



การออกแบบและวิเคราะห์เตียงพับแบบปรับได้ เพื่อการจัดทำระบายนเสมหะในผู้ป่วย



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต
ปีการศึกษา 2567



**THE DESIGN AND ANALYSIS OF AN ADJUSTABLE AND FOLDABLE
BED FOR POSTURAL DRAINAGE IN PATIENTS**

BY

TEERATAS PORNYUNGYUEN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN BIOMEDICAL ENGINEERING
COLLEGE OF BIOMEDICAL ENGINEERING**

GRADUATE SCHOOL, RANGSIT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2024

วิทยานิพนธ์เรื่อง

การออกแบบและวิเคราะห์เตียงพับแบบปรับได้ เพื่อการจัดทำระบายนเสมหะในผู้ป่วย

โดย

ธีรทัศน์ พรยงยืน

ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2567

ดร.พิชญ์สินี สุวรรณแพทย์
ประธานกรรมการสอบ

รศ.นันทชัย ทองแป้น
กรรมการ

ศ.ดร.สื่อนิจต์ เพ็ชรประสาน
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร.เบญจรัตน์ แสงทอง
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ผศ.ดร.จตุรรัตน์ ปริญญาคุปต์
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ศ.ดร.สื่อนิจต์ เพ็ชรประสาน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

29 พฤศจิกายน 2567

Thesis entitled

**THE DESIGN AND ANALYSIS OF AN ADJUSTABLE AND FOLDABLE
BED FOR POSTURAL DRAINAGE IN PATIENTS**

by

TEERATAS PORNYUNGYUEN

was submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Master of Engineering in Biomedical Engineering

Rangsit University

Academic Year 2024

Phitsini Suvarnaphaet, Ph.D.
Examination Committee Chairperson

Assoc.Prof. Nuntachai Thongpance
Member

Prof. Suejit Pechprasarn, Ph.D.
Member and Co-Advisor

Benjarat Sangthong, Ph.D.
Member and Co-Advisor

Asst. Prof. Jaroonrut Prinyakupt, Ph.D.
Member and Advisor

Approved by Graduate School

(Prof. Suejit Pechprasarn, Ph.D.)

Dean of Graduate School

November 29, 2024

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศและวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ให้การอนุเคราะห์ทรัพยากรต่าง ๆ พร้อมทั้งขอขอบพระคุณคณาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ศศ.ดร.จรูญรัตน์ ปริญาคุปต์ ศ.ดร.สือจิตต์ เพ็ชรประสาน ดร.เบญจรัตน์ แสงทอง คณาจารย์ภายนอก ดร.พิชญ์สินี สุวรรณแพทย์ ดร.ลัญญณ์ฐ ภาตะนันท์ และดร.ทศพลพร พรพิบูลสมภพ ที่ช่วยเมตตาให้คำปรึกษาแนะนำตลอดการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้

ธีรทัศน์ พรยงยืน
ผู้วิจัย



6405544 : ชีรทัศน์ พรยังยืน
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การออกแบบและวิเคราะห์เตียงพับแบบปรับได้ เพื่อการจัดท่าระบาย
 เสมหะในผู้ป่วย
 หลักสูตร : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
 อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.จรรยารัตน์ ปริญญาคุปต์
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ศ. ดร.สือจิตต์ เพ็ชรประสาน
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ดร.เบญจรัตน์ แสงทอง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของเตียงพับแบบปรับได้ เพื่อการจัดท่าระบายเสมหะในผู้ป่วยที่มีปัญหาเสมหะคั่งค้างในปอดและระบบทางเดินหายใจ โดยใช้การยศาสตร์สัดส่วนร่างกายมนุษย์และหลักการวิศวกรรมในการออกแบบโครงสร้างเตียงเป็นแบบจำลองสามมิติในรูปแบบทำต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม SolidWorks และวิเคราะห์ความแข็งแรงของเตียงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ เตียงที่ออกแบบมีกลไกภายในที่สามารถยกเอียงโครงเตียงเป็นมุมเพื่อจัดท่าผู้ป่วยให้เหมาะสมตามหลักการจัดท่าระบายเสมหะ โครงสร้างเตียงใช้ท่ออลูมิเนียมหนา 1.50 มม. ขนาดไม่เกินเตียงมาตรฐานสามฟุต ออกแบบให้สามารถยกวางซ้อนบนเตียงผู้ป่วยและปรับเป็นทำต่าง ๆ ได้

