย ถึงแม้ว่าจะอยู่ในสถานการณ์ที่ไม่มีลมยาง หากถูกของแหลมแทงทะลุยางชั้นนอก เข้าไปถึงยางชั้นในลมยางก็จะรั่วออกอย่างรวดเร็ว เพียงไม่กี่วินาทียางก็แบนสนิท หรือยางอาจแตกถึงชั้นยางระเบิด ทำให้รถยนต์เสียการทรงตัวได้ ปัญหายางแบน ยางแตก จึงเป็นปัญหาอย่างมากในการปฏิบัติงานของทหาร ที่ทำให้ไม่สามารถขับเคลื่อนต่อไปได้ การออกแบบ การพัฒนาและการสร้างล้อรถยนต์นิรภัยที่เหมาะสมตามหลักวิศวกรรมสำหรับรถยนต์บรรทุกทุกปกติขนาดเล็กติดเกราะที่พัฒนาโดยบริษัท เจเอส แอนด์ มิวเสส จำกัด จึงเป็นงานวิจัยที่จะเข้ามาช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว เนื่องด้วยน้ำหนักของรถยนต์บรรทุกทุกปกติขนาดเล็กติดเกราะที่มีน้ำหนักมาก เพราะน้ำหนักของแผ่นเกราะที่ติดตั้งลงในตัวรถยนต์ขนาดของกระทะล้อและขนาดยางมีลักษณะเฉพาะของตัวเอง ดังนั้นล้อรันแฟลทของรถยนต์บรรทุกทุกปกติขนาดเล็กติดเกราะนี้ จึงแตกต่างจากล้อรันแฟลทของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลชั้นนำทั่วไป ไม่สามารถนำมาใช้ร่วมกันได้ และอีกหนึ่งความสำคัญคือ รถยนต์บรรทุกทุกปกติขนาดเล็กติดเกราะจะต้องไม่เป็นที่ผิวดังกล่าว ภายนอกต้องคงไว้ซึ่งลักษณะของรถกระบะที่มีใช้อยู่ทั่วไป (ประชาชนทางภาคใต้นิยมใช้รถบรรทุก TOYOTA VIGO) เมื่อใช้ในการสำรวจ ติดตามหรือลาดตระเวน จะไม่เป็นเป้าหมายในการถูกโจมตี หรือเมื่อถูกโจมตีเข้าที่ยาง ล้อรันแฟลทจะช่วยให้สามารถขับเคลื่อนต่อไปได้อีก 50 กม. ด้วยความเร็วไม่เกิน 50 กม./ชม. โดยไม่สูญเสียการควบคุมและยังช่วยให้สามารถซ่อมแซมหรือเปลี่ยนยางได้เมื่ออยู่ในสถานที่ที่สะดวกและปลอดภัย และจึงเป็นอีกหนึ่งความสำคัญในการป้องกันการ

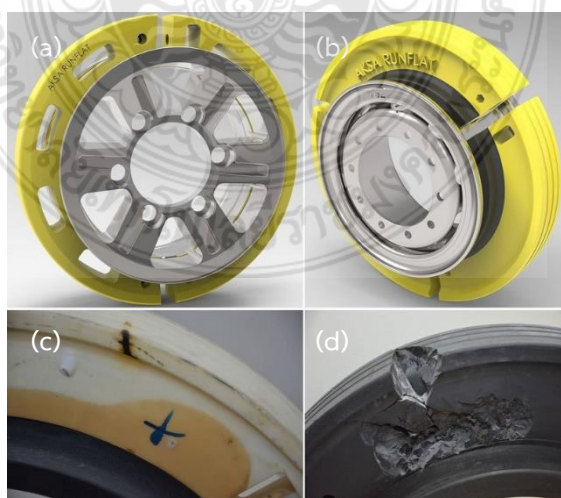
สูญเสียกำลังทหาร และรถยนต์บรรทุกทุกปกติขนาดเล็กติดเกราะให้มีความปลอดภัย อีกทั้งไม่จำเป็นต้องมียางอะไหล่ ทำให้น้ำหนักลดลง รูปที่ 1.3 เป็นล้อรันแฟลทโลหะของกรมการขนส่งทหารบก กองทัพบก (ทบ.) ร่วมกับภาคเอกชน ที่ใช้สำหรับรถยนต์บรรทุกทุกปกติขนาดเล็กติดเกราะ (TOYOTA VIGO ติดเกราะ) ซึ่งมีน้ำหนักมากและไม่สามารถประกอบเข้ากับกระทะล้อได้อย่างแนบสนิท



รูปที่ 1.3 ล้อรันแฟลทโลหะแบบเดิมสวมเข้ากับกระทะล้อ [1]



รูปที่ 1.4 ล้อรันแฟลทสำหรับยานเกราะทางทหาร [2]



รูปที่ 1.5 ล้อรันแฟลทสำหรับยานเกราะทางทหาร (a)-(b) โมเดลล้อรันแฟลทแบบต่างๆ (c) AKSA Run Flat ที่มีความต้านทานชีปนาวุธ (d) ที่รันแฟลทไม่สามารถต้านทานชีปนาวุธ [3]

รูปที่ 1.3-1.4 เป็นตัวอย่างล้อรันแฟลทที่ใช้ในทางการทหารด้วยวัสดุพิเศษที่ต้านทานต่อการสึกหรอ น้ำหนักเบา ลักษณะการออกแบบคือ ล้อรันแฟลทต้องสามารถเข้าได้กับลักษณะของกระทะล้อ มีความสะดวกในการประกอบเข้าไปซึ่งต้องใส่หลังจากการประกอบยางเข้าไปกับกระทะล้อแล้ว การประกอบต้องแนบสนิทและแน่น ไม่หลวมคลอน ล้อรันแฟลท ที่ออกแบบอาจต้องมีสองชั้นหรือสามชั้นประกอบเข้าด้วยกันเป็นวงล้อรันแฟลท หนึ่งวง อุปกรณ์การจับยึดและล้อคล้อรันแฟลท ทุกชั้นเข้าด้วยกันต้องแข็งแรง ต้านทานแรงกระแทกจากน้ำหนักตัวรถที่วิ่งด้วยความเร็วต่างๆ ขึ้นอยู่กับ การออกแบบล้อรันแฟลทนั้นๆ หากวงล้อรันแฟลท เกิดความเสียหายในขณะขับขี่รถยนต์ เช่น ชุด อุปกรณ์การล้อยึดหรือคลายตัว ส่งผลให้วงล้อรันแฟลท แยกจากกัน

ดังนั้น ล้อรันแฟลท สำหรับรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกาะของกรมการขนส่งทหารบก กองทัพบก (ทบ.) ร่วมกับภาคเอกชน ดังรูปที่ 1.3 สามารถได้รับการพัฒนาและออกแบบใหม่เพื่อให้ เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ปลอดภัย ไม่หลวมคลอน ไม่กินเนื้อยางด้านใน ไม่เสียรูปเมื่อได้รับแรง กระแทก สามารถถอดประกอบได้ง่ายและมีความเหมาะสมกับการใช้งาน ให้มีลักษณะดังตัวอย่างรูปที่ 1.4-1.5 การออกแบบและการวิเคราะห์ต้องพิจารณาตัวแปรหลายตัว เช่น 1) ความกว้างที่เหมาะสม ของล้อรันแฟลท ทั้งในส่วนที่ติดกับกระทะล้อและส่วนที่จะต้องสัมผัสกับผิวยางด้านในเมื่อยางแบน 2) รัศมีภายในและภายนอก ซึ่งรัศมีภายในเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับขนาดกระทะล้อ และรัศมีภายนอกจะเป็น ตัวแปรที่กำหนดค่าความสูงของล้อรันแฟลท 3) การออกแบบรูปทรงเพื่อป้องกันล้อรันแฟลท กินผิว ยางภายใน และรูปทรงของวงล้อรันแฟลทในส่วนที่ต้องสัมผัสกับกระทะล้อ ซึ่งกระทะล้อไม่เรียบมี พื้นผิวที่เอียง ยากต่อการจับยึด 4) การออกแบบชุดอุปกรณ์การล้อยึดให้สามารถรัดล้อรันแฟลท เข้ากับ กระทะล้อได้อย่างแน่นหนา ด้วยน้ำหนักโดยรวม 2,500 กิโลกรัม 5) วัสดุที่ใช้ในการสร้างล้อรัน แฟลท 6) ความดันลมยาง เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงได้แนวความคิดที่จะสร้างนวัตกรรมรูปแบบล้อรัน แฟลทสำหรับรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกาะ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสิ่ง อุปกรณ์ทางทหาร ให้กับประเทศไทย ส่งเสริมและแก้ปัญหาให้กับภาคอุตสาหกรรม ส่งเสริมภาคอุตสาหกรรมให้สามารถ ผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ นับเป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีที่เป็นของคนไทย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาความเข้มของความเค้นที่เกิดขึ้นในล้อรันแฟลทแบบเดิม
- 1.2.2 เพื่อออกแบบและวิเคราะห์รูปแบบของล้อรันแฟลทแบบใหม่ที่สามารถใช้ได้กับรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกาะ

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ล้อ Run-flat ที่ออกแบบและสร้างใช้ได้กับรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกาะเท่านั้น



- 1.3.2 ขนาดล้อรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเการะที่ใช้คือล้ออัลลอยขนาด 265/65 R17
- 1.3.3 รถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเการะที่เคลื่อนที่ด้วยล้อรันแฟลท ความเร็วเคลื่อนที่ 50 กม./ชม. (ระยะทาง 30 ไมล์ที่ความเร็ว 30 ไมล์ต่อชั่วโมง)
- 1.3.4 สร้างโมเดลล้อรันแฟลท ด้วยวัสดุ 2 ชนิด และนำมาเปรียบเทียบความสามารถในการทำงาน ได้แก่ AISI 1020 และ Polymer Composites

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 ได้รูปแบบล้อรันแฟลท สำหรับรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเการะ
- 1.4.2 ได้แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปล้อรันแฟลท สำหรับรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเการะ
- 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 โทรศัพท์มือถือ: 09 8279 5855
- 1.5.2 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
399 ถนนสามเสน แขวงวชิระพยาบาล 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  $\sigma_x$  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

การหาสทิงเนสเมทริกซ์สำหรับเอลิเมนต์แบบสปริง เมื่อสปริงที่มีค่านิจของสปริง (Stiffness) เท่ากับ  $k$  รับแรงดึงเท่ากับ  $F$  สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อชิ้นงานกับระยะสปริงยืดตัวได้ตามสมการที่ (2.4)

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

เมื่อนำเอาหลักการของสปริงตามสมการที่ (2.4) มาประยุกต์ใช้กับหลักการไฟไนต์เอลิเมนต์จะสามารถเขียนสมการที่ (2.5) ใหม่ในลักษณะของเมทริกซ์ได้เป็น

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

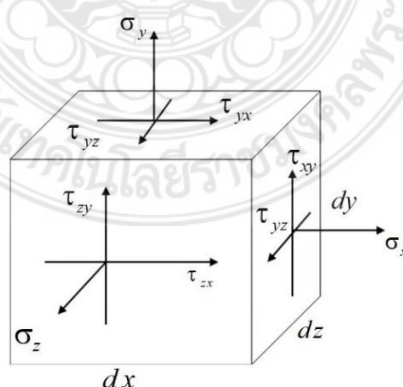
โดยที่  $f'$  คือ เมทริกซ์ของแรงที่กระทำกับสปริง

$k'$  คือ สทิงเนสเมทริกซ์ของสปริง

$d'$  คือ เมทริกซ์ของระยะยืดหรือหดตัวของสปริง

ในการวิเคราะห์เอลิเมนต์ในระบบ 3 มิตินั้น เอลิเมนต์ประเภทนี้จะให้คำตอบมากกว่า เอลิเมนต์แบบ 2 มิติ หรือแบบแกนสมมาตร เอลิเมนต์แบบทรงสี่หน้า (Tetrahedron) เป็นเอลิเมนต์เบื้องต้นสำหรับ 3 มิติ ในส่วนของนี้จะยกตัวอย่างจากหนังสือไฟไนต์เอลิเมนต์เบื้องต้น ผู้แต่ง รศ.ดร. รัชชัย 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

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} \quad (2.8)$$

$$\text{โดยที่ } \varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}$$

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

และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเท่ากับ

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

โดยที่

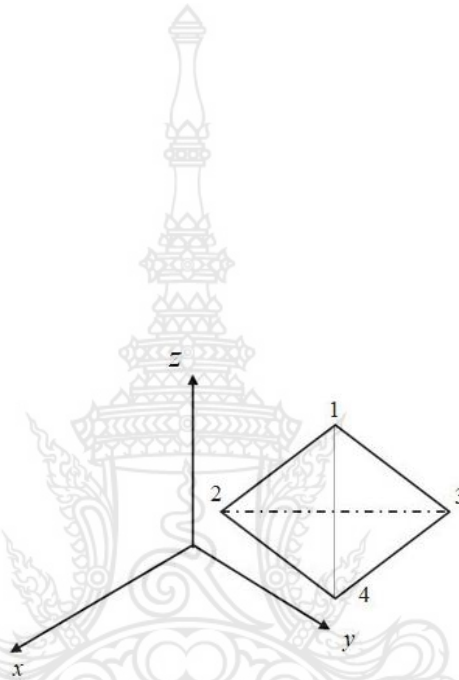
$$[D] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ & & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ & & & & & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

การหาสทิงเฟนเสเมทริกซ์สำหรับเอลิเมนต์แบบทรงสี่หน้า

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

$$\begin{aligned} u(x,y,z) &= a_1 + a_2x + a_3y + a_4z \\ v(x,y,z) &= a_5 + a_6x + a_7y + a_8z \\ w(x,y,z) &= a_9 + a_{10}x + a_{11}y + a_{12}z \end{aligned} \quad (2.13)$$

จากนั้นกำหนดให้  $\psi'$  เป็นฟังก์ชันของการเสียรูปของ  $u$ ,  $v$  และ  $w$  โดยที่ในการวิเคราะห์นั้น สามารถทำได้เหมือนกันกับกรณีของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม จะได้ว่า

$$u(x, y, z) = \frac{1}{6v} \left\{ \begin{aligned} &(\alpha_1 + \beta_1x + \gamma_1y + \delta_1z)u_1 + (\alpha_2 + \beta_2x + \gamma_2y + \delta_2z)u_2 \\ &+ (\alpha_3 + \beta_3x + \gamma_3y + \delta_3z)u_3 + (\alpha_4 + \beta_4x + \gamma_4y + \delta_4z)u_4 \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

โดยที่

$$\alpha_1 = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & y_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & z_4 \end{pmatrix} \quad (2.15)$$

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

และ

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

และ

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

และ

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

สามารถที่จะเขียนรูปของเมทริกซ์สำหรับฟังก์ชันการเสียรูปเท่ากับ

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

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

$$[B] = [\underline{B}_1 \quad \underline{B}_2 \quad \underline{B}_3 \quad \underline{B}_4] \quad (2.24)$$

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

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

ในกรณีที่ เป็นเอลิเมนต์แบบทรงสี่หน้า (Tetrahedron) จะมีค่าคงที่ ดังนี้

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

ผลจากน้ำหนัก (Body Force)

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

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

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

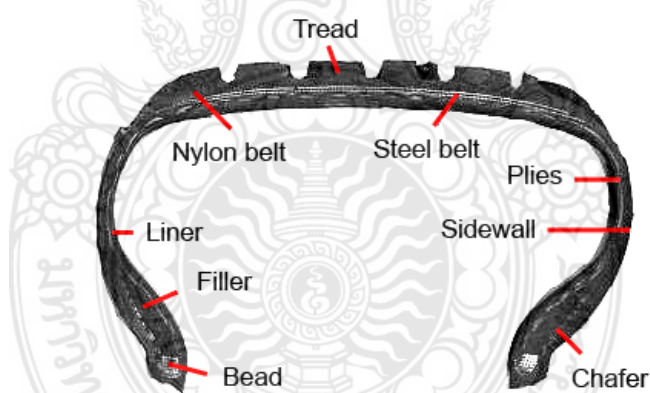


## 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับยางรถยนต์และล้อรันแฟลทสำหรับล้อรถยนต์ทั่วไปและรถยนต์บรรทุกปกติขนาดเล็กติดเการะ

ยางรถยนต์เป็นส่วนประกอบรถยนต์รูปวงแหวนที่หุ้มขอบล้อเพื่อปกป้องและช่วยให้สมรรถนะของรถดีขึ้น ยางส่วนใหญ่ เช่น ยางสำหรับรถยนต์และจักรยาน ให้การยึดเกาะระหว่างรถกับถนน ในขณะที่ให้เบาะที่ยืดหยุ่นซึ่งดูดซับแรงกระแทก [7]

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

ส่วนประกอบของยางประกอบด้วยหลายส่วน เช่น ดอกยาง ขอบยาง แก้มยาง ไหล่ยาง และชั้นยาง มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของยาง [11]

1. ดอกยาง เป็นส่วนหนึ่งของยางที่สัมผัสกับพื้นผิวถนน ส่วนที่สัมผัสกับถนนในช่วงเวลาที่กำหนดคือส่วนติดต่อ ดอกยางเป็นยางหนา หรือยางสารประกอบคอมโพสิตที่คิดค้นขึ้นเพื่อให้มีการยึดเกาะในระดับที่เหมาะสมโดยไม่สึกเร็วเกินไป ลวดลายดอกยางมีลักษณะเฉพาะด้วยรูปทรงเรขาคณิตของร่องดอกยาง ร่องจะวิ่งเป็นเส้นรอบวง และเพื่อให้ให้น้ำไหลออกเป็นส่วนของการออกแบบดอกยางที่สัมผัสกับพื้นผิวถนน ช่องว่างคือช่องว่างระหว่างร่องที่ช่วยให้ระบายน้ำออกได้ รูปแบบดอกยางมีขนาดดอกยางที่ไม่สมมาตร (หรือไม่สมมาตร) ตามเส้นรอบวง เพื่อลดระดับเสียงที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งปกติจะตั้งฉากกับร่องยาง ซึ่งช่วยให้น้ำจากร่องยางไหลออกไปด้านข้าง ดอกยางมักได้รับการออกแบบมาให้

ยางมีสมรรถนะสูง มีอัตราส่วนช่องว่างขนาดเล็กเพื่อให้ยางสัมผัสกับพื้นถนนมากขึ้นเพื่อการยึดเกาะที่สูงขึ้น แต่อาจผสมด้วยยางที่นิ่มกว่าซึ่งให้การยึดเกาะที่ต่ำกว่า 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 แก้มยางบรรจุแรงดันอากาศและส่งแรงบิดที่ใช้โดยเพลลาขับไปยังดอกยางเพื่อสร้างการยึดเกาะแต่รองรับน้ำหนักของรถเพียงเล็กน้อย 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 ถึงแม้จะไม่มีลมยางก็จะสามารถวิ่งได้เป็นระยะทางถึง 80 กิโลเมตร ด้วยความเร็วไม่เกิน 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง [12]

โดยส่วนใหญ่ยางรันแฟลท สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ

1) แบบ “Self-Supporting tire” ดังรูปที่ 2.4 ก) และ 2.5 ข) เป็นเทคโนโลยีรันแฟลทที่ใช้กันมากที่สุดที่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลในปัจจุบันคือ มีแก้มยางที่รองรับตัวเอง แก้มยางเสริมความแข็งแรงเพื่อรองรับรถเมื่อแรงดันอากาศต่ำ หรือแม้กระทั่งเมื่อยางสูญเสียแรงดันลมยางทั้งหมด ประโยชน์หลักของยางแบบนี้คือ จะพยุงตัวเองช่วยให้สามารถขับต่อไปบนพื้นราบได้ถึง 50 ไมล์ หลังจากที่ถูกอากาศหมด โดยไม่จำเป็นต้องลงจากรถท่ามกลางอากาศหนาว ฝนตก หรือขึ้นทางหลวงที่พลุกพล่านหรือบนถนนในย่านที่คับแคบของเมือง ผู้ขับขี่จะต้องลดความเร็วลงเหลือประมาณ 50 ไมล์ต่อชั่วโมงเพื่อให้ได้ช่วงระยะขับต่อสูงสุด เสถียรภาพที่ดีขึ้นหลังจากเกิดการระเบิด เนื่องจากยางนี้สามารถรองรับรถได้หลายไมล์โดยไม่มีอากาศ การบังคับเลี้ยวและการควบคุมรถจะยังคงใกล้เคียงปกติ พื้นที่เก็บสัมภาระมากขึ้นหมายถึงยางอะไหล่ส่วนใหญ่จะอยู่ที่พื้นที่ห้องเก็บสัมภาระ ผู้ผลิตรถยนต์สามารถใช้พื้นที่ดังกล่าวเพื่อเพิ่มพื้นที่จัดเก็บในรถให้สูงสุดได้โดยไม่ต้องใช้พื้นที่ว่าง [13], [14]

2) Auxiliary-Supported Run-Flat Tires หรือ Support Ring System ดังรูปที่ 2.4 ข) เป็นระบบเสริมที่รองรับจะรวมล้อและยางที่มีเอกลักษณ์เฉพาะ สำหรับการใช้งานในรถยนต์ อุปกรณ์ดั้งเดิม ในระบบเหล่านี้ เมื่อยางแบนเมื่อใดหน้ายางจะมาสัมผัสผู้สอยอยู่บนวงแหวนล้อรันแฟลท ที่ติดอยู่กับกระทะล้อ ข้อดีของระบบประเภทนี้คือล้อรันแฟลทแยกออกจากยางโดยตรงเป็นชิ้นส่วนคนละชิ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะไม่สึกหรอและไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนล้อรันแฟลท และลดราคาของยางรันแฟลทลง (ซึ่งเสื่อมสภาพเป็นระยะและต้องเปลี่ยน) โดยมากจะถูกนำไปใช้กับรถยนต์ขนาดใหญ่ เช่น รถเกราะล้อ ยาง หรือยานพาหนะที่ใช้ในชายแดน เป็นต้น [15]

3) Self-Sealing Run-Flat Tires ดังรูปที่ 2.4 ค) คือยางนิรภัยที่ผลิตโดยอาศัยเทคนิคการเคลือบผิวใต้ดอกยางด้วยวัสดุ “Sealant” หรือใช้ Polymer ที่สามารถซ่อมแซมรอยรั่วด้วยตัวเอง ยางแบบซิลตัวเองไม่ใช่ยางรันแฟลทในแง่ที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องใช้ลม แต่มีชั้นเคลือบหลุมร่องฟันภายในยางที่สามารถรักษาแรงดันอากาศในกรณีที่เกิดการเจาะ หากตะปูเจาะที่ยางแล้วถอดออก น้ำยาซิลจะเติมรอยรั่วให้เต็มตราบใดที่อยู่ใกล้ศูนย์กลางของดอกยางและต้องมีขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ข้อได้เปรียบที่ใหญ่ที่สุดของยางแบบนี้ก็คือ คล้ายกับยางทั่วไป สามารถผสมและจับคู่กับยางมาตรฐานได้ และอายุการใช้งานของดอกยางก็เท่ากัน ข้อเสียคือค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น (ประมาณระดับพรีเมียมเท่ากับยางรันแฟลท) และความพร้อมในการใช้งานที่จำกัด ยางประเภทนี้

ไม่ใช่อย่างมาตรฐานสำหรับรถใหม่ แต่มีจำหน่ายเป็นทางเลือกแทน Continental และ Pirelli เป็นผู้ผลิตยางรถยนต์สองรายที่ผลิตยางแบบซีลตัวเอง [14]



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



รูปที่ 2.5 ล้อยาง ก) ล้อยางธรรมดา ข) ล้อยางรันแฟลทแบบ Self-Supporting Tire และ ค) Self Seal Leakage Tire [15]

### 2.3 การทบทวนวรรณกรรม

ยางแบนหมายถึงยางลมที่ปล่อยลมออก ซึ่งอาจทำให้ขอบล้อวิ่งบนดอกยาง ทำให้ขอบกระทะล้อรถเสียหาย ขอบล้อกระทะกระทะแตกพื้นกะทันหัน และอาจส่งผลให้สูญเสียการควบคุมรถ ซึ่งเมื่อขอบกระทะล้อเสียหายจะไม่สามารถแก้ไขซ่อมได้ [16]-[26] อุบัติเหตุครั้งนี้ทำให้ผู้ขับขี่ต้องเสียเงินเป็นจำนวนมากในการเปลี่ยนยางและเปลี่ยนขอบล้อใหม่ เมื่อเปรียบเทียบกับยางแบบไม้อัด ยางลมที่เติมลมด้วยลมจะให้อัตราหลายประการในประสิทธิภาพการขับขี่ของยางหลัก เช่น ความสบายในการขับขี่ การควบคุมและการเข้าโค้ง และการพลิกคว่ำหลบสิ่งกีดขวาง อย่างไรก็ตาม ยังคงประสบปัญหาหลักสองประการที่การเจาะอาจส่งผลให้เกิดความล้มเหลวโดยสิ้นเชิง และการระเบิดด้วยความเร็วสูง อาจนำไปสู่อุบัติเหตุทางรถยนต์ที่เป็นอันตราย ในสถานการณ์เช่นนี้ วิธีเดียวที่จะขับบนถนนได้อีกครั้ง

