การศึกษาความแข็งแรงของฝาท่อระบายน้ำ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

THE STUDY OF THE MANHOLE COVER STRENGTH WITH FINITE ELEMENT METHOD

ภาสวุฒิ จิระวัชชะนานนท์[1] ภาณุพงษ์ นวลเป็นใย[1]
เจริญทรัพย์ โกศล[1]และ ชัยยศ คำรงกิจโกศล[2]
Passawut Chirawatchananon[1] Panupong Nuanpenyai[1] Charoensub Kosol[1]
and Chaiyot Damrongkijkosol[2]

บทความวิจัย

วันที่รับบทความ 13 มิถุนายน 2565 วันที่แก้ไขบทความ 17 มิถุนายน 2565 วันที่ตอบรับบทความ 30 มิถุนายน 2565

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแข็งแรงของฝาท่อระบายน้ำแบบตะแกรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยฝาท่อระบายน้ำแบบตะแกรงมีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 540 x 780 x 100 มิลลิเมตร ที่ใช้วัสดุเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ASTM A36 จำนวน 2 ชิ้นงานที่มีขนาดเหล็กขอบและเหล็กตะแกรงต่างกันได้แก่ ชิ้นงานที่ 1 ใช้เหล็กขอบขนาด 10 มิลลิเมตรพร้อมเหล็กตะแกรงขนาด 5 มิลลิเมตร และชิ้นงานที่ 2 ใช้เหล็กขอบขนาด 5 มิลลิเมตรพร้อมเหล็กตะแกรงขนาด 3 มิลลิเมตร ถูกนำมาศึกษาความแข็งแรงของโครงสร้างฝาท่อระบายน้ำในการรับภาระจากพิกัดบรรทุก 15,000 กิโลกรัมของรถบรรทุก 6 ล้อ เพลาเดี่ยวยางคู่ โดยกำหนดให้น้ำหนักบรรทุกลงที่เพลาหลังทั้งหมด

ผลการศึกษาพบว่าฝาท่อระบายน้ำแบบตะแกรงทั้งสองชิ้นงานสามารถรับแรงที่นำมาทดสอบได้ โดยชิ้นงานไม่เกิดความเสียหายและความเค้นที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างยังมีค่าอยู่ในช่วงสภาวะยืดหยุ่น อย่างไรก็ตามชิ้นงานที่ 1 มีความแข็งแรงมากกว่าชิ้นงานที่ 2 โดยมีค่าความปลอดภัยของชิ้นงานที่ 1 เท่ากับ 2.7 มากกว่าชิ้นงานที่ 2 ที่มีค่าความปลอดภัยเพียง 1.5

คำสำคัญ : การวิเคราะห์ความแข็งแรง วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ฝาท่อระบายน้ำ การวิเคราะห์โครงสร้าง

---

[1] นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลัง (เทคโนโลยียานยนต์) ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[1] Bachelor Student Major in Power Technology (Automotive Technology) Power Engineering Technology College Industrial Technology KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY NORTH BANGKOK

[2] Power Technology (Automotive Technology) Power Engineering Technology College Industrial Technology KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY NORTH BANGKOK

*Corresponding Author, E-mail: passawut.fluke@gmail.com

Abstract

This project had the objective to study the strength of the grate manhole cover with the Finite Element Method. The cover had the dimensions 540 x 780 x 100 mm using the low-carbon steel ASTM A36 as material. Two different structure designs of manhole cover were obtained using different thickness of the rim and grate of the structure. The manhole no.1 had the thickness of 10 mm for the rim and 5 mm for the grate while the manhole no.2 had the thickness of 5 mm for the rim and 3 mm for the grate. These two designs of manhole cover were used to study about the strength of the structure, by specifying the stimulated load rate 15,000 kg, of six-wheel truck with one shaft and double tires, and all the load rested on the rear shaft.

The results found that both manhole designs had enough strength to support the tested load without any damage and the stresses occurred on both structures were lower than the yield stress of material. However, the manhole no.1 had more strength than the manhole no.2. The safety factor of the manhole no.1 was 2.7 greater than that of the manhole no.2 which had safety factor around 1.5.

Keywords : The Strength Analysis, Finite Element Method, Manhole Cover, Structural Analysis

บทนำ

ฝาท่อระบายน้ำมีหลายชนิดและมีวัสดุรวมถึงขนาดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของการใช้งาน ประโยชน์พื้นฐานของฝาปิดท่อระบายน้ำคือ การป้องกันสิ่งไม่พึงประสงค์เข้าไปอุดตันในระบบระบายน้ำไม่ว่าจะเป็นเศษกิ่งไม้ ใบไม้ เศษวัสดุ ขยะ ฝุ่นและโคลนต่างๆ และยังป้องกันการเกิดอุบัติเหตุของผู้คนและยานพาหนะ ฝาท่อระบายน้ำก็มักจะมีโอกาสเจอกับแรงกดทับอยู่เสมอ เช่น แรงกดทับจากการวางสิ่งของจากการยืนหรือเดินของผู้คนและจากยานพาหนะที่สัญจรผ่านหรือจอดอยู่บนฝาท่อระบายน้ำ [1] การเลือกใช้ฝาท่อจึงต้องวัดและตรวจสอบขนาด ความหนา และการรับน้ำหนักของฝาท่อเพราะแต่ละบริเวณจะมีรถ

ชนิดต่างๆ ผ่านไปมาไม่เหมือนกัน การรับน้ำหนักของฝาท่อก็จะแตกต่างกันออกไป หากเป็นฝาท่อที่ใช้ตามถนนใหญ่ ถนนเส้นหลัก จะมีรถทุกชนิดผ่านสัญจรไปมาทำให้น้ำหนักของรถแต่ละคันที่เหยียบไปบนฝาท่อมีผลต่อการรับน้ำหนักของฝาท่อแตกต่างกัน การสัญจรไปมาถึงจะไม่ได้เหยียบเป็นเวลานาน แต่เมื่อเกิดแรงเหยียบขึ้นนานๆ หลายๆ ครั้ง การถ่ายเทน้ำหนักไปบนฝาท่อก็จะถูกแรงกดลงบนฝาท่อมากขึ้นจนทำให้ฝาท่อระบายน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เกิดการชำรุดแตกหักได้ [1]

ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้นผู้จัดทำวิจัยจึงมีความสนใจศึกษาและทดสอบความแข็งแรงของฝาท่อระบายน้ำแบบตะแกรงเหล็กเพื่อแก้ปัญหาอุทกภัย โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของฝาท่อระบายน้ำแบบตะแกรงเหล็ก

