FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การวิเคราะห์ความแข็งแรงและความแข็งตึงของโครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์โดยเอเลเมนต์แบบคานที่มีจุดเชื่อมต่อแบบยืดหยุ่น

The Strength and Stiffness Analysis of Agricultural Truck Chassis using Finite Element Analysis by Flexible Joint Beam Element

จักรี วิชัยระหัด* วิภารัตน์ นิสาภัย กมลรักษ์ แก้งคำ วราภรณ์ จันทร์เวียง และ รัชวุธ สุทธิ

Jakkree Wichairahad*, Wiparat Nisapai, Kamonrak Kangkham, Waraporn Chanwiang and Ratchawoot Sutthi

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000

Production Engineering Program, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Chaiyaphum Rajabhat University, Mueng, Chaiyaphum, Thailand 36000

Received: 2 พ.ค. 62
Revised: 15 พ.ค. 62
Accepted: 25 พ.ค. 62

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการขนส่งผลผลิตทางการเกษตรด้วยรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรม (รย.15 หรือ รถอีแต๋น) ได้มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในประเทศไทย จากสถิติพบว่าจำนวนรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี งานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงและความแข็งตึงของโครงสร้างหลักรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ โดยเลือกรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมของอู่อนันต์การช่าง อำเภอจัตุรัส จังหวัดชัยภูมิ โดยทำการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของโครงฐานบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม และพิจารณาภายใต้สมมติฐานภาระกระทำแบบสถิตศาสตร์และสมบัติวัสดุแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น โดยเลือกใช้เอเลเมนต์แบบคานที่มีจุดเชื่อมต่อยืดหยุ่น ภาระที่กระทำต่อโครงสร้างเป็นภาระพื้นฐาน 4 รูปแบบ ได้แก่ ภาระการดัด ภาระการบิด ภาระกระทำในแนวยาวและภาระกระทำในแนว

ด้านข้าง ผลการศึกษาพบว่าค่าความเค้นเสียหายสูงสุดเกิดในกรณีภาระกระทำในแนวด้านข้างซึ่งมีค่าเท่ากับ 155.21 เมกกะพาสคัล และระยะการเสียรูปสูงสุดของโครงฐานในกรณีภาระดัดมีค่าเท่ากับ 5.65 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาค่าความแข็งตึงต่อการดัดและการบิดตัวของโครงฐาน พบว่ามีค่าเท่ากับ 20,462.83 นิวตันต่อมิลลิเมตร และ 4,700.44 นิวตัน-เมตรต่อองศา ตามลำดับ ท้ายที่สุดได้ทำการยืนยันความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมช่วยทางวิศวกรรมโดยเปรียบเทียบกับผลการทดสอบโครงสร้างทดสอบอย่างง่าย สำหรับการวิเคราะห์ความแข็งตึงบิด พบว่า ค่าความแข็งตึงบิดจะมีค่าความผิดพลาดร้อยละ 8.3 และ 0.6 เมื่อวิเคราะห์แบบจุดเชื่อมต่อแข็งเกร็งและแบบจุดเชื่อมต่อยืดหยุ่น ตามลำดับ ซึ่งการค้นคว้าวิจัยในทุกหัวข้อในครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์ในด้านของการเพิ่มความปลอดภัยของรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมเพื่อประโยชน์ต่อเกษตรกรสืบไป

คำสำคัญ : รถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรม รย.15 โครงฐาน ระเบียบวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ เอเลเมนต์แบบคานที่มีจุดเชื่อมต่อยืดหยุ่น

Abstract

Currently, agricultural transportation using agricultural truck plays crucial role in Thailand. Statistically, a number of the agricultural trucks are continually increased. This research therefore analyzes the strength and stiffness of agricultural truck chassis. The agricultural truck was selected by the a specific type of sample group, which is agricultural truck used by U-Anan Karnchang, Chatturat District, Chaiyaphum Province. The computer model of the chassis structure was created on the computer-aided engineering software. The analysis was considered under the assumption of the static structural and linear elastic material properties by using flexible joint beam-type elements. There are four types of basic load behavior consisted of bending, torsion, longitudinal, and lateral loads considered. The results of the study showed that the maximum stress was caused in the case of lateral load which was equal to 155.21 MPa. The maximum deformation of the chassis in the case of bending load was equal to 5.65 mm. The results of bending and torsion stiffness showed that the values were 20,462.83 N./mm and 4,700.44 N.m/deg, respectively. Finally, the simplified case study was employed to validate the result. The torsion stiffness value when compare with the experimental result of case study structure has 8.3 and 0.6 percent error when analyzing with rigid joints and flexible joints, respectively. The results of this research on all topics will be useful in increasing the safety of farmers' use.

Keywords : Agricultural Truck, Chassis, Finite Element Analysis, Flexible Joint Beam Element.

