

**การออกแบบการจับยึดคัสซีและตัวถังรถโดยสาร
ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และ Taguchi method
Design for the assembly of chassis and bus body
Using finite element and Taguchi method**

ปิยพรดิ ชูช่วย¹, สุรังสี เดชเจริญ²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาชื่น 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
¹piyapat.chu@gmail.com, ²surangsee.d@eng.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

ตามประกาศของกรมขนส่งทางบกโดยรถโดยสารที่มีความสูงเกิน 3.6 m ต้องทำการทดสอบเอียง 30 องศาเพื่อให้ผ่านเกณฑ์ความปลอดภัย จากการทดสอบจะสังเกตเห็นว่าคัสซีและตัวถังเอียงตัวไม่เท่ากัน โดยตัวถังจะเอียงตัวไปมากกว่าคัสซีประมาณ 5 องศา เพราะลักษณะการจับยึดไม่เหมาะสม จึงต้องมีการศึกษาการเสริมความแข็งแรงให้กับคัสซีประเภทก้างปลา โดยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์และใช้การทดลองแบบทากูชิช่วยหาหลักการเสริมความแข็งแรงที่ดีที่สุดและลดจำนวนการทดลองลง โดยเริ่มจากการศึกษาความสามารถในการเสริมความแข็งแรงเบื้องต้นของตัวเสริมความแข็งแรง 3 ชนิดคือ ตัวเสริมด้านข้าง ตัวเสริมด้านบนและตัวเสริมด้านล่าง พบว่าเมื่อเสริมความแข็งแรงด้วย Square tube ทำให้คัสซีมีระยะยุบตัวน้อยที่สุด จากนั้นทำการทดลองหาหลักการเสริมความแข็งแรงที่ดีที่สุดด้วย Taguchi method (L9) จำนวน 4 ตัวแปร 3 ระดับ ได้แก่ ความสูงท่อสี่เหลี่ยม มุมเอียงท่อ(องศา) รูปแบบตัวเสริมความแข็งแรงด้านข้าง เหล็กแผ่นพับ จากการทดลองตัวแปรที่มีผลต่อระยะยุบตัวมากที่สุดได้แก่ หน้าตัดท่อสี่เหลี่ยม, ความยาวของตัวเสริมด้านบน, รูปร่างตัวเสริมด้านข้าง, มุมเอียงของท่อสี่เหลี่ยมตามลำดับ และตัวแปรที่มีผลต่อความเค้นมากที่สุดได้แก่ หน้าตัดท่อสี่เหลี่ยม, ความยาวของตัวเสริมด้านบน, มุมเอียงของท่อสี่เหลี่ยม, รูปร่างตัวเสริมด้านข้าง จากนั้นใช้หลักการ Taguchi method ในการคำนวณหาการออกแบบที่ดีที่สุดเกิดระยะยุบตัวน้อยที่สุดคือกรณีที่ 26 ได้แก่ หน้าตัดท่อสี่เหลี่ยม 100x100x5 มม.ตัดท่อ 90 องศา, ตัวเสริมด้านข้างชนิด Perpendicular plate, ขนาดตัวเสริมด้านบน 100x67x5

คำหลัก: ระยะยุบตัว, ความเค้น, ทากูชิ,

1. บทนำ

จากข่าวที่พบบ่อยบ่อยครั้งเกี่ยวกับรถโดยสารพลิกคว่ำ ทำให้เกิดความสูญเสียแก่ชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน สาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุคือการทรงตัวของรถโดยสาร กรมการขนส่งทางบกจึงได้ออกประกาศให้รถโดยสารที่มีความสูงเกิน 3.6 เมตรต้องผ่านการทดสอบเอียง 30 องศา ทำการทดสอบนำรถโดยสารไปขึ้นบนแท่นทดสอบจากนั้นเอียงไปแท่นทดสอบไปจนกระทั่งได้มุม 30 องศาถ้ารถโดยสารทั้งสี่ยังติดอยู่กับพื้นแท่นทดสอบถือว่าผ่านการทดสอบการทรงตัว จากการทดสอบพบว่า ตัวถังรถโดยสารเอียงตัวไปมากกว่าคัสซี 5 องศา ดังรูปที่ 1 เกิดจากการจับยึดที่ไม่เหมาะสม ซึ่ง

