

การพัฒนาสร้างระบบลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง
Design and Development of Passenger Lift for Construction Work

กริธา สมเกียรติกุล^{1*} ธัญญา เกียรติวัฒน์² และ ชุตระกุล ศิริไพบุลย์³

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิศวกรรมการผลิตยานยนต์ สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ ตำบลบางตลาด
อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

³คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสยาม แขวงบางจาก เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160

*Kreetha.d@gmail.com, 084-044-3327

บทคัดย่อ

ลิฟต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างโดยทั่วไปจะเป็นงานก่อสร้างในอาคารสูงซึ่งเป็นลิฟต์ที่ใช้ในการส่งคน (ลิฟต์โดยสาร หรือ Passenger lift) และวัสดุก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Passenger lift เป็นลิฟต์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความปลอดภัยของบุคลากรที่ทำงานอยู่ในสถานที่ก่อสร้าง โดยทั่วไปลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างได้มีการนำเข้ามาจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างที่สร้างจากวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ภายในประเทศ โดยการเขียนแบบจำลอง 3 มิติจากเครื่องต้นแบบของต่างประเทศเพื่อนำมาวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างห้องโดยสารของลิฟต์โดยใช้วัสดุเหล็ก เกรด SS400 ซึ่งสามารถหาซื้อได้ภายในประเทศ ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของห้องโดยสารลิฟต์มีค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 4.6 แสดงให้เห็นว่า เหล็กเกรด ss400 สามารถนำมาใช้เป็นโครงสร้างของลิฟต์โดยสารได้อย่างแข็งแรงและปลอดภัย

Abstract

In general, passenger lift for construction application is used for moving both people (such as workers and engineers) and construction materials during the construction process. The passenger lift is essential in term of safety of workers in the construction site. Passenger lift for construction is usually imported from other countries. Therefore, this study devoted to design and develop the passenger lift including its structural and the use of materials that can be found easily in Thailand. The design of the prototype was performed by computer-aided engineering (3D modelling). Moreover, the structural analysis was done to ensure the safety and compatibility of the design. Material used for passenger lift fabrication in this study was SS400 steel. It can be bought easily in Thailand. Results showed that the safety factor of the designed passenger lift was 4.6 meaning that the SS400 can be safely used as the structural materials.

Keywords: Passenger lift, construction lift, Construction Elevators

1. ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ลิฟต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างโดยทั่วไปจะเป็นงานก่อสร้างในอาคารสูงซึ่งเป็นลิฟต์ที่ใช้ในการส่งคน (ลิฟต์โดยสาร หรือ Passenger Lift) และวัสดุก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ลิฟต์โดยสารเป็นลิฟต์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความปลอดภัยของบุคลากรที่ทำงานอยู่ในสถานที่ก่อสร้าง เนื่องจากเป็นการเคลื่อนที่ในแนวตั้งที่มีความสูง การสร้างลิฟต์โดยทั่วไปเป็นการสร้างใช้งานชั่วคราว และความต้องการในการประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจากการนำเข้าลิฟต์ประเภทนี้จากต่างประเทศ มีค่าใช้จ่ายที่สูง ทำให้เกิดความละเอียดมาตรฐานด้านความปลอดภัย เพื่อเป็นการสร้างมาตรฐานความปลอดภัย และประสิทธิภาพในการทำงานของระบบลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง งานโครงการนี้จึงได้ถูกนำเสนอเพื่อทดแทนการนำเข้า ทำให้ประหยัดเงินตราต่างประเทศของไทย และลดดุลการค้าของประเทศ อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังสามารถเสริมสร้างเทคโนโลยี และมีการพัฒนาแรงงานในประเทศ สร้างศักยภาพเพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้กับผู้ผลิตในประเทศในการลดต้นทุนการผลิตการทำให้โครงสร้างพื้นฐาน และสามารถสร้างมาตรฐานและความปลอดภัยให้กับแรงงานในอุตสาหกรรมไทย ได้อีกด้วย

โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ ออกแบบ และสร้างลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง ที่สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้ 2,000 กิโลกรัม ตามความเหมาะสมต่อการใช้งาน รวมถึงการสร้างและทดสอบการทำงานของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างต้นแบบให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อลดต้นทุนในการวิเคราะห์