---

*ติดต่อ: jakreew@cpru.ac.th, โทรศัพท์ 081-266-2056

FEAT JOURNAL
January – June 2019 ; 5(1) : 35-48

1. บทนำ

รถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมตามภาพที่ 1 หรือรถอีแต๋น เป็นรถบรรทุกที่มีใช้อย่างมากในการขนส่งผลิตผลทางการเกษตรของประเทศไทย [1] ซึ่งได้รับการจัดประเภทจากกระทรวงคมนาคมให้เป็นรถยนต์ประเภทที่ 15 ที่สามารถจดทะเบียนจากกรมการขนส่งทางบกได้ [2] จากสถิติการจดทะเบียนรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ในการประกอบรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมนั้น ความแข็งแรงและความแข็งตึงของโครงสร้างเป็นสิ่งที่สำคัญและเป็นหัวข้อหนึ่งในการตรวจสอบเพื่อรับรองมาตรฐานเพื่อขอจดทะเบียน [3] ตาม มอก. 1315-2538 ข้อ 9.2.12 ความทนทานต่อการใช้งาน ซึ่งไม่ได้ระบุชัดเจนถึงเกณฑ์การตัดสินถึงความแข็งแรง ความแข็งตึงและเสถียรภาพของโครงสร้าง และงานวิจัยหรืองานทางวิชาการที่ศึกษาเจาะลึกเกี่ยวกับรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรม มีเพียงงานวิจัยของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (ศว.) [4] ซึ่งเน้นศึกษาในภาพรวมของการขอจดทะเบียนรถยนต์ประเภท รย.15 ส่วนงานวิจัยภายในประเทศไทยที่เจาะลึกถึงความแข็งแรงและความแข็งตึงของโครงสร้างรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรม มีงานวิจัยของจักรีและคณะ [5] ที่ได้ศึกษาวิจัยถึงความแข็งแรงและความแข็งตึงของโครงสร้างรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ แต่เป็นการวิเคราะห์แบบจุดเชื่อมต่อแข็งเกร็ง (Rigid Joint) มิใช่การวิเคราะห์แบบจุดเชื่อมต่อยืดหยุ่น (Flexible Joint)

(ก)

(ข)

ภาพที่ 1 โครงสร้างหลักของรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรม (ก) โครงฐานหรือแชสซี (ข) โครงสร้างกระบะบรรทุก

ในกระบวนการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยทางวิศวกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์นั้น การเลือกใช้เอเลเมนต์แต่ละชนิดก็จะมีข้อดี ข้อด้อยแตกต่างกันออกไป สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างรถบรรทุกนั้น เอเลเมนต์ที่นิยมเลือกใช้มี 3 ประเภทคือ เอเลเมนต์แบบพื้นผิว (Surface Element) เอเลเมนต์แบบคาน (Beam Element) และเอเลเมนต์แบบรวมระหว่างพื้นผิวและคาน (Mix Beam-Surface Element) ข้อดีของการใช้เอเลเมนต์แบบพื้นผิวในการวิเคราะห์โครงสร้างรถคือความแม่นยำในการวิเคราะห์

จากงานวิจัยที่ผ่านมา M.M.K. Lee. [6] พบว่าในการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ของโครงสร้างเหล็กกลวงนั้น การเลือกใช้เอเลเมนต์แบบพื้นผิวนั้นจะให้ผลการจำลองที่แม่นยำกว่าการใช้เอเลเมนต์แบบปริมาตร (Volume Element) อีกทั้ง L.P. Pey และคณะ[7] พบว่าเวลาในการประมวลผลของเอเลเมนต์แบบปริมาตรจะมากกว่าเอเลเมนต์แบบพื้นผิวถึง 10 เท่า สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างเหล็กกลวงที่มีความยาวมากกว่า 10 เท่าของหน้าตัดนั้น เอเลเมนต์แบบคานเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกที่นิยมใช้ เนื่องจากลดเวลาในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ประมาณ 1,000 เท่า เมื่อเทียบกับเอเลเมนต์แบบปริมาตร [8] และง่ายต่อการปรับแต่งหรือเปลี่ยนแปลงแบบจำลองมากกว่าการใช้เอเลเมนต์แบบพื้นผิว แต่เมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของการวิเคราะห์พบว่าการเลือกเอเลเมนต์แบบพื้นผิวจะให้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับการทดลองจริงมากกว่าแบบอื่น [9]

จากการปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวกับความแข็งแรงและความแข็งตึงของโครงสร้างรถบรรทุกในต่างประเทศจะสามารถสรุปได้คือ ในการศึกษาเกี่ยวกับค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในรถบรรทุกโดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะเบรกหรือเข้าโค้งซึ่งทำให้เกิดความเค้นสูงสุด Chinnaraj และคณะ [10] ได้วิเคราะห์โดยใช้วิธี quasi-static โดยใช้โปรแกรม ANSYS ทดแทนการวิเคราะห์แบบพลวัต (Dynamics) และเปรียบเทียบกับค่าความเค้นจากการวัดชิ้นงานจริง พบว่าค่าความเค้นจากการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์จะสูงกว่าค่าความเค้นจากการวัดชิ้นงานจริงด้วยสเตรนเกจ ในปี 2011 Ingole และ Bhope [11] ได้วิเคราะห์ความแข็งแรงของรถบรรทุกแบบ 4 ล้อ ขนาดบรรทุก 8 ตัน โดยเขียนแบบ 3 มิติด้วยโปรแกรม Pro-E และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS ผลการวิเคราะห์พบว่าในการวิเคราะห์แบบสถิตศาสตร์ค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 75 Mpa และในการวิเคราะห์แบบพลวัตค่าความเค้นสูงสุดจะเท่ากับ 150 Mpa โดยมีค่าความปลอดภัยในการออกแบบเท่ากับ 1.66 ในปี 2012 H. Kamal และคณะ [12] ได้วิเคราะห์โครงสร้างรถบรรทุก 6 ล้อ โดยวิเคราะห์แบบสถิตศาสตร์ใน 2 กรณีคือ ภาระการดัดและภาระการบิด ในขณะขึ้นเนินลูกระนาดแบบล้อข้างเดียวและขึ้นเนินลูกระนาดทั้ง 2 ล้อหน้า ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าความเค้นสูงสุดจะเกิดขณะขึ้นเนินลูกระนาดด้วยล้อข้างเดียว เนื่องจากผลของความเค้นบิด ต่อมา R. Chandra และคณะ [13] ได้วิเคราะห์ความแข็งแรงของรถบรรทุกยี่ห้อ TATA รุ่น 2515EX เพื่อพิจารณาลดต้นทุนโดยการเปรียบเทียบความแข็งแรงในการเลือกใช้วัสดุผสมเพื่อที่ใช้ผลิตโครงสร้างรถบรรทุก 3 ประเภท ได้แก่ Carbon/Epoxy, E-glass/Epoxy และ S-glass /Epoxy พบว่าวัสดุผสมทั้ง 3 ชนิดสามารถลดน้ำหนักและประหยัดต้นทุนภายใต้ข้อกำหนดเรื่องความแข็งแรงของรถบรรทุกยี่ห้อนั้น Hemant Patil และคณะ [14] ได้วิเคราะห์ความแข็งแรงของรถบรรทุกที่ใช้เหล็กรางน้ำรูปตัวซีมาผลิตเป็นโครงฐานโดยพิจารณาปรับขนาดความหนาและตำแหน่งของเหล็กด้านขวางที่ยึดโครงฐาน ผลจากการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์พบว่าการปรับขนาดความหนาของเหล็กรางน้ำรูปตัวซีจะสามารถลดค่าความเค้นสูงสุดได้ดีกว่าการปรับเลื่อนตำแหน่งของเหล็กด้านขวางที่ยึดโครงฐาน

