

CST-08

การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของโรลเลอร์สเก็ตสำหรับศักราชใหม่

Finite Element Analysis of New-era Roller Skate

ชลธิชา แจ่มสว่าง, อัญรินทร์ ศิริชัยนนท์, อนุธิดา เนตรวิริยะกุล, เมธาวิ พิทักษ์สกุลชน,
จิรัชย์ สุภาสุทธากุล และ กันต์กรรณ์ เขาทอง

ศูนย์ปฏิบัติการCAD/CAM/CAE ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน ตำบล กำแพงแสน อำเภอ กำแพงแสน จังหวัด นครปฐม รหัสไปรษณีย์ 73140
*ติดต่อ: E-mail fengkkk@ku.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 034 355310, เบอร์โทรสาร 034 355316

บทคัดย่อ

การออกแบบโรลเลอร์สเก็ตสำหรับศักราชใหม่อยู่ภายใต้แนวคิดการลดมลพิษ ลดอุบัติเหตุและแก้ปัญหาการจราจรในสังคมเมือง การทดสอบโดยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกกำหนดขึ้นสำหรับวิเคราะห์ความแข็งแรงของส่วนประกอบโครงสร้างสามมิติที่ออกแบบไว้ อาทิ มือกล, โครง, เฟืองขับ และเพลลา เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการรับภาระ ค่าความเค้น การเสียรูปทรงของโรลเลอร์สเก็ต ก่อนการสร้างขึ้นงานต้นแบบ ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายการทดสอบ ผลการจำลองชิ้นส่วนต่างๆ พบว่าโรลเลอร์สเก็ตสำหรับศักราชใหม่ สามารถใช้งานได้ภายใต้สภาวะขอบเขตที่กำหนดและมีความปลอดภัยตลอดเวลาการใช้งาน

คำหลัก: ไฟไนต์เอลิเมนต์, ยานพาหนะไฟฟ้า, โรลเลอร์สเก็ต

Abstract

The conception designs of New-era Roller Skate are outline urban solutions to environment, accident and traffic. Finite element analysis is a tool used for the strength evaluation of 3D components skate such as gripper, truss, drive pinion and shaft. The aim of this study to analyses available load, stress and skate deformation to save time and save cost pre-production prototypes. The results of simulation show that New-era Roller Skate could actually use this boundary condition and safe all the times.

Keywords: Finite element, Electric vehicles. Roller Skate

1. บทนำ

การสร้างผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องมีการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่สามารถใช้งานได้ การทดสอบความแข็งแรงเป็นการทดสอบที่ผู้ผลิตต้องคำนึง หากชิ้นงานต้นแบบไม่สามารถรองรับภาระได้ตามที่กำหนดไว้ผู้ทดสอบจึงต้องทดสอบชิ้นงานซ้ำ ส่งผลให้ต้องเสียเวลาและต้นทุนการผลิต

ปัจจุบันเทคโนโลยีการวิเคราะห์แบบจำลองโดยใช้ซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นที่นิยมมาก เพราะเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าสามารถแสดงผลการทดสอบได้รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่ายและได้ผลการทดสอบที่เที่ยงตรง โดยมีนักออกแบบและนักวิจัยจำนวนมากใช้กระบวนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองความแข็งแรงของชิ้นงานสภาวะขอบเขตต่างๆ กันไป อาทิ

นพดล ไชยข้อฟ้า (2546) [1] การศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์โครงสร้างเหล็กประเภทโครงถัก 3 รูปแบบคือ การวิเคราะห์ในแบบจำลองโครงข้อหมุน, การวิเคราะห์ในแบบจำลองโครงข้อแข็ง และการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติ เพื่อนำผลที่ได้จากการค้นคว้านี้เป็นแนวทางในการออกแบบโครงข้อหมุนให้มีความปลอดภัยตามสภาพการทำงานจริง

วราภรณ์ จุฑาวรรณ (2553) [2] ได้ออกแบบห้องเกียร์รถไถเดินตามด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในกรณีเกียร์ว่าง เกียร์ 1 และเกียร์ถอยหลัง โดยใช้วัสดุเหล็กหล่อเทา FC250 ค่าความแข็งแรง 250 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เพื่อหาขนาดของห้องเกียร์ที่เหมาะสมกับการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้น

