

การศึกษาผลกระทบของพฤติกรรมการเสียรูปภายใต้การชนของยานพาหนะ ในเสาดูดซับพลังงานสูง

Effect of Deformation Behavior under Vehicle Collision in High Energy Absorbing Poles

ยงยศ จันทรปาน*, นราชัย จิตรณรงค์, อุไรรัตน์ แจ่มสงวน, ศุภศิษฏ์ มาลา, เจษฎากร ลามโยไทย,
ผดุงเดช แคนไชย และ ณัฐวุฒิ พัฒนมะมั่งคงเงิน

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

248 ซอย เพชรเกษม 110 แขวงหนองค้างพูล เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160

Yongyos Chunpan*, Narachai Jitnarong, Urairat Jamsa-nguean, Suphasit Mala, Jedsadsorn Lamyothai,

Phadungdech Kanchai and Nattawut Pattanamongkhongnoen

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thonburi University,

248 Soi Phetkasem 110, Nong Khang Phlu Subdistrict, Nong Khaem District, Bangkok 10160, Thailand

*Corresponding author Email: Nickzakata@hotmail.com

(Received: May 25, 2025 / Revised: December 17, 2025 / Accepted: December 21, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของเสาข้อรับแรงแบบ A ทรงแปดเหลี่ยมที่ทำมาจากเหล็กรีดร้อนเกรด SS400 ผ่านขบวนการเคลือบด้วยสังกะสี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. หนา 2.3 มม. แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับเสาแบบ B ทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มม. หนา 3.3 มม. และเสาแบบ C ทรงแปดเหลี่ยม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. หนา 2.3 มม. มีการใช้เทคนิคของการต่อด้วยหมุดย้ำที่ระยะพิทช์ 150 มม. ขั้นตอนในการทดสอบใช้เครื่องทดสอบการเสียรูป และการสร้างแบบจำลองโครงสร้างของเสาด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่จำลองขึ้นจากแบบของเสาเพื่อให้เห็นรายละเอียดพฤติกรรมในการเสียรูปของเสาทั้ง 3 ชนิด ผลการทดลองพบว่าการเสียรูปของเสาเปรียบเทียบกับผลของการจำลองเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรมปรากฏว่าการจำลองเชิงตัวเลขมีค่าสูงกว่าการทดสอบการเสียรูปประมาณ 3% ซึ่งถือว่าสมเหตุสมผล เส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้นและความหนาที่เท่ากันจะมีเปอร์เซ็นต์การเสียรูปที่แตกต่างกัน และสามารถสรุปได้ว่าเสาแบบ A ทรงแปดเหลี่ยมมีความสามารถในการดูดซับพลังงานสูงสุด ดังนั้นจึงถือว่าเสาแบบ A เป็นตัวเลือกที่มีศักยภาพสำหรับการออกแบบเสาดูดซับพลังงานสูงได้

คำสำคัญ: การเสียรูปของเสา สมบัติทางกล การจำลองเชิงตัวเลข

Abstract

This research aims to study the mechanical properties of A-type energy absorbing pole octagonal shape made from hot rolled steel grade SS400 through galvanized coating process, diameter 150 mm., thickness 2.3 mm. The test results were compared with those of round B-type energy absorbing pole, 90 mm diameter and 3.3 mm thick, and C-type energy absorbing pole octagonal, 100 mm diameter and 2.3 mm thick, the riveted connection technique at a pitch of 150 mm was used. The experimental procedure used a deformation test press, and the structural model of the pole was created using the finite element method, which was simulated from the column model, to see the details of the deformation behavior of the 3 types of energy absorbing poles. The experimental results showed that the deformation of the columns compared with the results of numerical simulation by a program. It was found that the numerical simulation was approximately 3% higher than the deformation test, which is reasonable. Larger diameters and the same thickness will have different percentages of deformation. It can be concluded that the octagonal A-type energy absorbing pole has the highest energy absorption capacity. Therefore, the A-type energy absorbing pole can be considered as a potential option for the design of high energy absorbing poles.

Keywords: Metallurgical pole deformation, Mechanical properties, Numerical simulation

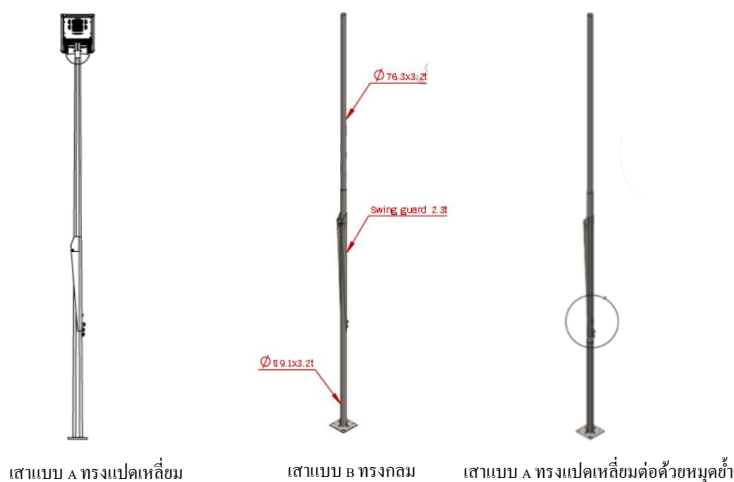
1. บทนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนจำนวนมากซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทย จากรายงานของศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุเพื่อเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนนที่เกิดขึ้นในประเทศไทยปี 2568 [1] โดยพบว่าปัจจัยภายนอกที่มาก่อทำส่วนใหญ่มีสมาเหตุมาจากรถชนเสาไฟฟ้า รถเกี่ยวสายไฟฟ้าหรือสายสื่อสาร และต้นไม้ล้มทับเสาและสายไฟฟ้า ส่งผลกระทบให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับความเดือดร้อนไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นระยะเวลานาน และเกิดอันตรายต่อประชาชนทั่วไปจากเสาและสายไฟฟ้าที่หักโค่น นอกจากนี้ ยังมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมวัตถุหรือโครงสร้างที่เสียหายอีกด้วย [2]

การออกแบบยานพาหนะและถนนที่ปรับปรุงประสิทธิภาพจะช่วยลดการเสียชีวิตโดยรวม แต่การชนกับวัตถุเหล่านี้ยังคงทำให้เกิดการบาดเจ็บและเสียชีวิตจากการดูแลสภาพอย่างมีนัยสำคัญ คุณสมบัติความปลอดภัยในยานพาหนะ เช่น ถูกลมนิรภัย และโครงสร้างดูดซับแรงกระแทก มีจุดมุ่งหมายเพื่อป้องกันผู้โดยสารระหว่างเกิดอุบัติเหตุ โดยเน้นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและการออกแบบ แม้ว่ามาตรการด้านความปลอดภัยในรถยนต์จะช่วยให้ แต่ก็ไม่สามารถป้องกันการบาดเจ็บจากการชนกับวัตถุริมถนนได้อย่างเต็มที่ โดยการชนกันด้านหน้าเป็นประเภทที่พบมากที่สุด วัสดุและการออกแบบใหม่ในโครงสร้างเสาดูดซับพลังงานมีความสำคัญต่อความปลอดภัยของรถยนต์และผู้ใช้รถ โดยต้องมีการประเมินจากข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับการทดสอบการชน การทดสอบโดยใช้รถยนต์จริงการชนอาจมีค่าใช้จ่ายในการทดสอบที่สูง ดังนั้นการวิเคราะห์องค์ประกอบที่จำกัดขอบเขตเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการทำนายพฤติกรรมและการดูดซับพลังงานของเสาที่ได้ออกแบบมาใหม่ว่าจะให้ผลได้ดีเพียงใดในระหว่างการชน ทำให้สามารถศึกษาวัสดุและการออกแบบได้ดียิ่งขึ้น