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงและความแข็งตึงของโครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรม โดยเริ่มจากการสร้างแบบจำลองทาง

FEAT JOURNAL
January – June 2019 ; 5(1) : 35-48

คอมพิวเตอร์ของโครงสร้างรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรม หาข้อมูลน้ำหนักของชิ้นส่วนรถ น้ำหนักบรรทุกและขนาดการเปลี่ยนแปลงความเร่งที่โครงสร้างรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมเพื่อป้อนเป็นภาระในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ โดยเลือกใช้เอเลเมนต์แบบคานที่มีจุดเชื่อมต่อยืดหยุ่น ภายใต้ภาระพื้นฐาน 4 รูปแบบ โดยการใช้เทคนิควิเคราะห์บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยทางด้านวิศวกรรม ท้ายที่สุดจะได้ทำการศึกษาความสอดคล้องใกล้เคียงระหว่างผลการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบบนโครงสร้างอย่างง่าย เพื่อปรับปรุงและพัฒนาความถูกต้องแม่นยำของการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการวิจัยในอนาคต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในด้านของการเพิ่มความปลอดภัยของรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมเพื่อประโยชน์ต่อเกษตรกรสืบไป

2. วิธีการวิจัย

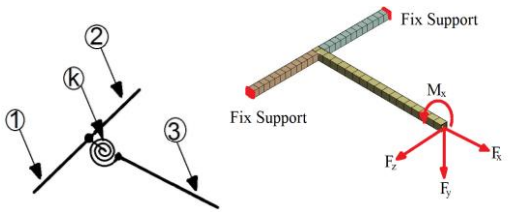
ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการปรับปรุงความถูกต้องแม่นยำของผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงและแข็งตึงของโครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรม จึงได้ทำการหาพารามิเตอร์ความแข็งตึงของจุดเชื่อมต่อ [9] ทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวแล้วจึงวิเคราะห์ความแข็งแรงและความแข็งตึงของโครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ทางวิศวกรรมแล้วจึงทดลองหาค่าความแข็งตึงของโครงสร้างอย่างง่ายเพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 พารามิเตอร์ความแข็งตึงที่จุดเชื่อมต่อแบบยืดหยุ่น (Flexible Joint Stiffness Parameter)

แบ่งเป็นพารามิเตอร์ความแข็งตึงต่อการเลื่อนตำแหน่งเชิงเส้น (k_{Li}) และความแข็งตึงต่อการบิด (k_{Ti}) ตามสมการที่ 1 และ 2 [9] เมื่อ i คือ แกน x y และ z ตามลำดับ F_i คือแรงที่กระทำ d_i คือผลต่างของระยะการเสียรูประหว่างผลจากการทดลองและผลจากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ M_i คือโมเมนต์บิด และ θ_i คือผลต่างของมุมบิดระหว่างผลจากการทดลองและผลจากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ตามภาพที่ 2 [15]

$$k_{Li} = F_i / d_i \quad (1)$$

$$k_{Ti} = M_i / \theta_i \quad (2)$$



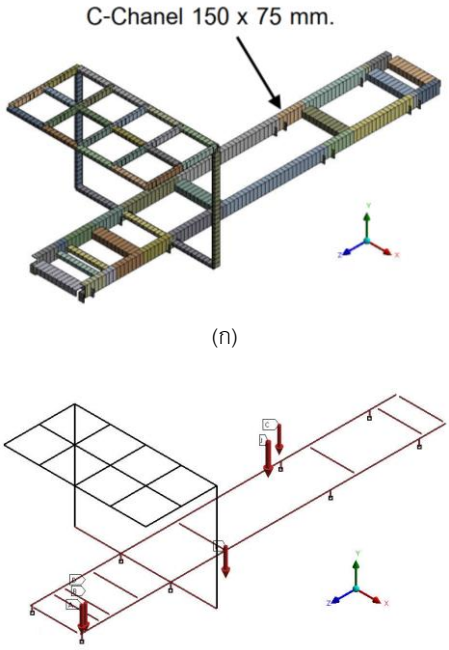
(ก) (ข)