เป็นลักษณะการจับยึดแบบก้างปลาส่วนการจับยึดแบบอื่นเช่นสอดแทรกและวางพาดตัวถังและคัสซีมุมเอียงต่างกันไม่มาก งานวิจัยนี้จึงได้เก็บข้อมูลลักษณะการจับยึด ลักษณะตัวเสริมความแข็งแรงที่ใช้ทั่วไป มาออกแบบการเสริมความแข็งแรงที่ดีที่สุดให้กับคัสซีก้างปลาโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการจำลองหาค่าระยะยุบตัวและค่าความเค้นที่เปลี่ยนไปเมื่อเสริมความแข็งแรงด้วยลักษณะต่างๆ จากนั้นหาการออกแบบที่ดีที่สุดโดยใช้การทดลองแบบทากูชิเพื่อลดจำนวนการทดลองลง และยังช่วยวิเคราะห์หาผลกระทบตัวเสริมความแข็งแรงที่ส่งผลต่อระยะยุบตัวและค่าความเค้นของคัสซีก้างปลา

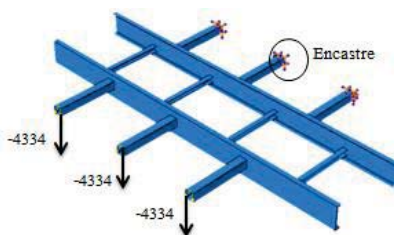


รูปที่ 1 การทดสอบเบี่ยงรถโดยสารตามประกาศกรมขนส่งทางบก

2. การสร้างแบบจำลองในไฟไนต์เอลิเมนต์ของการยกเบียง 30 องศา

การจับยึดแบบก้ำงปลาทำให้เกิดปัญหาการเอียงตัวของตัวถังมากที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จะนำคัสซีแบบก้ำงปลา มาปรับปรุงโดยเสริมตัวเสริมความแข็งแรงเพื่อเสริมความแข็งแรงของคัสซีทำให้ตัวถังเอียงตัวน้อยลง

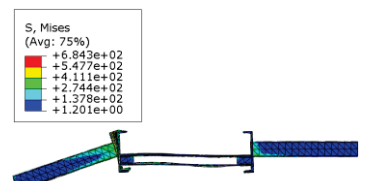
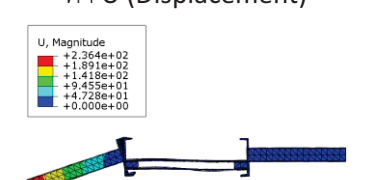
การหาระยะยุบตัวและความเค้นของคัสซีก้ำงปลา ก่อนเสริมความแข็งแรงจะใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการจำลอง โดยเริ่มจากการเขียน cad 3d ตามขนาดจริงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากนั้นนำไปจำลองในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์หาระยะยุบตัวและความเค้นของคัสซีก้ำงปลา โดยกำหนดชนิดวัสดุเกรด AISI 1035 ค่ายังโมดูลัสเท่ากับ 210000 ค่าความหนาแน่น 7.8E-6 ค่าปัวซองเรโซ(v)เท่ากับ 0.3 ค่า Yield stressเท่ากับ 285 MPa และค่าการรับแรงสูงสุด Ultimate stress 585 MPa กำหนดคู่สัมผัสโดยให้คัสซีแต่ละชิ้นส่วนยึดกันแบบติดแน่น Tie เนื่องจากแต่ละชิ้นส่วนของคัสซียึดกันโดยการเชื่อม กำหนดเงื่อนไขขอบโดยจำลองให้เหมือนกับการทดสอบเบียงโดยกำหนดให้น้ำหนักตัวถังเฉลี่ยลงคานข้างเดียวทั้ง 3 คานเท่ากับ -4334 kg แล้วตรึงอีกข้างหนึ่งไว้ Encastré ดังรูปที่ 2 จากนั้นทำการกำหนดเอลิเมนต์



รูปที่ 2 การกำหนดเงื่อนไขขอบ

Mesh โดยกำหนดขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 44 เท่ากันทั้งคัสซี ทำการคำนวณด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์แล้ววิเคราะห์ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลจำลองการยุบตัวและความเค้นของคัสซีก้ำงปลา

คัสซี	ความเค้นStress (MPa)/ ระยะยุบตัวDisplacement(mm)
ก้ำงปลา	ค่า S (Stress)  S, Mises (Avg: 75%) +6.843e+02 +5.477e+02 +4.111e+02 +2.744e+02 +1.378e+02 +1.201e+00
	ค่า U (Displacement)  U, Magnitude +2.264e+02 +1.891e+02 +1.418e+02 +9.455e+01 +4.728e+01 +0.000e+00