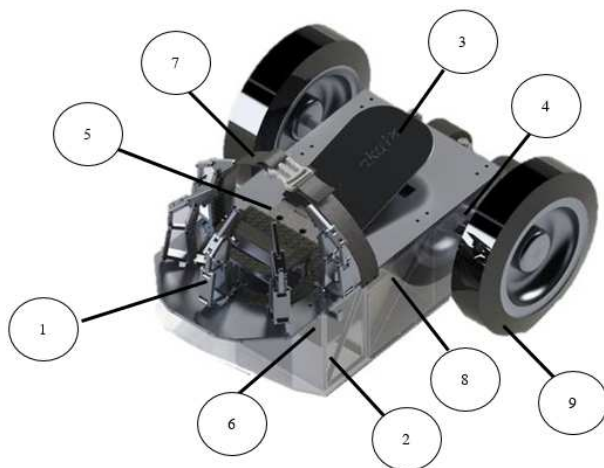
CST-08

Derek Covill และคณะ (2014) [3] ได้มีการวิเคราะห์โครงสร้างของจักรยานเพื่อหาขนาดความยาวของโครงสร้างที่แข็งแรง เหมาะสม ปรับปรุงพัฒนาให้จักรยานมีน้ำหนักเบาและมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

Giorgio Olmi และคณะ (2014) [4] ได้วิเคราะห์ตัวถังของโรลเลอร์สเก็ตด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการแตกหัก การบิดเนื่องจากการล้า เพื่อพัฒนาปรับปรุงให้ตัวถังของโรลเลอร์สเก็ตมีความเหมาะสมทั้งขนาดและวัสดุที่ใช้ และรูปทรงของโรลเลอร์สเก็ต ในการรับภาระพลวัต

O.A. Zambrano และคณะ (2014) [5] ได้ทำการวิเคราะห์เพลลาของเครื่องบินปีกที่เกิดการพังเนื่องจากการล้าด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้การวิเคราะห์โครงสร้างวัสดุ ค่าความแข็งแรงของวัสดุ และคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุเป็นส่วนช่วยวิเคราะห์ เพื่อหาต้นเหตุของการทำให้เกิดการพังและปรับปรุงขนาด วัสดุ การเคลือบผิว ทั้งยังระบุวิธีการเลือกวัสดุและขอบเขตการรับภาระเพื่อให้เพลลามีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

จากการศึกษาตัวอย่างการวิเคราะห์ได้นำมาสู่การทดสอบแบบจำลองชิ้นส่วนของโรลเลอร์สเก็ตสำหรับจักรยานใหม่ ตามรูปที่ 1 ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก 9 ส่วนคือ มือกล โครง เฟือง เพลา บานพับเชื่อมโครงสร้าง มอเตอร์ สายรัดเท้า ชุดระบบขับเคลื่อน และล้อ



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของโรลเลอร์สเก็ต

แต่ตามสภาวะใช้งานจริงชิ้นส่วนที่ต้องรับน้ำหนักจากผู้ขี่มี 4 ส่วนคือ มือกล โครง เฟืองและเพลลา ดังนั้นบทความนี้จะนำเสนอแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นงาน 4 ส่วนนี้เท่านั้น

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของโรลเลอร์สเก็ตสำหรับจักรยานใหม่

หมายเลข	ชื่อ
1	มือกล
2	โครง
3	เฟือง
4	เพลลา
5	บานพับเชื่อมโครงสร้าง
6	มอเตอร์
7	สายรัดเท้า
8	ชุดระบบขับเคลื่อน
9	ล้อ

2. การจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.1 สมการพื้นฐานและแบบจำลองของวัสดุ

การศึกษานี้ใช้สมการตามความสัมพันธ์ของความเค้น (stress) และความเครียด (strain) ตามกฎของฮุก (Hooke's law) สามารถเขียนอยู่ในรูปของเมทริกซ์ดังนี้

$$[K]\{u\} = \{F\} \quad (1)$$

เมื่อ $[K]$ คือ เอลิเมนต์เมทริกซ์ของความแข็งแรงเกร็ง
 $\{u\}$ คือ เมทริกซ์ของการเคลื่อนตัวที่จุดต่อ
 $\{F\}$ คือ เมทริกซ์ของแรงกระทำที่จุดต่อ[4]

เนื่องจากมือกลและโครงถือเป็นส่วนที่รับแรงจากน้ำหนักผู้ขี่มากที่สุด ในขณะที่เฟืองและเพลลา เป็นชิ้นส่วนที่รับแรงจากการส่งกำลังในการขับเคลื่อนมากที่สุด จึงได้นำทั้ง 4 ส่วนนี้มาวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยมีการกำหนดสภาวะการใช้งานของระบบขับเคลื่อนการรับภาระของโครงถัก และขนาดแรงที่ต้องใช้กับมือกล โดยแต่ละชิ้นส่วนใช้วัสดุที่แตกต่างกันตามตารางที่ 2

