



การออกแบบและวิเคราะห์ระบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย รุ่น 3
Design and Analysis of Patient Transfer System Version 3

นายฉัตรมงคล	ดอกไม้	รหัสนิสิต	60360845
นายพจน์	ปลอดภัย	รหัสนิสิต	60363112
นายวรวิทย์	แม่นวงศัมณี	รหัสนิสิต	60364188

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2563



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ การออกแบบและวิเคราะห์ระบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย รุ่น 3

ผู้ดำเนินโครงการ นายฉัตรมงคล ดอกไม้ รหัสนิต 60360845

นายพจน์ ปลอดภัย รหัสนิต 60363112

นายวรวิทย์ แม้นวงค์มณี รหัสนิต 60364188

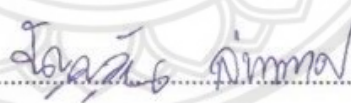
ที่ปรึกษาโครงการ ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์


ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรันตน์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2563


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์)


.....ที่ปรึกษาโครงการร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรันตน์)


.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์จิรา วสุนธราวัฒน์)


.....กรรมการ

(ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์)

หัวข้อโครงการ	: การออกแบบและวิเคราะห์ระบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย รุ่น 3	
ผู้ดำเนินโครงการ	: นายฉัตรมงคล ดอกไม้	รหัสสถิติ 60360845
	: นายพจน์ พลอดภัย	รหัสสถิติ 60363112
	: นายวรวิทย์ แม่นวงค์มณี	รหัสสถิติ 60364188
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรันตน	
สาขาวิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล	
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล	
ปีการศึกษา	: 2563	

บทคัดย่อ

การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของระบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย รุ่น 3 (Limo Patient Transfer System Version 3: Limo PTS รุ่น 3) มีวัตถุประสงค์ในการนำระบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย รุ่น 2 (Limo PTS รุ่น 2) มาพัฒนาต่อยอดโดยการปรับเปลี่ยนโครงสร้างและระบบยกผู้ป่วยให้สามารถผ่อนแรงได้มากยิ่งขึ้น โดยนำหลักการออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์ สำหรับการดำเนินงานเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความแข็งแรง ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์ รวมไปถึงการใช้งานฟังก์ชัน Simulation ผลกระทบของชนิดเอลิเมนต์และวิธีกำหนด Contact ในโปรแกรม Fusion 360 ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และคำนวณทางทฤษฎีเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของการทำ Simulation ซึ่งพบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือ โดย Limo PTS รุ่น 2 มีค่า Von Mises Stress ไม่เกินค่าความแข็งแรงที่จุดครากของ Stainless Steel AISI 304 เนื่องจากวัสดุและขนาดโครงสร้างที่ได้ถูกออกแบบไว้นั้นมีความเหมาะสมในการใช้งานและไม่ควรลดขนาดหรือเปลี่ยนวัสดุ จากนั้นจึงได้ทำการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างของ Limo PTS รุ่น 3 โดยการออกแบบ Limo PTS รุ่น 3 ได้มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการยกผู้ป่วยจากชุดเฟืองทดแรงที่ใช้งานด้วยระบบมือในการหมุน (Manual) เป็นมอเตอร์แกนชัก (Linear Actuator) ใช้ระบบไฟฟ้า มีแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานให้กับมอเตอร์แกนชัก มีบอร์ดรอนั่งขนาดใกล้เคียงกับ Limo PTS รุ่น 2 และสามารถถอดเก็บในรถยนต์ประเภท Supermini ได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์โครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่ามีความปลอดภัย (Safety Factor) มากกว่า 3 สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

Project title : Design and Analysis of Patient Transfer System Version 3
Name : Mr.Chutmongkol Dokmai ID. 60360845
: Mr.Poj Plodphai ID. 60363112
: Mr.Worawit Manwongmanee ID. 60364188
Project Advisor : Dr.Punyawan Lumpaopong
: Assistant Professor Dr.Ponpisut Worrajiran
Major : Mechanical Engineering
Department : Mechanical Engineering
Year : 2020

Abstract

The study is the design and analysis of the patient transfer system version 3 (Limo PTS version 3). The purpose of the study was to develop a new structure and improve the lifting system of Limo PTS version 2 for labor saving. The design and strength analysis of the structure was performed using finite element analysis (FEA). The working process started with theoretical stress analysis, FEA studying and learning to use the simulation function of Autodesk Fusion 360 to analyze the structure and also to study the effects of element and contact types used on the FEA results. The Limo PTS version 2 was then analyzed. In addition, the theoretical stress calculation results were used for FEA validation. It was found from the simulation that the Von Mises Stress of the Limo PTS version 2 was less than the yield strength of Stainless Steel AISI 304. This means, the materials and dimensions of the version 2 structure were properly designed for the usage and, therefore, material change and size reduction are not required for the version 3. Then, Limo PTS version 3 was designed and similar simulation method used to analyze Limo PTS version 2 was applied to analyze Limo PTS version 3 structure. The lifting system of Limo PTS version 3 was altered from manual (gear train) to electrical system using a linear actuator with battery power supply. The seating board and the size of Limo PTS remained unchanged. The new structure can be disassembled and storable in Supermini cars. The FEA of Limo PTS version 3 structure showed the safety factor of higher than 3, which means for safe use.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือ แนะนำให้คำปรึกษา ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และสนับสนุนอุปกรณ์ในการทำงานตลอดระยะเวลาการทำปริญญานิพนธ์ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งจาก ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิสุทธิ์ วรจิรันถน์ ทางคณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้สถานที่ค้นคว้าหาความรู้ และสนับสนุนการใช้อุปกรณ์เครื่องมือช่างต่าง ๆ ภายในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล ตลอดระยะเวลาการทำโครงการ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์จิรา วสุนธราวัฒน์ อาจารย์ประจำภาควิชา สรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ และ ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์ อาจารย์ประจำภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้มาเป็นคณะกรรมการในการสอบ ปริญญานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ทุกคนที่ช่วยเหลือสนับสนุนทั้งด้านกำลังใจด้วยดีมาตลอด นอกจากนี้ยังมี ผู้ให้ความร่วมมือช่วยเหลืออีกหลายท่าน ซึ่งผู้เขียนไม่สามารถกล่าวชื่อนามในที่นี้ได้หมด จึงขอขอบพระคุณทุกท่านเหล่านั้นไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำโครงการ

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 งานวิจัยระบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย (Patient Transfer System)	4
2.1.1 งานวิจัยเก้าอี้สำหรับใช้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยรุ่น 1 (Limo PTS รุ่น 1)	4
2.1.2 งานวิจัยระบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยรุ่น 2 (Limo PTS รุ่น 2)	7
2.2 กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์	11
2.3 มอเตอร์แกนชัก (Linear Actuator)	12
2.4 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	13
2.4.1 ชนิดของเอลิเมนต์	14
2.4.2 ขั้นตอนของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	16
2.4.3 กระบวนการพื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	18
2.4.4 โปรแกรม Autodesk Fusion 360 (Fusion 360)	22
2.4.5 การจำลองการสัมผัส (Contact) ระหว่างชิ้นงานในโปรแกรม Fusion 360	22
2.5 ความเค้นและทฤษฎีความเสียหาย	25
2.5.1 ความเค้นตั้งฉาก (Normal Stress)	25
2.5.2 ความเค้นเฉือน (Shearing Stress)	25
2.5.3 ความเค้นดัด (Bending Stress)	26
2.5.4 ความเค้นหลัก (Principal Stress)	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.5 ทฤษฎีพลังงานแปรรูป	27
2.5.6 สมการค่าองค์ประกอบความปลอดภัย (Safety Factor: F.S.)	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	30
3.1 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Fusion 360 และระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์	31
3.2 วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2	31
3.3 การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3	31
บทที่ 4 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2	32
4.1 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 โดยการคำนวณทางทฤษฎี	32
4.1.1 การคำนวณแรงปฏิกิริยาที่หน้าตัด K-K	33
4.1.2 การคำนวณความเค้นที่หน้าตัด K-K และความเค้นหลัก	34
4.1.3 ความเค้นตั้งฉาก	35
4.1.4 ความเค้นเฉือน	36
4.1.5 ความเค้นดัด	37
4.1.6 ความเค้นหลัก	38
4.1.7 Von Mises Stress	39
4.1.8 ค่าองค์ประกอบความปลอดภัย	39
4.2 วิเคราะห์ความแข็งแรงของ Limo PTS รุ่น 2 ด้วยโปรแกรม Fusion 360 ฟังก์ชัน Simulation	40
4.2.1 วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2	40
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2	46
4.2.3 สรุปผล	49
บทที่ 5 ออกแบบ และวิเคราะห์ความแข็งแรง Limo PTS รุ่น 3	51
5.1 การออกแบบเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3	51
5.2 การออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างแขนของเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.1 ออกแบบการติดตั้งแขน Limo PTS รุ่น 3	52
5.2.2 การออกแบบโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3	52
5.3 การออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3	56
5.3.1 การออกแบบโครงสร้างเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3	56
5.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3	57
5.3.3 สรุปผลการออกแบบโครงสร้าง	62
บทที่ 6 สรุปผลการดำเนินงาน	64
6.1 สรุปผล	64
6.2 ข้อเสนอแนะ	65
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก ก	71
ภาคผนวก ข	79
ภาคผนวก ค	81



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 2.1 แบบจำลองการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบ ของ Element Order และ Contacts	46
ตารางที่ 2.2 ข้อมูลแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ Limo PTS รุ่น 2	47
ตารางที่ 2.3 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	47
ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์การออกแบบโครงสร้างแขน	54
ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ค่า Von Mises Stress ของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3	60
ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ค่า Displacement (d_y) เทียบแกน Y บนแขน ที่จุด A2 และ (d_z) เทียบแกน Z บนเสารูปตัว H ที่จุด A4	61
ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ค่า Safety Factor ที่ตำแหน่งเดียวกับ Von Mises Stress ที่จุดสนใจในตารางที่ 5.2	62

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 บอร์ดรองนั่งของ Limo PTS รุ่น 1	4
รูปที่ 2.2 แก้วน้ำสำหรับใช้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยของ Limo PTS รุ่น 1	5
รูปที่ 2.3 การปรับปรุงชุดระบบกลไก จาก Limo PTS รุ่น 1	7
รูปที่ 2.4 การปรับปรุงชุดล้อคสายรับน้ำหนักของ Limo PTS รุ่น 1 และ 2	8
รูปที่ 2.5 การปรับปรุงการติดตั้งชุดกลไกกับคานโครงสร้างของ Limo PTS รุ่น 1 และ 2	8
รูปที่ 2.6 ชุดกลไกยกผู้ป่วย (Drawing) ของ Limo PTS รุ่น 2	8
รูปที่ 2.7 การปรับปรุงเตียงของคานโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 1 และ 2	9
รูปที่ 2.8 การปรับปรุงเตียงของที่พียงหลัง Limo PTS รุ่น 1 และ 2	9
รูปที่ 2.9 สลักยึดของ Limo PTS รุ่น 1 และ 2	10
รูปที่ 2.10 การหุ้มโฟมยางของ Limo PTS รุ่น 2	10
รูปที่ 2.11 มอเตอร์แกนชัก	12
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการแบ่งเอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์หาผลเฉลยบนแผ่นอะลูมิเนียม โดยหลักการของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	13
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างเอลิเมนต์ 2 มิติ	14
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างเอลิเมนต์ 3 มิติ	14
รูปที่ 2.15 เอลิเมนต์ 1 มิติในโครงสร้าง	15
รูปที่ 2.16 เอลิเมนต์ 2 มิติในงานวิเคราะห์พื้นผิว	15
รูปที่ 2.17 เอลิเมนต์ 3 มิติในงานวิเคราะห์ 3 มิติ	16
รูปที่ 2.18 การแบ่งรูปร่างลักษณะของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย	16
รูปที่ 2.19 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมประกอบด้วยสามจุดต่อ โดยมีจุดที่ไม่ทราบค่า ณ ตำแหน่งจุดต่อ	17
รูปที่ 2.20 กระบวนการพื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	19

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.21 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับเพลลาข้อเหวี่ยงเครื่องยนต์	21
รูปที่ 2.22 ตัวอย่าง Contact Type ชนิด Bonded	23
รูปที่ 2.23 ตัวอย่าง Contact Type ชนิด Offset Bonded	23
รูปที่ 2.24 ตัวอย่าง Contact Type ชนิด Separation	24
รูปที่ 2.25 ตัวอย่าง Contact Type ชนิด Sliding	24
รูปที่ 2.26 ตัวอย่าง Contact Type ชนิด Rough	24
รูปที่ 2.27 ความเค้นเฉือนในหน้าตัดท่อกลมกลาง	25
รูปที่ 2.28 Plane Stress	27
รูปที่ 2.29 ชิ้นส่วนความเค้น (Stress Element)	28
รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน	30
รูปที่ 4.1 แชนของ Limo PTS รุ่น 2	32
รูปที่ 4.2 Free Body Diagram ของส่วนตัดขาเก้าอี้	33
รูปที่ 4.3 หน้าตัด K-K	35
รูปที่ 4.4 รูปแบบความเค้นเฉือนเกิดขึ้นที่หน้าตัด K-K	36
รูปที่ 4.5 รูปแบบความเค้นดัดที่เกิดขึ้นที่หน้าตัด K-K	37
รูปที่ 4.6 แผนการวิเคราะห์ Limo PTS รุ่น 2	41
รูปที่ 4.7 การปรับแบบจำลอง Limo PTS รุ่น 2 เพื่อทำ Simulation	41
รูปที่ 4.8 โหมดในการวิเคราะห์ของฟังก์ชัน Simulation	42
รูปที่ 4.9 Menu Bar ในโหมด Static Stress	42
รูปที่ 4.10 กำหนดชนิดของวัสดุและการคำนวณองค์ประกอบความปลอดภัย	43

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11 มุมมองจากด้านล่าง (Bottom View) ของ Limo PTS รุ่น 2 แสดงจุดยึด (Fixed)	43
รูปที่ 4.12 การยึดแบบ Fixed	43
รูปที่ 4.13 การกำหนดภาระกระทำบนแบบจำลอง	44
รูปที่ 4.14 ตำแหน่งของภาระ	44
รูปที่ 4.15 การกำหนดขนาด Mesh size	45
รูปที่ 4.16 แบบจำลองแบ่งส่วน Mesh Size	45
รูปที่ 4.17 การตั้งค่า Element Order	45
รูปที่ 4.18 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Von Mises Stress ของแบบจำลองที่ 1	48
รูปที่ 4.19 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Displacement ตามแนวแกน Y ของแบบจำลองที่ 1	48
รูปที่ 4.20 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Safety Factor ของแบบจำลองที่ 1	49
รูปที่ 5.1 การปรับปรุงโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 เป็น Limo PTS รุ่น 3	51
รูปที่ 5.2 ลักษณะการติดตั้งแขนแบบสวมและใช้สลักในการยึด	52
รูปที่ 5.3 ช่วงต้น (L) ของแขนต้นผสมกลาง	53
รูปที่ 5.4 โมเดลของโครงสร้างแขนที่ตั้งค่าในฟังก์ชัน Simulation ในการวิเคราะห์	53
รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการเกิด Deformation ในแนวแกน z	54
รูปที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์ Von Mises Stress บนแขนที่จุด A1	55
รูปที่ 5.7 แก้อีเคื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2	56
รูปที่ 5.8 โครงสร้างที่ออกแบบใหม่ของ Limo PTS รุ่น 3	57
รูปที่ 5.9 โมเดลของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3 ที่ตั้งค่าในฟังก์ชัน Simulation ในการวิเคราะห์	58
รูปที่ 5.10 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Von Mises Stress ที่จุด A1 A3 B1 และ B2	59
รูปที่ 5.11 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Displacement (d_y) ที่จุด A2 ตามแนวแกนตั้ง	59
รูปที่ 5.12 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Displacement (d_z) ที่จุด A4 ตามแนวแกนนอน	60

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.13 Von Mises Stress ที่จุด A1 A3 B1 และ B2	61
รูปที่ 5.14 Displacement d_y และ d_z ที่จุด A2 A3 ตามลำดับ	62



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันมีการพัฒนาอุปกรณ์เทคโนโลยีทางการแพทย์ไปอย่างรวดเร็ว ควบคู่กับการพัฒนาประสิทธิภาพในการดูแลรักษาผู้ป่วย จากข้อมูลสถิติกระทรวงสาธารณสุขพบว่าในปี 2568 ประเทศไทยจะก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ มีผู้สูงอายุมากกว่า 14 ล้านคน จากผลการสำรวจผู้สูงอายุกว่า 1 ล้านคนมีสุขภาพไม่แข็งแรง และผู้สูงอายุบางส่วนไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ นอนติดเตียง ต้องการผู้ดูแลอย่างใกล้ชิด โดยมีแนวโน้มว่าผู้สูงอายุจำนวนเพิ่มมากขึ้นอาศัยอยู่ลำพังไม่มีลูกหลานคอยดูแล กระทรวงสาธารณสุขจึงต้องมีการพัฒนาการตรวจคัดกรองสุขภาพและการดูแลในชุมชนร่วมกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น นอกจากนี้ยังจัดทำสมุดบันทึกสุขภาพผู้สูงอายุใช้ได้ทั่วประเทศ [1] อย่างไรก็ตามการดูแลอย่างใกล้ชิดโดยเฉพาะการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่ช่วยเหลือตัวเองได้น้อย เช่นผู้ป่วยที่เป็นอัมพาตเดินไม่ได้ ผู้ป่วยกล้ามเนื้ออ่อนแรง ผู้ป่วยติดเตียง รวมถึงผู้สูงอายุที่มีเพิ่มขึ้นในสังคมนั้น ยังมีการดูแลที่มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ โดยการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องใช้ผู้ดูแลอย่างน้อย 3 คน ต่อผู้ป่วย 1 คน [2] ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการดูแลผู้ป่วยที่ช่วยเหลือตัวเองได้น้อยนั้นเป็นงานที่หนัก และสร้างภาระทางร่างกายและจิตใจให้กับผู้ดูแล ในยุคที่เทคโนโลยีทางการแพทย์มีความสำคัญกับชีวิต จึงต้องมีการปรับวิธีในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่สะดวกต่อผู้ดูแล สามารถเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่ช่วยเหลือตัวเองได้น้อย โดยใช้ผู้ดูแลเพียง 1 คน และส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อสภาพร่างกายของผู้ป่วย

จากที่กล่าวมาข้างต้นปัญหาของผู้ป่วยที่ช่วยเหลือตัวเองได้น้อยมีเพิ่มมากขึ้น นักวิจัยและนักประดิษฐ์จำนวนมากรวมถึงคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้เล็งเห็นถึงปัญหาในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่ช่วยเหลือตัวเองได้น้อย จึงมีการเริ่มคิดค้นระบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo Patient Transfer System รุ่น 1 (Limo PTS รุ่น 1) [3] และมีการพัฒนาต่อยอดเป็น Limo Patient Transfer System รุ่น 2 (Limo PTS รุ่น 2) [4] จากการศึกษาและทำการทดลองใช้งาน Limo PTS รุ่น 1 และ รุ่น 2 ซึ่งมีบอร์ดทรงนั่งที่สามารถพับเก็บได้และมีชุดเฟืองทดแรงสำหรับยกผู้ป่วยที่เป็นระบบกลไกสามารถติดตั้งได้อย่างมั่นคงกับตัวโครงสร้าง และโครงสร้างสามารถถอดประกอบได้ คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการดูแลเคลื่อนย้ายผู้ป่วย และการแบ่งเบาภาระของผู้ดูแล จึงได้ทำการศึกษาโปรแกรม Autodesk Fusion 360 (Fusion 360) และระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2

หากจุดที่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ นำไปสู่แนวคิดในการพัฒนาต่อยอดให้เป็น Limo Patient Transfer System รุ่น 3 (Limo PTS รุ่น 3) โดยทำการออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3 ให้มีเบาะรองนั่งและขนาดโครงสร้างใกล้เคียงกับ Limo PTS รุ่น 2 โดยมีมอเตอร์แกนชักเป็นระบบผ่อนแรง เพื่อความสะดวกต่อผู้ดูแลมากยิ่งขึ้น และเป็นต้นแบบในการผลิตชิ้นงานจริง Limo PTS รุ่น 3 ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM)

1.2.2 เพื่อออกแบบ Limo PTS รุ่น 3 โดยใช้โปรแกรม Fusion 360 และวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1.3 ขอบเขตโครงการ

ศึกษางานวิจัย หลักการทำงาน และทำการทดลองใช้งาน Limo PTS รุ่น 1 และรุ่น 2 โดย Limo PTS รุ่น 1 และ 2 มีบอร์ตรองนั่งที่สามารถพับเก็บได้และมีชุดเฟืองทดแรงสำหรับยกผู้ป่วยที่เป็นระบบกลไกสามารถติดตั้งได้อย่างมั่นคงกับตัวโครงสร้าง และโครงสร้างสามารถถอดประกอบได้ในการออกแบบใช้โปรแกรม Autodesk Fusion 360 (Fusion 360) ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดเป็น Limo PTS รุ่น 3 ที่ประกอบด้วยบอร์ตรองนั่งและเก้าอี้เคลื่อนย้ายที่ใช้ระบบมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อผ่อนแรงสามารถติดตั้งได้อย่างมั่นคงกับตัวโครงสร้าง และโครงสร้างสามารถถอดประกอบได้ โดยกำหนดบอร์ตรองนั่ง และขนาดโครงสร้างใกล้เคียงกับ Limo PTS รุ่น 2 โดยออกแบบและเขียนแบบ นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ Limo PTS รุ่น 2 เพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดเป็น Limo PTS รุ่น 3 ได้

1.4.2 ได้ต้นแบบโมเดล 3 มิติ ของ Limo PTS รุ่น 3 ที่สามารถนำไปสั่งผลิตเป็นชิ้นงานจริงต่อไป

1.5 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

สำหรับส่วนขั้นตอนและแผนการดำเนินงานคณะผู้วิจัยได้ทำการกำหนดแผนการดำเนินงานไว้ดังตารางที่ 1.1 โดยทำการศึกษาตัวต้นแบบ ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ ไปจนถึงการออกแบบ วิเคราะห์ และสรุปผลการดำเนินงาน

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยระบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย (Patient Transfer System)

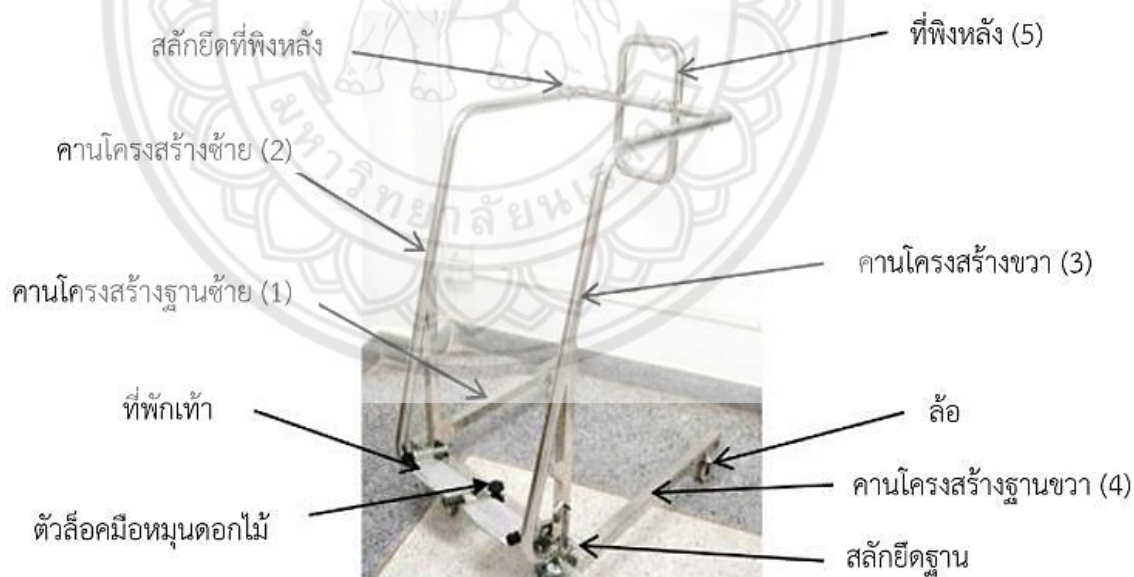
2.1.1 งานวิจัยเก้าอี้สำหรับใช้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยรุ่น 1 (Limo PTS รุ่น 1) [3]

ในปี 2560 นายคมแฝก อุปธิ นายดำรงค์ พงษ์พิทักษ์ และนายนพดล นิพัทธ์สกุล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร มีจัดทำโครงการเก้าอี้เพื่อใช้สำหรับเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ซึ่งเป็นอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่สามารถลดจำนวนผู้ดูแลจากเดิมอย่างน้อย 3 คน เหลือ 1 คน สามารถรับน้ำหนักผู้ป่วยได้ถึง 120 กิโลกรัม (kg) สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านการนำเข้าอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากต่างประเทศ ชุดอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่ได้จัดทำขึ้นนั้นมีชื่อว่า Limo Patient Transfer System หรือเรียกย่อว่า “Limo PTS” ประกอบไปด้วย บอร์ดรองนั่ง (Limo PTS Board) และเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย (Limo PTS Wheelchair) ซึ่งบอร์ดรองนั่งมีส่วนที่เป็นแผ่นรองนั่งมีขนาดความกว้าง 500 มิลลิเมตร (mm) ความยาว 500 มิลลิเมตร ส่วนของแผ่นพิงหลังมีขนาด ความกว้าง 500 มิลลิเมตร ความยาว 600 มิลลิเมตร และประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.1 โดยมีสายรัดหน้าอกสำหรับใช้ร่วมกับบอร์ดรองนั่ง ผลการทดสอบพบว่าบอร์ดรองนั่งสามารถใช้งานได้ตามฟังก์ชันและสามารถใช้งานได้ด้วยผู้ดูแลเพียงคนเดียว



รูปที่ 2.1 บอร์ดรองนั่งของ Limo PTS รุ่น 1 [3]

เก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยแบ่งโครงสร้างหลักออกเป็น 5 ชั้น คือ (1) คานโครงสร้างฐานซ้าย (2) คานโครงสร้างซ้าย (3) คานโครงสร้างขวา (4) คานโครงสร้างฐานขวา และ (5) ที่พิงหลัง ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งได้ออกแบบให้สามารถใช้งานได้หลายฟังก์ชัน ได้แก่ สวมเข้ากับเก้าอี้เข็น สวมเข้ากับเตียง นำเข้าที่นั่งส่วนหน้ารถยนต์ประเภท Supermini ฝั่งผู้โดยสาร และถอดเก็บท้ายรถยนต์ได้ ดังนั้นการออกแบบจึงได้นำข้อมูลขนาดพื้นฐานของเก้าอี้เข็น ขนาดของเตียงสำหรับผู้ป่วยและขนาดของรถยนต์ประเภท Supermini ที่ได้วัดจริง ตามสัดส่วนขนาดต่าง ๆ และได้ทดสอบการรับภาระแบบหยุดนิ่ง (Static Test) และแบบเคลื่อนที่ (Dynamic Test) ในการทดสอบแบบหยุดนิ่ง เป็นการวางน้ำหนักบนเบาะรองนั่งที่อยู่สูงจากพื้น 55 เซนติเมตร (cm) ส่วนการทดสอบแบบเคลื่อนที่เป็นการวางน้ำหนักบนเบาะรองนั่งที่สูงจากพื้น 55 เซนติเมตรและหมุนเพลาเพื่อยกน้ำหนักนั้นขึ้นจากความสูงจากพื้น 55 เซนติเมตร ไปที่ความสูง 70 เซนติเมตร ผลการทดสอบพบว่าโครงสร้างเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่ได้ออกแบบสามารถใช้งานได้ตามฟังก์ชัน มีขนาดเหมาะสมกับการใช้งานกับเตียงผู้ป่วย เก้าอี้เข็น และรถยนต์ประเภท Supermini โดยการใช้งานในส่วนของรถยนต์ประเภท Supermini โครงสร้างเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยสามารถเข้าไปในรถยนต์ได้ (เบาะผู้โดยสารข้างคนขับ) และสามารถถอดประกอบชิ้นส่วนเก็บใส่ท้ายรถยนต์ประเภท Supermini ได้