ขอบเขตในการวิจัย

ทำการศึกษาฝาท่อระบายน้ำแบบตะแกรงเหล็ก โดยฝาท่อระบายน้ำแบบตะแกรงมีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 540 x 780 x 100 มิลลิเมตร ที่ใช้วัสดุเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ASTM A36 จำนวน 2 ชิ้นงานที่มีขนาดเหล็กขอบและเหล็กตะแกรงต่างกัน ได้แก่ ชิ้นงานที่ 1 ใช้เหล็กขอบขนาด 10 มิลลิเมตรพร้อมเหล็กตะแกรงขนาด 5 มิลลิเมตร โดยมีขนาดช่องตะแกรงเท่ากับ 56.25 x 40 มิลลิเมตรและ ชิ้นงานที่ 2 ใช้เหล็กขอบขนาด 5 มิลลิเมตร พร้อมเหล็กตะแกรงขนาด 3 มิลลิเมตร โดยมีขนาดช่องตะแกรงเท่ากับ 61.88 x 42.47 มิลลิเมตร ถูกนำมาศึกษาความแข็งแรงของโครงสร้างฝาท่อระบายน้ำในการรับภาระจากพิกัดบรรทุก 15,000 กิโลกรัมของรถบรรทุก 6 ล้อ เพลาเดี่ยวยางคู่ โดยกำหนดให้น้ำหนักบรรทุกลงที่เพลาหลังทั้งหมด

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ

ในการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างหรือเครื่องจักรกล โดยมีข้อพิจารณาอยู่ 2 ข้อคือ

- ภายในโครงสร้างแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักได้
- ภายในโครงสร้างแข็งแรงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างมากเกินไปในวิชากลศาสตร์จะพิจารณาแรงในวัตถุโดยไม่คำนึงถึงขนาดที่เปลี่ยนแปลงแต่ในวิชากลศาสตร์ของแข็ง จะต้องพิจารณาทั้งสองอย่างนี้พร้อมกันคือ ความสัมพันธ์ของความเครียดและเค้นของโลหะ

1.1 ความเค้น (Stress) คือ แรงภายนอกที่มากระทำผ่านจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่หน้าตัดของวัสดุนั้น คือแรงภายนอกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใช้สัญลักษณ์ว่า **σ** (ซิกม่า) โดยวิธีจำกัดขอบเขตเมื่อวัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลแรงภายนอกที่มากระทำบนวัตถุจะต้องมีแรงภายในต้านขนาดรวมแล้วเท่ากับ แรงภายนอกของวัตถุที่ถูกกระทำ เนื่องจากต้องใช้หน่วยระบบเอสไอ (SI Metric Units) ดังนั้นแรงจึงมีหน่วยเป็นนิวตัน พื้นที่มีหน่วยเป็นตารางเมตร และความเค้นมีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตรหรือเรียกว่า ปาสคาล

1.2 ความเครียด (Strain) ความเครียดใช้สัญลักษณ์ **ε** อักษรกรีกเรียกว่า epsilon เป็นการเปลี่ยนแปลงของวัตถุเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำกับวัตถุการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงต่อขนาดเดิมซึ่งหมายถึงความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม

1.3 ทฤษฎีค่าความปลอดภัย ในการผลิตการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรหรือการขนถ่ายวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ภายในโรงงานหรือหน้างานก่อสร้างเมื่อจะดำเนินงานต้องมีค่าเผื่อไว้สำหรับการออกแบบเพื่อที่จะไม่ให้แรงหรือกำลังต่างๆ ที่มากระทำต่อเครื่องจักรเครื่องมือนั้นๆ จะได้รับค่าเผื่อดังกล่าวเรียกว่า ค่าความปลอดภัย

1.4 การค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ในการออกแบบโครงสร้างหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกลสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือ ต้องออกแบบให้โครงสร้างหรือชิ้นส่วนนั้นๆ ให้รับความเค้นสูงสุดขณะทำงานต้องน้อยกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุที่รับได้เสมอ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันความจำเป็นในการออกแบบวัสดุจะเน้นที่ด้านเศรษฐศาสตร์หรือด้านศิลปะแต่สิ่งที่ต้องคำนึงควบคู่เสมอคือ ด้านความปลอดภัยดังนั้นค่าความปลอดภัยจึงถูกกำหนดมาเพื่อใช้หารค่าความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุ เหตุผลที่ต้องใช้ค่าความปลอดภัยเข้ามาในการคำนวณออกแบบเสมอเพราะมีเหตุผลต่างๆ ดังนี้ ความไม่สม่ำเสมอของเนื้อวัสดุ แรงกระทำกับวัสดุในความเป็นจริงแล้วส่วนใหญ่ไม่คงที่ ความผิดพลาดจากการคิดคำนวณ ลักษณะการพังเสียหายของวัสดุแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน อายุของวัสดุ เป็นต้น [2]

2. ทฤษฎีการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คือ ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ในนามของเทคนิคการคำนวณเชิงตัวเลข (numerical technique) การแก้สมการจะใช้สมการเชิงอนุพันธ์(partial differential technique) ที่เขียนจากสมการในสาขาต่างๆ ได้แก่ การออกแบบเครื่องจักร วิศวกรรมระบบเสียง สนามแม่เหล็กไฟฟ้า กลศาสตร์ของแข็ง กลศาสตร์ของไหล เป็นต้น วิศวกรออกแบบจะใช้ FEM ในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้แก่ งานโครงสร้าง (structural) งานวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (vibration) และงานวิเคราะห์ความร้อน (thermal) เป็นต้น [3]

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นวิธีการเชิงตัวเลขเพื่อหาค่าผลโดยประมาณของตัวแปรที่ไม่รู้ค่า โดยการแบ่งลักษณะรูปร่างของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อยที่เรียกว่า เอลิเมนต์ และในแต่ละชิ้นส่วนย่อยจะเชื่อมกันที่จุดต่อเรียกว่า Nodes ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ต้องการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิถีเชิงตัวเลขที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาเชิง

อนุพันธ์ ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง และโครงสร้างที่ซับซ้อน ประกอบด้วยส่วนเว้า ส่วนโค้งต่างๆ ทำให้พื้นที่หน้าตัดไม่สม่ำเสมอ จึงมีผลทำให้ไม่สามารถหาผลที่แม่นตรงจากสมการอนุพันธ์ได้ ดังนั้นจึงได้ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่สามารถประมาณค่าผลเฉลยโดยการแก้สมการเชิงพิชคณิต แทนการแก้สมการอนุพันธ์ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง เนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดสอบและให้คำตอบที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานในการวิเคราะห์ปัญหาทางสถิตศาสตร์

ขั้นตอนของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน เริ่มต้นจากขั้นตอนของกระบวนการขั้นต้น (Pre-processor) คือการแบ่งรูปทรงหรือ โครงสร้างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ จะต้องคำนึงถึงโครงสร้างเดิมให้มากที่สุดแล้วจึงกำหนดคุณสมบัติวัสดุให้กับเอลิเมนต์ โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการกระจัด และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด จากนั้นขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis) จะใช้ฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ ให้สอดคล้องกับจำนวนจุดต่อของเอลิเมนต์ หรือสอดคล้องกับระดับความอิสระของเอลิเมนต์ และสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับแต่ละเอลิเมนต์จากระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่สอดคล้องกับปัญหานั้น แล้วจึงรวมสมการจากแต่ละเอลิเมนต์นี้เข้าด้วยกันก่อให้เกิดระบบสมการรวมขนาดใหญ่ของระบบ ซึ่งอธิบายสถานะโดยรวมของปัญหานั้น จากนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตของปัญหาที่กำหนดให้ก่อนแก้ระบบสมการขนาดใหญ่นี้ เพื่อหาผลเฉลยโดยประมาณตามจุดต่อต่างๆ ทั่วทั้งโดเมนของปัญหาต่อไป ขั้นตอนสุดท้ายคือ ขั้นตอนกระบวนการขั้นท้าย (Post-processor) ผลเฉลยโดยประมาณม้วนอยู่ในรูปแบบของตัวเลข ในแต่ละจุดต่อ เพื่อให้เกิดความเข้าใจได้ง่าย ซึ่งสามารถแสดงได้ในหลายรูปแบบ เช่น การแสดงด้วยชั้นสีต่างๆ ผลคำตอบที่ได้สามารถอธิบายถึงปัญหาที่มีรูปร่างที่ซับซ้อนและยากต่อการทดลอง [4]