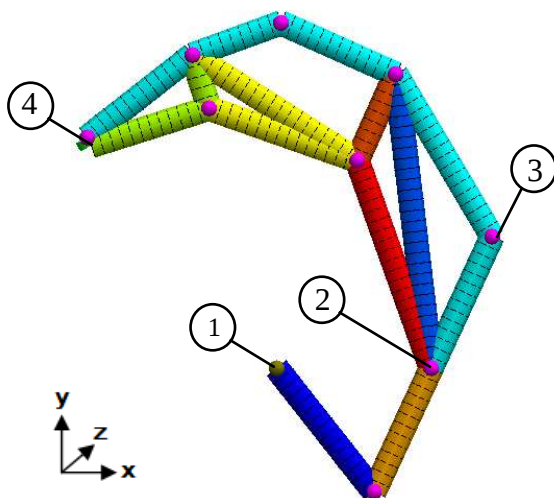
2.2 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

ชิ้นส่วนต่างๆถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปโดยกำหนดเงื่อนไขการทดสอบ คือ น้ำหนักของผู้ขี่ไม่เกิน 60 กิโลกรัม และพื้นถนนที่ใช้ในการขับเคลื่อนเป็นพื้นเรียบ โดยผลการจำลองวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบของ ความเค้น ระยะการเสียรูป และค่าความปลอดภัย

CST-08

ตารางที่ 2 ตารางวัสดุชิ้นส่วนที่นำมาวิเคราะห์

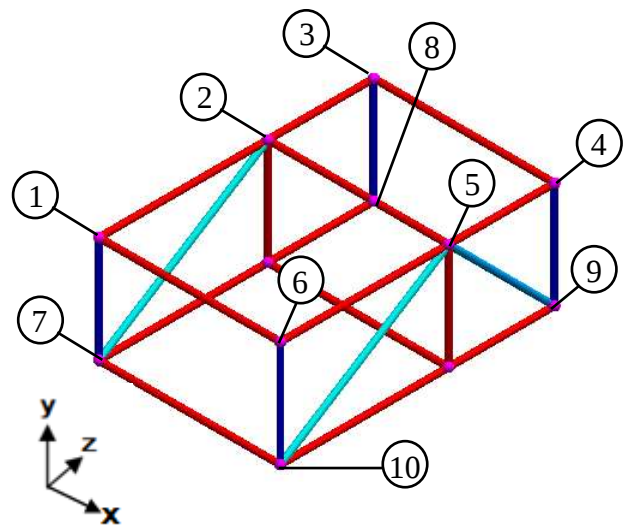
ชิ้นส่วน	วัสดุ	ความเค้นคราก (MPa)
มือกล	Aluminium Alloys 1100	99.28
โครง	Aluminium Alloys 6063	41.37
เฟือง	AISI 1045 steel	530
เพลลา	AISI 1020	351.57



รูปที่ 2 การระบุจุดยึดและจุดรับโหลดของกริปเปอร์

จุดวางกลมคือข้อต่อของมือกลซึ่งยึดติดกันด้วยหมุดยึด ในการวิเคราะห์จะวิเคราะห์มือกลในขณะที่มือกลถูกกดสุด โดยมีตำแหน่งจุดยึดที่จุด 2 และ 4 โดยจุดที่ 2 เป็นลักษณะจุดยึดประเภท Hinge support ซึ่งรับแรงในแนวแกน x, y และ z จุดที่ 4 เป็นลักษณะจุดยึดประเภท Roller support ซึ่งรับแรงในแนวแกน y และ z มือกลมีตำแหน่งการรับภาระแรงที่จุดที่ 1 และ 3 จุดที่ 1 รับภาระในแกน y จากแรงกดขนาดตามน้ำหนักตามขอบเขตของผู้ใช้ และจุดที่ 3 รับภาระแรงในระนาบ x-y ซึ่งแรงพุ่งออกจากจุดเอียงทำมุมกับแกน x 40.6 องศา ในจุดภาคที่ 4 ซึ่งเป็นภาระจากแรงดึงของสปริง