รูปที่ 2.2 เก้าอี้สำหรับใช้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยของ Limo PTS รุ่น 1 [3]

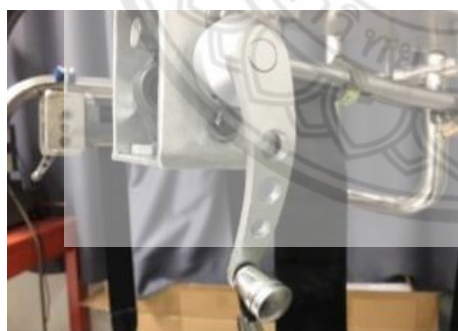
หลักการของกลไกในการยกผู้ป่วย การสร้างกล่องกลไกยกผู้ป่วยในส่วนของโครงสร้างและเพลาของ Limo PTS รุ่น 1 ได้ใช้วัสดุอลูมิเนียมเนื่องจากมีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงที่ยอมรับได้และไม่เกิดสนิมเมื่อสัมผัสกับความชื้น ส่วนตั้บลูกปืนตุ้กตาได้ใช้อุปกรณ์ที่เป็นมาตรฐานสามารถใช้งานได้อย่างดี และเลือกขนาดของชุดเฟืองหนอนที่สามารถยกน้ำหนักได้ 120 kg มีอัตราทดรอบ 1:30 และชุดเฟืองผลิตจากเหล็กกล้าเพื่อให้มีความแข็งแรงทนทานรับแรงบิดได้สูง สามารถยกน้ำหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก่อนนำไปประกอบเป็นเก้าอี้ได้มีการทดสอบการรับน้ำหนักของชุดกลไก แบบหยุดนิ่งและแบบเคลื่อนที่ ในการทดสอบแบบหยุดนิ่ง เป็นการแขวนน้ำหนักบนเพลาโดยไม่มีการหมุนเพลา ส่วนการทดสอบแบบเคลื่อนที่เป็นการแขวนน้ำหนักและหมุนเพลาเพื่อยกน้ำหนักนั้นขึ้น ทั้งนี้กลไก 1 ข้างถูกออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักได้อย่างน้อย 60 kg จากการทดสอบการรับน้ำหนักแบบหยุดนิ่ง พบว่ากลไก 1 ข้างนั้นสามารถรับน้ำหนักได้สูงถึง 100 kg ได้อย่างปลอดภัยและมีแนวโน้มว่าจะสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่านั้น และในการรับน้ำหนักแบบเคลื่อนที่ พบว่าชุดกลไกการยกน้ำหนักสามารถยกน้ำหนักได้ สูงสุด 94 kg ไม่สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่านี้ เนื่องจากเฟืองหมุนเพลาเกิดการแอ่นทำให้เฟืองหนอนแยกออกจากกัน

ผลการจัดทำ Limo PTS รุ่น 1 พบว่าสามารถเคลื่อนย้ายผู้ป่วยได้ตามต้องการ ได้อย่างปลอดภัย อย่างไรก็ตามยังคงมีปัญหาในการใช้งานในบางด้าน เนื่องจาก Limo PTS รุ่น 1 จัดทำเป็นรุ่นแรกในระยะเวลาที่จำกัด โดยผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะในการปรับปรุง Limo PTS รุ่น 1 ไว้ดังนี้

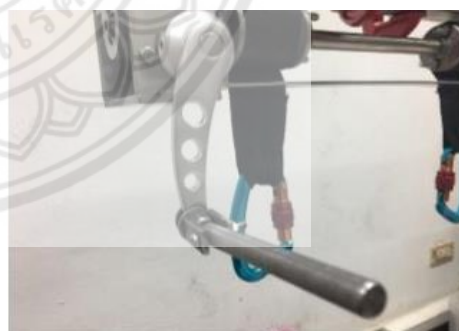
1. อาจมีการปรับขนาดของโครงสร้างให้มีหลายรุ่นหรือหลายขนาด ตามความเหมาะสมของผู้ใช้งานในอนาคตต่อไป
2. อาจมีการปรับขนาดของชุดกลไกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและให้มีขนาดเล็กลง
3. อาจมีการใช้เชือกไนลอนติดให้เป็นที่จับตรงบอร์דרองนั่ง PTS ตำแหน่งใกล้กับบานพับตรงกลางของแผ่นรองนั่ง เพื่อความสะดวกในการเลื่อนบอร์דרองนั่งเข้าหาผู้ป่วย
4. อาจมีการปรับลักษณะรูปร่างและขนาดของที่พิงหลัง เพื่อความเหมาะสมมากยิ่งขึ้นในการใช้งาน

2.1.2 งานวิจัยระบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยรุ่น 2 (Limo PTS รุ่น 2)

ในปี 2561 นายกฤษฎา สิงห์เวิน นายชนันวัฒน์ วัฒนวิเชียร และนายวัชรกร กาญจนเวณู คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้จัดทำ Limo PTS รุ่น 2 ซึ่งพัฒนาต่อยอดมาจาก Limo PTS รุ่น 1 ซึ่งแม้ว่า Limo PTS รุ่น 1 นั้นสามารถใช้ในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยได้ตามต้องการ แต่ยังพบว่ามีปัญหาในการใช้งานบางด้าน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.1.1 Limo PTS รุ่น 2 จึงได้มีการปรับปรุงทั้งชุดกลไกของผู้ป่วย เตื่อยคานโครงสร้าง รวมไปถึงจนถึงการปรับปรุงสลักต่าง ๆ ในโครงสร้างของ Limo PTS รุ่น 1 ซึ่งก่อนปรับปรุงมือจับมีขนาดเล็ก ไม่ถนัดมือ (รูปที่ 2.3ก.) โดย Limo PTS รุ่น 2 ถูกปรับปรุงมือจับให้ยาวขึ้นและสามารถพับเก็บได้ เพื่อความสะดวกต่อการใช้งานของผู้ดูแล (รูปที่ 2.3ข.) ในส่วนของชุดล้อคล็อกสายรับน้ำหนักของ Limo PTS รุ่น 1 (รูปที่ 2.4ก.) สายรับน้ำหนักยังมีการล๊อคที่ไม่มั่นคงแข็งแรง จึงมีการปรับปรุงชุดการล๊อคสายรับน้ำหนัก ทำให้สามารถรับน้ำหนักได้มั่นคงและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (รูปที่ 2.4ข.) นอกจากนี้พบว่าขนาดกล่องกลไกใหญ่เกินไป และการติดตั้งกับตัวโครงสร้างยังไม่มั่นคงแข็งแรง (รูปที่ 2.5ก.) จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไข ให้มีขนาดเล็กลง และได้เชื่อมกล่องกลไกติดกับคานโครงสร้าง (รูปที่ 2.5ข.) เพื่อให้ชุดกลไกติดตั้งได้อย่างมั่นคงแข็งแรง ไม่หมุนรอบตัวโครงสร้าง รวมถึงยังได้ทำการออกแบบชุดระบบกลไกของ Limo PTS รุ่น 2 ดังรูปที่ 2.6 เพื่อให้มีขนาดเล็กลงและแข็งแรงมากยิ่งขึ้น



ก. รุ่น 1

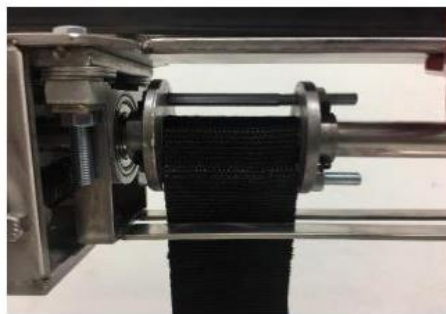


ข. รุ่น 2

รูปที่ 2.3 การปรับปรุงชุดระบบกลไกมือจับ จาก Limo PTS รุ่น 1 ไปเป็น Limo PTS รุ่น 2 [4]

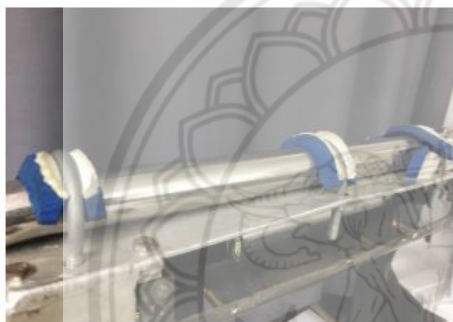


ก. รุ่น 1



ข. รุ่น 2

รูปที่ 2.4 การปรับปรุงชุดลีดสายรับน้ำหนักจาก Limo PTS รุ่น 1 ไปเป็น Limo PTS รุ่น 2 [4]



ก. รุ่น 1



ข. รุ่น 2

รูปที่ 2.5 การปรับปรุงการติดตั้งชุดกลไกกับคานโครงสร้างจาก Limo PTS รุ่น 1 ไปเป็น Limo PTS รุ่น 2 [4]



รูปที่ 2.6 ชุดกลไกยกผู้ป่วยของ Limo PTS รุ่น 2 [4]

จากการวิเคราะห์ปัญหาการใช้งานของเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 1 คณะผู้วิจัย Limo PTS รุ่น 2 พบว่ามีปัญหาเรื่อง ความยาวของเดือยคานโครงสร้าง (รูปที่ 2.7ก.) และเดือยของที่พิงหลัง มีความยาวมากเกินไปจนความจำเป็น (รูปที่ 2.8ก.) ส่งผลให้มีความยากลำบากในการถอดประกอบตัวโครงสร้างกับคานโครงสร้างฐาน และที่พิงหลัง จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขให้เดือยของคานโครงสร้างให้สั้นลง (รูปที่ 2.7ข.) และปรับปรุงเดือยของที่พิงหลังให้กะทัดรัด สวมใส่เข้ากับแขนโครงสร้างพอดี (รูปที่ 2.8ข.) ทำให้สะดวกต่อการใช้งานของผู้ดูแลมากยิ่งขึ้น และในส่วนสลักยึดของ Limo PTS รุ่น 1 ที่มีการลึกละเอียดกับรูยึดไม่มั่นคงแข็งแรง (รูปที่ 2.9ก.) อาจหลุดและทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ป่วยได้นั้น จึงได้ถูกปรับปรุงแก้ไขสลักยึดของ Limo PTS รุ่น 2 เป็นแบบ Ball Lock Pin (รูปที่ 2.9ข.) ทำให้สามารถยึดเข้ากับรูยึดสลักได้อย่างมั่นคง ไม่หลุดได้ง่าย นอกจากนี้ยังพบว่าขณะใช้งาน Limo PTS รุ่น 1 โครงสร้างจะกระทบกับพื้นหรือรถยนต์ อาจทำให้เกิดอันตรายและเสียงดัง Limo PTS รุ่น 2 จึงได้ปรับปรุงแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการหุ้มแผ่นโฟมยางที่ตัวโครงสร้างในบริเวณที่กระทบกับรถยนต์หรือพื้น ดังรูปที่ 2.10



ก. รุ่น 1

ข. รุ่น 2

รูปที่ 2.7 การปรับปรุงเดือยของคานโครงสร้างจาก Limo PTS รุ่น 1 ไปเป็น Limo PTS รุ่น 2 [4]



ก. รุ่น 1



ข. รุ่น 2

รูปที่ 2.8 การปรับปรุงเดือยของที่พิงหลังจาก Limo PTS รุ่น 1 ไปเป็น Limo PTS รุ่น 2 [4]



ก. สลักยึดธรรมดา



ข. สลักยึดแบบ Ball Lock Pin

รูปที่ 2.9 การปรับปรุงสลักยึดจาก Limo PTS รุ่น 1 ไปเป็น Limo PTS รุ่น 2 [4]



รูปที่ 2.10 การหุ้มโฟมยางของ Limo PTS รุ่น 2 [4]

จากการใช้งานพบว่าระบบอุปกรณ์สำหรับเคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2 ที่ได้ออกแบบมาสามารถใช้งานได้ตามฟังก์ชันที่ต้องการคือ ใช้งานกับผู้ดูแลเพียงคนเดียว และมีเวลาเฉลี่ยในการใช้งานเพื่อเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากท่านอนบนเตียงไปนั่งบนเก้าอี้เข็นน้อยกว่ารุ่นที่ 1 เนื่องจากการปรับปรุงบอร์ดพิงหลัง ชุดกลไก และตัวโครงสร้าง พบว่า Limo PTS รุ่น 2 สามารถใช้งานได้ไฉไลกว่า และมีเวลาเฉลี่ยที่ดี ในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากท่านอนบนเตียงไปนั่งยังเก้าอี้เข็น 8 นาที 12 วินาที น้อยกว่าเวลาของ Limo PTS รุ่นที่ 1 ถึง 39% แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ Limo PTS รุ่นที่ 2 ที่ถูกปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม พบว่าการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากเก้าอี้เข็นกลับไปนอนบนเตียงทั้ง 2 รุ่นใช้เวลาต่างกัน เพียงเล็กน้อย (3%) ทั้งนี้เนื่องจากผู้ป่วยนั่งอยู่บนเบาะรองนั่งของรถเข็นอยู่แล้ว ไม่ต้องใช้เวลาในการจัดทำให้ผู้ป่วยนั่งอยู่บนเบาะรองนั่งอีก ต่างจากการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากเตียงไปนั่งบนเก้าอี้เข็นซึ่ง การจัดผู้ป่วยให้อยู่ในท่านั่งบนเบาะรองนั่งเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานาน ทั้งนี้ผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะในการปรับปรุง Limo PTS รุ่น 2 ไว้ดังนี้

1. อาจมีการปรับให้มีมือจับของชุดมือหมุน สามารถปรับความยาวได้ตามความถนัดของผู้ใช้งาน
2. อาจมีการเจาะเพลาสแตนเลสบริเวณที่ใช้เซ็คตสกรูยึดชุดเฟืองตัวหนอนให้เป็นรู เพื่อให้เซ็คตสกรูสามารถยึดเฟืองตัวหนอนกับเพลาดูดีขึ้น
3. อาจมีการปรับการขยายคานโครงสร้างฐานซ้าย และขวา ให้ใส่ได้ตรงรูยึดสลักง่ายขึ้น
4. อาจเปลี่ยนไปใช้ระบบส่งกำลังแบบอื่น เช่น ระบบไฮดรอลิกหรือมอเตอร์ไฟฟ้า

2.2 กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ [5]

การออกแบบผลิตภัณฑ์ เป็นการใช้ความรู้และหลักการทางด้านวิศวกรรมมาประยุกต์กับเทคโนโลยีทำให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ออกมาเป็น ผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ หรือใช้ทฤษฎีวิศวกรรมย้อนกลับช่วยในการออกแบบนำมาพัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม ตามหลักวิศวกรรมและได้ผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการแล้วนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.1 การวิเคราะห์ความต้องการในการใช้งาน

จากการทดลองใช้งาน ทำให้มีความคิดที่จะพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์ นำไปสู่การค้นหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและศึกษาความต้องการของผู้ที่ใช้งาน แล้วนำมาออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้สูงสุด

2.2.2 กำหนดปัญหาและตั้งวัตถุประสงค์ในการออกแบบ

การกำหนดปัญหาส่วนที่สามารถพัฒนาต่อยอดได้ ตัวอย่างเช่น Limo PTS รุ่น 2 เป็นอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่การยกผู้ป่วยเป็นระบบมือหมุนสามารถเคลื่อนย้ายผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงนำมาวิเคราะห์ เพื่อกำหนดวัตถุประสงค์ส่วนที่สามารถพัฒนาต่อยอดได้ โดยวัตถุประสงค์นั้นต้องมีความเป็นไปได้ ในการใช้งานจริง ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงหรือมีความจำเพาะเจาะจงมากขึ้นเมื่อวัตถุประสงค์มีความชัดเจนและแม่นยำตรงกับปัญหานั้นสามารถนำไปเป็นข้อกำหนดในการแก้ปัญหาได้

2.2.3 การพัฒนาและออกแบบชิ้นงาน

การพัฒนาการออกแบบ: คือ กรรมวิธีการออกแบบ กระบวนการ เทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบล้วนเป็นส่วนหนึ่งของกรรมวิธีการออกแบบ

การระดมสมอง: คือ วิธีการรวบรวมความคิดสร้างสรรค์ นำเสนอความคิดที่เป็นไปได้แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อคัดกรองความคิดให้ได้ต้องตามความต้องการ

การเปรียบเทียบและโอกาส: ไอเดีย นวัตกรรมที่สามารถนำไปใช้งานได้ซึ่งแตกต่างจากการระดมสมองตรงที่การสร้างสรรค้ไอเดียโดยใช้การเปรียบเทียบในการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์: หรือกรรมวิธีซิสเทเมติกเป็นการวิเคราะห์ฟังก์ชันโดยมีการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันย่อย และการเปรียบเทียบผลลัพธ์เพื่อให้ได้ฟังก์ชันที่ดีที่สุด

วิศวกรรมย้อนกลับ: เป็นกระบวนการศึกษาวิเคราะห์วิธีการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบแล้วนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์จักรกล หรือระบบใหม่ที่ทำหน้าที่ได้เหมือนกันกับอุปกรณ์ต้นแบบโดย มีการพัฒนาอุปกรณ์ให้แตกต่างไปจากเดิมและสามารถนำไปใช้งานได้ดีกว่าอุปกรณ์ต้นแบบนั้น ๆ

2.3 มอเตอร์แกนชัก (Linear Actuator)

มอเตอร์แกนชักเป็นอุปกรณ์ส่งกำลังขนาดเล็ก เป็นมอเตอร์ที่เคลื่อนที่เชิงเส้น ประกอบด้วยมอเตอร์ ก้านสูบ สวิตช์ ฯลฯ ดังรูปที่ 2.11 มีระยะยึดของแกนหรือช่วงชักปกติของมอเตอร์แกนชักแบบธรรมดา คือ 100, 150, 200, 250, 300, 350, และ 400 mm มีแรงขับสูงสุดทั่วไป 6000 N และความเร็วในการเคลื่อนที่แบบไม่มีภาระอยู่ในช่วง 4-35 mm/s โดยมอเตอร์แกนชักใช้มอเตอร์แม่เหล็กถาวร 12 VDC หรือ 24 VDC เป็นแหล่งพลังงานซึ่งเปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบหมุนของมอเตอร์เป็นการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น [6]



รูปที่ 2.11 มอเตอร์แกนชัก [6]

มอเตอร์แกนชักสามารถนำมาใช้งานทดแทนระบบมือหมุน ระบบไฮดรอลิก ระบบนิวเมติก และนำมาประยุกต์ใช้กับเตียงคนไข้ที่สามารถปรับระดับได้ ในด้านอุตสาหกรรม สามารถประยุกต์ใช้เป็นแขนกลหุ่นยนต์ เครื่องจักรในอุตสาหกรรม หรือประตูหรือหน้าต่างอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ในงานวิจัยทางด้านวิศวกรรม สามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์แกนชัก โดยใช้แผงวงจรควบคุม ในการปรับเปลี่ยนความเร็วและระยะยึดของแกนได้อีกด้วย

2.4 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการแก้ปัญหาในทางวิศวกรรม ปัญหาทางด้านของไหล ปัญหาการถ่ายเทความร้อน และ ปัญหากลศาสตร์ของแข็ง ปัญหานั้นจะประกอบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้ ค่าผลเฉลยแม่นยำตรง (Exact Solution) ของปัญหาดังกล่าวจะประกอบด้วยค่าของตัวแปรต่าง ๆ กันตามตำแหน่งต่าง ๆ บนรูปร่างลักษณะของปัญหานั้น ทั้งหมดนับเป็นจำนวนอนันต์ค่ามีจำนวนมากเกินไปจึงไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ โดยหลักการของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [7] คือ ทำการเปลี่ยนค่าทั้งหมดที่มีจำนวนอนันต์ค่านั้นมาเป็นค่าโดยประมาณที่มีจำนวนที่นับได้ (Finite) ด้วยการแทนรูปร่างลักษณะของปัญหาด้วยเอลิเมนต์ (Elements) ซึ่งมีขนาดต่างกันเพื่อให้สามารถหาผลเฉลยโดยประมาณได้ ดังแสดงในตัวอย่างการแบ่งเอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์หาผลเฉลยบนแผ่นอะลูมิเนียม โดยหลักการของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการแบ่งเอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์หาผลเฉลยบนแผ่นอะลูมิเนียม โดยหลักการของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [7]

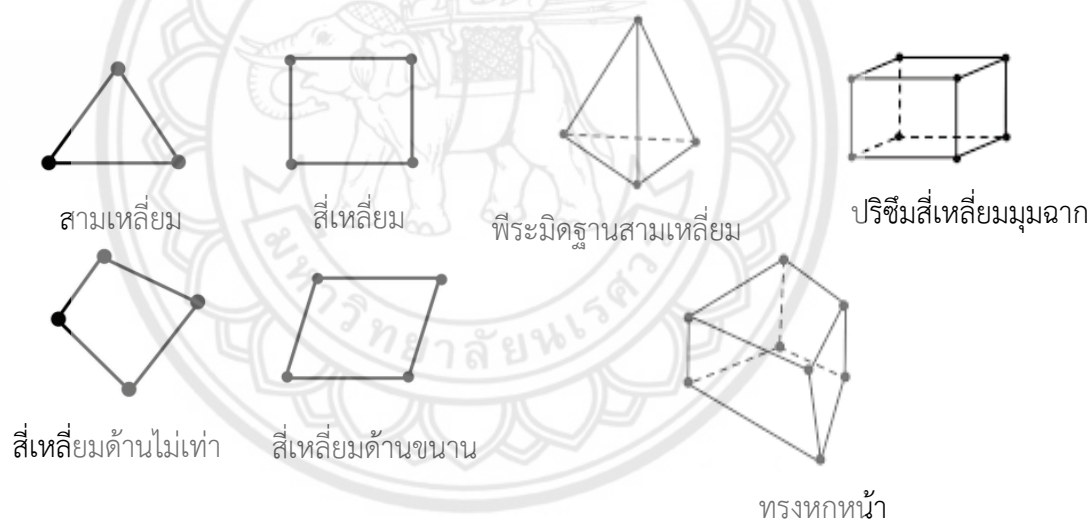
ผลเฉลยของแต่ละเอลิเมนต์นั้นจำเป็นต้องสอดคล้อง (Satisfy) กับสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้ในปัญหานั้น ๆ ซึ่งหมายความว่าหลักการของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มต้นจากการพิจารณาที่แต่ละเอลิเมนต์ โดยทำการสร้างสมการสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหา จากนั้นจึงนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นมาประกอบกันเป็น ระบบสมการชุดใหญ่ซึ่งในความหมายทางกายภาพคือ การนำทุกเอลิเมนต์มาประกอบรวมเข้าด้วยกันก่อให้เกิดเป็นรูปร่างลักษณะทั้งหมดของปัญหาที่แท้จริง จากนั้นจึงทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่ให้กับระบบสมการชุดใหญ่นี้แล้วจึงทำการแก้สมการดังกล่าว ซึ่งจะก่อให้เกิดผลเฉลยโดยประมาณที่ต้องการ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของปัญหานั้น

ความแม่นยำของค่าผลเฉลยโดยประมาณที่คำนวณได้ขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการแก้ปัญหานั้น นอกจากนี้ค่าความแม่นยำของค่าผลเฉลยโดยประมาณยังขึ้นอยู่กับการสมมุติรูปแบบของฟังก์ชันการประมาณภายใน (Interpolation Functions) ความแม่นยำของค่าผล

เฉลยโดยประมาณที่คำนวณได้นั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา นั้น เช่น การประมาณค่าแบบสมการเชิงเส้นตรง (Linear Equation) และการประมาณค่าแบบสมการกำลังสอง (Quadratic Equation) โดยการประมาณค่าทั้งที่กล่าวมาจะให้ผลการประมาณค่าที่ต่างกัน โดยที่การประมาณค่าแบบสมการกำลังสองมักให้ผลการประมาณค่าใกล้เคียงกับผลเฉลยจริงมากกว่า การประมาณค่าแบบสมการเชิงเส้นตรง แต่การใช้ฟังก์ชันการประมาณค่าแบบสมการกำลังสองจะยุ่งยากซับซ้อนกว่า และใช้เวลาและทรัพยากรในการคำนวณมากกว่า

2.4.1 ชนิดของเอลิเมนต์

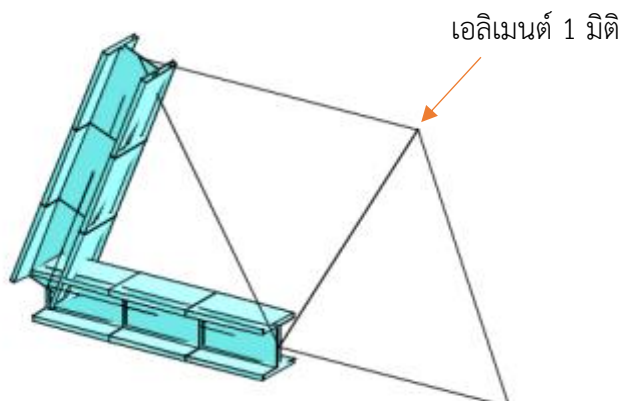
ชนิดของเอลิเมนต์แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบได้แก่ เอลิเมนต์ 1 มิติ (Beam Element) เอลิเมนต์ 2 มิติ (Shell Element) และเอลิเมนต์ 3 มิติ (Solid Element) ซึ่งเอลิเมนต์แต่ละมิติจะมีจุดต่อหรือที่เรียกว่า โหนด (Node) ประโยชน์ของโหนด คือเป็นตัวกำหนดรูปร่างทางเรขาคณิตของเอลิเมนต์กับเอลิเมนต์ที่รูปร่างมีองศาเป็นแบบอิสระ โดยปกติโหนดจะตั้งอยู่ที่มุม หรือจุดปลายของเอลิเมนต์ดังรูปที่ 2.13 และ 2.14 [8]



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างเอลิเมนต์ 2 มิติ [8]

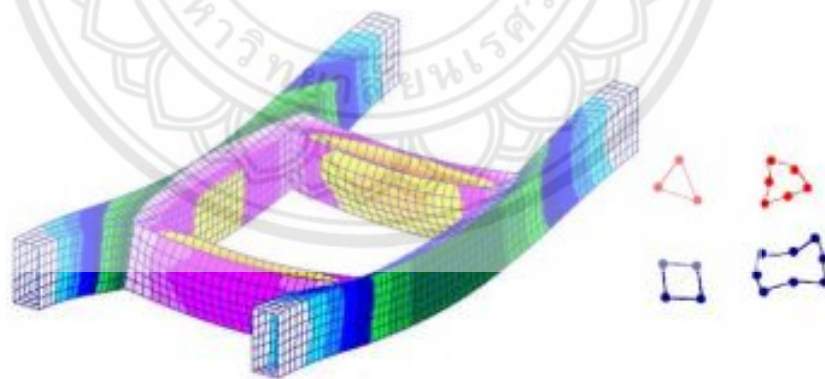
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างเอลิเมนต์ 3 มิติ [9]

2.4.1.1 เอลิเมนต์ 1 มิติ เป็นเอลิเมนต์ที่มีรูปแบบง่ายที่สุดมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งเท่านั้นใน 1 เอลิเมนต์ ประกอบด้วยโหนด 2 จุดต่อ เอลิเมนต์ชนิดนี้เหมาะสำหรับแก้ปัญหา งานด้านโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.15 หรืองานที่วางตัวตามแนวยาวและมีลักษณะเป็นท่อน คุณสมบัติที่ต้องกำหนดให้กับเอลิเมนต์ 1 มิติ คือพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน สำหรับข้อดีของเอลิเมนต์ชนิดนี้ คือการใช้เนื้อที่ของหน่วยความจำเล็กน้อย ใช้เวลาในการเตรียมข้อมูลและการคำนวณไม่มาก ข้อจำกัดของเอลิเมนต์ชนิดนี้ คือความไม่สมจริงบริเวณจุดต่อของโครงสร้างและไม่สามารถแสดงการกระจายตัวของความเค้นบริเวณจุดต่อได้ [11]