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ศุภัชฎา และคณะ [5] ได้ศึกษาการออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงชุดโครงสร้างกระบะของเครื่องมือเคลื่อนย้ายไม้ท่อน ซึ่งการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการออกแบบเครื่องมือเคลื่อนย้ายไม้ท่อนรูปแบบใหม่นั้นมาจากแนวคิดที่จะทำการรวมหลักการทำงานของรถแทรกเตอร์การเกษตร และรถคีบไม้ ให้สามารถทำงานอย่างต่อเนื่องในเครื่องเดียวกัน ซึ่งการเคลื่อนย้ายไม้ท่อนในแต่ละครั้งนั้นเป็นงานที่มีน้ำหนักไม้เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบขนาดของโครงสร้างชุดกระบะมีความยาวเท่ากับ 6.10 เมตร ความกว้างเท่ากับ 2.00 เมตร และทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวโครงสร้างชุดกระบะเครื่องมือเคลื่อนย้ายไม้ท่อนต้นแบบจำลองนี้ประกอบด้วยชิ้นงาน 2 ชิ้น คือ โครงสร้างฐานหลัก และชุดกระบะรองรับไม้ท่อน โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) โดยกำหนดโหลดที่กระทำ

ต่อโครงสร้างฐานหลัก ที่น้ำหนักของไม้ท่อนประมาณ 4,500 กิโลกรัม (รวมน้ำหนักกระบะรองรับ) พบว่า ค่าความปลอดภัยของโครงสร้างฐานหลัก มีค่าเท่ากับ 3.14 แสดงว่าเครื่องมือนี้สามารถรองรับน้ำหนักไม้ท่อนได้อย่างปลอดภัย

3.2 เดชา และคณะ [6] ได้ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องทดสอบแรงดึงโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยทำการออกแบบเครื่องทดสอบแรงดึงสำหรับใช้งานในห้องปฏิบัติการ เพื่อการศึกษาคุณสมบัติการต้านทานแรงดึงของวัสดุจำพวกพลาสติก โดยอาศัยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design : CAD) โครงสร้างชิ้นส่วนต่างๆ เช่น ชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก คานบน และชุดจับยึดชิ้นงาน (Gripper) ชิ้นส่วนต่างๆที่ผ่านการ ออกแบบจะทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) หากชิ้นส่วนดังกล่าวมีค่าความปลอดภัย (Factor of Safety: FOS) ต่ำหรือมีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ จะต้องนำกลับไปออกแบบใหม่ (Redesign) เพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการรับแรงดึงขนาด 50,000 นิวตัน และชิ้นส่วนบริเวณที่มีค่า FOS มากกว่า 3 จะถูกตัดออกเพื่อลดขนาดและน้ำหนักของโครงสร้างให้น้อยลง

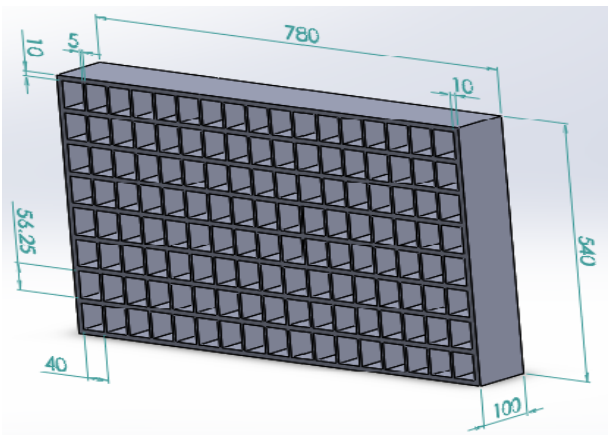
3.3 ณัฐชยา [7] ได้ศึกษาการออกแบบความแข็งแรงของจุดยึดที่นั่งสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยนำการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดที่นั่งเพื่อลดเวลาในการทดสอบจริง อีกทั้งยังประหยัดและง่ายต่อการปรับปรุงจุดยึดที่นั่งให้มีความแข็งแรงตามมาตรฐานก่อนนำไปทดสอบจริง ซึ่งจากการศึกษาวิจัยพบว่าจุดยึดที่นั่งของรถโดยสารยังมีความแข็งแรง ไม่เพียงพอต่อมาตรฐานการทดสอบจุดยึดที่นั่งสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ซึ่งจุดยึดที่นั่งเข้ากับพื้นมีค่าความเค้นวอนมิสเซสมากกว่าค่าความเค้นคราก จึงได้ปรับปรุงจุดยึดที่นั่งรถโดยสารด้วยวิธีออกแบบการทดลอง ทำให้ได้ปัจจัยในการปรับปรุงจุดยึดที่นั่งที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเค้นวอนมิสเซสของจุดยึดที่นั่ง การปรับปรุงโดยใช้ปัจจัยเหล่านั้นทำให้จุดยึดที่นั่งมีความแข็งแรงผ่านตามมาตรฐานการทดสอบจุดยึดที่นั่งของรถโดยสารขนาดใหญ่

วิธีดำเนินการวิจัย

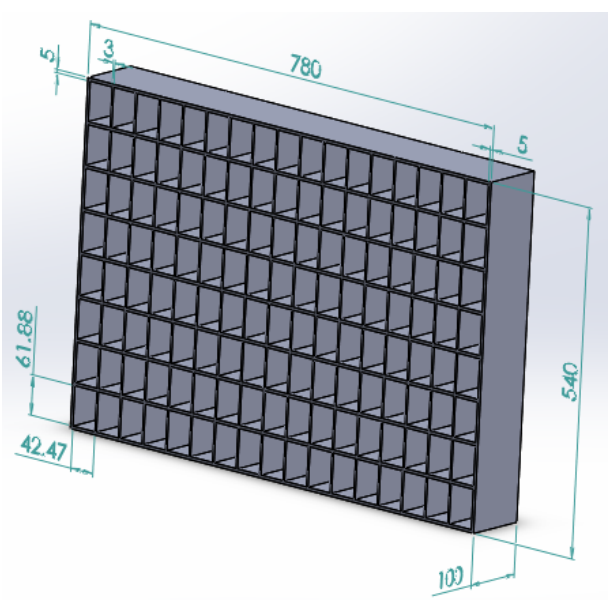
ในการออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของฝาท่อระบายน้ำแบบตะแกรงเหล็ก ทำการออกแบบและวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของฝาท่อ โดยการรับภาระจากพิกัดบรรทุก 15,000 กิโลกรัมของรถบรรทุก 6 ล้อเพลาเดี่ยวยางคู่ โดยกำหนดให้น้ำหนักบรรทุกลงที่เพลาหลังทั้งหมด