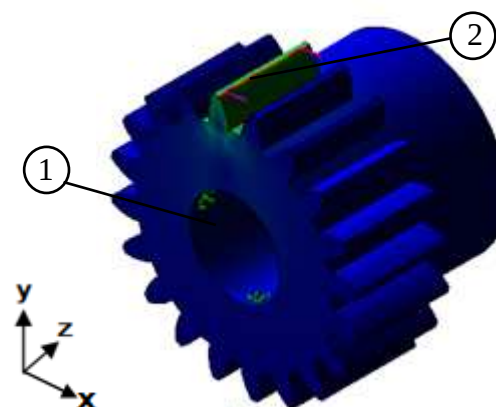
ส่วนที่ 2 โครงมีลักษณะเป็นเพลลาตันขนาด 4.76 มิลลิเมตร ซึ่งโครงเป็นส่วนที่ยึดชุดขับเคลื่อน มือกล ล้อหน้า และฟันโรลเลอร์สเก็ท เข้าด้วยกันและรับน้ำหนักมากที่สุดของโรลเลอร์สเก็ทไว้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การระบุจุดยึดและจุดรับโหลดของโครงโรลเลอร์สเก็ท

วิเคราะห์โครงเป็นแบบ Truss โดยมีตำแหน่งจุดยึดที่จุด 7 ถึง 10 มีลักษณะจุดยึดประเภท Hinge support ทั้งหมด ซึ่งรับแรงในแนวแกน x, y และ z โครงมีตำแหน่งการรับภาระที่จุด 1 ถึง 6 รับภาระในแนวแกน y ซึ่งเป็นภาระที่เกิดจากแรงกดขนาดตามน้ำหนักของผู้ใช้

ส่วนที่ 3 ระบบเฟืองทดโรลเลอร์สเก็ท ใช้เฟืองตรงในระบบส่งกำลังทั้งหมด 4 คู่ โดยจะวิเคราะห์เฉพาะเฟืองขับตัวสุดท้ายที่ขับกับเฟืองบนเพลาล้อ เพราะเฟืองส่วนนี้เป็นเฟืองตัวเล็กที่รับแรงบิดสูงสุดในระบบเฟืองทด โดยมีขนาด 20 ฟัน module 1 รับกำลังมาจากแรงกดของผู้ใช้ ดังรูปที่ 4



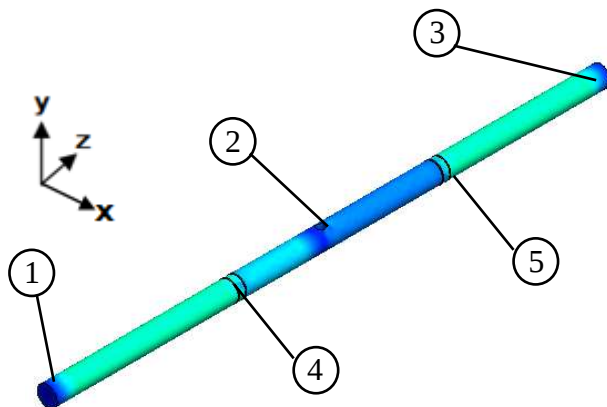
รูปที่ 4 การระบุจุดยึดและจุดรับโหลดของเฟือง

ในการวิเคราะห์จะวิเคราะห์เฟืองในขณะที่เฟืองกำลังจะเริ่มหมุน โดยมีตำแหน่งจุดยึดที่พื้นผิวที่จุดที่ 1 ที่สัมผัสกับเพลลา มีลักษณะจุดยึดเป็นประเภท Fixed support ซึ่ง

CST-08

รับแรงในแนวแกน x, y และ z เพื่อมีตำแหน่งการรับภาระอยู่ที่ปลายพื้นที่จุดที่ 2 รับแรงบิดหมุนรอบแกน z ซึ่งเป็นภาระที่เกิดจากการขบกันของเฟือง

ส่วนที่ 4 เฟลาในโรลเลอร์สเก็ทมีทั้งหมด 3 เฟลาทั้ง 3 เฟลา ประกอบด้วย 1) เฟลาทดที่ 1 2) เฟลาทดที่ 2 3) เฟลาล้อ โดยวิเคราะห์เฉพาะเฟลาล้อซึ่งเป็นเฟลาที่รับแรงบิดสูงที่สุดในระบบซึ่งเฟลาล้อมีการรับกำลัง 2 ระบบคือ ส่งกำลังด้วยมอเตอร์ และส่งกำลังด้วยระบบสปริงบีบ โดยจะยกมาเพียงการวิเคราะห์จากการรับกำลังด้วยระบบสปริงบีบ เพราะมีแรงภายนอกที่กระทำต่อเฟลามากกว่าระบบมอเตอร์