คือการเปลี่ยนยางอะไหล่ที่เสียหายด้วยยางอะไหล่ในห้องเก็บสัมภาระ ตามที่ระบุไว้ด้วยคำว่า รัน แพลท ช่วยให้ยานพาหนะสามารถขับเคลื่อนบนถนนด้วยความเร็วปกติในระยะทางที่จำกัด แม้จะเกิดการเจาะทะลุ ยางรันแพลทหลายประเภทได้รับการพัฒนาโดยผู้ผลิตยางรถยนต์ทั่วโลกตั้งแต่มีการนำแนวคิดมาใช้ และยางที่เป็นตัวแทนคือยางแบบมีแถบที่เปิดตัวในปี 1976 และยางแบบพยางค์ตัวเองที่มีวงแหวนรองรับภายในหรือยางเสริมแรงที่แก้มข้าง สาเหตุที่พบบ่อยที่สุดที่ทำให้ยางแบนคือการเจาะของยางด้วยของมีคม เช่น ตะปู ทำให้อากาศไหลออกและคนขับสูญเสียการควบคุมรถ [27]-[37] ยางอาจปล่อยลมช้าหรือเร็ว [38]-[41] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของการเจาะ

H. S. Cheah และคณะ [42] ได้ทำการออกแบบและพัฒนา สร้างกลไกให้ยางวิ่งได้หลังจากที่ยางถูกเจาะ เพื่อให้คนขับมีเวลาเพียงพอที่จะไปโรงปฏิบัติงานในบริเวณใกล้เคียง วัตถุประสงค์คือการสร้างกลไกในการวิ่งยางแบนเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้อายุการใช้งานเมื่อเจาะทะลุ นอกจากนั้น เมื่อยางแบน ความเค้นของระบบกันสะเทือนจะเพิ่มขึ้นตามสภาพถนน ขอบเขตของโครงการคือการสร้างกลไกในการวิ่งยางแบนโดยการสร้างวงแหวนรองรับภายในยางเพื่อรองรับยานพาหนะหลังจากที่ยางวิ่งเรียบและยังสามารถติดตั้งได้กับยางและขนาดล้อทุกประเภท โดยเริ่มต้นคำนวณขนาดของยางแข็ง (กว้างและยาว) สูตรในการคำนวณคือ  $2\pi r$  ขนาดของขอบล้อคือ 12 นิ้ว (คูณ 25.4 เพื่อแปลงเป็น มม.) เท่ากับ 957.55 มม. ความกว้างของยางแข็งเลือกเป็น 65 มม. ดังนั้นความยาวสุดท้ายคือ 65 มม. x 957.55 มม. สำหรับขั้นแรก สำหรับขั้นที่สอง วัดความหนาของยางแข็งและคำนวณ เพื่อความปลอดภัย จำเป็นต้องเพิ่มความยาวอีก 50 มม. จากนั้นติดยางแข็งที่ขอบด้วยกาว Dunlop ใช้เลื่อยตัดผิวขอบให้หยาบ ใช้แปรงทากาว Dunlop กับพื้นผิวขอบล้อและพื้นผิวยางแข็ง หลังจาก 5 นาที ติดยางแข็งกับขอบ ตัดยางแข็งพิเศษเพื่อให้ปลายเรียบ หลังจากติดยางแข็งแล้ว ให้ใช้พินล๊อคปลายยาง ที่จุดสิ้นสุดของยาง เราใช้สลักเจาะเพื่อให้แน่ใจว่าจุดสิ้นสุดสามารถต่อเข้าด้วยกันได้ หลังจากเจาะหมดแล้ว ให้ใช้ค้อนเคาะหมดเพื่อให้แน่ใจว่าได้ติดตั้งหมดไว้อย่างสมบูรณ์ ขั้นตอนต่อไปคือการติดตั้งยางเข้ากับยางใน ขั้นแรก คำนวณขนาดยางโดยใช้สูตรเดียวกับด้านบนกับขนาด จากนั้นทา กาว Dunlop ที่ยางในและพื้นผิวยางแข็ง หลังจากผ่านไป 5 นาที ให้ติดยางเข้ากับยางใน ใช้หมุด ล็อคปลายยาง (เหมือนข้างบน) หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนข้างต้น ให้เริ่มติดตั้งยางเข้ากับขอบล้อโดยใช้ เครื่อง เมื่อการติดตั้งเสร็จสิ้น ให้ทำการทรงตัวที่ยางเพื่อลดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในยาง ใน ตอนท้ายของโครงการ จำเป็นต้องมีการทดสอบอย่างง่ายเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ ผลการทดสอบจะรวม ความเร็วสูงสุดของยางแบน ว่ายางแบนจะสามารถใช้งานได้นานเท่าใด

ผลการวิจัยพบว่า การออกแบบยางปกติมีคุณสมบัติที่ดีกว่าการออกแบบยางแบน จำนวน อัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนักที่สูงกว่าสำหรับค่าแรงม้าที่กำหนด ยิ่งรถมีน้ำหนักน้อยก็ยิ่งใช้กำลังมากขึ้นดี ขึ้นเท่านั้น รถที่มีน้ำหนักน้อยกว่าจะมีแรงเฉื่อยน้อยกว่า แรงได้ง่ายกว่า และเปลี่ยนทิศทางได้ ในอีก ด้านหนึ่ง มันมีแรงเฉื่อยน้อยกว่า เนื่องจากการจุดขึ้นอยู่กับแรงเสียดทาน ซึ่งผลัดกันขึ้นอยู่กับน้ำหนัก นอกจากนั้น การใช้ยางชนิดนี้ดูเหมือนจะส่งผลเสียต่อการโต้ตอบแบบไดนามิกระหว่างถนนและตัวถัง

รถ นอกจากนี้ ผลลัพธ์ที่ได้ยังแสดงให้เห็นความจำเป็นในการวิจัยเพิ่มเติมในเรื่องนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการกระจายแรงกดสัมผัสระหว่างยางและพื้นผิวถนนเมื่อยางใช้ยาง [42] ได้ผลดังตารางที่ 2.1 และรูป Flat Ture ดังรูปที่ 2.6

ตารางที่ 2.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง Normal Tyre และ Flat Tyre [42]

	Normal Tyre	Flat Tyre
Velocity (m/s <sup>2</sup> )	V=50km/h =50km/h × (1000m/1km) × (1h/3600s) =13.89/35s = 0.3969m/s <sup>2</sup>	V=50km/h =50km/h × (1000m/1km) × (1h/3600s) = 13.89/40s =0.3473m/s <sup>2</sup>
Force (N)	F=m × a =670kg × 0.3969m/s <sup>2</sup> = 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



รูปที่ 2.6 ล้อยางลมที่สวมล้อรันแฟลทสำหรับการทดสอบ [42]

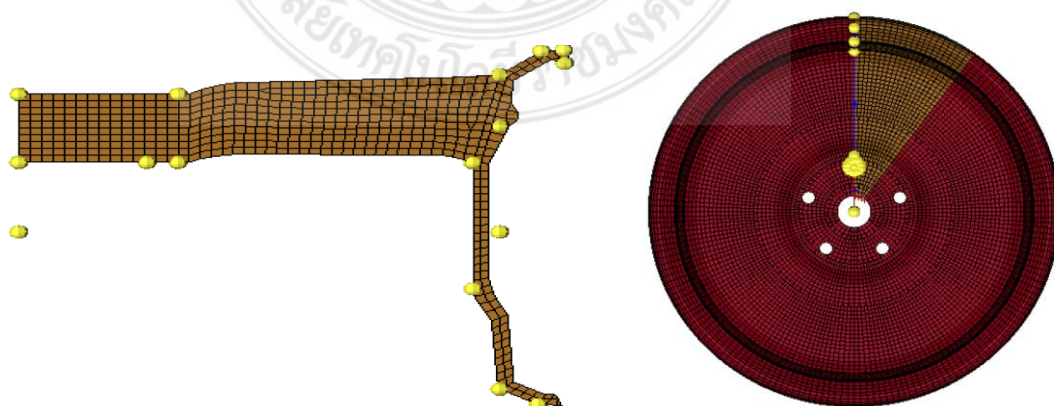
Sourav Das [43] ได้นำเสนอการออกแบบล้ออลูมิเนียมอัลลอยด์สำหรับใช้ในรถยนต์ ซึ่งใช้การอ้างอิงพิเศษในการเพิ่มประสิทธิภาพมวลของล้อ การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงให้เห็นว่ามวลที่ปรับให้เหมาะสมของขอบล้อสามารถลดลงเหลือประมาณ 50% เมื่อเทียบกับล้ออัลลอยด์แบบงานแข็งแบบ Al ที่มีอยู่ การวิเคราะห์ FE แสดงให้เห็นว่าความเค้นที่สร้างขึ้นในส่วนประกอบที่ปรับให้เหมาะสมนั้นต่ำกว่าความเค้นครากที่แท้จริงของโลหะผสม Al การประมาณอายุความล้าโดยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ ภายใต้สภาวะโหลดความล้าในแนวรัศมี ดำเนินการเพื่อวิเคราะห์การ

กระจายความเค้นและส่งผลให้มีการกระจุกตัวในล้ออัลลอยด์ เส้นโค้ง S-N ของส่วนประกอบแสดงให้เห็นว่าขีดจำกัดความทนทานอยู่ที่ 90 MPa ซึ่งต่ำกว่าความเค้นครากของวัสดุ และปลอดภัยสำหรับการใช้งาน การวิเคราะห์ FE ระบุว่าแม้หลังจากรอบความล้าที่ 1,020 ความเสียหายบนล้อพบเพียง 0.2% วัสดุสำหรับกระทะล้อใช้ Al-Si (BS: LM25 alloy) โลหะผสมส่วนใหญ่ประกอบด้วย 6.5-7.0.0% Si, 0.3-0.4% Mg และส่วนที่เหลือเป็นอลูมิเนียม คุณสมบัติของโลหะผสมที่ขึ้นอยู่กับสถานะการอบชุบด้วยความร้อน (T6) คุณสมบัติของโลหะผสมแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมในสถานะที่ผ่านการอบชุบด้วยความร้อนแสดง Al ปฐมภูมิและใกล้ทรงกลมยูเทคติก Si การตกตะกอนที่ดีของ Mg<sub>2</sub>Si มีหน้าที่ในการปรับปรุงคุณสมบัติ [43]

ตารางที่ 2.2 Material properties of LM25 aluminum alloy in T6 condition [43], [44]

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 <sup>3</sup> 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 2.7 แสดงองค์ประกอบ 2D และ 3D ของขอบล้อและส่วนตัดขวางของ Sourav Das [43]

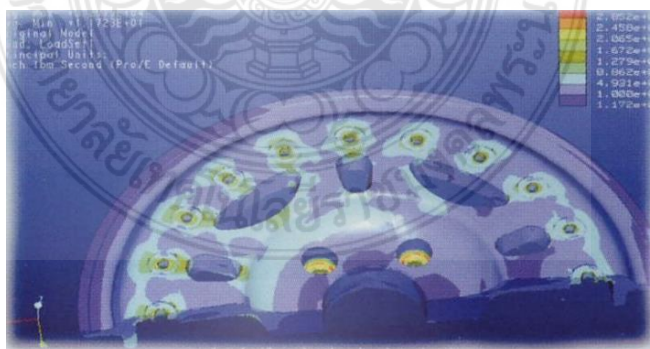


รูปที่ 2.7 2D และ 3D ของขอบล้อและส่วนตัดขวางของ Sourav Das [43]



รูปที่ 2.8 Off road CRF [45]

Hutchinson [45] นำเสนอรถหุ้มเกราะที่ได้รับการออกแบบมา (ดูรูปที่ 2.8) เพื่อปกป้องผู้โดยสารในสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตรายแม้แต่การป้องกันที่ดีที่สุดก็อาจไร้ประโยชน์หากรถไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ด้วยเหตุผลนี้ผู้ผลิตรถยนต์ รายใหญ่ทั้งหมดจึงหัน ไปหา Hutchinson เพื่อจัดหาวิธีการการเคลื่อนย้ายที่จะช่วยให้รักษาความคล่องแคล่วและบรรลุมารกิจโดยสงบและผู้โดยสารอย่างปลอดภัย ผลิตขึ้นโดยใช้อุปกรณ์ CNC ที่ทันสมัยจากนั้นจึงได้รับการประเมินและทดสอบอย่างเข้มงวดโดยฝ่ายควบคุมคุณภาพ โดยใช้อุปกรณ์วัดพิกัดที่ควบคุมโดย sophisticated coordinate measurement เพื่อรับรองความถูกต้องของชิ้นส่วนก่อนการผลิตการออกแบบใหม่แต่ละรายการจะผ่านการทดสอบโครงสร้างในห้องปฏิบัติการอิสระ ซึ่งรับรองว่าล้อนั้นเป็นไปตามข้อกำหนดการ ทดสอบของลูกค้ำทั้งหมด มาตรฐานการออกแบบ SAE DOT และ Hutchinson วิศวกรของฮัทชินสันได้พัฒนาการออกแบบล้อแบบใหม่ที่แสดงถึงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีขั้นสูงสุด ดังรูปที่ 2.9 ในการจัดหาวิธีการการเคลื่อนย้ายแก่อองค์กร หน่วยงานของรัฐ การขนส่งเงินสด และการ ใช้งานพลเรือนอื่น ๆ ที่หลากหลาย ซึ่งรับประกันความปลอดภัยของผู้โดยสารเป็นอันดับแรก [45]



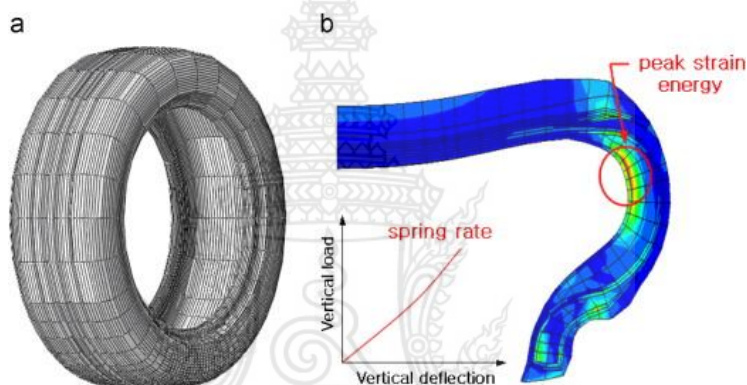
รูปที่ 2.9 การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ [45]

Ballarnut [46] จากปัญหาที่ตรงกันข้ามจึงได้มีการคิดค้นใช้ยาง Tweel Type รูปแบบ Flexible Spoke ซึ่งสามารถวิ่งได้โดยไม่ต้องเติมลมสามารถวิ่งในสภาพถนนที่ขรุขระดินลูกรังและ



สามารถวิ่งต่อไปได้เมื่อมีตะปูตำและสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าล้อยางลมปกติ แต่ราคาจำหน่ายสูง หลังจากนั้น Michelin บริษัทยางรถยนต์รายแรกที่คิดค้นเทคโนโลยียางแบบใหม่ขึ้นมาเรียกว่า Run Flat Tyre ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Pax Systems ลักษณะคล้ายกับล้อยางลมทั่วไป มีวงแหวนโพลีเมอร์หุ้มกระทะล้อก่อนใส่ยาง เมื่อล้อเกิดเหตุยางลมรั่ว ตัววงแหวนจะทำหน้าที่รองรับน้ำหนักแทนยาง ราคาสูงแต่ข้อดีคือสามารถติดตั้งกับล้อธรรมดาและยางทั่วไปได้

j.R. Cho และคณะ [47] ใช้วิธีการจำลอง โดยโปรแกรมทำคอมพิวเตอร์ ANN วิเคราะห์ ดังรูปที่ 2.10 เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของขอบของยางนอกทำให้พบว่าแก้มยางเมื่อขับเคลื่อนด้วยรันแฟลทจะเป็นจุดที่เสียหายมากที่สุด จึงเสริมยางเข้าที่แก้มยางแล้วใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ จนพบจุดที่เสริมยางเข้าแล้วจะไม่ทำให้ยางเสียรูปและขับเคลื่อนนุ่มนวลและปลอดภัย



รูปที่ 2.10 การวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นที่ล้อรันแฟลท [47]

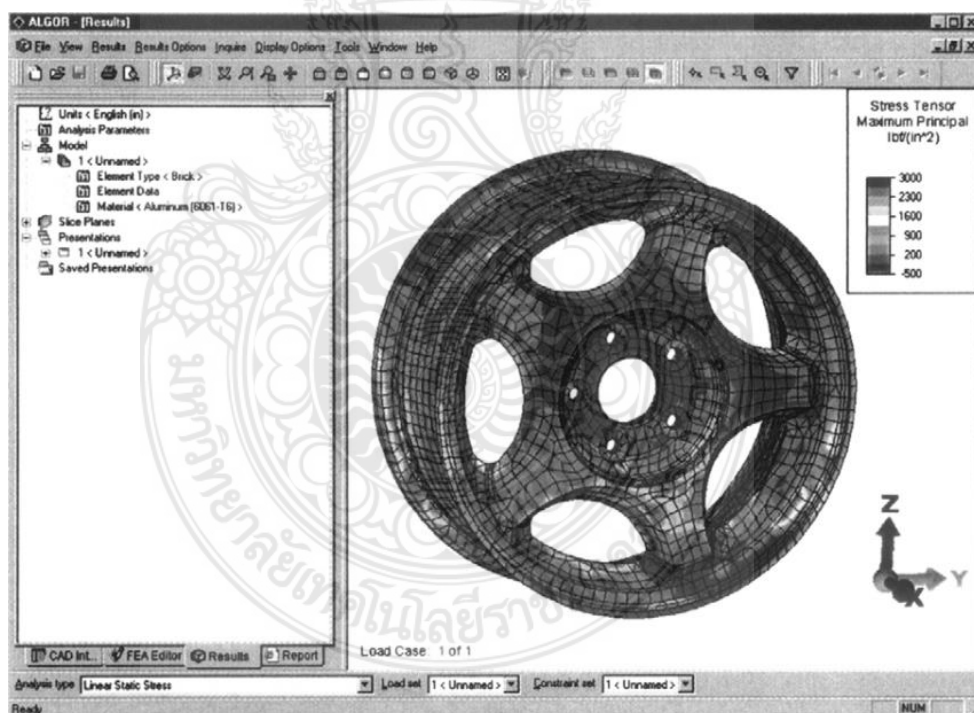
Kazuo Hochi [48] องค์กรประกอบยางที่เหมาะสมสำหรับเสริมแรงให้ล้อรันแฟลท ซึ่งมีคุณสมบัติคายความร้อนต่ำและมีความแข็งแรงสูง องค์กรประกอบของยางรถยนต์ และล้อรันแฟลท ประกอบทับเป็นชั้น เรียกว่า (A reinforcing layer) โดยการเสริมความแข็งแรงเสริมที่บริเวณแก้มยาง (Side wall) ทำให้รถสามารถวิ่งได้เมื่อรถเกิดล้อยางลมรั่วหรือเกิดการระเบิดในระหว่างขับเคลื่อน แต่อย่างไรก็ตามรถสามารถวิ่งได้ในระยะทางสั้นๆเท่านั้นและไม่สามารถทำความเร็วได้ ทำให้ในอนาคตผู้ประดิษฐ์ปรับปรุงเพื่อสมรรถนะที่ดีขึ้นของรถและความปลอดภัยของผู้ขับและผู้โดยสารยิ่งขึ้น

John Stearns [49] กล่าวว่า ยาง Run flat Goodyear สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีแรงดันอากาศในยางเป็นระยะทางอย่างน้อย 80 กิโลเมตร (50 ไมล์) งานนี้ได้รับมาจากหนาแก้มเสริมด้วยยางที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ สามารถทำงานได้ภายใต้ความร้อนและความเครียดเมื่อความดันต่ำหรือยางแบน ในขณะที่คงไว้ซึ่งความนุ่มนวลในการขับเคลื่อน

รันแฟลท แบบใหม่ที่ได้รับการพัฒนา เพื่อเปิดใช้งานกับรถยนต์ส่วนบุคคลธรรมดา ที่จะขับเคลื่อนด้วยความเร็วปกติสำหรับระยะทางที่จำกัด แม้จะไม่มีแรงดันอากาศ บริษัท Goodyear เป็นบริษัทยางรถยนต์ที่ใหญ่ที่สุดในโลกที่เคยมียอดขายต่อปีมากกว่า 14,000,000,000 USD ได้พัฒนา

วิธีการแก้ปัญหา รันแพลตฟอร์ม ที่เรียกว่าเทคโนโลยีการเคลื่อนไหวยาว (Extended mobility technology, EMT) ในระหว่างการพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริษัทได้ตระหนักว่าการใช้ยางที่แรงดันต่ำอาจส่งผลกระทบต่อในทางลบ การศึกษาตัวแปรของความดันและความเค้นในล้อ ได้ดำเนินการที่ University of Akron โดยใช้ซอฟต์แวร์ ALGOR FEA เพื่อตรวจสอบความเสียหายของล้อเมื่อแรงดันลมยางต่ำ ล้อรันแพลตฟอร์ม สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีแรงดันลมยางอย่างน้อย 80 กิโลเมตร (50 ไมล์) และสูงสุด 150 กิโลเมตร (93 ไมล์) ที่ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง (50 ไมล์ต่อชั่วโมง) (กรณีรถยนต์ส่วนบุคคลธรรมดา) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของรถที่มีการติดตั้ง แก้มยางเสริมด้วยยางที่ออกแบบมาเป็นพิเศษสามารถต้านทานความร้อนและความเครียดเมื่อไม่มีแรงดันลมยาง [49]

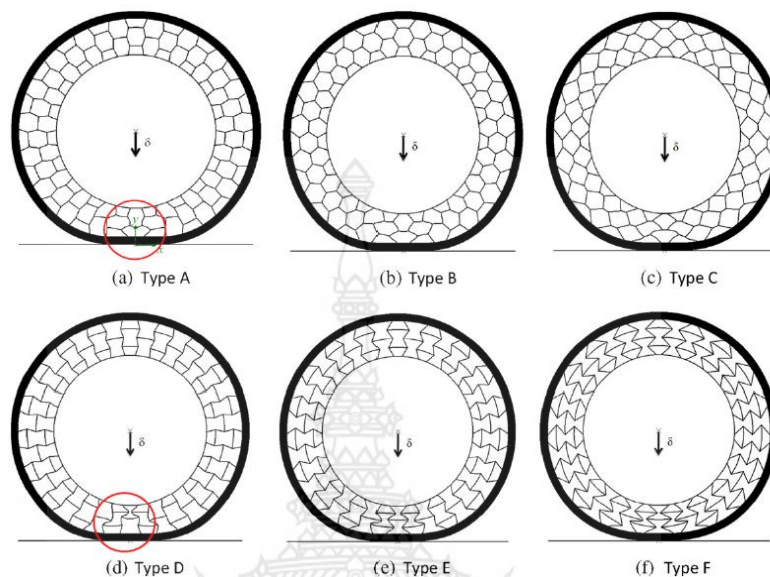
John Stearns [49] ได้สร้างโมเดลล้ออลูมิเนียม ให้กับ Goodyear และถ่ายโอนโมเดลเข้าสู่โปรแกรม ALGOR ด้วยเทคโนโลยี InCAD Algor ผ่านไฟล์ IGES เลือกชนิดเอลิเมนต์เป็น Tetrahedral จำนวน 35,000 เอลิเมนต์ น้ำหนักของรถกระทำลงบนยางสองวงเท่ากับ 1,000 lb ซึ่งเป็นภาระสูงสุด น้ำหนักนี้ถูกนำไปใช้เป็นการดันโหลดลงบนส่วนด้านล่างของล้อ ที่มีการกระจายแรงในรูปแบบพาราโบลา รูปที่ 2.11 แสดงผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 2.11 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของกระทะล้อรถยนต์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม ALGOR [49]