2.2 สร้างลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างต้นแบบที่สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้ 2,000 กิโลกรัม ด้วยวัสดุภายในประเทศ เพื่อลดการนำเข้าจากต่างประเทศ

3. ขอบเขตของงานวิจัย

- 3.1 วิเคราะห์ความแข็งแรงของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 3.2 สร้างลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างต้นแบบ ที่สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้ 2,000 กิโลกรัม
- 3.3 ทดสอบการทำงานของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างต้นแบบ

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างใช้ใน งานก่อสร้างในพื้นที่สูงได้อย่างแข็งแรงและปลอดภัยโดยลดการนำเข้าลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างจากต่างประเทศ

5. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ด้วย Finite Element [1] เป็นวิธีเชิงตัวเลขวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ และเป็นวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์อย่างกว้างขวาง ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง เช่น วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และความเค้นของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี การวิเคราะห์โครงสร้างหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทั่วไปที่ไม่ซับซ้อน เราสามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ต้องการทราบ เช่น การกระจัดที่ตำแหน่งใดๆ ของชิ้นส่วนได้โดยอาศัยสมการเชิงอนุพันธ์ และผลเฉลยที่ได้รับจะเรียกว่าผลเฉลยแม่นยำตรง (Exact Solution) แต่มีชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และโครงสร้างจำนวนมากที่มีรูปร่างลักษณะที่ซับซ้อนที่ประกอบด้วยส่วนเว้า ส่วนโค้งต่างๆ ทำให้พื้นที่ หน้าตัดของชิ้นส่วนไม่สม่ำเสมอ และบางบริเวณอาจมีการเปลี่ยนแปลงของภาวะอย่างฉับพลัน หรือใช้วัสดุต่างชนิดกันเหล่านี้เป็นต้น จึงมีผลทำให้ไม่สามารถหาผลเฉลยแม่นยำตรงจากสมการอนุพันธ์ได้ วิธี Finite Element เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถจะประมาณค่าผลเฉลยโดยการแก้ระบบสมการเชิงพีชคณิต แทนการ



แก้สมการอนุพันธ์ ขึ้นส่วนหรือส่วนประกอบของปัญหา จะถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ อย่างต่อเนื่อง ตามรูปร่าง ลักษณะที่แท้จริงของชิ้นส่วน ผลเฉลยที่ได้รับจะเป็นผล เฉลยที่จุดต่อ (Node) ของแต่ละ Element ด้วยหลักการ ดังกล่าวสามารถทำให้เราสามารถวิเคราะห์การกระจาย ความเค้น และความเครียดที่ของแต่ละจุดต่อของ Element ที่ประกอบกันเป็นโครงสร้างของชิ้นงาน การ วิเคราะห์ด้วย Finite Element เป็นที่นิยมมากขึ้นทั้งใน แวดวงวิชาการและอุตสาหกรรมในการวิเคราะห์ปัญหา ด้านวิศวกรรมศาสตร์ เนื่องจากขีดความสามารถของ เครื่องคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมวิเคราะห์ทางด้าน Finite Element ที่สูงขึ้น การใช้งานที่สะดวก รวดเร็ว ถูกต้องและแม่นยำสูง ในโครงการนี้ วิธี Finite Element จะถูกนำมาใช้กับ โครงสร้างของระบบราง และ Guide Rail และ ระบบขับเคลื่อนเชิงกล Rack and Pinion

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กังวาล นาคศุภรังษี และคณะ (2555) [2] ได้ ทำการศึกษา ในเรื่องของกระบวนการต่างๆที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง ต่างๆ ในการทดสอบการดึงโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วย ในการวิเคราะห์หาสมบัติเชิงกลของวัสดุเพื่อให้ กระบวนการจำลองเกิดความถูกต้องแม่นยำซึ่งถ้าข้อมูล สำหรับกระบวนการจำลองที่ป้อนเข้าไปยังโปรแกรมการ วิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือจะทำให้เป็นผลดีต่อ กระบวนการวิเคราะห์การจำลองสำหรับงานทางด้าน วิศวกรรมยิ่งขึ้นโดยสามารถจำลองการทดสอบการดึง การทดสอบหาค่าพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ เงื่อนไข เกณฑ์การแตกหักแบบเหนียว รวมถึงความแข็งแรงของวัสดุ และอื่น ๆ อีกมากมาย ในขณะที่เดียวกันยังช่วยให้ ประหยัดเวลารวมถึงค่าใช้จ่ายในการทดลอง จากการ เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการทดลองกับการจำลองให้ ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำและสอดคล้องกันอย่างมี นัยสำคัญ