มีงานวิจัยที่การศึกษาคุณสมบัติของเสาไฟซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ Mohammad Sharif Uddin และคณะ [3] ได้ทำการออกแบบระบบกันกระแทกพลังงานสูงสำหรับถนน โดยใช้แนวคิดในระหว่างการชน พลังงานจลน์ของยานพาหนะที่วิ่งชนจะถูกดูดซับโดยการเปลี่ยนรูปของเซลล์อย่างต่อเนื่อง จึงลดความเสียหายต่อยานพาหนะ การทดสอบโดยใช้การจำลององค์ประกอบไฟไนต์เอลิเมนต์ และเทคนิคการทดลองถูกดำเนินการเพื่อประเมินการเสียรูปและความสามารถในการดูดซับพลังงานของเซลล์ ผลการจำลองนั้นใกล้เคียงกับผลการทดลองโดยมีข้อผิดพลาดค่อนข้างน้อย ผลลัพธ์บ่งชี้ว่าบัพเฟอร์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์ที่ใหญ่กว่านั้นเหมาะสำหรับใช้ในโซนความเร็วสูง Mohammad Sharif Uddin และคณะ [4] ได้ทำการวิเคราะห์การเสียรูปของท่อกลวงหกเหลี่ยมที่ดูดซับพลังงานโดยใช้วิธีการบีบอัดด้านข้างของท่อ การทดลองด้วยการการออกแบบคือเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของผนังท่อเพื่อกำหนดความสามารถในการเสียรูปและดูดซับพลังงานของท่อทั้ง 3 แบบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงในการเสียรูปจะเพิ่มขึ้น ท่อหกเหลี่ยมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 219 มม. และความหนา 4 มม. มีความสามารถในการดูดซับพลังงานสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับรูปทรงกระบอกและแปดเหลี่ยม ดังนั้น Stanislawek. S และคณะ [5] ได้มีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบรีเออร์บนถนนเนื่องจากแรงเสียดทานที่แปรผันระหว่างยางและพื้นดินภายใต้สภาพอากาศที่แตกต่างกัน การทดลองเต็มรูปแบบโดยใช้รถบรรทุก Renault Midlum และรถบัส SETRA S215L ดำเนินการตามข้อบังคับ EN 1317 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเชิงตัวเลข ได้ทำการทดสอบเชิงตัวเลขชุดหนึ่งเพื่อตรวจสอบอิทธิพลของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ($\mu_{wr} = 0-1.1$) ต่อผลการทดสอบ และพิสูจน์แล้วว่าในการทดสอบ TB 42 ดังนั้นจึงสามารถยืนยันได้ว่ามาตรฐาน EN 1317 อาจให้ข้อมูลไม่เพียงพอเกี่ยวกับความปลอดภัยของแบรีเออร์บนถนน ไม่สามารถคาดการณ์พฤติกรรมของแบรีเออร์ได้อย่างง่ายดายในระหว่างการกระแทกในสภาพอากาศที่เลวร้าย เมื่อการสัมผัสพื้นผิวกับล้อไม่เพียงพอ Pawel Baranowski และคณะ [6] ได้มีการนำเสนอการจำลองเชิงตัวเลขของขั้นตอนการทดสอบตามมาตรฐานยุโรป EN 12767 สำหรับการชนกันระหว่างยานพาหนะกับเสาไฟ โดยเริ่มจากการใช้แบบจำลองยานพาหนะ และให้ความสำคัญกับการลักษณะดิน และเสาไฟ โดยมีการจำลองเชิงตัวเลขแบบ (Explicit Dynamics Analysis) ควบคู่กับองค์ประกอบของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench ดำเนินการศึกษาคความไวของตาข่ายเสาไฟ ส่งผลให้ใช้ขนาดตาข่ายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับพารามิเตอร์ทางกายภาพ เช่น คุณสมบัติของดินและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในส่วนต่อระหว่างยานพาหนะกับเสาไฟ พบว่าแรงเสียดทานและขนาดของตาข่ายมีอิทธิพลอย่างมากต่อดัชนีความรุนแรงของการเร่งความเร็ว (ASI) ความเร็วการกระแทกศีรษะตามทฤษฎี (THIV) ความเร็วหลังการกระแทก และพฤติกรรมของยานพาหนะในระหว่างสถานการณ์การชนเสาไฟ Mahmoud T. Nawar และคณะ [7] ได้มีการตรวจสอบเชิงทดลองและการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อระบุประสิทธิภาพของเสาไฟฟ้าคาร์บอนไฟเบอร์ ทรงรียาวที่มีประตูแบบมีที่จับโดยใช้ฐานบล็อกเหล็กจนกว่าจะเกิดความเสียหาย ผลการทดลองโดยการเพิ่มความสูงของเสาขึ้นสองเท่า พบว่าทำให้มีความทนทานเพิ่มขึ้นอย่างน้อยสามเท่าครั้งโดยประมาณ และผลของการจำลองเชิงตัวเลขมีค่ามากกว่าผลการทดลองจะอยู่ที่ค่าประมาณน้อยกว่า 3.5% Pawel Baranowski และคณะ [8] ได้มีการประเมิน

พลังงานเทียบเท่าความเสียหายของรถยนต์ โดยใช้แบบจำลององค์ประกอบของ Toyota Yaris ที่พัฒนาโดยศูนย์วิเคราะห์การชนแห่งชาติ (NCAC) เพื่อใช้ในสภาพแวดล้อมซอฟต์แวร์ LS DYNA R.11 และยังมีการทดสอบโดยใช้รถยนต์ชนกำแพง ชนิดวัตถุที่จำลองคือเสาและต้นไม้ การเสียรูปที่ได้จะใช้เพื่อกำหนดค่าความเร็วเทียบเท่าพลังงานโดยใช้ซอฟต์แวร์ “Crash 3—EBS Calculation 12.0” และการเปรียบเทียบภาพกับฐานข้อมูลแค็ตตาล็อก EES โดยจะคำนวณค่าพารามิเตอร์ EES ใหม่เพื่อกำหนดถึงความแตกต่างของมวลในรถยนต์



รูปที่ 1 เสาไฟทั้ง 3 แบบ เสาแบบ A ทรงแปดเหลี่ยม แบบ B ทรงกลม และแบบ C ทรงแปดเหลี่ยมต่อด้วยหมุดยั่วที่ระยะพิตช์ 150 มม.