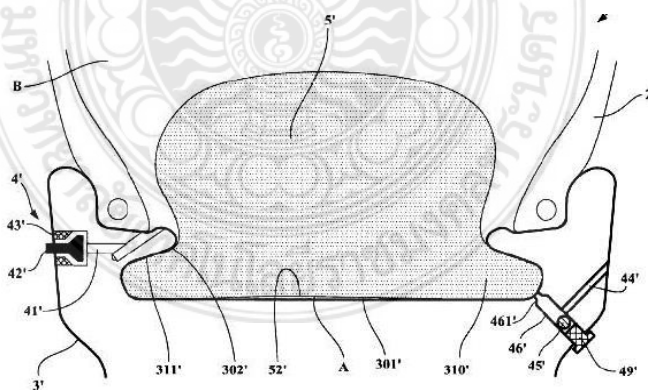
K. Kim และคณะ [50] เป็นการออกแบบและทดสอบ ยางรถยนต์แบบ Non-pneumatic tires (NPTs) ทั้ง 6 ประเภทดังรูปที่ 2.12 ซึ่งนำมาทดสอบ โดยเปลี่ยนแปลงส่วนที่เป็นรังผึ้งมา 6

ลักษณะ มาทดสอบซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบให้เห็นว่า ล้อที่มีโครงสร้างแบบประเภท C ค่าความเครียดและคงทนความล้าได้ดีที่สุด



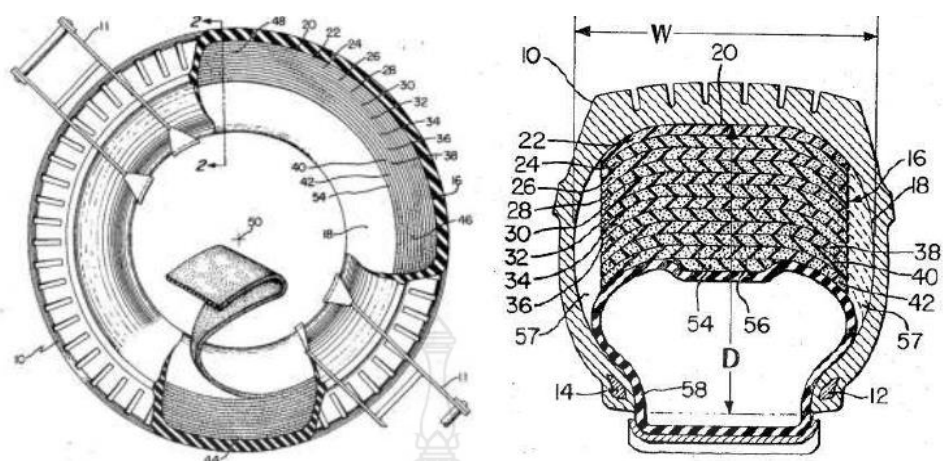
รูปที่ 2.12 ชนิดล้อ non-pneumatic tire แบบรังผึ้งที่ใช้ในการทดสอบ [50]

Isao และ Shoichi [51] สร้างยางที่เสริมขอบด้วยวัสดุเป็นชั้น (Treinfoming Layer) ซึ่งมีลักษณะแข็งนำมาเสริมในส่วนของแก้มยาง (Side Wall) ทำให้รถที่ถูกเจาะด้วยตะปูหรือใบสามารถขับเคลื่อนต่อไปได้ ทำให้เห็นว่าไม่ต้องมียางสำรองสามารถช่วยลดน้ำหนักของตัวรถได้อีกด้วยซึ่งยางชนิดนี้มีข้อจำกัดในเรื่องระยะทางและความเร็วที่สามารถทำได้เมื่อถูกเจาะด้วยตะปูหรือใบ



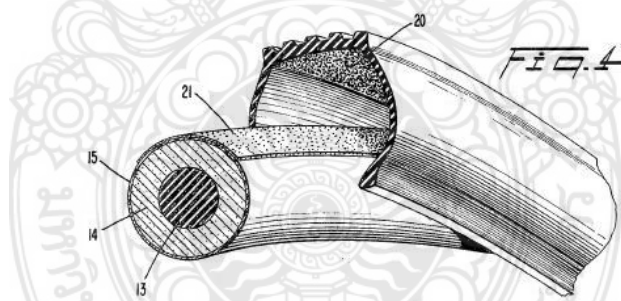
รูปที่ 2.13 ล้อยางแบบ Run-flat assembly [51]

Philip Stuart Hammond [52] กล่าวว่าเป็นการออกแบบล้อลมยางโดยเสริมชั้น โฟมยางซึ่งทำมาจากยางสังเคราะห์เพื่อป้องกันการถูกเจาะจากตะปูหรือใบ ซึ่งต้องดัดแปลงตัวกระทะล้อให้เข้ากับโฟมยางที่จะสวมใส่ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนและติดตั้งโดยการสวมเข้าที่กระทะล้อ

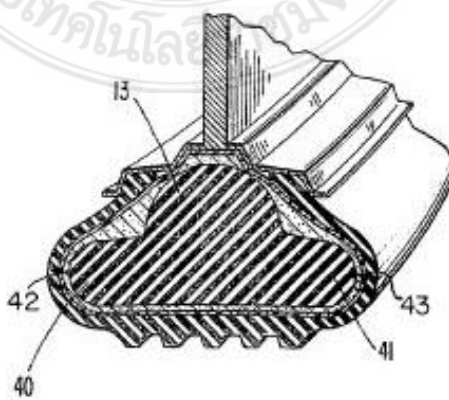


รูปที่ 2.14 ล้อยางที่เสริมโคมเยางที่เป็นแผ่นชีสเสริมในล้อยางลม [52]

Thomas G. Campagnac และคณะ [53] รถยนต์ที่ไม่มียางในเมื่อเกิดเหตุยางรั่วหรือถูกเจาะอาจทำให้รถสามารถเกิดอุบัติเหตุ ผู้ประดิษฐ์จึงได้คิดอุปกรณ์สำหรับเสริมความแข็งแรงเมื่อยางลมรั่วออกโดยแทรกวัสดุโคมเยางมีลักษณะเป็นเส้นดั่งรูปที่ 2.15 เข้าไปในล้อยางลมที่ไม่มียางในซึ่งคุณสมบัติของโคมเยางคือสามารถยืดหดได้ทำให้ล้อยางภายนอกไม่สามารถบีบอัดหรือบดล้อยางให้ล้อยางเคลื่อนได้และยังสามารถลดความเสียหายของแก้มล้อได้อีกด้วยแสดงให้เห็นดั่งรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 ล้อยางเสริมเส้นโคมเยาง [53]

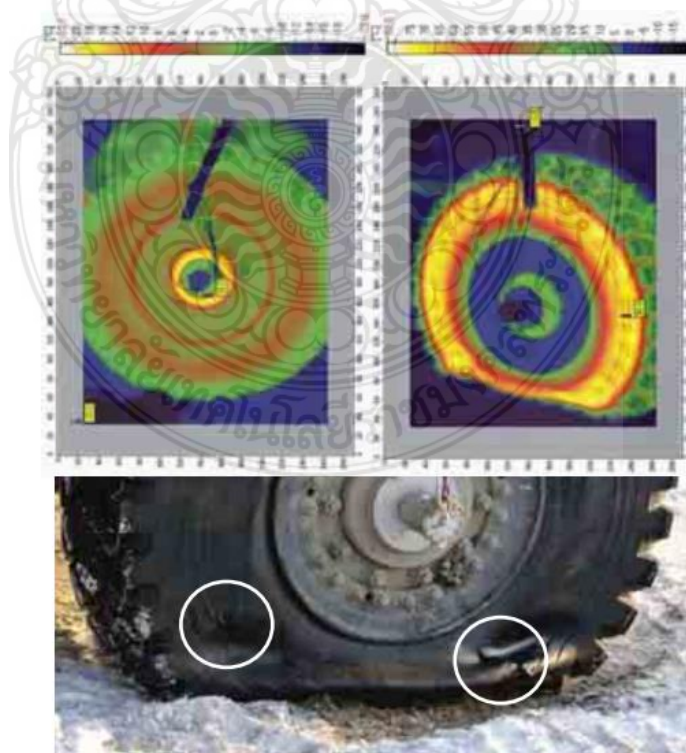


รูปที่ 2.16 ลักษณะล้อยางลม [53]

เจริญยุทธ และคณะ [54] สร้างยาง Run Flat โดยขึ้นรูปยางให้เป็นโฟมยางโดยเติมสารฟู (Blowing agent) และเพิ่มความแข็งด้วยการเติมสารตัวเติมเคลย์หรือแคลเซียมคาร์บอเนต นำขึ้นรันแพลท มาติดตั้งเข้ากับล้อกระทะโดยศึกษาการจับยึดสองรูปแบบได้แก่ 1) กาว 2) สกรู จับยึดผลการทดสอบออกมาว่ากาวไม่สามารถจะยึดขึ้นงานได้ สกรูเป็นตัวจับยึดสามารถวิ่งได้โดยไม่มีล้อยางลม 23 กิโลเมตร และเมื่อสวมล้อยางลมทำให้วิ่งได้เป็นระยะทาง 230 กิโลเมตร หลังจากนั้นนำล้อไปทดสอบตามมาตรฐาน มอก.367-2529 2 กรณี ได้แก่ การทดสอบแบบมีลม และแบบไม่มีลม ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าล้อเกิดการสั่นเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูง เกิดจากล้อไม่ได้ศูนย์ถ่วงเนื่องจากยาง รันแพลท ที่ยึดกับกระทะล้อไม่ช่องว่างสามารถเคลื่อนที่ได้



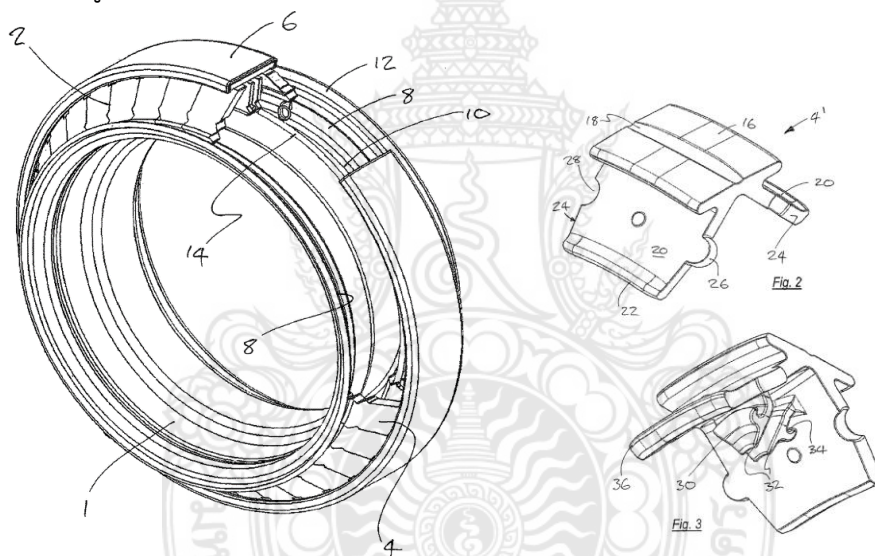
รูปที่ 2.17 พัฒนาล้อยางลมเสริมชั้นโฟมยาง [54]



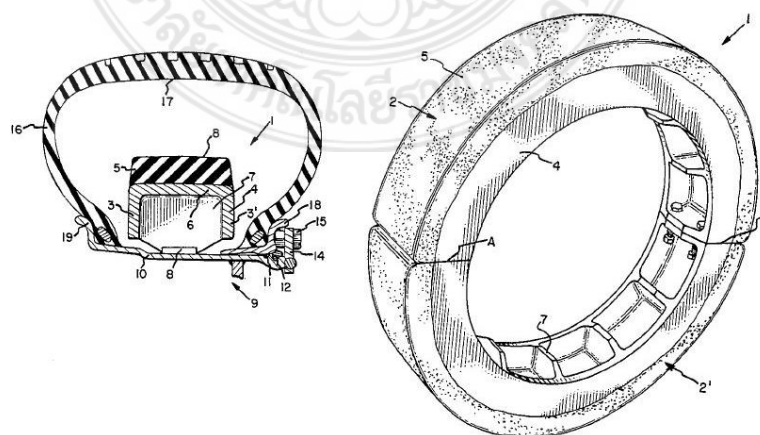
รูปที่ 2.18 การกระจายอุณหภูมิที่ด้านข้างของยางและความเสียหายเมื่อยางแบน [55]

Grzegorz และคณะ [55] งานวิจัยเรื่องนี้ศึกษาเกี่ยวกับ Heavy Vehicle โดยเสริมรันแพลท โดยทำการทดสอบโดย Heat generation , rolling resistance และ radial stiffnees โดยการทดสอบใช้ล้อยางลมสองชนิดได้แก่ 1) แบบ Textile และ 2) แบบ Steel carcass ซึ่งเมื่อทดสอบ radial stiffnes และ hysteresis อุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการทดสอบกระจายตัวสูงสุดที่ของยางด้านในของล้อยางลมและเมื่อทดสอบไปจนถึงจุดที่เกิดความเสียหายส่วนที่เสียหายส่วนแรกคือขอบของล้อยางลมซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.18

Josep S hawkesk และคณะ [56] กล่าวว่าล้อ run-flat ที่สร้างขึ้นประกอบด้วย beadlock สองด้าน โดยล้อ run-flat สามารถติดตั้งได้กับล้อทุกขนาดและทุกประเภทโดยไม่คำนึงถึงรูปร่างและความลึกของล้อ อุปกรณ์ ล้อรันแพลท สามารถติดตั้งได้โดยใช้เครื่องมือมาตรฐานและสามารถทำให้แน่นด้วยการปรับแต่งชุดวาล์ว ทำให้ในการขับขี่ไม่เกิดการแกว่งที่เกิดจากการจับยึดไม่สนิทของอุปกรณ์ ดังรูปที่ 2.19



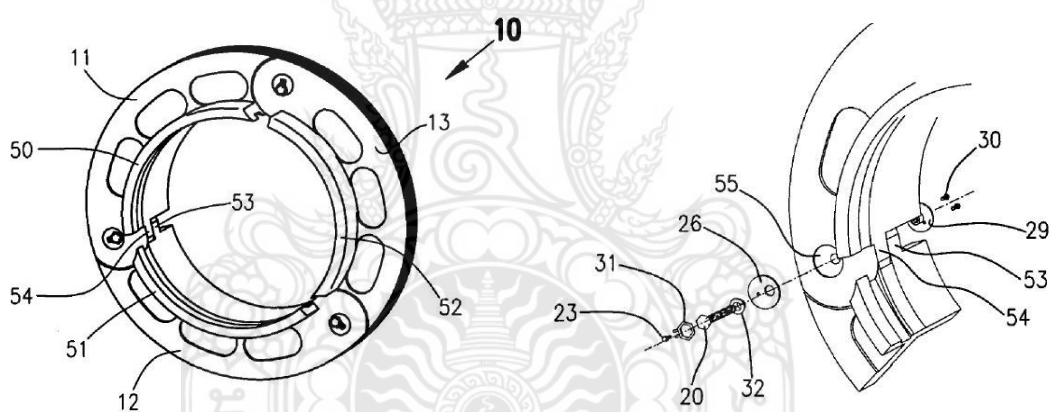
รูปที่ 2.19 Run flat device and a method for fitting the same [56]



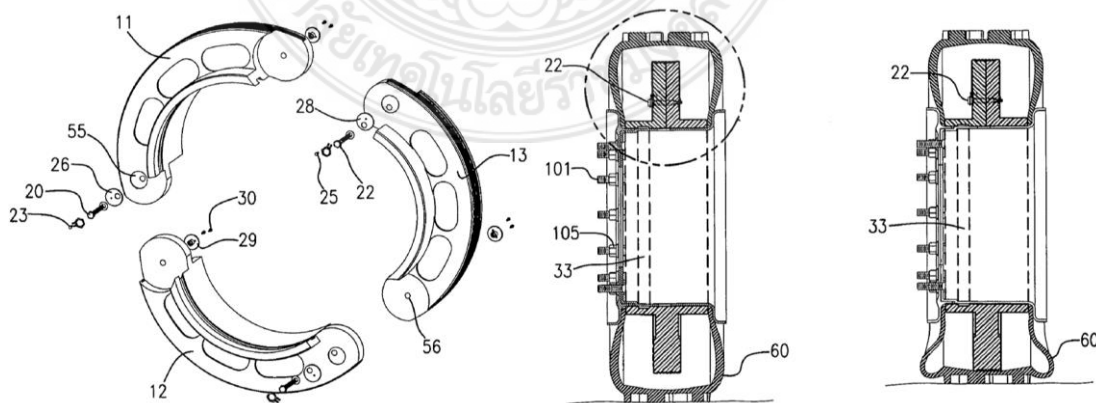
รูปที่ 2.20 Run flat device [57]

William T. และคณะ [57] กล่าวว่าล้อรันแฟลท สองชั้นประกเข้าหากันโดยมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งด้านราบที่สัมผัสกับหน้าตัดของล้อกระทะเป็นจุดรับน้ำหนักซึ่งมีทั้งหมด 14 จุด และจุดยึดล้อรันแฟลท เพื่อให้ประกบกันมีสองจุด โดยใช้เนื้อยึดจุดสองด้านดังภาพประกอบ ส่วนประกอบของล้อรันแฟลท ด้านที่รับน้ำหนักเมื่อล้ออย่างลมแบนมีอยู่สองส่วนส่วนที่สัมผัสโดยตรงโดยส่วนผสมหลักเป็นยางธรรมชาติอยู่ชั้นแรกและชั้นที่สองเป็นเหล็กซึ่งชั้นนี้เป็นชั้นที่ติดกับวงล้อกระทะโดยมีหน้าตัดดังรูปที่ 2.20

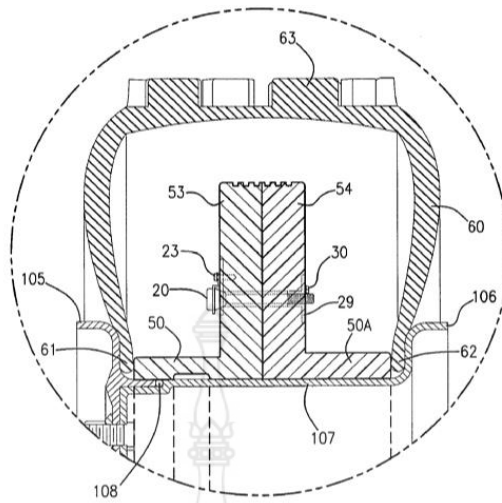
Khaled K. เนื่องจากล้อรันแฟลท [58] ส่วนมากที่ประกบกันสองชั้นส่วนมักจะมีปัญหาเรื่องการประกบเข้ากันของล้อรันแฟลท ทั้งสองชั้นเนื่องจากในความเป็นจริงชิ้นงานครึ่งวงกลมสองชั้นที่มีจุดจับยึดยื่นออกมาไม่สามารถประกบล้อกระทะได้อย่างแนบสนิทโดยที่นี้ จึงสร้างล้อรันแฟลท แบบ 3 ชั้นขึ้นมาดังภาพ โดยวัสดุที่ทำล้อรันแฟลท เป็นเหล็ก และออกแบบจุดจับยึดแบบพิเศษเพื่อป้องกันการคลายตัวของเนื้อที่ล้อรันแฟลท เมื่อถูกแรงกดทำให้น็อตสามารถคลายตัวได้ซึ่งส่วนประกอบของจุดจับยึดดังรูปที่ 2.21-2.23



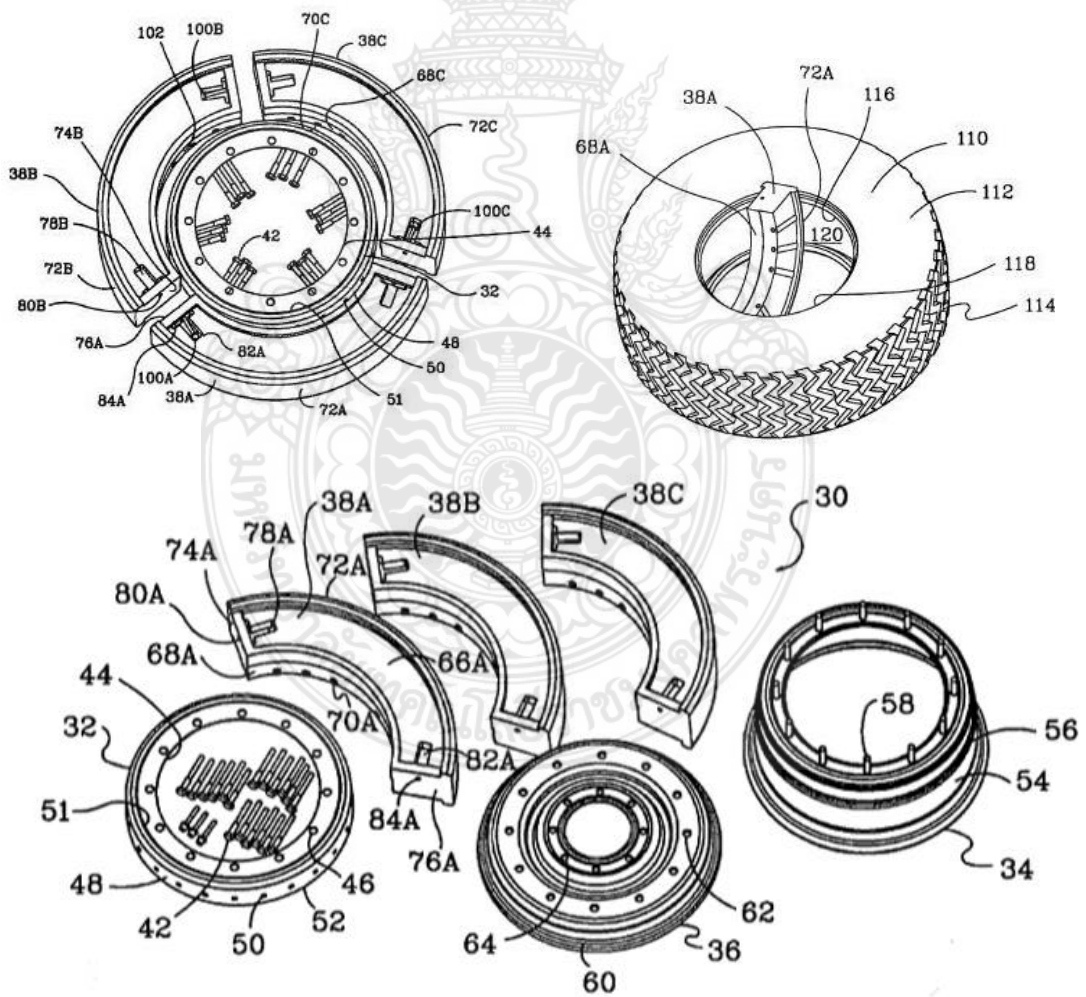
รูปที่ 2.21 Run flat tire system and device [58]



รูปที่ 2.22 ภาพการประกอบชิ้นส่วนล้อรันแฟลท [58]



รูปที่ 2.23 ภาพการยึดชิ้นส่วนล้อรันแฟลทเข้าด้วยกัน [58]



รูปที่ 2.24 Run-flat support system for a pneumatic tired wheel and method for installing same [59]



William W. Gradetto [59] ล้อรันแฟลท สำหรับรถบรรทุกที่ใช้สำหรับทางทหารมีจำนวน 3 ชั้นทำจากเหล็กลักษณะหน้าตัดเรียบซึ่งตัวกระทะล้อก็มีหน้าตัดเรียบ ซึ่งลักษณะพิเศษของล้อ Run-flat ชนิดนี้ คือ 1. จุดจับยึดล้อ Run-flat จะป็นลักษณะหน้าตัดประกบกันและยึดด้วยน็อตสองตัว ด้านข้างทำบารองรับไว้แล้ว 2. จุดจับยึดระหว่างล้อรันแฟลท กับกระทะล้อ โดยล้อรันแฟลท 1 ชั้นจะใช้น็อตยึด 3 ตัว เพื่อป้องกันการขยับของล้อรันแฟลท และทำรับน้ำหนักกระทะหว่างเมื่อมีเหตุยางแบนได้ดีและ ช่วยทำให้รถสามารถวิ่งไปได้เหมือนกับใส่ล้ออย่างลมธรรมดา เพราะไม่มีการแกว่งของล้อรันแฟลท ที่ทำให้ล้อเสียสมดุล และเมื่อล้อรันแฟลท มีสามชั้นทำให้สะดวกสบายต่อการประกอบล้อรันแฟลท เข้ากับล้ออย่างลมและกระทะล้อ โดยมีวิธีการคือ 1. ขึ้นส่วนรันแฟลท ใส่เข้าไปในล้ออย่างลม 2. ประกอบล้อทั้งสามชั้นเข้าด้วยกัน 3. ติดตั้งรันแฟลท เข้ากับล้ออย่างลมและสวมกระทะล้อประกอบเข้าไป 4. ยึดล้อกระทะเข้ากับล้อรันแฟลท ดังรูปที่ 2.24