ภาพที่ 2 [15] แบบจำลองโครงสร้างสำหรับการคำนวณค่าพารามิเตอร์ความแข็งตึงที่จุดเชื่อมต่อแบบยืดหยุ่น (ก) แนวคิดของแบบจำลอง (ข) การรับภาระแบบต่างๆ สำหรับใช้ในการคำนวณ

2.2 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของโครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรม

แบบจำลองไฟไนต์เอเลเมนต์โครงฐานของรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมรุ่นช้างจัมโบ้ ขนาดกว้าง 700 มิลลิเมตร ยาว 5,150 มิลลิเมตร ผลิตโดยอู่อนันต์การช่าง อำเภอจัตุรัส จังหวัดชัยภูมิ ได้ถูกสร้างขึ้นด้วย

โปรแกรมช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม โดยที่แบบจำลองดังกล่าวใช้เอเลเมนต์ประเภทคาน 3 มิติ และกำหนดหน้าตัดของโครงฐานดังแสดงตามภาพที่ 3



(ก)

(ข)

ภาพที่ 3 แบบจำลองโครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรม (ก) ลักษณะหน้าตัดและการแบ่งเอเลเมนต์ (ข) การรับภาระ กรณีภาระการดัด (Bending load case)

2.3 สมบัติของวัสดุและการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาสมมติฐานวัสดุที่ใช้ในแบบจำลองให้มีลักษณะสมบัติแบบยืดหยุ่นเชิงเส้นและเท่ากันทุกทิศทาง โดยมีค่าความเค้นครากเท่ากับ 245 เมกกะปาสคัล ยังโมดูลัสเท่ากับ 199 กิกกะพาสคัล อัตราส่วนพัวซองเท่ากับ 0.3 [16] โดยมุ่งเน้นศึกษาวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมภายใต้ภาระพื้นฐานรูปแบบต่างๆ โดยมีรายละเอียดการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตดังนี้ [17, 18]

1) กรณีภาระการดัด (Bending load) ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของภาระการดัดจะพิจารณาน้ำหนักบรรทุก น้ำหนักเครื่องยนต์ น้ำหนักแผงควบคุมด้านหน้าหรือคอนโซล น้ำหนักคนขับ น้ำหนักระบบส่งกำลังระบบกันสะเทือน และน้ำหนักโครงฐาน โดยพิจารณาให้โครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมมีลักษณะคล้ายคานที่มีการรองรับแบบอย่างง่าย

2) กรณีภาระการบิด (Torsion load) สำหรับเงื่อนไขขอบเขตกรณีภาระการบิดจะทำการพิจารณาให้แบบจำลองโครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมถูกกระทำด้วยโมเมนต์บิดรอบแกนในแนวยาวด้วยระยะยกที่ซุ้มล้อด้านหน้าขวา 200 มิลลิเมตร

3) กรณีภาระกระทำในแนวยาว (Longitudinal load) กำหนดให้แบบจำลองโครงฐานถูกกระทำด้วยความเร่งหรือความหน่วง เท่ากับ 0.75 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก ในทิศทางแนวยาวของโครงสร้างรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรม

4) ภาระที่กระทำในแนวด้านข้าง (Lateral load) ทำการวิเคราะห์ด้วยการกำหนดให้ความเร่งกระทำกับโครงฐานในทิศทางด้านข้างเท่ากับ 0.5 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก

ทั้งนี้ จากการสำรวจข้อมูลจากผู้ประกอบการ จึงได้กำหนดภาระ (Load) ที่กระทำกับโครงฐานประกอบด้วยน้ำหนักบรรทุก 98,100 นิวตัน น้ำหนักเครื่องยนต์ 480 นิวตัน น้ำหนักแผงควบคุมด้านหน้า

FEAT JOURNAL
January – June 2019 ; 5(1) : 35-48

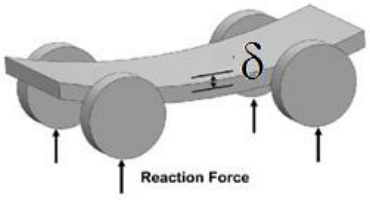
หรือคอนโซล 1,412 นิวตัน น้ำหนักคนขับ 637 นิวตัน น้ำหนักระบบส่งกำลัง และระบบกันสะเทือน 5,886 นิวตัน และน้ำหนักโครงฐาน 9,100 นิวตัน ตามภาพที่ 3 (ข)

2.4 ความเค้นเสียหายและความแข็งตึง

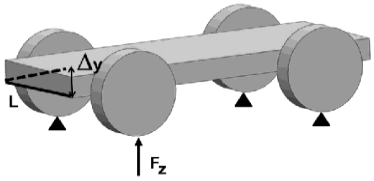
การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงฐานจะพิจารณาจากค่าความเค้นรวมสูงสุดในกรณีภาระรูปแบบต่างๆ ในขณะที่ค่าความแข็งตึงของโครงฐานจะพิจารณาจาก 2 กรณี [17, 18] ตามภาพที่ 4 คือ ความแข็งตึงต่อการดัด (Bending Stiffness, K_B) และความแข็งตึงต่อการบิด (Torsion Stiffness, K_T) โดยที่สามารถพิจารณาได้จากอัตราส่วนระหว่างภาระที่กระทำต่อระยะการเสียรูปหรือมุมบิดดังแสดงตามสมการที่ 3 และ 4 เมื่อ W คือ ภาระรวม T คือ โมเมนต์บิด δ คือ ระยะการเสียรูป θ คือ มุมบิด

$$K_B = W / \delta \quad (3)$$

$$K_T = T / \theta \quad (4)$$



(ก)