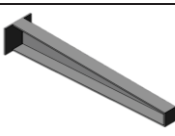
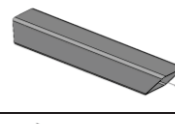
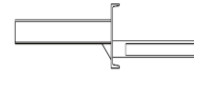
จากผลการจำลองความสามารถในการรับแรงของคัสซีรถโดยสารจับยึดแบบก้ำงปลาด้วยระยะเบียงไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่ามีระยะยุบตัวเท่ากับ 236.4 mm และความเค้นเท่ากับ 684 MPa จากผลไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถนำไปคำนวณหามุมเอียงได้ 5.89 องศาโดยมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ 1

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\text{ระยะยุบตัว}}{\text{ความกว้างคัสซี}} = \tan^{-1} \frac{236.4}{2290} \quad (1)$$

3. การวิเคราะห์ตัวเสริมความแข็งแรงของคัสซีด้านล่างเบื้องต้น

จากการเก็บข้อมูลตัวเสริมความแข็งแรงของคัสซีที่เสริมด้านล่างของตัวจับยึด ประกอบ 4 ประเภทได้แก่ Triangle strength, Triangle and c profile, Square tube, เหล็กแผ่นพับ ซึ่งจะต้องทำการวิเคราะห์หาตัวเสริมความแข็งแรงที่ดีที่สุดด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์โดยกำหนดเงื่อนไขต่างๆเหมือนกับคัสซีก้ำงปลา ซึ่งตัวเสริมความแข็งแรงเหล่านี้ไม่สามารถนำไปใช้ในตาราง Taguchi ตารางเดียวกันได้เพราะเมื่อทำการทดลองจะทำให้ชิ้นส่วนเหล่านี้ซ้อนกัน

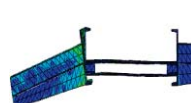
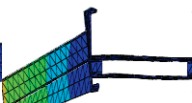
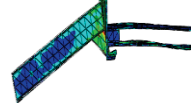
ตารางที่ 2 ลักษณะตัวเสริมความแข็งแรงด้านล่าง

ชื่อตัวเสริม	CAD	ภาพถ่าย
Triangle strength		
Triangle and c profile		
Square tube		
เหล็กแผ่นพับ		

3.2 ผลการวิเคราะห์หาค่าความเค้น(Stress)และระยะยุบตัว(Displacement)ของค้ำซีก้างปลาที่เสริมความแข็งแรงแต่ละแบบด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

นำตัวเสริมความแข็งแรงแต่ละตัวประกอบเข้ากับค้ำซีก้างปลา แล้วทำการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์โดยกำหนดค่าตัวแปรเหมือนกับค้ำซีก้างปลา จากนั้นทำการประมวลผลหาค่าความเค้นและระยะยุบตัวแล้วนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาตัวเสริมความแข็งแรงที่ยุบตัวน้อยที่สุดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลความเค้นและค่าการเสียรูปของค้ำซีเมื่อเสริมตัวเสริมความแข็งแรงด้านล่าง

การจับยึด	S Stress (MPa)	U Displacement (mm)
Stress/Displacement จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	S, Mises (Avg: 75%) +1.239e+03 +6.840e+02 +5.484e+02 +4.129e+02 +2.773e+02 +1.417e+02 +6.137e+00	U, Magnitude +2.360e+02 +1.967e+02 +1.573e+02 +1.180e+02 +7.867e+01 +3.933e+01 +0.000e+00
สามเหลี่ยม+ตัวซี		
สามเหลี่ยมเสริมความแข็งแรง		
Square tube		
เหล็กแผ่นพับ		

จากตารางที่ 3 สามารถเรียงค่าระยะยุบตัวจากน้อยไปมากได้แก่ Square tube, สามเหลี่ยมเสริมความแข็งแรง, สามเหลี่ยม+ตัวซี, เหล็กแผ่นพับ ซึ่ง Square tube มีระยะยุบตัวน้อยที่สุดจึงมีความแข็งแรงมากที่สุดซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ร่วมกับตัวเสริมความแข็งแรงอื่นๆต่อไป