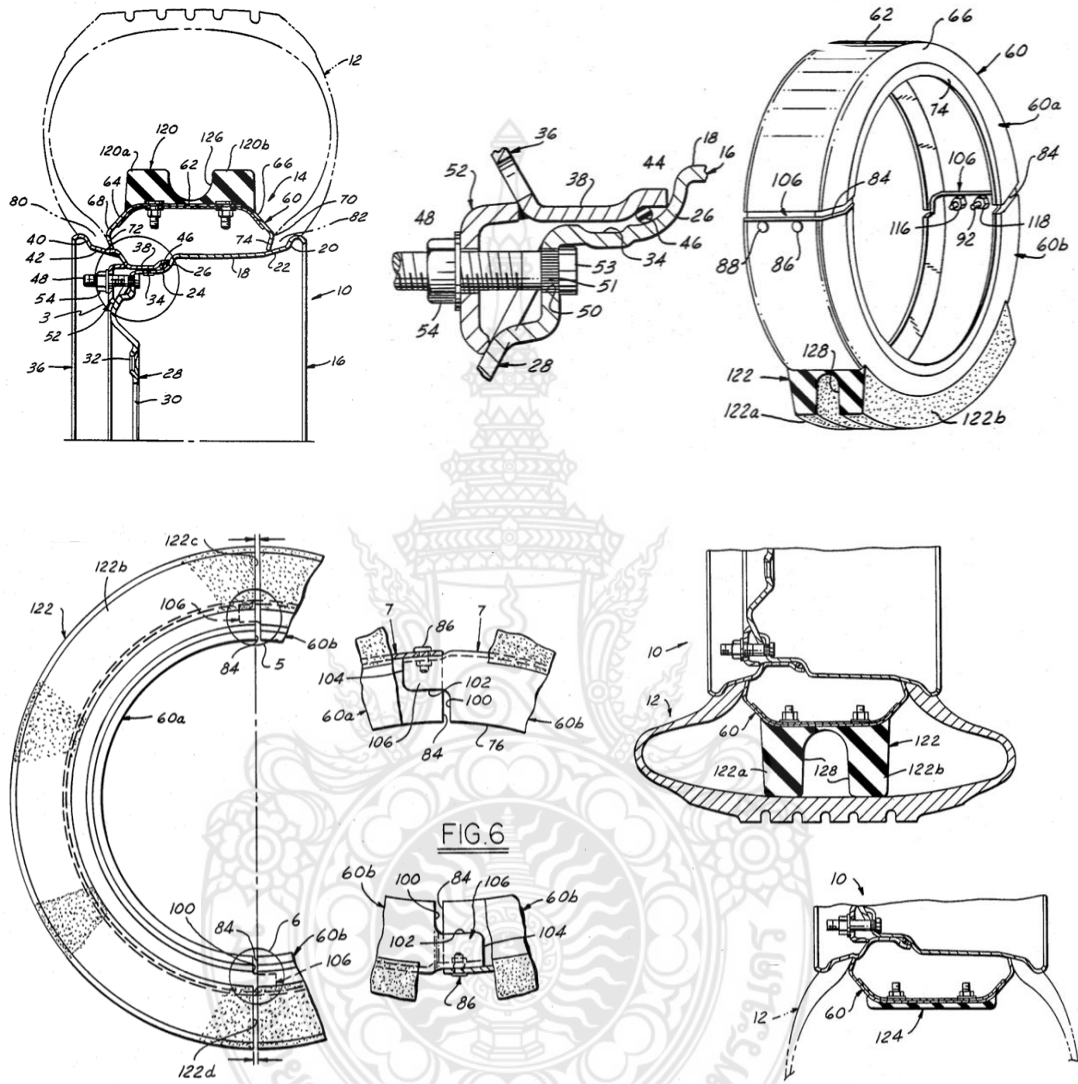
P. Baranowski and J. Malachowski [60] ทำการทดสอบรถที่ใช้ในทางทหารซึ่งศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบช่วงล่างรถที่เกิดขึ้นเมื่อถูกระเบิด ซึ่งได้ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยทำการจำลองทั้งหมด 3 รูปแบบได้แก่ 1) แบบล้ออย่างลมปกติ (without modification) 2) แบบล้ออย่างลมเสริมล้อรันแฟลท (Run-flat modification) 3) ล้ออย่างแบบรังผึ้ง (Honeycomb modification) ผลทดสอบความแข็งแรงดังตารางที่ 2.3 ค่าความแข็งแรงจากการทดสอบจะเห็นได้ว่าล้ออย่างแบบรังผึ้งสามารถป้องกันได้ดีที่สุดเมื่อล้อถูกระเบิด

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบกรณีจำลองทั้งสามกรณี (ค่าสูงสุด) [60]

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]	41.0		3.50		0.80	

Roger E. Payne และคณะ [61] นำเสนอสิทธิบัตรสำหรับรันแฟลทและยางนิรภัยและชุดประกอบล้อ ซึ่งรวมถึงขอบล้อแบบหลายชั้นแบบแยกส่วนและขอบยางนิรภัยที่ขยายออกไปตามเส้นรอบวงขอบล้อเพื่อยึดปลายลูกบิดยางกับหน้าแปลนขอบยางรองขอบล้อ ขอบล้อเป็นวงแหวนโลหะแผ่นที่มีรูปร่างเป็นช่อง ในส่วนหน้าตัดตามแนวรัศมีที่เปิดอยู่ที่ขอบด้านในตามแนวรัศมีระหว่างขอบด้านข้าง รูปร่างแหวนมีส่วนหักตรงกลางซึ่งยื่นโดยทั่วไปในแนวแกนและล้อมรอบด้วยส่วนขากลับด้านในแนวรัศมี ส่วนขาแยกจากกันโดยสัมพันธ์กันในแนวรัศมีไปทางปลายยางและสิ้นสุดในส่วนปลาย วงแหวนประกอบขึ้นที่สมบูรณ์ ดอกยางของขอบยางขยายออกไปด้านนอกในแนวรัศมีจากกระยะที่ขุดได้

ล่องหน้าเพื่อให้มีระยะห่างจากพื้นผิวภายในของยางในสภาพการวิ่งปกติ วงแหวนโลหะแผ่นถูกบีบอัด  
ในแนวแกน [61] ดูรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ส่วนประกอบของ Run-flat support [61]

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการดำเนินงานวิจัยที่ประกอบไปด้วยวิธีการดำเนินงานวิจัย การออกแบบล้อรันแฟลท ที่เหมาะสมสำหรับรถยนต์บรรทุกขนาดเล็กติดเการะ ที่จะต้องใช้ระเบียบวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์รูปร่างของล้อรันแฟลท รวมถึงการวิเคราะห์จุด จับยึดล้อรันแฟลท โดยมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

#### 3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

##### 3.1.1 กระบวนการดำเนินงานวิจัย

3.1.1.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับล้อรันแฟลท ประกอบด้วยการออกแบบล้อรัน แฟลท และการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ข้อจำกัดด้านเทคนิค วัสดุ เป็นต้น และการ สืบค้นข้อมูลในวารสารวิชาการต่างๆ

3.1.1.2 ออกแบบชุดดุมล้อและอุปกรณ์จับยึดสำหรับกระบวนการทดสอบการใช้งาน จริงสำหรับล้อรันแฟลท แบบเดิม โดยใช้เครื่องทดสอบการห้ำมล้อและอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล Data logger

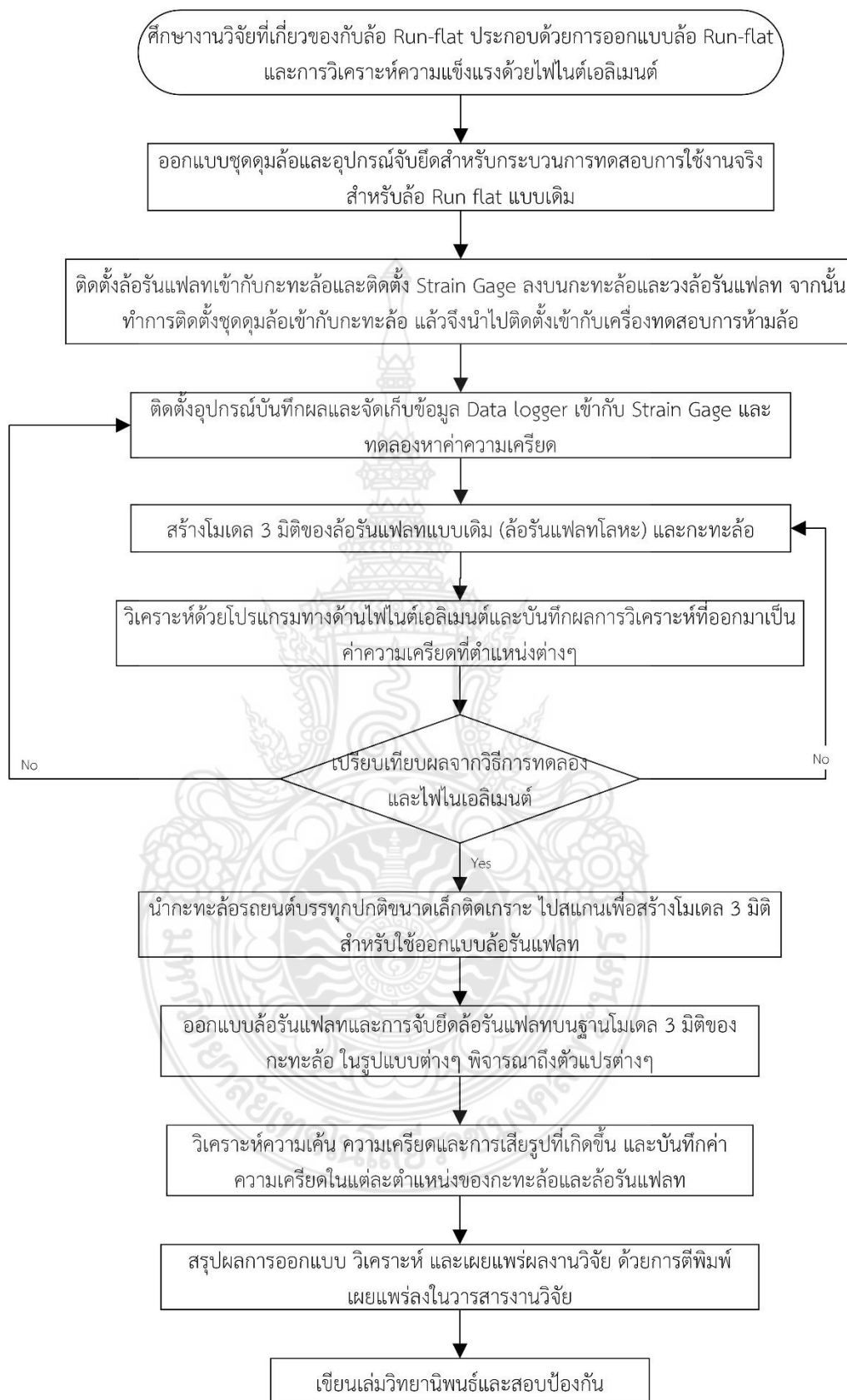
3.1.1.3 ติดตั้งล้อรันแฟลทเข้ากับกระทะล้อและติดตั้ง Strain Gage ลงบนกระทะล้อ และวงล้อรันแฟลท จากนั้นทำการติดตั้งชุดดุมล้อเข้ากับกระทะล้อ แล้วจึงนำไปติดตั้งเข้ากับเครื่อง ทดสอบการห้ำมล้อ

3.1.1.4 ติดตั้งอุปกรณ์บันทึกผลและจัดเก็บข้อมูล Data logger เข้ากับ Strain Gage เพิ่มแรงกดเข้าไปที่วงล้อรันแฟลท อ่านค่าความเครียดและเก็บข้อมูล

3.1.1.5 สร้างโมเดล 3 มิติของล้อรันแฟลทแบบเดิม (ล้อรันแฟลทโลหะ) และกระทะล้อ โดยใช้ขนาดจริงที่วัดได้จากกระทะล้อและล้อรันแฟลทโลหะทั้งหมด

3.1.1.6 วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์และบันทึกผลการวิเคราะห์ที่ ออกมาเป็นค่าความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ โดยต้องเป็นตำแหน่งที่ตรงกันกับค่าความเครียดที่ได้เก็บ บันทึกไว้ในการทดลอง และทิศทางของค่าความเครียดทั้งสองวิธีต้องเป็นค่าความเครียดที่เกิดขึ้นใน ทิศทางเดียวกัน ซึ่งสามารถปรับทิศทางได้ในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1.1.7 เปรียบเทียบค่าความเครียดจากผลการทดลองและผลที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ไฟไนต์เอลิเมนต์ หากผลลัพธ์ทั้งสองวิธีให้ค่าที่สอดคล้องกัน จึงจะสามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมไฟไนต์เอ ลิเมนต์ที่เลือกใช้มีความสามารถในการแก้ไขโจทย์ปัญหานี้ได้ และใช้กระบวนการ Pre-Processing นี้เป็นรูปแบบในการออกแบบและวิเคราะห์ล้อรันแฟลทแบบใหม่ต่อไป



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนกระบวนการศึกษาวิจัย

3.1.1.8 นำกระทะล้อยกย่นต์บรรจุทุกปกติขนาดเล็กติดเกาะ ไปสแกนเพื่อสร้างโมเดล 3 มิติ สำหรับใช้ออกแบบล้อยันแพลท เพื่อให้ได้ล้อยันแพลทที่สามารถประกอบเข้ากับกระทะล้อได้อย่างแนบสนิท จากนั้นทำการแก้ไขพื้นผิวโมเดล 3 มิติที่สแกนมาให้ถูกต้องและสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้

3.1.1.9 ออกแบบล้อยันแพลทและการจับยึดล้อยันแพลทบนฐานโมเดล 3 มิติของกระทะล้อ ในรูปแบบต่างๆ พิจารณาถึงตัวแปรต่างๆ ที่อธิบายไว้ในกรอบการวิจัยดังรูปที่ 3.2

3.1.1.10 วิเคราะห์ความเค้น ความเครียดและการเสียรูปที่เกิดขึ้น และบันทึกค่าความเครียดในแต่ละตำแหน่งของกระทะล้อและล้อยันแพลท 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 Messurement FARO P06-05 3 มิติ

### 3.1.3 กรอบการวิจัย

สำหรับกรอบการวิจัย (Conceptual Framework) จะเป็นการวางแผนความคิดของกระบวนการการวิจัย ที่ต้องกล่าวถึงตัวแปรต้นและตัวแปรตามต่างๆ จะต้องมีความสัมพันธ์กันและกันซึ่งจะต้องสอดคล้องกับระเบียบวิธีวิจัยบนพื้นฐานของทฤษฎีต่างๆ ซึ่งมีแนวคิดดังรูปที่ 3.2 การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของล้อยันแพลท และชุดอุปกรณ์การล้อคด้วย SolidWorks และ SolidWorks Simulation เพื่อเป็นข้อมูลสำคัญในการออกแบบ มีตัวแปรในการออกแบบประกอบด้วย 1) ความกว้างที่เหมาะสมของล้อยันแพลท 2) รัศมีภายในและภายนอก 3) วัสดุที่ใช้ในการสร้างล้อยันแพลท และชุดอุปกรณ์การล้อค 4) น้ำหนักยกย่นต์บรรจุทุกปกติขนาดเล็กติดเกาะ

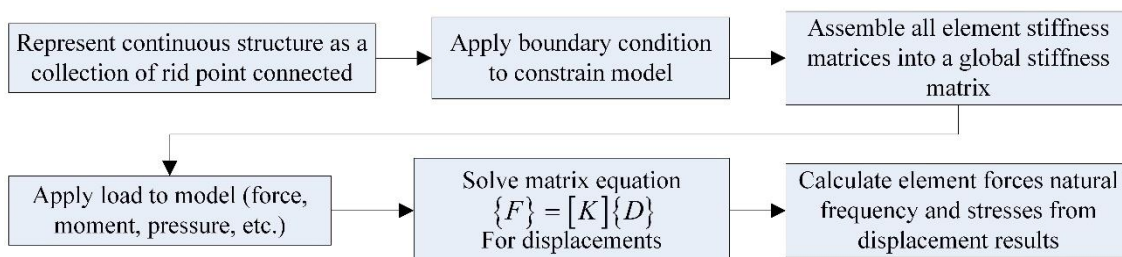
2,500 กก. 5) ขนาดล้ออัลลอย 7.5Jx17 inch 6) ยางเรเดียล 265/65 R17 7) ความดันลมยาง 8) วงล้อรันแฟลท หนึ่งชุดอาจแบ่งออกเป็นสองหรือสามชิ้น มีกรอบการวิจัยดังรูปที่ 3.2



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 จากนั้นจับยึดคัมล้ออัลลอยแบบ Fixed Geometry ให้ล้อไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และใส่แรงกดลงไปที่ฐานก่อนสี่เหลี่ยมขนาด 10,000 นิวตัน เมื่อใส่ค่าทั้งหมดครบแล้วไปที่คำสั่ง Mesh เลือก Create Mesh เพื่อให้โปรแกรมสร้างสมการคำนวณในแต่ละพื้นที่จากนั้นกด Run This Study โปรแกรมจะแสดงผลค่าความเค้น ความเครียดและการเสียรูป



รูปที่ 3.3 กระบวนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

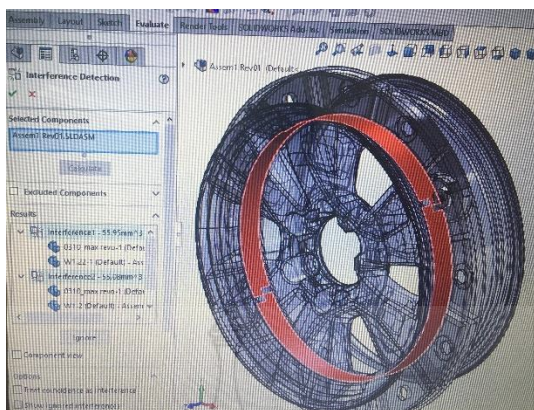


รูปที่ 3.4 โมเดล 3 มิติ ของล้อรีนแพลท และกระทะล้อของรถยนต์บรรทุกทุกปกติขนาดเล็กติดเการะ



รูปที่ 3.5 การประกอบล้อรีนแพลทเข้ากับกระทะล้อ

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

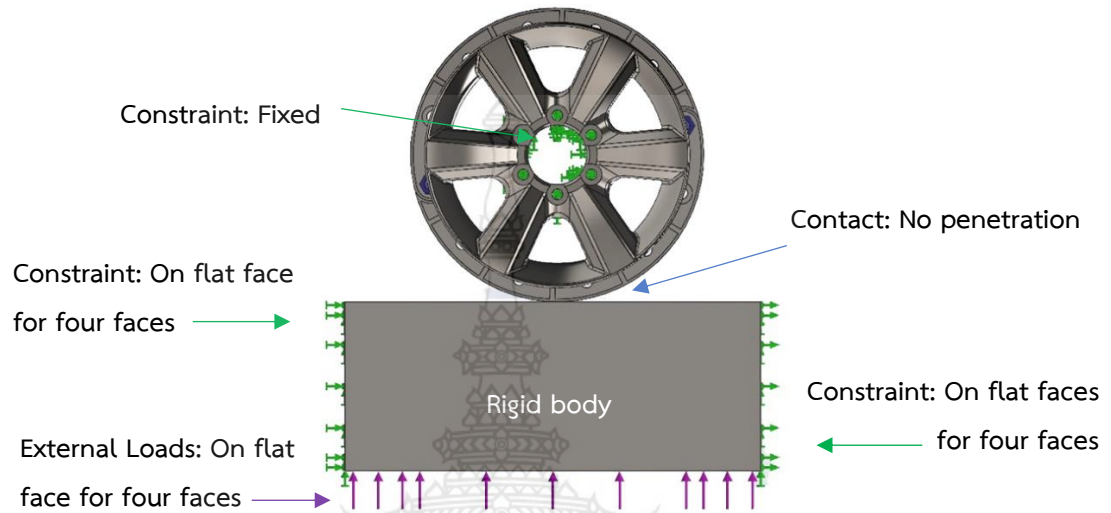


รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการเกยกันของชิ้นงานระหว่างกระทะล้อและล้อรันแพลท

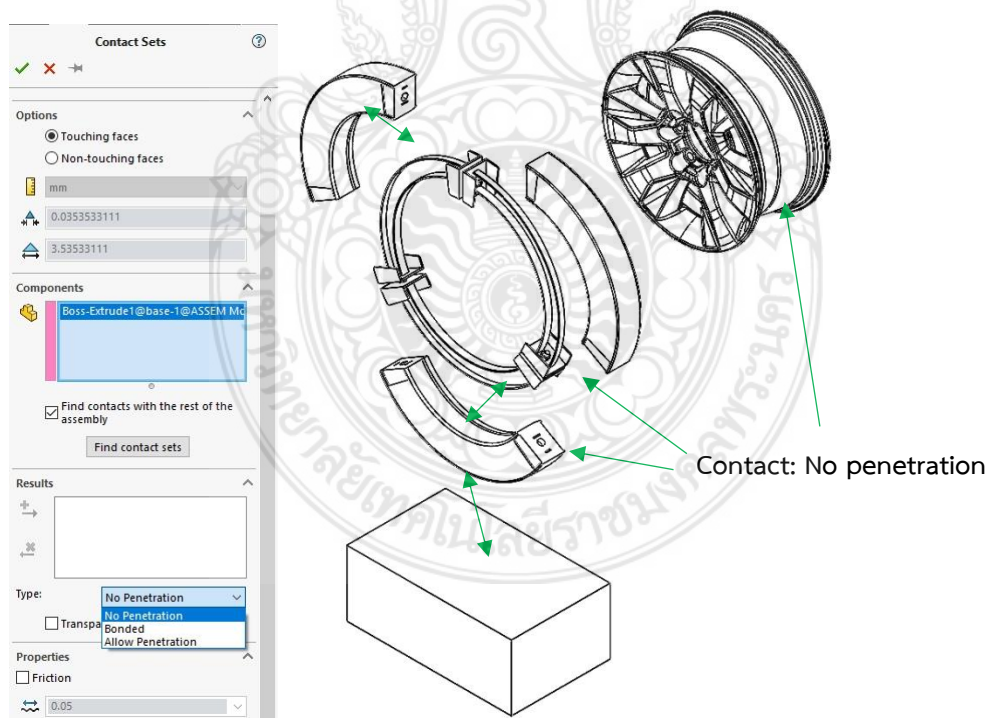
สำหรับกระบวนการ Pre-processing เป็นการเตรียมการโมเดล 3 มิติ ที่ออกแบบและสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม SolidWorks กำหนดสมบัติของวัสดุ ดังตารางที่ 3.2 วัสดุ Aluminum Alloy ใช้กำหนดให้กับล้อแม็กอัลลอย [63] สำหรับ AISI 1020 ใช้กำหนดให้กับล้อเหล็กรันแพลท ซึ่งเป็นล้อรันแพลทเดิม และ UHMWPE composite ใช้สำหรับล้อรันแพลทแบบใหม่ การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันจะเกิดหน้าสัมผัสระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ดังนั้นการกำหนด จะเป็นแบบ No Penetration และแบบ Bonded สำหรับการจับยึด (Fixtures) ให้กำหนดที่หน้าแปลนของล้อแม็กและบนพื้นผิวของรูโบลท์ทั้ง 6 รู ส่วนล้อรันแพลทจะกดเข้ากับถนน ซึ่งในที่นี้ออกแบบเป็นฐานก้อนสี่เหลี่ยมกดเข้าไปยังล้อรันแพลท แรงที่ใช้ในการกดอัตโนมัติเท่ากับ 4,905 และ 7,848 นิวตันเปรียบเสมือนมวลของตัวรถที่กดลงไปเท่ากับ  $800 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 7848$  นิวตัน แบบ Static Analysis ไปที่ล้อรันแพลท โดยมุมกดที่เริ่มต้นการกดให้ เป็น 0, 30, 45 และ 60 องศาแรงนี้ใช้สำหรับกรณีการวิเคราะห์เพื่อนำค่าความเครียดที่วิเคราะห์ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าความเครียดจากการทดลองเท่านั้น เพื่อยืนยันผลความถูกต้องและพิสูจน์ขีดความสามารถในการวิเคราะห์ของโปรแกรม SolidWorks Simulation สำหรับก้อนสี่เหลี่ยมที่เป็นฐานกดเข้ากับล้อรันแพลทจะต้องทำการกำหนดเงื่อนไขการจับยึดด้วยเพื่อให้ฐานก้อนสี่เหลี่ยมเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้งเท่านั้น 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 ควบคุมขนาดเอลิเมนต์ที่ล้อรันแพลทและฐานก้อนสี่เหลี่ยมด้วยขนาด 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 และความแข็งแรงของล้อรันแพลทที่สามารถ