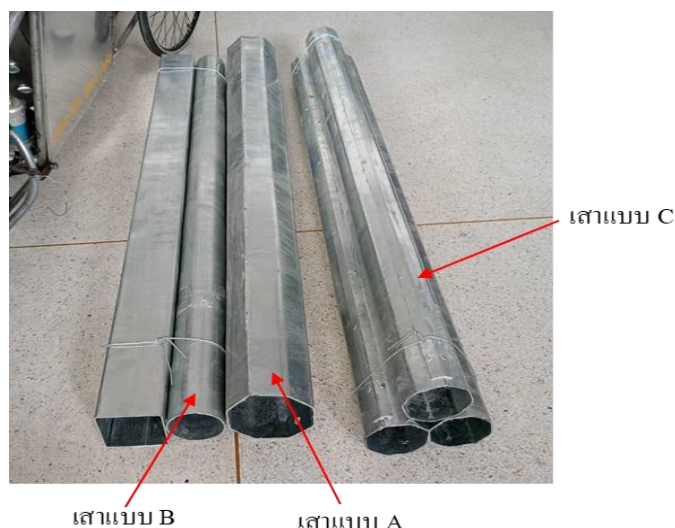
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการทดสอบเสาแบบ A ทรงแปดเหลี่ยม เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับเสาแบบ B ทรงกลม และเสาแบบ C ทรงแปดเหลี่ยมที่มีการต่อด้วยหมุดยั่ว ที่มีระยะพิตช์ 150 มม. ดังรูปที่ 1 และในการทดลองยังมีการสร้างแบบจำลองเสาด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่จำลองขึ้นจากแบบของเสาทั้ง 3 ชนิด เพื่อให้เห็นรายละเอียดของพฤติกรรมของการเสียรูป พร้อมกันนี้ยังนำผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์และประเมินผลที่เหมาะสมในการออกแบบให้กับเสาซึ่งแรงที่ได้ออกแบบไว้ให้ดียิ่งขึ้น

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของเสาไฟทั้ง 3 แบบ โดยมีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี การทดสอบแรงดึง การทดสอบการเสียรูปของเสาไฟ และการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งมีวิธีการดำเนินการศึกษาดังต่อไปนี้

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

เริ่มจากการตัดเสาตัวอย่างทั้ง 3 แบบดังแสดงในรูปที่ 2 ชนิด เสาแบบ A ทรงแปดเหลี่ยม และมีการเชื่อมที่รอยต่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. หนา 2.3 มม. เสาแบบ B ทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มม. หนา 3.3 มม. และ เสาแบบ C เสาแปดเหลี่ยมมีระยะพิตช์ของหมุดยั่ว 150 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. หนา 2.3 มม. หลังจากนั้นก็นำตัวอย่างแต่ละชิ้นนำมาตัดให้ได้ 3 ชิ้น โดยแต่ละชิ้นงานยาว 500 มม.



รูปที่ 2 ชิ้นงานตัวอย่างของเสาทั้ง 3 แบบ

2.2 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี (Spark Emission Spectrometer)

เครื่องวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี (Spark Emission Spectrometer) ดังรูปที่ 3 เป็นเครื่องมือที่ใช้หาปริมาณธาตุองค์ประกอบของวัสดุโลหะหรือโลหะผสมต่าง ๆ โดยการวัดพลังงานของแสงที่ปล่อยออกมาหลังจากถูกกระตุ้นด้วยประจุไฟฟ้าจากการสปาร์ก หรืออาร์กซึ่งวัสดุหรือชิ้นส่วนที่นำมาทดสอบควรมีสภาพนำไฟฟ้าได้ การวิเคราะห์ส่วนผสมของวัสดุ เพื่อตรวจสอบว่าวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุชนิดใด เลือกใช้ตรงตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดที่ออกแบบไว้หรือไม่



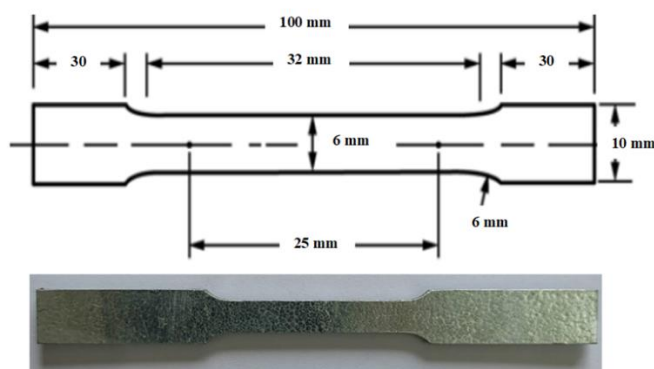
รูปที่ 3 เครื่องวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี (Spark Emission Spectrometer)

2.3 การทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine)

เครื่องทดสอบแรงดึงที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4 ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 8801 ขนาด 10 ตัน เป็นเครื่องสำหรับทดสอบแรงดึงในแนวตามยาวของเนื้อ โดยเตรียมชิ้นงาน ทดสอบแบบลวด การทดสอบสามารถป้อนค่าพารามิเตอร์ได้โดยตรงจากหน้าจอ การประมวลผลการทดสอบจะเป็นลักษณะของตัวเลขและกราฟ โดยในงานวิจัย ครั้งนี้ใช้ทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ความแข็งแรงที่จุดคราก (Yield Strength) และ เปอร์เซ็นต์ในการยืดตัว (Percent Elongation) การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึงให้ได้ตามมาตรฐาน กำหนด ค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E8/E8M-22 แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบแรงดึง INSTRON รุ่น 8801