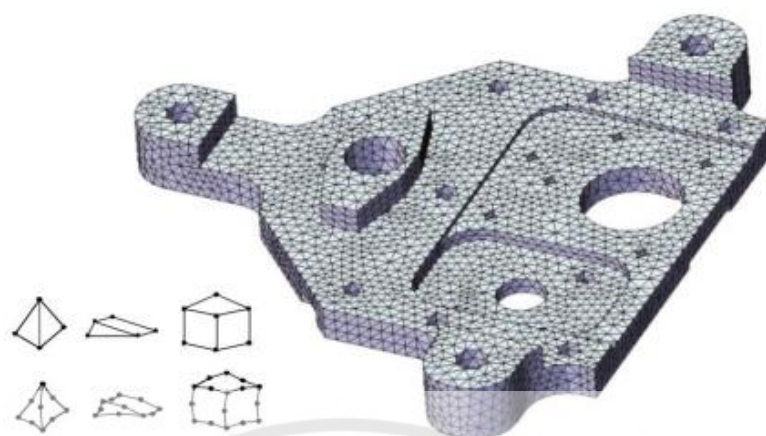
รูปที่ 2.15 เอลิเมนต์ 1 มิติในโครงสร้าง [10]

2.4.1.2 เอลิเมนต์ 2 มิติ รูปร่างเอลิเมนต์โดยทั่วไปมีสองลักษณะ คือเอลิเมนต์สามเหลี่ยมที่ประกอบด้วย 3 จุดต่อและเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วย 4 จุดต่อ เอลิเมนต์ชนิดนี้เหมาะสำหรับแก้ปัญหาทางที่สามารถจำลองรูปร่างพื้นผิวดังรูปที่ 2.16 คุณสมบัติที่ต้องกำหนดให้กับเอลิเมนต์ 2 มิติ คือความหนาของชิ้นงาน สำหรับข้อดีของเอลิเมนต์ชนิดนี้ คือสามารถแก้ปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้มากกว่าเอลิเมนต์ 1 มิติ เวลาที่ใช้คำนวณแม้จะมากขึ้นเมื่อเทียบกับเอลิเมนต์ 1 มิติ แต่เมื่อเทียบเวลาคำนวณกับเอลิเมนต์ 3 มิติ แล้วยังถือว่าน้อยมาก อีกทั้งผลลัพธ์จากการคำนวณที่ได้ยังมีความถูกต้องสูง [11]



รูปที่ 2.16 เอลิเมนต์ 2 มิติในงานวิเคราะห์พื้นผิว [10]

2.4.1.3 เอลิเมนต์ 3 มิติ รูปร่างของเอลิเมนต์นี้โดยทั่วไปมีความกว้าง ยาว และสูง โดยพื้นฐานของเอลิเมนต์ชนิดนี้จะมีโหนดตั้งแต่ 4 โหนดขึ้นไปส่วนมากรูปทรงเป็นแบบ Tetrahedral, Pentahedral, Hexahedral ขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นงาน สำหรับเอลิเมนต์ชนิดนี้สามารถใช้แก้ปัญหาการกลศาสตร์ของแข็งได้หลากหลายรูปแบบดังรูปที่ 2.17 ปัญหาหลักของการใช้เอลิเมนต์ชนิดนี้ คือการใช้หน่วยความจำมาก รวมทั้งใช้เวลานานในการคำนวณ [11]



รูปที่ 2.17 เอลิเมนต์ 3 มิติในงานวิเคราะห์ 3 มิติ [11]

2.4.2 ขั้นตอนของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [7]

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ๆ ทั้งหมด 6 ขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1

การแบ่งขอบเขตรูปร่างลักษณะของปัญหาที่ต้องการที่จะหาผลลัพธ์ออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ ดังรูปที่ 2.18 ขอบเขตดังกล่าวอาจเป็นขอบเขตของปัญหาชนิดต่าง ๆ เช่น ปัญหาความยืดหยุ่นในของแข็ง (Elasticity Problem) ปัญหาที่เกี่ยวกับอุณหภูมิและความร้อน (Thermal Problem) รวมทั้งปัญหาของการไหล (Fluid Problem)



รูปที่ 2.18 การแบ่งรูปร่างลักษณะของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย [7]

ขั้นตอนที่ 2

การเลือกฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์ (Element Interpolation Functions) ตัวอย่างเช่นปัญหาบนระนาบ 2 มิติใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมดังรูปที่ 2.18 ประกอบด้วย 3 จุดต่อที่มีหมายเลข 1 2 และ 3 ดังรูปที่ 2.19 โดยที่จุดต่อนี้ เป็นตำแหน่งของตัวไม่ทราบค่า (Nodal Unknowns) ϕ_1 ϕ_2 และ ϕ_3 ซึ่งในกรณีปัญหาความยืดหยุ่นในของแข็ง ตัวไม่ทราบค่าหมายถึงการกระจัดของจุดต่อ (Nodal Displacement) ลักษณะการกระจายตัวของตัวไม่ทราบค่าบนเอลิเมนต์สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการประมาณภายในของตัวไม่ทราบค่าได้ ดังนี้

$$\phi(x,y) = N_1(x,y)\phi_1 + N_2(x,y)\phi_2 + N_3(x,y)\phi_3 \quad (2.1)$$

โดย $N_i(x,y)$, $i = 1, 2, 3$ คือฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์



รูปที่ 2.19 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมประกอบด้วยสามจุดต่อ โดยมีจุดที่ไม่ทราบค่า ณ ตำแหน่งจุดต่อ [7]

จากสมการที่ (2.1) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ ดังนี้

$$\begin{aligned} \phi(x,y) &= [N_1 \ N_2 \ N_3] \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} \\ \phi(x,y) &= [N]\{\phi\} \end{aligned} \quad (2.2)$$

โดย $[N]$ คือ เมตริกซ์ของฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ และ $\{\phi\}$ คือ เวกเตอร์เมตริกซ์ที่ประกอบด้วยตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์นั้น สัญลักษณ์ $[]$ แสดงถึงเมตริกซ์แถวนอน (Row Matrix) และ $\{ \}$ แสดงถึงเมตริกซ์แถวตั้ง (Column Matrix)

ขั้นตอนที่ 3

การสร้างสมการของเอลิเมนต์ (Element Equations) ตัวอย่างเช่น สมการของแต่ละเอลิเมนต์สามเหลี่ยมดังรูปที่ 2.19 อยู่ในรูปดังนี้

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} \quad (2.3)$$

หรือ

$$[K] \{\phi\} = \{F\} \quad (2.4)$$

ขั้นตอนที่ 4

การนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่ได้มาประกอบกัน ก่อให้เกิดระบบสมการ (System of Simultaneous Equations) ในรูปแบบดังนี้

$$\sum(\text{Element Equations}) \rightarrow [K]_{\text{sys}} \{\phi\}_{\text{sys}} = \{F\}_{\text{sys}} \quad (2.5)$$

ขั้นตอนที่ 5

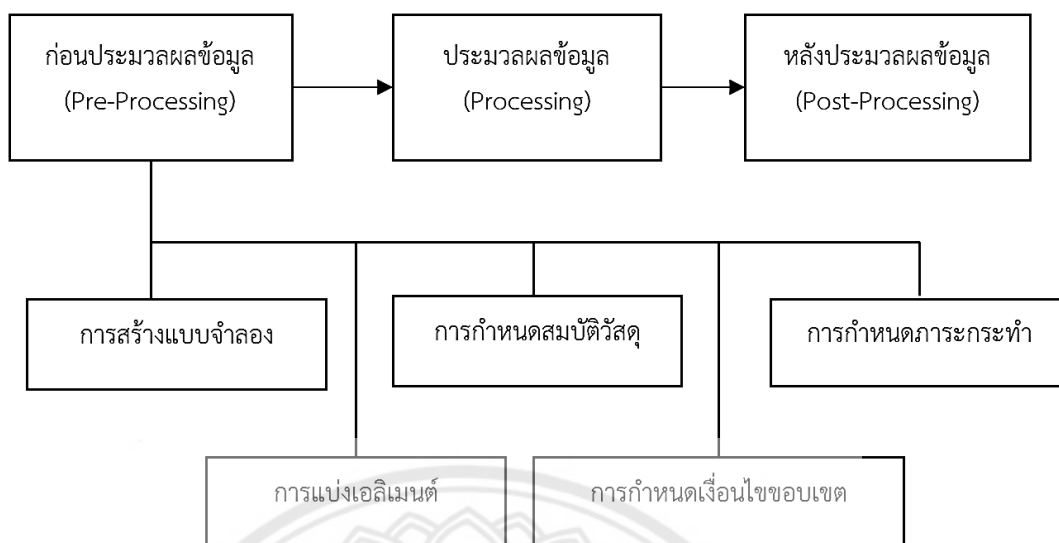
ทำการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ลงในสมการที่ 2.5 แล้วจึงแก้สมการเพื่อหา $\{\phi\}_{\text{sys}}$ ประกอบด้วยตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อ เช่น การกระจัดของจุดต่อ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 6

เมื่อคำนวณค่าต่าง ๆ ที่จุดต่อได้แล้วสามารถนำไปหาค่าอื่น ๆ ที่ต้องการต่อไปได้ เช่น เมื่อทราบค่าการกระจัดของจุดต่อ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของโครงสร้างสามารถนำไปใช้ในการคำนวณความเครียดและความเค้นต่อไป

2.4.3 กระบวนการพื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

กระบวนการพื้นฐานของการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักดังรูปที่ 2.20 ได้แก่ขั้นตอนก่อนประมวลผลข้อมูล ขั้นตอนประมวลผลข้อมูล และขั้นตอนผลหลังประมวลผลข้อมูล มีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 2.20 กระบวนการพื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.4.3.1 ขั้นตอนก่อนประมวลผลข้อมูล เป็นขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลต่อความถูกต้องแม่นยำในการวิเคราะห์ แบบจำลองที่ดีควรมีความเหมือนหรือใกล้เคียงสถานะจริงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ทั้งรูปร่างและสมบัติเชิงกล เพื่อให้ผลลัพธ์ของพฤติกรรมการตอบสนองต่อสถานะที่กำหนดใกล้เคียงกับเหตุการณ์จริงมากที่สุด ในการสร้างแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยที่สำคัญได้แก่ การสร้างแบบจำลอง การแบ่งเอลิเมนต์ การกำหนดสมบัติวัสดุ เงื่อนไขขอบเขต และแรงที่กระทำ [12]

ก. การสร้างแบบจำลอง (Modelling) โดยการวาดแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น Autodesk Fusion 360, Solid Works เป็นต้น หรือใช้เทคนิคการถ่ายภาพหรือการสแกน (Scan) วัตถุต้นแบบ และประมวลผล เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไป [13]

ข. การแบ่งเอลิเมนต์ (Meshing Model) มีวิธีในการแบ่งรูปร่าง (Meshing Geometry) ขอบเขตของปัญหาที่มีความซับซ้อนออกเป็นเอลิเมนต์ ที่มีขนาดเล็กลงเพื่อให้สะดวกต่อการคำนวณ เอลิเมนต์ที่ถูกแบ่งมีรูปแบบความสัมพันธ์ฟังก์ชันการประมาณภายใน ที่แตกต่างกันไป ขึ้นกับรูปร่าง ขอบเขต จำนวนจุดต่อ เอลิเมนต์ที่อยู่ติดกันใช้จุดต่อร่วมกันโดยมีขอบที่เป็นขอบเขตเชื่อมต่อกันระหว่างจุดต่อของเอลิเมนต์ นอกจากจุดต่ออยู่บริเวณมุมของเอลิเมนต์แล้วยังอยู่บนขอบที่เชื่อมต่อกันระหว่างจุดต่อสองจุด เรียกว่าจุดต่อกลาง (Midside Node) การเพิ่มจำนวนจุดต่อบนแบบจำลองช่วยให้การวิเคราะห์ผลมีความแม่นยำมากขึ้น [14-15]

ค. การกำหนดสมบัติวัสดุ (Properties) สมบัติที่ต้องกำหนดเพื่อการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ประกอบด้วย ประเภทของวัสดุตามพฤติกรรมตอบสนองเมื่อได้รับแรง

ลักษณะพฤติกรรมบริเวณผิวสัมผัสของแบบจำลอง พฤติกรรมเชิงกลของโครงสร้างวัสดุสามมิติทั้งสามแนวแกน สมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด ได้แก่ โมดูลัสของยัง ใช้อธิบายความแข็ง (Stiffness) ของวัสดุ อัตราส่วนปัวซองเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความเครียดตามขวางกับค่าความเครียดที่มีทิศทางเดียวกันกับแนวแรงที่มากระทำค่าเฉพาะทั้ง สองถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการทำนายพฤติกรรมของวัสดุเมื่อรับแรงกระทำ

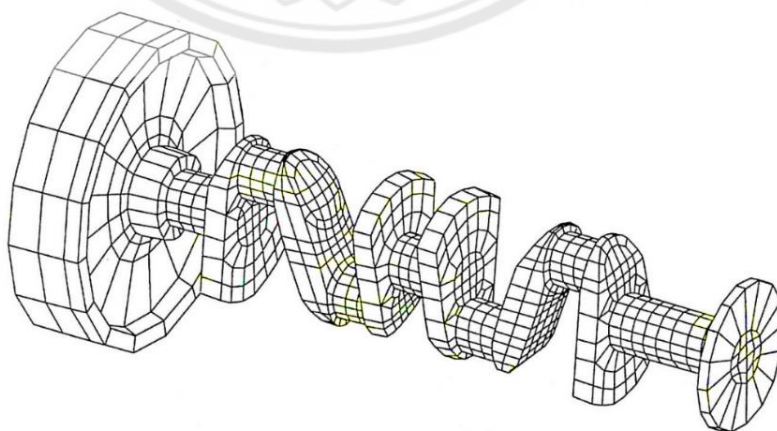
ง. การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) เป็นการกำหนดค่าตัวแปรในสมการเพื่อเป็นเงื่อนไขในการประมวลผล ตัวอย่างเช่นการกำหนดระดับความเสรีในการเคลื่อนที่ได้ของแต่ละจุดต่อ รูปแบบของระดับความเสรีมีหลายแบบขึ้นกับลักษณะสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ ถ้าต้องการวิเคราะห์โครงสร้างวัสดุในรูปสามมิติโดยพิจารณาตามแนวแกนทั้งสามคือแนวแกน x y และ z เมื่อพิจารณาเพียงจุดต่อเดียว เกิดการเคลื่อนที่อิสระได้ทุกทิศทาง พบว่าการเคลื่อนที่มี 6 ระดับ ความเสรีที่จุดต่อสามารถเกิดการเลื่อนขนาน (Translation) หมุน (Rotation) หรือเกิดโมเมนต์ (Moment) ไปตามแนวแกนทั้งสาม เมื่อจุดต่อเชื่อมต่อกันเกิดเป็นเอลิเมนต์ย่อยระดับความเสรีถูกจำกัดลง ดังนั้นรูปร่างเอลิเมนต์ และตำแหน่งความสัมพันธ์จุดต่อที่แตกต่างกันส่งผลต่อระดับความเสรีของจุดต่อเป็นเสมือนตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ที่เลือกกำหนดค่าได้ทำให้การอธิบายระบบเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์นอกจากรูปร่างเอลิเมนต์และความสัมพันธ์ระหว่างจุดต่อมีผลต่อระดับความเสรี การกำหนดตำแหน่งยึด (Constraint) ตรึงโมเดลให้อยู่กับที่เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลเช่นกัน โดยการยึดตำแหน่งจุดต่อหรือเอลิเมนต์ให้หนึ่งเพื่อให้เกิดความสมดุลต่อการรับแรงที่มากระทำ และเกิดความคลาดเคลื่อนต่อการกระจายแรง ควรหลีกเลี่ยงสภาวะจริงให้เป็นไปตามหลักกายภาพ จึงมีผลต่อการประมวลข้อมูลทำให้การจำลองมีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด [11]

จ. การกำหนดภาระที่กระทำ (Load) พลังงานที่มากระทำบนวัตถุที่เป็นของแข็ง (Solid Structure) อาจเป็นพลังงานในรูปแบบของแรง หรือความดัน พื้นที่บนวัตถุที่พลังงานมากระทำเกิดขึ้นบางพื้นที่ (Concentrated Load) หรือเกิดกระจายทั่วพื้นที่ในแนวระนาบ (Distributed Load) ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการทดสอบ ทั่วไปกำหนดให้เกิดกระจายบนพื้นผิวในแนวระนาบ เนื่องจากแรงกำหนดให้ลงเฉพาะที่มักทำให้เกิดความเค้นสะสม (Stress Concentration) ที่เอลิเมนต์บริเวณนั้นสูงกว่าเกิดรูปแบบการกระจายความเค้นที่ไม่เหมาะสม [16-18]

2.4.3.2 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล โดยนำระบบคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ทางวิศวกรรม (Computer Aided Engineering: CAE) ช่วยประมวลผลจากสมการรวมระบบของแต่ละเอลิเมนต์ที่เกิดขึ้นได้ค่าผลเฉลี่ยโดยประมาณ ความแม่นยำที่ได้ขึ้นกับการกำหนดขนาด รูปร่าง จำนวนของเอลิเมนต์ การสมมติรูปแบบของฟังก์ชันภายในโดยประมาณ ถ้ากำหนดค่าดังกล่าวได้ใกล้เคียงกับความจริงมาก ผลเฉลี่ยที่ได้แม่นยำมากขึ้น [13] โดยโปรแกรมจะประมวลผลตามขั้นตอน FEM ดังหัวข้อ 2.4.2 ขั้นตอนของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.4.3.3 ขั้นตอนหลังประมวลผลข้อมูล เป็นการแสดงผลเฉลยด้วยคอมพิวเตอร์ในหลายรูปแบบ เช่น กราฟฟิก (Graphical Output) เป็นรูปแบบที่นิยมใช้ แสดงผลเป็นแถบสี (Color-Coded Map) รูปแบบการกระจายความเค้น ความเครียดหรือการเคลื่อนขยับเมื่อมีแรงกระทำ หรือการแสดงผลเชิงตัวเลข (Numeric Output) แสดงบริเวณที่วัสดุเกิดค่าความเค้นสูงสุด (Stress Contour) การแสดงผลเชิงแอนิเมชัน (Animated Output) เป็นภาพเคลื่อนไหว แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อน และทิศทางที่เกิดขึ้นภายในวัสดุ ผู้ศึกษาเห็นภาพชัดเจน และพฤติกรรมภายในวัสดุได้มากขึ้น [13]

เนื่องจากรูปแบบของชิ้นงานต่าง ๆ ในทางวิศวกรรมโดยปกติจะมีความซับซ้อนระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงมีบทบาทเป็นอย่างมากในการช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ นับตั้งแต่ปัญหาการยึดหยุ่นของของแข็ง การถ่ายเทความร้อนในวัตถุ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ประสิทธิภาพของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ควบคู่ไปกับการวิวัฒนาการทางคอมพิวเตอร์ทำให้สามารถคำนวณหาปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้โดยสะดวกและในขณะเดียวกันช่วยลดค่าใช้จ่ายที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการทดลองดังที่เคยปฏิบัติกันมาในหัวข้อย่อย่อนี้จะแสดงตัวอย่างต่าง ๆ ที่ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานในหลาย ๆ แบบได้การแก้ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในสมัยแรก ๆ เริ่มปรากฏให้เห็นในงานทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง (Solid Mechanics) และโครงสร้างเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากปรากฏการณ์ต่างที่เกิดขึ้นในงานทางด้านนี้สามารถทำความเข้าใจได้โดยง่ายนัก วิวัฒนาการของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ทางด้านของแข็งนี้ในปัจจุบันสามารถนำไปใช้กับการออกแบบชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนเช่น เฟลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ดังรูปที่ 2.21 เพื่อการคำนวณหาความยึดหยุ่น ความเครียดและความเค้นที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเฟลาข้อเหวี่ยงโดยการใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสามมิติจำนวนมากที่มีขนาดต่าง ๆ กันประกอบกันขึ้นมาและสามารถจำลองรูปแบบของเฟลาดังกล่าวได้อย่างเที่ยงตรง



รูปที่ 2.21 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับเฟลาข้อเหวี่ยงเครื่องยนต์ [7]

เนื่องจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถใช้แก้สมการเชิงอนุพันธ์สำหรับปัญหาที่มีรูปร่างลักษณะซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ ขยายวงกว้างออกไปในงานที่นอกเหนือไปจากงานทางด้านวิศวกรรม เช่น ในงานทางด้านทางการแพทย์ เป็นต้น [4]

2.4.4 โปรแกรม Autodesk Fusion 360 (Fusion 360)

Autodesk Fusion 360 คือ โปรแกรมการออกแบบ 3 มิติที่ประกอบไปด้วย CAD CAM และ CAE ไว้ในแพลตฟอร์มเดียวที่ทำงานบนระบบคลาวด์เบส สำหรับงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งรวมถึงการออกแบบทั้งด้านเครื่องกลและอุตสาหกรรม การจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ (Simulation) การขึ้นรูปชิ้นงาน (Machining) และการทำงานร่วมกันผ่านอินเทอร์เน็ตในแพ็คเกจเดียว เครื่องมือภายในโปรแกรม Fusion 360 มีความสะดวกรวดเร็วและง่ายต่อการนำเอาไอเดียการออกแบบมาสร้างให้เป็นชิ้นงานต้นแบบไปจนถึงกระบวนการเตรียมการผลิตได้ [20] และในปริศยานิพนธ์เล่มนี้มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรม Fusion 360 ในส่วนการวิเคราะห์ความแข็งแรงของ Limo PTS รุ่น 2 และทำการออกแบบ Limo PTS รุ่น 3 โดยในส่วนจุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นงานเพื่อทำการออกแบบมีความสมจริงและถูกต้อง ดังแสดงในหัวข้อ 2.4.5

2.4.5 การจำลองการสัมผัส (Contact) ระหว่างชิ้นงานในโปรแกรม Fusion 360

การจำลอง Contact คือ การจำลองพฤติกรรมของชิ้นส่วนที่ผ่านการประกอบ (Assembly) ภายใต้เงื่อนไขการกำหนดภาระ โดยในการถ่ายโอนภาระระหว่างชิ้นส่วนได้ชิ้นงานต้องสัมผัสกัน โดยในโปรแกรม Fusion 360 นั้นมีการแบ่งประเภทของการเชื่อมต่อหรือสัมผัสระหว่างชิ้นงานเป็น 2 รูปแบบให้เลือก คือ การกำหนดจุดเชื่อมต่อแบบอัตโนมัติ (Automatic Contact) และการกำหนดแบบผู้ใช้กำหนดเอง (Manual Contact)

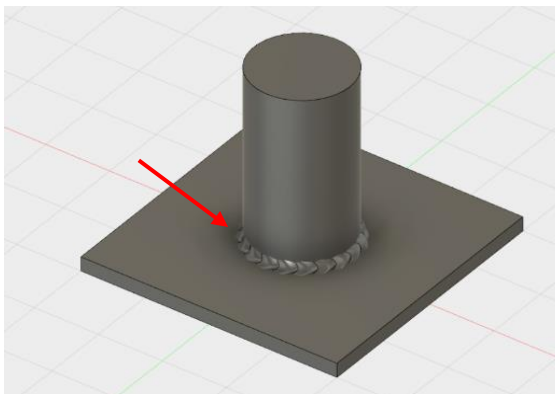
2.4.5.1 จุดเชื่อมต่อแบบอัตโนมัติ (Automatic Contact)

เป็นการกำหนดประเภทของการเชื่อมต่อหรือสัมผัสระหว่างชิ้นงานทุกชิ้นประกอบรวมกันเป็นชิ้นเดียว และเนื้อเดียวกันทั้งหมดแบบ Bonded (หัวข้อ 2.4.5.2ก.)

2.4.5.2 จุดเชื่อมต่อแบบกำหนดเอง (Manual Contact)

เป็นการกำหนดประเภทของการเชื่อมต่อหรือสัมผัสระหว่างชิ้นงานหลาย ๆ ชิ้นซึ่งแต่ละชิ้นมีจุดเชื่อมต่อที่แตกต่างกัน แบ่งได้ 5 ประเภท ดังนี้

ก. **Bonded** เป็นการระบุจุดสัมผัสระหว่างพื้นผิวชิ้นงานทั้งสองชิ้นติดให้กันแบบถาวร และชิ้นงานทั้งสองชิ้นรวมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยไม่มีการแยกออกจากกัน เช่น การติดกาวระหว่างวัตถุ การเชื่อมติดกัน ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ตัวอย่าง Contact Type ชนิด Bonded [19]

ข. **Offset Bonded** เป็นการระบุดังกล่าวระหว่างพื้นผิวชิ้นงานทั้งสองชิ้นติดกัน แต่ทั้งสองชิ้นไม่ได้รวมเป็นเนื้อเดียวกันและไม่มีการแยกออกจากกัน ไม่มีการเคลื่อนที่ตลอดระยะเวลาการวิเคราะห์แรง เช่น การขันน็อตให้เหล็กสองแผ่นติดกัน ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ตัวอย่าง Contact Type ชนิด Offset Bonded [20]

ค. **Separation** เป็นการระบุดังกล่าวระหว่างพื้นผิวชิ้นงานสองชิ้นโดยกำหนดให้ชิ้นงานสามารถแยกออกจากกันได้ แต่ไม่สามารถเลื่อนได้ เช่น การสัมผัสระหว่างเพลากับรูเจาะ การสัมผัสระหว่างแหวนรองน็อตกับผิวชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.24 หรือ น็อตตัวผู้ (Nut) กับน็อตตัวเมีย (Bolt)



รูปที่ 2.24 ตัวอย่าง Contact Type ชนิด Separation [21]

ง. Sliding เป็นการระบุดสัมผัสระหว่างพื้นผิวชิ้นงานทั้งสองชิ้นให้สัมผัสกันโดยกำหนดให้ชิ้นงานสามารถเลื่อนไถลบนพื้นผิวของกันและกันได้ แต่ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ เช่น กรรไกร ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ตัวอย่าง Contact Type ชนิด Sliding [22]

จ. Rough เป็นการระบุดสัมผัสระหว่างพื้นผิวชิ้นงานทั้งสองชิ้นให้สัมผัสกันแบบมีแรงเสียดทาน โดยชิ้นงานสามารถแยกออกจากกันได้ แต่ไม่สามารถเลื่อนไถลบนพื้นผิวของกันและกันได้ แสดงดังรูปที่ 2.26 เช่น พื้นผิวล้อกับถนน



รูปที่ 2.26 ตัวอย่าง Contact Type ชนิด Rough [23]

2.5 ความเค้นและทฤษฎีความเสียหาย

ในการวิเคราะห์ความเสียหายเพื่อหาความสามารถในการรับภาระผสมอันเนื่องมาจากภาระกระทำตามแนวแกน ภาระเฉือน ภาระบิด และภาระดัด ต้องทำการวิเคราะห์ความเค้นผสมที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุที่เสียหายซึ่งคำนวณ ได้แก่ ความเค้นตึงฉาก ความเค้นดัด และความเค้นเฉือนเพื่อคำนวณเป็นความเค้นหลักสำหรับใช้วิเคราะห์ความเสียหายด้วยทฤษฎีพลังงานแปรรูป (Distortion-Energy Theory) [24]

2.5.1 ความเค้นตึงฉาก (Normal Stress)

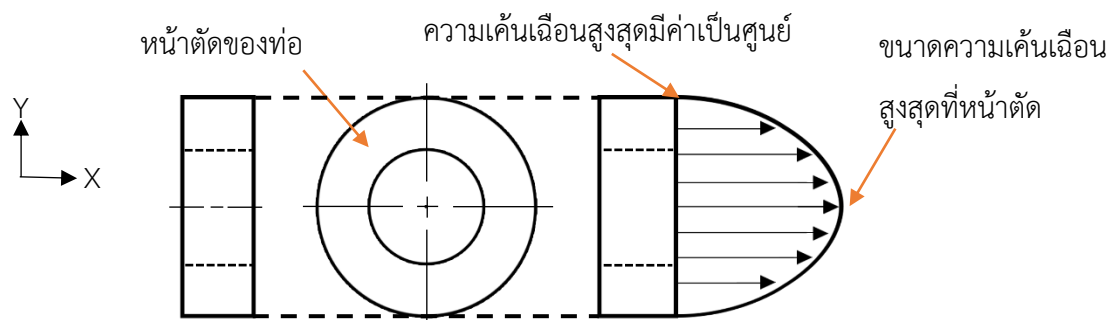
ภาระกระทำต่อหนึ่งหน่วยของวัตถุ หรือความหนาแน่นของภาระกระจายบนพื้นที่หน้าตัด เรียกว่า ความเค้นตึงฉาก โดยคำนวณได้จากสมการที่ (2.6)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.6)$$