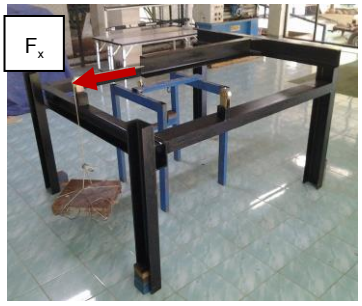
(ข)

ภาพที่ 4 โครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมเมื่อรับภาระ สำหรับหาค่าความแข็งตึง (ก) ความแข็งตึงดัด (ข) ความแข็งตึงบิด

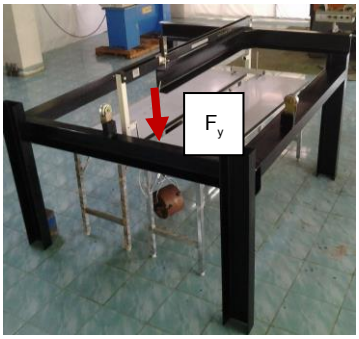
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ค่าพารามิเตอร์ความแข็งตึงของจุดเชื่อมต่อแบบยืดหยุ่น

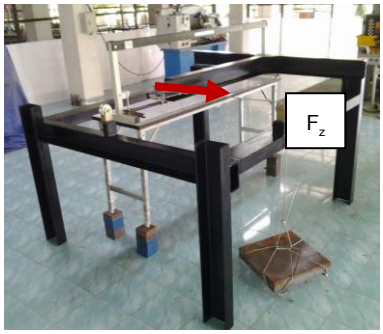
เหล็กรางน้ำขนาด 150 x 75 มิลลิเมตร สำหรับทำโครงฐาน ได้ถูกนำมาเชื่อมเพื่อรับภาระในแนวแกนและภาระโมเมนต์บิด แล้วจึงวัดค่าการเสียรูปเพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ความแข็งตึงของจุดเชื่อมต่อแบบยืดหยุ่น ตามภาพที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบผลต่างของการเสียรูประหว่างผลจากการทดลองกับการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์แบบจุดเชื่อมต่อแข็งเกร็งจะสามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ความแข็งตึงของจุดเชื่อมต่อแบบยืดหยุ่นได้ตามตารางที่ 1 และ 2



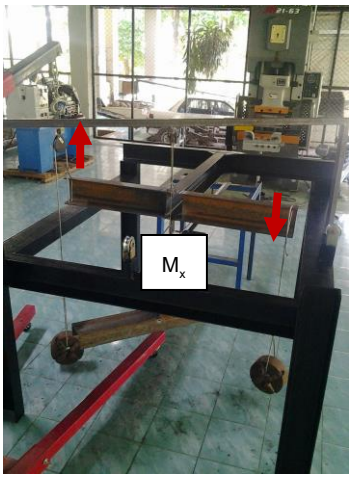
(ก)



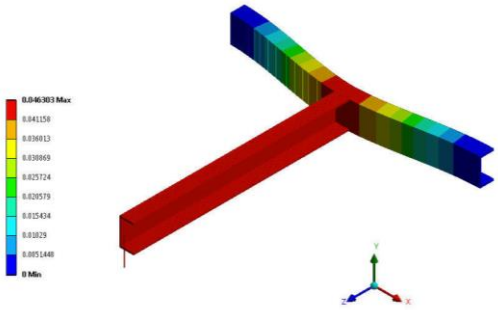
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 5 การทดลองหาค่าการเสียรูปของชิ้นงานจริงรูปตัวที สร้างจากเหล็กรางน้ำหน้าตัด 150 x 75 มิลลิเมตร (ก) รับภาระในแนวแกน X (ข) รับภาระในแนวแกน Y (ค) รับภาระในแนวแกน Z (ง) รับภาระโมเมนต์บิดรอบแนวแกน X (จ) การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ขณะรับภาระในแนวแกน X

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่จุดเชื่อมต่อแบบยืดหยุ่นทั้ง 6-DOF ไปป้อนและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยวิเคราะห์แบบจุดเชื่อมต่อยืดหยุ่นจะได้ค่าการเสียรูปและค่าความผิดพลาดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ความแข็งตึงเชิงเส้นของจุดเชื่อมต่อแบบยืดหยุ่น

	X	Y	Z
Experimental Deformation (mm)	0.10	1.12	0.37
Rigid joint FEA. Deformation (mm)	0.04	1.0651	0.093
d (mm)	0.06	0.0549	0.277
F (N)	843	255	843
k_L (N/mm)	14,061	4,646	3,046

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ความแข็งตึงบิดของจุดเชื่อมต่อแบบยืดหยุ่น

	X	Y	Z
Experimental Twist Angle (Degree)	2.4226	0.1788	1.3748
Rigid joint FEA. Twist Angle (Degree)	2.301	0.1053	1.2874
θ_i (Degree)	0.1217	0.0735	0.0874
M_i (N.mm)	154,949	987,082	298,420
k_T (N.mm/Deg_i)	1,273,657	13,419,218	3,414,765

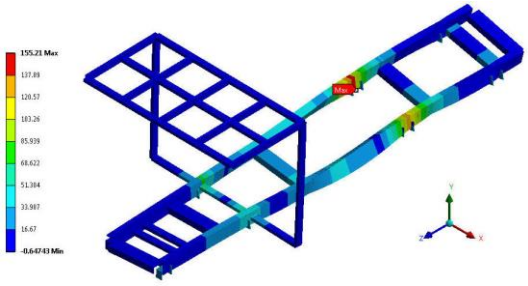
FEAT JOURNAL
January – June 2019 ; 5(1) : 35-48

