

การตรวจสอบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการออกแบบแชสซี สำหรับยานพาหนะการเกษตร

กฤษฎางค์ ศุภระมูล^{1*}, ศักย บุญชูวิทย์², วชิระ เพิ่มชาติ³, ชัยชโย ชื่นตรง⁴, สัตยลักษณ์ กิ่งทอง⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

Email : krissadang.sook@vru.ac.th¹

Received: May 22, 2023

Revised: Jun 13, 2023

Accepted: Jun 20, 2023

บทคัดย่อ

ในภาคอุตสาหกรรมเกษตร การขนส่งผลิตภัณฑ์มีบทบาทสำคัญในด้านเศรษฐกิจการค้าในปัจจุบัน สำหรับประเทศที่กำลังพัฒนาเช่นประเทศไทย นิยมใช้รถบรรทุกภาคเกษตรกรรมเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในการประกอบแชสซีรถบรรทุกและรถเอนกประสงค์ มีคุณสมบัติมากมายที่ต้องพิจารณารวมถึงการเลือกใช้วัสดุในการสร้าง อัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนัก บทความนี้มุ่งเน้นศึกษาความเค้น ความเครียด ระยะยุบตัว และหาค่าความปลอดภัยของแชสซีรถเอนกประสงค์ใช้ในการเกษตรโดยใช้การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลของงานวิจัยนี้ทำให้ผู้วิจัยสามารถนำไปเลือกวัสดุในการสร้างยานพาหนะเพื่อการเกษตรโดยการทดสอบความแข็งแรงของแชสซีด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) ผลการทดลองพบว่าเมื่อเลือกใช้เหล็ก AISI 1035 ค่าความเค้นพอนมิชเชสมากที่สุดที่เกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางของแชสซีมีค่า 170.7 MPa ค่าความเครียดสูงสุด 5.3×10^{-4} ค่าระยะขจัดสูงสุด 2.819 mm และค่าความปลอดภัยต่ำสุด 1.2 เมื่อเลือกใช้สแตนเลส SUS 304 ค่าความเค้นพอนมิชเชสมากที่สุดที่เกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางของแชสซีมีค่า 169.6 MPa ค่าความเครียดสูงสุด 5.058×10^{-4} ค่าระยะขจัดสูงสุด 2.681 mm และค่าความปลอดภัยต่ำสุด 1.42 ยานพาหนะเพื่อการเกษตรที่ออกแบบโดยเลือกใช้วัสดุทั้ง 2 ประเภทนี้มีความแข็งแรงเพียงพอในการนำไปใช้งานในสภาวะปกติ

คำสำคัญ : วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, ยานยนต์เพื่อการเกษตร, ความเค้นพอนมิชเชส

Finite Element Investigation on Chassis Design for Agricultural Vehicle

**Krissadang Sookramoon^{1*}, Sakaya Bunchoowit², Watchara Permchart³,
Chaichayo Suetrong⁴, Sanyaluck Kingthong⁵**

¹⁻⁵ Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under the Royal Patronage

*Email : krissadang.sook@vru.ac.th

Received: May 22, 2023

Revised: Jun 13, 2023

Accepted: Jun 20, 2023

Abstract

In the agro-industrial sector, production transportation is essential in today's trade economy for developing countries like Thailand. The use of trucks in the agricultural region has increased significantly. In the assembly of truck chassis and utility vehicles, many features exist, including the choice of building material and strength-to-weight ratio. This article uses finite element method analysis to study the stress, strain, and deflection and determine the safety factor of the multipurpose agricultural vehicle chassis. The results showed that when expending AISI 1035 steel, the highest Von Mises stress occurring at the center of the chassis was 170.7 MPa, the maximum strain was 5.3×10^{-4} , the maximum displacement was 2.819 mm, and the minimum safety factor was 1.2. When selecting SUS 400, the highest Von Mises stress arising at the center of the chassis was 169.6 MPa, the maximum strain was 5.058×10^{-4} , the maximum displacement was 2.681 mm, and the minimum safety factor was 1.42. For multipurpose agriculture vehicles designed by verifying two types of these materials, it was found that the chassis was strong enough to be used in normal conditions.

Keywords : Finite Element Method, Multipurpose Agricultural Vehicle, Von mises stress

บทนำ

แชสซีเป็นส่วนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด ในวงการอุตสาหกรรมยานยนต์ แชสซีของรถยนต์ เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการสร้างความเสถียรแก่รถยนต์เมื่อต้องเผชิญกับสภาวะต่าง ๆ แชสซีเป็น โครงรองรับที่ยึดตัวเครื่องยนต์ เพลา และระบบกัน สะเทือนระบบส่งกำลังไว้ด้วยกัน ใช้เป็นตัวยึดชิ้นส่วนรถยนต์ทั้งหมด โครงแชสซีแบบขับเคลื่อนเป็นหนึ่ง ในรูปแบบที่เก่าแก่ที่สุดของแชสซีรถยนต์ เนื่องจาก โครงขับเคลื่อนมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีเยี่ยม จึงใช้ได้กับรถเพื่อการพาณิชย์ส่วนใหญ่ร่วมกับ รถ SUV ส่วนใหญ่ ความสามารถในการรับน้ำหนัก บรรทุกสูงของแชสซี การขับขีที่ดีเยี่ยมและความสบายในการขับขีที่ยอดเยี่ยม ดังนั้นควรใช้แชสซีแบบขับเคลื่อนมากกว่าโครงแบบยูนิบอดีและ โครงขับเคลื่อนทำหน้าที่เป็นลูกปืนสำหรับกระพุ่มสปริง พร้อมขาคีดเพื่อรองรับร่างกายและเหล็กใบ ส่วนประกอบแชสซีสามารถติดเข้ากับข้อต่อแบบ หมุดย้ำ ข้อต่อเชื่อม หรือสลักเกลียวได้ เพื่อรองรับ การทำงานของสปริงของระบบกันสะเทือน โครงขับเคลื่อนถูกสร้างขึ้นที่ด้านหน้าและด้านหลัง เฟรมแคบ ไป ด้านหน้าเพื่อการล้อคพวงมาลัยที่ดีขึ้น ภาพตัดขวางหลายส่วนที่ใช้ในการก่อสร้างเฟรม ได้แก่ ช่อง, กล่อง, ฝาปิด, ช่องคู่และส่วนการวิเคราะห์ ความเครียดจะดำเนินการบนเฟรมเพื่อหาจุดวิกฤต ที่มีแรงกดสูงสุดการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นำหลักการทางคณิตศาสตร์ที่นำ ค่าประมาณที่ได้จากแบบจำลองของการแก้ปัญหา ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยมาใช้ประมาณค่าผลลัพธ์ เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมใช้กับงานวิศวกรรม นำไปประยุกต์ใช้กับงานหลายสาขาแสดงรูปแบบ การกระจายความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้น ขณะใช้งานวิธีการดังกล่าวถือเป็นเครื่องมือที่ช่วย พัฒนาการออกแบบ ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถทดสอบซ้ำ ข้อดีคือลดต้นทุนการผลิตแบบจำลองต้นแบบใน การศึกษา สะดวกต่อการขึ้นรูปแบบจำลอง และช่วย พัฒนาให้ผลลัพธ์เป็นไปในทางที่ดีขึ้นบทความนี้ อธิบายและเน้นความรู้พื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์