เมื่อ	σ	คือ ความเค้นตึงฉาก มีหน่วยเป็น Pa
	F	คือ ภาระตึงฉาก มีหน่วยเป็น N
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่ภาระกระทำ มีหน่วยเป็น m^2

2.5.2 ความเค้นเฉือน (Shearing Stress)

เมื่อคานถูกกระทำด้วยภาระภายนอกทำให้เกิด ความเค้นเฉือนที่หน้าตัด ทั้งนี้รูปแบบการกระจายตัวของความเค้นเฉือนบนหน้าตัดวัสดุขึ้นอยู่กับรูปร่างหน้าตัด ในกรณีของหน้าตัดทอ (วงกลมกลวง) มีรูปแบบการกระจายตัวของความเค้นเฉือน ดังรูปที่ 2.27 โดยสามารถคำนวณขนาดความเค้นเฉือนสูงสุดได้จากสมการที่ (2.7)



รูปที่ 2.27 ความเค้นเฉือนในหน้าตัดทอกลมกลวง

$$\tau_{\max} = \frac{2V}{A} \quad (2.7)$$

เมื่อ τ_{\max} คือ ความเค้นเฉือนสูงสุด มีหน่วยเป็น Pa

V คือ ภาระเฉือน มีหน่วยเป็น N

A คือ พื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็น m^2

2.5.3 ความเค้นดัด (Bending Stress)

ในการคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อยเพื่อใช้ในการหาความเค้นดัดของหน้าตัดที่เป็นวงกลมกลวง สามารถคำนวณดังสมการที่ (2.8)

$$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{D}{2} \right)^4 - \left(\frac{d}{2} \right)^4 \right] \quad (2.8)$$

เมื่อ I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย มีหน่วยเป็น m^4

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก มีหน่วยเป็น m

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน มีหน่วยเป็น m

คานที่รับภาระหรือน้ำหนักตามแนวตั้งฉากกับแนวของคาน จะเกิดโมเมนต์ดัดขึ้นที่หน้าตัดของคานนั้นให้ที่หน้าตัดของคานนั้นส่งผลเกิดความเค้นขึ้นในคาน เรียกว่า ความเค้นดัด โดยมีทั้งความเค้นดัดดึงและความเค้นดัดอัด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.9)

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (2.9)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้นดัด มีหน่วยเป็น Pa

M คือ โมเมนต์ดัดสูงสุด มีหน่วยเป็น N-m

C คือ ระยะจากแกนสะเทินถึงผิว มีหน่วยเป็น m

I คือ โมเมนต์เฉื่อย มีหน่วยเป็น m^4

2.5.4 ความเค้นหลัก (Principal Stress)

ความเค้นในแนวตั้งฉากกระทำบนระนาบหนึ่งซึ่งไม่มีความเค้นเฉือน จะเรียกระนาบที่เกิดความเค้นนี้ว่าระนาบหลัก (Principal Plane) โดยตัวอย่างสมการหาความเค้นหลักใน 2 มิติ จากสมการที่ (2.10) ซึ่งใช้ในกรณีของความเค้นบนระนาบ ดั้งขึ้นส่วนความเค้น (Stress Element) ที่แสดงในรูปที่ 2.28

$$\sigma_{P1}, \sigma_{P2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.10)$$

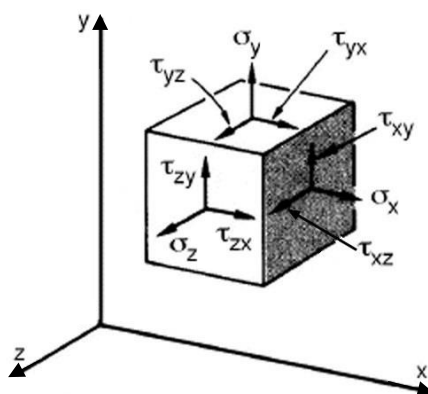
- เมื่อ σ_{P1}, σ_{P2} คือ ความเค้นหลักที่ 1 และ 2 มีหน่วยเป็น Pa
 σ_x คือ ความเค้นตั้งฉากในแนวแกน X มีหน่วยเป็น Pa
 σ_y คือ ความเค้นตั้งฉากในแนวแกน Y มีหน่วยเป็น Pa
 τ_{xy} คือ ความเค้นเฉือนบนระนาบ XY มีหน่วยเป็น Pa



รูปที่ 2.28 Plane Stress [25]

2.5.5 ทฤษฎีพลังงานแปรรูป

ทฤษฎีพลังงานแปรรูป คือหนึ่งในทฤษฎีความเสียหายที่นิยมใช้ในการออกแบบทฤษฎีความ Von Mises Stress ดังสมการที่ (2.11) จากชิ้นส่วนความเค้น ณ จุดวิกฤติ เช่น ในเอลิเมนต์ 3 มิติจะประกอบด้วยความเค้น 9 ตัวแปร ได้แก่ $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}, \tau_{yx}, \tau_{zx}$ และ τ_{zy} ดังรูปที่ 2.29 โดยวัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อ Von Mises Stress มีค่าเท่ากับความความแข็งแรงที่จุดคราก (Yield Point) ของวัสดุ



รูปที่ 2.29 ชิ้นส่วนความเค้น (Stress Element) [25]

ชิ้นส่วนความเค้น ดังรูปที่ 2.259 ประกอบด้วยความเค้นตั้งฉากและความเค้นเฉือน ซึ่งความเค้นเฉือนมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}, \tau_{zx} = \tau_{xz}$$

โดยสมการ Von Mises Stress บนชิ้นส่วน 3 มิติ สามารถเขียนในรูปตัวแปรความเค้นย่อยได้ ดังสมการที่ (2.11)

$$\sigma_v = \sqrt{\left[\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2}{2} \right] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (2.11)$$

เมื่อ σ_x คือ ความเค้นตั้งฉากในแนวแกน X มีหน่วยเป็น Pa

σ_y คือ ความเค้นตั้งฉากในแนวแกน Y มีหน่วยเป็น Pa

σ_z คือ ความเค้นตั้งฉากในแนวแกน Z มีหน่วยเป็น Pa

τ_{xy} คือ ความเค้นเฉือนบนระนาบ XY มีหน่วยเป็น Pa

τ_{yz} คือ ความเค้นเฉือนบนระนาบ YZ มีหน่วยเป็น Pa

τ_{zx} คือ ความเค้นเฉือนบนระนาบ ZX มีหน่วยเป็น Pa

โดยการคำนวณ Von Mises Stress บนระนาบ 2 มิติหาได้จากสมการที่ (2.12)

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - (\sigma_x \sigma_y) + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (2.12)$$

- เมื่อ σ_v คือ Von Mises Stress มีหน่วยเป็น Pa
- σ_x คือ ความเค้นดึงฉากในแนวแกน X มีหน่วยเป็น Pa
- σ_y คือ ความเค้นดึงฉากในแนวแกน Y มีหน่วยเป็น Pa
- τ_{xy} คือ ความเค้นเฉือนบนระนาบ XY มีหน่วยเป็น Pa

2.5.6 สมการค่าองค์ประกอบความปลอดภัย (Safety Factor: F.S.)

องค์ประกอบความปลอดภัยคือ ค่าที่บ่งบอกถึงความปลอดภัยของชิ้นงานสามารถคำนวณหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงของวัสดุกับความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุขณะใช้งานดังสมการที่ (2.13) โดยความแข็งแรงของวัสดุสามารถใช้ Yield Strength, Ultimate Strength หรือ Allowable Stress ได้ ส่วนใหญ่นิยมใช้ Yield Strength

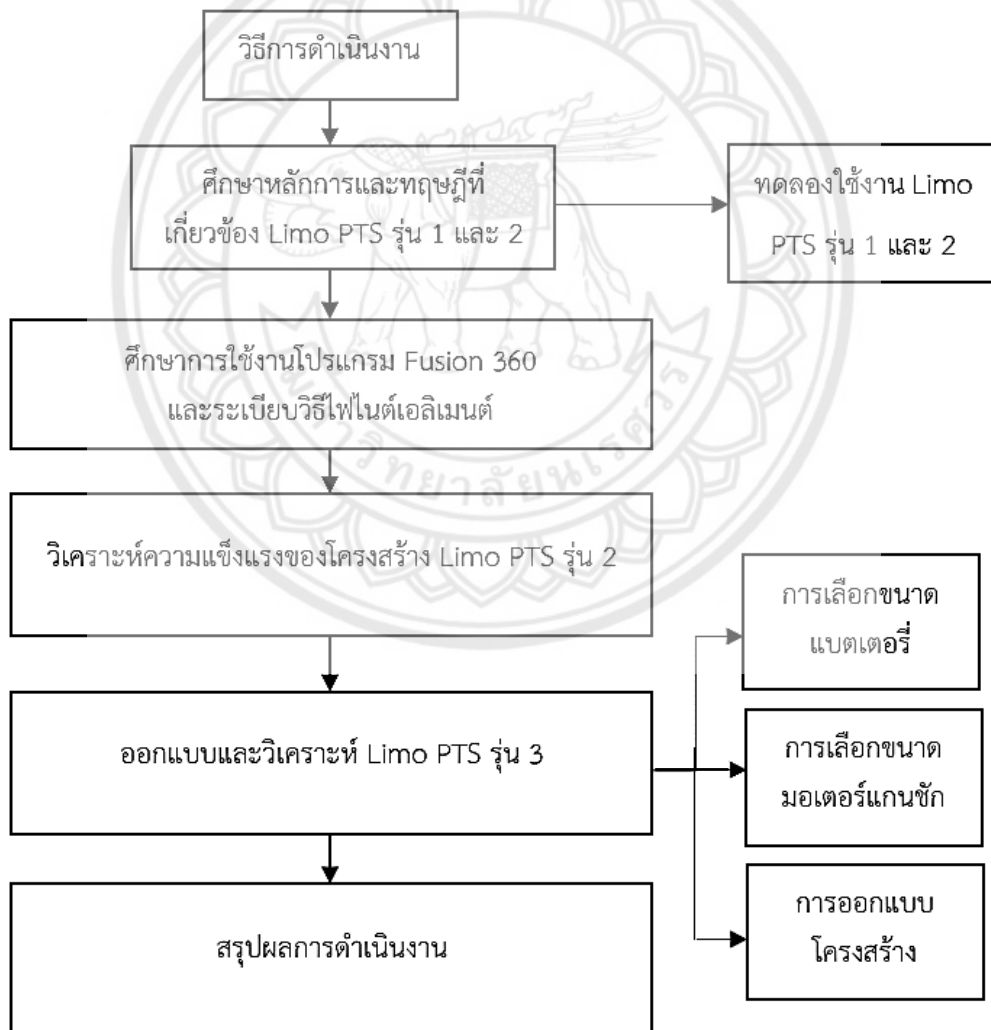
$$\text{Safety Factor} = \frac{S_y}{\sigma_{\max}} \quad (2.13)$$

- เมื่อ Safety Factor คือ ค่าความปลอดภัย
- S_y คือ ค่าความแข็งแรงที่จุดครากของวัสดุ มีหน่วยเป็น Pa
- σ_{\max} คือ ความเค้นสูงสุดของวัสดุ มีหน่วยเป็น Pa

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานนั้นเป็นไปตามแผนผังดังรูปที่ 3.1 เริ่มด้วยการศึกษาวิธีการใช้งานโปรแกรม Fusion 360 เพื่อนำโปรแกรมมาใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 และทำการออกแบบโครงสร้างและระบบการทำงานของ Limo PTS รุ่น 3 วิเคราะห์ความแข็งแรง ทำแบบจำลองการเคลื่อนไหว (Animation) และสรุปผลการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Fusion 360 และระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์

การศึกษารูปร่างการใช้งานของโปรแกรม Fusion 360 ในการออกแบบโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3 คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษารูปร่างการใช้งานโปรแกรมให้มีความชำนาญ โดยการทำ FEA และทำการเปรียบเทียบวัดค่าความคลาดเคลื่อนของโปรแกรม (Validation) นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาหาขนาดของเอลิเมนต์ที่เหมาะสมกับการทดลอง โดยทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยได้กำหนดโจทย์เป็นแบบจำลองคานยื่นอย่างง่ายเพื่อเป็นตัวอย่างในการศึกษา ดังหัวข้อ การทดลองใช้โปรแกรม Fusion 360 ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของโครงสร้างคาน (ภาคผนวก ก) และได้ทำการศึกษาระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังหัวข้อ 2.4 และนำไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรม Fusion 360 หาจุดที่ปรับปรุงแก้ไขได้ พัฒนาต่อยอดสู่ออกแบบโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3

3.2 วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างของ Limo PTS รุ่น 2 โดยการคำนวณทางทฤษฎีด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยโปรแกรม Fusion 360 ฟังก์ชัน Simulation ซึ่งรายละเอียดแสดงดังบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ ต่อไป

3.3 การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3

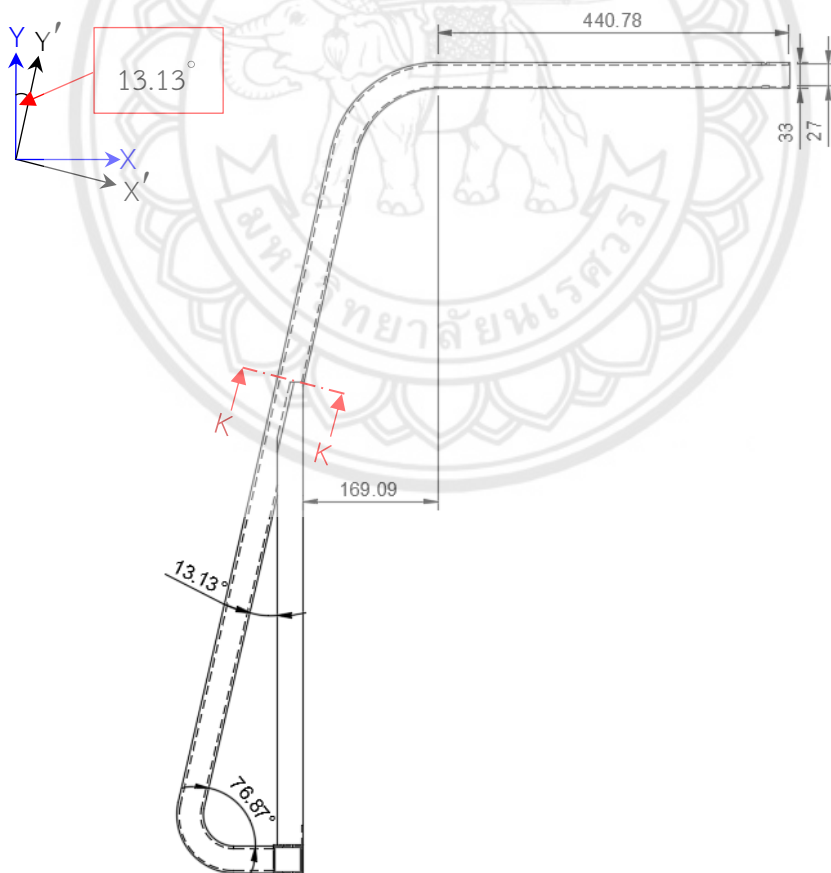
คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบแขนและโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3 ขึ้นใหม่ให้มีความสะดวกต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น ซึ่งการออกแบบแขนและโครงสร้างของ Limo PTS รุ่น 3 จะได้แบบจำลอง 3 มิติ ที่สามารถนำไปทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแขนและโครงสร้างของ Limo PTS รุ่น 3 ด้วยโปรแกรม Fusion 360 และสรุปผล ซึ่งรายละเอียดแสดงดังบทที่ 5 หัวข้อ 5.1 และ 5.2 ต่อไป

บทที่ 4

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2

4.1 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 โดยการคำนวณทางทฤษฎี

ในส่วนนี้เป็นการคำนวณความเค้นที่จุดที่เกิดความเค้นสูงของโครงสร้างเพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์โครงสร้างแก้อีเคิลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งต้องทำการเปรียบเทียบความเค้น Von Mises Stress ของโครงสร้างแก้อีเคิลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2 ที่ได้จาก 2 กระบวนการ โดยการคำนวณทฤษฎีสามารถคำนวณใน 2 มิติในส่วนของแขน Limo PTS รุ่น 2 ที่มีการรับภาระและเกิดจุดวิกฤตขึ้น ดังรูปที่ 4.1

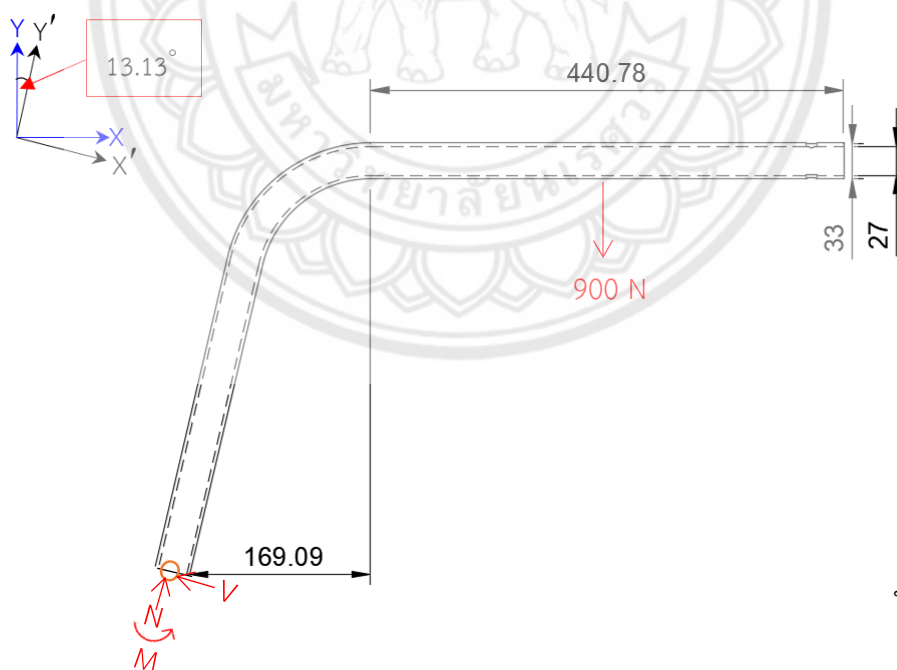


รูปที่ 4.1 แขนของ Limo PTS รุ่น 2

เนื่องจากขาของ Limo PTS รุ่น 2 ทั้ง 2 ข้างมีลักษณะเหมือนกันและรับภาระเท่ากัน จึงทำการคำนวณเพียงข้างเดียว ใช้วัสดุเป็น Stainless Steel AISI 304 ทั้งหมดซึ่งวัสดุนี้มีความแข็งแรงที่จุดครากเท่ากับ 215 MPa [20] โดยชิ้นส่วนเป็นท่อกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (D) 33 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (d) 27 mm โดยจากการวิเคราะห์ในเบื้องต้นพบว่าที่หน้าตัด K-K เป็นจุดที่มีความเค้นสูงสุด หรือ จุดวิกฤต (Critical Point) จึงได้ทำการวิเคราะห์โดยละเอียดเพื่อหาค่า Von Mises Stress และค่าความปลอดภัยที่เกิดขึ้นที่หน้าตัด K-K นี้โดยได้กำหนดภาระกระทำขนาด 900 N (ภาระแท้จริงออกแบบไว้ที่ข้างละ 600 N ซึ่งการคำนวณขนาดของภาระกระทำได้เผื่อค่าไว้ 1.5 เท่า) ที่กระทำตำแหน่งกึ่งกลางของระยะของที่วางแขนเช่นเดียวกับโมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Fusion 360

4.1.1 การคำนวณแรงปฏิกิริยาที่หน้าตัด K-K

จากรูปที่ 4.1 สามารถเขียน Free Body Diagram (FBD) ของส่วนตัดขาเก้าอี้ที่หน้าตัด K-K โดยกำหนดแรง 900 N และแสดงแรงปฏิกิริยาดังรูปที่ 4.2 โดยสามารถคำนวณหาแรงตั้งฉาก (N) โมเมนต์ (M) และแรงเฉือน (V) ที่หน้าตัด (จุด O) ได้จากสมการสมดุลดังนี้



หน่วย: mm

รูปที่ 4.2 Free Body Diagram ของส่วนตัดขาเก้าอี้

$$\sum F_x = 0 ; N \sin(13.13^\circ) - V \sin(76.87^\circ) = 0$$

$$\sum F_y = 0 ; -900 + N \cos(13.13^\circ) + V \cos(76.87^\circ) = 0$$

จะได้

$$N = \frac{900 - V \cos(76.87^\circ)}{\cos(13.13^\circ)}$$

$$\sum F_x = 0 ; \frac{900 - V \cos(76.87^\circ)}{\cos(13.13^\circ)} \sin(13.13^\circ) - V \sin(76.87^\circ) = 0$$

$$V = 204.445 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0 ; N \sin(13.13^\circ) - 204.445 \sin(76.87^\circ) = 0$$

$$N = 876.417 \text{ N}$$

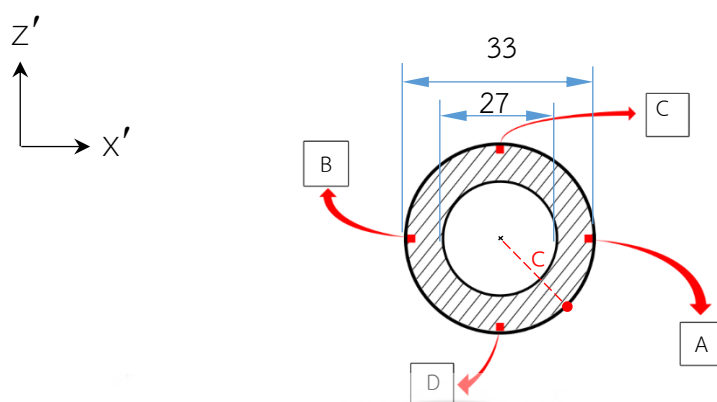
$$\sum M_o = 0 ; M - 900(0.22039 + 0.169 + 0.0161) = 0$$

$$M = 364.941 \text{ N-m}$$

จะได้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่หน้าตัด 3 องค์ประกอบด้วยกันคือ แรงตั้งฉากเท่ากับ 876.417 N แรงเฉือนเท่ากับ 204.445 N และโมเมนต์เท่ากับ 364.941 N-m ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

4.1.2 การคำนวณความเค้นที่หน้าตัด K-K และความเค้นหลัก

ในการหาความเค้นโดยพิจารณาภาระที่กระทำที่เกิดขึ้นที่หน้าตัด K-K พบว่าส่งผลให้เกิดความเค้นตั้งฉาก ความเค้นเฉือน และความเค้นดัดบนระนาบหน้าตัด ที่จุด A, B, C, และ D (Stress Elements) ดังรูปที่ 4.3 จุด A คือจุดวิกฤติที่ใช้ในการเปรียบเทียบความเค้น Von Mises Stress ที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี กับความเค้นที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้ฟังก์ชัน Simulation ในโปรแกรม Fusion 360



หน่วย: mm

รูปที่ 4.3 หน้าตัด K-K

4.1.3 ความเค้นตั้งฉาก

แรงปฏิกิริยาตั้งฉากที่หน้าตัด K-K เท่ากับ 876.417 N กระทำในทิศ $+Y'$ บนพื้นที่หน้าตัดรูปวงแหวนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (D) เท่ากับ 0.033 m และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (d) เท่ากับ 0.027 m ความเค้นตั้งฉากสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.6) ดังนี้

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

จะได้ว่า

$$\sigma_{Y'} = \frac{N}{\pi \left(\frac{D^2}{2} - \frac{d^2}{2} \right)}$$

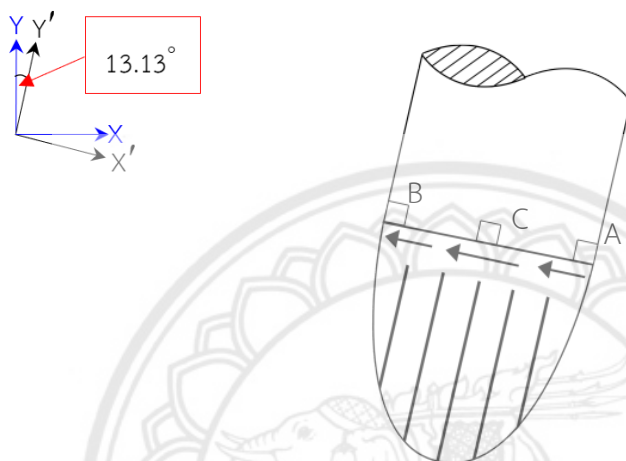
$$\sigma_{Y'} = \frac{876.417}{\pi \left(\frac{0.033^2}{2} - \frac{0.027^2}{2} \right)}$$

$$\sigma_{Y'} = 3.1 \text{ MPa (C)}$$

จะได้ความเค้นตั้งฉากเป็นความเค้นกดกระทำกับหน้าตัดทิศ $+Y'$ เท่ากับ 3.1 MPa โดยความเค้นตั้งฉากที่เกิดขึ้นมีขนาดเท่ากันทุกจุดบนหน้าตัด K-K

4.1.4 ความเค้นเฉือน

เนื่องจากที่หน้าตัด K-K มีแรงเฉือนเกิดขึ้นบนระนาบ $X'Z'$ ในทิศ $-X'$ เท่ากับ 204.445 N ส่งผลให้เกิดความเค้นเฉือนสูงสุดบริเวณกึ่งกลางหน้าตัดและความเค้นเฉือนค่อย ๆ ลดลงเข้าใกล้ศูนย์เมื่อเข้าใกล้ผิวของวัสดุผิวทั้ง 2 ข้างดังรูปที่ 4.4 โดยสามารถคำนวณหาความเค้นเฉือนที่หน้าตัดเนื่องจากภาระเฉือนจากสมการที่ (2.7) ดังนี้



รูปที่ 4.4 รูปแบบความเค้นเฉือนเกิดขึ้นที่หน้าตัด K-K

$$\tau_{\max, XY} = \frac{2V}{A}$$

จะได้

$$\tau_{\max, X'Y'} = \frac{2V}{\pi \left(\frac{D^2}{2} - \frac{d^2}{2} \right)}$$

$$\tau_{\max, X'Y'} = \frac{2(204.445)}{\pi \left(\frac{0.033^2}{2} - \frac{0.027^2}{2} \right)}$$

$$\tau_{\max, X'Y'} = 1.446 \text{ MPa}$$

เนื่องจากความเค้นเฉือนสูงสุดที่ได้ เกิดบริเวณจุดตรงกลางหน้าตัดวงแหวน อย่างไรก็ตามจุดที่สนใจคือที่จุด A ซึ่งอยู่บริเวณผิวนอกจึงมีค่าความเค้นเฉือนเป็นศูนย์