รูปที่ 5 การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8/E8M-22

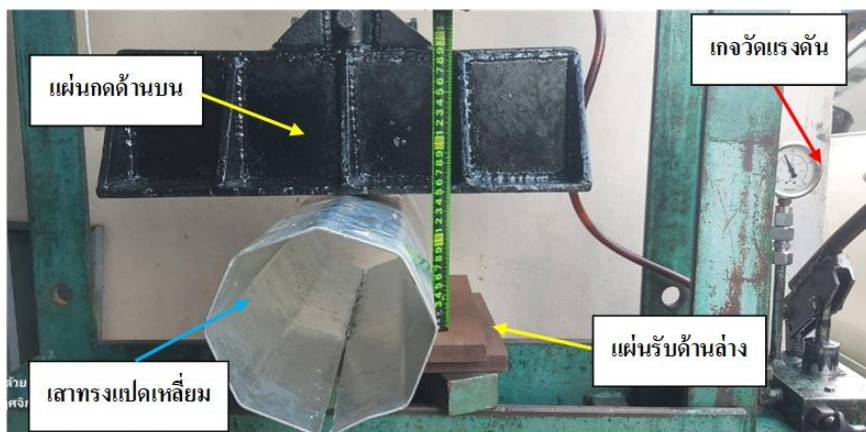
2.4 การทดสอบการเสียรูปของเสาทดสอบ

ทำการเลือกชิ้นงานตัวอย่างเสาจากตำแหน่งที่จะเกิดอุบัติเหตุสูงซึ่งมีความสำคัญต่อความปลอดภัยของผู้ใช้รถ และมีการตัดเสาออกเป็น 3 ชิ้น มีขนาดความยาว 500 มม. นำชิ้นงานตัวอย่างมาทดสอบการชนที่ 3 ระดับความเร็ว 50 กม/ชม. 70 กม/ชม. และ 100 กม/ชม. ดังรูปที่ 6 เมื่อทดสอบการเสียรูปได้แล้ว จดบันทึกค่าความดันเกจ และการเสียรูปโดยใช้ ตลับเมตรวัดอัตราการยุบตัวทั้งหมด 5 ระยะ เมื่อได้ผลการทดสอบทั้งหมดแล้วเลือกชิ้นงานที่มีลักษณะการเสียรูปดีที่สุดมา 3 ชิ้น และหาค่าเฉลี่ย โดยตั้งข้อสมมติฐานว่าในระหว่างการชนนั้น ตัวรถยนต์จะดูดซับพลังงานจลน์ทั้งหมดของยานพาหนะได้ ครึ่งหนึ่ง ดังนั้นเป้าหมายของเสาซึ่งแรงคือการดูดซับพลังงานจลน์ทั้งหมดที่เหลืออีกครึ่งหนึ่งผ่านการเสียรูปของเสา ดังนั้นจึง กำหนดให้มวลของยานพาหนะเป็น m_{vehicle} กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v และชนกับวัตถุคงที่ พลังงานจลน์ทั้งหมดของยานพาหนะสามารถประมาณได้ดังสมการที่ 1

$$K.E_{\text{totle}} = \frac{1}{2} m_{\text{vehicle}} \cdot v^2 \quad (1)$$

ดังนั้น พลังงานจลน์ที่เสาจะดูดซับจึงสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$K.E_{\text{pole}} = \frac{1}{2} K.E_{\text{totle}} \quad (2)$$



รูปที่ 6 การตั้งค่าการทดลองเพื่อการเสียรูปของเสา

ในการหาเปอร์เซ็นต์การเสียรูป (percentage of elongation) ของเสาสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเสียรูป} = \frac{\delta}{L} \times 100\% \quad (3)$$

เมื่อ δ คือ ความยาวที่ยุบตัวลง
 L คือ ความยาวเดิม

ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดและเปอร์เซ็นต์การลดพื้นที่หน้าตัดนี้เป็นค่าที่ใช้วัดความเหนียวของ วัสดุ วัสดุที่เหนียวมากจะมีค่าทั้งสองนี้สูงเพราะการยืดตัวมากและพื้นที่หน้าตัดลดลงมาก ก่อนที่จะขาดจากกันสำหรับหลักโครงสร้างโดยทั่วไปเปอร์เซ็นต์การลดลงของหน้าตัดจะอยู่ที่ 60 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์

ตัวอย่างการคำนวณกรณีเสาแบบ A ทรงแปดเหลี่ยมที่ความเร็ว 100 km/hr.

น้ำหนักรถที่ใช้คือ $m_{\text{vehicle}} = 2000 \text{ kg}$.

ชนเสาที่ความเร็ว 100 km/hr. แปลงหน่วย = 27.78 m/s

แทนค่ามวลของรถยนต์และความเร็วลงในสมการที่ 1

$$K.E._{\text{totle}} = \frac{1}{2} m_{\text{vehicle}} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \times 2000 \times 27.78^2 = 771,728 \text{ J}$$

แทนพลังงานจลน์รวม $K.E._{\text{totle}}$ ลงในสมการที่ 2

$$K.E._{\text{pole}} = \frac{1}{2} K.E._{\text{totle}} = \frac{1}{2} \times 771728 = 385,864 \text{ J}$$

การหาเปอร์เซ็นต์การเสียรูป

หาค่าการยุบตัว $\delta = 150 - 36 = 114 \text{ mm}$.

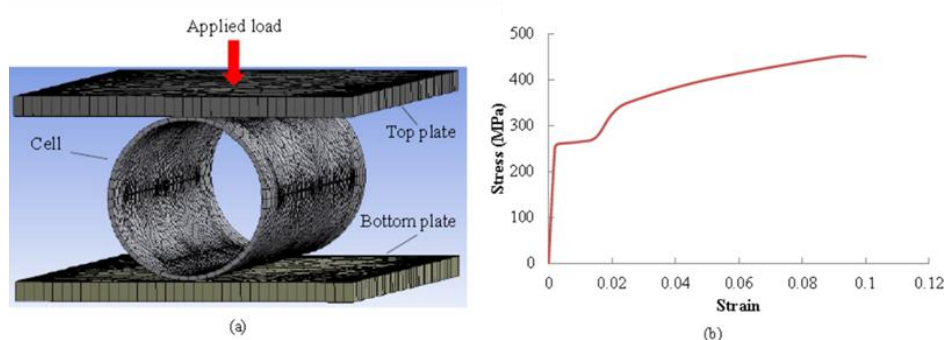
ความยาวเดิม 150 mm.

แทนค่าลงในสมการที่ 3

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเสียรูป} = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = 76\%$$

2.5 การสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การสร้างแบบจำลองโดยใช้เทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ถูกดำเนินการเพื่อให้เข้าใจได้มากขึ้นว่าเสาเสียรูปอย่างไรและต้องใช้แรงเท่าไรจึงจะเริ่มเสียรูปได้ ซึ่งทำให้สามารถประมาณค่าการดูดซับพลังงานหรือความสามารถในการทำงานของเสาซึ่งแรงภายใต้แรงกระทำที่กำหนดได้ วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นข้อมูลที่ใช้อ้างอิงควบคู่กันกับวิธีการคำนวณเพื่อช่วยให้เห็นภาพการกระจายของชิ้นงานที่ได้รับออกแบบมา การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จึงถูกนำไปใช้กับเสาในเบื้องต้น การตั้งค่าการจำลองได้รับการออกแบบในลักษณะที่สามารถจำลองเหมือนกับการทดสอบจริงเพื่อการเปรียบเทียบให้เห็นลักษณะการเสียรูป รูปที่ 7(a) แสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเซลล์ ส่วนรูปที่ 7(b) แสดงให้เห็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานทดสอบ [3,4]



รูปที่ 7 (a) แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเซลล์ และ
(b) กราฟความเค้น-ความเครียด ของวัสดุเสาที่ใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วยเสาที่วางอยู่ระหว่างแผ่นด้านบนและแผ่นด้านล่างโดยแผ่นด้านล่างจะยึดแน่นในขณะที่แผ่นด้านบนจะเคลื่อนที่ได้ในแนวตั้งเท่านั้น แผ่นด้านบนได้รับการกำหนดให้เคลื่อนที่ในแนวตั้งซึ่งจะบังคับให้เสาถูกบีบอัดในแนวเส้นรอบวง ซึ่งจะจำลองแผ่นดินที่ติดอยู่กับกระบอกไฮดรอลิกระหว่างการทดลองจริง โปรแกรม ANSYS ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาการสัมผัสระหว่างเสากับแผ่นด้านบนและด้านล่าง เมื่อนำแบบจำลองของเสาเข้าสู่โปรแกรม ANSYS จะมีการเลือกตาข่าย 4 โหนดเพื่อนำมาเป็นแบบจำลอง และมีการป้อนแรงดันที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานทดสอบเสา เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมและการเสียรูปจากความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานทดสอบ การเลือกตาข่ายที่มีความละเอียดจะใช้ในจุดที่เราให้ความสนใจเป็นพิเศษ ในขณะที่ตาข่ายแบบหยาบถูกใช้ที่บริเวณอื่นๆ โดยเปอร์เซ็นต์ของข้อผิดพลาดอยู่ที่ 1 – 5 % ซึ่งถือว่าเป็นขีดจำกัดที่ยอมรับได้สำหรับการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม พร้อมกันนี้จะต้องมีการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างน้อย 3 ครั้งเช่นเดียวกับการทดลองการเสียรูป เพื่อหาค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมในการออกแบบ

3. ผลการทดลอง

โครงการนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของเสาไฟทั้ง 3 แบบ โดยมีการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี การทดสอบแรงดึง การทดสอบการเสียรูปของเสาไฟ และการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

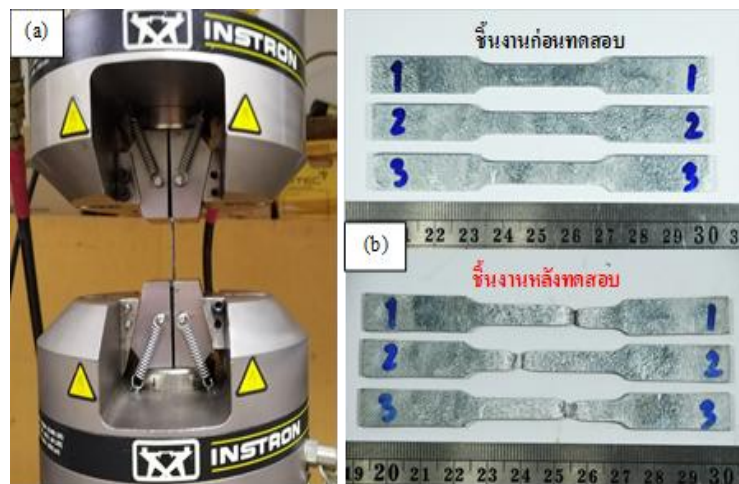
ผลของการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของเสาไฟที่ได้ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์โดยมีส่วนประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 เสาไฟทำจากเหล็กโครงสร้าง SS400 คุณสมบัติของเหล็ก SS400 จะมีความแข็งแรงตามมาตรฐาน เหมาะสำหรับการก่อสร้างทั่วไป ยกตัวอย่างการใช้งาน เช่น ใบบีม เชนบีม เหล็กฉาก เหล็กทรงน้ำ เหล็กแบน แผ่นเหล็กต่างๆ ที่นำมาทำโครงสร้างสะพาน งานวิศวกรรมต่างๆ หรือ แม้กระทั่งโครงสร้างของเครื่องจักรขนาดใหญ่

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็ก SS400 (%wt)

Materials	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
SS400	1.27	0.124	0.76	0.069	0.042	0.042	0.037	0.056	0.025

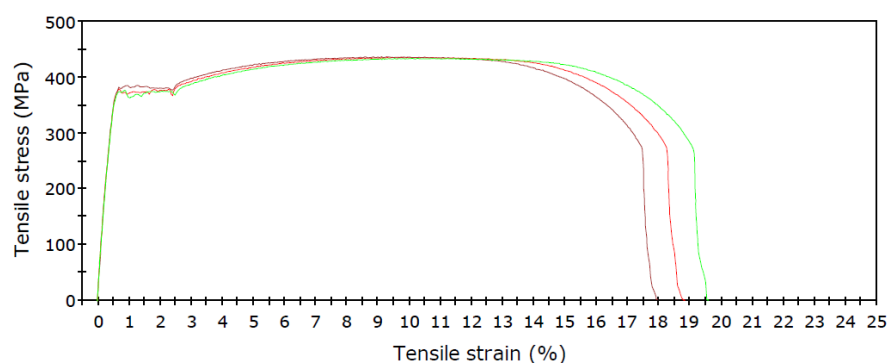
3.2 ทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

เครื่องทดสอบแรงดึงที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 8(a) ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 8801 ในการทดสอบสอแรงดึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่ามาตรฐานของวัสดุที่ใช้ทำเสาไฟและนำค่านี้ไปหาความสัมพันธ์กับผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบการยุบตัวของเสาไฟ ชิ้นงานทดสอบนี้ได้มาจากเสาไฟดังรูปที่ 8(b) แสดงชิ้นงานก่อนและหลังการทดสอบแรงดึง ผลของการทดสอบแรงดึงของวัสดุเสาไฟดังรูปที่ 9 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเหล็ก SS400 และตารางที่ 2 เป็นผลของค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ความแข็งแรงที่จุดคราก (Yield Strength) และเปอร์เซ็นต์ในการยืดตัว (Percent Elongation) [9]



รูปที่ 8 (a) เครื่องทดสอบแรงดึง INSTRON และ (b) ชิ้นงานก่อนและหลังการทดสอบแรงดึง

Tensile test



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของเหล็ก SS400

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานตัวอย่างทั้ง 3 ชิ้น

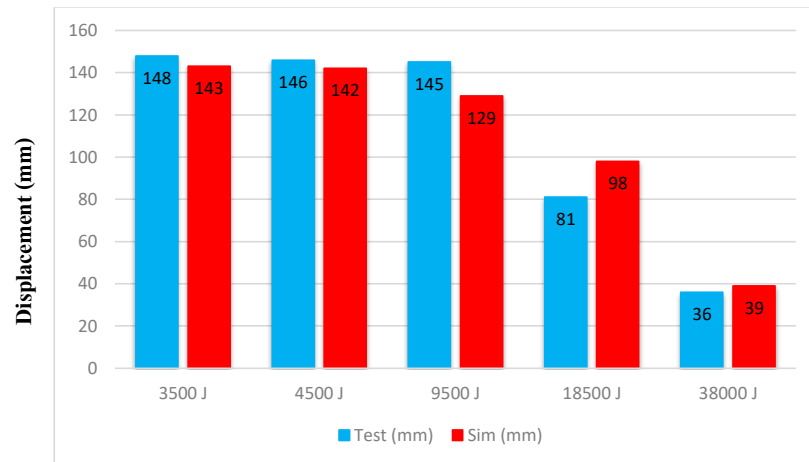
No.	Yield strength (MPa)	UTS (MPa)	Elongation at Break %
1	378	435	18.24
2	381	435	17.68
3	375	433	19.12
ค่าเฉลี่ย	378	434	18.34

3.3 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีทดสอบการเสียรูปและวิธีวิเคราะห์การจำลองเชิงตัว