1. การออกแบบฝาท่อเริ่มต้นจากการวัดขนาดฝาท่อเดิมซึ่งมีขนาด 540 x 780 x 100 มิลลิเมตร และมาทำการออกแบบฝาท่อระบายน้ำแบบตะแกรงมีขนาดช่อง 56.25 x 40 มิลลิเมตร โดยใช้วัสดุเป็นเหล็ก ASTM A36 ความหนา 10 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร

ดังภาพที่ 1 โดยชนิดวัสดุ และความหนาของวัสดุที่นำมาออกแบบเป็นไปตามมาตรฐานของกรมการขนส่งทางหลวงชนบท เปรียบเทียบกับฝาท่อระบายน้ำชิ้นงานที่สองที่มีความหนาของเหล็กขอบขนาดลดลงจาก 10 มิลลิเมตร เป็น 5 มิลลิเมตร และเหล็กตะแกรงจาก 5 มิลลิเมตร เป็น 3 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 2

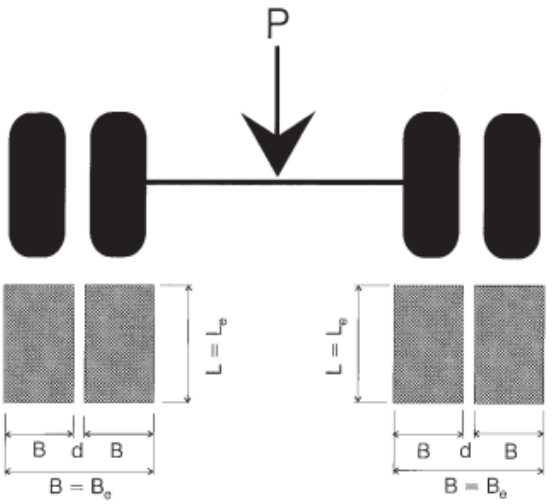


ภาพที่ 1 การออกแบบฝาท่อระบายน้ำความหนา 10 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2 การออกแบบฝาท่อระบายน้ำความหนา 5 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร

2. การคำนวณพื้นที่รับแรงของฝาท่อระบายน้ำคำนวณได้จากการรับภาระจากพิกัดบรรทุก 15,000 กิโลกรัมของรถบรรทุก 6 ล้อ เพลาเดี่ยวยางคู่ โดยกำหนดให้น้ำหนักบรรทุกลงที่เพลาหลังทั้งหมด และกำหนดให้แรงดันลมยาง (P_t) เท่ากับ 827,370.8 N/m^2 แสดงไว้ในภาพที่ 3 โดยกำหนดให้



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์ยางคู่เพลาเดี่ยว [8]

การคำนวณพื้นที่รับแรงเพื่อนำไปใช้ในการจำลองหน้าสัมผัสยางยางคู่บนเพลาเดี่ยว ใช้สมการดังนี้ [8]

$$A_c = \frac{P}{4Pt} \qquad (2\text{-}1)$$

พื้นที่รับแรงสามารถประมาณด้วยพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส สามารถกำหนดโดยใช้สมการที่ (2-2) และสมการที่ (2-3)

$$L = 0.8712 \left(\frac{Ac}{0.5227}\right)^{1/2}. \qquad (2\text{-}2)$$

$$B = 0.6\ L \qquad (2\text{-}3)$$

พื้นที่รับแรงของยางรถถูกแทนที่ด้วยพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดเท่ากับ 0.102 ตารางเมตร ดังสมการที่ (2-4) และสมการที่ (2-5)

$$B_e = (2B+d) \qquad (2\text{-}4)$$

และ $$L_e = L \qquad (2\text{-}5)$$

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณพื้นที่หน้ายางที่มากระทำกับชิ้นงาน

ตัวแปร	ค่าที่ได้จากการคำนวณ
Ac	0.102 m^2
d	110 mm.
B	0.1293 m.
Le	0.2155 m.

Be	0.4741 m.
P	107,910 N

โดยตัวแปรทั้งหมดมีดังนี้

Ac คือ พื้นที่หน้าสัมผัสยาง

d คือ ช่องว่างระหว่างยาง

B คือ ความกว้างของหน้ายาง

L คือ ความยาวของยาง

Le คือ ความยาวของยาง

Be คือ ความกว้างรวมของยาง

P คือ แรงที่มากระทำต่อเพลา

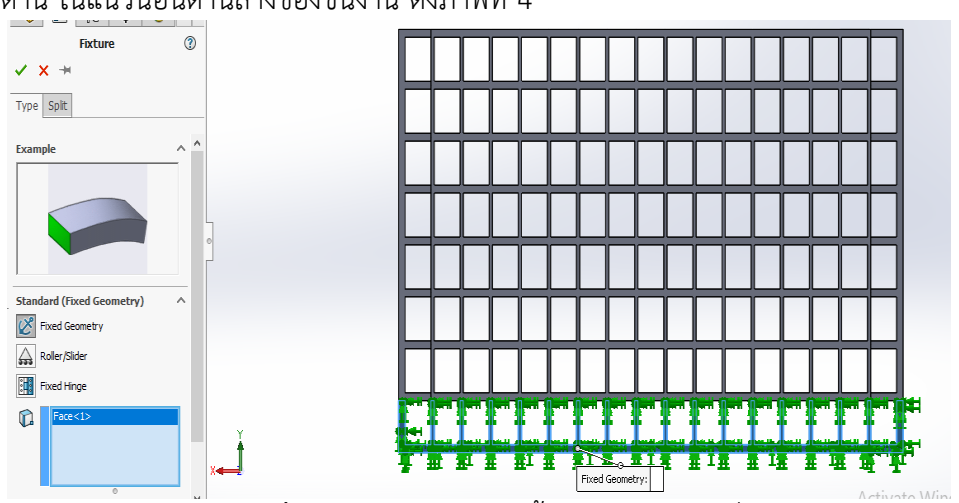
P_t คือ แรงดันลมยาง

3. การวิเคราะห์ความแข็งแรงของฝาท่อระบายน้ำโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การเริ่มต้นการวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ หลังจากทำออกแบบฝาท่อระบายน้ำ และทำการตั้งค่าชนิดของวัสดุ (Apply Material) เพื่อกำหนดวัสดุของชิ้นงาน ซึ่งวัสดุที่เลือกเป็น ASTM A36 มีรายละเอียดดำเนินการดังนี้