4.1.5 ความเค้นดัด

การคำนวณความเค้นดัดจะต้องคำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดคานรูปวงแหวนก่อน ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.8) ดังนี้

$$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{D}{2} \right)^4 - \left(\frac{d}{2} \right)^4 \right]$$

$$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{0.033}{2} \right)^4 - \left(\frac{0.027}{2} \right)^4 \right]$$

$$I = 3.2127 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

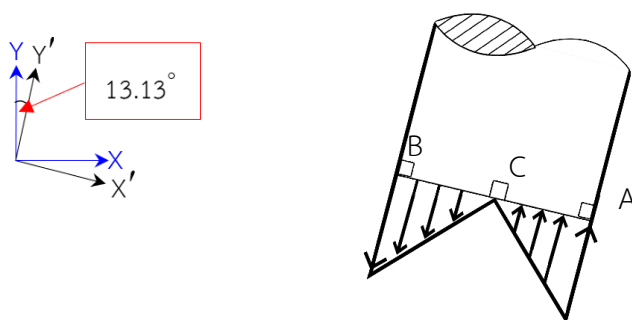
หลังจากคำนวณโมเมนต์และโมเมนต์ความเฉื่อยได้ เท่ากับ 364.941 N-m และ $3.2127 \times 10^{-8} \text{ m}^4$ ตามลำดับโดยระยะจากแกนสะเทินถึงผิว (c) (รูปที่ 4.3) เท่ากับ 0.0165 m สามารถคำนวณหาความเค้นดัดอัดเนื่องจากโมเมนต์ได้จากสมการ (2.9) ดังนี้

$$\sigma = -\frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_{y'} = -\frac{(364.941)(0.0165)}{3.2127 \times 10^{-8}}$$

$$\sigma_{y'} = -187.429 \text{ MPa}$$

จากทฤษฎีพบว่ารูปแบบการกระจายตัวของความเค้นดัดดังรูปที่ 4.5 นั้นมีค่าเป็นศูนย์ที่จุด C และ D มีค่าสูงสุดที่จุด A และ B ดังนี้



รูปที่ 4.5 รูปแบบความเค้นดัดที่เกิดขึ้นที่หน้าตัด K-K

$$\sigma_{y',A} = 187.429 \text{ MPa (C)}$$

$$\sigma_{y',B} = 187.429 \text{ MPa (T)}$$

จากการวิเคราะห์จะได้ค่าความเค้นดัดที่จุด A เท่ากับ 187.429 MPa (C) เป็นความเค้นดัดอัดและความเค้นดัดที่จุด B เท่ากับ 187.429 MPa (T) เป็นความเค้นดัดดึง ซึ่งในการวิเคราะห์ความเค้นตึงฉาก ณ จุด A ที่หน้าตัด K-K พบว่ามีความเค้นตึงฉากเท่ากับ 3.1 MPa ดังนั้นสามารถคำนวณความเค้นดัดได้ดังนี้

$$\sigma_{y',A} = 3.1 + 187.429$$

$$\sigma_{y',A} = 190.529 \text{ MPa}$$

ผลรวมของความเค้นในแนวแกน Y' ซึ่งประกอบไปด้วยความเค้นตึงฉาก และความเค้นดัด จะมีค่าสูงสุดที่จุด A (รูปที่ 4.3) โดยได้ผลรวมความเค้นในแกน Y' ที่จุด A เท่ากับ 190.529 MPa

4.1.6 ความเค้นหลัก

จากการวิเคราะห์ความเค้นดัดในหัวข้อ 4.1.5 ได้ความเค้นดัดเท่ากับ 190.529 MPa ความเค้นในแนวแกน X' เท่ากับศูนย์ และความเค้นเฉือนที่จุด A เท่ากับศูนย์ เนื่องจากการคำนวณใน 2 มิติความเค้นในแนวแกน Z' มีค่าเท่ากับเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณความเค้นหลักจากสมการ (2.10) ดังนี้

$$\text{จากสมการ} \quad \sigma_{p1}, \sigma_{p2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\text{จะได้} \quad \sigma_{p1}, \sigma_{p2} = \frac{\sigma_{x'} + \sigma_{y'}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x'} - \sigma_{y'}}{2}\right)^2 + \tau_{x'y'}^2}$$

$$\sigma_{P1}, \sigma_{P2} = \frac{0+190.529}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{0+190.529}{2}\right)^2 + 0^2}$$

$$\sigma_{P1} = 95.265 + 95.265 = 190.53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{P2} = 95.265 - 95.265 = 0 \text{ MPa}$$

4.1.7 Von Mises Stress

จากสมการที่ (2.12) สามารถลดรูปเป็นสมการบนระนาบและคำนวณค่า Von Mises Stress ได้ดังนี้

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 - (\sigma_x \sigma_y) + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{0^2 - (0 \times 190.529) + 190.529^2 + 3(0)^2}$$

$$\sigma_v = 190.529 \text{ MPa}$$

4.1.8 ค่าองค์ประกอบความปลอดภัย

สำหรับวัสดุของโมเดลที่เลือกใช้ในการคำนวณ คือ Stainless Steel AISI 304 มีความแข็งแรงที่จุดคราก (Yield Point) เท่ากับ 215 MPa และมีความเค้นกระทำจริงกับชิ้นงานอยู่ที่ 190.529 MPa ค่าองค์ประกอบความปลอดภัยได้จากสมการ

$$\text{Safety of factor} = \frac{S_y}{\sigma_v}$$

$$\text{Safety of factor} = \frac{215}{190.529}$$

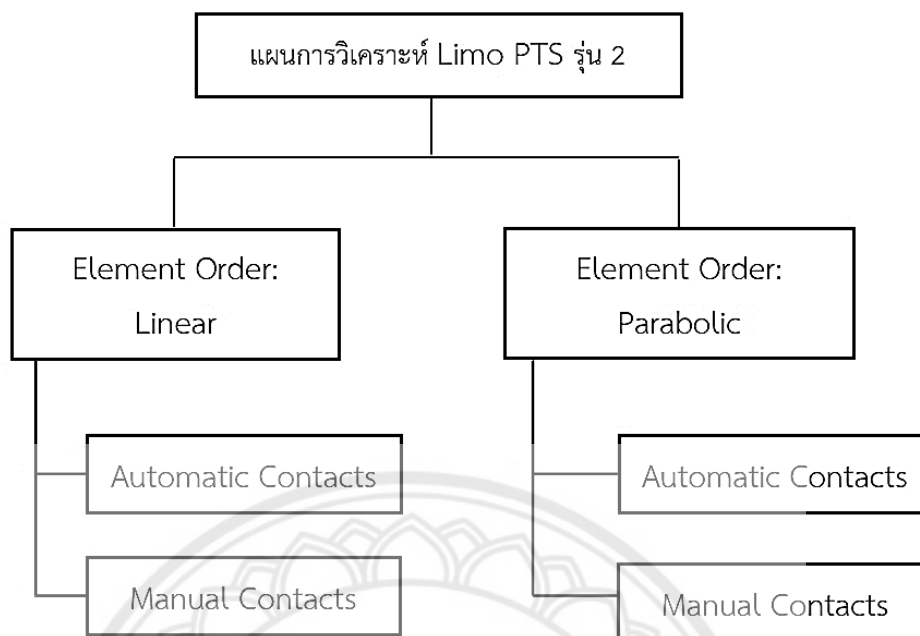
$$\text{Safety of factor} = 1.13$$

จากการคำนวณความเค้นตั้งฉากและความเค้นดัดที่หน้าตัด K-K เพื่อคำนวณความเค้น Von Mises Stress ที่จุด A พบว่าค่า Von Mises Stress ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 190.529 MPa ส่งผลให้มีความปลอดภัยอยู่ที่ 1.13 แสดงว่าโครงสร้างที่ถูกออกแบบและวัสดุที่เลือกใช้ สามารถใช้งานได้ตามที่ออกแบบ โดยไม่เกิดความเสียหายกับโครงสร้าง อย่างไรก็ตามภาระกระทำ 900 N ที่ใช้ในการคำนวณเป็นขนาดของภาระกระทำที่ถูกเผื่อค่าไว้ 1.5 เท่าจากภาระที่กระทำแท้จริงซึ่งออกแบบไว้ที่ 600 N ต่อแขน Limo PTS 1 ข้าง

4.2 วิเคราะห์ความแข็งแรงของ Limo PTS รุ่น 2 ด้วยโปรแกรม Fusion 360 ฟังก์ชัน Simulation

4.2.1 วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2

จากการคำนวณความเค้น Von Mises Stress ในทางทฤษฎีของเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2 ข้างต้น เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของความเค้น Von Mises Stress ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในส่วนของการทำ Simulation เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง ได้ทำการศึกษาผลกระทบของชนิดของเอลิเมนต์ (หัวข้อ 2.4.1) และวิธีกำหนด Contact โดยการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างโมเดลที่ใช้ Element Order ในการวิเคราะห์เป็น Linear และ Parabolic (Quadratic) และระหว่างโมเดลที่กำหนด Contact ในการวิเคราะห์เป็น Automatic Contacts (จุดเชื่อมต่อจะถูกกำหนดให้เป็น Bonded ทั้งหมด) และแบบ Manual Contacts (กำหนดตามสถานะจริงของแบบจำลอง) ทั้งหมด 4 แบบจำลองดังรูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม Fusion 360 ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณทางทฤษฎีต่อไป



รูปที่ 4.6 แผนการวิเคราะห์ Limo PTS รุ่น 2

4.2.1.1 วิธีดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้ฟังก์ชัน Simulation ในโปรแกรม Fusion 360

ก. นำไฟล์แบบจำลองของเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2 เข้าสู่โปรแกรม Fusion 360 และใช้คำสั่ง Design ทำการปรับแบบดังรูปที่ 4.7 โดยนำชิ้นส่วนที่นอกเหนือจากโครงสร้างหลักออก เช่น บอร์ดรองนั่ง น็อต ลูกล้อ ชุดกลไก ที่พับเท้า ฯลฯ เพื่อลดเวลาในการวิเคราะห์



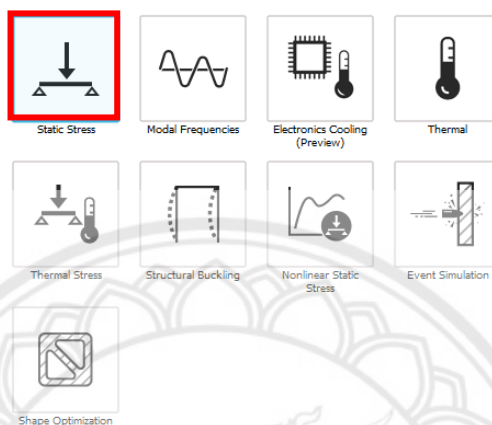
ก. แบบจำลองแบบสมบูรณ์



ข. แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์

รูปที่ 4.7 การปรับแบบจำลอง Limo PTS รุ่น 2 เพื่อทำ Simulation

ข. เลือกทำ Simulation ในโหมด Static Stress (รูปที่ 4.8) ในการวิเคราะห์ โดยผลลัพธ์ที่สนใจ ได้แก่ ความเค้น ความเครียด และการเสียรูป ที่เกิดในโครงสร้างที่แบบจำลองไม่มีการเคลื่อนไหว รับภาระคงที่และมีสมบัติของวัสดุคงที่



รูปที่ 4.8 โหมดในการวิเคราะห์ของฟังก์ชัน Simulation

หลังจากเข้าโหมด Static Stress จะปรากฏแถบคำสั่ง (Menu Bar) ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นคำสั่งในการตั้งค่าต่าง ๆ ตามลำดับเพื่อการทำ Simulation รวมทั้งคำสั่งคำนวณ (Solve) และแสดงผล (Result)



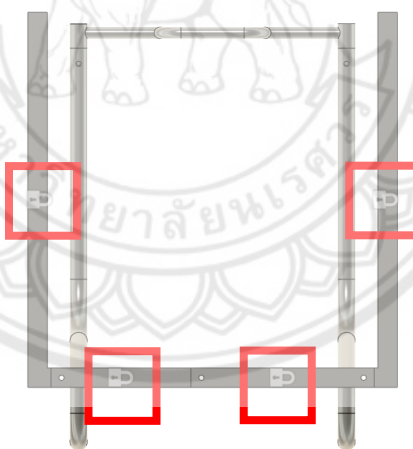
รูปที่ 4.9 Menu Bar ในโหมด Static Stress

ค. กำหนดชนิดของวัสดุโดยใช้คำสั่ง Study Materials (รูปที่ 4.9 หมายเลข 1) เลือกวัสดุที่ใช้ในแบบจำลองทั้งหมดเป็น Stainless Steel AISI 304 โดยองค์ประกอบความปลอดภัย คำนวณจากความแข็งแรงที่จุดครากเป็นความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้ ดังรูปที่ 4.10

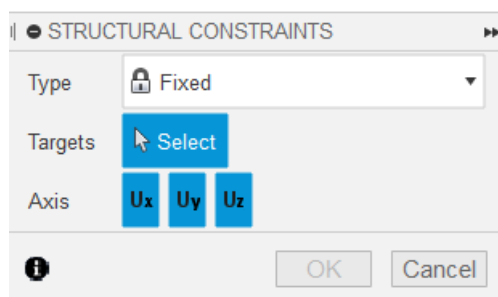
Category	Name	Component	Study Materials	Safety Factor
Metal	Steel	Simulation Model 1:1	Stainless Steel AISI 304	Yield Strength
Metal	Steel	ขาโครงสร้างขวา v2:1	Stainless Steel AISI 304	Yield Strength
Metal	Steel	ขาโครงสร้างซ้าย v2:1	Stainless Steel AISI 304	Yield Strength
Metal	Steel	ขั้วรวมพีกเท้า v7:1	Stainless Steel AISI 304	Yield Strength
Metal	Steel	พนักพิงหลัง v1:1	Stainless Steel AISI 304	Yield Strength

รูปที่ 4.10 กำหนดชนิดของวัสดุและการคำนวณองค์ประกอบความปลอดภัย

ง. กำหนดจุดยึดไม่ให้แบบจำลองเคลื่อนที่ได้โดยใช้คำสั่ง Constraints (รูปที่ 4.9 หมายเลข 2) แบบจำลองโครงสร้างเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2 ใช้การยึดแบบ Fixed ยึดการเคลื่อนไหวของพื้นฐานด้านล่างของโครงสร้างดังรูปที่ 4.11 และกำหนดเงื่อนไขจำกัดการเคลื่อนไหว ในแกน X, Y และ Z ดังรูปที่ 4.12

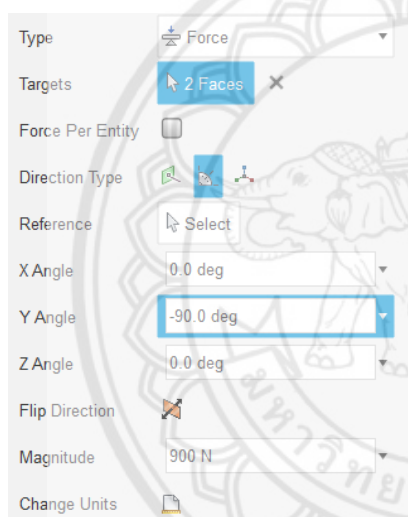


รูปที่ 4.11 มุมมองจากด้านล่าง (Bottom View) ของ Limo PTS รุ่น 2 แสดงจุดยึด (Fixed)

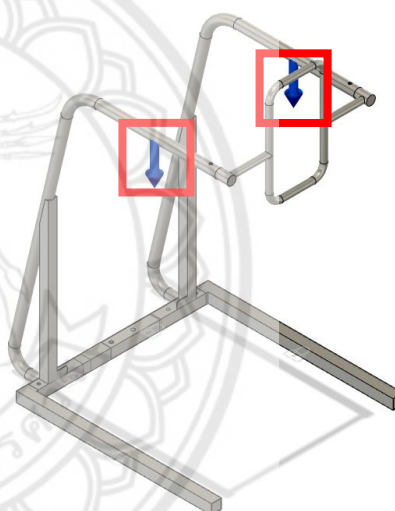


รูปที่ 4.12 การยึดแบบ Fixed

จ. กำหนดภาระด้วยคำสั่ง Load หรือ Structural Load (รูปที่ 4.9 หมายเลข 3) โดยโครงสร้างเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2 ถูกออกแบบให้รับมวลผู้ป่วยสูงสุด 120 kg คิดเป็นน้ำหนักหรือแรง (Force) กระทำในแนวตั้งรวม 117.2 N ($120 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$) หรือประมาณ 1200 N ในการวิเคราะห์โครงสร้างได้ทำการเผื่อค่าภาระกระทำเป็น 1.5 เท่าเพื่อความปลอดภัย คิดเป็นภาระกระทำที่แขนของโครงสร้างทั้ง 2 ข้างรวม 1800 N จากการดึงของสายเบลท์ข้างละ 2 จุด รวมทั้งหมด 4 จุด ซึ่งเฉลี่ยได้จุดละ 450 N อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อจำกัดของโปรแกรม Fusion 360 ทำให้ไม่สามารถกำหนดภาระกระทำเป็นข้างละ 2 จุดได้ตามจริง จึงจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนวิธีการกำหนดภาระกระทำเป็นแรงในแนวตั้งขนาด 900 N กระทำที่ตำแหน่งกึ่งกลางแขนแต่ละข้างของโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14

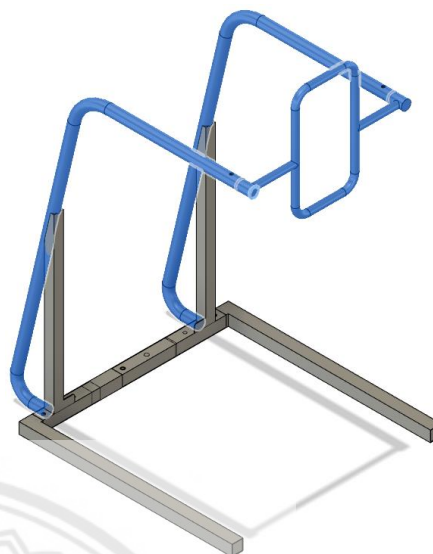
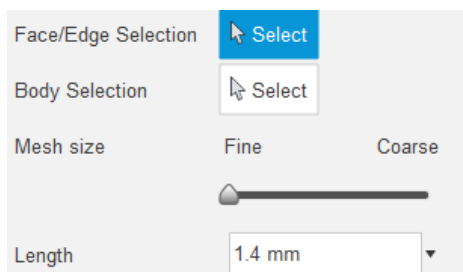


รูปที่ 4.13 การกำหนดภาระกระทำบน
แบบจำลอง



รูปที่ 4.14 ตำแหน่งของภาระ

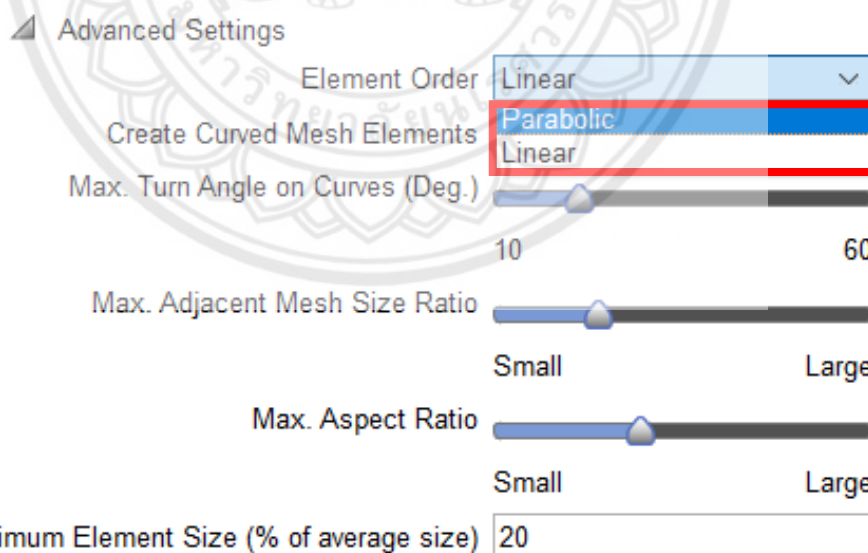
ฉ. สร้างและตั้งค่า Mesh ด้วยคำสั่ง Local Mesh Control (รูปที่ 4.9 หมายเลข 4) เพื่อกำหนดขนาด Mesh Size หรือ Length ดังรูปที่ 4.15 โดยโครงสร้างในรูปที่ 4.16 ส่วนที่เป็นท่อวงแหวน (แบบจำลองสีน้ำเงิน) มีจุดที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด 3 mm กำหนด Mesh Size 3 mm ในส่วนของฐานที่เป็นท่อกล่อง (แบบจำลองสีเทา) มีจุดที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด 1.22 mm แต่ด้วยข้อจำกัดของโปรแกรมจึงกำหนด Mesh Size ขนาดต่ำสุด 1.4 mm



รูปที่ 4.15 การกำหนดขนาด Mesh Size

รูปที่ 4.16 แบบจำลองแบ่งส่วน Mesh Size

ช. ตั้งค่า Element Order ด้วยคำสั่ง Mesh Settings (รูปที่ 4.9 หมายเลข 5) โดย ส่วนของ Advanced Settings สามารถเลือก Element Order ให้เป็นชนิด Parabolic หรือ Linear ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 การตั้งค่า Element Order

ช. ตั้งค่า Contacts สัมผัสระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ในแบบจำลองด้วยคำสั่ง Automatic Contacts (รูปที่ 4.9 หมายเลข 6) ซึ่งส่งผลให้แบบจำลองมีการเชื่อมต่อแบบ Bonded ทั้งแบบจำลอง หรือสามารถกำหนดจุดสัมผัสแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจริงของแบบจำลองด้วยคำสั่ง

Manual Contacts (รูปที่ 4.9 หมายเลข 7) ซึ่งสามารถกำหนดชนิดของ Contact เป็นรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น Sliding, Rough, Separation หรือ Offset Bonded ใกล้เคียงสภาวะความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งโครงสร้างแก้อีเคิลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2 มี Contact ทั้งหมดในแบบจำลอง 17 คู่สัมผัส โดยทำการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี

ณ. ใช้คำสั่ง Solve (รูปที่ 4.9 หมายเลข 8) เพื่อเข้ากระบวนการคำนวณผลเฉลย

ณ. สร้างไฟล์แบบจำลองและคำนวณผลเฉลยให้ครบทั้ง 4 แบบจำลอง (ตารางที่ 2.1) ตามขั้นตอนที่ ก.-ณ.

ตารางที่ 2.1 แบบจำลองการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบของ Element Order และ Contacts

แบบจำลองที่	Element Order		Contact	
	Parabolic	Linear	Automatic Contacts	Manual Contacts
1	✓		✓	
2	✓			✓
3		✓	✓	
4		✓		✓

11. ตรวจสอบผลการวิเคราะห์โดยใช้คำสั่ง Results (รูปที่ 4.9 หมายเลข 9) บันทึกข้อมูลแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้แก่ Number of Element, Number of Node และ เวลาในการวิเคราะห์ (Time) 4 แบบจำลองและบันทึกผลการวิเคราะห์ที่สนใจ ได้แก่ Von Mises Stress ของจุด A ที่หน้าตัด K-K (หัวข้อ 4.1) ระยะการเสียรูป (Displacement) และค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ของทั้ง 4 แบบจำลอง

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2

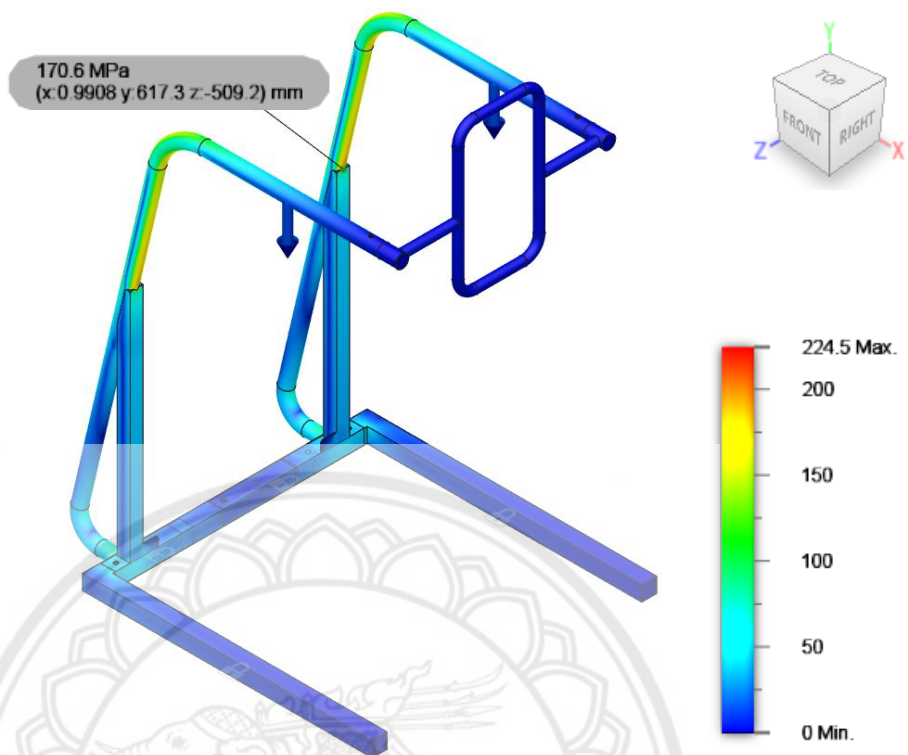
จากการวิเคราะห์โครงสร้างแก้อีเคิลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2 ทั้ง 4 แบบจำลองและบันทึกผลดังแสดงในตารางที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับโดยผล Von Mises Stress, Displacement และ Safety Factor แสดงตัวอย่างรูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ Limo PTS รุ่น 2

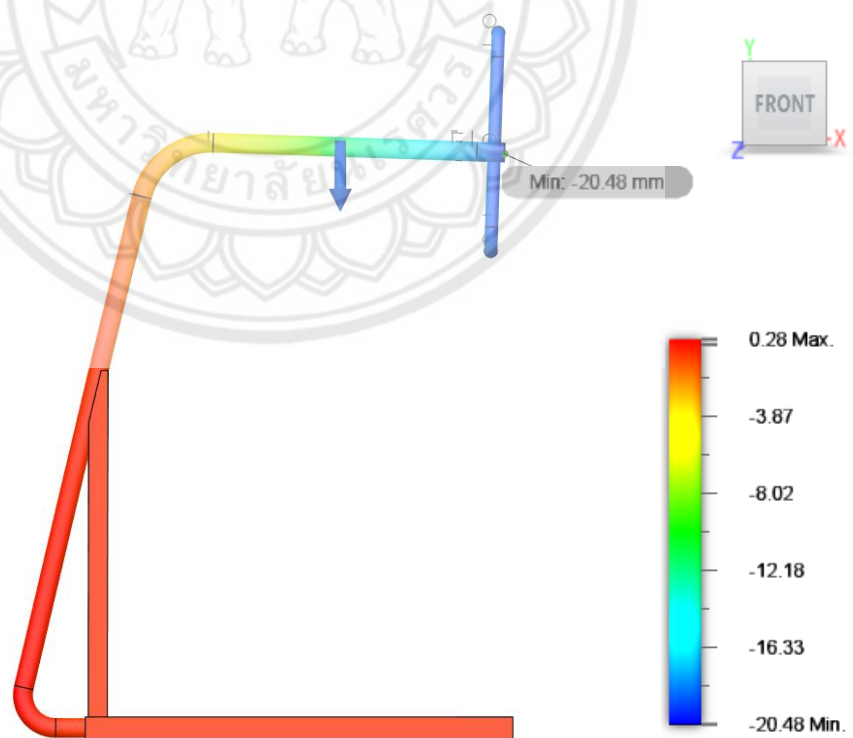
แบบจำลองที่	Number of Elements	Number of Nodes	Time (min)
1	912909	1570117	8:53
2	912909	1570117	10:43
3	916288	241974	4:06
4	916288	241974	6:06