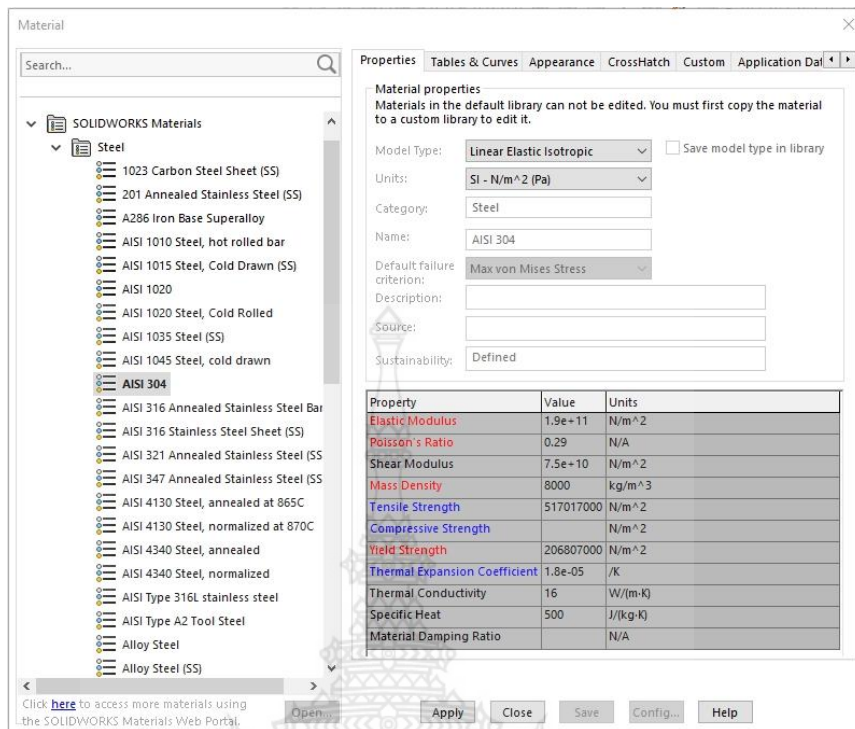
ต้านทานแรงอัดกำลังสูงได้โดยไม่เกิดความเสียหาย โดยอธิบายด้วยค่าความเค้นสูงสุดและการเสียรูปที่อยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น ใช้ความเค้นที่ได้มาจากสมการพลังงานการเสียรูปสูงสุด (Maximum Distortion Energy) ในรูปของ Von Mises และการเสียรูปของล้อรันแพลท



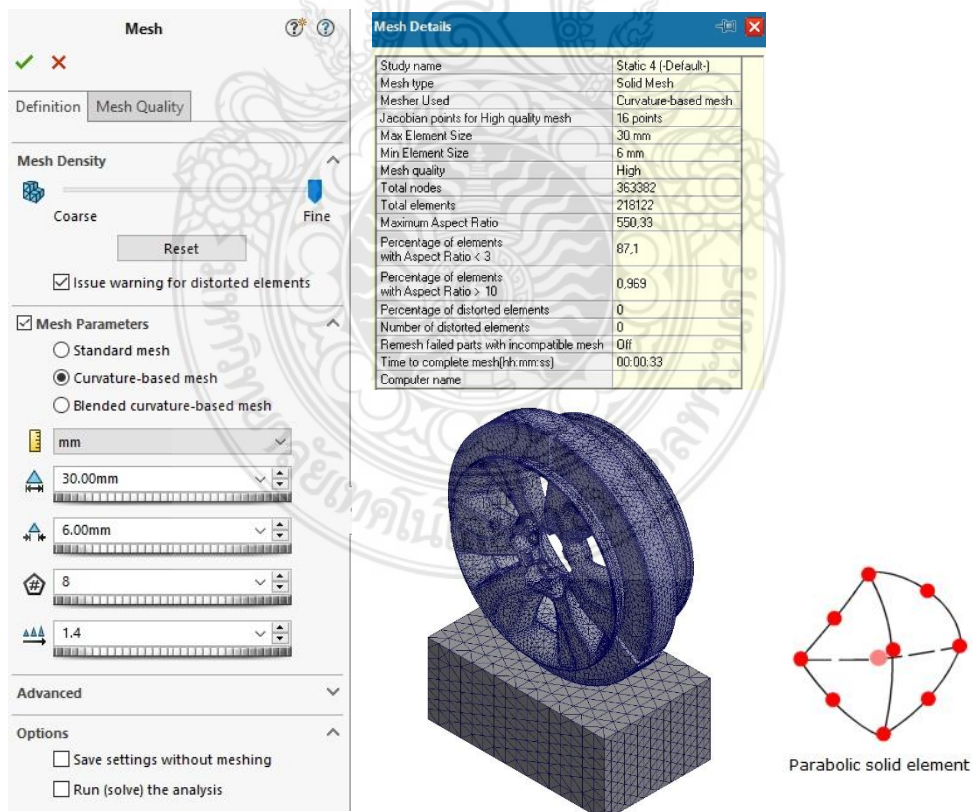
รูปที่ 3.7 ไฟไนต์เอลิเมนต์โมเดล



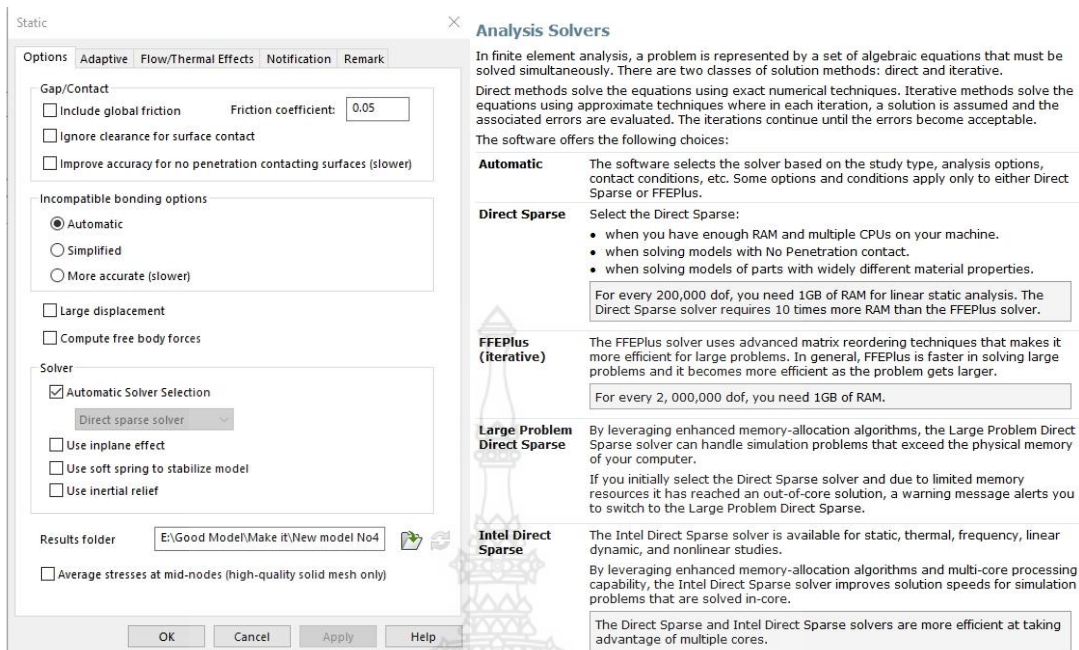
รูปที่ 3.8 การกำหนดหน้าสัมผัส (Contact) ระหว่างพื้นผิวของชิ้นส่วนต่างๆ



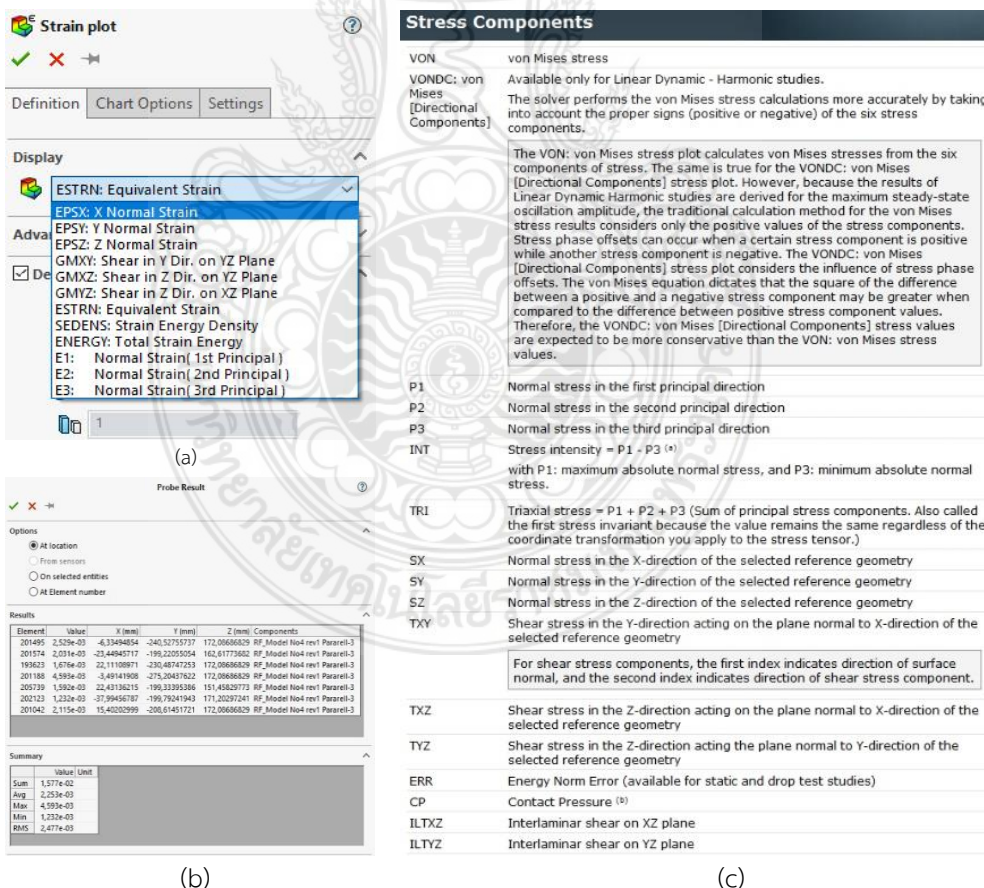
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการกำหนดชนิดวัสดุ SUS304



รูปที่ 3.10 เอลิเมนต์และการกำหนดค่าเพื่อแบ่งเอลิเมนต์



รูปที่ 3.11 การค่าตัวเลือกการวิเคราะห์เป็นแบบ Direct sparse solver



(a)

(b)

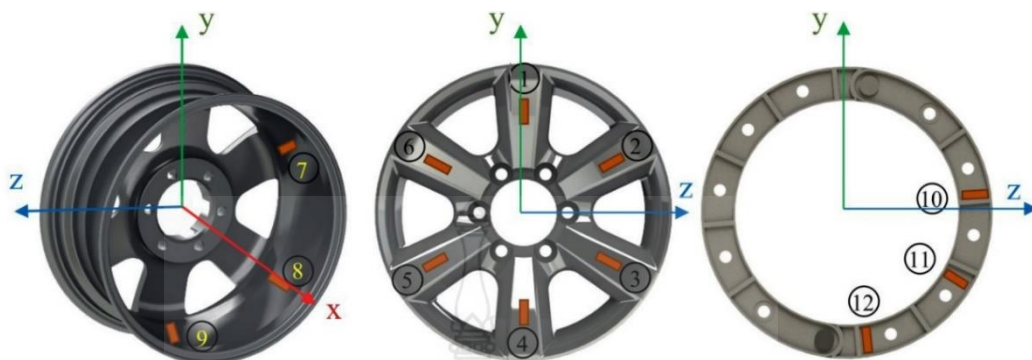
รูปที่ 3.12 การแสดงผลลัพท์ (a) หน้าต่างการตั้งค่าความเครียดในทิศทางต่างๆ (b) การใช้ prove ในการแสดงผลค่าความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ และ (c) คำจำกัดความของ Stress components

จากรูปที่ 3.8 ต้องทำการกำหนดคุณสมบัติระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ประกอบด้วย การกำหนดค่า No penetration ให้กับพื้นผิวหน้าสัมผัสระหว่าง 1) โครงเหล็กไร้สนิมทั้ง 3 ชั้น กับวงล้อรันแพลททั้ง 3 ชั้น 2) พื้นผิววงล้อรันแพลทกับกระทะล้อ 3) พื้นผิวสัมผัสระหว่างล้อรันแพลทกับชิ้นส่วนแข็งเกร็ง (ตัวแทนถนน) โดยการกำหนดเหล่านี้จะอยู่บนสมมติฐานที่ไม่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน การกำหนดค่าวัสดุ ให้กำหนดวัสดุสำหรับโครงเหล็กไร้สนิมเป็น SUS304 ที่มีสมบัติดังรูปที่ 3.9 และวงล้อรันแพลทเป็น UHMWPE Composite ที่ได้จากการทดสอบและทดลองจากงานวิจัยของ งามพรรณ ชะโล ซึ่งวัสดุทั้ง 2 ชนิด อยู่บนสมมติฐานการวิเคราะห์ที่อยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น 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

นำล้อรันแพลทโลหะประกอบเข้ากับล้ออัลลอย (กระทะล้อ) ของรถยนต์บรรทุกปกติขนาดเล็ก ติดเกาะที่มีขนาด 17 นิ้ว โดยที่ไม่ต้องใส่ยางรถยนต์ จากรูปที่ 3.13 เป็นการกำหนดตำแหน่งด้วยพิกัดฉาก x, y, z และกำหนดตำแหน่งติดตั้ง strain gage ลงไปที่กระทะล้อและล้อรันแพลท เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับการเปรียบเทียบค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจากการทดลองกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ทำการติดตั้ง Strain gage เข้าที่ชุดล้อทั้งหมด 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 ค่าความเครียดจาก Strain gage จะไปแสดงที่ 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 ดังนั้นในแต่

ละตำแหน่งจะมีการหมุนชุดวงล้อให้ตำแหน่งการอ่านค่า Strain gage นั้นตรงกันกับทิศทางของแกนระบบพิกัดฉาก



รูปที่ 3.13 ตำแหน่งติดตั้ง Strain gage ลงบนกระทะล้อและล้อรันแฟลท



รูปที่ 3.14 โครงสร้างระบบทดสอบหาค่าความเครียดด้วยเครื่องทดสอบการห้ามล้อ

### 3.4 การออกแบบล้อรันแฟลทสำหรับรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกาะ

การออกแบบล้อรันแฟลทจะใช้กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยหรือวิศวกรรมย้อนกลับ เพื่อสร้างโมเดล 3 มิติของกระทะล้อ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างวงล้อรันแฟลทต่อไป โดยเมื่อทำสำเร็จแล้ว วิศวกรรมย้อนกลับจะให้สำเนาเสมือนของพิมพ์เขียวที่นำไปใช้กับการออกแบบต้นฉบับ นั่นคือ ล้อรันแฟลทจะสามารถสวมเข้ากับกระทะล้อได้อย่างสนิท

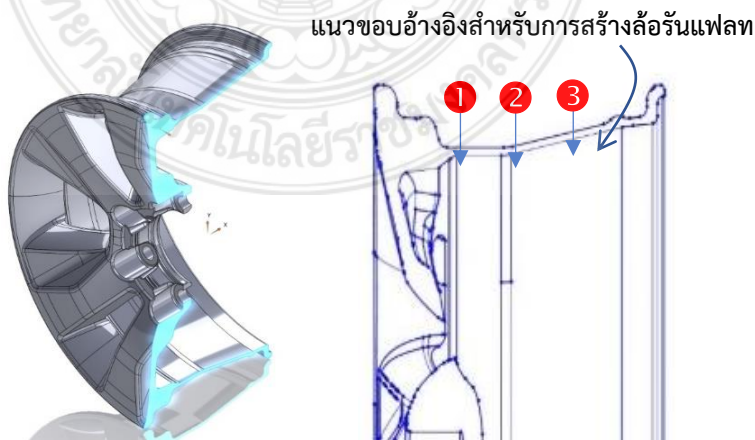
วิศวกรรมย้อนกลับอาจเป็นวิธีที่แม่นยำที่สุดในการสร้างการออกแบบใหม่สำหรับสินค้าที่เลิกผลิตไปเมื่อหลายสิบปีก่อน ในกรณีที่พิมพ์เขียวดั้งเดิมสูญหายหรือถูกทำลายไปนาน วิศวกรรมย้อนกลับอาจเป็นวิธีเดียวที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวกลับมามีชีวิตอีกครั้ง หากคุณสามารถระบุแบบการทำงานของผลิตภัณฑ์เก่าได้ โดยทั่วไปแล้ว คุณสามารถติดตามขั้นตอนของการออกแบบและใช้ข้อมูลเชิงลึกเหล่านั้นเพื่อสร้างแบบจำลองใหม่ ซ่อมแซมชิ้นส่วน หรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์ในอนาคต

บางครั้งบริษัทต่างๆ ใช้วิศวกรรมย้อนกลับเพื่อรับข้อมูลการออกแบบของผลิตภัณฑ์ที่เลิกผลิตไปนานแล้ว ตัวอย่างเช่น บริษัทขนาดเล็กที่อยู่ในธุรกิจมานานกว่า 40 ปีอาจผลิตผลิตภัณฑ์จำนวนมากก่อนการออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยและการจัดเก็บไฟล์ดิจิทัล ดังนั้น ผลิตภัณฑ์รุ่นเก่าเหล่านี้อาจใช้พิมพ์เขียวกระดาษที่หายไปนาน ด้วยวิศวกรรมย้อนกลับ บริษัทต่างๆ สามารถกู้คืนการออกแบบที่หายไป และสร้างที่เก็บถาวรของมรดกผลิตภัณฑ์ของตนใหม่ได้

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



รูปที่ 3.15 เครื่องสแกนเลเซอร์ FARO Measurement FARO P06-05 3 มิติ



รูปที่ 3.16 หน้าตัดของล้ออัลลอยเป็นตัวกำหนดในการออกแบบ

จากรูปที่ 3.16 ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของกระทะล้อสำหรับรถยนต์บรรทุกปกติขนาดเล็กติดเกราะ จากลักษณะดังกล่าวทำให้สามารถออกแบบเป็นวงล้อรันแฟลทที่จะเข้าไปประกบได้และสามารถล็อคให้แน่นได้ โดยที่ตำแหน่งหมายเลข 1 และหมายเลข 2 จะเป็นตำแหน่งล็อคไม่ให้วงล้อรันแฟลทที่ออกแบบมาเคลื่อนที่ แนวความชันหมายเลข 3 เป็นความชันที่จะช่วยป้องกันไม่ให้วงล้อรันแฟลทที่เข้ามาสวมเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งที่ประกบเข้าไป ทั้งนี้วงล้อรันแฟลทจะกว้างมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับรูปร่างของแนวขอบกระทะล้อและน้ำหนักของรถยนต์ที่ตกลงมา หากน้ำหนักมากจะส่งผลให้แรงกดมีค่ามาก ดังนั้นจะต้องออกแบบให้วงล้อมีความกว้างเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับความสูงของวงล้อรันแฟลทจะมากหรือน้อยย่อมมีความจำเป็น เนื่องด้วยหากวงล้อรันแฟลทมีความสูงมากเท่าใด นั่นคือระยะระหว่างวงล้อรันแฟลทกับพื้นผิวยางด้านในน้อยลง ซึ่งอาจเกิดการกระแทกได้หากล้อยางรถยนต์ไม่แบนและรถยนต์วิ่งด้วยความเร็วปกติทั่วไป ล้อรันแฟลทถูกออกแบบมาเพื่อให้รถยนต์สามารถวิ่งได้ภายใต้เงื่อนไขที่ยางรถยนต์ไม่มีลมยางและจำกัดความเร็วในการวิ่งประมาณ 30-80 km/hr ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ประเภทของล้อรันแฟลท น้ำหนักรถยนต์ เป็นต้น

**ตารางที่ 3.1** สมบัติของวัสดุสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Mechanical property	AISI 1020	UHMWPE Composite [62]
Elastic Modulus	200 GPa	784.46 MPa
Poisson's Ratio	0.29	0.30
Shear Modulus	77 GPa	-
Mass Density	7,900 kg/m <sup>3</sup>	1,246.46 kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	420 MPa	29.96 MPa
Yield Strength	351 MPa	20.52 MPa

**ตารางที่ 3.2** Mechanical Properties of Alloy Wheel [63]

Mechanical property	Alloy Wheel
Elastic Modulus	22.29 GPa
Yield Strength	222.5 MPa
Poisson's Ratio	0.42
Tensile Strength	69.2 MPa
Percentage elongation	2.8%
Brinell hardness	48

จากตารางที่ 3.1-3.2 เป็นสมบัติของวัสดุสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยเฉพาะ UHMWPE Composite เป็นวัสดุที่ได้จากงานวิจัยของ งามพรรณ ชะโล เรื่อง “การศึกษาสมบัติทางกลของโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดเชิงประกอบสำหรับล้อรันแฟลท” และวัสดุนี้จะใช้ในการวิเคราะห์และเป็นงานวิจัยต่อยอดต่อไปสำหรับการสร้างล้อรันแฟลทขึ้นจริง

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานในบทที่ 3 จึงได้ผลการดำเนินงานต่างๆ ประกอบด้วย ผลการทดลองเพื่อหาค่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับล้อรั้นแพลทโลหะและกระทะล้อ ผลการวิเคราะห์ความเครียดของล้อรั้นแพลทแบบเดิม (ล้อโลหะ) ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากนั้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเครียดทั้งสองวิธีเพื่อตรวจสอบขีดความสามารถของโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ และเป็นวิธีการนำไปสู่การออกแบบล้อรั้นแพลทแบบใหม่สำหรับรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกวาระที่วิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ อันแสดงให้เห็นถึงการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในล้อรั้นแพลทและกระทะล้อ มีรายละเอียดดังหัวข้อต่างๆ ต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการดำเนินงานและทดสอบความเครียดของล้อรั้นแพลทจากการทดลอง

จากการนำล้อรั้นแพลทประกอบเข้ากับกระทะล้อ ติดตั้ง Strain gage รูปที่ 4.1-4.2 ณ ตำแหน่งต่างๆ และติดตั้งล้อรั้นแพลทเข้ากับกระทะล้อ นำ Strain gage เชื่อมต่อกับ KYOWA รุ่น EDX-200A ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดและบันทึกสัญญาณ และมี DCS-100A เป็นโปรแกรมช่วยให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถควบคุมการทำงานของ EDX-200A ได้ เช่น การแสดงผล การบันทึกข้อมูล 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 เมื่อติดตั้งแล้วให้ทำการวัดค่าความต้านทานของ Strain gages ทุกตัวซึ่ง Gages resistance ที่อุณหภูมิบรรยากาศเป็น 24, 50% RH จะต้องอ่านค่าได้ในช่วง 120.0 – 120.8  $\Omega$