ผลการทดลองการเสียรูปที่ได้จากค่าดูดซับพลังงาน ซึ่งมีการเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีการทดสอบและวิธีการจำลองเชิงตัวเลขของเสาแบบ A ทรงแปดเหลี่ยม และมีการเชื่อมที่รอยต่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. หน้า 2.3 มม. ดังในตารางที่ 3 ปริมาณการดูดซับพลังงานของเสาแบบ A ทรงแปดเหลี่ยมประเมินได้จากกราฟในรูปที่ 10 โดยแผ่นด้านบน (แผ่นกด) จะประเมินโดยการผานพื้นที่ใต้เส้นโค้งการรับพลังงานจนถึงการเสียรูปจนถึง 76% ของระดับการเสียรูปสูงสุดของเสา ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มโดยรวมของการรับ การดูดซับพลังงานของทั้ง 2 วิธีนั้นค่อนข้างคล้ายคลึงกัน ในระยะเริ่มต้นขนาดของการลดการทดสอบการเสียรูปและการจำลองเชิงตัวเลข เพื่อให้เสาเสียรูปนั้นเกือบจะเท่ากัน อย่างไรก็ตาม หลังจากการเปลี่ยนรูปแบบยึดหยุ่นเริ่มต้นประมาณ 5 - 69 มม. ภาระการจำลองจะสูงกว่าการทดสอบการเสียรูป และค่านี้จะคงที่เกือบตลอดจนกว่าเสาจะถึงจุดการเสียรูปสูงสุด ในทางกลับกันความสามารถในการดูดซับพลังงานสะสมจะเพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นตรงตามการเสียรูปแบบของเสาส่วนรูปที่ 11 เป็นภาพลักษณะการเสียรูปของเสา ซึ่งเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีการทดสอบและวิธีการจำลองเชิงตัวเลข [3,4]

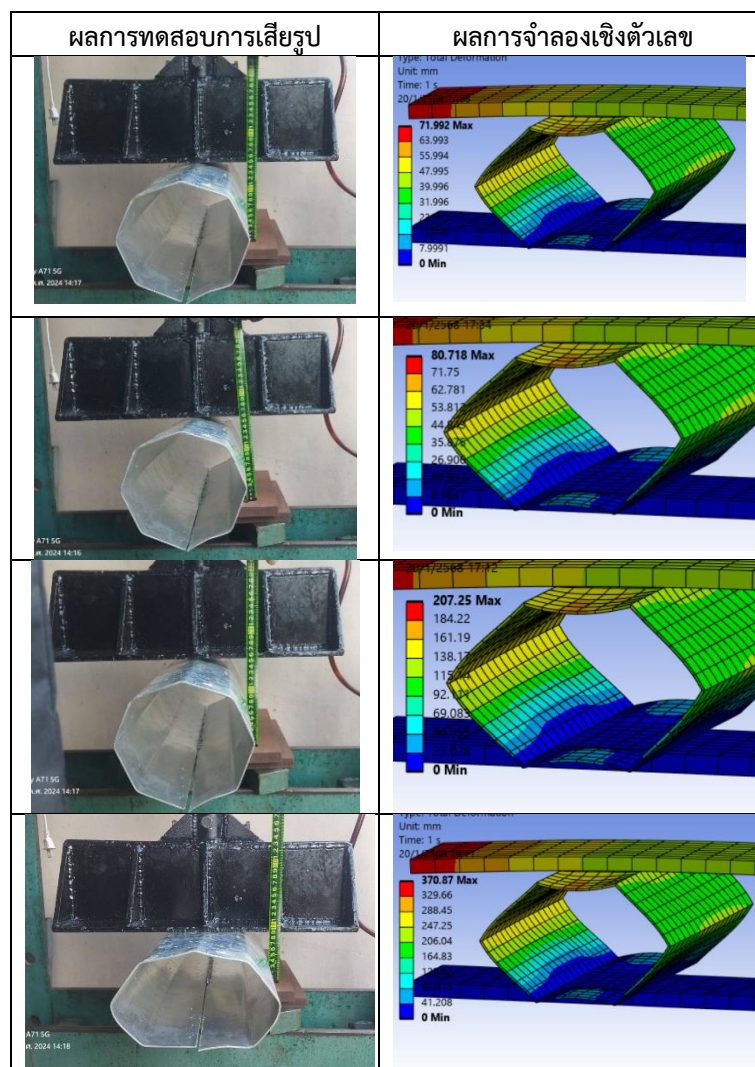
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าพลังงานดูดซับที่ 5 ระดับความเร็วของรถบีค็อพน้ำหนัก 2,000 kg

ชนิดของเสา	V = 30 km/hr. 3500 J	V = 45 km/hr. 4500 J	V = 50 km/hr. 9500 J	V = 70 km/hr. 18,500 J	V = 100 km/hr. 38,000 J
แบบ A ทรงแปดเหลี่ยม (mm)	148 (2%)	146 (3%)	145 (4%)	81 (46%)	36 (76%)
แบบ A Simulation (mm)	143 (4%)	142 (5%)	129 (14%)	98 (65%)	39 (74%)
แบบ B ทรงกลม (mm)	87 (3%)	86 (4%)	85 (6%)	49 (45%)	34 (62%)
แบบ B Simulation (mm)	85 (6%)	84 (7%)	78 (13%)	64 (29%)	37 (58%)
แบบ C ทรงแปดเหลี่ยม P = 150 mm	98 (2%)	97 (3%)	87 (13%)	61 (42%)	48 (52%)
แบบ C Simulation (mm)	96 (4%)	95 (5%)	89 (11%)	78 (22%)	56 (44%)



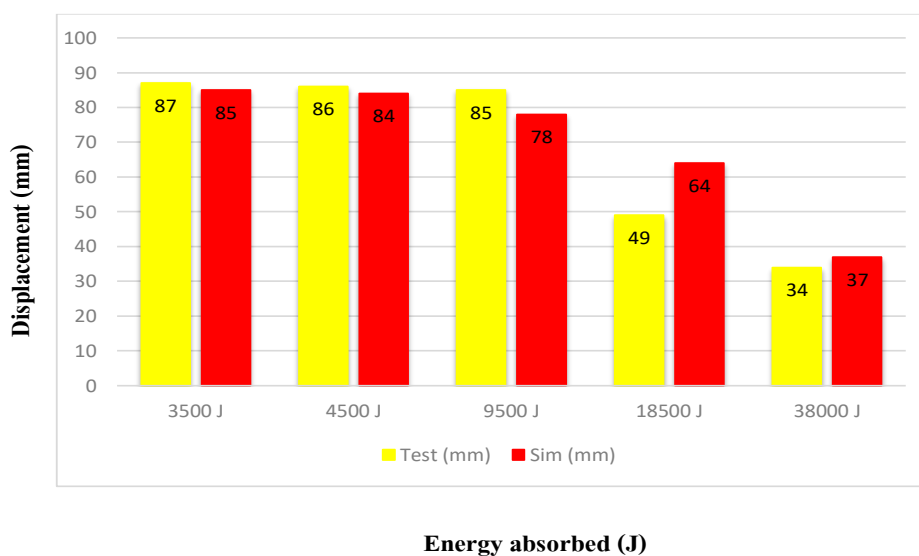
Energy absorbed (J)

รูปที่ 10 ผลเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบการเสียรูปเสาและการจำลองเชิงตัวเลขของเสาแบบ A ทรงแปดเหลี่ยม