เอลิเมนต์ ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ รูปแบบพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุที่เหมาะสมกับงานวิศวกรรมและการออกแบบ ตลอดจนการนำมาประยุกต์ใช้ได้จริง

บททวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

FM D Vijayakumar และคณะ[1] ได้ทำวิจัย เรื่องการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของแชสซีรถบรรทุก โดยได้พิจารณาคุณสมบัติหลายอย่างทั้ง การเลือกใช้วัสดุ บรรจุภัณฑ์ อัตราส่วนความแข็งแรง ต่อน้ำหนัก ค่าความแข็ง และเน้นการศึกษาความเครียดของแชสซีรถบรรทุกโดยใช้การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) โดยใช้โปรแกรมหลักคือ ANSYS ผลการวิจัยนี้ทำให้ทราบวิธีแก้ปัญหาเกี่ยวกับการ เทคนิคการพัฒนาที่ทันสมัยในปัจจุบันสำหรับแชสซีของรถบรรทุก

Chandra M. R[2] และคณะได้ทำการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์โครงสร้างของแชสซีของยานพาหนะขนาดใหญ่ที่ทำจากวัสดุผสมพอลิเมอร์ โดยส่วนตัวขวางที่แตกต่างกันสามส่วน โดยอธิบายถึงการออกแบบและการวิเคราะห์แชสซีของยานพาหนะขนาดใหญ่ การลดน้ำหนักเป็นปัญหาหลักในอุตสาหกรรมรถยนต์ โครงแชสซีเปรียบเสมือนเป็นกระดูกสันหลังของรถบรรทุกขนาดหนัก น้ำหนักหลักของมันคือรองรับการบรรทุกอย่างปลอดภัยที่โหลดสูงสุดสำหรับในทุกสภาพการใช้งานตาม ที่ออกแบบไว้ ในปัจจุบันแชสซีรถบรรทุกหนักที่มีอยู่ของยานพาหนะยี่ห้อ TATA 2515EX ถูกนำไปสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ของหนักแชสซีของรถด้วยวัสดุผสมที่แตกต่างกันสามแบบ ได้แก่ Carbon/Epoxy, E-glass/Epoxy และ S-glass/Epoxy ภายใต้แรงกดเช่นเดียวกับตัวถังเหล็ก ข้อจำกัดในการออกแบบคือความเค้นและการโก่งตัว ของแชสซียานยนต์หนักของแบบที่ประกอบขึ้นทั้งสามแบบที่แตกต่างกันได้ทำการจำลองโดยพิจารณาจากหน้าตัดที่แตกต่างกันสามแบบคือส่วน C, I และประเภทกล่อง สำหรับการตรวจสอบการออกแบบทำได้โดยใช้แรงในแนวตั้งที่กระทำกับส่วนตัดขวางที่แตกต่างกันในแนวนอน ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการนี้ทำงาน PRO – E

5.0 สำหรับการสร้างแบบจำลองใช้โปรแกรม ANSYS 12.0 สำหรับทำการวิเคราะห์

Salvi Gauri Sanjay และคณะ[3] ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบจำกัดของแอสซีรดับเพลิงสำหรับวัสดุเหล็กและคาร์บอนไฟเบอร์ แอสซีเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของรถยนต์ที่ทำหน้าที่เป็นโครงเพื่อรองรับตัวรถ เพราะฉะนั้นโครงควรจะต้องแข็งแรงมากและแข็งแรงพอที่จะต้านทานแรงสั่นสะเทือนและแรงกระแทกที่กระทำต่อการเคลื่อนไหวยานพาหนะ เหล็กกล้าในหลายรูปแบบเป็นวัสดุที่ใช้กันทั่วไปสำหรับการผลิตแอสซีและอลูมิเนียมใช้เวลาได้รับการใช้งานแล้ว อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาวัสดุแบบดั้งเดิมถูกแทนที่ด้วยคาร์บอนไฟเบอร์น้ำหนักเบาเป็นพิเศษวัสดุ คาร์บอนไฟเบอร์ที่มีความแข็งแรงสูงและน้ำหนักเบาจึงเหมาะสำหรับนำมาทำการผลิตเป็นแอสซีสำหรับยานยนต์ บทความนี้แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างแบบโมเดลและแบบสถิติของโครงแอสซีรดับเพลิง TATA 407 สำหรับเหล็กเช่นกันเป็นเส้นใยคาร์บอน จากผลการวิเคราะห์ เปรียบเทียบค่าความเค้น ความเครียด และค่าการเสียรูปทั้งหมดสำหรับทั้งสองค่าวัสดุ เนื่องจากง่ายต่อการวิเคราะห์ระบบโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จึงมีการปรับเปลี่ยนแอสซีการใช้ PRO-E และ Finite Element Analysis ดำเนินการโดยใช้ ANSYS workbench

Rohan Y Garud และคณะ[4] ได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างของแอสซียานยนต์ การปรับเปลี่ยนการออกแบบและการเพิ่มประสิทธิภาพ แอสซีเป็นชิ้นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของรถยนต์ทำหน้าที่ใช้รองรับชิ้นส่วนต่าง ๆ เช่น เครื่องยนต์ กระปุกเกียร์ คลัตช์เพลาขับ, เบรก, ถังน้ำมัน ฯลฯ ที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนยานพาหนะ ทำหน้าที่แบกภาระและน้ำหนักที่จำเป็นทั้งหมดของส่วนประกอบ; ดังนั้นจึงควรแข็งแรงพอที่จะรักษาการกระแทก การบิด การสั่นสะเทือน และความเครียดอื่น ๆ บทความนี้จะพิจารณาถึงงานวิจัยที่ดำเนินการในพื้นที่ของแอสซีกับข้อจำกัดของความเค้นสูงสุด การโก่งตัว และบริเวณวิกฤตภายใต้เงื่อนไขการโหลด ได้นำเทคนิคการ

จำลองมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบเพื่อการลดน้ำหนัก วัสดุที่ดีขึ้นการใช้ประโยชน์และหน้าตัดที่เหมาะสม ความสูงของเว็บและเปลี่ยนขนาดความหนาเพื่อตรวจสอบผลกระทบต่อน้ำหนัก