4. การออกแบบลักษณะการเสริมความแข็งแรงของค้ำซีก้างปลาด้วยวิธี Taguchi

การออกแบบลักษณะการเสริมความแข็งแรงของค้ำซีด้วยวิธี Taguchi โดยใช้ 4 ตัวแปร 3 ระดับซึ่งทั้ง 4 ตัวแปรได้เลือกมาจาก ขนาด, องศา, รูปร่าง ของตัวเสริมความแข็งแรงด้านล่างที่แข็งแรงที่สุด ตัวเสริมความแข็งแรงด้านบนและด้านข้าง ที่คาดว่าจะส่งผลต่อ Stress และ Displacement ของค้ำซีมากที่สุด

ตัวแปรทั้ง 4 ตัวแปร ที่คาดว่าจะส่งผลต่อ Stress และ Displacement ได้แก่ P1 = ความสูงของหน้าตัดท่อเหลี่ยม (mm) P2= มุมเอียงของท่อเหลี่ยม(องศา) P3 = รูปแบบตัวเสริมความแข็งแรงด้านข้าง P4=ขนาดความ

ยาวของ เหล็กแผ่นพับ (mm) โดยแต่ละตัวแปรจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับพิจารณาจาก Array selector ได้ L9 จากนั้นแบบการทดลองออกเป็น 9 กรณี ทำการบันทึกผล 2 ค่าได้แก่ ค่าความเค้น(Stress) และ ระยะยุบตัว (Displacement) โดยออกแบบพารามิเตอร์ 4 ตัวแปร 3 ระดับที่เวลา 0.2 วินาที จากนั้นทำการสร้าง CAD ทั้ง 9 แบบตามตารางที่ 6 แล้วจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์หาค่า ระยะยุบตัว U และค่าความเค้น S

ตารางที่ 4 การกำหนดพารามิเตอร์และระดับของ 4 ตัวแปร 3 ระดับโดยวิธี Taguchi

ลำดับ	ตัวแปร	Level		
		1	2	3
1 (P1)	ความสูงท่อสี่เหลี่ยม (P1)	100x 100x5	50x 100X5	60x 100X5
2 (P2)	มุมเอียงท่อ (องศา)	45	60	90
3 (P3)	ตัวเสริมด้านข้าง	 TP	 LCH	 PP
4 (P4)	ขนาดเหล็กแผ่นพับ	67x 67x5	100x 67x5	150x 67x5

ตารางที่ 5 ผลการจำลองการยุบตัวและความเค้นของคัสซีภายใต้แรงกระทำในการทดลองไฟไนต์เอลิเมนต์จากตาราง Taguchi L9

Exp	P1	P2	P3	P4	U	S
1	100x 100x5	45	TP	67x 67x5	106	228
2	100x 100x5	60	LCH	100x 67x5	96	263

3	100x 100x5	90	PP	150x 67x5	94	294
4	50x 100X5	45	L CH	150x 67x5	114	265
5	50x 100X5	60	PP	67x 67x5	110	270
6	50x 100X5	90	TP	100x 67x5	106	292
7	60x 100X5	45	PP	100x 67x5	102	300
8	60x 100X5	60	TP	150x 67x5	111	291
9	60x 100X5	90	LCH	67x 67x5	113	281

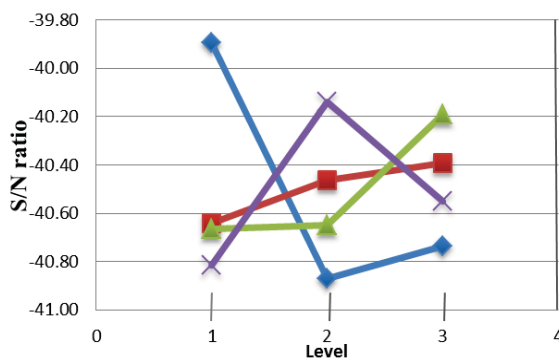
4.1 การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อระยะยุบตัว S_{Nu} และความเค้น S_Ns