ตารางที่ 2.3 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

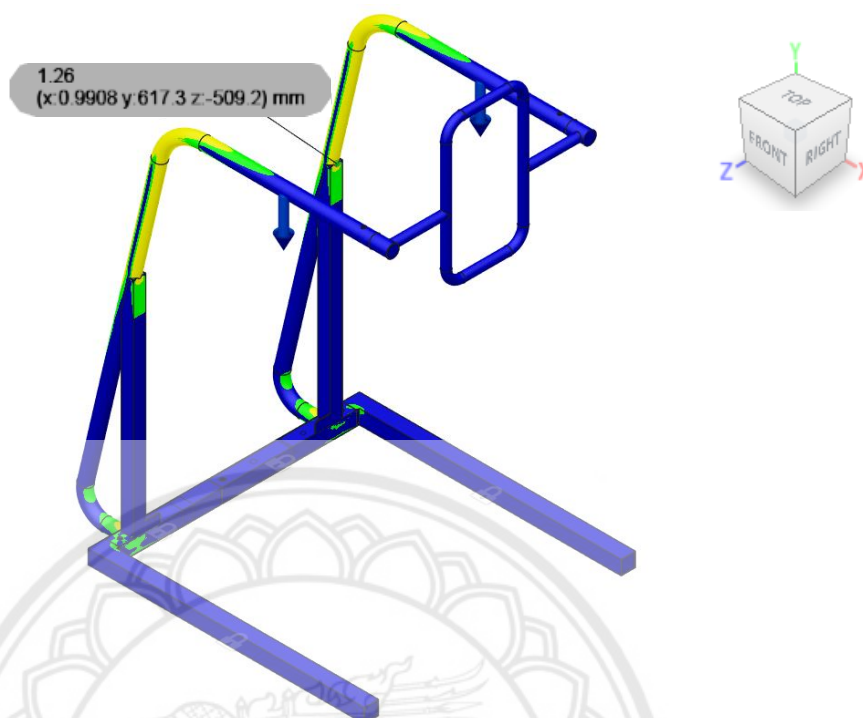
แบบจำลองที่	Von Mises Stress จุดที่สนใจ (MPa)	Minimum Displacement แกน Y (mm)	Minimum Safety Factor
1	170.6	-20.48	0.9576
2	170.6	-20.48	0.9576
3	163.7	-19.19	1.123
4	163.7	-19.19	1.123



รูปที่ 4.18 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Von Mises Stress ของแบบจำลองที่ 1



รูปที่ 4.19 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Displacement ตามแนวแกน Y ของแบบจำลองที่ 1



รูปที่ 4.20 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Safety Factor ของแบบจำลองที่ 1

เมื่อวิเคราะห์แบบจำลองทั้ง 4 แบบพบว่าการเปลี่ยนชนิดของ Element Order ทั้ง Parabolic และ Linear นั้นส่งผลให้ได้ Number of Elements, Number of Nodes และเวลาในการวิเคราะห์ที่ต่างกันไป รวมถึงส่งผลต่อผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ Von Mises Stress, Displacement และ Safety Factor อย่างไรก็ตามพบว่าการกำหนด Contact ทั้ง Automatic Contacts และ Manual Contacts นั้นส่งผลเพียงระยะเวลาในการวิเคราะห์ และเมื่อนำความเค้น Von Mises Stress ที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองทั้ง 4 เปรียบเทียบกับความเค้น Von Mises stress ที่ได้จากการคำนวณในทางทฤษฎีของจุด A ที่หน้าตัด K-K (หัวข้อ 4.1) ซึ่งคำนวณได้เท่ากับ 190.529 MPa มีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 10.46, 10.46, 14.08 และ 14.08 % ตามลำดับ

4.2.3 สรุปผล

จากการวิเคราะห์แบบจำลองทั้ง 4 แบบเพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงในการใช้งานโครงสร้างของ Limo PTS รุ่น 2 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าแบบจำลองทั้ง 4 แบบมีค่า Von Mises Stress ไม่เกินค่าความแข็งแรงที่จุดครากของ Stainless Steel AISI 304 เพราะวัสดุและขนาดโครงสร้างที่ได้ถูกออกแบบไว้นั้นมีความเหมาะสมในการใช้งานจึงไม่จำเป็นต้องลดขนาดหรือเปลี่ยนวัสดุ และจากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการวิเคราะห์แบบจำลองทั้ง 4 แบบพบว่าแบบจำลองที่ 1 และ 2 มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เท่ากันและน้อยกว่าแบบจำลองที่ 3

และ 4 ทั้งนี้จึงต้องเปรียบเทียบเพิ่มจากเวลาในการวิเคราะห์ซึ่งพบว่าแบบจำลองที่ 1 ใช้เวลาในการวิเคราะห์ 8:53 นาที และ แบบจำลองที่ 2 ใช้เวลาในการวิเคราะห์ 10:43 นาทีซึ่งทั้ง 2 แบบได้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์เท่ากันดังนั้นจึงเลือกใช้แบบจำลองที่ 1 คือการใช้ Element Order แบบ Parabolic และ Contacts แบบ Automatic Contacts เพื่อใช้ในการการวิเคราะห์แก๊สเคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3 ต่อไป

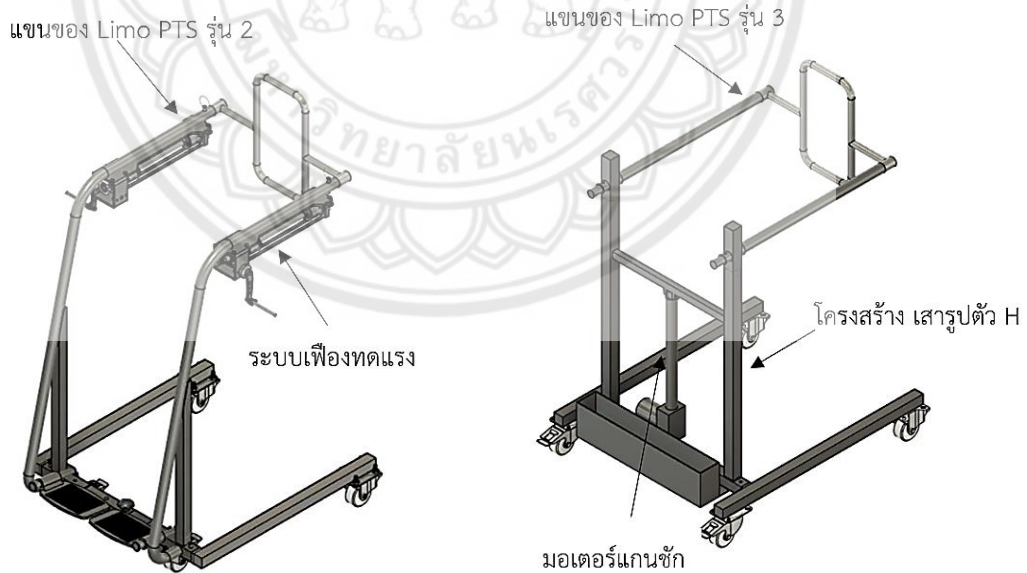


บทที่ 5

ออกแบบ และวิเคราะห์ความแข็งแรง Limo PTS รุ่น 3

5.1 การออกแบบเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3

การออกแบบเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3 เป็นการพัฒนาต่อยอดมาจาก Limo PTS รุ่น 2 เนื่องจาก Limo PTS รุ่น 2 นั้นมีระบบกลไกในการยกผู้ป่วยเป็นระบบเฟืองทดแรงใช้มือในการหมุน จึงได้มีการพัฒนาปรับปรุงระบบกลไกในการยกผู้ป่วยใหม่เป็นระบบมอเตอร์ไฟฟ้า ใช้มอเตอร์แกนซึกในการทดแรงแทนระบบเฟืองทดแรงในการยกผู้ป่วย เนื่องจากมีการปรับปรุงระบบกลไกเป็นระบบมอเตอร์ไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงโครงสร้างส่วนแขนของ Limo PTS รุ่น 3 ให้เหมาะสมกับระบบการทำงานของมอเตอร์แกนซึก ดังรูปที่ 5.1ข. ทำให้ได้โครงสร้างแขนใหม่ที่ประกอบด้วย 1) แขน 2) โครงสร้างเสารูปตัว H 3) แกนด้านในสำหรับประคองเสารูปตัว H (ไม่ได้แสดงให้เห็นในรูป) ทั้งนี้โครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3 สามารถถอดประกอบได้ เพื่อความสะดวกสบายในการจัดเก็บและเคลื่อนย้ายไปใช้งานตามสถานที่ต่าง ๆ



ก. โครงสร้างของแขนและระบบกลไก
Limo PTS รุ่น 2

ข. โครงสร้างของแขนและระบบกลไก
Limo PTS รุ่น 3

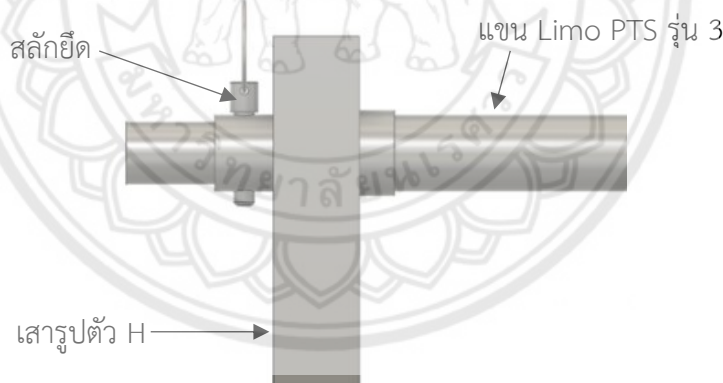
รูปที่ 5.1 การปรับปรุงโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 เป็น Limo PTS รุ่น 3

5.2 การออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างแกนของเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3

ในส่วนเป็นการออกแบบแกนของเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3 ให้สามารถถอดประกอบได้ โดยได้ออกแบบทั้งหมด 3 ลักษณะ คือ แขนต้น แขนกลาง และแขนต้นผสมกลาง ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทั้ง 3 แบบ เพื่อหาแบบที่เหมาะสมมีความแข็งแรงและปลอดภัยในการใช้งาน

5.2.1 ออกแบบการติดตั้งแกน Limo PTS รุ่น 3

จากที่กล่าวมาข้างต้นได้กำหนดลักษณะแกนของ Limo PTS รุ่น 3 ให้สามารถถอดประกอบได้ การถอดและประกอบแกนของเก้าอี้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำให้ปลายแกนเป็นเกลียว ใช้การหมุนเหมือนการขันสกรู (Screw) เข้ากับโครงสร้างและใช้น็อตในการยึด การสวมแกนเข้ากับโครงสร้างแล้วใช้สลักในการยึด ดังรูปที่ 5.2 เป็นต้น อย่างไรก็ตามจากการออกแบบและวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม Fusion 360 เบื้องต้นพบว่า การทำให้ปลายแกนเป็นเกลียวนั้น ทำให้เกิดจุดแตกหัก (Safety Factor น้อยกว่า 1) ที่พื้นเกลียวเมื่อแขนรับภาระมาก รวมถึงการขึ้นรูปในการผลิตชิ้นงานจริงอาจทำได้ยาก ขณะที่การติดตั้งโดยการสวมแกนเข้ากับโครงสร้างและใช้สลักในการยึดพบว่าเกิด Safety Factor มากกว่า 1 สามารถยอมรับได้ อีกทั้งยังง่ายต่อการผลิตชิ้นงานจริง จึงได้เลือกการติดตั้งแกน Limo PTS รุ่น 3 เป็นการติดตั้งแบบสวมและใช้สลักในการยึด

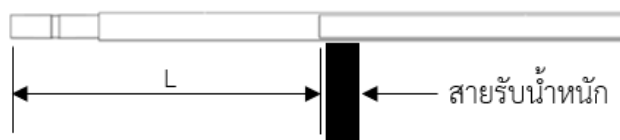


รูปที่ 5.2 ลักษณะการติดตั้งแกนแบบสวมและใช้สลักในการยึด

5.2.2 การออกแบบโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3

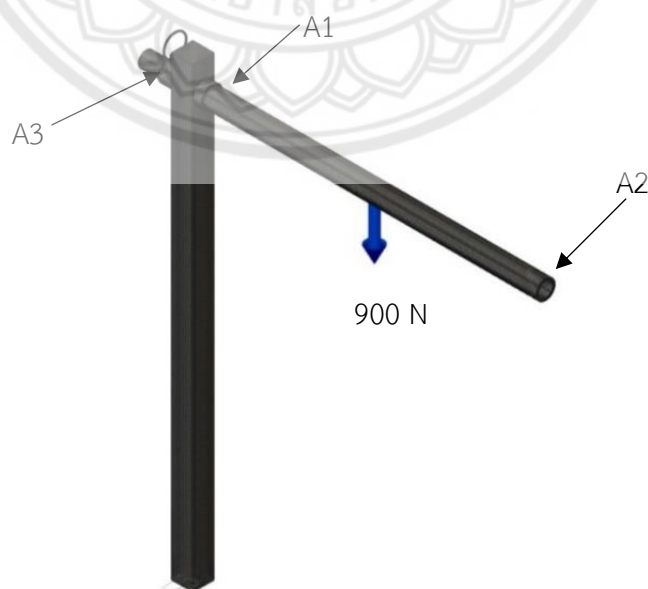
ทางเลือกในการออกแบบโครงสร้างแกน Limo PTS รุ่น 3 ที่กำหนดไว้มีทั้งหมด 3 ลักษณะ คือ แขนต้น แขนกลาง และแขนต้นผสมกลาง ดังรูปที่ 5.3 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดน้ำหนักของโครงสร้างแกน โดยแขนทั้ง 3 ลักษณะถูกนำมาวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยโปรแกรม Fusion 360 เพื่อนำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรมไปเปรียบเทียบและเลือกโครงสร้างแกนที่เหมาะสม สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย ทั้งนี้ในส่วนของแขนต้นผสมกลาง ได้ทำการแปร

ระยะต้น (L) โดยเริ่มจาก 350 mm ซึ่งเป็นจุดที่ติดตั้งสายรับน้ำหนักสายแรกของเบาะรองนั่งผู้ป่วย เพิ่มระยะ L ขึ้นครั้งละ 25 mm จนถึงระยะ L ที่ 475 mm



รูปที่ 5.3 ช่วงต้น (L) ของแกนต้นผสมกลวง

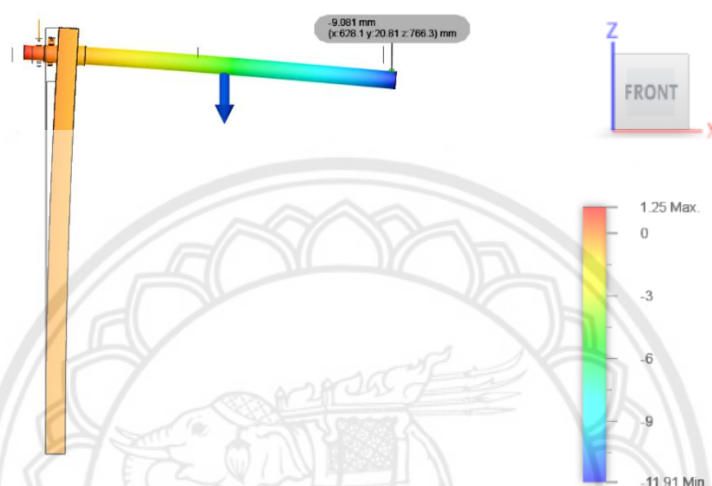
ในการวิเคราะห์โครงสร้างแกน Limo PTS รุ่น 3 ใช้โมเดลแกนเพียง 1 ข้าง ประกอบเข้ากับเสารูปตัว H และใช้แรงที่กระทำบนแกน 900 N เพราะเนื่องจากแกนทั้ง 2 ข้างมีลักษณะเหมือนกัน และรับภาระเท่ากันจึงทำการคำนวณเพียงข้างเดียว เพื่อลดเวลาในการวิเคราะห์ โดยขั้นตอนและการตั้งค่าในฟังก์ชัน Simulation ใช้เหมือนกับการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 ที่แสดงไว้ใน บทที่ 4 โดยกำหนดจุดยึดอยู่ที่ตำแหน่งโคนเสาและใช้ขนาด Mesh เป็น 3 mm ดังรูปที่ 5.4 ทำการวิเคราะห์ค่า มวลของแกน (m), Von Mises Stress, Displacement (d_z) และ Safety Factor ที่จุดสนใจ (Point of Interest) 3 จุด ได้แก่ A1 A3 และ A2 ดังรูปที่ 5.4 โดยจุด A1 และ A3 คาดว่าเป็นจุดที่เกิดค่า Von Mises Stress สูงสุด และจุด A2 คาดว่าเป็นจุดที่เกิด Displacement (d_z) สูงสุดของแกน บันทึกค่าลงในตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.4 โมเดลของโครงสร้างแกนที่ตั้งค่าในฟังก์ชัน Simulation ในการวิเคราะห์

5.2.2.1. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างแขน Limo PTS รุ่น 3

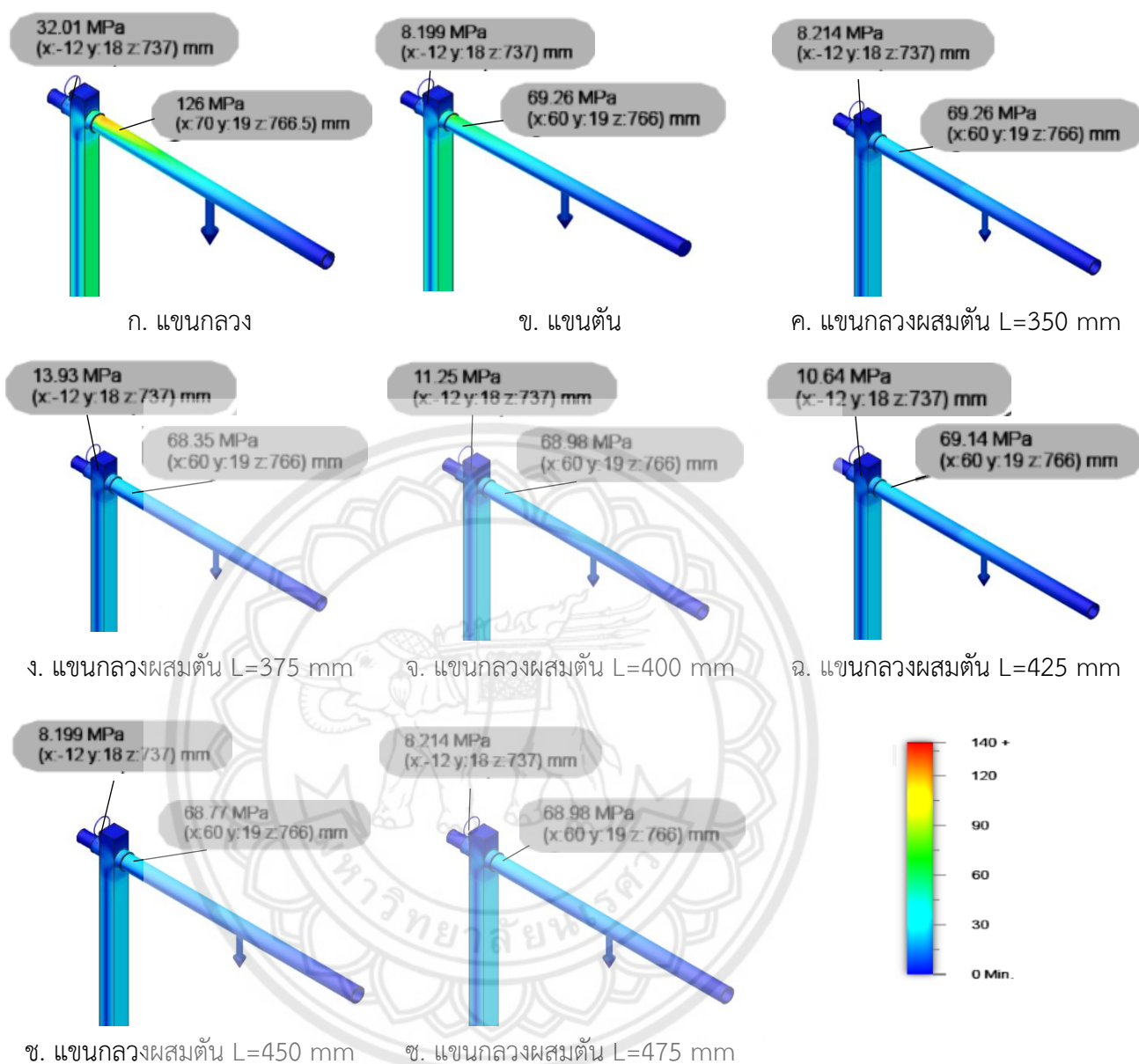
จากการออกแบบการติดตั้งแขนและโครงสร้างแขนของเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3 ทำการวิเคราะห์โครงสร้างแขนของ Limo PTS รุ่น 3 ด้วยฟังก์ชัน Simulation ในโปรแกรม Fusion 360 พบว่าในทุกกรณี Von Mises Stress สูงสุด เกิดที่จุด A1 และ A3 d_z สูงสุด เกิดที่จุด A2 ดังแสดงในรูปที่ 5.5 และ 5.6 และตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการเกิด Deformation ในแนวแกน z

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์การออกแบบโครงสร้างแขน

ลำดับ	ลักษณะแขน	มวล (g)	Von Mises Stress จุด A1 (MPa)	Von Mises Stress จุด A3 (MPa)	Safety Factor จุด A1	Displacement จุด A2 (mm)
1	แขนกลาง	1542	126.0	32.02	1.707	-13.35
2	แขนต้น	4465	69.26	8.199	3.145	-11.70
3	แขนกลางช่วงต้น 350 mm	2892	69.26	8.214	3.103	-11.91
4	แขนกลางช่วงต้น 375 mm	3004	68.35	13.93	3.145	-11.86
5	แขนกลางช่วงต้น 400 mm	3116	68.98	11.25	3.116	-11.82
6	แขนกลางช่วงต้น 425 mm	3229	69.14	10.64	3.110	-11.78
7	แขนกลางช่วงต้น 450 mm	3341	68.77	8.199	3.114	-11.76
8	แขนกลางช่วงต้น 475 mm	3453	68.98	8.124	3.116	-11.74



รูปที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์ Von Mises Stress บนแขนที่จุด A1

เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างแขนทั้ง 3 ลักษณะ พบว่าลักษณะแขนต้นวิเคราะห์ค่า Von Mises Stress ได้ 69.26 MPa สามารถนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัย ในขณะที่ผลการวิเคราะห์แขนกลางได้ค่า Von Mises Stress ที่ 126 MPa ซึ่งมากกว่ากรณีแขนต้นถึง 56.74 MPa แขนต้นผสมกลาง ที่ได้ทำการวิเคราะห์แขนกลางที่มีระยะช่วงต้นทั้งหมด 6 รูป พบว่าทั้ง 6 กรณี ได้ Von Mises Stress ที่จุด A1 และค่า Safety Factor ที่จุด A1 ใกล้เคียงกันมาก (Von Mises Stress = 68.35–69.26 MPa และ Safety Factor = 1.706 – 3.145) รวมถึงค่า Von Mises Stress ที่จุด A3 มีค่าอยู่ในช่วง 8.199–32.02 MPa จึงสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยทั้ง 6 กรณี

5.2.2.2 สรุปผลการออกแบบแขน

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทั้ง 8 แบบ พบว่า โครงสร้างแขนต้นผสมกลางที่มีช่วงต้น 350 mm นั้น เหมาะสมสำหรับโครงสร้างของเก้าอี้ เนื่องจากมีน้ำหนัก 2892 g น้อยกว่าแขนต้นถึง 1573 g และค่า Von Mises Stress ที่ 68.89 MPa ซึ่งมีค่าเท่ากับ Von Mises Stress ของแขนต้น จึงสามารถเลือกใช้แขนต้นผสมกลางที่มีช่วงต้น 350 mm ได้เนื่องจากมีความแข็งแรงและปลอดภัยในการใช้งาน

5.3 การออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3

การพัฒนาต่อยอดเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2 เป็นเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3 นั้นเป็นการปรับเปลี่ยนระบบกลไกในการยกผู้ป่วยจากระบบมือหมุนใช้เฟืองทดแรงเป็นระบบมอเตอร์ไฟฟ้าใช้มอเตอร์แกนซึกในการทดแรง ดังรูปที่ 5.1ก. และ 5.1ข. จึงได้มีการปรับปรุงโครงสร้างบางส่วนใหม่ให้เหมาะสมกับใช้มอเตอร์แกนซึก แขนของเก้าอี้ และโครงสร้างบางส่วนของเก้าอี้ยังคงสามารถถอดประกอบได้ เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน การเคลื่อนย้ายและการจัดเก็บ

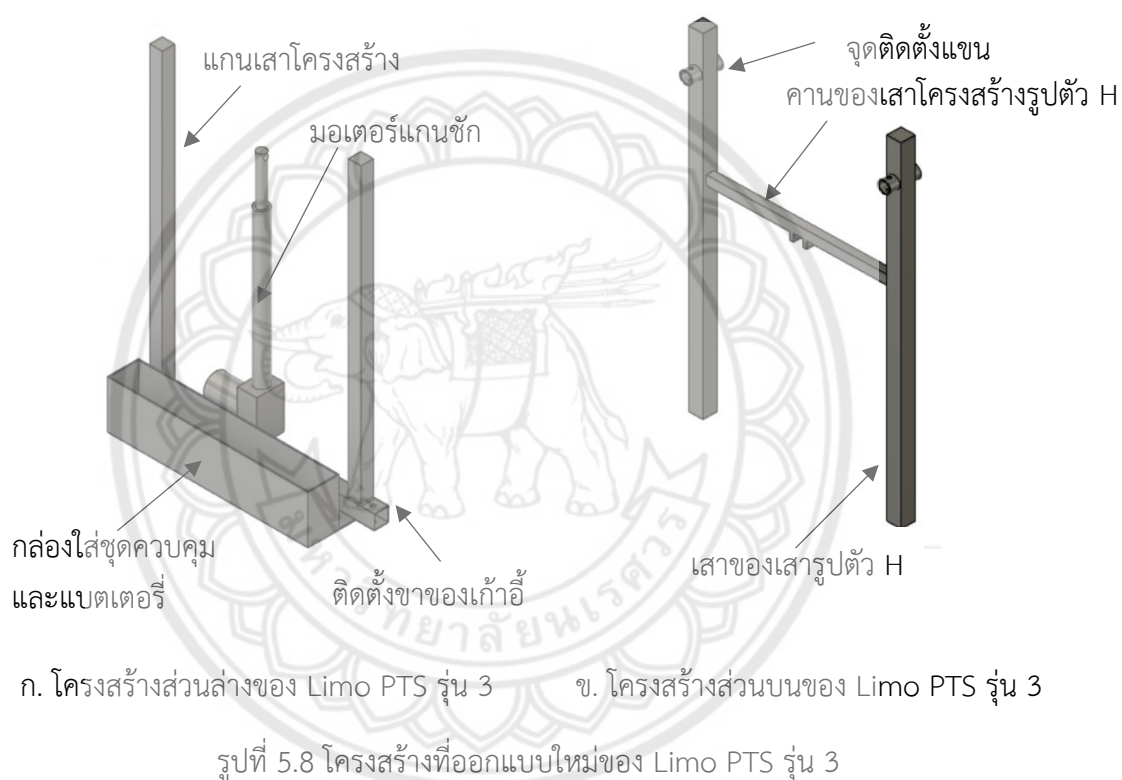
5.3.1 การออกแบบโครงสร้างเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3

จากการออกแบบได้กำหนดโครงสร้างของเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3 บางส่วน ยังคงใช้โครงสร้างเดิมของเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2 คือส่วนขาของเก้าอี้ สายรับน้ำหนัก ที่พิงหลัง เบาะรองนั่งและบอร์ดพิงหลัง ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 เก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2

ส่วนที่ปรับปรุงแก้ไขใหม่คือส่วนโครงสร้างของเสารับน้ำหนัก Limo PTS รุ่น 3 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือโครงสร้างส่วนล่าง ดังรูปที่ 5.8ก. ทำหน้าที่เป็นแกนประคองในการเคลื่อนที่ของโครงสร้างส่วนบน ด้านล่างเป็นฐานของการติดตั้งมอเตอร์แกนชัก กล่องควบคุม แบตเตอรี่ และขาของเก้าอี้ โดยโครงสร้างหลักออกแบบให้ใช้วัสดุเป็นท่อเหลี่ยม ส่วนที่สองคือโครงสร้างส่วนบนซึ่งมีลักษณะเป็นเสารูปตัว H ดังรูปที่ 5.8ข. ใช้ในการที่ติดตั้งแขนและรับแรงจากมอเตอร์แกนชักส่งผ่านคานของเสารูปตัว H เพื่อยกผู้ป่วยขึ้น