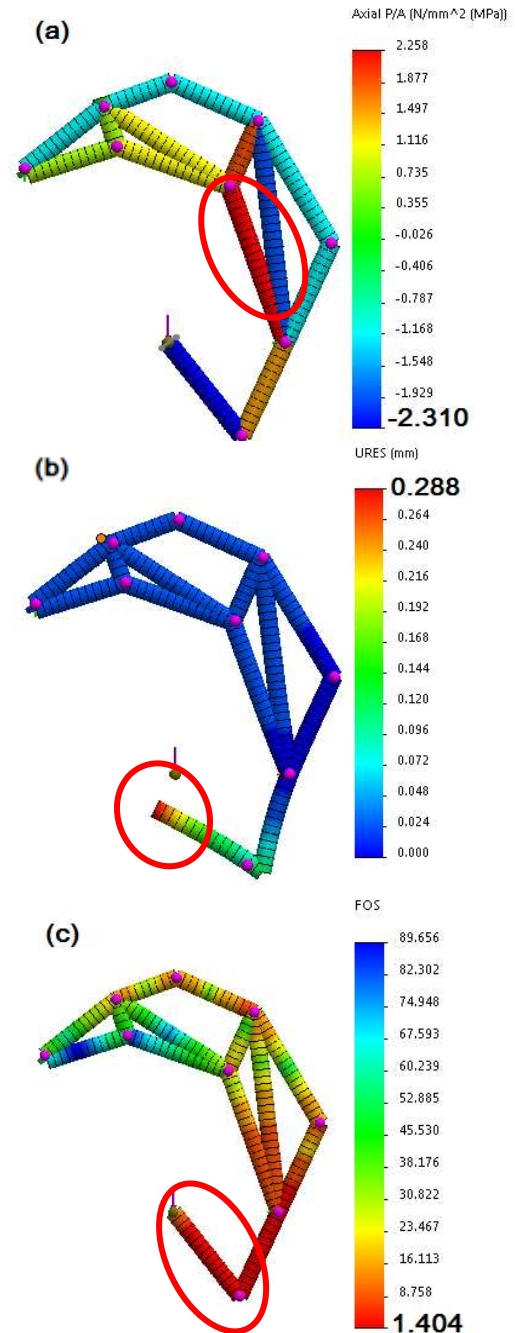
รูปที่ 5 การระบุจุดยึดและจุดรับโหลดของเฟลา

การวิเคราะห์เฟลา จุดยึดที่จุด 4 และ 5 มีลักษณะเป็นจุดยึดประเภท Fixed support รับแรงในแนวแกน x, y และ z ส่วนตำแหน่งจุด 1, 2 และ 3 จะรับภาระการส่งกำลังรอบแกน z

3. ผลการวิเคราะห์

3.1 ผลการวิเคราะห์มือกล

จากรูปที่ 6 เมื่อกดมือกลด้วยแรง 300 N ตามขอบเขตสูงสุดของผู้ใช้ จะเกิดความเค้นอัดสูงสุดที่คานที่ถูกวงขนาด 2.310 MPa ดังรูป 6(a) ยึดตัวสูงสุด 0.288 mm ดังรูป 6(b) และมีค่าความปลอดภัยต่ำสุด 1.404 ดังรูป 6(c) ที่คานเดียวกัน ซึ่งมีขนาดหน้าตัด 4x4 mm