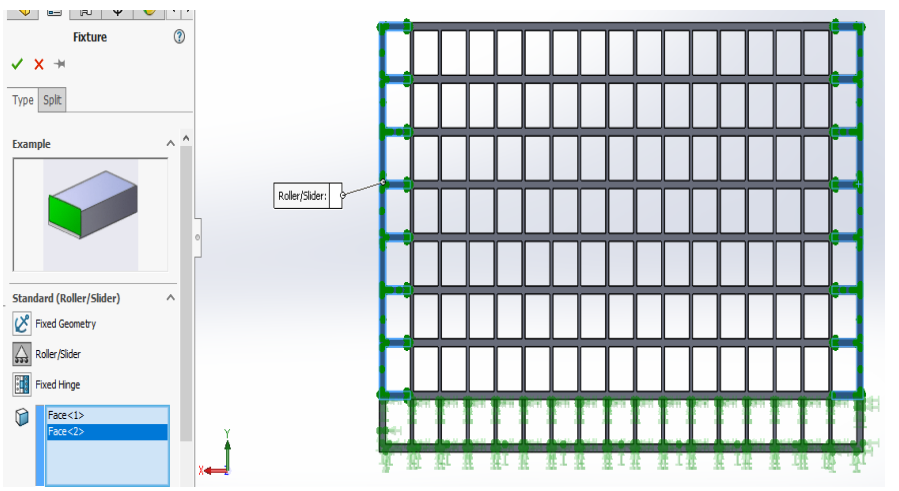
3.1 การกำหนดจุดยึดชิ้นงานในการทำการยึดชิ้นงานเพียง 3 ด้านเท่านั้น เนื่องจากการยึดชิ้นงานที่ทำการออกแบบเป็นฝาท่อระบายน้ำแบบครึ่งเดียวจากขนาดทั้งหมดของฝาท่อระบายน้ำในสถานที่จริง สามารถกำหนดจุดยึดได้ดังนี้

3.1.1 กำหนดจุดยึดชิ้นงานแบบอยู่กับที่ (Fixed Geometry) ในการเลือกจุดยึดของชิ้นงานเพื่อต้องการให้ชิ้นส่วนนั้นยึดอยู่กับที่ ทำการยึดแบบอยู่กับที่เป็นอันดับแรก 1 ด้าน ในแนวนอนด้านล่างของชิ้นงาน ดังภาพที่ 4



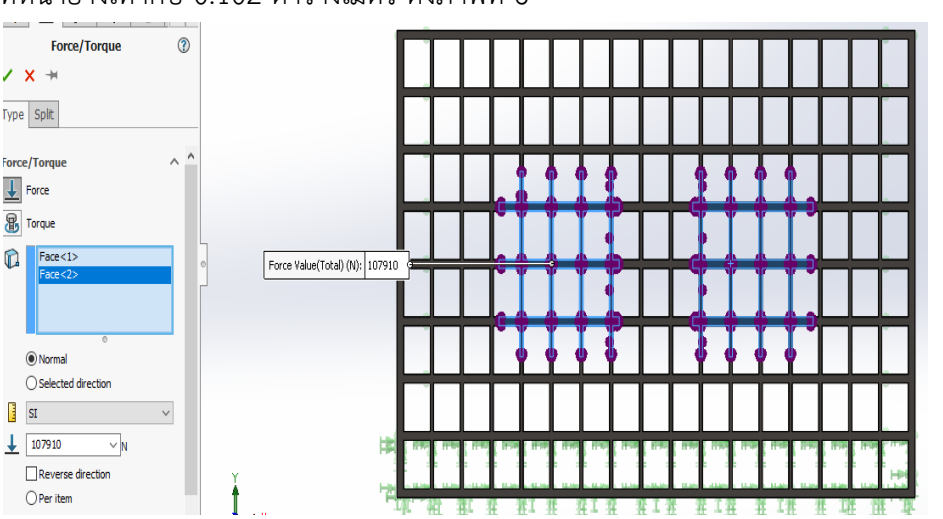
ภาพที่ 4 การกำหนดจุดยึดชิ้นงานแบบอยู่กับที่

3.2 กำหนดจุดยึดชิ้นงานแบบไม่อยู่กับที่ (Roller/Slider) ในการทำการเลือกจุดยึดของชิ้นงาน เพื่อต้องการยึดชิ้นงานแต่ชิ้นงานนั้นสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ เนื่องจากชิ้นงานนั้นจะไม่ตกลงด้านล่างเพราะมีจุดยึดไว้ แต่เมื่อมีแรงมากระทำกับชิ้นงานจะทำให้ชิ้นงานสามารถเคลื่อนที่ได้เล็กน้อยทั้ง 2 ด้าน ทั้งด้านซ้าย และด้านขวาของชิ้นงาน ดังนั้นจึงทำให้มีจุดยึดครบทั้ง 3 ด้าน ตามที่กำหนด เนื่องจากพื้นที่ในการยึดชิ้นงานในสถานที่จริงมีเพียงแค่ 3 ด้าน ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การกำหนดจุดยึดชิ้นงานแบบเคลื่อนที่ได้

3.3 ทำการกำหนดแรงที่มากระทำให้กับชิ้นงาน (Force) โดยทำการใส่แรงที่มากระทำให้กับชิ้นงานเท่ากับ 107,910 นิวตัน และเลือกพื้นที่การใส่แรงตามการคำนวณหาพื้นที่หน้ายางเท่ากับ 0.102 ตารางเมตร ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การเลือกพื้นที่และการกำหนดการใส่แรง

4. การทดสอบผลกระทบของ Mesh เป็นการศึกษาผลกระทบต่อการจำลอง และการวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นงานที่มาจากการกำหนด mesh ของโปรแกรมจำลอง โดยทำการจำลองชิ้นงานโดยใช้ค่า mesh ตั้งแต่ 1 ถึง 6 ซึ่งจะทำให้ค่า Element size along the edge มีค่าที่แตกต่างกันจำนวน 6 ค่าได้แก่ 5 4 3.5 3 2.5 และ 2 ในการทดสอบผลกระทบของ mesh จะทำการทดสอบกับชิ้นงานทั้งสองชิ้นงาน เพื่อหาค่าการกระจัดตัวสูงสุดของชิ้นงาน (Displacement) ค่าความเค้นสูงสุดของชิ้นงาน (Max. von Mises stress) และค่าความปลอดภัยของชิ้นงาน (Safety Factor) โดยผลการทดสอบดังกล่าวแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ค่าการกระจัดสูงสุด และค่าความเค้นสูงสุด จากการใช้ mesh ที่แตกต่างกัน

Study	Element size along the edge [mm]		Max. resultant Displacement [mm]		Max. von Mises stress [MPa]	
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2
Mesh 1	5	5	0.1489	0.2925	91.103	146.522
Mesh 2	4	4	0.1486	0.2929	87.9	165.092
Mesh 3	3.5	3.5	0.1487	0.2923	84.821	149.998
Mesh 4	3	3	0.1487	0.2926	93.773	162.339
Mesh 5	2.5	2.5	0.1488	0.2929	91.975	164.032
Mesh 6	2	2	0.1487	0.2935	96.086	155.156