การคำนวณหาค่า S_{Nu} และ S_Ns ของคัสซีก้างปลาที่เสริมความแข็งแรง เพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อระยะยุบตัวและความเค้นจากตารางที่ 5 โดยเลือกใช้สมการ (2) signal to noise ratio (minimum to better) ซึ่งเป็นสมการสำหรับหาค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลทำให้คัสซียุบตัวน้อยที่สุด

$$SN_i = -10 \log \left[\sum_{u=1}^{N_i} \frac{y_u^2}{N_i} \right] \quad (2)$$

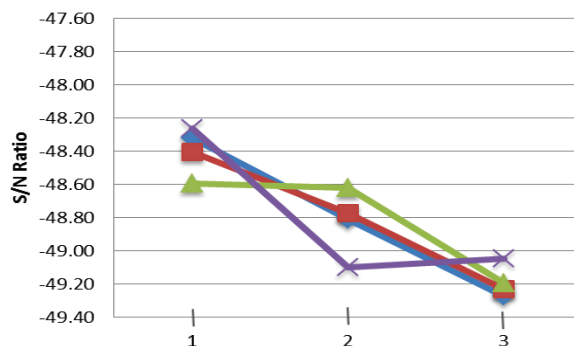
$$SN_{pi,u} = \frac{\sum SN_{pi,u}}{n} \quad (3)$$

จากนั้นคำนวณค่าผลของตัวแปรที่แต่ละระดับด้วยสมการที่ (3) สำหรับตัวแปรทุกตัวแปรทุกระดับ ในการคำนวณลำดับความสำคัญของแต่ละตัวแปร ทำได้โดยการนำค่า S/N ของแต่ละระดับในตัวแปรเดียวกันมาคิดค่า max-min ของตัวแปรแต่ละตัวโดยเรียงลำดับความสำคัญจากค่ามากไปน้อย แล้วนำผลการคำนวณมาสร้างกราฟดังรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 กราฟแสดงค่า S/N ที่มีผลต่อระยะยุบตัวของคัสซีก้างปลา

รูปที่ 3 เรียงลำดับตัวแปรที่ส่งผลต่อระยะยุบตัวของคัสซีก้างปลา โดยกราฟมีความชันมากเนื่องจากค่า Max-min สูงจะมีความสำคัญที่สุดเรียงลำดับได้แก่ หน้าตัดท่อ เหลี่ยม, ความยาวของตัวเสริมด้านบน, รูปร่างตัวเสริมด้านข้าง, มุมเอียงของท่อเหลี่ยมตามลำดับ



รูปที่ 4 กราฟแสดงค่า S/Ns ที่มีผลต่อระยะยุบตัวของคัสซีก้างปลา

รูปที่ 4 ตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความเค้นของคัสซีก้างปลา โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อยลักษณะเดียวกับรูปที่ 3 ได้แก่ หน้าตัดท่อเหลี่ยม, ความยาวของตัวเสริมด้านบน, มุมเอียงของท่อเหลี่ยม, รูปร่างตัวเสริมด้านข้าง

5.การออกแบบที่ดีที่สุด

การคำนวณหากรณีการจับยึดที่ทำให้เกิดระยะยุบตัวน้อยที่สุดจากทั้งหมด 81 กรณี โดยมีลักษณะการคำนวณคล้ายกับการหาตัวแปรที่มีอิทธิพล signal to noise ratio โดยใช้ค่าข้อมูลดิบในตารางที่ 5 แล้วคำนวณโดยใช้สมการที่ (4) โดยเปลี่ยนค่า x,y ซึ่งจะทำให้ได้ผลในตารางที่ 6 จากนั้นทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของทุกตัวแปร ดังแสดงในค่า Avg U = 106.15

$$U_{xy} = [UUxU1 + UUxU2 + UUxU3]/3 \quad (4)$$

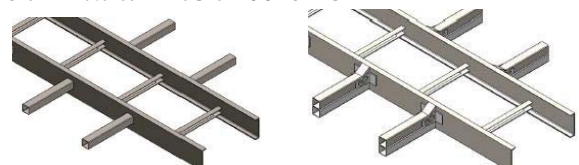
ตารางที่ 6 การคำนวณระยะยุบตัว U ที่เกิดหลังจากเสริมความแข็งแรงให้กับคัสซี

	P1	P2	P3	P4
1	98.94	107.80	107.97	109.87
2	110.57	105.73	108.10	101.70
3	108.97	104.94	102.40	106.90
Avg U	106.15			

จากนั้นคำนวณหาค่าพยากรณ์การออกแบบที่ดีที่สุดทั้ง 81 กรณีโดยสมการที่ (5) เพื่อหากรณีการเสริมความแข็งแรงที่ทำให้คัสซีก้างปลามีระยะยุบตัวน้อยที่สุด

$$U(i,j,k) = AvgU + [UU1i - AvgU] + [UU2j - AvgU] + [UU3k - AvgU] \quad (5)$$

เมื่อคำนวณครบทั้ง 81 กรณีสามารถหาหลักการเสริมความแข็งแรงที่ทำให้คัสซีก้างปลาเกิดระยะยุบตัวน้อยที่สุดโดยกรณีที่ 26 เกิดระยะยุบตัวน้อยที่สุดดังรูปที่ 3 ใช้ท่อสี่เหลี่ยมหน้าตัด 100x100x5, มุมตัดท่อ 90 องศา, ตัวเสริมด้านข้างชนิด Perpendicular plate, ขนาดตัวเสริมด้านบน 100x67x5 mm