ค่าความปลอดภัยในการออกแบบเครื่องจักรกล วรวิทย์ และชาญ (2548) ได้อธิบายถึงวัสดุที่ใช้ในการ ออกแบบเครื่องจักรให้อยู่ภายใต้แรงกระทำที่ความเค้นไม่ เกินความเค้นเฉือนที่จุดครากของวัสดุ ค่าความปลอดภัย ที่ใช้ในการออกแบบ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่1 ค่าความปลอดภัยในการออกแบบ

ชนิดของแรง	โลหะเหนียว โลหะเปราะ		
	N_y	N_u	N_u
แรงอยู่นิ่ง	1.5-2	3-4	5-6
แรงซ้ำทิศทางเดียว	3	6	7-8
แรงซ้ำสองทิศทาง	4	8	10-12
แรงกระทำกอย่างหนัก	5-7	15	15-20

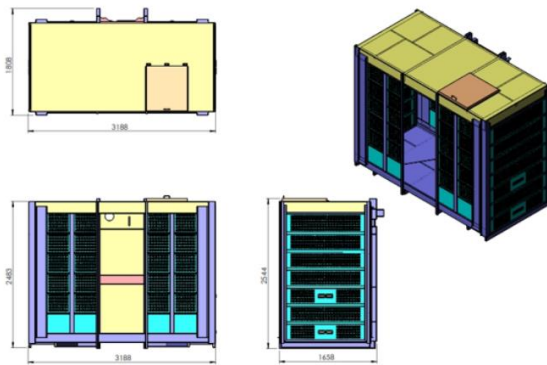
6. วิธีการดำเนินการ

6.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับลิฟต์โดยสาร สำหรับงานก่อสร้าง ในด้านโครงสร้าง วัสดุที่เหมาะสมใน การสร้างลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง การวิเคราะห์ ความแข็งแรงของโครงสร้างลิฟต์โดยสารสำหรับงาน ก่อสร้าง การทดสอบการทำงานของลิฟต์โดยสารสำหรับ งานก่อสร้าง รวมถึงการทดสอบเทียบเคียงผลการ วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง

6.2 การออกแบบและพัฒนาแบบของลิฟต์โดยสาร สำหรับงานก่อสร้าง

การออกแบบลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง ต้นแบบนั้นทำด้วยการเขียนแบบจำลองสามมิติด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยการวัดขนาดของโครงสร้าง ของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างจากเครื่องแม่แบบที่ นำเข้ามาจากต่างประเทศเป็นแบบอ้างอิง จากนั้นได้ทำ การปรับปรุงและพัฒนาแบบจำลองสามมิติให้มีความ เหมาะสมต่ออุปกรณ์ และวัสดุที่สามารถหาได้ ภายในประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองสามมิติของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง

6.3วิเคราะห์ความแข็งแรงของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างด้วยโปรแกรม Solidworks Simulation โดยคำนวณแรงที่กระทำต่อโครงสร้างของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างจากน้ำหนักที่ลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างสามารถรองรับได้สูงสุด (Static Loads) รวมถึงแรงที่เกิดจากการหยุดกะทันหันเนื่องจากความผิดพลาดของการทำงานของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง (Dynamics Loads) เพื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยที่น้อยที่สุดที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง โดยค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยที่น้อยที่สุดที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างต้องไม่น้อยกว่า 4 จากข้อมูลในตารางที่ 1 เนื่องจากมองว่าภาระแรงที่กระทำต่อโครงสร้างมีลักษณะอยู่ในเกณฑ์ของแรงที่กระทำซ้ำสองทิศทาง และพิจารณาตำแหน่งที่เกิดความหนาแน่นของความเค้นสูง เพื่อนำมาวิเคราะห์และปรับปรุงในส่วนที่เกิดความเค้นสะสมมาก เนื่องจากตำแหน่งหรือบริเวณที่เกิดความเค้นสะสมมากจะมีโอกาสหรือความเสี่ยงที่จะส่งผลให้โครงสร้างของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างเกิดความเสียหายขึ้นขณะใช้งานได้ โดยเลือกใช้วัสดุเป็นหลักเกรด SS400 เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายภายในประเทศ มีค่าคุณสมบัติทางกล ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Mechanical properties of standard steel SS400