ตารางที่ 3 ค่าการเสียรูปของโครงสร้างรูปตัวทีและค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลอง

Deformation of T-junction			
Load	Experimental	Rigid joint FEA. (value, %error)	Flexible joint FEA. (value, %error)
Linear X	0.1 mm	0.04 mm, 60 %	0.1036 mm, 3.63 %
Linear Y	27.6 mm	25.845 mm, 6.36 %	27.526 mm, 0.27 %
Linear Z	3.59 mm	2.1136 mm, 41.13 %	3.962 mm, 10.36 %
Torsion X	2.42 °	2.301 °, 5.02 %	2.389 °, 1.39 %

3.2 ความแข็งแรงของโครงฐาน

หลังจากสร้างแบบทางวิศวกรรม 3 มิติเสร็จเรียบร้อยแล้ว ได้นำแบบทางวิศวกรรมเข้าสู่การจำลองและวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางวิศวกรรม ในกระบวนการแบ่งโครงสร้างออกเป็นเอเลเมนต์ย่อยนั้น (Meshing) ได้แบ่งโครงฐานออกเป็น 583 element 1,167 node และป้อนค่าความแข็งตึงที่จุดเชื่อมต่อแบบยืดหยุ่นแล้ว จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมโดยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางวิศวกรรม ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ โดยพิจารณาค่าความเค้นสูงสุด เมื่อโครงสร้างรับภาระพื้นฐานทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อรับภาระกระทำในแนวด้านข้างตามภาพที่ 6 มีค่า 155.21 เมกกะพาสคัล ส่วนค่าความเค้นที่เกิดขึ้นขณะรับภาระแบบต่างๆ และค่าความปลอดภัย จะแสดงในตารางที่ 4



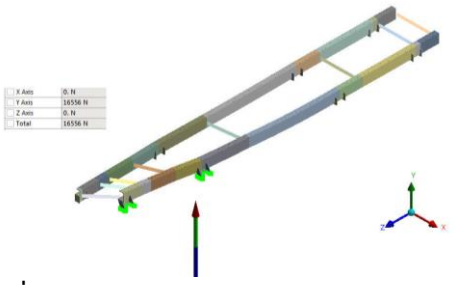
ภาพที่ 6 การกระจายความเค้นของโครงฐาน เมื่อรับภาระกระทำในแนวด้านข้าง

ตารางที่ 4 ค่าความเค้นสูงสุดและค่าความปลอดภัยของโครงฐานขณะรับภาระแบบต่างๆ

Load	Max. Stress (MPa)	Safety Factor
1. Bending	120.57	2.03
2. Torsion	84.53	2.90
3. Longitudinal	96.08	2.55
4. Lateral	155.21	1.58

3.3 ผลการวิเคราะห์ความแข็งตึงของโครงฐาน

ความแข็งตึงของโครงฐานหรือความต้านทานการเสียรูปของโครงฐาน จะวิเคราะห์แบบจุดเชื่อมต่อยืดหยุ่น โดยวิเคราะห์ 2 ประเภท คือ ความแข็งตึงดัดและความแข็งตึงบิด ตามสมการที่ 3 และ 4 ซึ่งค่าความแข็งตึงของโครงฐานจะแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับค่าความแข็งตึงบิด

ตารางที่ 5 ค่าความแข็งตึงของโครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรม

Bending Stiffness	
Load (N)	115,615.00
Deformation (mm)	5.65
Bending Stiffness (N/mm)	20,462.83
Torsion Stiffness	
Load (N)	16,556.00
Span (m)	1.80
Torque (N-m)	29,800.80
Twist Angle (Degree)	6.34
Torsion Stiffness (N-m/Deg)	4,700.44

3.4 การเปรียบเทียบค่าความแข็งตึงบิดระหว่างการทดสอบโครงสร้างอย่างง่ายกับผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยทางวิศวกรรม

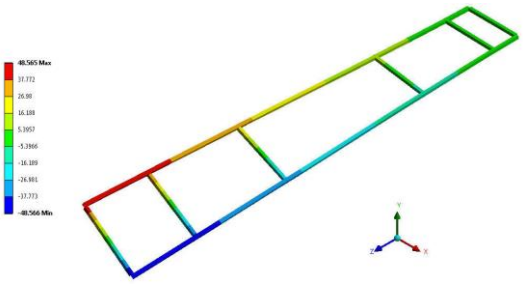
การทดลองวัดค่ามุมบิดของโครงสร้างอย่างง่ายเพื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมช่วยทางวิศวกรรม แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของโครงสร้างอย่างง่ายที่ทำจากเหล็กกล่องขนาดหน้าตัด 35x35 มิลลิเมตร หนา 1.4 มิลลิเมตร ประกอบเป็นโครงสร้างขนาดเท่ากับโครงฐานของรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมคือ กว้าง 700 มิลลิเมตร ยาว 5,150 มิลลิเมตร ตามภาพที่ 8 โดยวิเคราะห์ให้จุดปลาย (Support) 2 ด้าน (เปรียบเสมือนล้อหลัง) เป็นแบบยึดแน่น โครงสร้างจะรับภาระ (Load) เป็นโมเมนต์บิดโดยใช้แผ่นเหล็กน้ำหนัก 431 นิวตัน ถ่วงที่มุมของโครงสร้าง 2 มุม (เสมือนล้อหน้า) เพื่อให้เกิดโมเมนต์บิดกระทำบนโครงสร้าง แล้ววิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์โดยวิเคราะห์ 2 กรณีคือ แบบจุดเชื่อมต่อแข็งเกร็ง และแบบจุดเชื่อมต่อยืดหยุ่น ซึ่งได้ดำเนินการหาค่าพารามิเตอร์ความแข็งตึงของจุดเชื่อมต่อแบบยืดหยุ่นตามภาพที่ 9 แล้วจึงเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองโครงสร้างจริง