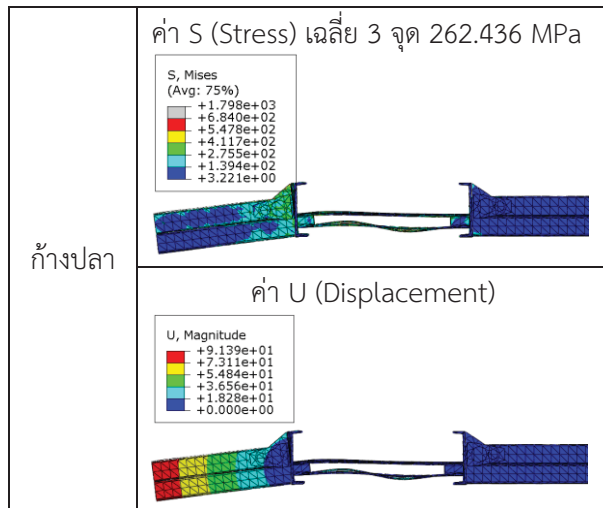


รูปที่ 3 a) คัสซีก้างปลาก่อนเสริมความแข็งแรง

b) คัสซีก้างปลาเสริมความแข็งแรงกรณีที่ 26

ตารางที่ 7 ผลไฟไนต์เอลิเมนต์ของค่าความเค้นและระยะยุบตัวของคัสซีจับยึดแบบก้างปลากรณีที่ 26

คัสซี	ความเค้น Stress (MPa)/ ระยะยุบตัว Displacement (mm)
-------	--



จากตารางที่ 7 นำผลที่ได้คำนวณความผิดพลาดของระยะยุบตัวและความเค้นระหว่างผลจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ และการคำนวณโดยทฤษฎีครั้นที่ 26 ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ความคลาดเคลื่อนกรณี 26 และการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

Model	U(mm)	S(MPa)
Taguchi กรณี 26	89.51	296.31
FEM	91.39	262.436
error	2%	12.9%

การคำนวณประสิทธิภาพเป็นการแสดงผลความต่างระหว่างคัสซีก้างที่เสริมความแข็งแรงแบบแรกและคัสซีก้างปลาที่ออกแบบด้วยวิธีของทากูชิ(Taguchi method) ว่ามีระยะยุบตัวและค่าความเค้นต่างกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะแสดงให้เห็นความสามารถในการรับแรงเพิ่มขึ้นของคัสซีก้างมากกว่าคัสซีที่ไม่ได้เสริมความแข็งแรง

จากการเสริมความแข็งแรงคัสซีก้างปลาในกรณี 26 ซึ่งเป็นกรณีที่ดียที่สุด พบว่าระยะยุบตัวที่เกิดขึ้นกับคัสซีก้างปลาเท่ากับ 89.51 mm และมีค่าความเค้นเท่ากับ 296.31MPa มาเปรียบเทียบกับเสริมคัสซีแบบแรกเพื่อหาประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น จากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกรณี 26 พบว่าระยะยุบตัวลดลง 62.98 % และค่าความเค้นลดลง 56.7 % ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การเพิ่มประสิทธิภาพกรณี 26 และการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

Model	U(mm)	S(MPa)
Taguchi กรณี 26	89.51	296.31
เดิม	236.4	684.3
%ประสิทธิภาพ	62.13%	56.7%