Yuan Ren และคณะ[5] ทำการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์และการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงรถดั้มพ์รุ่น SX360 การวิเคราะห์ความถี่การสั่นสะเทือนตามธรรมชาติและโหมดไดนามิกของเฟรมเป็นกระบวนการที่สำคัญเพื่อให้มั่นใจถึงการดำเนินงานความสามารถของเฟรมรับแรง และแรงบิดต่าง ๆ ที่ส่งมาจากเครื่องยนต์ คลัตช์ ตัวถัง และสินค้า ในฐานะที่เป็นฐานรองรับของรถยนต์บรรทุกคอนเทนเนอร์ ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมทำได้ยากงานวิจัยนี้ใช้ซอฟต์แวร์ FEA ABAQUS ที่สามารถให้การกระจายความเค้นของเฟรมที่ถูกต้อง กฎการโก่งตัวของเฟรมที่ปลายทั้งสองด้านและจุดกึ่งกลาง และเฟรมชั่วคราวแบบพลวัต การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ก่อนหน้านี้ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์มวลของเฟรมและการเพิ่มประสิทธิภาพโมเดลเท่านั้น โดยขาดการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนและโหมด ในบทความนี้ซอฟต์แวร์ ABAQUS ขนาดใหญ่ถูกใช้เพื่อวิเคราะห์ความถี่การสั่นสะเทือนตามธรรมชาติและโหมดไดนามิกของเฟรมของรถดั้มพ์ SX360 ที่ใช้พื้นฐานทางทฤษฎีที่จำเป็นสำหรับการออกแบบเฟรมที่เหมาะสมที่สุด

ชาตรี บุญเชิดชู[6] ได้ทำวิทยานิพนธ์เรื่องการวิเคราะห์โครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยทำการใช้ซอฟต์แวร์ออกแบบ เลือกวัสดุ และวิเคราะห์ความแข็งแรง ความเหมาะสมของโครงสร้างรถไฟฟ้า และนำผลการวิเคราะห์ไปสร้างรถไฟฟ้าขนาดเล็กขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยเรื่องนี้จึงทำการศึกษาค้นคว้าความแข็งแรงของโครงแอสซีด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) อันเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยออกแบบโครงแอสซีได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเผยแพร่ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้แก่

อุตสาหกรรม และชุมชนที่สนใจสร้างรายได้

การเลือกใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นการจำลองสถานะการรับแรงจริงโดยมีความแตกต่างกับวิธีการทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างเชิงจริง ในด้านการประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างชิ้นงานขึ้นแล้วทดสอบจริง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาความแข็งแรงของวัสดุในการนำมาใช้สำหรับออกแบบแอสซีรอกเนกประสงค์ใช้ในการเกษตร
2. ศึกษาการใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการออกแบบแอสซีรอกเนกประสงค์ใช้ในการเกษตร โดยเลือกวัสดุ 2 ชนิด คือ เหล็ก AISI 1035 และ SUS 304
3. ตรวจสอบความถูกต้องหรือความแม่นยำของการจำลอง

ความเค้น Von Mises[7]

ความเค้น Von Mises เป็นค่าที่ใช้ในการพิจารณาว่าวัสดุที่เลือกมาใช้งานนั้นจะคด โกงหรือเกิดการแตกหักหรือไม่ ส่วนใหญ่จะใช้กับวัสดุที่มีความเหนียว เช่น โลหะ เกณฑ์จุดครากของ Von Mises ระบุว่าหากความเค้นของ Von Mises ของวัสดุภายใต้การมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าขีดจำกัดครากของวัสดุชนิดเดียวกันภายใต้แรงดึงอย่างง่าย วัสดุนั้นก็จะถึงจุดคราก ในการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุพบว่าประวัติของทฤษฎีความยืดหยุ่นเริ่มต้นจากการศึกษาของ Robert Hooke ในศตวรรษที่ 17 ซึ่งสำรวจแนวคิดพื้นฐานของการเปลี่ยนรูปของสปริงและการเคลื่อนตัวของคาน อย่างไรก็ตาม เกณฑ์เชิงวิศวกรรมไม่ใช่เหตุผลเดียวสำหรับการศึกษาทฤษฎีความยืดหยุ่น เนื่องจากงานวิจัยนั้นได้เชื่อมโยงกับความพยายามในการตีความธรรมชาติและทฤษฎีของอีเทอร์ด้วย ในศตวรรษที่ 19 เท่านั้นที่เกิดทฤษฎีเชิงปริมาณและ

คณิตศาสตร์เกี่ยวกับความยืดหยุ่นของวัตถุพร้อมกับกลศาสตร์ความต่อเนื่อง ซึ่งอนุญาตให้ใช้แคลคูลัสเชิงปริพันธ์และเชิงอนุพันธ์เพื่อสร้างแบบจำลองปรากฏการณ์ยืดหยุ่น กลศาสตร์ความต่อเนื่องสมมติสิ่งที่เรียกว่าไฮโมจีโนเซชันของตัวกลาง เช่น ความผันผวนระดับจุลภาคจะถูกหาค่าเฉลี่ยและฟิลด์ต่อเนื่องที่สามารถจำลองตัวกลางได้ ดังนั้นจึงสันนิษฐานว่าในทุก ๆ ช่วงระยะเวลาและทุก ๆ จุดในอวกาศที่ถูกครอบครองโดยตัวกลาง จะมีอนุภาคที่ตรงต่อเวลา ทฤษฎีและแนวคิดมากมายได้มาจากแนวคิดพื้นฐานของกลศาสตร์ความต่อเนื่อง หนึ่งในนั้นคือทฤษฎีพลังงานบิดเบือนสูงสุด ซึ่งนำไปใช้ในหลายสาขา เช่น การออกแบบตลับลูกปืนและการใช้งานกับวัสดุเหนียวอื่น ๆ มันถูกเสนอครั้งแรกโดย Hubert ในปี 1904 และพัฒนาเพิ่มเติมโดย Von Mises ในปี 1913 ได้ให้ความเห็นว่าการบิดเบือนถึงค่าวิกฤต ค่าวิกฤตนี้เป็นค่าเฉพาะสำหรับวัสดุแต่ละชนิด สามารถหาได้ง่ายโดยการทดสอบแรงดึงอย่างง่าย

เกณฑ์ของ Von Mises

ขีดจำกัดความยืดหยุ่นที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ขึ้นอยู่กับ การทดลองความเค้นอย่างง่ายหรือความเค้นแกนเดียว อย่างไรก็ตาม ทฤษฎีพลังงานบิดเบือนสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อสังเกตว่าวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่มีความเหนียว มีพฤติกรรมแตกต่างออกไปเมื่อได้รับแรงดึงแบบไม่เรียบง่ายหรือความเค้นที่ไม่ใช่แกนเดียว ซึ่งแสดงค่าความต้านทานที่มากกว่าค่าที่สังเกตได้ระหว่างแรงดึงอย่างง่าย การทดลอง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาทฤษฎีเกี่ยวกับเทนเซอร์ความเค้นแบบเต็มรูปแบบ