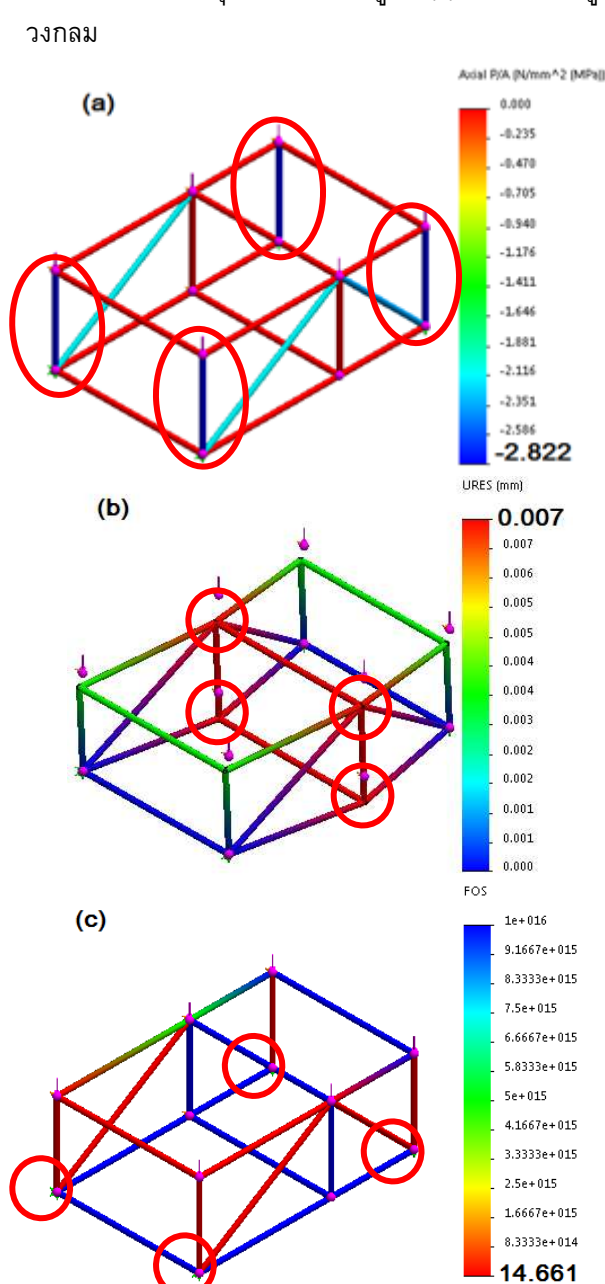
รูปที่ 6 ระดับชั้นสีของผลการวิเคราะห์ของมือกลขณะรับภาระจากแรงกดในตำแหน่งถูกกดสุด (a) ค่าความเค้น (b) ค่าระยะการเสียรูป (c) ค่าความปลอดภัย

3.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง

จากรูปที่ 7 เมื่อโครงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.76 mm รับภาระดัดแรง 300 N ตามขอบเขตน้าหนักของผู้ใช้ จะเกิดความเค้นสูงสุดที่คานที่ถูกวง ขนาด 2.882 MPa ดังรูป 7(a) ซึ่งเป็นความเค้นอัด มีระยะยุบตัวสูงสุด 0.007 mm ดังรูป 7(b) ที่ตำแหน่งที่ถูกวงกลม และมีค่า

CST-08

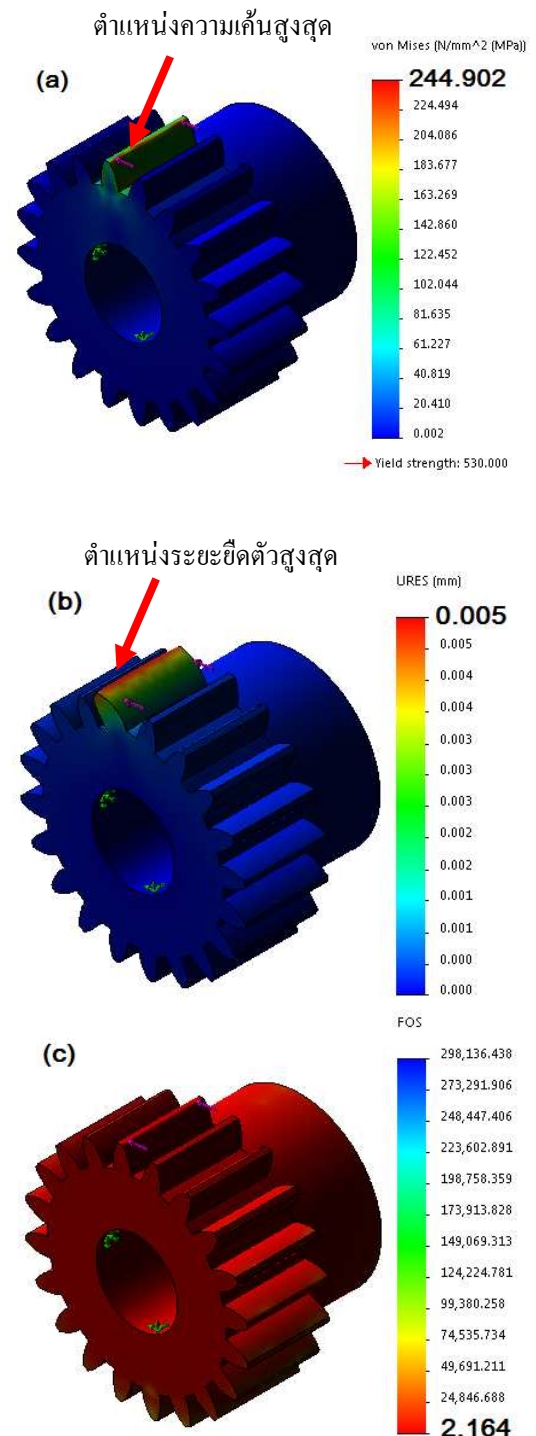
ความปลอดภัยต่ำสุด 14.661 ดังรูป 7(c) ที่ตำแหน่งที่ถูก
วงกลม