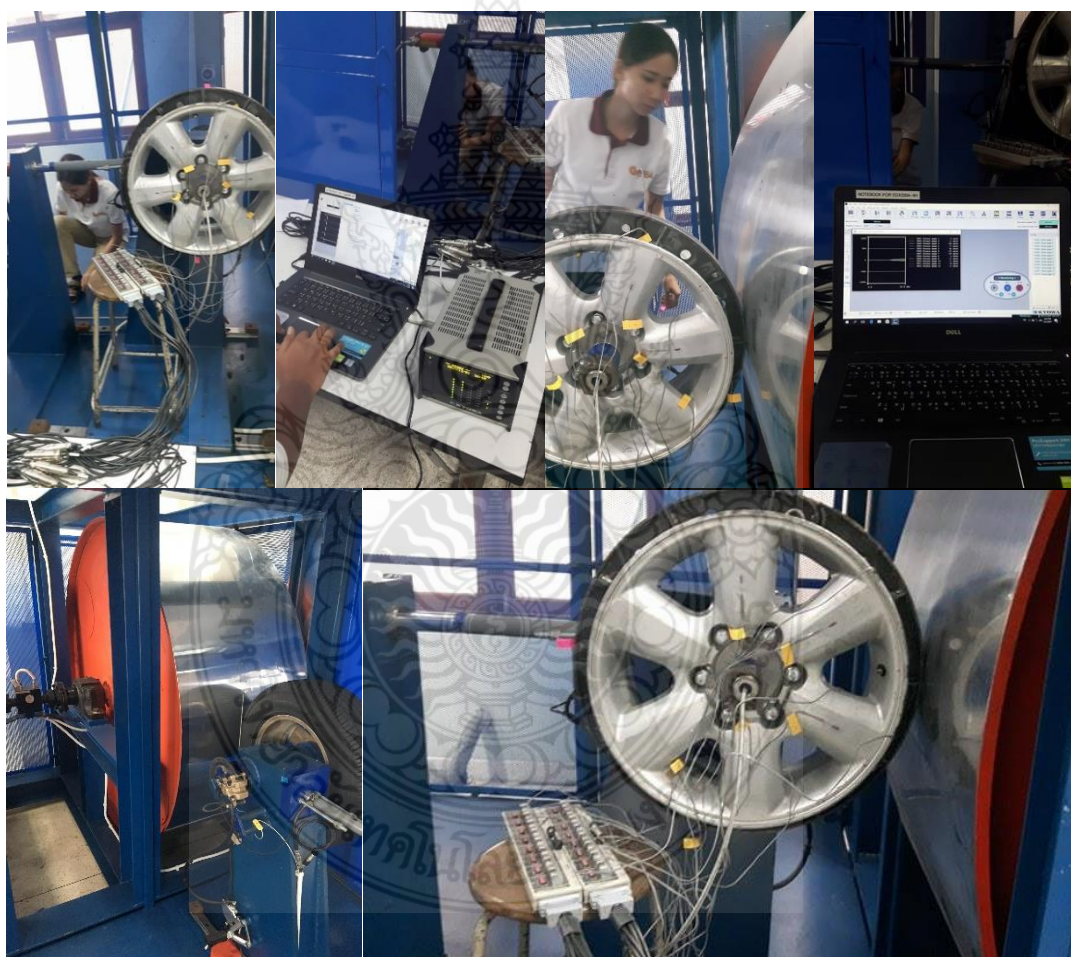


รูปที่ 4.1 การประกอบล้อรั้นแพลทและติดตั้ง Strain gage ที่ล้ออัลลอยกับล้อรั้นแพลท





รูปที่ 4.2 การติดตั้ง Strain gage เข้ากับกระทะล้อและล้อรันแพลท

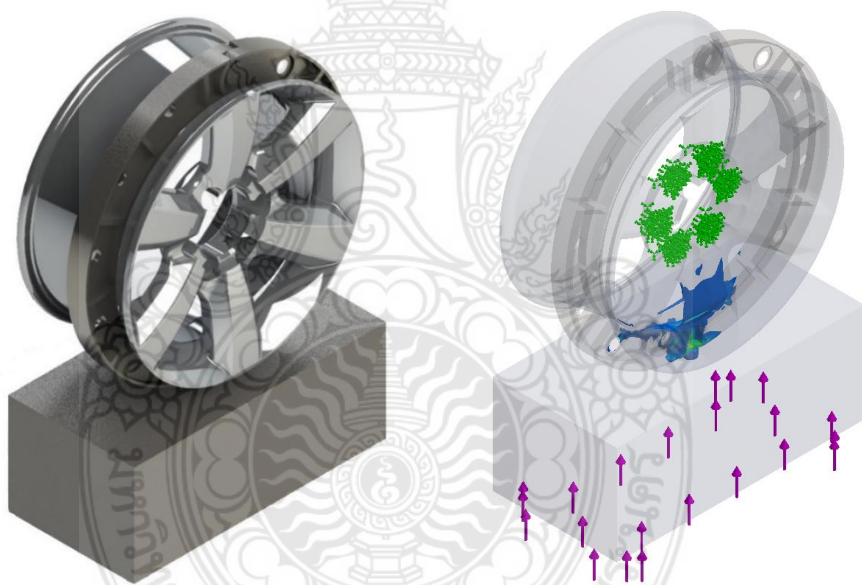


รูปที่ 4.3 การติดตั้งกระทะล้อและล้อรันแพลทเข้ากับอุปกรณ์การทดสอบ

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์ความเครียดของล้อรันแพลทแบบเดิมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลวิเคราะห์ความเครียดและการเสียรูปด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม SolidWorks Simulation จากการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.4 จะได้ค่าความเครียดออกมา ซึ่งจะใช้

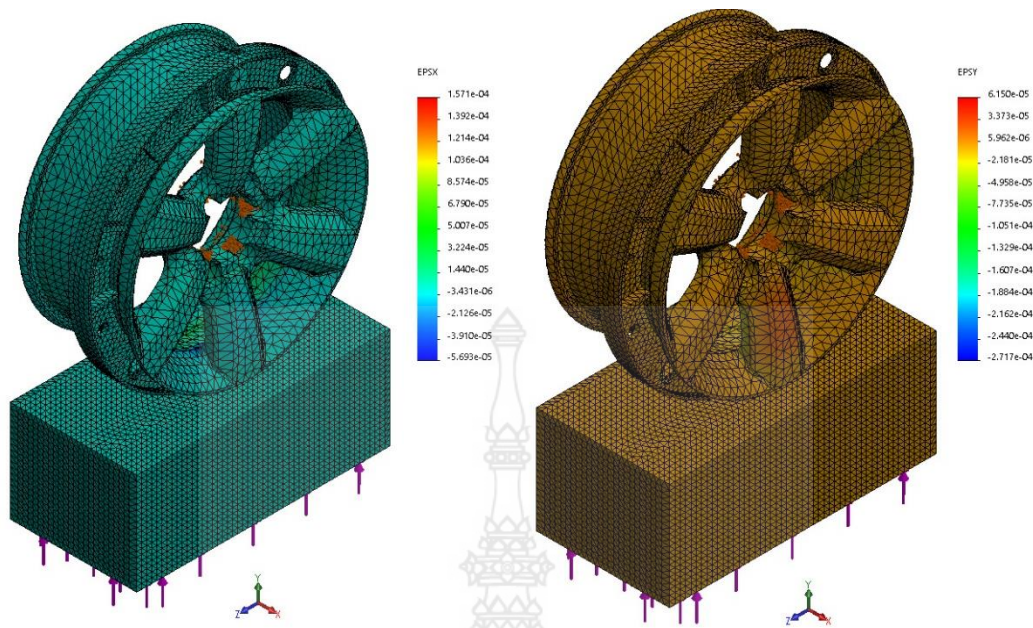
เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.6 เพื่อเป็นการยืนยันวิธีการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการห้ามล้อว่าสอดคล้องกันหรือไม่ และเมื่อได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันจึงสรุปได้ว่าโปรแกรม SolidWorks Simulation มีขีดความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าว ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีได้แสดงออกมาเป็นค่าความเครียดตามจุดต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.5-4.6 ได้ผลทั้งหมดดังตารางที่ 4.1 และการวิเคราะห์หาค่าความเครียดดังรูปที่ 4.4 ทำด้วยการเพิ่มแรงกดอัดจากพื้น (ก้อนสี่เหลี่ยม) และให้จุดยึดแน่นอยู่ที่ดุมล้อ จากการวิเคราะห์จะต้องทำการหมุนวงล้อรับแรงและกระทะล้อในตำแหน่งที่ต้องการหาค่าความเครียดโดยอ้างอิงตำแหน่งสำคัญดังรูปที่ 4.4 การวิเคราะห์และการทดลองได้ผ่านขั้นตอนการทำซ้ำเพื่อปรับปรุงโมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์และการปรับตั้งการทดลองให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมและถูกต้อง สอดคล้องกัน ได้ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการหาค่าความเครียดจากทั้ง 2 วิธี ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าความแตกต่างอยู่ในช่วงร้อยละ 10-16



รูปที่ 4.4 โมเดลสามมิติและตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความเค้นด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 4.5 ตำแหน่งที่วัดค่าความเครียด

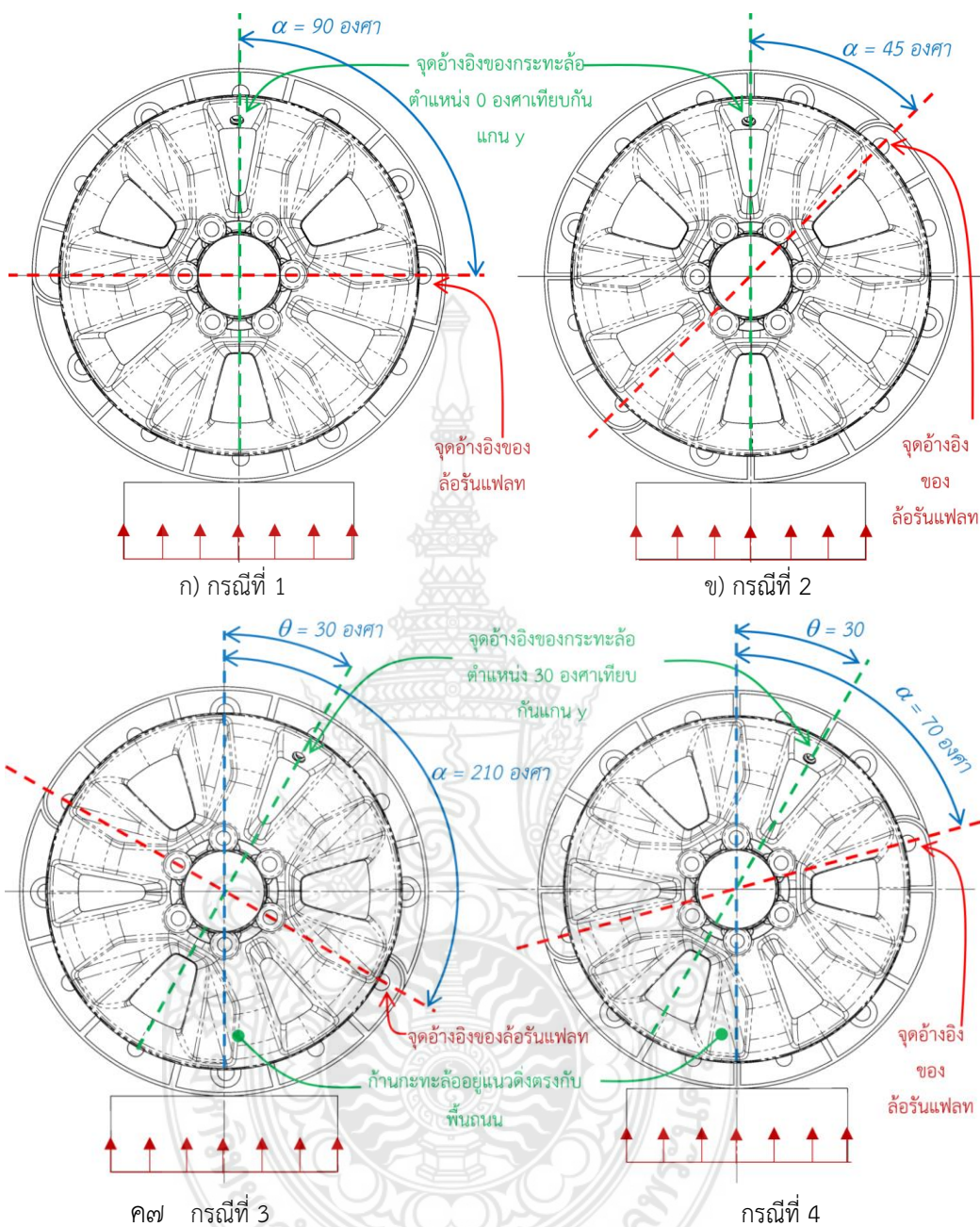


รูปที่ 4.6 การแสดงผลของความเครียดในแนวแกน x และ y

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
4	0.00002200	0.00003573	0.00001883	0.00003012	14.41	15.70	y direction
7	0.00000038	0.00000093	0.00000032	0.00000083	15.69	10.66	x direction
8	-0.00000198	-0.00000246	-0.00000166	-0.00000214	16.31	12.99	x direction
9	-0.00000180	-0.00000286	-0.00000151	-0.00000241	16.39	15.65	x direction
10	0.00000030	-0.00000041	0.00000027	-0.00000035	11.37	13.95	z direction
12	-0.00000499	-0.00000093	-0.00000444	-0.00000080	11.03	14.03	y direction

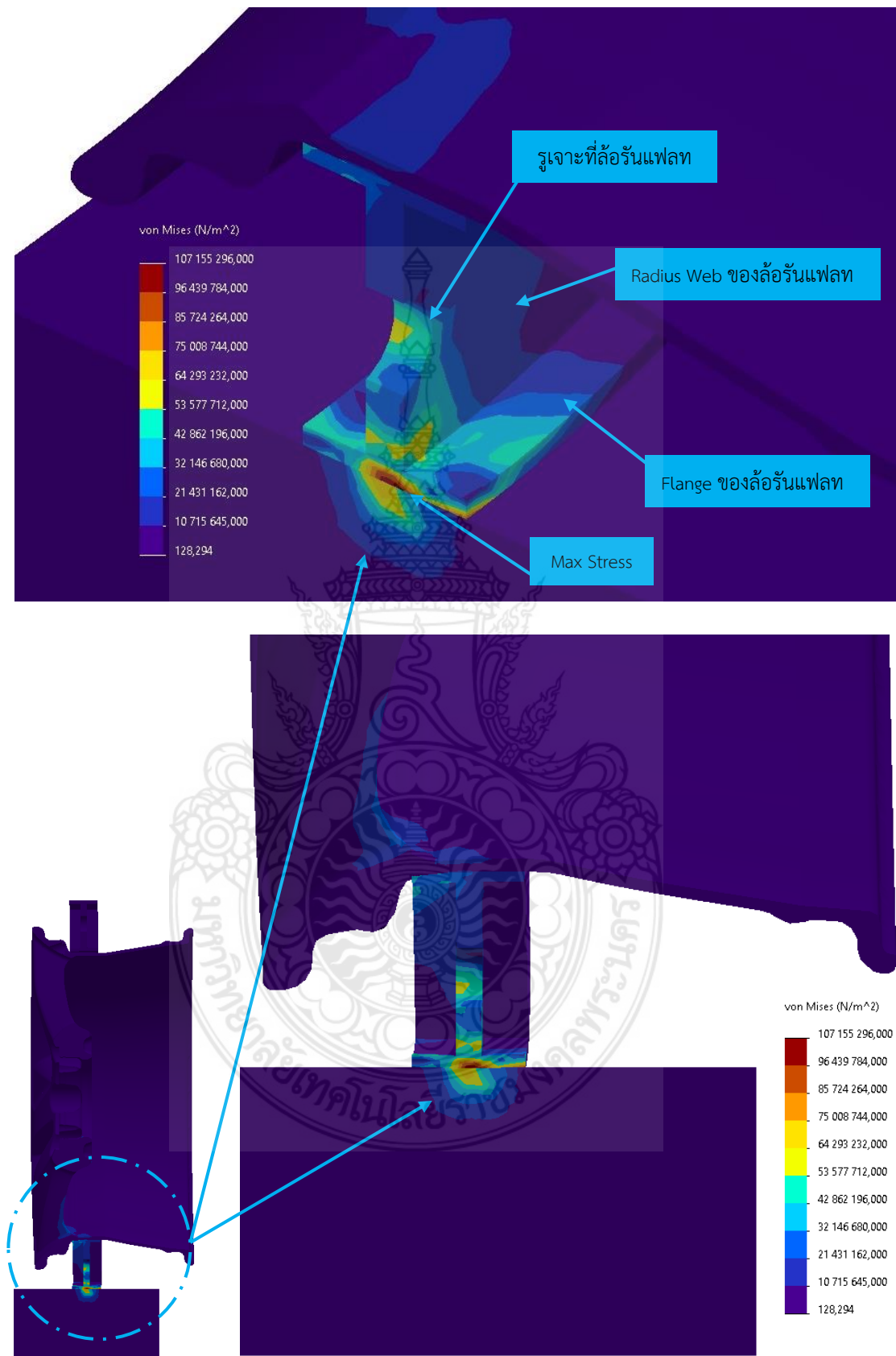
จากการเปรียบเทียบและได้ผลการวิเคราะห์และทดลองไปในทิศทางที่ถูกต้องและสอดคล้องกัน จึงได้ดำเนินการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นกับล้อรีนแพลตเดม (ล้อโลหะ) และกระทะล้อ ได้ผลแสดง ดังรูปที่ 4.8-4.11 โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 กรณี ที่เกิดจากมุมการบิดของล้อรีนแพลตเดมร่วมกับมุม บิดของกระทะล้อดังรูปที่ 4.7 โดยจุดประสงค์ในการเปลี่ยนตำแหน่งของวงล้อรีนแพลตเดมกับกระทะล้อนี้ เพื่อตรวจสอบค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในตำแหน่งต่างๆ ผลการวิเคราะห์พบว่า ด้วยลักษณะของล้อรีน แพลตเดมมีหน้าแคบจะส่งผลให้เกิดค่าความเค้นสูงที่ล้อรีนแพลตเดม ณ ตำแหน่งที่ล้อรีนแพลตเดมสัมผัส กับถนน ค่าความเค้น Von mises ที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งของล้อรีนแพลตเดมแบบดั้งเดิมเทียบกับแรง กดที่ค่าต่างๆ ตั้งแต่ 5000, 6000, 7000, 8000, 9000 และ 10,000 นิวตัน แสดงดังตารางที่ 4.2



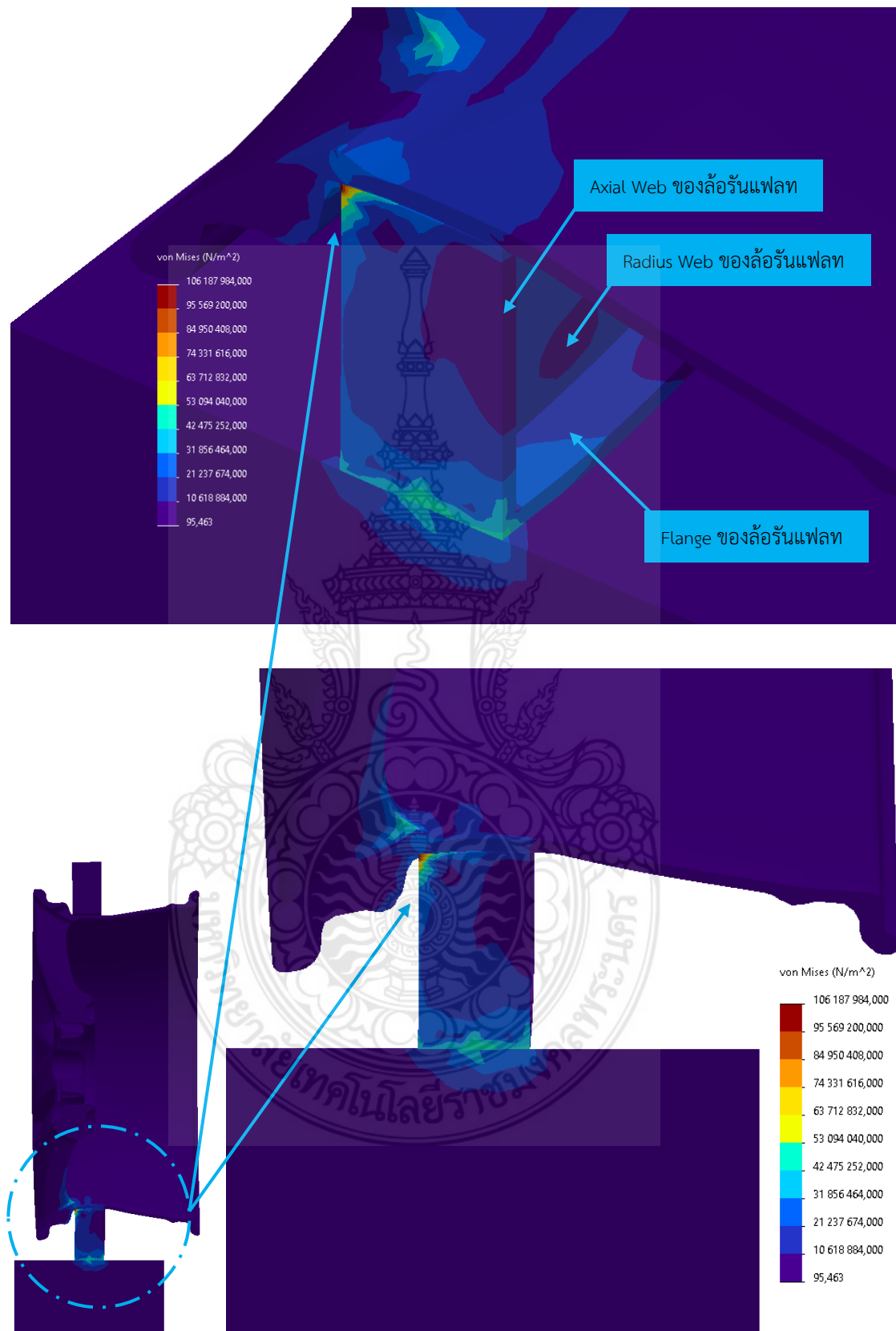
รูปที่ 4.7 กรณีศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

ตารางที่ 4.2 ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งของล้อรีนแพลทแบบดั้งเดิม

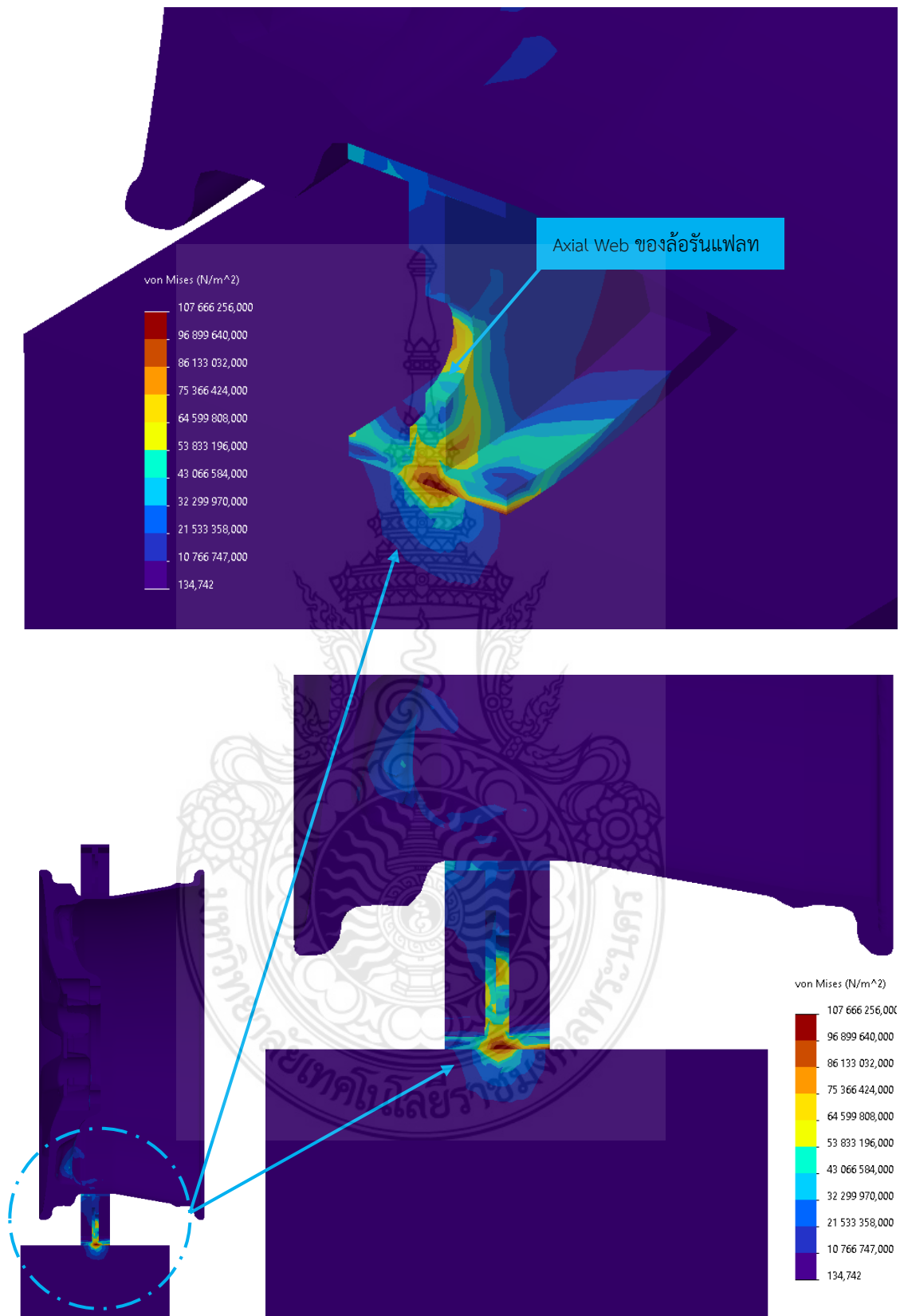
กรณีศึกษา	ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นที่แรงกระทำต่างๆ (MPa) (Von-Mises)					
	$F_c=5,000\text{ N}$	$F_c=6,000\text{ N}$	$F_c=7,000\text{ N}$	$F_c=8,000\text{ N}$	$F_c=9,000\text{ N}$	$F_c=10,000\text{ N}$
1	53.5	64.3	75.0	85.7	96.2	107.1
2	53.1	63.7	74.3	84.95	95.6	106.2
3	53.8	64.6	75.3	86.1	96.9	107.6
4	62.6	75.2	87.6	100.2	112.7	125.2