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของเตียงที่ออกแบบแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเตียงขนาดต่าง ๆ 4 ขนาด ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มม. 25.40 มม. 31 มม. และ 38 มม. ในรูปแบบทำต่าง ๆ ได้แก่ ทำนอนราบ ทำยกหัวเตียง และทำยกท้ายเตียง โดยกำหนดเกณฑ์ค่าความปลอดภัยขั้นต่ำไม่น้อยกว่า 2.50 ตามมาตรฐาน BS EN 6061 ผลการวิเคราะห์พบว่าโครงสร้างเตียงขนาด 25.40 มม. มีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งานในทุกรูปแบบท่า โดยมีค่าความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 2.99 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงเลือกใช้โครงสร้างขนาด 25.40 มม. สำหรับการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่สองได้สร้างโครงเตียงเพิ่มอีก 4 รูปแบบ ได้แก่ ทำยกลำตัว ทำยกสะโพก ทำยกเข่าชัน และทำยกเข่าชันเท้าสูง และทำการวิเคราะห์ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าโครงสร้างเตียงในทุกรูปแบบท่าสามารถรับภาระได้โดยไม่เกิดความเสียหาย โดยมีค่าความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 2.56 ในรูปแบบทำยกลำตัว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเตียงพับปรับได้จากการออกแบบนี้สามารถใช้จัดท่าผู้ป่วยตามหลักการจัดท่าระบายเสมหะได้อย่างปลอดภัย และสามารถพับเก็บและขนย้ายได้สะดวก รวมทั้งมีความแข็งแรงเพียงพอในการรับน้ำหนักจากตัวผู้ป่วยได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 122 หน้า)

คำสำคัญ: เทคนิคการระบายเสมหะ การจัดท่าระบายเสมหะ ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

ลายมือชื่อนักศึกษาลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

6405544 : Teeratas Pornyungyuen
 Thesis Title : The Design and Analysis of an Adjustable and Foldable Bed for Postural Drainage in Patient
 Program : Master of Engineering in Biomedical Engineering
 Thesis Advisor : Asst. Prof. Jaroonrut Prinyakupt, Ph.D.
 Thesis Co-Advisor : Prof. Suejit Pechprasarn, Ph.D.
 Thesis Co-Advisor : Benjarat Sangthong, Ph.D.

Abstract

This research aimed to develop and evaluate the structural integrity of an adjustable folding bed specifically designed to facilitate postural drainage in patients with pulmonary and respiratory tract congestion. Applying ergonomic principles based on human body proportions alongside engineering design methodologies, the structure of the bed was modeled in multiple configurations using SolidWorks software. Structural strength was subsequently evaluated through finite element analysis to ensure reliability across various positions. The bed is equipped with internal mechanisms enabling tilting at different angles allowing patients to be positioned in alignment with postural drainage techniques. The structure is constructed from 1.50 mm thick aluminum tube and maintains dimensions comparable to a standard three-foot bed. It is designed to be placed on top of a patient's bed, allowing for adjustments into multiple therapeutic positions.

The strength analysis of the designed bed is conducted in two phases. In the first phase, the strength of the structure of the bed was evaluated in four different diameters: 19 mm, 25.40 mm, 31 mm, and 38 mm, across three positional configurations: flat, head elevated, and foot elevated. A minimum safety factor of 2.50, in accordance with BS EN 6061 standards, was established as a criterion for evaluation. The analysis indicated that the structure with a diameter of 25.40 mm met the strength requirements for all positional configurations, with a minimum safety factor of 2.99, exceeding the specified threshold. Consequently, the 25.40 mm structure was chosen for further evaluation in the second phase of the analysis. In the second phase, four additional positional configurations were evaluated: torso elevated, hip elevated, knees bent, and knees bent with feet elevated. The results demonstrated that the bed structure was capable of withstanding the applied loads across all positions without incurring damage, with the minimum safety factor recorded at 2.56 in the torso elevated position. In conclusion, the designed adjustable folding bed is deemed suitable for postural drainage positioning of patients, offering convenience for folding and transport. It possesses sufficient strength to safely support the patient's weight without sustaining damage, thereby ensuring safe usage.

(Total 122 pages)

Keywords: Airway Clearance Techniques, Postural Drainage, Finite Element Method.

Student's Signature Thesis Advisor's Signature

Thesis Co-Advisor's Signature

Thesis Co-Advisor's Signature

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	4
1.3 สมมติฐานการวิจัย	4
1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย	5
1.5 นิยามศัพท์	6
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 เทคนิคการระบายเสมหะ	7
2.2 การยศาสตร์ในการออกแบบงาน	14
2.3 ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์	31
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	46
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	46
3.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการออกแบบและการวิเคราะห์ด้วย ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์	48
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4	
ผลการทดสอบและการวิเคราะห์	79
4.1 ผลการจำลองและวิเคราะห์การรับภาระกรรมด้วยระเบียบวิธี ไฟไนต์อีลิเมนต์	79
4.2 ผลการออกแบบเชิงพื้ปรับได้หลังการวิเคราะห์	102
บทที่ 5	
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	113
5.1 สรุปผลการวิจัย	113
5.2 ข้ออภิปรายและข้อเสนอแนะ	114
บรรณานุกรม	116
ประวัติผู้วิจัย	122



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของวัสดุชนิดต่าง ๆ	56
3.2	การกำหนดค่าความปลอดภัยจากค่าทดสอบแรงดึง (Determination of Tensile Safety Factor)	63
3.3	ผลการทดสอบการลู่เข้าของอิฐ	69
3.4	คุณสมบัติทางกลของวัสดุ AL6061 T6	71
3.5	คุณสมบัติทางกลของวัสดุ SS400	71
4.1	ค่า Maximum Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ในแต่ละรูปแบบ	95
4.2	ค่า Maximum Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ในแต่ละรูปแบบ	95
4.3	ค่า Minimum Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ในแต่ละรูปแบบ	95
4.4	ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นที่ 2 ในแต่ละรูปแบบ	101
4.5	น้ำหนักเตียงพับ เมื่อแยกชิ้นจัดเก็บหรือเคลื่อนย้าย	108