รูปที่ 7 ระดับชั้นสีของผลการวิเคราะห์ของโครงขณะ
รับภาระจากแรงกดตามน้ำหนักของผู้ใช้ (a) ค่าความเค้น
(b) ค่าระยะการเสียรูป (c) ค่าความปลอดภัย

3.3 ผลการวิเคราะห์เฟือง

จากรูปที่ 8 เฟืองขนาด 20 ฟัน โมดูล 1 นหา 8 mm
รับภาระจากการกดสปริงมีขนาด 333.7 N จะเกิดความ
เค้นดึงสูงสุดขนาด 244.902 MPa ดังรูป 8(a) มีระยะการ
ยืดตัวสูงสุด 0.005 mm ดังรูป 8(b) และมีค่าความ
ปลอดภัยต่ำสุด 2.164 ดังรูป 8(c)



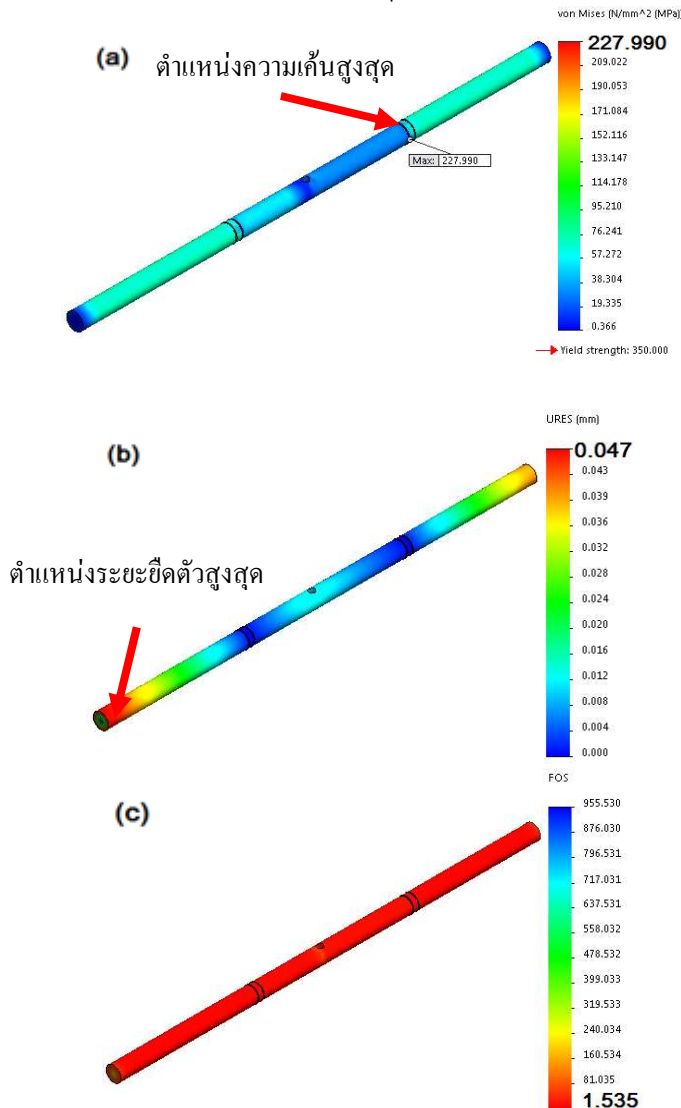
รูปที่ 8 ระดับชั้นสีของผลการวิเคราะห์ของเฟืองขณะ
รับภาระจากแรงขบกันระหว่างเฟือง (a) ค่าความเค้น
(b) ค่าระยะการเสียรูป (c) ค่าความปลอดภัย