5.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3

การวิเคราะห์โครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3 ใช้แบบจำลองประกอบด้วย ส่วนโครงสร้างเสารูปตัว H ทั้งส่วนบนและส่วนล่าง มอเตอร์แกนชัก แขน น็อต สกรู สลัก และส่วนขาของเก้าอี้ตัดชุดล้อ และที่พึงหลังออกเพื่อลดเวลาในการวิเคราะห์ โดยทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างที่ระยะยกทั้งหมด 5 ระยะคือ 0, 100, 150, 200 และ 250 mm วัดจากระยะเริ่มต้นของมอเตอร์แกนชัก วิธีการวิเคราะห์เริ่มจากการสร้างแบบจำลอง 5 แบบจำลอง ตามระยะยกทั้ง 5 ด้วยการเขียนแบบโครงสร้างในโปรแกรม Fusion 360 และใช้ฟังก์ชัน Simulation วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างของเก้าอี้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 3 ด้วยขั้นตอนและการตั้งค่าในฟังก์ชัน Simulation เหมือนกับการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 ที่แสดงไว้ในบทที่

4 โดยกำหนดจุดยึดอยู่ที่ตำแหน่งขา ใช้ขนาด Mesh 3 mm และทำการวิเคราะห์ค่า Von Mises Stress, Displacement (d_y), Displacement (d_z) และ Safety Factor ทุกจุดสนใจ (Point of Interest) 6 จุด ดังรูปที่ 5.9 โดยแต่ละจุดได้แก่

A1 คือ จุดที่คาดว่าจะเกิดค่า Von Mises Stress สูง บนแขน

A2 คือ จุดที่คาดว่าจะเกิดค่า Displacement (d_y) สูง บนแขน

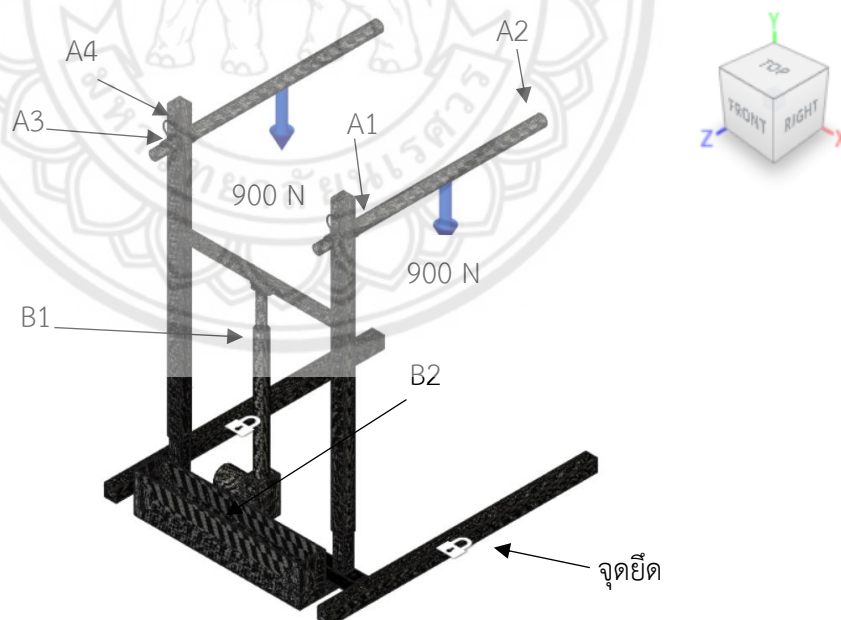
A3 คือ จุดที่คาดว่าจะเกิดค่า Von Mises Stress สูง บนสลักยึดแขน

A4 คือ จุดที่คาดว่าจะเกิดค่า Displacement (d_z) สูง บนเสารูปตัว H

B1 คือ จุดที่คาดว่าจะเกิดค่า Von Mises Stress สูง บนสลักยึดมอเตอร์แกนชักด้านบน

B2 คือ จุดที่คาดว่าจะเกิดค่า Von Mises Stress สูง บนสลักยึดมอเตอร์แกนชักด้านล่าง

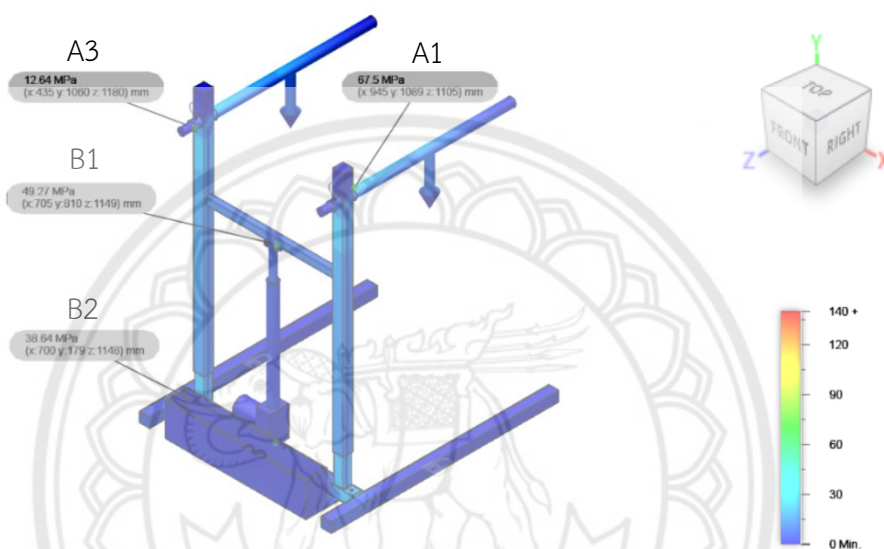
บันทึกผลการวิเคราะห์ลงในตารางที่ 5.2 และ 5.3



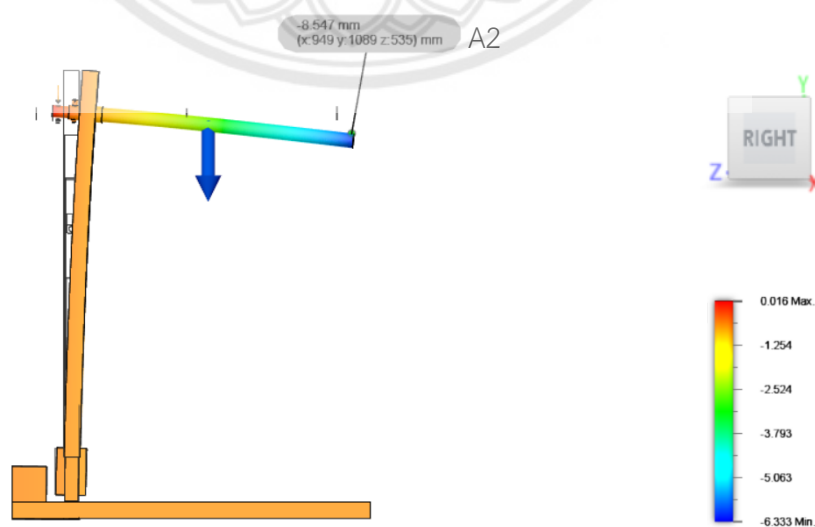
รูปที่ 5.9 โมเดลของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3 ที่ตั้งค่าในฟังก์ชัน Simulation ในการวิเคราะห์

5.3.2.1. ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3

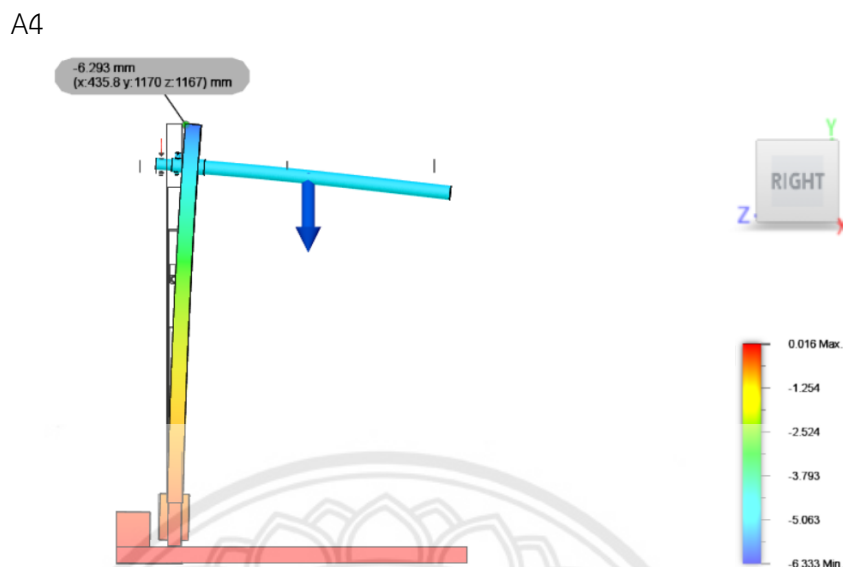
จากการออกแบบและทำการวิเคราะห์โครงสร้างของ Limo PTS รุ่น 3 ด้วยฟังก์ชัน Simulation ในโปรแกรม Fusion 360 พบว่าในทุกกรณีเกิด Von Mises Stress ที่จุด A1 A3 B1 และ B2 d_y ที่จุด A2 และ d_z สูงสุด ที่จุด A4 ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5.9 และ 5.10



รูปที่ 5.10 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Von Mises Stress ที่จุด A1 A3 B1 และ B2



รูปที่ 5.11 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Displacement (d_y) ที่จุด A2 ตามแนวแกนตั้ง

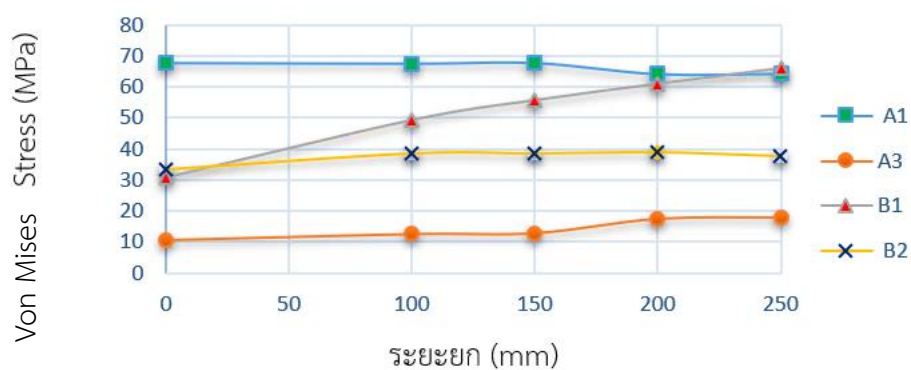


รูปที่ 5.12 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Displacement (d_z) ที่จุด A4 ตามแนวแกนนอน

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง ในการยกทั้ง 5 ระยะยก จากตารางที่ 5.2 พบว่า Von Mises Stress ที่จุด A1 มีค่าใกล้เคียงกันมากโดยได้ค่าอยู่ในช่วง 64.35–67.68 MPa ส่วนจุดสนใจ A3 B1 และ B2 ค่า Von Mises Stress เพิ่มขึ้นเมื่อโครงสร้างยกในระยะที่สูงขึ้น ตามแนวโน้มที่เกิดขึ้นบนกราฟ ดังรูปที่ 5.13

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ค่า Von Mises Stress ของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 3

ลำดับ	ระยะยก (mm)	Von Mises Stress บนแขน (MPa)	Von Mises Stress บนสกรู (MPa)		Von Mises Stress บริเวณสลัก (MPa)
		จุด A1	จุด B1	จุด B2	จุด A3
1	0	67.68	30.71	33.19	10.71
2	100	67.5	49.27	38.64	12.64
3	150	67.67	55.718	38.66	12.95
4	200	64.25	61.01	39.01	17.54
5	250	64.35	66.05	37.52	17.99

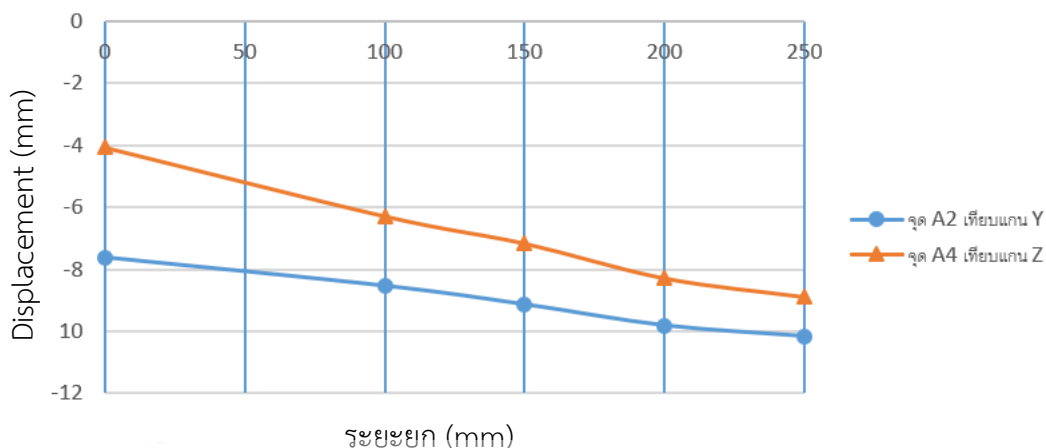


รูปที่ 5.13 Von Mises Stress ที่จุด A1 A3 B1 และ B2

การวิเคราะห์ระยะการโก่งตัวของโครงสร้างในการยกทั้ง 5 ระยะยก พบว่า Displacement (d_z) ที่จุด A2 และ (d_z) ที่จุด A4 เพิ่มขึ้นเมื่อโครงสร้างยกในระยะที่สูงขึ้น ตามแนวโน้มที่เกิดขึ้นบนกราฟ ดังรูปที่ 5.14

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ค่า Displacement (d_y) เทียบแกน Y บนแขน ที่จุด A2 และ (d_z) เทียบแกน Z บนเสารูปตัว H ที่จุด A4

ลำดับ	ระยะยก (mm)	Displacement (mm)	
		จุด A2 บนแขน เทียบแกน Y	จุด A4 บนเสารับน้ำหนัก เทียบแกน Z
1	0	-7.63	-4.075
2	100	-8.547	-6.293
3	150	-9.145	-7.173
4	200	-9.823	-8.295
5	250	-10.17	-8.898



รูปที่ 5.14 Displacement d_y และ d_z ที่จุด A2 A3 ตามลำดับ

ส่วนการวิเคราะห์ Safety Factor ของโครงสร้างในการยกทั้ง 5 ระยะยกได้ค่า Safety Factor ในแต่ละจุดใกล้เคียงกันมากโดยที่จุด A1 มีค่าอยู่ระหว่าง 3.176-3.342 จุด B1 มีค่าอยู่ระหว่าง 3.069-4.956 จุด B2 มีค่าอยู่ระหว่าง 6.914-8.836 และจุด A3 มีค่าอยู่ระหว่าง 12.19-15 ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ค่า Safety Factor ที่ตำแหน่งเดียวกับ Von Mises Stress ที่จุดสนใจในตารางที่ 5.2

ลำดับ	ระยะยก (mm)	Safety Factor บน แขนที่ จุด A1	Safety Factor บนสกรู		Safety Factor บริเวณสลัก A3
			จุด B1	จุด B2	
1	0	3.176	3.95	7.886	13.26
2	100	3.185	4.765	7.083	15
3	150	3.276	4.956	7.05	15
4	200	3.347	3.31	6.914	12.19
5	250	3.342	3.069	8.836	12.65

5.3.3 สรุปผลการออกแบบโครงสร้าง

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างของ Limo PTS รุ่น 3 ที่ระยะ 5 ระยะยก พบว่า ค่า Von Mises Stress ที่จุด A1 มีค่าใกล้เคียงกันมากอยู่ในช่วง 64.35 – 67.68 MPa ส่วนที่จุด A3 B1 และ B2 ค่า Von Mises Stress เพิ่มขึ้นเมื่อโครงสร้างยกในระยะที่สูงขึ้น อีกทั้งยังมีการเกิด Von Mises

Stress ขึ้นบริเวณเสารูปตัว H ส่วนล่าง และทำให้เกิด Displacement ทั้งบริเวณปลายเสาและแขน สูงขึ้นไปด้วย อย่างไรก็ตามค่า Safety Factor ในการใช้งาน Limo PTS รุ่น 3 ทั้ง 5 ระยะยก มีค่าไม่ต่ำกว่า 3 แสดงว่าโครงสร้างมีความแข็งแรงและปลอดภัยในการใช้งาน อีกทั้งโครงสร้างสามารถรับภาระได้โดยไม่จำกัดครั้ง เนื่องจากค่า Von Mises Stress ที่คำนวณได้ในแต่ละจุด มีค่าไม่เกินขีดจำกัดความล้า (Endurance Limit) ของวัสดุ Stainless Steel AISI 304 [26]



บทที่ 6

สรุปผลการดำเนินงาน

6.1 สรุปผล

การออกแบบและวิเคราะห์ระบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย รุ่น 3 ได้พัฒนาต่อยอดมาจากระบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย Limo PTS รุ่น 2 โดยวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และนำแบบโมเดล 3 มิติ ของ Limo PTS รุ่น 3 ที่ออกแบบได้นำไปวิเคราะห์ความแข็งแรง โดยสรุปการดำเนินงานแต่ละส่วนได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 โดยการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงการทดลองใช้งานโปรแกรม Fusion 360 เบื้องต้น ให้มีความรู้การใช้งานฟังก์ชันต่าง ๆ และนำแบบจำลอง 3 มิติของ Limo PTS รุ่น 2 มาทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Fusion 360 อีกทั้งตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของการวิเคราะห์ด้วยการเปรียบเทียบค่า Von Mises Stress ของจุดวิกฤติที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี โดยพบว่า Von Mises Stress ไม่เกินค่าความแข็งแรงที่จุดครากของ Stainless Steel AISI 304 แสดงให้เห็นว่าวัสดุและขนาดของโครงสร้างที่ได้ถูกออกแบบไว้นั้นมีความเหมาะสมในการใช้งานจึงไม่จำเป็นต้องลดขนาดหรือเปลี่ยนวัสดุ และยังพบว่าแบบจำลองที่ 1 (Element Order แบบ Parabolic) ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และ Contact แบบ Automatic Contact สามารถนำวิธีการจำลองนี้ไปใช้เป็นฟังก์ชันในการวิเคราะห์ความแข็งแรง Limo PTS รุ่น 3 ต่อไป

2. การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของ Limo PTS รุ่น 3 ได้นำผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง Limo PTS รุ่น 2 มาใช้ในการออกแบบแขนและโครงสร้างของ Limo PTS รุ่น 3 ที่ได้มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการยกผู้ป่วย เพื่อช่วยลดภาระของผู้ดูแลจากระบบมือหมุนชุดเฟืองทดเป็นระบบไฟฟ้า โดย Limo PTS รุ่น 3 มีระบบผ่อนแรง คือ มอเตอร์แกนชัก แต่ยังคงใช้บอร์ดรอนนั่ง และใช้ขนาดใกล้เคียงกับ Limo PTS รุ่น 2 โดยการออกแบบแขนยกน้ำหนักใหม่ เป็นแขนกลวงผสมตัน ให้มีความเหมาะสมโดยมีความยาวช่วงต้น 350 mm และยังออกแบบโครงสร้างให้ สามารถพับได้ เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน พัฒนาชุดระบบกลไกเพื่อยกผู้ป่วยจากระบบเฟืองทดมาเป็นระบบผ่อนแรงเป็นมอเตอร์แกนชักขนาด 6000 N โดยมีแบตเตอรี่ขนาด 12V 5Ah จำนวน 2 ก้อนเป็นแหล่งพลังงานให้กับมอเตอร์แกนชัก รวมถึงยังคงมีฟังก์ชันเดิม คือสามารถเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากเตียงไปสู่เก้าอี้เข็น พาผู้ป่วยขึ้นนั่งในรถยนต์และยังสามารถพับเก็บในรถยนต์ประเภท Supermini ได้อีกด้วย โดยแบบโมเดล 3 มิติของ Limo PTS รุ่น 3 พบว่ามีน้ำหนักเบากว่า Limo PTS รุ่น 2 อีกทั้งยังมีค่าความปลอดภัยที่น่าเชื่อถือ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของ Limo PTS รุ่น 2 คือข้อมูลจากการวิเคราะห์ที่สามารถนำไปออกแบบเป็น Limo PTS รุ่น 3 ได้ และผลลัพธ์ที่ได้การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของ Limo PTS รุ่น 3 คือตัวต้นแบบ 3 มิติที่สามารถนำไปพัฒนาเป็นแบบสั่งงาน (Working Drawing) เพื่อใช้ในการผลิตชิ้นงานจริงต่อไป

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการนำแบบ 3 มิติไปเขียนเป็นแบบสั่งงาน (Working Drawing) เพื่อนำไปผลิตชิ้นงานจริงต่อไป
2. ควรมีการติดตั้งที่ล้อคสายรับน้ำหนักและบอร์ตรองนั่ง ให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน
3. อาจมีการปรับปรุงชิ้นส่วนแกนเสาโครงสร้างส่วนล่างของคานรูปตัว H ให้เป็นลักษณะท่อทรงกลม และสามารถใส่ตั้ลบลูกปืนหรือลูกกลิ้งเพื่อลดแรงเสียดทานได้



เอกสารอ้างอิง

- [1]. สำนักข่าว Hfocus. เจาะลึกระบบสุขภาพ แนวโน้มของผู้สูงอายุ [อินเทอร์เน็ต]. 2557, [สืบค้นเมื่อวันที่ 14 พ.ย. 2562]; จาก: <https://www.hfocus.org/content/2014/03/6726>
- [2]. สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการศึกษา. รายงานการสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย [อินเทอร์เน็ต]. 2557, [สืบค้นเมื่อวันที่ 14 พ.ย. 2562]; จาก: <http://service.nso.go.th>
- [3]. คมแฝก อุปธิม, ดำรงค์ พงษ์พิทักษ์, นพดล นิพัทธ์สกุล. แก้อั้สำหรับใช้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย [Patient Transfer Chair] [วิทยานิพนธ์]. [พิษณุโลก] มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2560.
- [4]. กฤษฎา สิงห์เวิน, ชนนวิวัฒน์ วัฒนวิเชียร, วัชรกร กาญจนเวณ. ระบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย [Patient Transfer System] [วิทยานิพนธ์]. [พิษณุโลก] มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2561.
- [5]. กรมทรัพย์สินทางปัญญา. กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ [อินเทอร์เน็ต]. 2557, [สืบค้นเมื่อวันที่ 1 พ.ย. 2562]; จาก: <http://www.ipthailand.go.th/th/copyright-010/item>
- [6]. Actuator. สำนัก เชียงไฮ้ ตัวกระตุ้นเชิงเส้นไฟฟ้าคืออะไร [อินเทอร์เน็ต]. 2556, [สืบค้นเมื่อวันที่ 27 มี.ค. 2563]; จาก: <http://th.asia-actuator.com/news/what-is-electric-linear-actuator29445981>
- [7]. ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ก้าวแรกสู่วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์. ใน: ยุพา เดชะอำไพ. ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2542. น. 01-27.
- [8]. I am a little boy. Blogspot: การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ [อินเทอร์เน็ต]. 2554, [สืบค้นเมื่อวันที่ 14 พ.ย. 2562]; จาก: <http://note005.blogspot.com/2011/09/element-type.html>
- [9]. Trivedi S. Finite element analysis: A boon to dentistry. J Oral Biol Craniofac Res 2014; 3(4): 200-203.
- [10]. เสน่ห์ กลิ่นบุญนาค, ปพน สมประสงค์, สัญญา คำจริง. การศึกษาอิทธิพลในการตัดเนื้อเยื่อลดครีบโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ; 2555.

- [11]. ณัฐ ดวงรัตน์ประทีป. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการประยุกต์ใช้ในทาง ทันตกรรมรากเทียม. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2555.
- [12]. Murakami N, Wakabayashi N. Finite element contact analysis as a critical technique in dental biomechanics: a review. *J Prosthodont Res* 2014; 58(2): 92-101.
- [13]. Moeen F, Nisar S, Dar N. A step by step guide to Finite Element Analysis in dental implantology. *Pak Oral Dent J* 2014; 34(1): 164-169.
- [14]. Geng J, Yan W, Xu W. Application of the finite element method in implant dentistry. Springer Science & Business Media; 2008: 82-90.
- [15]. Rao SS. The finite element method in engineering. 5th ed. Elsevier; 2010: 53-60.
- [16]. Olmsted M, Wall C, Vinyard C, Hylander W. Human bite force: the relation between EMG activity and bite force at a standardized gape. *Am J Phys Anthropol* 2005: 160-161.
- [17]. Rangert B, Jemt T. Forces and moments on Brånemark implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1989; 4(3): 241-247.
- [18]. Mericske-stern R, Piotti M, Sirtes G. 3-D in vivo force measurements on mandibular implants supporting overdentures. A comparative study. *Clin Oral Implants Res* 1996; 7(4): 387-396.
- [19]. บริษัท ซินเนอร์จีซอฟต์แวร์ โซลูชั่น จำกัด. Autodesk Fusion 360 [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พ.ค. 2563]; จาก: <https://home.kku.ac.th/phlib/doc/LibSkills/RefKKUstyle.pdf>
- [20]. PennEngineering . The Self-clinching faster handbook [อินเทอร์เน็ต]. 2560, [สืบค้นเมื่อวันที่ 25 พ.ค. 2563]; หน้า 7. จาก: <https://www.pemnet.com /.pdf/Handbook.pdf>
- [21]. Nord-Lock Group. Nord-lock wedge-locking washers - junker vibration test [อินเทอร์เน็ต]. 2558, [สืบค้นเมื่อวันที่ 25 พ.ค. 2563]; จาก: https://www.youtube.com/watch?v=IKwWu2w1gGk&feature=emb_title

- [22]. IKEA Coporation. SY Scissors [อินเทอร์เน็ต]. 2558, [สืบค้นเมื่อวันที่ 25 พ.ค. 2563]; จาก: <https://www.ikea.com/th/en/p/sy-scissors-00185107/>
- [23]. Judas17. MThai Magazine. ดอกยาง แบบไหนที่เหมาะกับรถของคุณ[อินเทอร์เน็ต]. 2560, [สืบค้นเมื่อวันที่ 25 พ.ค. 2563]; จาก: <https://auto.mthai.com/news/tips/36144.html>
- [24]. รัตนา การุณบุญญานันท์. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา กลศาสตร์ของแข็ง 1 (Mechanics of Solids I). พิษณุโลก; คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2555.
- [25]. CheggStudy. General case of plane stress [อินเทอร์เน็ต]. 2546, [สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พ.ค. 2563]; จาก: <https://www.chegg.com/homework-help/definitions/general-case-off-plane-stress-5>

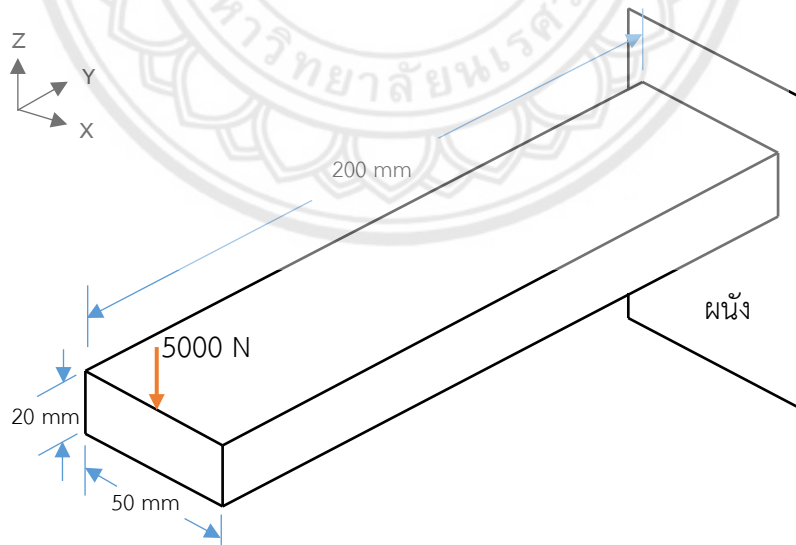




ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การทดลองใช้โปรแกรม Fusion 360 ในการวิเคราะห์
ไฟไนต์เอลิเมนต์ของโครงสร้างคาน

การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองใช้โปรแกรม Fusion 360 ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างคานด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) คณะผู้วิจัยกำหนดโจทย์เป็นคานยื่นอย่างง่าย วัสดุเป็นเหล็ก (Steel) มีหน้าตัดขนาด 50 x 20 mm กำหนดให้คานมีความยาว 200 mm รับแรงกดขนาด 5000 N กระทำในแนวตั้งที่ตำแหน่งปลายคานยื่น ดังรูปที่ ก.1 โดยคำนวณทางทฤษฎีหาค่าความเค้น ระยะโก่งตัว และค่าความปลอดภัยเทียบกับความแข็งแรงที่จุดคราก และทำการเขียนแบบคานยื่นด้วยโปรแกรม Fusion 360 โดยใช้โจทย์เดียวกับการคำนวณทางทฤษฎีด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ วิเคราะห์หาค่าความเค้น ระยะโก่งตัว และค่าความปลอดภัยเทียบกับความแข็งแรงที่จุดคราก เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คำนวณได้จากทฤษฎี



รูปที่ ก.1 คานยื่น

ก.1.1 ทฤษฎี

การคำนวณหาค่าความเค้นดัด โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดคาน ระยะโก่งตัวตัวของคาน และค่าความปลอดภัยเทียบกับความแข็งแรงที่จุดครากของคานที่รับภาระ มีสมการดังต่อไปนี้ (1) (2) (3) และ (4) ตามลำดับ

ก.1.1.1 ความเค้นดัดในคาน

โดย
$$\sigma = -\frac{My}{I} \quad (1)$$

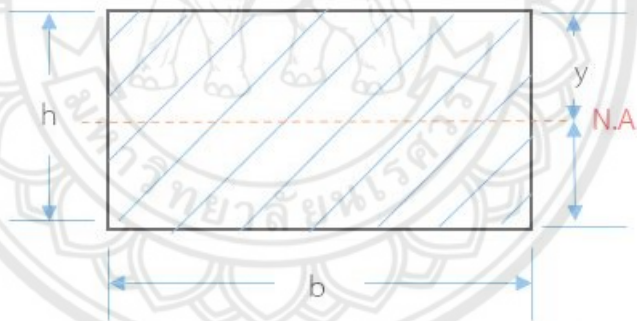
เมื่อ

σ คือ ความเค้นดัด (MPa)

M คือ โมเมนต์ดัดในคาน (N*m)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดคาน (m^4)

y คือ ระยะจากแนวแกนสะเทิน (Neutral Axis: N.A.) ของหน้าตัดนั้น ไปยังขอบบนสุดและล่างสุดของหน้าตัดของคานนั้น (m) แสดงดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 ระยะจากแนวแกนสะเทินของหน้าตัดนั้น ไปยังขอบบนสุดและล่างสุดของหน้าตัดของคานนั้น (y)

ก.1.1.2 คำนวณหาโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดคาน

โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดคาน โดยคานจากโจทย์เป็นคานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแสดงดังรูปที่ 2

โดย
$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (2)$$

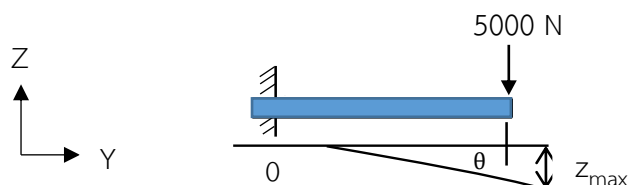
เมื่อ

b คือ ความกว้างของพื้นที่หน้าตัดคาน (m)

h คือ ความสูงของพื้นที่หน้าตัดคาน (m)

ก.1.1.3 การโก่งตัวของคาน

สมการในการคำนวณค่าระยะโก่งตัวของคาน (z_{\max}) ของคานยื่นรับแรงกระทำที่ปลายคานดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 ชนิดการโก่งตัวของคาน

โดย
$$z_{\max} = \frac{PL^3}{3EI} \quad (3)$$

เมื่อ

z_{\max} คือ ระยะโก่งตัวของคาน (m)

P คือ แรงกระทำ (N)

L คือ ความยาวคาน (m)

E คือ ค่ามอดูลัสของยัง (Pa)

ก.1.1.4 สมการองค์ประกอบความปลอดภัย (Safety Factor: F.S.)