ตารางที่ 3 ค่าความปลอดภัยของชิ้นงาน (Safety Factor) จากการใช้ mesh ที่แตกต่างกัน

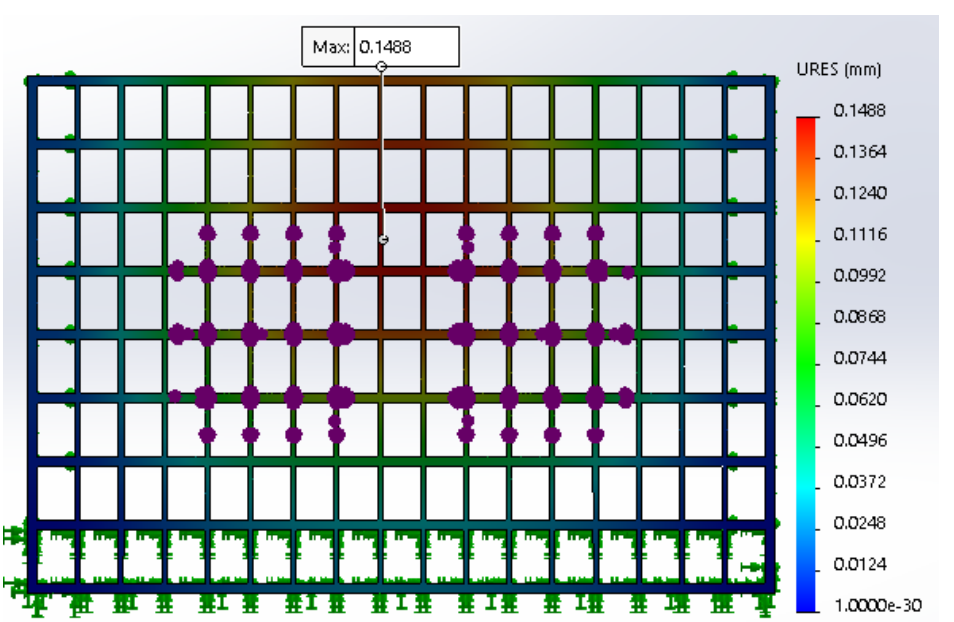
Study	Safety of Factor Distribution	
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2
Mesh 1	2.7	1.7
Mesh 2	2.8	1.5
Mesh 3	2.9	1.7
Mesh 4	2.7	1.5
Mesh 5	2.7	1.5
Mesh 6	2.6	1.6

จากตารางที่ 2 และตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบ mesh โดยใช้ค่า mesh ที่แตกต่างกันจำนวน 6 ค่า จากผลการทดสอบพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า mesh มีผลต่อผลการจำลองโดยทำให้ค่าการกระจัดตัวสูงสุดของชิ้นงาน (Displacement) ค่าความเค้นสูงสุดของชิ้นงาน (Max. von Mises stress) และค่าความปลอดภัยของชิ้นงาน (Safety Factor) เปลี่ยนแปลงไป โดยผู้วิจัยเลือกค่า mesh ที่ mesh เท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร เนื่องจากจากค่าที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย คือชิ้นงานที่ 1 ความหนาเหล็กขอบ 10 มิลลิเมตร ความหนาเหล็กตะแกรง 5 มิลลิเมตร เปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ 2 ความหนาเหล็กขอบ 5 มิลลิเมตร ความหนาเหล็กตะแกรง 3 มิลลิเมตร

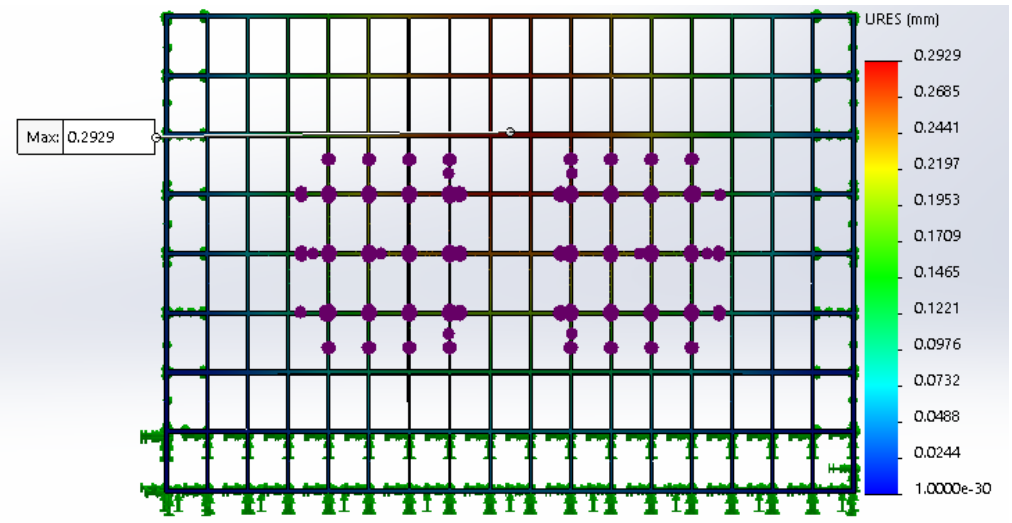
ผลการวิจัย

ผลการออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของฝาท่อระบายน้ำแบบตะแกรงเหล็กที่รับภาระจากน้ำหนักบรรทุกของรถยนต์ 6 ล้อ เพลาเดี่ยวยางคู่ ที่พิกัดบรรทุก 15,000 กิโลกรัมจากการจำลองชิ้นงานทั้งสองชิ้นงานโดยใช้ค่า mesh เท่ากับ 5 ได้ผลการจำลองดังนี้

1. ผลการจำลองค่าการกระจัดสูงสุดของชิ้นงานฝาท่อระบายน้ำ



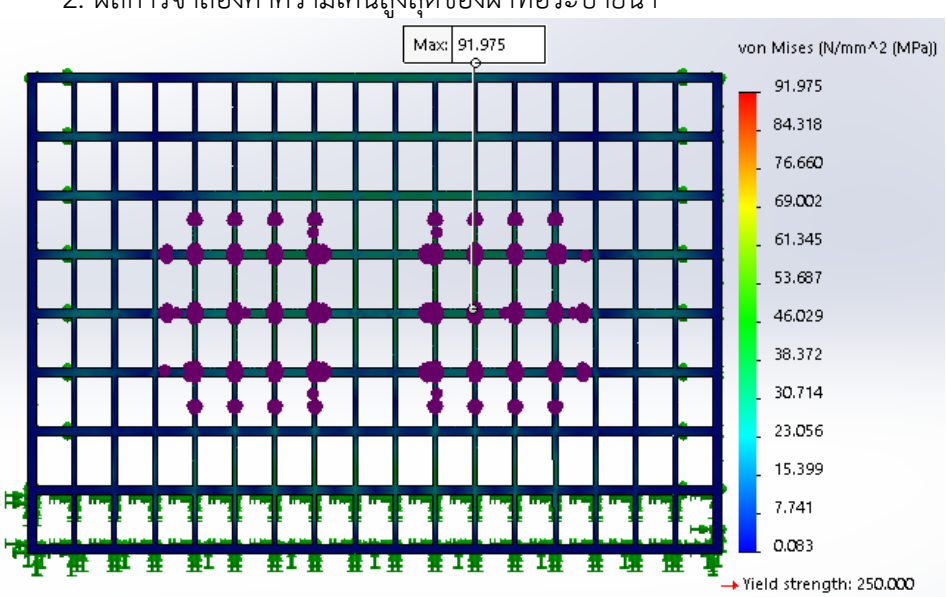
ภาพที่ 7 ผลการจำลองค่าการกระจัดสูงสุดของชิ้นงานสูงสุดของชิ้นงานที่ 1