ความเค้น Von Mises เป็นเกณฑ์สำหรับการให้ผลผลิต ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับโลหะและวัสดุเหนียวอื่น ๆ มันระบุว่า การยอมนั้นจะเกิดขึ้นในวัตถุถ้าส่วนประกอบของความเครียดที่กระทำต่อมันมีค่ามากกว่าเกณฑ์

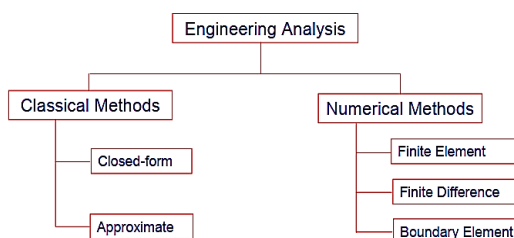
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Von Mises [7]

State of stress	Boundary conditions	von Mises equations
General	No restrictions	$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2] + 3(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)}$

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการหนึ่งในการนำมา

วิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรม ดังรูปที่ 1



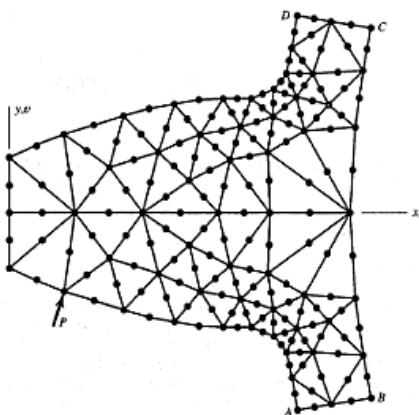
รูปที่ 1 การแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรม [8]

รูปแบบของปัญหาในเชิงวิศวกรรมคือ การหาฟังก์ชันการกระจายตัวของตัวแปรในระบบสามมิติ ซึ่งปัญหาแต่ละข้อจะสามารถอธิบายด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ สมการการอินทิกรัล[8]

Finite element คือองค์ประกอบย่อย ๆ ของโดเมนโครงสร้างสำหรับวิธีการของ FEM โดเมนของโครงสร้างถูกแบ่งย่อยเป็นองค์ประกอบย่อยที่มีรูปร่างอย่างง่ายขนาดเล็ก องค์ประกอบย่อยนี้จะถูกเรียกเป็น “element” โดเมนของโครงสร้าง: มีระดับความเสรีแบบอนันต์ (infinite number of DOF)

โดเมนของแบบจำลอง : มีระดับความเสรีจำกัด (finite number of DOF) โดเมนของโครงสร้าง: มีระดับความเสรีแบบอนันต์ (infinite number of DOF) โดเมนของแบบจำลอง : มีระดับความเสรีจำกัด (finite number of DOF) ดังนั้นเองนี้จึงเป็นที่มาของ “Finite element method” ในแต่ละ element การกระจายตัวของตัวแปรที่เราสนใจนั้นจะมีค่าต่างกันตามตำแหน่งใด ๆ ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างของรูปร่าง Mesh, Element และ Node

ตัวแปรที่เราสนใจคือ $u(x,y)$ (การขจัดตามแนวแกน x) และ $v(x,y)$ (การขจัดตามแนวแกน y) หลักการเบื้องต้นของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ ทำการแบ่งวัสดุที่ต้องการศึกษาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยที่กำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างเอลิเมนต์เช่นเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือรูปหลายเหลี่ยมและนำสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายปรากฏการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ต้องการศึกษา ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณขึ้นกับการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ในสมการเป็นสำคัญความสามารถในการพยากรณ์เหตุการณ์ของแบบจำลองสภาวะจริงเกี่ยวข้องกับความต้องการการกำหนดค่าตัวแปรที่เลือกใช้ในสมการการนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประยุกต์ใช้ในงานออกแบบแชสซีผู้ออกแบบควรมีองค์ความรู้พื้นฐานพฤติกรรมเชิงกล คุณสมบัติทางกายภาพ การจำลองสภาวะแวดล้อม ขั้นตอนการขึ้นรูปแบบจำลองความละเอียด รูปร่างวัสดุ การวิเคราะห์ที่มีความสำคัญทุกขั้นตอน ซึ่งส่งผลกระทบต่อข้อมูลที่ได้ นำไปเป็นแนวทางการทดลองในห้องปฏิบัติการจริง



รูปที่ 2 รูปร่าง Mesh, Element และ Node

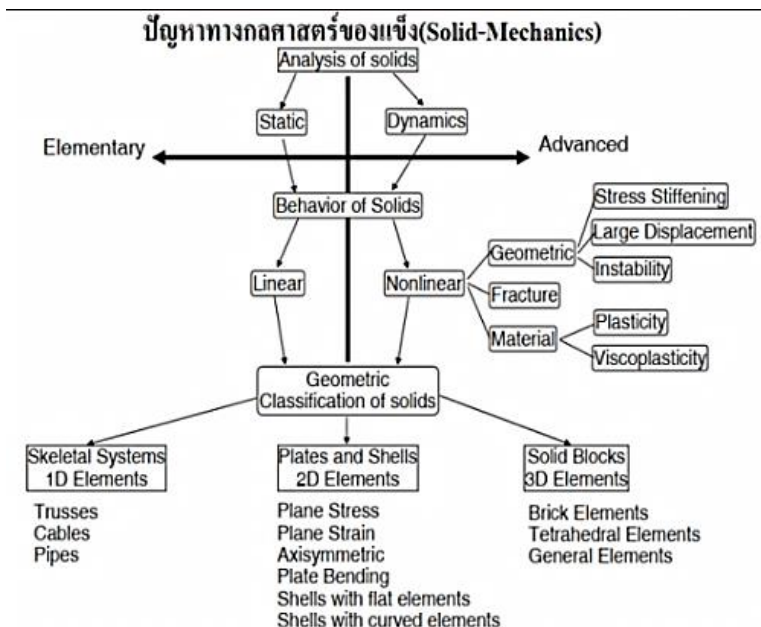
ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการสร้างแชสซีรถเนกประสงค์ใช้ในการเกษตร และทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงโดยระเบียบวิธี

ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) วิธีการศึกษาใช้อุปกรณ์และเครื่องมือประกอบด้วย

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ
- 2) โปรแกรม Solidworks



รูปที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนพื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การใช้วิธีวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จะช่วยให้มองเห็นภาพแรงที่กระทำในจุดต่าง ๆ ของแชสซี และสามารถเสริมความแข็งแรงในส่วนที่ขาดได้ง่ายยิ่งขึ้น

ขั้นตอนของการเตรียมแบบจำลอง (Preprocessing phase)

1. การสร้างรูปร่างของแบบจำลอง (Geometric construction) การแบ่งโดเมนของแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆต่อกัน โดยแต่ละเอลิเมนต์จะประกอบไปด้วยโนด (Discretization) การกำหนด shape function ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมทางกายภาพของเอลิเมนต์หรือผลเฉลยของเอลิเมนต์ (ค่าประมาณ) สร้างสมการสำหรับเอลิเมนต์ กำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้น สภาวะโหลดและสภาวะ