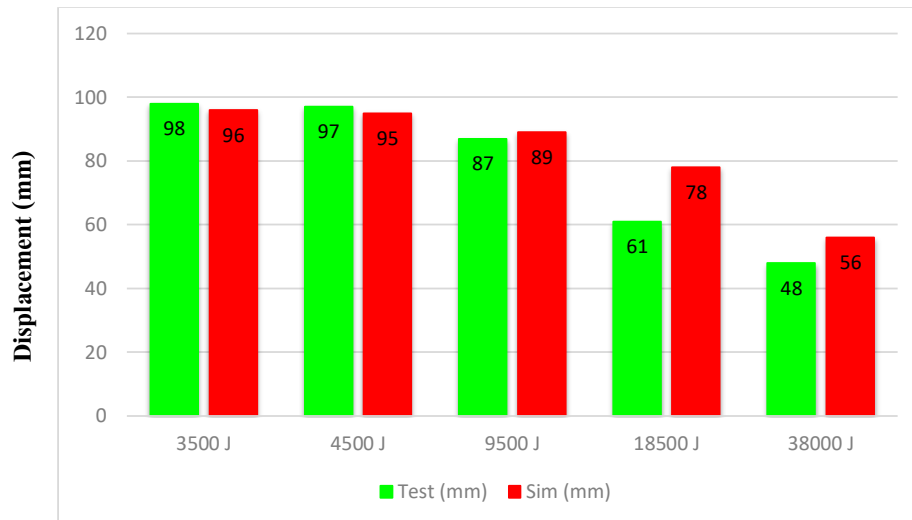
รูปที่ 11 การเปรียบเทียบการเสียรูปของเสาแบบ A ทรงแปดเหลี่ยมโดยการทดสอบและการจำลองเชิงตัวเลข

การเปรียบเทียบรูปแบบการดูดซับพลังงาน-การเสียรูปที่ได้จากการทดสอบและการจำลองเชิงตัวเลขของเสาแบบ B ท่อกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มม. หนา 3.3 มม. ปริมาณการดูดซับพลังงานของเสาแบบ B ท่อกลม ประเมินได้จากกราฟในรูปที่ 12 โดยแผ่นด้านบน (แผ่นกด) จะประเมินโดยการผานพื้นที่ใต้เส้นโค้งการรับพลังงานจนสิ้นซึ่งมีการเสียรูปจนถึง 62% ของระดับการเสียรูปสูงสุดของเสา ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มโดยรวมของการรับ การดูดซับพลังงานของทั้ง 2 วิธีนั้นค่อนข้างคล้ายคลึงกัน ในระยะเริ่มต้น ขนาดของภาระลดการทดสอบการเสียรูปและการจำลองเชิงตัวเลข เพื่อให้เสาเสียรูปนั้นเกือบจะเท่ากัน อย่างไรก็ตาม หลังจากการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นเริ่มต้นประมาณ 5 - 41 มม. ภาระการจำลองจะสูงกว่าการทดสอบการเสียรูป และค่านี้จะคงที่เกือบตลอดจนกว่าเสาจะถึงจุดการเสียรูปสูงสุด ในทางกลับกันความสามารถในการดูดซับพลังงานสะสมจะเพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นตรงตามการเสียรูปแบบของเสา [3,4]



รูปที่ 12 ผลเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบการเสียรูปและการจำลองเชิงตัวเลข ของเสาแบบ B ทรงกลม

การเปรียบเทียบรูปแบบการดูดซับพลังงาน-การเสียรูปที่ได้จากการทดสอบและการจำลองเชิงตัวเลขของเสาแบบ C เสาแปดเหลี่ยมมีระยะพิชชของหมุดย้ำ 150 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. หนา 2.3 มม. ประเมินได้จากกราฟในรูปที่ 13 โดยแผ่นด้านบน (แผ่นกด) จะประเมินโดยการผานพื้นที่ใต้เส้นโค้งการรับพลังงานจนสิ้นซึ่งมีการเสียรูปจนถึง 52% ของระดับการเสียรูปสูงสุดของเสา ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มโดยรวมของการรับ การดูดซับพลังงานของทั้ง 2 วิธีนั้นค่อนข้างคล้ายคลึงกัน ในระยะเริ่มต้น ขนาดของภาระลดการทดสอบการเสียรูปและการจำลองเชิงตัวเลข เพื่อให้เสาเสียรูปนั้นเกือบจะเท่ากัน อย่างไรก็ตาม หลังจากการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นเริ่มต้นประมาณ 12 - 39 มม. ภาระการจำลองจะสูงกว่าการทดสอบการเสียรูป และค่านี้จะคงที่เกือบตลอดจนกว่าเสาจะถึงจุดการเสียรูปสูงสุด ในทางกลับกันความสามารถในการดูดซับพลังงานสะสมจะเพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นตรงตามการเสียรูปแบบของเสา และลักษณะการเสียรูปของเสาภายใต้แรงกดซึ่งเป็นภาพเปรียบเทียบระยะยุบตัวระหว่างวิธีการทดสอบและวิธีการจำลองเชิงตัวเลข [3,4]

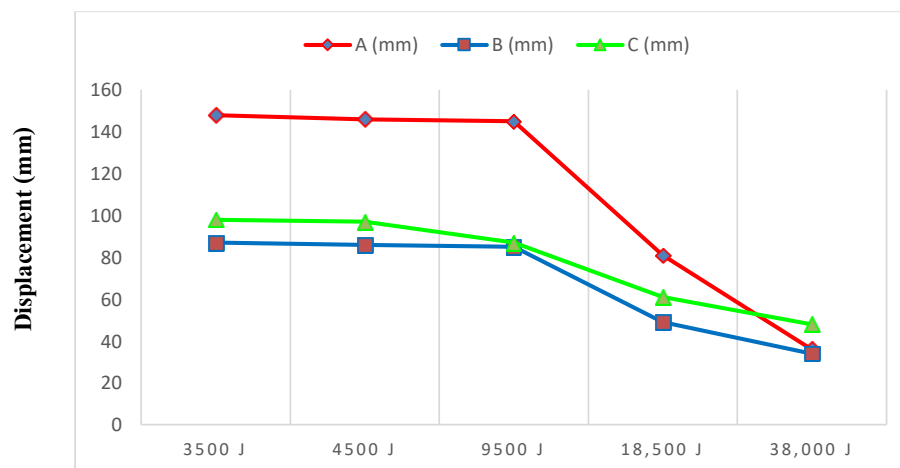


Energy absorbed (J)

รูปที่ 13 ผลเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบการเสียรูปและการจำลองเชิงตัวเลขของเสาแบบ C แปดเหลี่ยม ที่มีระยะพิชชของหมุดย้า 150 มม.