ภาพที่ 8 โครงสร้างสำหรับทดลองวัดค่ามุมบิดเพื่อหาค่าความแข็งตึงบิด

ภาพที่ 9 โครงสร้างรูปตัวที สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ความแข็งตึงของจุดเชื่อมต่อแบบยืดหยุ่น

FEAT JOURNAL
January – June 2019 ; 5(1) : 35-48

เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์แบบจุดเชื่อมต่อยืดหยุ่น โดยป้อนค่าพารามิเตอร์ความแข็งตึงที่จุดเชื่อมต่อแบบยืดหยุ่นแล้ววิเคราะห์การเสียรูปเมื่อรับภาระโมเมนต์บิด จะได้ผลตามภาพที่ 10 และสามารถเปรียบเทียบค่าความแข็งตึงต่อการบิดของโครงสร้างอย่างง่ายได้ผลดังตารางที่ 6



ภาพที่ 10 ผลการวิเคราะห์มุมบิดเมื่อรับภาระโมเมนต์บิด โดยวิเคราะห์แบบจุดเชื่อมต่อยืดหยุ่น

3.5 อภิปรายผล

จากผลการวิจัยจะพบว่า สมบัติที่จะส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมคือค่าความเค้นและค่าความแข็งตึง ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ เมื่อนำค่าความเค้นที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณหาค่าความปลอดภัย (Safety Factor) พบว่า ค่าความปลอดภัยต่ำสุดของโครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมที่รับภาระทั้ง 4 ชนิดนั้น ค่าที่ต่ำสุดเท่ากับ 1.58 ซึ่งไม่ต่ำกว่าค่าที่แนะนำจากการปริทัศน์วรรณกรรม สำหรับรถบรรทุกและรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมค่าความปลอดภัยที่แนะนำคือมากกว่า 1.5 [19, 20] ส่วนค่าความแข็งตึงของโครงฐานซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ค่าความแข็งตึงดัดและค่าความแข็งตึงบิด พบว่าค่าความแข็งตึงดัดที่น้อยที่สุดมีค่ามากกว่าค่าที่แนะนำจากการปริทัศน์วรรณกรรม คือไม่ต่ำกว่า 3,000 นิวตันต่อมิลลิเมตร ส่วนค่าความแข็งตึงบิดนั้นก็มีค่ามากกว่าค่าที่แนะนำจากการปริทัศน์วรรณกรรม คือไม่ต่ำกว่า 4,000 นิวตันเมตรต่อองศา [21] ค่าความแข็งตึงบิดของโครงฐานอาจจะทำให้เพิ่มได้โดยพิจารณาเพิ่มจำนวนชิ้นส่วน (Member) ในแนวตามขวาง

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าความแข็งตึงบิด ของโครงสร้างอย่างง่าย

	Torsion Stiffness		
	Experimental	Rigid joint FEA.	Flexible joint FEA.
Load (N)	431	431	431
Span (m)	0.7	0.7	0.7
Torque(N-m)	301.7	301.7	301.7
Twist angle (Degree)	7.85	7.25	7.90
K_T (Nm/degree)	38.43	41.62 (Error 8.3%)	38.20 (Error 0.6%)

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงและความแข็งตึงของโครงฐานรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรม ของอู่อนันต์การช่าง อำเภอจัตุรัส จังหวัดชัยภูมิ โดยทำการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของโครงฐานบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม และพิจารณาภายใต้สมมติฐานภาระกระทำแบบสถิตศาสตร์และสมบัติวัสดุแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น โดยเลือกใช้เอเลเมนต์แบบคานที่มีจุดเชื่อมต่อแบบยืดหยุ่น สำหรับการศึกษาและวิเคราะห์ความแข็งแรงและความแข็งตึงนั้น ภาระ

ที่กระทำต่อโครงสร้างเป็นภาระพื้นฐาน 4 รูปแบบ ได้แก่ ภาระการดัด ภาระการบิด ภาระกระทำในแนวยาวและภาระกระทำในแนวด้านข้าง ผลการศึกษาพบว่าค่าความเค้นเสียหายสูงสุดเกิดในกรณีภาระกระทำในแนวด้านข้างซึ่งมีค่าเท่ากับ 155.21 เมกกะพาสคัล และระยะการเสียรูปสูงสุดของโครงฐานในกรณีภาระดัดมีค่าเท่ากับ 5.65 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาค่าความแข็งตึงต่อการดัดและการบิดตัวของโครงฐาน พบว่ามีค่า 20,462.83 นิวตันต่อมิลลิเมตร และ 4,700.44 นิวตัน-เมตรต่อองศา ตามลำดับ