ขอบให้กับปัญหา กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ (Material properties)

2. ขั้นตอนการหาคำตอบ (Solution phase) การแก้หาคำตอบของสมการซึ่งอยู่ในรูปสมการเชิงเส้นหรือสมการไม่เชิงเส้น ซึ่งคำตอบคือค่าการกระจัดที่โนดต่าง ๆ หรือค่าอุณหภูมิที่โนดต่าง ๆ (ในกรณีเป็นปัญหาการถ่ายเทความร้อน)

3. การวิเคราะห์ผลลัพธ์ (Postprocessing phase) การวิเคราะห์หาผลลัพธ์ ที่เราสนใจเพิ่มเติมเช่นเราอาจอยากจะทำหาค่าความเค้นหลัก 3 มิติ (Von Mises Stress) พลังค์ความร้อน เป็นต้น

วิธีการทดสอบ

การทดสอบหาความแข็งแรง ระยะโก่ง ระยะยุบตัว และค่าความปลอดภัยของรถทดสอบ เริ่มจากการเตรียมแบบของแชสซีของยานพาหนะ

การเกษตร 1 ชิ้นงานที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นเอง โดยเขียนขึ้นรูปจากโปรแกรม Solidwork ver.2021 เป็นแชสซีรถที่ออกแบบเพื่อใช้งานในภาคเกษตรกรรม เช่น เป็นรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก และใช้ลากรถพ่วงขนาดเล็กโดยนำมาทดลองตามขั้นตอนดังนี้ แล้วบันทึกข้อมูลการทดลองไว้ในรูปแบบของรูปแสดงผลการทดลอง

การทดสอบหาความแข็งแรง ระยะโก่ง ระยะยุบตัว และค่าความปลอดภัยของรถทดสอบมีการดำเนินการทดสอบ ดังนี้

1. เตรียมแบบของแชสซีสำหรับรถอเนกประสงค์สำหรับ pre processing
2. ใช้ Solidwork simulation ในส่วนของ static analysis การคำนวณอยู่ภายใต้สภาวะสถิตย
3. เลือกวัสดุ กำหนดจุดจับยึด ใส่ขนาดของแรงกระทำ เลือกใช้วัสดุ AISI 1035 และ SUS 400

กำหนดขนาดของแรงกระทำบนแชสซี ได้แก่ น้ำหนักเครื่องยนต์ 22 kg ชุดเฟืองเกียร์ 14 kg ถังน้ำมันไฮดรอลิก 20 kg น้ำหนักคนขับ 70 kg น้ำหนักแบตเตอรี่ 12 kg กำหนดขนาดของแชสซีเป็น square tube ขนาด 50.8×50.8 mm มีความหนา 2 mm

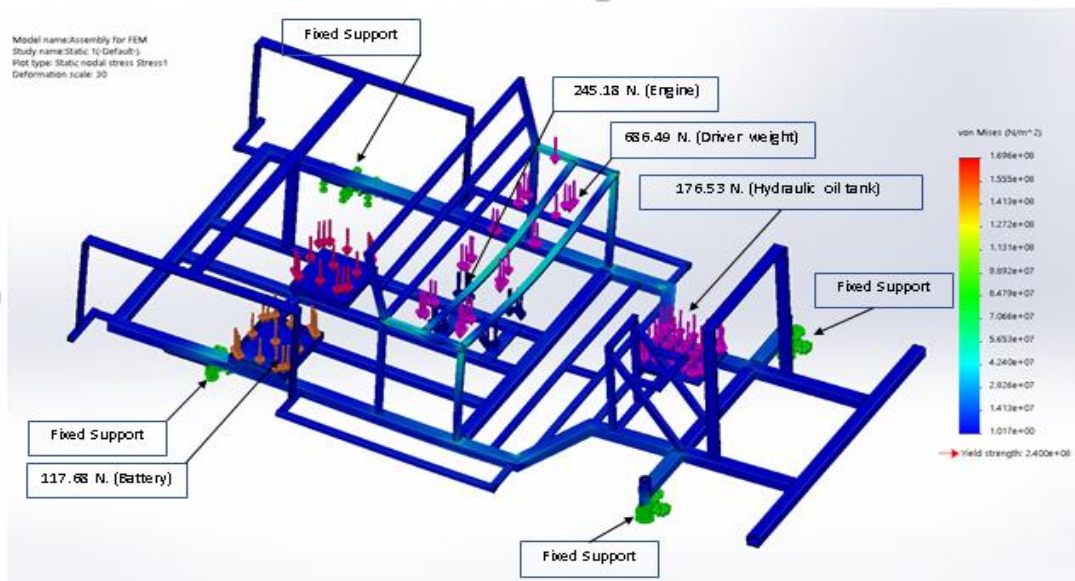
4. สั่งให้โปรแกรมประมวลผลการทดสอบ ได้แก่ หาความแข็งแรง ระยะโก่ง ระยะยุบตัว และค่าความปลอดภัยของรถทดสอบ

5. แสดงผลการวิเคราะห์ บันทึกผลการทดลอง และรูปของผลการทดลอง

6. วิเคราะห์ผลที่ได้

ข้อมูลสำหรับการทดสอบ

ขนาดและตำแหน่งของแรงกระทำบนแชสซีของยานพาหนะการเกษตร



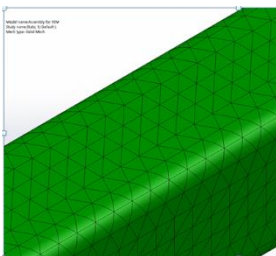
รูปที่ 4 ชิ้นงานทดสอบและแรงกระทำที่จุดต่าง ๆ
ที่มา : โปรแกรม Solidworks ver. (2021)

ใช้โปรแกรม Solidwork มาประมวลผลจากสมการรวมระบบของแต่ละเอลิเมนต์ที่เกิดขึ้นได้ค่าผลเฉลี่ยโดยประมาณ ความแม่นยำที่ได้จะแปรตามการกำหนดขนาด รูปร่าง และจำนวนของเอลิเมนต์

ที่แบ่งในงานวิจัยนี้มีการกำหนดเมชเป็น solid mesh มีจุดต่อจากโคเป็นจำนวน 4 จุดต่อ โดยแบ่งเอลิเมนต์เป็น 554,681 เอลิเมนต์ใช้เอลิเมนต์ชนิด tetrahedron

Mesh Details	
Study name	Static 4 (-Default)
Mesh type	Solid Mesh
Meshes Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 points
Element size	6 mm
Tolerance	0.3 mm
Mesh quality	High
Total nodes	1084014
Total elements	554681
Maximum Aspect Ratio	98.734
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	74.6
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0.0809
% of distorted elements (Jacobian)	0
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:02:03
Computer name	

รูปที่ 5 ตารางแสดงรายละเอียดของเมชและเอลิเมนต์
ที่มา : โปรแกรม Solidworks ver. (2021)