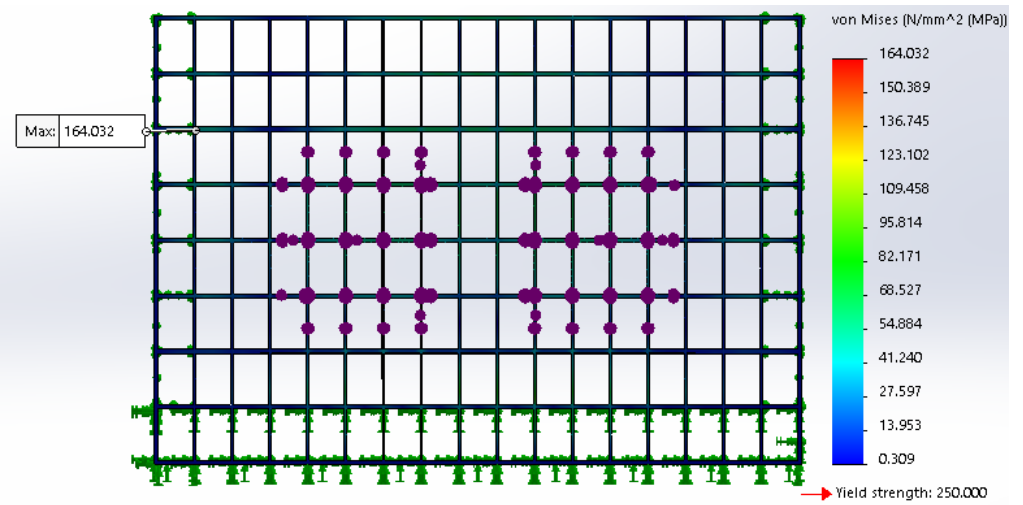
ภาพที่ 8 ผลการจำลองค่าการกระจัดสูงสุดของชิ้นงานสูงสุดของชิ้นงานที่ 2

จากภาพที่ 7 และภาพที่ 8 แสดงผลการจำลองค่าการกระจัดสูงสุดของชิ้นงาน ฝาท่อระบายน้ำพบว่าในรูปแถบชั้นสีของชิ้นงานที่ 1 แสดงค่าการกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณกลางชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 0.1488 มิลลิเมตร และชิ้นงานที่ 2 ค่าการกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณกลางชิ้นงาน มีค่าเท่ากับ 0.2929 มิลลิเมตร ดังนั้นจากผลการทดสอบค่าการกระจัดสูงสุดของทั้ง 2 ชิ้นงาน พบว่ามีค่าต่างกันเท่ากับ 49.19 เปอร์เซ็นต์

2. ผลการจำลองค่าความเค้นสูงสุดของฝาท่อระบายน้ำ



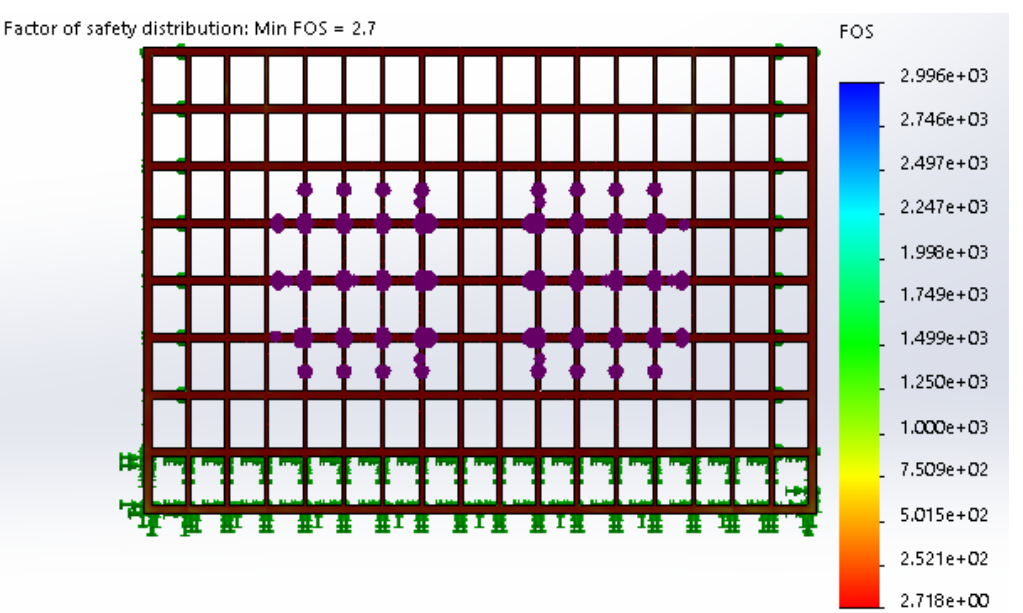
ภาพที่ 9 ผลการจำลองค่าความเค้นสูงสุดของชิ้นงานที่ 1



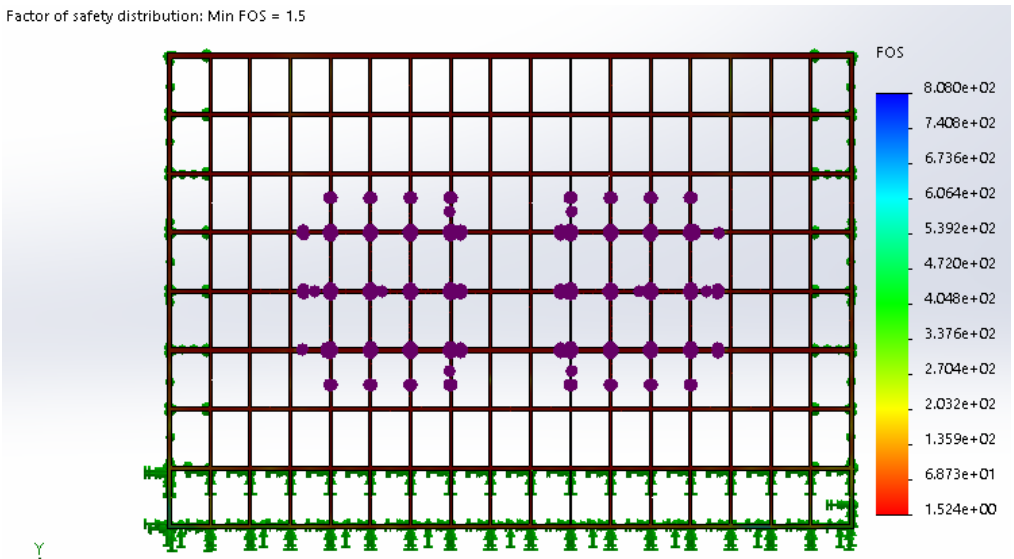
ภาพที่ 10 ผลการจำลองค่าความเค้นสูงสุดของชิ้นงานที่ 2

จากภาพที่ 9 และภาพที่ 10 ผลการจำลองค่าความเค้นสูงสุด พบว่าในรูปแถบชั้นสีของชิ้นงานที่ 1 แสดงค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณกลางของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 91.975 เมกะปาสคาล และชิ้นงานที่ 2 แสดงค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณขอบด้านซ้ายของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 164.032 เมกะปาสคาล ดังนั้นจากผลการทดสอบค่าความเค้นสูงสุดของทั้ง 2 ชิ้นงาน พบว่ามีค่าต่างกันเท่ากับ 43.93 เปอร์เซ็นต์