Description	Value	Unit
Yield Strength	250	MPa
Ultimate Tensile Strength	400	MPa
Poisson’s Ratio	0.26	N/A
Elastic Modulus	210,000	MPa
Shear Modulus	79,300	MPa
Mass Density	7,850	kg/m ³

6.4วัดค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างด้วยเกจวัดความเครียด

การวัดชุดทดลองคานยื่น จะใช้เกจวัดความเครียดประเภทสองแกนติดลงบนชิ้นงาน สัญญาณที่ได้จากการวัดเป็นค่าความต้านทาน นำค่าสัญญาณต่อเข้ากับวงจรหีดสโตนบริด (Wheatstone bridge) ขยายสัญญาณด้วยวงจขยายสัญญาณ ออปแอมป์ (OP-AMP) สัญญาณที่วัดจะออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2



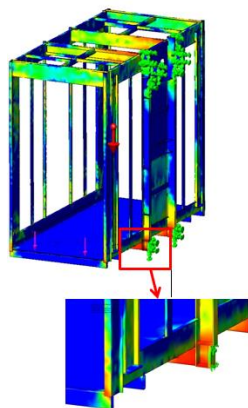
รูปที่2 การวัดค่าความเค้นด้วยเกจวัดความเครียด

7. ผลการดำเนินการ

หลังจากที่คณะผู้ดำเนินงานวิจัยได้โดยได้ทำการออกแบบ และเขียนแบบในรายละเอียดของระบบลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง (Passenger Lift for Construction Work) โดยใช้การเขียนแบบแบบจำลอง 3 มิติแล้วจึงดำเนินการวิเคราะห์ความแข็งแรงของระบบลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง ด้วยวิธี Finite Element ด้วยโปรแกรม SolidWorks Simulation (COSMOS Works) โดยมีผลวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

7.1 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างห้องโดยสารของลิฟต์

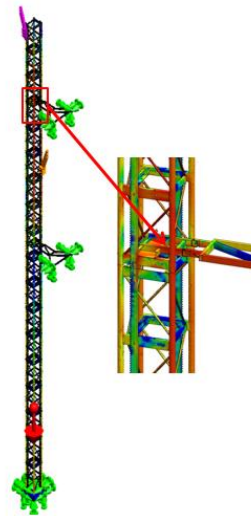
โครงสร้างห้องโดยสารของลิฟต์เป็นส่วนที่มีความสำคัญในการรองรับน้ำหนักของผู้โดยสาร จึงต้องมีการวิเคราะห์ความแข็งแรง โดยโครงสร้างห้องโดยสารของลิฟต์ทำจากวัสดุเหล็กกล้ามาตรฐาน SS400 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างห้องโดยสารของลิฟต์ มีค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 4.6 เกิดขึ้นที่บริเวณที่เกิดความเค้นสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่3 ผลการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นของโครงสร้างลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง

7.2 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเสาโครงสร้าง

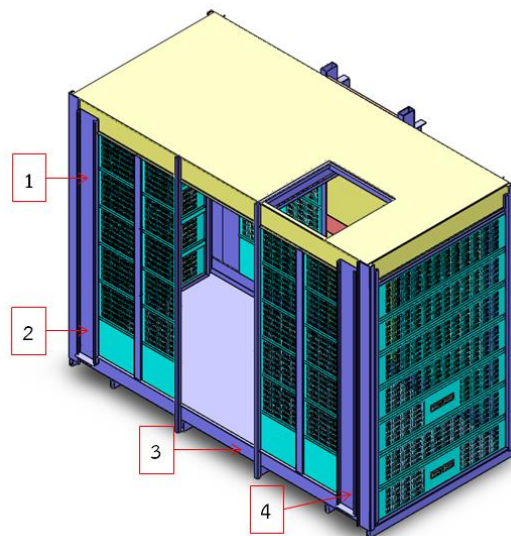
เสาโครงสร้างเป็นอีกส่วนที่มีความสำคัญในการรองรับน้ำหนักทั้งหมดของห้องโดยสารรวมถึงน้ำหนักของผู้โดยสาร จึงต้องมีการวิเคราะห์ความแข็งแรง โดยเสาโครงสร้างทำจากวัสดุเหล็กกล้ามาตรฐาน SS400 โดยเสาโครงสร้างที่นำมาวิเคราะห์ที่ความสูง 40 เมตร ทำการยึดเสาโครงสร้างสองตำแหน่งตามระยะมาตรฐานของเครื่องแม่แบบ และวิเคราะห์ที่ลิฟต์อยู่ในตำแหน่งต่างๆ ของเสาโครงสร้าง ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเสาโครงสร้าง มีค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 4.2 ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่4 ผลการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นของเสาโครงสร้างยึดลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง

7.3 ผลการวัดค่าความเค้นเทียบเคียงผลการคำนวณด้วยगेจวัดความเครียด

ทำการวัดค่าความเค้นที่เกิดขึ้นด้วยगेจวัดความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆบนโครงสร้างของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง 4 ตำแหน่ง ดังรูปที่5



รูปที่5 ตำแหน่งในการติดगेจวัดความเครียดบนโครงสร้างของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง

การตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างต้นแบบ โดยใช้โปรแกรม SolidWorks



Simulation 2012 (COSMOS Works) คือ ผลของการทดลองความเค้นที่เกิดจากการวัดแรงดันไฟฟ้าเทียบกับสมการเทียบเคียง และผลของการทดลองความเค้นที่เกิดจากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของ **โครงสร้างของลิฟต์** โดยสารสำหรับงานก่อสร้างต้นแบบ ค่าความเค้นที่ได้จากทั้งสองส่วนควรจะต้องมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยผลการวัดค่าความเค้นด้วยเกจวัดความเครียด ได้นำมาเปรียบเทียบกับความเค้นแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความเค้นระหว่างการวัดจริงกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

ตำแหน่ง	ความเค้น (MPa) ที่เกิด		ความคลาดเคลื่อน (%)
	จาก		
	การวัดด้วยเกจ	การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม	
1	0.214	0.231	7.94
2	0.173	0.181	4.62
3	0.238	0.249	4.62
4	1.274	1.316	3.30

8. สรุปผลการวิเคราะห์และทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้าง

หลังจากที่คณะผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทำการสร้างเครื่องต้นแบบระบบลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างต้นแบบ แล้วได้ทำการวัดค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริงที่ตำแหน่งต่างๆบนโครงสร้างของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างเพื่อเทียบเคียงกับผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลการวัดค่าเทียบเคียงจากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าทั้งสองมีความคลาดเคลื่อนกันไม่มากนักซึ่งคณะผู้ดำเนินงานวิจัยสามารถยอมรับได้ จึงสามารถมั่นใจได้ว่าชิ้นส่วนต่างๆของลิฟต์โดยสารสำหรับงานก่อสร้างที่ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ความเค้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น ในกรณีที่วิเคราะห์ในสถานการณ์ที่เสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายมากที่สุดมีค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยต่ำที่สุดเท่ากับ 4.6 ซึ่งสามารถยอมรับได้ในการออกแบบ และได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบอื่นๆต่อไป

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนในด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ รวมถึงองค์ความรู้ต่างๆในงานวิจัยนี้

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2550. ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [2] กังวาล นาคศุภรังสี. 2555. การศึกษาการทดสอบการดึงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับวัสดุกล้าอะลูมิเนียม AISI1020. การประชุมวิชาการเครือข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, เพชรบุรี.