รูปที่ 6 เอลิเมนต์ชนิด tetrahedron
ที่มา : โปรแกรม Solidworks ver. (2021)

วัสดุชนิดที่ 1 ที่เลือกมาออกแบบแชสซีของรถอเนกประสงค์เพื่อการเกษตรได้ทำการเลือกเลือกใช้เหล็ก AISI 1035 ซึ่งมีค่าความเค้นคราก 28.26 MPa และความเค้นแรงดึงสูงสุด 585 MPa ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น 204,999.99 MPa คุณสมบัติของวัสดุแสดงดังรูปที่ 5

Material

The image shows the 'SOLIDWORKS Materials' tree. The 'Steel' folder is expanded, listing various materials. 'AISI 1035 Steel (SS)' is highlighted in blue. Other materials listed include AISI 1023 Carbon Steel Sheet (SS), AISI 201 Annealed Stainless Steel (SS), A286 Iron Base Superalloy, AISI 1010 Steel, hot rolled bar, AISI 1015 Steel, Cold Drawn (SS), AISI 1020, AISI 1020 Steel, Cold Rolled, AISI 1045 Steel, cold drawn, AISI 304, AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (S), AISI 316 Stainless Steel Sheet (SS), AISI 321 Annealed Stainless Steel (SS), AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS), AISI 4130 Steel, annealed at 805C, AISI 4130 Steel, normalized at 870C, AISI 4340 Steel, annealed, AISI 4340 Steel, normalized, AISI Type 316L stainless steel, AISI Type A2 Tool Steel, Alloy Steel, Alloy Steel (SS), ASTM A36 Steel, Cast Alloy Steel, and Cast Carbon Steel.

The image shows the 'Material Properties' dialog box for 'AISI 1035 Steel (SS)'. The 'Model type' is set to 'Linear Elastic Isotropic'. The 'Units' are set to 'SI - N/m² (Pa)'. The 'Category' is 'Steel'. The 'Name' is 'AISI 1035 Steel (SS)'. The 'Default failure criterion' is 'Max von Mises Stress'. The 'Source' is blank. The 'Sustainability' is 'Defined'. Below the dialog box is a table of material properties.

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2.049999984e+11	N/m ²
Poisson's Ratio	0.29	N/A
Shear Modulus	7.999999987e+10	N/m ²
Mass Density	7849.99987	kg/m ³
Tensile Strength	58500002.9	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	282685049	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.1e-05	/K
Thermal Conductivity	43	W/(m-K)

Click [here](#) to access more materials using the SOLIDWORKS Materials Web Portal.

Open...

Apply

Close

Save

Config...

Help

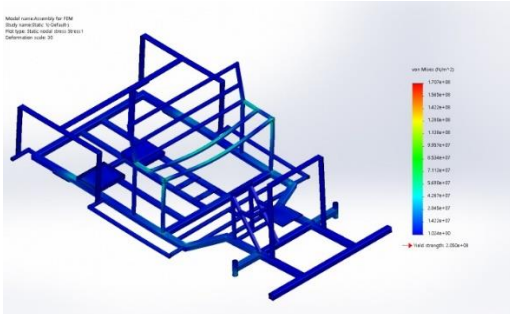
รูปที่ 7 ตารางแสดงรายละเอียดของวัสดุ AISI 1035
ที่เลือกใช้ในการออกแบบ
ที่มา : โปรแกรม Solidworks ver. (2021)

วัสดุชนิดที่ 2 ที่เลือกมาออกแบบแชสซีของรถอเนกประสงค์เพื่อการเกษตรได้ทำการเลือกเลือกใช้เหล็ก ไร้สนิม SUS 304 ซึ่งมีค่าความเค้นคราก 24.00 MPa และความเค้นแรงดึงสูงสุด 520 MPa ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น 200,000 MPa คุณสมบัติของวัสดุแสดงดังรูปที่ 6

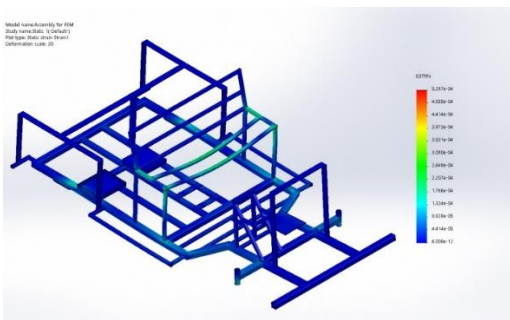
Property of SUS 304		
Property	Value	Units
Elastic Modulus	2.00E+11	N/m ²
Poisson's Ratio	0.3	N/A
Shear Modulus	7.70E+10	N/m ²
Mass Density	8000.000133	kg/m ³
Tensile Strength	520000000	N/m ²
Compressive Strength	-	N/m ²
Yield Strength	240000000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.70E-05	/K
Thermal Conductivity	16.3	W/(m-K)
Specific Heat	500	J/(kg-K)
Material Damping Ratio	-	N/A

รูปที่ 8 ตารางแสดงรายละเอียดของวัสดุ SUS 400
ที่เลือกใช้ในการออกแบบ
ที่มา : โปรแกรม Solidworks ver. (2021)

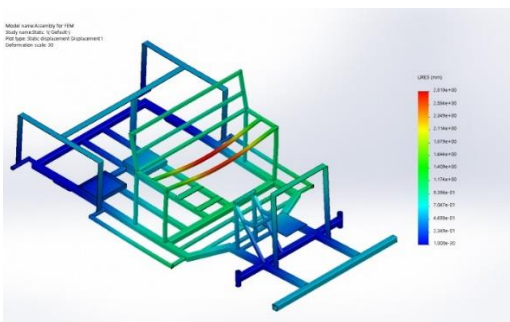
ผลการวิจัย



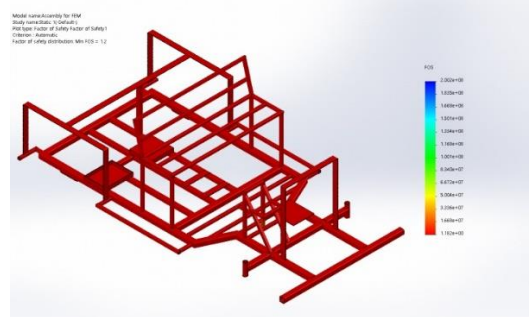
รูปที่ 9 ความเค้น Von Mises บนแชสซีของรถ
อเนกประสงค์เพื่อการเกษตร AISI 1035



รูปที่ 10 ความเครียดบนแชสซีของรถอเนกประสงค์
เพื่อการเกษตร AISI 1035



รูปที่ 11 ระยะขจัดบนแชสซีของรถอเนกประสงค์
เพื่อการเกษตร AISI 1035



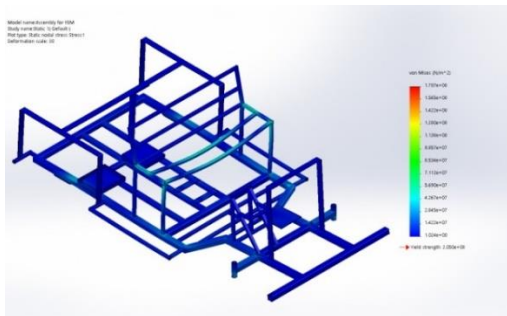
รูปที่ 12 ค่าความปลอดภัยของแชสซีของรถ
อเนกประสงค์เพื่อการเกษตร AISI 1035