3. ผลการจำลองค่าความปลอดภัยของฝาท่อระบายน้ำ



ภาพที่ 11 ผลการจำลองค่าความปลอดภัยของชิ้นงานที่ 1



ภาพที่ 12 ผลการจำลองค่าความปลอดภัยของชิ้นงานที่ 2

จากภาพที่ 11 และภาพที่ 12 แสดงผลการจำลองค่าความปลอดภัยของชิ้นงาน พบว่าในรูปแถบชั้นสีของชิ้นงานที่ 1 แสดงค่าความปลอดภัยของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 2.7 และของชิ้นงานที่ 2 แสดงค่าความปลอดภัยของชิ้นงานเท่ากับ 1.5 ดังนั้นจากผลการทดสอบค่าความปลอดภัยของทั้ง 2 ชิ้นงาน พบว่ามีค่าต่างกันเท่ากับ 44.44 เปอร์เซ็นต์

สรุปผล และการอภิปรายผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงโครงสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ของฝาท่อระบายขณะที่รับโหลดที่ 107,910 N ด้วยระเบียบวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) ของชิ้นงานทั้งสองขนาด โดยชิ้นงานที่ 1 ทำการกำหนดขนาดตามกรมทางหลวงชนบทที่ได้กำหนดไว้มีขนาดความหนาเหล็กขอบ 10 มิลลิเมตร และความหนาเหล็กตะแกรง 5 มิลลิเมตร นำมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ 2 โดยทำการลดขนาดของชิ้นงานลงมีขนาดความหนาเหล็กขอบ 5 มิลลิเมตร และความหนาเหล็กตะแกรง 3 มิลลิเมตร เพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของฝาท่อระบายน้ำ ซึ่งจากการทดสอบพบว่าชิ้นงานทั้งสองขนาดสามารถรับแรงที่มากระทำได้เหมือนกัน แต่เนื่องจากชิ้นงานที่ 2 ทำการลดขนาดลงทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างงานได้มากกว่า แต่เนื่องจากชิ้นงานที่ 1 มีค่าการกระจัดสูงสุด และค่าความเค้นสูงสุดที่ต่ำกว่าชิ้นงานที่ 2 และมีค่าความปลอดภัยของชิ้นงานที่มากกว่าชิ้นงานที่ 2 ดังนั้นจึงเลือกนำข้อมูลของชิ้นงานที่ 1 ไปใช้ในการสร้างชิ้นงานเนื่องจากการเลือกใช้ขนาดชิ้นงานขึ้นอยู่กับค่าความเค้นของชิ้นงาน หากมีค่าความเค้นต่ำจะส่งผลให้ค่าความปลอดภัยของชิ้นงานมากขึ้น ซึ่งทำให้ชิ้นงานสามารถรับแรงที่มากระทำได้มากขึ้นไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานณัฐชยา [6] กล่าวว่า การออกแบบ และการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเค้นวอนมิสเซสที่จุดยึดที่นั่ง และนำไปใช้ออกแบบให้จุดยึดที่นั่งของรถ

โดยสารให้มีค่าความเค้น วอนมิสเซสสูงสุดมีค่าน้อยกว่าค่าความเค้นครากของสมบัติวัสดุและมีค่าความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้น จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่าค่าความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุส่งผลให้ชิ้นส่วนนั้นสามารถใช้งานต่อไปได้ แต่ถ้าค่าความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าสูงกว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุส่งผลให้ชิ้นส่วนนั้นไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ถ้าหากนำไปใช้งานจะเกิดความเสียหายขึ้น สอดคล้องกับงานของ ศุภัชฎา, ศุภกิตติ์ และนพรัตน์ [4] กล่าวว่า ผลค่าของความเค้น และความเครียดที่เกิดขึ้นตามแถบชั้นสี (Fringe Plot) พบว่าค่าความเค้นสูงสูด (Von Mises) เกิดจากภาระที่มากระทำนั้นทำให้เกิดความเค้น อัดบริเวณจุดเชื่อมคานของโครงสร้างฐานหลักสำหรับยึดเหล็กแสดงด้วยคาสีแดง เนื่องจากเป็นรอยเชื่อมต่อระหว่างเหล็กซึ่งสัมพันธ์กับโหลดที่กระทำ ซึ่งค่าความเค้นที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าน้อยกว่าค่าความต้านแรงคราก (Yield strength) ดังนั้นจึงไม่ทำให้จุดเชื่อมคานดังที่ได้กล่าวมานั้นเกิดความเสียหายทางกลค่าความปลอดภัยน้อยที่สุดที่เกิดขึ้น (Factor of Safety: FOS) แสดงว่าสามารถทนต่อความล้าอันเนื่องแรงที่กระทำซ้ำไปซ้ำมาอย่างต่อเนื่อง หมายความว่าเป็นเครื่องมือที่มีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติและพบว่าคาความเครียดที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการยืดตัวสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณตำแหน่งสวนกลางของคานเหล็ก

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ควรนำไปศึกษาเปรียบเทียบกับการนำวัสดุชนิดอื่นมาสร้างเป็นชิ้นงานฝาท่อระบายน้ำ เช่น SS400 ASTM A507 เป็นต้น รวมถึงรูปแบบต่างๆ ในการออกแบบฝาท่อระบายน้ำในรูปแบบอื่นๆ

ควรทำการศึกษาความแข็งแรงของฝาท่อระบายน้ำที่ทำการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างฝาท่อระบายน้ำด้วยวัสดุในรูปแบบต่าง ๆ เพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

[1] ศิรพัชร วัชรภาสกร **“การจัดการปัญหาน้ำท่วมและการมีส่วนร่วมของชุมชน”** [วารสารออนไลน์] 2556. [สืบค้นวันที่ 2 กันยายน 2564] จาก http://libdcms.nida.ac.th /thesis6/2556/b182825.pdf

[2] ผศ. ธรรม์ณชาติ วันแต่ง. 2560. **“ความแข็งแรงวัสดุ”.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[3] รศ. ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี. 2549. **“SolidWorks/COSMOSWorks ขั้นพื้นฐาน (วิเคราะห์ความแข็งแรง)”.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[4] ปกรณ์ บุราคร. (2556). **การวิเคราะห์ความแข็งแรงและปรับปรุงโครงสร้างที่นั้งสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลลิเมนต์.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[5] ศุภัชฎา หาญชนะ. ศุภกิตติ์ สายสุนทร. นพรัตน์ คัคคุริวาระ. (2560). **การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงชุดโครงสร้างกระบะของเครื่องมือเคลื่อนย้ายไม้ท่อน ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.** งานวิจัยเข้าร่วมการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 56. สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[6] เดชา สุขมา. สมบัติ มุกดา. เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ. ศิวะพงษ์ ลัมพาภิวัฒน์. (2555). **การวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องทดสอบแรงดึงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.** การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555 17-19 ตุลาคม 2555 ชะอำ เพชรบุรี. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีปทุม : กรุงเทพฯ

[7] ณัฐชยา. (2556). **การออกแบบความแข็งแรงของจุดยึดที่นั่งสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลลิเมนต์.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[8] Delwyn D. Fredlund **“Bearing capacity of unpaved roads”** [วารสารออนไลน์] 2540. [สืบค้นวันที่ 25 ธันวาคม 2564] จาก (PDF) Bearing capacity of unpaved roads (researchgate.net)