3.4 การเปรียบเทียบผลของการเสียรูประหว่างเสาแบบ A แปดเหลี่ยม เสาแบบ B ท่อกลม และเสาแบบ C แปดเหลี่ยมที่ต่อด้วยหมุดย้า

เพื่อตรวจสอบหาประสิทธิภาพของเสาแบบ A รูปทรงแปดเหลี่ยม จึงได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบการเสียรูปกับเสาแบบ B ท่อกลม และ เสาแบบ C แปดเหลี่ยมที่ต่อด้วยหมุดย้า เพื่อประเมินผลการรับพลังงานจลน์และการเสียรูปของเสาทั้ง 3 แบบ ในระหว่างการทดสอบได้พิจารณาท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกันและความหนาเท่ากัน โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของเสา เพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่มีค่าแรงดันในการกดทดสอบที่เท่ากัน ความสามารถในการดูดซับพลังงานเป็นตัวบ่งชี้อีกตัวหนึ่งในการวัดความสามารถในการเสียรูปของเสา โดยพลังงานนั้นประมาณเป็นพื้นที่ใต้เส้นโค้งการรับภาระและการเสียรูป



Energy absorbed (J)

รูปที่ 14 การเปรียบเทียบการเสียรูปของเสาแบบ A ทรงแปดเหลี่ยม เสาแบบ B ทรงกลม และเสาแบบ C ทรงแปดเหลี่ยมที่ต่อด้วยหมุดย้า

รูปที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับพลังงานระหว่างเสาแบบ A เสาแบบ B และเสาแบบ C ผลการทดสอบพบว่าเสาแบบ A แปดเหลี่ยมมีความสามารถในการดูดซับพลังงานได้สูงสุดในบรรดาเสาทั้ง 3 แบบ เสาแบบ B ท่อกลมมีความสามารถในการเสียรูปสูงเป็นอันดับสอง เหตุผลเบื้องหลังความแตกต่างในความสามารถในการเสียรูปก็คือการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิตโดยธรรมชาติอันเนื่องมาจากรูปร่างของเสา ผลการทดสอบแสดงให้เห็นชัดเจนว่าเสาแบบ A แปดเหลี่ยมสามารถใช้สำหรับการออกแบบสำหรับการกระแทกด้วยความเร็วสูงได้ ดังที่เห็นเพิ่มเติมในรูปที่ 14 เสาแบบ A ทรงแปดเหลี่ยม ($d_o = 150 \text{ mm}$, $t = 2.3 \text{ mm}$) มีความสามารถในการดูดซับพลังงานประมาณ 38.58 kJ ที่การเสียรูปของเสา คือ 76% ตัวอย่างเช่น ยานพาหนะที่มีมวล 2,000 กก. ที่วิ่งด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. มีพลังงานจลน์ 77.17 kJ คาดว่าพลังงานนี้จะถูกดูดซับโดยเสาและโครงสร้างของยานพาหนะเท่าๆ กัน ดังนั้นเสาที่จะออกแบบจะดูดซับพลังงาน 38.58 kJ ผลลัพธ์บ่งชี้ว่าเสาแบบ A ทรงแปดเหลี่ยมจะมีขนาดกะทัดรัดและคุ้มต้นทุนกว่ามาก [3,4,6,8]

4. สรุป

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับเสาดูดซับพลังงานที่ติดตั้งอยู่ริมถนนโดยใช้เสาแบบ A ทรงแปดเหลี่ยม เสาแบบ B ทรงวงกลม และเสาแบบ C ทรงแปดเหลี่ยมที่ใช้การต่อต้านด้วยหมุดยั่วที่มีระยะพิตช์ 150 มม. โดยการจำลองเชิงตัวเลข เพื่อตรวจสอบผลกระทบของรูปทรงต่างๆ ต่อการเสียรูปและความสามารถในการดูดซับพลังงานของเสาทั้ง 3 แบบ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการทดสอบการเสียรูปและการจำลองเชิงตัวเลขมีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเชิงตัวเลขมีความแม่นยำเพียงพอที่จะประมาณการการเสียรูปของเสาทั้ง 3 แบบ
2. การศึกษาเชิงพารามิเตอร์แสดงให้เห็นว่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้นและความหนาที่เท่ากันจะมีเปอร์เซ็นต์การเสียรูปที่แตกต่างกัน
3. สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาที่กำหนด พบว่าเสาแบบ A ทรงแปดเหลี่ยมมีความสามารถในการดูดซับพลังงานสูงสุด ดังนั้นจึงสามารถถือว่าเป็นตัวเลือกที่มีศักยภาพสำหรับการออกแบบเสาแบบขับเคลื่อนได้
4. ผลลัพธ์ของการเสียรูปของเสาเปรียบเทียบกับผลของการจำลองเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม ANSYS ปรากฏว่าอัตราค่าการประเมินของ ANSYS สูงกว่าการทดลองประมาณ 3% ซึ่งสมเหตุสมผล

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุเพื่อเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนน. (2024, October 15). สถิติข้อมูลผู้เสียชีวิตสะสม ประเทศไทย ปี 256 [Online]. Available: <https://www.thairsc.com/>
- [2] Wang Y G, Chen K M, Ci Y S, and Hu L W, "Safety Performance Audit for Roadside and Median Barriers Using Freeway Crash Records: Case Study in Jiangxi China," *Scientia Iranica*, vol. 18, 2011, pp. 1222-1230.
- [3] Mohammad Sharif Uddin, Jacob Quintel, Grad Zivkovic, "On the Design of Energy Absorbing Crash Buffers for High Speed Roadways," *Open Journal of Safety Science and Technology*, vol. 6, 2016, pp. 11-24.
- [4] M. S. Uddin, Nurul Amirah Shafie, Grad Zivkovic, "Hexagonal Hollow Tube Based Energy Absorbing Crash Buffers for Roadside Fixed Objects," *Materials Science and Engineering*, vol. 184, 2017, pp. 012038.
- [5] Stanislawek. S, Dziewulski. P, & Kedzierski. P, "Deterioration of Road Barrier Protection Ability Due to Variable Road Friction," *Int j simul model*. Vol. 18, 2019, pp. 432-440.
- [6] Pawel Baranowski and Krzysztof Damaziak, "Numerical Simulation of Vehicle-Lighting Pole Crash Tests: Parametric Study of Factors Influencing Predicted Occupant Safety Levels," *Materials*, vol. 14, 2021, pp. 2822.

- [7] Mahmoud T. Nawar, Mostafa E. Kaka, Ayman El-Zohairy, Osama Elhosseiny, Ibrahim T. Arafa, “Effect of Supporting Base System on the Flexural Behavior and Toughness of the Lighting GFRP Poles,” Sustainability. Vol. 14, 2022, pp. 12614.
- [8] Pawel Baranowski, Tomas Pasaulis, Robertas Peceliunas, Saugirdas Pukalskas, “Evaluation of the Energy Equivalent Speed of Car Damage Using a Finite Element Model,” Vehicles. Vol. 6, 2024, pp. 632–650.
- [9] กนกอร รจนากิจ, เมืองแก้ว ยุตัน, “การศึกษาคุณลักษณะทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของรอยเชื่อมโลหะที่ต่างกันระหว่างเหล็ก A335 P11 และ A312 TP304 ด้วยวิธีก๊าซทั้งสแตนอาร์ค,” วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม. ฉบับที่ 1, 2068, 50–62.