6.สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบเอียงของรถโดยสารจะเห็นว่าตัวถังรถโดยสารและคัสซีเอียงตัวไม่เท่ากันโดยตัวถังจะเอียงมากกว่า 5 องศาทั้งนี้เกิดจากการจับยึดที่ไม่เหมาะสม จึงต้องมีการศึกษาการเสริมความแข็งแรงให้กับคัสซีประเภทก้างปลา โดยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ และศึกษาความสามารถในการเสริมความแข็งแรงเบื้องต้นของตัวเสริมความแข็งแรง 3 ชนิดคือ ตัวเสริมด้านข้าง ตัวเสริมด้านบนและตัวเสริมด้านล่าง พบว่าเมื่อเสริมความแข็งแรงด้วย Square tube ทำให้คัสซีมีระยะยุบตัวน้อยที่สุด จากนั้นทำการทดลองหาลักษณะการเสริมแข็งแรงที่ดีที่สุดด้วย Taguchi method (L9) จำนวน 4 ตัวแปร 3 ระดับ ได้แก่ ความสูงท่อสี่เหลี่ยม มุมเอียงท่อ(องศา) รูปแบบตัวเสริมความแข็งแรงด้านข้าง เหล็กแผ่นพับ จากการทดลองตัวแปรที่มีผลต่อระยะยุบตัวมากที่สุดได้แก่ หน้าตัดท่อสี่เหลี่ยม,ความยาวของตัวเสริมด้านบน, รูปร่างตัวเสริมด้านข้าง,มุมเอียงของท่อสี่เหลี่ยมตามลำดับ และตัวแปรที่ผลต่อความเค้นมากที่สุดได้แก่ หน้าตัดท่อสี่เหลี่ยม,ความยาวของตัวเสริมด้านบน,มุมเอียงของท่อสี่เหลี่ยม,รูปร่างตัวเสริมด้านข้าง จากนั้นใช้หลักการ Taguchi method ในการคำนวณหาการออกแบบที่ดีที่สุดเกิดระยะยุบตัวน้อยที่สุดคือกรณี 26 ได้แก่ หน้าตัดท่อสี่เหลี่ยม 100x100x5 มม.ตัดท่อ 90 องศา,ตัวเสริมด้านข้างชนิด Perpendicular plate,ขนาดตัวเสริมด้านบน 100x67x5 mm จากนั้นทำการทดสอบด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ และเปรียบเทียบผลคำนวณความคลาดเคลื่อนของระยะยุบตัวมีค่า 2% และความเค้นมีค่า 12.9% แล้วทำการคำนวณประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับคัสซีก้างปลาที่ไม่ได้เสริมความแข็งแรงพบว่าเมื่อเสริมความแข็งแรงตามกรณี 26 ระยะยุบตัวลดลง ลดลง 62.13 % และค่าความเค้นลดลง 56.7 %

7.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ ทั้งนี้ผู้วิจัยยังได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วย

ศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ เดชเจริญ ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำตรวจและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี สำนักงานประมาณเพื่อการใช้รถใช้ถนน กรมการขนส่งทางบก ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเงินทุนวิจัยและสถานที่ในการทดสอบเอียงรถโดยสาร อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี ขอขอบคุณบริษัทธนบุรีประกอบยนต์, อยุธยา และประกอบถึงอำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรีและนครราชสีมาที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลรถโดยสาร

monolimb using finite element modelling and statistics-based. Taguchi method” Journal of Clinical biomechanics. 20 (2005)759-766

8. G.Savidis M. Vormwald “Hot spot stress evaluation of fatigue in welded structural connections supported by Finite Element Analysis” International journal of Fatigue 22(2000)85

8.เอกสารอ้างอิง

1. ศักรินทร์ ชูดวง. การออกแบบและพัฒนามาตรฐานการผลิตรถโดยสาร 2 ชั้น (มาตรฐาน 4). วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.
2. Informal document No.11 79th GRSG,16-20 October 2000 agenda item 4. Regulation 66 Annex[X1] . Determination of vehicle's cg position.
3. Xiaoyu Huang, Junmin Wang n. “Center of gravity height real-time estimation for effective radius.” Journal of Control Engineering Practice. 21 (2013) : 370-380.
4. A. Fabbri, G. Molari. “Static Measurement of the Centre of Gravity Height on Narrow-track Agricultural Tractors.” Journal of Biosystems Engineering. 87(3) (2004) : 299-304.
5. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ศูนย์นวัตกรรมความปลอดภัยรถโดยสาร มจพ. รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัยออกแบบและปรับปรุงรถโดยสารให้มีการทรงตัวเป็นไปตามประกาศของกรมขนส่งทางบก พ.ศ.2557. กรุงเทพฯ
6. Guangyong Sun, Jianguang Fang. “Discrete robust optimization algorithm based on Taguchi method for structural robustness design” Journal of Expert Systems with applications.2006
7. Winson C.C. Lee, Ming Zhang “Design of