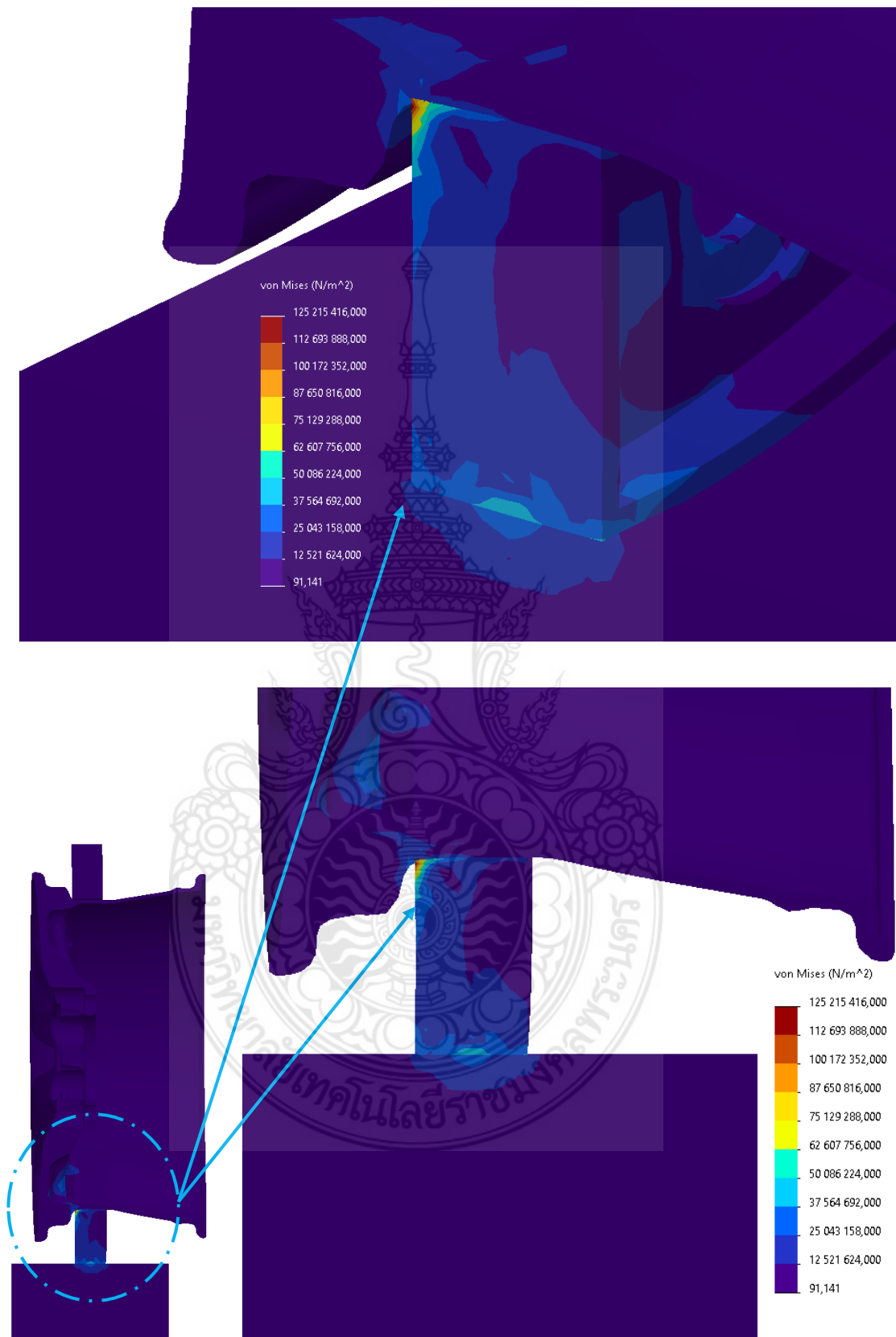
รูปที่ 4.8 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณล้อรับแพลตฟอร์มสำหรับกรณีที่ 1 ด้วยภาระ 10,000 N



รูปที่ 4.9 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณล้อรันแพลทสำหรับกรณีที่ 2 ด้วยภาระ 10,000 N



รูปที่ 4.10 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณล้อยันแพลทสำหรับกรณีที่ 3 ด้วยภาระ 10,000 N



รูปที่ 4.11 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณล้อรับแรงเพลทสำหรับกรณีที่ 4 ด้วยภาระ 10,000 N



จากการตรวจสอบการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นตั้งแต่รูปที่ 4.8-4.11 และกำหนดแรงกดด้วยขนาดต่างๆที่แสดงดังตารางที่ 4.2 ทำให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้คือ จากรูปที่ 4.8 จะเห็นการกระจายของความเค้นเกิดขึ้นสูงสุดที่บริเวณล้อรับแรงที่สัมผัสกับถนน ซึ่งจะเป็นพื้นที่ที่เป็น Radius web ของล้อรับแรงและมีการเจาะรู แม้ว่าค่าความเค้นจะเกิดขึ้นสูง ณ ตำแหน่งดังรูป แต่เป็นเพียงจุดจุดหนึ่งเท่านั้น ในพื้นที่บริเวณอื่นๆ นั้นมีการกระจายของความเค้นเกิดขึ้นในช่วงสาม 20-30 MPa ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความเค้นที่จุดครากของล้อรับแรงโลหะแบบเดิมนั้นมีค่าสูงเกินกว่าค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริง (ภายใต้ภาระแรงกดที่ 10,000 N) ซึ่งหากใช้ภาระที่ 5,000 N ที่กระทำแต่ละล้อ พบว่าค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริงจะลดลงกว่านี้ จึงเป็นเหตุผลให้สามารถที่จะเปลี่ยนวัสดุ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหน้าตัดของล้อรับแรงได้

#### 4.3 ผลการออกแบบล้อรับแรงแบบใหม่สำหรับรถยนต์บรรทุกขนาดเล็กติดเการะ

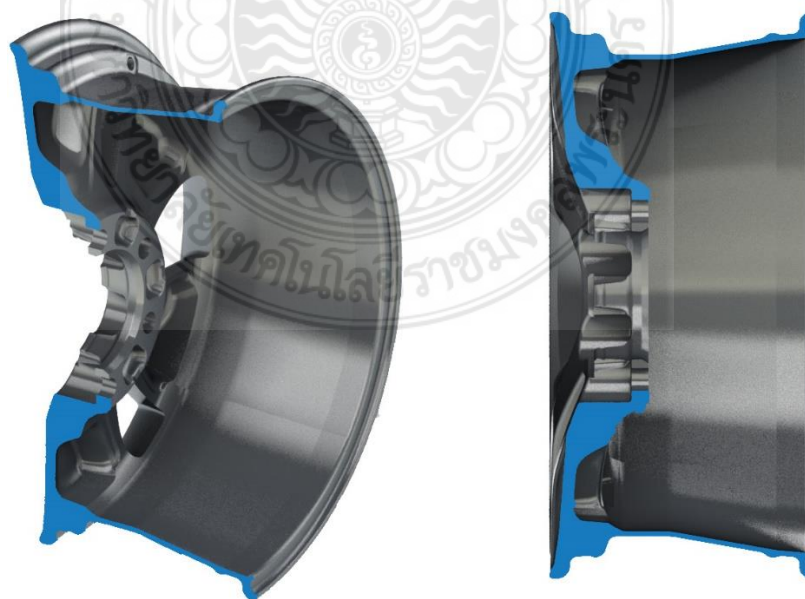
เริ่มต้นจากการนำกระทะล้อของรถบรรทุกขนาดเล็กติดเการะไปสแกนด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ FARO Measurement FARO P06-05 ดังรูปที่ 4.12 และทำการสร้างพื้นผิวด้วยกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอย จึงได้โมเดล 3 มิติและแนวขอบกระทะล้อด้านในเพื่อใช้สำหรับออกแบบลักษณะหน้าตัดของล้อรับแรง ดังรูปที่ 4.13-4.14 นำโมเดลกระทะล้อมาเป็นแม่แบบในการสร้างล้อรับแรงด้วยรูปร่างและขนาดหน้าตัดต่างๆ ดังรูปที่ 4.17 และกำหนดพารามิเตอร์ควบคุมหน้าตัดของล้อรับแรง ดังรูปที่ 4.15-4.17 โดยสรุปเป็นค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อได้รูปแบบล้อรับแรงและโมเดล 3 มิติที่เข้าได้กับกระทะล้อ จึงออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กไร้สนิมดังรูปที่ 4.19 โดยโครงสร้างเหล็กไร้สนิมจะมีขนาดแปรเปลี่ยนไปตามขนาดหน้าตัดของล้อรับแรง จากรูปที่ 4.16 จะมีมุมสำหรับการถือล้อรับแรง มุมทั้ง 2 นี้ใช้สำหรับป้องกันไม่ให้ล้อรับแรงเคลื่อนที่หรือขยับออกทางด้านข้าง ล้อรับแรงจะไม่สามารถขยับไปซ้ายหรือขวาได้ หากโครงสร้างเหล็กไร้สนิมได้รับการขันยึดเพื่อตั้งให้วงล้อรับแรงแนบแน่นกับกระทะล้อมากเท่าใด ก็จะทำให้เกิดการถือแน่นมากขึ้นเท่านั้น



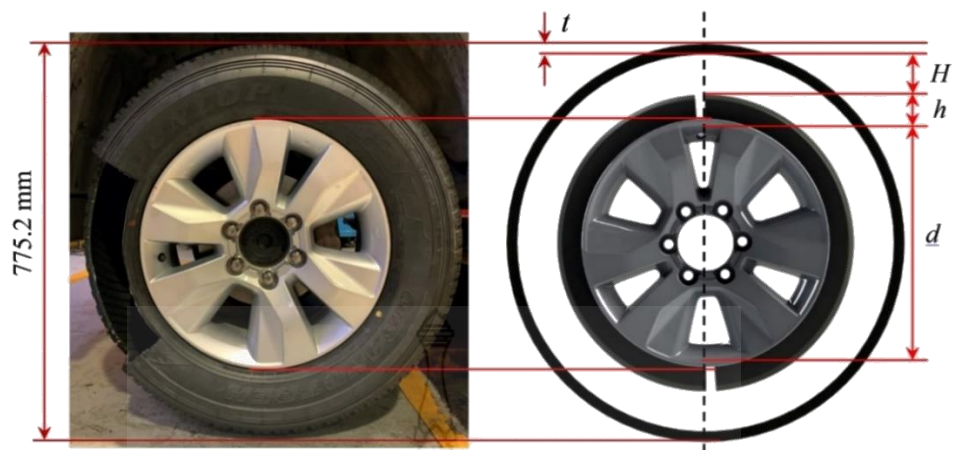
รูปที่ 4.12 สแกนล้ออัลลอยด้วยเครื่อง 3d scan ของ FARO P06-05



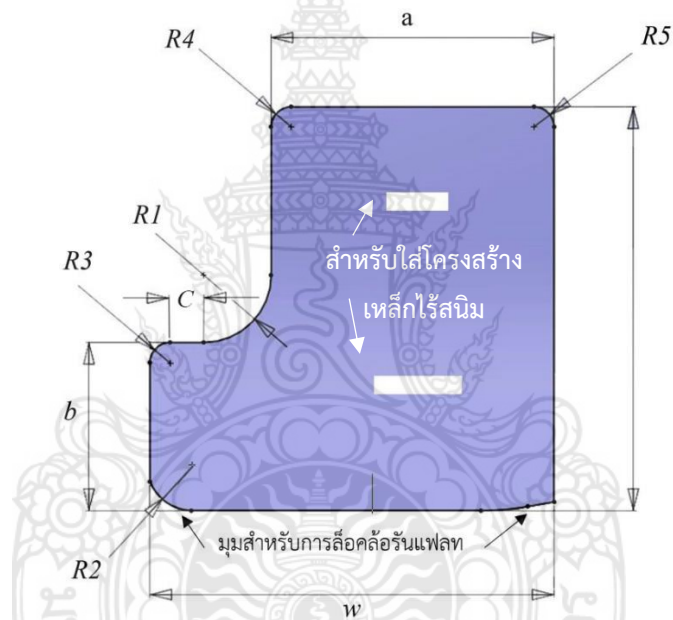
รูปที่ 4.13 โมเดลกระทะล้อ 3 มิติ ที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ FARO ในมุมมองต่าง ๆ



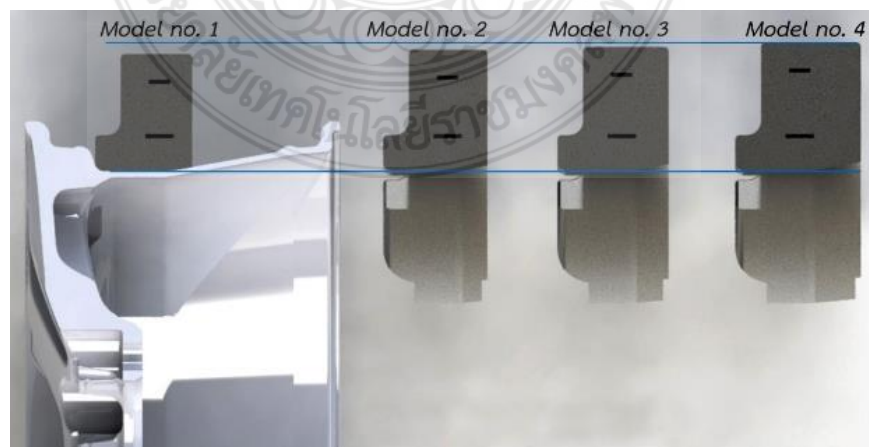
รูปที่ 4.14 มุมมอง Section view



รูปที่ 4.15 การกำหนดตัวแปรที่สัมพันธ์ระหว่างล้อรีนแพลท กระดาษล้อ และยางรถยนต์



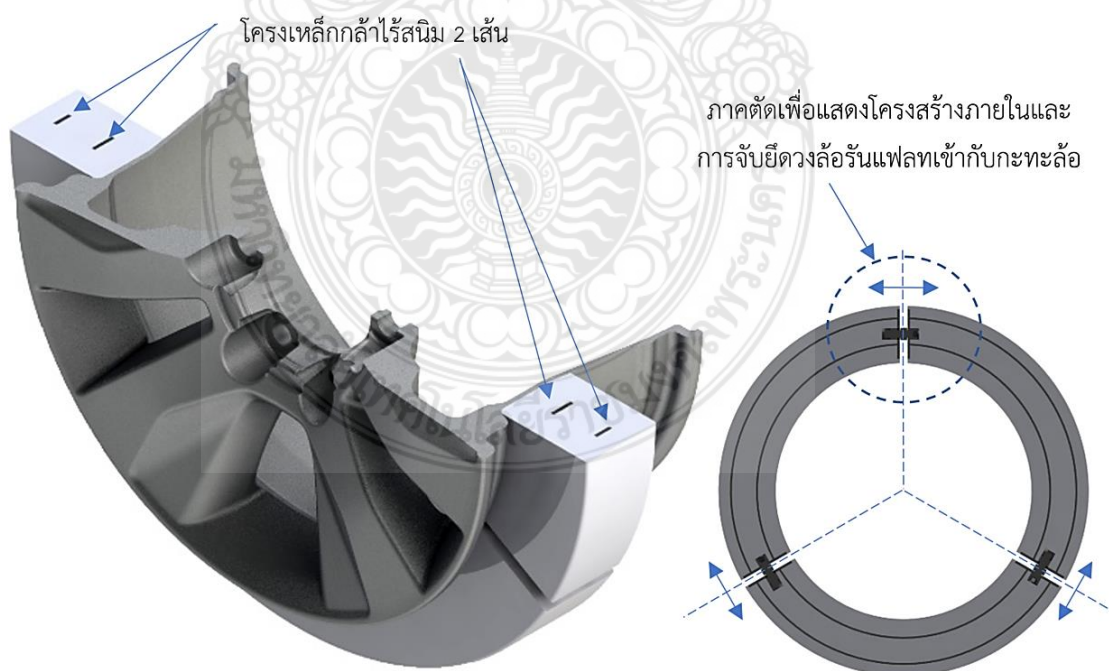
รูปที่ 4.16 การกำหนดตัวแปรควบคุมหน้าตัดของล้อรีนแพลทแบบใหม่



รูปที่ 4.17 มิติของหน้าตัดล้อรีนแพลททั้ง 4 โมเดล

ตารางที่ 4.3 การกำหนดขนาดพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับหน้าตัดล้อรถจักรยานยนต์

Parameter	Model no. 1	Model no. 2	Model no. 3	Model no. 4	Remark
$a$	50	55	60	70	$50 \geq a \leq 85$
$h$	82	85	87	90	$82 \geq h \leq 90$
$w$	68	73	78	88	$w = a + R1 + R3 + c$
$b$	25	25	25	25	-
$c$	5	5	5	5	fix
$R1$	10	10	10	10	fix
$R2$	6.77	6.77	6.77	6.77	fix
$R3$	3	3	3	3	fix
$R4$	3	3	3	3	$R4 = R5$
$R5$	3	3	3	3	$R4 = R5$
$d$	401.2	401.2	401.2	401.2	fix
$t$	20	20	20	20	fix
$H$	85	82	80	77	height for tire collapse



รูปที่ 4.18 ภาคตัดแสดงโครงสร้างภายใน



รูปที่ 4.19 โมเดลวงล้อรันแพลทรูปทรงใหม่หลังจากการปรับปรุงข้อด้อยที่ได้จากการทดสอบ และการตัดแสดงโครงสร้างภายใน



รูปที่ 4.20 ภาพประกอบล้อรันแพลทรูปทรงใหม่เข้ากับกระทะล้อภายหลังจากการปรับปรุงข้อด้อย จากการทดสอบ

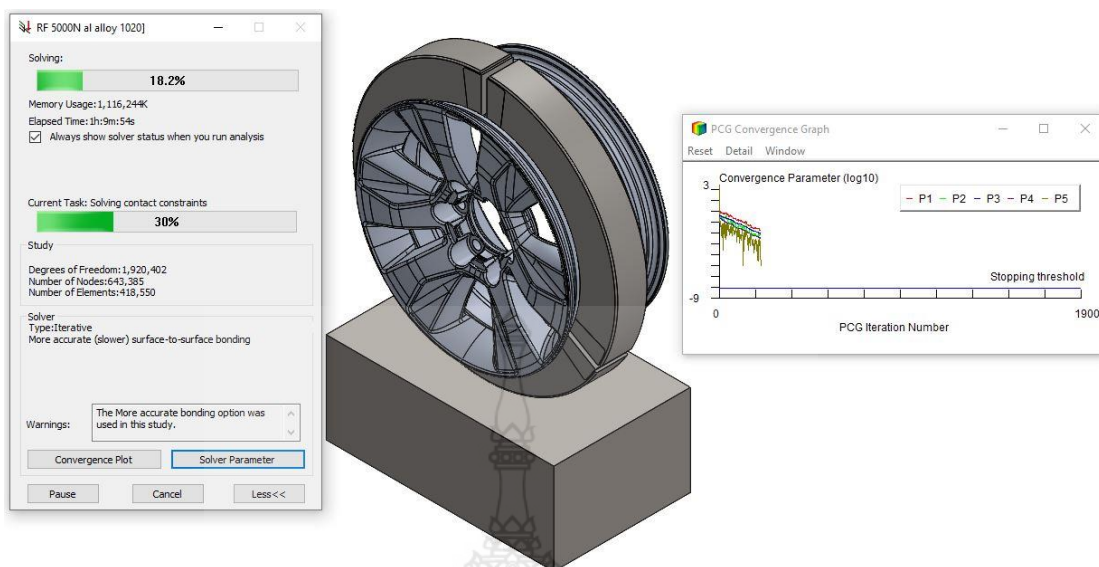


รูปที่ 4.21 ภาพระเบิดชิ้นส่วนแสดงส่วนประกอบลื้อรีนแพลท

จากรูปที่ 4.16 เมื่อได้กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ลงไปบนหน้าตัดลื้อรีนแพลท พบว่า หากเพิ่มระยะ  $a$  ให้มากขึ้นจะส่งผลให้ความกว้างของหน้าแปลนเพิ่มมากขึ้นด้วยและมีพื้นที่ในการสัมผัสกับกระทะลื้อรวมถึงพื้นที่ถนนมากยิ่งขึ้น การกระจายภาระที่เป็นแรงกดก็จะทำได้ดี ความเค้นที่เกิดขึ้นก็จะลดลง เมื่อได้ทำการออกแบบรูปร่างหน้าตัดดังรูปที่ 4.17 ได้ 4 โมเดล และได้ทำการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่า โมเดลที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือโมเดลหมายเลข 4 ซึ่งจะทำให้ความเค้นอยู่ในช่วง 20-30 MPa ในรูปที่ 4.18 จะเป็นการแสดงภาคตัดโครงสร้างภายในของวงลื้อรีนแพลทที่จะมีโครงเหล็กแผ่นจำนวนสองเส้นเปรียบเสมือนเป็นกระดูกสันหลังให้กับวงลื้อรีนแพลท สามารถที่จะยึดลื้อรีนแพลทให้แน่นกับกระทะลื้อได้อย่างดี ทั้งนี้ในการขันยึดจะต้องใช้ประแจปากตายใส่เข้าไประหว่างชิ้นส่วนลื้อรีนแพลททั้งสองชิ้นและขันเข้าเพื่อทำการตรึงชิ้นส่วนลื้อรีนแพลทแต่ละชิ้นเข้าหากัน รูปที่ 4.20 เป็นตัวอย่างการประกอบวงลื้อรีนแพลทเข้ากับกระทะลื้อและแสดงภาพระเบิดได้ดังรูปที่ 4.21

#### 4.4 ผลการวิเคราะห์ความความเค้นและความเครียดของลื้อรีนแพลทแบบใหม่ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

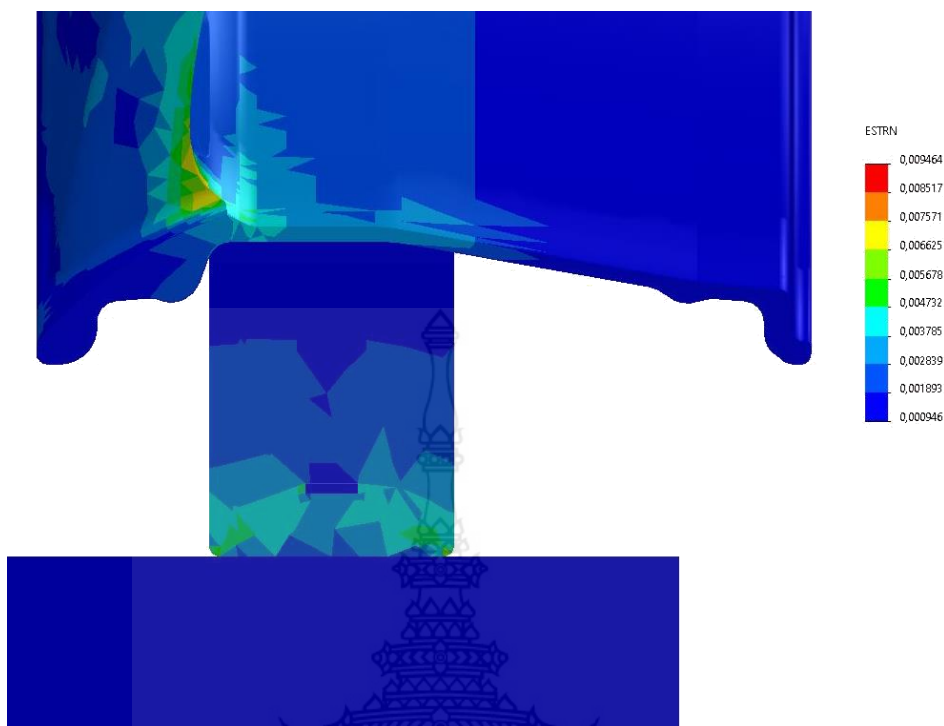
จากการออกแบบหน้าตัดของวงลื้อรีนแพลทในหัวข้อที่ 4.3 ได้นำเข้าสู่กระบวนการทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์และสร้างโมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยกำหนดรูปแบบและกระบวนการวิเคราะห์ต่างๆ เช่นเดียวกับที่ได้ดำเนินการสำหรับวงลื้อรีนแพลทแบบเดิมที่เป็นโลหะ สิ่งที่แตกต่างออกไปคือการเปลี่ยนชนิดของวัสดุวงลื้อรีนแพลท [62] และชิ้นส่วนรูปร่างของวงลื้อรีนแพลท กระบวนการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.22 แสดงให้เห็นถึงจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมด 418,550 เอลิเมนต์ มีจำนวนโหนด 643,385 โหนด และมีองศาความเป็นอิสระในการเคลื่อนที่ 1,920,402 เลือกใช้เครื่องมือวิเคราะห์ชนิด Iterative ที่ได้ผลการวิเคราะห์เป็นค่าความเค้น ความเครียดและการเสียรูปดังรูปที่ 4.23-4.30