การคำนวณค่าความปลอดภัยสำหรับวัสดุ AISI 1035

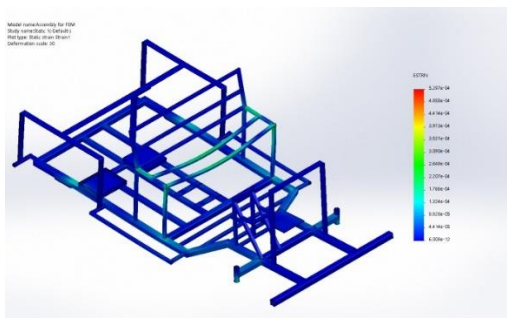
$$\begin{aligned} \text{Factor of Safety} &= \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Stress}} \\ \text{Max. Factor of Safety} &= \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Min. Stress}} \\ &= \frac{2.05 \times 10^8}{1.024} = 2 \times 10^8 \\ \text{Min. Factor of Safety} &= \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Max. Stress}} \\ &= \frac{2.05 \times 10^8}{1.707 \times 10^8} = 1.2 \end{aligned}$$

ผลการคำนวณข้อมูลเพื่อหาคำตอบจากวิธีไฟ
ในเอลิเมนต์ด้วยคอมพิวเตอร์แบบกราฟฟิก
(Graphical output) สำหรับวัสดุเหล็ก AISI 1035
แสดงผลเป็นแถบสี (Color-coded map) รูปแบบ
การกระจายความเค้น ความเครียดหรือการเคลื่อน
ขยับเมื่อมีแรงมากระทำ หรือการแสดงผลเชิงตัวเลข
(Numeric output) แสดงบริเวณที่วัสดุเกิดค่า
ความเค้นสูงสุด (Stress contour) แสดงดังรูปที่ 9
อธิบายแนวโน้มรูปแบบการกระจายความเค้นตาม
แถบสี โดยค่าความเค้นน้อยที่สุดดูจากแถบสี สีน้ำ
เงินเป็นค่าความเค้นวอนมิสต่ำสุดประมาณ
 1.024×10^{-6} เมกะปาสคาล ไ้ระดับสีไปจนถึงแถบสี
แดง เป็นค่าความเค้นวอนมิสสูงสุดประมาณ 170.7
เมกะปาสคาล รูปที่ 10 แสดงค่าความเครียดสูงสุด
บนแชสซี 5.30×10^{-4} รูปที่ 11 ระยะขจัดบนแชสซี

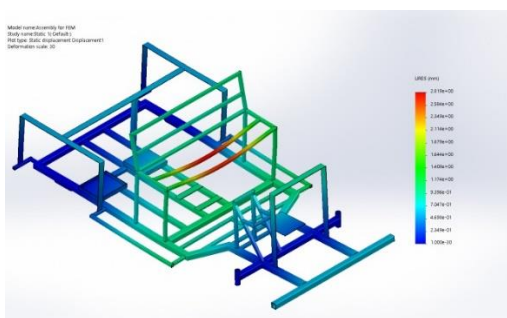
2.819 mm รูปที่ 12 แสดงค่าความปลอดภัยของ
แชสซีต่ำสุดมีค่า 1.2



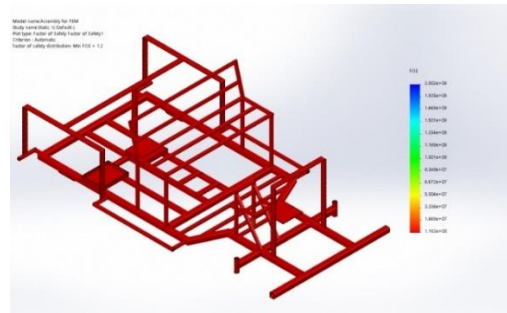
รูปที่ 13 ความเค้น Von Mises บนแชสซี
ของรถอเนกประสงค์เพื่อการเกษตร SUS 400



รูปที่ 14 ความเครียดบนแชสซีของรถอเนกประสงค์
เพื่อการเกษตร SUS 400



รูปที่ 15 ระยะขจัดบนแชสซีของรถอเนกประสงค์
เพื่อการเกษตร SUS 400



รูปที่ 16 ค่าความปลอดภัยของแชสซีของรถ
อเนกประสงค์เพื่อการเกษตร SUS 400

การคำนวณค่าความปลอดภัยสำหรับวัสดุ SUS304

$$\begin{aligned} \text{Factor of Safety} &= \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Stress}} \\ \text{Max. Factor of Safety} &= \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Min. Stress}} \\ &= \frac{2.4 \times 10^8}{9.873 \times 10^{-1}} \\ &= 2.431 \times 10^8 \\ \text{Min. Factor of Safety} &= \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Max. Stress}} \\ &= \frac{2.4 \times 10^8}{1.696 \times 10^8} \\ &= 1.42 \end{aligned}$$

ผลการคำนวณข้อมูลเพื่อหาคำตอบจากวิธีไฟ
ในเอลิเมนต์ด้วยคอมพิวเตอร์แบบกราฟฟิก
(Graphical output) สำหรับวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม
SUS 304 ผลการคำนวณข้อมูลเพื่อหาคำตอบจาก
วิธีไฟในเอลิเมนต์ด้วยคอมพิวเตอร์แบบกราฟฟิก
(Graphical output) แสดงดังรูปที่ 13 อธิบายแนวโน้ม
รูปแบบการกระจายความเค้นตามแถบสี โดยค่า
ความเค้นน้อยที่สุดดูจากแถบสี สีนํ้าเงินเป็นค่า
ความเค้นวอนมิสต่ำสุดประมาณ 0.987×10^{-6} เมกะ
ปาสคาล ไล่ระดับสีไปจนถึงแถบสีแดง เป็นค่า
ความเค้นวอนมิสสูงสุดประมาณ 169.6 เมกะ
ปาสคาล รูปที่ 14 แสดงค่าความเครียดสูงสุดบน
แชสซี 5.058×10^{-4} รูปที่ 15 ระยะขจัดบนแชสซี
2.681 mm รูปที่ 16 แสดงค่าความปลอดภัยของ
แชสซีต่ำสุดมีค่า 1.42