ท้ายที่สุดได้ทำการยืนยันความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมช่วยทางวิศวกรรมโดยเปรียบเทียบกับผลการทดสอบโครงสร้างอย่างง่าย พบว่า สำหรับการวิเคราะห์ความแข็งตึงบิด เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับการทดลองบิดโครงสร้างจริง พบว่า เมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมช่วยทางวิศวกรรม แบบจุดเชื่อมต่อแข็งเกร็ง ผลการวิเคราะห์ความแข็งตึงบิดจะมีค่าความผิดพลาดถึงร้อยละ 8.3 ในขณะที่ผลจากการวิเคราะห์แบบจุดเชื่อมต่อยืดหยุ่น จะมีค่าความผิดพลาดเพียงร้อยละ 0.6 ซึ่งการค้นคว้าวิจัยในทุกหัวข้อในครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์ในด้านของการเพิ่มความปลอดภัยของรถบรรทุกใช้งานเกษตรกรรมเพื่อประโยชน์ต่อเกษตรกรสืบไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ งบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2561 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ และอู่อนันต์การช่าง อำเภอจัตุรัส จังหวัดชัยภูมิ ที่สนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์และวัสดุชิ้นงานทดลองสำหรับงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมขนส่งทางบก. (2557). ข้อมูลสถิติจำนวนรถที่จดทะเบียนสะสมทั่วประเทศ ถึง วันที่ 31 ธันวาคม 2557 [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2558]. เข้าถึงได้จาก: http://apps.dlt.go.th/statistics_web/vehicle.html

[2] กฎกระทรวงฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2525) ออกตามความในพระราชบัญญัติรถยนต์ พ.ศ. 2522 (2525, 11 พฤษภาคม). ราชกิจจานุเษกษา. เล่ม 99 ตอนที่ 65., หน้า 72-5.

[3] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2093 (พ.ศ. 2538) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม รถใช้งานเกษตรกรรม: รถขนส่งเกษตร. (2538, 26 ธันวาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 112 ตอนที่ 103ง. หน้า 63-80.

[4] ฝ่ายบริหารคลัสเตอร์และโปรแกรมวิจัย และฝ่ายนโยบายกลยุทธ์คลัสเตอร์และโปรแกรมวิจัย. เอกสารข้อเสนอเชิงนโยบาย แนวทางการจดทะเบียนรถอเนกประสงค์เพื่อการใช้งานเกษตรกรรมของประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2554.

FEAT JOURNAL
January – June 2019 ; 5(1) : 35-48

[5] Wichairahad J, Kaewsarn P, Nisapai W, Tan-Intara-Art S, Chanwiang W .The strength analysis of an agriculture truck chassis using finite element method. KKU ENGINEERING JOURNAL. 2016; 43(S2): 267-70.

[6] Lee MMK. Strength Stress and Fracture Analyses of Offshore Tubular Joints using Finite Elements. Journal of Constructional Steel Research. 1999; 51: 265-86.

[7] Pey LP, Soh AK and Soh CK. Partial implementation of compatibility conditions in modeling tubular joints using brick and shell elements. Finite Elements in Analysis and Design. 1995; 20: 127-38.

[8] Stigliano G, Mundo D, Donders S, Tamarozzi T. Advanced Vehicle Body Concept Modeling Approach Using Reduced Models of Beams and Joints. Proceedings of International Conference on Noise and Vibration Engineering 2010: 4179-90

[9] Alcala E, Badea F, Martin A, Aparicio F. Methodology for the accuracy improvement of FEM beam type T-junctions of buses and coaches structures. International Journal of Automotive Technology. 2013; 14(5): 817-27.

[10] Chinnaraj K, Sathya Prasad M, Lakshmana R C. Experimental Analysis and Quasi-Static Numerical Idealization of Dynamic Stresses on a Heavy Truck Chassis Frame Assembly. Applied Mechanics and Materials. 2008;13-14: 271-80.

[11] Ingole NK, Bhope DV. Stress analysis of tractor trailer chassis for self weight reduction. International Journal of Engineering Science and Technology . 2011;3(9): 7218-25.

[12] Kamal Asker H, Salih Dawood T, Fawzi Said A. Stress Analysis of standard Truck Chassis during ramping on Block using Finite Element Method. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2012;7(6): 641-48.

[13] Ravi Chandra M, Sreenivasulu S, Altaf H S. Modeling and Structural analysis of heavy vehicle chassis made of polymeric composite material by three different cross sections. International Journal of Modern Engineering Research. 2012; 2(4): 2594-600.

[14] Patil BH, Kachave SD, Deore ER. Stress Analysis of Automotive Chassis with Various Thicknesse. IOSR Journal of

Mechanical and Civil Engineering. 2013;6(1): 44-9.

[15] Rooppakhun S, Wichairahad J. The Strength Analysis of a Bus Superstructure Based on the Accuracy Improvement of T-Junction Flexible Joint Stiffness. International Journal of Engineering & Technology. 2018; 7(3.24): 62-7.

[16] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2194 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง แก้ไขมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน (แก้ไขครั้งที่ 1). (2539, 19 กันยายน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 113 ตอนที่ 87ง. หน้า 35-40.

[17] Brown JC, Robertson AJ, Serpento ST. Motor Vehicle Structures: Concepts and Fundamentals, ISBN: 07506- 5134-2, Butterworth-Heinemann, Oxford; 2002.

[18] Smith JH. An Introduction to Modern Vehicle Design. ISBN: 07506-5044-3, Butterworth-Heinemann, Oxford; 2002.

[19] Vidosic JP. Machine Design Project. Ronald Press, New York; 1957.

[20] Kurdi O, Rahman R, Tamin MN. Stress analysis of heavy duty truck chassis using finite element method. Proceedings of the 2 nd Regional Conference on Vehicle Engineering & Technology. 2008 July 15-17; Kuala Lumpur, Malaysia.

[21] Murali G, Subramanyam B, Naveen D. Design Improvement of a Truck Chassis based on Thickness. Proceedings of Altair Technology Conference. 2013, India.