รูปที่ 4.22 กระบวนการ Solve Processing สำหรับวงล้อรีนแพลตฟอร์มตัดใหม่



รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ความเค้นรูปแบบของล้อรีนแพลตฟอร์มแบบใหม่สำหรับรถยนต์บรรทุกปกติขนาดเล็กติดเกาะ

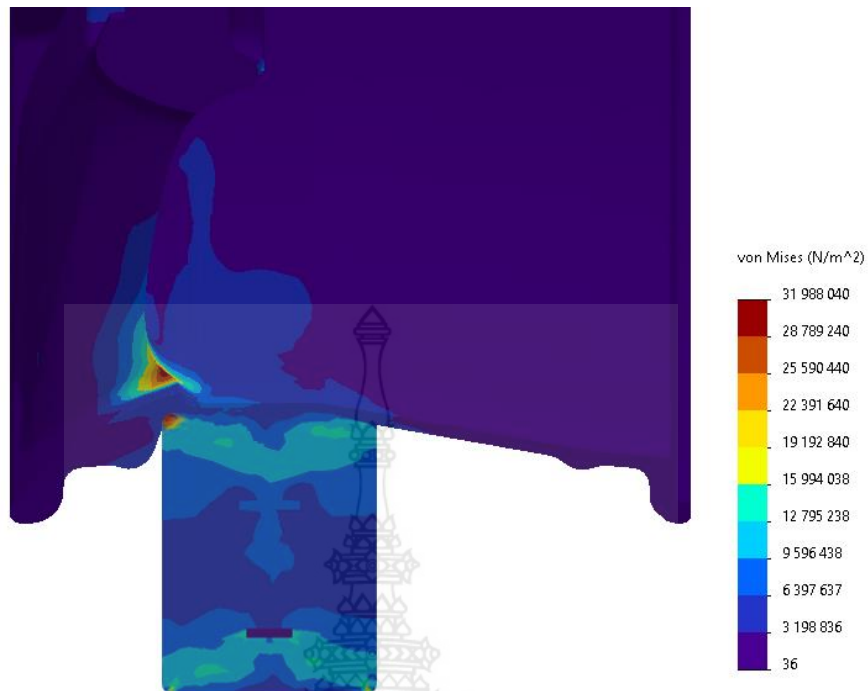


รูปที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ความเครียดรูปแบบของล้อรันพลาสติกแบบใหม่สำหรับรถยนต์บรรทุกปกติ ขนาดเล็กติดเการะ

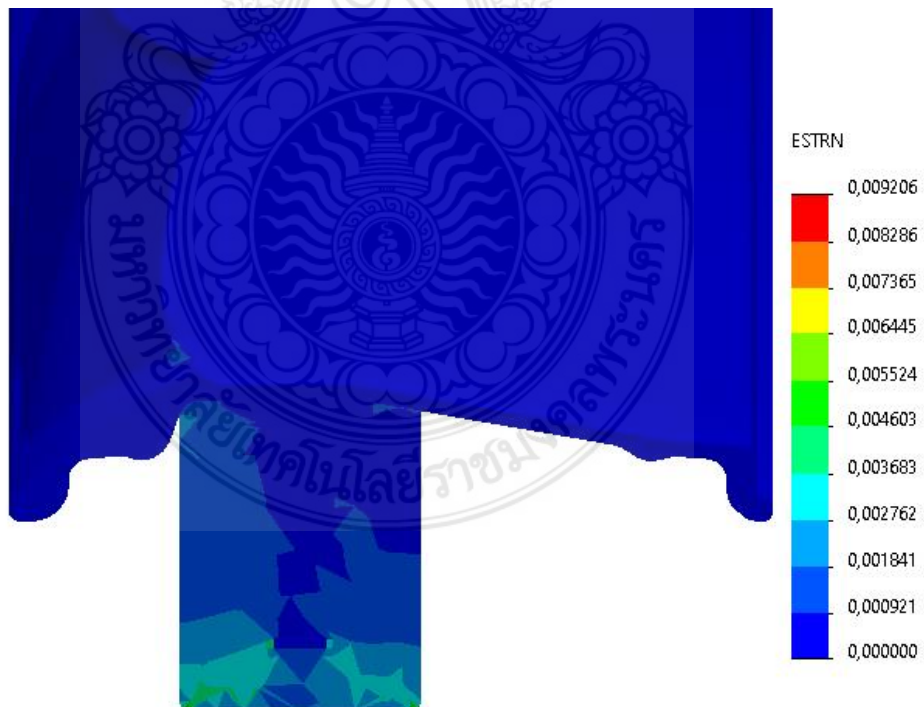
จากรูปที่ 4.23-4.24 ได้แสดงผลการวิเคราะห์ความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นในวงล้อรันพลาสติกแบบที่ 4 สำหรับรถยนต์บรรทุกปกติขนาดเล็กติดเการะ พบว่าหลังจากมีการปรับขนาดและมิติของหน้าตัดวงล้อรันพลาสติกแล้วก็จะส่งผลให้เกิดความเค้นและความเครียดอยู่ในช่วงที่วัสดุสามารถรับแรงและใช้งานได้ ทั้งนี้ยังสามารถที่จะลดขนาดความสูงของวงล้อพลาสติกเพื่อให้ล้อรันพลาสติกเดี่ยวและเพิ่มความกว้างฐานวงล้อรันพลาสติกให้เพิ่มขึ้น จะสามารถช่วยกระจายน้ำหนักไปยังกระทะล้อได้มากขึ้นเป็นการส่งผลให้เกิดเสถียรภาพในการขับขี่ที่ดีขึ้นเนื่องจากมีฐานล้อรันพลาสติกที่กว้างขึ้นนั่นเอง

จากการวิเคราะห์ผลดังรูปที่ 4.23-4.24 เป็นการวิเคราะห์ภายใต้สมมติฐานที่กำหนดให้หน้าสัมผัส (Contact) เป็นชนิด No penetration และไม่กำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ซึ่งในความเป็นจริงยังคงมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยกำหนดให้หน้าสัมผัส (Contact) ระหว่างวงล้อรันพลาสติกกับกระทะล้อเป็นชนิด No penetration ที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเท่ากับ 0.3 และหน้าสัมผัส (Contact) ระหว่างพื้นผิวของวงล้อรันพลาสติกกับถนนเป็นชนิด No penetration ที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเท่ากับ 0.5 ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.25-4.26 ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นคือ ค่าความเค้น Von Mises สูงขึ้นกว่ากรณีที่ไม่มีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน





รูปที่ 4.25 การกระจายความเค้นของล้อรันพลาสติกแบบใหม่ด้วยการกำหนดหน้าสัมผัสที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน



รูปที่ 4.26 การกระจายความเครียดของล้อรันพลาสติกแบบใหม่ด้วยการกำหนดหน้าสัมผัสที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

การดำเนินงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มของความเค้นที่เกิดขึ้นในล้อรันแพลทแบบเดิม ทำการออกแบบและวิเคราะห์รูปแบบของล้อรันแพลทแบบใหม่ที่สามารถใช้ได้กับรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเการะ ล้อรันแพลทที่ออกแบบและสร้างใช้ได้กับรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเการะเท่านั้น ภายใต้เงื่อนไข ขนาดล้อรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเการะที่ใช้คือล้ออัลลอยขนาด 265/65 R17 และสร้างโมเดลล้อรันแพลทด้วยวัสดุ 2 ชนิด และนำมาเปรียบเทียบความสามารถในการใช้งาน ได้แก่ Steel alloy และ UHMWPE Composites งานวิจัยได้รับการดำเนินการและมีผลลัพธ์ต่อบัณฑิตผู้ประสงค์ตามที่ข้างต้น จากการวิจัยในครั้งนี้พบว่า กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering) ถือได้ว่าเป็นกระบวนการพัฒนาและสร้างชิ้นส่วนเครื่องจักรกลขึ้นมาใหม่ให้มีประสิทธิภาพด้านการใช้งานที่ดีกว่าเดิม ในกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยประกอบด้วย การทดลองและการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งมีกระบวนการขั้นตอน และผลลัพธ์ที่ได้โดยสรุปดังต่อไปนี้

1. การทดสอบขีดความสามารถของโปรแกรม SolidWorks Simulation ผลการวิจัยได้รับการเปรียบเทียบด้วยค่าความเครียดที่เกิดขึ้นด้วยการทดลองและการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SolidWorks Simulation การเปรียบเทียบด้วยสองวิธีนี้ใช้กับล้อรันแพลทเดิมของรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเการะที่เป็นล้อโลหะ และขึ้นรูปโมเดลกระทะล้อด้วยการใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ 3 มิติ เพื่อให้ได้โมเดลที่มีขนาดถูกต้องและสามารถใช้วิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ ผลการวิเคราะห์ให้ผลที่สอดคล้องกันไปในทิศทางเดียวกัน จากการวิเคราะห์และทดสอบพบว่าความแตกต่างของทั้งสองวิธี มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 10-16 เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและค่าความชื้นในห้องทดสอบ ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความไวและความถูกต้องของความเครียด แม้ว่าค่าที่ได้จะแตกต่างกันบ้าง แต่ก็เพียงพอที่จะใช้ผลนี้รับรองกระบวนการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยและกระบวนการ Pre-processing นี้ได้ถูกนำไปใช้กับการออกแบบและวิเคราะห์ล้อรันแพลทแบบใหม่ ที่ได้รับการออกแบบหน้าตัดและรูปร่างใหม่ด้วยการใช้วัสดุ UHMWPE Composite แบบใหม่ที่ได้ผลมาจากงานวิจัยของ งามพรรณ ชะโล

2. การวิเคราะห์ความเข้มของความเค้นที่เกิดขึ้นในล้อรันแพลทแบบเดิม (ล้อรันแพลทโลหะ) จากการที่ได้ทำการทดสอบขีดความสามารถของโปรแกรมที่กล่าวมา และทราบว่าโปรแกรมมีขีดความสามารถในการวิเคราะห์และแก้ไขโจทย์ปัญหานี้ได้ จึงได้ทำการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นกับล้อรันแพลทแบบเดิม (ล้อรันแพลทโลหะ) ล้อรันแพลทประกอบเข้ากับกระทะล้อในมุมต่างๆ เพื่อ

ศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่ง เนื่องด้วยลัทธิรีนแฟลทมีรูปแบบส่วนที่เป็นรู และเป็นสันอีก ทั้งกระทะล้อยังมีส่วนที่เป็นก้านกระทะล้อยและช่องว่างระหว่างก้านกระทะล้อย จึงต้องทำการวิเคราะห์ ในทุกๆมิติ เพื่อให้เห็นถึงการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้น พบว่า ความเค้นที่เกิดขึ้นในลัทธิรีนแฟลทไม่ เกินขีดจำกัดของค่าความเค้นที่จุดคราก และมีค่าความปลอดภัยอยู่ระหว่าง 3-5 เท่า นั่นคือการ วิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์นี้แสดงให้เห็นว่าลัทธิรีนแฟลทแบบโลหะนี้สามารถใช้งานได้จริงตามที่ใ้ งานอยู่นั่นเอง แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือน้ำหนักของลัทธิรีนแฟลทหนึ่งวงจะเท่ากับ 11.2 กิโลกรัมซึ่งมี น้ำหนักมาก และการยึดเข้ากับกระทะล้อยไม่แนบสนิทเกิดการเคลื่อนตัวหมุนตามแกนกระทะล้อย ซึ่งจะ เกิดขึ้นในจังหวะที่เกิดการเบรก (ลัทธิยังมีลมยางปกติ)

3. การออกแบบและวิเคราะห์รูปแบบของลัทธิรีนแฟลทแบบใหม่ที่สามารถใช้ได้กับรถยนต์ บรรทุกปกติขนาดเล็กติดเกาะ ได้ทำการออกแบบโมเดลลัทธิรีนแฟลทขึ้นมาใหม่ในรูปแบบต่างๆ และ หารูปแบบที่ดีที่สุด จากงานวิจัยของ เจริญยุทธ เดชวายุกุล และคณะ [54] ได้นำเสนอรายงานการวิจัย ฉบับสมบูรณ์เรื่อง “พัฒนาล้อยางเสริมชั้นโฟมยาง” เป็นการสร้างรันแฟลทที่ทำจากวัสดุยาง ประกอบด้วยรันแฟลทที่แบ่งออกเป็น 3 ชั้น มีการสร้างแม่พิมพ์เพื่อหล่อยางรันแฟลท พบว่าช่องว่าง ของล้อยางรันแฟลทกับกระทะล้อยหากไม่แนบแน่นจะส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนขณะใช้งาน ดังนั้นใน งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบการยึดวงลัทธิรีนแฟลทให้แนบสนิทด้วยการเสริมโครงเหล็กเข้าไปภายในของวง ลัทธิรีนแฟลท และจำเป็นต้องนำชุดล้อที่ประกอบเข้าด้วยกันทั้งหมดไปทำการติดตั้งตะกั่ววงล้อ เพื่อให้เกิดความสมดุลของมวลล้อยขณะทำการวิ่งใช้งาน งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การออกแบบวงลัทธิรี นแฟลทใหม่ให้มี 3 ชั้นส่วนด้วยเช่นกัน เพื่อให้สะดวกต่อการประกอบเข้ากับกระทะล้อย ระหว่างการ ออกแบบในแต่ละรูปแบบนั้นก็ต้องทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ทั้งหมด โดยการพิจารณาค่าความเค้นที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของลัทธิรีนแฟลท สำหรับ J. Stearns [49] ก็ได้ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของกระทะล้อยโดยเลือกใช้วิธีการทดลอง และระเบียบวิธีไฟ ไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ALGOR เปรียบเทียบผลต่างๆ เช่น ค่าความเครียดและการเสียรูป ทำให้ ได้การกระจายของความเค้นตามมา ซึ่งบทความวิจัยนี้ก็ใช้วิธีการเดียวกัน เพียงแต่มีลัทธิรีนแฟลท เพิ่มเติมเข้ามาและโปรแกรมที่เลือกใช้เป็น SolidWorks Simulation ลัทธิรีนแฟลทได้รับการออกแบบ และสร้างขึ้นเป็นวงล้อแบบแยกส่วน จึงมีความสะดวกและต้นทุนต่ำกว่ากว่าการสร้างยางรันแฟลทที่ แกมมามีการเสริมเนื้อยางลงไปให้เกิดความแข็งแรงหรือที่เรียกว่าเป็นรันแฟลทในตัว วงลัทธิรีนแฟลท แบบแยกส่วนจะสามารถใช้งานได้ยาวนานและต้นทุนไม่สูงเกินไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

แนวทางการออกแบบและวิเคราะห์ลัทธิรีนแฟลทสำหรับรถยนต์บรรทุกปกติขนาดเล็กติดเกาะ นี้ สามารถเป็นแนวทางการต่อยอดเพื่อออกแบบและวิเคราะห์ลัทธิรีนแฟลทสำหรับรถยนต์นั่งส่วน

บุคคลได้ เพียงแต่รูปแบบหน้าตัดของลัทธิแพลทจะต้องได้รับการพิจารณาใหม่ และยังคงต้องใช้กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยเช่นเดิม โครงสร้างเหล็กซึ่งอยู่ภายในลัทธิแพลทอาจได้รับการพิจารณาออกแบบใหม่ให้มีเพียง 1 เส้น และออกแบบให้หน้าตัดของลัทธิแพลทไม่สูงมากนัก นั่นคือรัศมีของวงลัทธิแพลทด้านนอกสุดจะต้องมากกว่ารัศมีของขอบกระทะลัทธิ ในระยะที่ไม่ส่งผลให้ขอบกระทะลัทธิบิดเบี้ยวได้ เมื่อไม่มีลมยาง

นอกเหนือจากวัสดุ UHMWPE Composite แล้ว ยังสามารถใช้อย่างเป็นวัสดุทดแทนได้ และสามารถต่อยอดจากงานวิจัยนี้ไปสู่การออกแบบหน้าตัดรันแพลทใหม่ด้วยวัสดุอื่นๆ ที่จะทำให้ต้นทุนลดลงและมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนกว่านี้ ทั้งนี้ ผลการศึกษาและวิจัยทั้งหมดยังเป็นเชิงทฤษฎีที่ยังไม่ได้ผลิตลัทธิแพลทขึ้นมา และยังไม่ได้ผ่านการทดสอบการใช้งานจริง ดังนั้นแนวทางการดำเนินงานต่อไปคือการสร้างและทดสอบการใช้งานจริง



## เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมการขนส่งทางบก กองทัพบก และ บริษัท เจ เอส แอนด์ มิวเสส จำกัด, การวิจัยและพัฒนา ร่มรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกาะ รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์, 2558.
- [2] RunFlat International limited. (2021). Static RunFlat System. [Online]. Available from: <https://runflatinternational.com/products/static-runflat-system/>
- [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] ชงชัย ฟองสมุทร, *วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เบื้องต้น*, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ดารารวรรณการพิมพ์ เชียงใหม่. 2549.
- [5] ชัยวัฒน์ ไชยมหาพฤกษ์, “แผ่นเกาะเซรามิกส์กันกระสุนด้วยวัสดุเชิงประกอบ,” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2561.
- [6] นวพล กลางทัพ, “การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการต้านทานการเจาะทะลุของกระสุนบนโลหะด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 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](https://www.wikiwand.com/en/Tire_manufacturing)

- [12] ประกอบ ชาติภักดิ์, พลรัชต์ บุญมี, อีระวัฒน์ แม้นดั่ง และราม ชาติภักดิ์, “ล้อ Run-flat สำหรับรถยนต์บรรทุกทุกปกติขนาดเล็กติดเกราะ,” รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 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] Jignesh Sabhadiya. “What Is A Run Flat Tire And How They Work?,” [ออนไลน์], Available: <https://www.engineeringchoice.com/run-flat-tires/>
- [15] BUYACAR TEAM. (Sep 17, 2021). “What are run-flat tyres?,” [ออนไลน์], Available: <https://www.buyacar.co.uk/cars/497/what-are-run-flat-tyres>
- [16] W. L. Willard Jr, “Run-flat tire with three carcass layers,” ed: Google Patents, 1995.
- [17] E. G. Markow, “Run-flat tire incorporating tape-wrapped helical coil band and method of forming,” ed: Google Patents, 1987.
- [18] E. G. Markow and M. A. Kopsco, “Run-flat tire and method of making same,” ed: Google Patents, 1984.
- [19] H. J. Mirtain and A. M. Devienne, “Run-flat tire and hub therefor,” ed: Google Patents, 1977.
- [20] R. S. Cataldo, “Run-flat tire having integral internal support means,” ed: Google Patents, 1979.
- [21] I. Osada and S. Sano, “Run-flat support and tire assembly,” ed: Google Patents, 1982.
- [22] R. S. Cataldo, “Run-flat tire and wheel arrangement with inverted bead interlock,” ed: Google Patents, 1979.
- [23] 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.
- [24] A. Deck and C. Lefaucheur, “Safety tire with sidewall support members having two parts with different flexibilities,” ed: Google Patents, 1981.
- [25] E. Nakaski and Y. Igarashi, “Run-flat tire and rim assembly for ATV,” ed: Google Patents, 1990.
- [26] 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.

- [27] M. Davis, *It's Only a Flat Tire in the Rain*: Penguin, 2002.
- [28] 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.
- [29] C. Y. Warner, G. C. Smith, M. B. James, and G. J. Germane, "Friction applications in accident reconstruction," SAE Technical Paper 1983.
- [30] E. Z. Klein and T. L. Black, "Anatomy of accidents following tire disablements," SAE Technical Paper 0148-7191, 1999.
- [31] W. M. Hopkins, S. P. Landers, and S. F. Roth, "Tire initiated vehicle control system," ed: Google Patents, 2002.
- [32] S. D. Ko, "Internal tire support wheel," ed: Google Patents, 1991.
- [33] A. Yoshida and M. Kan, "Pneumatic safety tire," ed: Google Patents, 1982.
- [34] H. Noma and S. Saitou, "Radial tire which runs safe after a loss of tire pressure," ed: Google Patents, 1992.
- [35] A. Segoni, "Accident signalling device," ed: Google Patents, 1957.
- [36] O. M. Daoud, "Accident prevention system for vehicles," ed: Google Patents, 2001.
- [37] H. A. Van, "Tire tube," ed: Google Patents, 1951.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] T. G. Campagna, "Tubeless tire with insert for preventing collapse in the event of loss of air pressure," ed: Google Patents, 1983.
- [41] T. Akram, T. Scullion, and R. E. Smith, "Using the multidepth deflectometer to study tire pressure, tire type and load effects on pavements," 1993.
- [42] 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.

- [43] Sourav Das, “Design and Weight Optimization of Aluminium Alloy Wheel,” *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 4, no. 6, Jun. 2014.
- [44] Light Alloys, I.J. Polmear, Edward Arnold Publishers15.
- [45] 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>
- [46] Ballarnut. (2013). *Run-Flat Tires Technology*. [Online]. Available from: <https://www.autospinn.com/2013/09/run-flat-tires-technology-knowledge>.
- [47] 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.
- [48] Kazuo Hochi (2008) *U.S. PATENT No 7,342,064 B2*. Kobe (JP).
- [49] John Stearns, “Reinventing the tire,” *International News / Materials and Design*, vol. 22, pp. 591–593, 2001.
- [50] K. Kim, “flexble cellular solid spokes of a non-pneumatic tire,” Goyang-city, Gyeonggi, Republic of korea.
- [51] Isao Osada, Izumi (1982) *U.S. PATENT No. 4,346,747*. Tokyo, both of japen.
- [52] Philip Stuart Hammond (1997) *U.S. PATENT No. 5,685,927*. Akron, Ohio.
- [53] Thomas G. Campagna. (1080) *U.S. PATENT No 4,371,023*. NEW YORK.
- [54] เจริญยุทธ เดชวายุกุล และคณะ, (2552). “พัฒนาล้อยางลมเสริมชั้นโฟมยาง” ชาติใหญ่:คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [55] 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.
- [56] Josep S hawkesk David L Turk (1972). *U.S. PATENT No.3, 650,865* both of Ohio (US).
- [57] 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.
- [58] Khaled Khatlb, LeW1ston,(2012),*U.S. PATENT no. 8,118,072 B2* newyork (US).
- [59] William W. Gardetto (2012). *U.S. PATENT no. 8,132,606 B2* Texas (US).



- [60] 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.
- [61] 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.*
- [62] งามพรรณ ชะโล, การศึกษาสมบัติทางกลของโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงที่ยืดแข็งประกอบสำหรับล้อ Run-flat, วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2564.
- [63] 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	นางสาวนุชนาถ ทองใหญ่	
วัน เดือน ปีเกิด	6 มกราคม 2537	
ภูมิลำเนา	800/1 ถนนบางแวก ซอยจรัญสนิทวงศ์ 13 แขวงบางแวก เขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร	
ประวัติการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วุฒิมัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนสุวรรณารามวิทยาคม	2554
ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2558
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	วิศวกรขายโครงการ บริษัท ยูนิแอร์ คอเปอร์เรชั่น จำกัด	