โดย
$$F.S. = \frac{S_y}{\sigma} \quad (4)$$

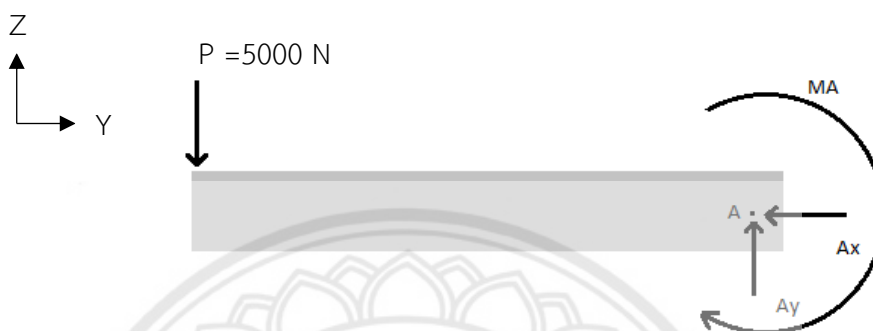
เมื่อ

F.S. คือ ค่าความปลอดภัยเทียบกับความแข็งแรงที่จุดคราก

S_y คือ ค่าความแข็งแรงของวัสดุที่จุดคราก (MPa)

ก.1.2 วิเคราะห์สมดุลของคานยื่น

จากการวิเคราะห์สมดุลแรงของคานยื่นพิจารณา Free Body Diagram ดังรูปที่ ก.4 เมื่อคานยื่นรับภาระตำแหน่งที่ปลายคานโดยที่ปลายคานอีกด้านหนึ่งยึดไว้ สามารถคำนวณหาโมเมนต์ตัด เพื่อใช้ในการหาค่าความเค้นทางทฤษฎี ได้ดังนี้



รูปที่ ก.4 Free Body Diagram

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0 & : 5000 \times 0.2 - M_A = 0 \\ M_A & = 1000 \text{ N}\cdot\text{m (CCW)} \end{aligned}$$

จะได้ค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้ตามทฤษฎีเท่ากับ $1000 \text{ N}\cdot\text{m}$ ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

การคำนวณหาโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดคาน จากสมการที่ (2) และอ้างอิงหน้าตัดของคานดังรูปที่ 3.2 คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} I &= \frac{bh^3}{12} \\ &= \frac{(0.05)(0.02)^3}{12} \\ I &= 3.33 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

จะได้ว่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดคานมีค่าเท่ากับ $3.33 \times 10^{-8} \text{ m}^4$

คำนวณค่าความเค้นทางทฤษฎีจากสมการที่ (1) จากการคำนวณหาโมเมนต์ได้เท่ากับ $1000 \text{ N}\cdot\text{m}$ เมื่อโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดคานเท่ากับ $3.33 \times 10^{-8} \text{ m}^4$ และค่าระยะจากแนวแกนสะเทินของหน้าตัดนั้น ไปยังขอบบนสุดของหน้าตัดของคานนั้น คือ 0.01 m

$$\sigma_{yy} = - \frac{My}{I}$$

$$\sigma_{yy} = - \frac{+1000 \times 0.01}{3.33 \times 10^{-8}}$$

$$\sigma_{yy} = - 300.30 \text{ MPa}$$

จะได้ค่าความเค้นที่คำนวณได้ตามทฤษฎีเท่ากับ 300.30 MPa (C) ในทิศทางตามแนวแกน y

คำนวณค่าระยะโก่งตัวของคาน จากสมการที่ (2) จากแรงที่กำหนดในโจทย์ 5000 N โดยคานมีความยาว 0.2 m ค่ามอดูลัสของยังของเหล็ก คือ 210×10^9 Pa [20] และค่าระยะกึ่งกลางของพื้นที่หน้าตัดไปยังผิวของคาน คือ 0.01 m

$$z_{\max} = - \frac{PL^3}{3EI}$$

$$z_{\max} = - \frac{5000 \times 0.2^3}{3 \times (210 \times 10^9) \times (3.33 \times 10^{-8})}$$

$$z_{\max} = - 1.9066 \times 10^{-3} \text{ m}$$

จะได้ระยะโก่งตัว ของคานที่คำนวณได้ตามทฤษฎีเท่ากับ 1.9066 mm ในทิศทางตามแนวแกน -z

คำนวณค่าความปลอดภัยเทียบกับความแข็งแรงที่จุดครากตามทฤษฎีจากสมการที่ (3) โดยทำการเปิดค่าความเค้นครากจากรางวัสดุได้ค่าเท่ากับ 207 MPa [20] และค่าความเค้นที่คำนวณจากทฤษฎีเท่ากับ 300.30 MPa

$$F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma}$$

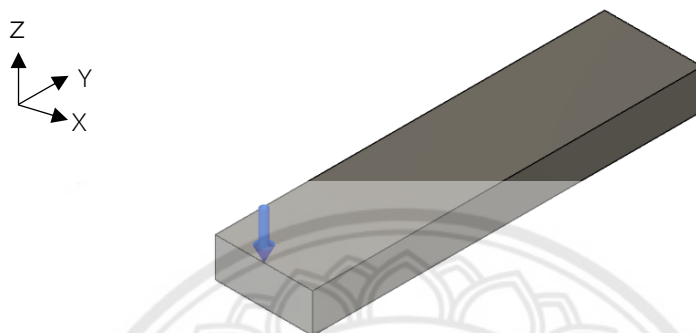
$$F.S = \frac{207}{300.30}$$

$$F.S = 0.689$$

จะได้ค่าความปลอดภัยเทียบกับความแข็งแรงที่จุดครากที่คำนวณได้ตามทฤษฎีเท่ากับ 0.689

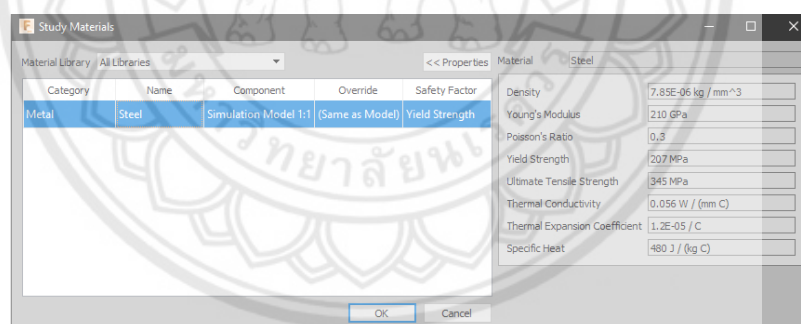
ก.1.3 การใช้โปรแกรม Fusion 360 วิเคราะห์โครงสร้างคานยื่น

1. ทำการเขียนแบบคานยื่นโดยมีหน้าตัดขนาด 50×20 mm ความยาว 200 mm และใช้คำสั่ง Simulation เลือก Static Stress กำหนดคานรับแรงกดขนาด 5000 N กระทำในแนวตั้งที่ตำแหน่งปลายคานยื่น ดังรูปที่ ก.5



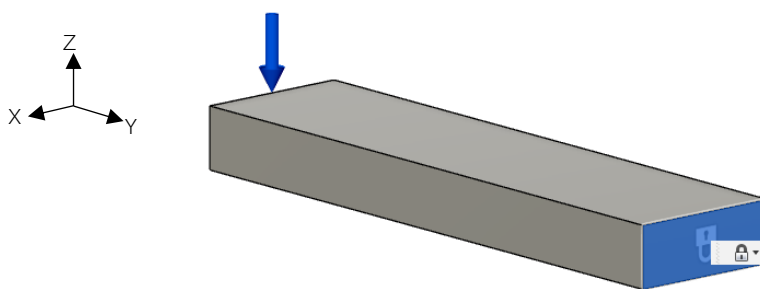
รูปที่ ก.5 คานที่ใช้ในการวิเคราะห์

ใช้คำสั่ง Study Materials เลือกวัสดุของคานคานเป็นเหล็ก (Steel) ซึ่งมีค่าสมบัติดังรูปที่ ก.6



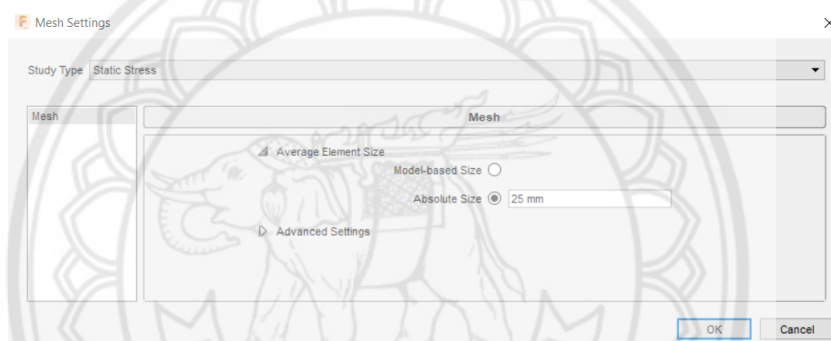
รูปที่ ก.6 สมบัติของวัสดุ

2. เลือกจุดยึดด้วยคำสั่ง Structural Constraints ในแนวแกน x y และ z เพื่อจำลองว่าคานติดกับผนังไม่สามารถขยับได้ดังรูปที่ ก.7

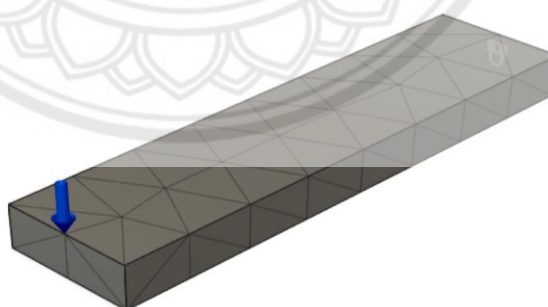


รูปที่ ก.7 เลือุกจุดยึด

3. ทำการกำหนดขนาดของขนาดเอลิเมนต์โดยใช้คำสั่ง Mesh Settings โดยกำหนดขนาดเอลิเมนต์ ที่ 25 mm ดังรูปที่ ก.8 และ ก.9

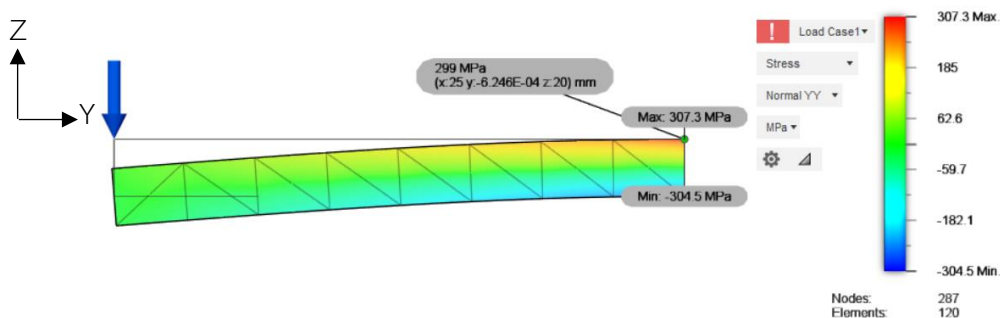


รูปที่ ก.8 การตั้งค่าขนาดเอลิเมนต์

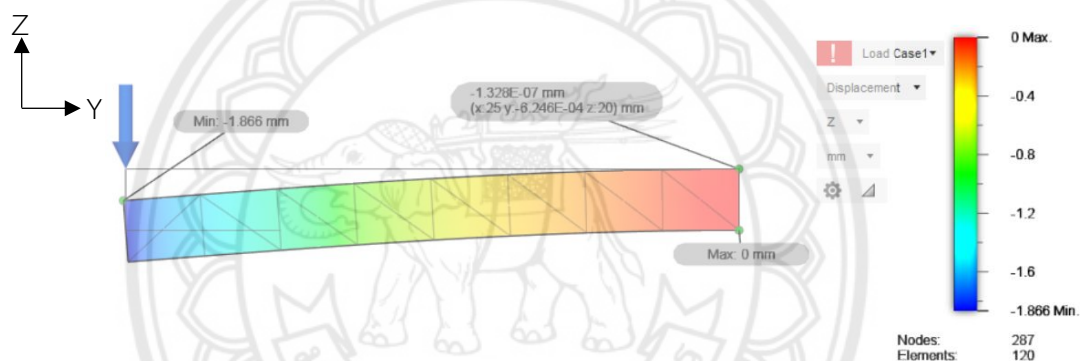


รูปที่ ก.9 คานเมื่อกำหนดขนาดเอลิเมนต์ที่ 25 mm

4. ทำการคำนวณค่าความเค้น ระยะโก่งตัว และ F.S. โดยใช้โปรแกรม Fusion 360 ได้โดยทำการกด Solve จากโหมด Simulation โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ชิ้นงานและทำการแสดงแนวโน้มการโก่งตัวของคานแล้วจะได้ค่าความเค้น ระยะโก่งตัว และ F.S. ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Fusion 360 แสดงได้ดังรูปที่ ก.10 และ ก.11 ตามลำดับ



รูปที่ ก.10 ค่าความเค้น ณ ตำแหน่ง (x:25 y:-6.246×10⁻⁰⁴ z:20) mm Normal YY ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Fusion 360 มีค่าเท่ากับ 299 MPa



รูปที่ ก.11 การโก่งตัวเทียบแกน -z ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Fusion 360 มีค่าเท่ากับ 1.866 mm

จากสมการที่ (4) นำมาคำนวณ F.S. ณ ตำแหน่ง (x:25 y:-6.246×10⁻⁰⁴ z:20) mm มีค่าเท่ากับ 0.6920 เลือก Element Size ขนาด 25 mm เพื่อนำไปคำนวณค่าความเค้นดัด ระยะโก่งตัว และ F.S. ด้วยโปรแกรม Fusion 360 และหาค่าที่ใกล้เคียงกับค่าการคำนวณทางทฤษฎีมากที่สุด โดยโปรแกรมคำนวณค่าความเค้นดัดได้ เท่ากับ 299.0 MPa ระยะโก่งตัวเท่ากับ 1.866 mm ดังรูปที่ 10 11 ตามลำดับ และค่า F.S. เท่ากับ 0.6920 นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณทางทฤษฎีตั้งหัวข้อที่ 1 ข้างต้น และผลที่คำนวณได้คือ ความเค้นดัด ระยะโก่งตัว และ F.S. มีความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี คือ 0.43%, 2.13% และ 0.43% ตามลำดับ

ภาคผนวก ข

การเลือกขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับ Limo PTS รุ่น 3

ขั้นตอนการเลือกขนาดแบตเตอรี่ที่ใช้ใน Limo PTS รุ่น 3

ขั้นตอนที่ 1 การประมาณระยะเวลาการใช้งานของเครื่อง Limo PTS รุ่น 3 ของผู้ป่วย

ภายใน 1 วันการใช้งานของเครื่อง Limo PTS รุ่น 3 ได้ประมาณโดยคร่าว อ้างอิงจากกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุ โดยผู้สูงอายุส่วนมากขยับร่างกายได้เพียงเล็กน้อย ต้องมีผู้ดูแลคอยช่วยเหลือ และต้องการเข้าห้องน้ำ ประมาณ 3-4 ครั้งต่อวัน และใช้เครื่อง Limo PTS รุ่น 3 เพื่อย้ายไปยังรถเข็นเพื่อเดินทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ ประมาณ 3-4 ครั้งต่อวัน นอกจากนี้อาจยังใช้เครื่อง Limo PTS รุ่น 3 ใช้งานอื่น ๆ อีกด้วย

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณเวลาในการใช้งานของมอเตอร์แกนชักของเครื่อง Limo PTS รุ่น 3

ในการหาระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่นั้น จำเป็นต้องหาระยะการใช้งานของมอเตอร์แกนชักเสียก่อน ซึ่งใช้มอเตอร์แกนชัก 6000 N ขนาด 12v12a (144 watt) มีความเร็วในการเคลื่อนที่แบบไม่มีภาระ 6.5 mm/s (แบบมีภาระ 5 mm/s) และมีระยะชัก 350 mm (ในกรณีใช้งานจริงเพียง 15 mm) และการคำนวณระยะชักของมอเตอร์แกนชักต่อการเคลื่อนที่ ขึ้น-ลง 1 ครั้ง ดังสมการที่ (5)

$$\begin{aligned} \text{โดย } \text{ระยะเวลาที่มอเตอร์แกนชักเคลื่อนที่} &= \text{ระยะชัก/ความเร็ว} & (5) \\ &= 150/5 \\ &= 30 \text{ sec} \end{aligned}$$

จากขั้นตอนที่ 1 เครื่อง Limo PTS รุ่น 3 กดใช้งานประมาณ 1 ครั้ง ซึ่งเทียบเท่ากับระยะชักที่มอเตอร์แกนชักใช้ 4 ครั้ง (ขึ้น-ลง และ ไป-กลับ) ซึ่งใน 1 วันมีการใช้ 10 ครั้ง เท่ากับ 40 ระยะชัก/วัน

คำนวณเวลาการใช้งานของมอเตอร์แกนซึกใน 1 วันได้ ดังสมการที่ (6)

$$\begin{aligned}
 \text{โดย เวลาที่มอเตอร์แกนซึกใช้งานภายใน 1 วัน} &= \text{ระยะเวลาที่มอเตอร์เคลื่อนที่} * \text{(6)} \\
 \text{จำนวนครั้ง} & \\
 &= 30 * 40 \\
 &= 1200 \text{ sec} / 1 \text{ วัน} \\
 &= 0.033 \text{ Hr} / 1 \text{ วัน}
 \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 3 หาระยะเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่ของเครื่อง Limo PTS รุ่น 3
นำเวลาที่มอเตอร์แกนซึกใช้งานภายใน 1 วัน ไปคำนวณหาการเลือกขนาดแบตเตอรี่
ที่เหมาะสมของเครื่อง Limo PTS รุ่น 3 ได้ดังสมการที่ (7)

$$\begin{aligned}
 \text{โดย เวลาที่แบตเตอรี่ใช้งานใน 1 วัน} &= \text{พลังงานแบตเตอรี่} / \text{พลังงานมอเตอร์} \text{ (7)} \\
 \text{แกนซึก} & \\
 0.033 \text{ hr} &= \text{พลังงานแบตเตอรี่} / 144 \text{ watt} \\
 \text{พลังงานแบตเตอรี่} &= 4.8 \text{ watt} * \text{hr}
 \end{aligned}$$

นำพลังงานแบตเตอรี่ที่ใช้ใน 1 ชั่วโมงไปคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่ (Ahr) ที่เหมาะสมแก่การเลือกใช้
ในเครื่อง Limo PTS รุ่น 3 ได้ดังสมการที่ (8) เมื่อกำหนด Power Factor มีค่าเท่ากับ 1

$$\begin{aligned}
 \text{โดย} \quad \text{พลังงานแบตเตอรี่} &= \text{Ahr} * \text{volt} * \text{Power Factor} \text{ (8)} \\
 4.8 \text{ watt} * \text{hr} &= \text{Ahr} * 24 * 1 \\
 \text{Ahr} &= 0.2
 \end{aligned}$$

ข้อเสนอแนะ

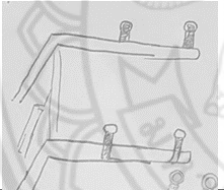

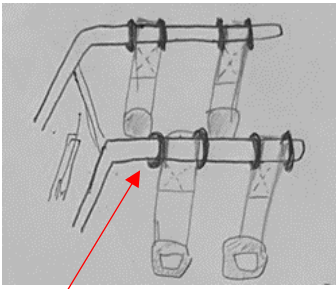
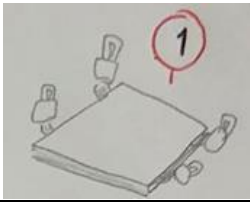
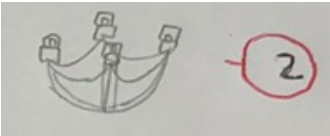
จากการคำนวณจะพบว่าเครื่อง Limo PTS รุ่น 3 ใช้แบตเตอรี่อย่างน้อยขนาด 24V 0.2Ah
จะใช้งานได้เพียง 1 วัน หากต้องการใช้งานมากกว่า 1 วันต่อการชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้ง ควรเลือกใช้
แบตเตอรี่ขนาด 24V 5Ahr จะสามารถใช้งานได้ 4-5 วันต่อการชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้ง

ภาคผนวก ค

การออกแบบสายลือครับน้ำหนัของ Limo PTS รุ่น 3

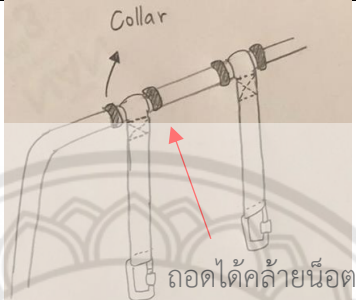

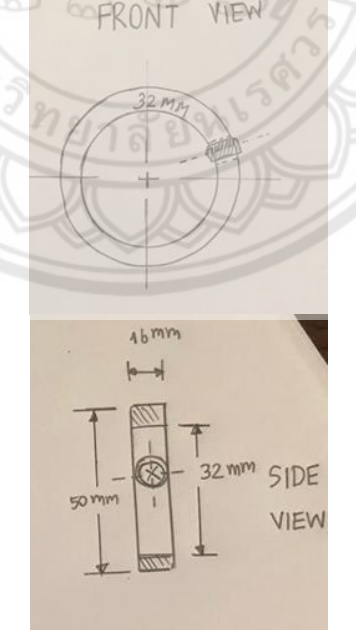
ในการออกแบบสายลือครับน้ำหนัที่ใช้ใน Limo PTS รุ่น 3 ทางคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสะดวกสบายในการใช้งาน และปัญหาในการถอดสายลือครับน้ำหนั จึงได้ทำการแบ่งรูปแบบการออกแบบไว้ 2 หัวข้อใหญ่ ๆ คือ สายลือครับน้ำหนัแบบถอดได้ และสายลือครับน้ำหนัแบบถาวร สรุปได้ดังตาราง ที่ 1

ตารางที่ ค.1 รูปแบบการออกแบบสายลือครับน้ำหนั

รูปแบบการออกแบบ	ส่วนโครงสร้าง	ส่วนสายลือครับน้ำหนั	ข้อดี	ข้อเสีย
สายลือครับน้ำหนัแบบถอดได้			- สะดวกต่อการใช้งาน - สะดวกต่อการเก็บรักษา	- โครงสร้างอาจไม่แข็งแรงเท่าแบบถาวร - มีเดี่ยยขึ้นขึ้นมาอาจเกิดอันตราย
สายลือครับน้ำหนัแบบถาวร	 เชื่อมติด	 	- แข็งแรงทนทาน สายไม่โคลงเคลง - ใช้งานง่ายไม่ต้องพกพาหลากหลายชิ้นส่วน	- ถอดทำความสะอาดไม่ได้ - ขนาดและโครงสร้างคล้าย Limo 2

จากตารางรูปแบบการออกแบบสายลือครับน้ำหนักจึงสรุปได้ว่า Limo PTS รุ่น 3 มีความต้องการสายลือครับน้ำหนักแบบถอดได้ และใช้เบาะรองนั่งคล้ายของ Limo PTS รุ่น 2 จึงสรุปได้ว่าการออกแบบ สายลือครับน้ำหนักใหม่ รูปแบบของอุปกรณ์ยึดสายลือครับน้ำหนักใหม่ และเบาะรองนั่งได้ ดังตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.2 การเลือกใช้สายลือครับน้ำหนัก ของ Limo PTS รุ่น 3

สายลือครับน้ำหนัก		สายรัดยกน้ำหนักแบบถอดได้ และลือคสายไว้กับแขน Limo 3 ด้วยอุปกรณ์ยึดสายลือครับน้ำหนัก Collar โดย Collar สามารถถอดออกจากแขนได้
เบาะรองนั่ง		เบาะรองนั่งมีลักษณะคล้ายของ Limo PTS รุ่น 2
อุปกรณ์ยึดสายลือครับน้ำหนัก		เลือกใช้เป็น Collar ขนาด 32 mm สามารถถอดได้