3.4 ผลการวิเคราะห์เพลาลูก

จากรูปที่ 9 เพลาลูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10
mm รับภาระจากแรงบิดที่เฟืองกระทำต่อเพลาลูกขนาด 4.17
Nm จะเกิดความเค้นดึงสูงสุดที่จุดดังรูป 9(a) ขนาด

CST-08

227.990 MPa มีระยะการยืดตัวสูงสุด 0.047 mm ดังรูป 9(b) และมีค่าความปลอดภัยต่ำสุด 1.535 ดังรูป 9(c)



รูปที่ 9 ระดับชั้นสีของผลการวิเคราะห์ของเพลลาขณะรับภาระจากแรงบิดจากการส่งกำลังของเฟือง (a) ค่าความเค้น (b) ค่าระยะการเสียรูป (c) ค่าความปลอดภัย

ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นและระยะเสียรูปของชิ้นส่วนต่างจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการคำนวณทางทฤษฎีแสดงดังตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นส่วนต่างๆ ผ่านโปรแกรมในคอมพิวเตอร์

ชิ้นส่วน	ความเค้น MPa	ระยะเสียรูป mm	ความปลอดภัย
มือกล	-2.310	0.288	1.404
โครง	-2.822	0.007	14.661
เพลลา	227.99	0.049	1.542
เฟือง	244.902	0.005	2.164

- หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ + คือ ความเค้นดึง
2. สัญลักษณ์ - คือ ความเค้นอัด
3. ค่าความเค้นของมือกลและโครงได้จากการวิเคราะห์แบบ Normal stress
4. ค่าความเค้นของเพลลาและเฟืองได้จากการวิเคราะห์แบบ Von mises stress

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณตามทฤษฎีของชิ้นส่วนต่างๆ จากรายงานการวิจัยการออกแบบและสร้างโรลเลอร์สเก็คสำหรับตักทรายใหม่

ชิ้นส่วน	ความเค้น MPa	ระยะเสียรูป mm	ความปลอดภัย
มือกล	-2.542	x	39.09
โครง	-2.822	0.006	14.661
เพลลา	x	x	1.3
เฟือง	x	x	5.96

- หมายเหตุ: 1. สัญลักษณ์ + คือ ความเค้นดึง
2. สัญลักษณ์ - คือ ความเค้นอัด

4. สรุป

เมื่อนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณตามทฤษฎีโดยใช้ค่าความปลอดภัยเป็นหลัก มือกลมีค่าความปลอดภัยสูงกว่ามากในการคำนวณตามทฤษฎีเนื่องจากการคำนวณโดยสมมติว่ามือกลไม่ได้รับโมเมนต์ดัด ในขณะที่หากคิดค่าความปลอดภัยในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่คิดโมเมนต์ดัดแล้วจะมีค่า 42.97 ซึ่งใกล้เคียงกับการคำนวณตามทฤษฎี โครงมีค่าความปลอดภัย ความเค้น เท่ากันทั้งการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์และการคำนวณทางทฤษฎี แต่ขนาดของระยะเสียรูปมีความแตกต่างกัน 0.001 mm เพลลาและเฟืองมีค่าความปลอดภัยแตกต่างกันพอสมควร เหตุอันเนื่องมาจากการคำนวณทางทฤษฎีใช้ทฤษฎีที่แตกต่างจากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยคอมพิวเตอร์

5. เอกสารอ้างอิง

[1] วราภรณ์ จุฑาวันนระ (2546). รายงานวิจัยเรื่อง การออกแบบห้องเก็บแบบเหล็กหล่อของรถไถเดินตามโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

CST-08

- [2] นพพล ไชยช่อฟ้า (2553). รายงานวิจัยเรื่อง การศึกษาการเปรียบเทียบแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์โครงสร้างเหล็กประเภทโครงถัก, ภาควิชาวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการบริหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] Derek Covill, Steven Begg, Eddy Elton, Mark Milne, Richard Morris and Tim Katz (2014). Parametric finite element analysis of bicycle frame geometries, *Procedia Engineering*, 72, pp. 441-446.
- [4] Giorgio Olmi (2014). Failure of the chassis of roller skates for agonistic figure skating, *Case studies in engineering failure analysis*, August 2014.
- [5] O.A. Zambrano, J.J. Coronado, S.A. Rodriguez (2014). Failure analysis of a bridge cane shaft, *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, 2, pp. 25-32.
- [6] ปราโมทย์ เตชะอำไพ (2555). ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม, ครั้งที่ 5, กรุงเทพฯ: บริษัท วี.พริ้นท์(1991) จำกัด.