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยใช้วัสดุต่างกันคือ เหล็กกล้า AISI 1035 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 พบว่า เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 มีความแข็งแรงกว่าเหล็กกล้า AISI 1035 เล็กน้อยสังเกตจากค่าความเค้นคราก และค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด ในการพิจารณานำไปใช้งานจริงอาจพิจารณาถึงสภาวะการใช้งาน เช่น หากอยู่ใกล้ทะเลหรือสัมผัสกับน้ำทะเลควรเลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 จะทำให้มีความทนทาน อายุการใช้งานยาวนานกว่า แต่หากใช้งานในพื้นที่ชนบทอื่นๆ อาจเลือกใช้เหล็กกล้า AISI 1035 เนื่องจากมีราคาถูกกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ประมาณ 5 -10 เท่า ต้นทุนในการขึ้นรูปแชสซีในงานวิจัยนี้ประมาณ 10,000 บาท เมื่อใช้เหล็กกล้า AISI 1035

สรุปและอภิปรายผล

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีที่ใช้ตรวจสอบพฤติกรรมของวัสดุที่นิยมใช้ในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ทางวิศวกรรม โดยสามารถช่วยลดต้นทุนและเวลาเมื่อเทียบกับการสร้างชิ้นงานจริงขึ้นเพื่อนำไปทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้เกิดการพัฒนาวัสดุ และใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การสร้างแบบจำลองให้มีรูปร่าง ลักษณะ และคุณสมบัติที่เหมือนหรือใกล้เคียงกับสภาวะความเป็นจริงของวัสดุ โครงสร้างที่ต้องการศึกษา ทักษะความชำนาญของผู้สร้างแบบจำลอง ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีที่ผู้สร้างเลือกใช้ออกแบบและสร้างแบบจำลองย่อมส่งผลกระทบต่อการศึกษา ผู้วิจัยควรนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ไปตรวจสอบ (Validation) กับผลที่ได้จากการทดลองจริงทางห้องปฏิบัติการ เพื่อยืนยันผลอีกครั้งหนึ่ง

จากการตรวจสอบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการออกแบบแชสซีสำหรับยานพาหนะการเกษตร โดยเลือกใช้วัสดุเหล็กกล้า AISI 1035 มีความเค้นที่จุดคราก 205 MPa ความเค้นพอนมิสเชสที่จำลองมีค่า 170.7 MPa ซึ่งไม่เกินค่าความเค้นที่จุดคราก จึงใช้งานได้อย่างปลอดภัย มีค่าความปลอดภัยต่ำสุด

1.2 และสูงสุด 2×10^8 สำหรับวัสดุ SUS 304 มีความเค้นที่จุดคราก 240 MPa ความเค้นพอนมิสเชสที่จำลองมีค่า 169.6 MPa ซึ่งไม่เกินค่าความเค้นที่จุดคราก มีค่าความปลอดภัยต่ำสุด 1.42 และสูงสุด 2.431×10^8 จึงใช้งานได้อย่างปลอดภัยเช่นเดียวกัน

การคำนวณเชิงวิศวกรรมพิจารณาองค์ประกอบโครงสร้างวัสดุแบบสามมิติ แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นสามแนวแกน ได้แก่ แกน x แกน y และแกน z ผลลัพธ์แสดงในรูปความเค้นหลัก (Principle stress) ความเค้นที่เกิดจากแรงดึง (Tensile stress) แรงอัด (Compressive stress) หรือแรงเฉือน (Shear stress) การแสดงค่าความเค้นวอนมิสเชส (Von Mises stress) เป็นค่าความเค้นรวมของทั้งสามแนวแกน หากค่าวอนมิสเชสสูงกว่าความเค้นจุดคราก (Yield strength) ของวัสดุแสดงว่าปริมาณแรงที่มากกระทำเกินขีดจำกัดของความสามารถที่วัสดุจะต้านทานได้ หรือเกิดความเค้นสะสมในวัสดุเป็นสาเหตุให้วัสดุเกิดความล้า (Fatigue) นำไปสู่ความวิบัติในที่สุด อย่างไรก็ตามผลการวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับผลงานของ FM. D. Vijayakumar ที่ใช้โปรแกรม ANSYS วิเคราะห์ ตลอดจนโครงสร้างของแชสซีมีรูปแบบเป็นแบบบันไดคล้ายกัน

ข้อเสนอแนะ

อาจมีการพัฒนางานวิจัยต่อโดยการนำแบบที่เขียนขึ้นไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ขั้นสูงเช่น ANSYS ที่สามารถหาผลเฉลยได้ละเอียด แม่นยำยิ่งขึ้นต่อไป เนื่องจาก solidworks เป็นโปรแกรม CAD ทั่วไปที่มีความสามารถจำกัดในการวิเคราะห์ FEA และ CFD หรืออาจสร้างยานยนต์อเนกประสงค์ขึ้นจริงแล้วไปทดสอบในสภาวะการใช้งานจริงในสภาวะต่าง ๆ เช่น รับน้ำหนักบรรทุก หาเสถียรภาพของรถเพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยโปรแกรม

References

- [1] FM. D. Vijayakumar, C. Ramesh Kannan, S. Manivannan, J. Vairamuthu, Samuel Tilahun and P M Bupathi Ram., “*Finite Element Analysis of Automotive Truck Chassis*,” J. Materials Science and Engineering. IOP Conference Series 988(1) : 012114. 2020.
- [2] Chandra M. R., Sreenivasulu S., Hussain S. A., “Modeling and Structural Analysis of Heavy Vehicle Chassis Made of Polymeric Composite Material by Three Different Cross Sections,” *Int. J. of Modern Engineering. Research*, vol. 2, Issue.4, July-Aug. ISSN: 2249-6645. 2012.
- [3] Salvi Gauri Sanjay, Kulkarni Abhijeet, Gandhi Pratik Pradeep, Baskar P., “Finite Element Analysis of Fire Truck Chassis for Steel and Carbon Fiber Materials,” *J. of Engineering Research and Applications*, vol.4, Issue7 (Version 2), July 2014, pp.69-74, 2014.
- [4] Rohan Y Garud., Shahid C Tamboli., An and Pandey. “Structural Analysis of Automotive Chassis, Design Modification and Optimization,” *Int. J. of Applied Engineering Research*. ISSN 0973-4562 vol.13, Number 11 (2018) pp. 9887-9892, 2018.
- [5] Yuan Ren, Yongchang Yu, Binbin Zhao, Chuanhui Fan, He Li. “Finite Element Analysis and Optimal Design for the Frame of SX360 Dump Trucks,” *Procedia Engineering*, vol.174 pp.638 – 647, 2017.
- [6] Chatri Booncherdchum, “*Electric Vehicle Structural Analysis of Rajamangala University of Technology Phra Nakhon*,” M.Eng. Thesis (Industrial Management Engineering for Sustainability) Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 2017.
- [7] Sim Scale Documentation. “*What is von Mises Stress*,” [Online]. Available: <https://www.simscale.com/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-von-mises-stress/>. 2023.
- [8] Monsak Pimsarn. “*Finite Element Method*,” [Online]. Source : http://eng.sut.ac.th/me/box/2_54/435301/IntroductionFEM.pdf. 2017.