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กรอบแนวคิดการวิจัย	5
2.1	การจัดทำในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งที่มีเสมหะกั่งค้าง ในปอด	8
2.2	การระบายเสมหะในผู้ป่วยด้วยการเคาะปอด	10
2.3	การระบายเสมหะในผู้ป่วยด้วยการสั่นปอด	11
2.4	เครื่องสั่นผนังหน้าอกด้วยความถี่สูง (High Frequency Chest Wall Oscillation)	11
2.5	วงจรการฝึกหายใจร่วมกับการไอ	12
2.6	หน้ากากแรงดันหายใจเชิงบวก (Positive Expiratory Pressure High Frequency)	13
2.7	เครื่องช่วยฝึกหายใจแบบ Flutter	13
2.8	ส่วนกระดูกสาขา (ซี่) และ ส่วนกระดูกแกนตัว (ขวา)	17
2.9	ชนิดต่าง ๆ ของข้อต่อร่างกาย	18
2.10	การทำงานของกล้ามเนื้อ ลักษณะจุดเกาะต้นและจุดเกาะปลาย	19
2.11	การงอและการเหยียดของอวัยวะ	21
2.12	การกางออกและหุบเข้าของอวัยวะ	21
2.13	การหมุนหรือบิดของอวัยวะ	22
2.14	การหมุนควงของอวัยวะ	23
2.15	การยกหรือลดของอวัยวะ	23
2.16	การงอหรือเหยียดที่มากกว่าตำแหน่งปกติของอวัยวะ	24
2.17	การเคลื่อนไหวส่วนศีรษะและคอ	25
2.18	การเคลื่อนไหวส่วนลำตัว	26
2.19	การเคลื่อนไหวของข้อต่อบริเวณหัวไหล่ (บน) และส่วนหัวไหล่ (ล่าง)	26
2.20	การเคลื่อนไหวของข้อศอก (ซี่) และ ปลายแขน (ขวา)	27
2.21	การเคลื่อนไหวของมือ (บน) และนิ้วมือ (ล่าง)	27
2.22	การเคลื่อนไหวส่วนสะโพก	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.23	การเคลื่อนไหวส่วนหัวเข่า	28
2.24	การเคลื่อนไหวเท้าและนิ้วเท้า	28
2.25	กราฟค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของกลุ่มประชากร	30
2.26	ขั้นตอนระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์	32
2.27	ภาพชิ้นงานจริง (ซ้าย) ชิ้นงานจากการสแกนสามมิติ (กลาง) และจากการขึ้นรูป 3D CAD	33
2.28	รูปร่างอีลิเมนต์ 1 มิติ	34
2.29	รูปร่างอีลิเมนต์ 2 มิติ	34
2.30	รูปร่างอีลิเมนต์ 3 มิติ	35
2.31	การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต	36
2.32	การกำหนดพลังงานภายนอกที่มากระทำ	37
2.33	แสดงโครงสร้างของ Link หรือท่อนแขนของตัวหุ่นยนต์	38
2.34	ผลลัพธ์การเสียรูปของชิ้นงานเมื่อได้รับแรงกระทำ	40
3.1	ขั้นตอนการทำงานวิจัย	47
3.2	รูปร่างเตียงขณะพับ (ซ้าย) และขณะกาง (ขวา) ของเตียงพับปรับได้จากการออกแบบเบื้องต้น	49
3.3	เตียงขณะแยกส่วนออกเพื่อใช้งาน	49
3.4	สัดส่วนร่างกายเฉลี่ยของประชากรชายไทยช่วงอายุ 30 - 39 ปี (หน่วย มม.)	50
3.5	เตียงมาตรฐานขนาดต่าง ๆ	50
3.6	โครงสร้างเตียงชั้นที่ 1	51
3.7	โครงสร้างเตียงชั้นที่ 2	52
3.8	การปรับโครงสร้างเตียงชั้น 2 ตอนที่ 1 สำหรับท่ายกลำตัว	52
3.9	การปรับโครงสร้างเตียงชั้น 2 ตอนที่ 2 สำหรับท่ายกสะโพก	53
3.10	การปรับโครงสร้างเตียงชั้น 2 ตอนที่ 3 สำหรับท่ายกเข่าขึ้น	53
3.11	การปรับโครงสร้างเตียงชั้น 2 ตอนที่ 4 สำหรับท่ายกเข่าขึ้นเท้าสูง	54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 ตัวอย่างสกรูส่งกำลังวางแนวตั้ง (ซ้าย) และ แรงปฏิกิริยาที่เกิดบนผิวเกลียวเมื่อผ่าคลี่ออก (ขวา)	55
3.13 ชุดยกด้านหัวและท้ายของเตียง	57
3.14 การทำงานของชุดยกยกด้านหัวและท้ายของเตียง	58
3.15 ชุดยกส่วนกลางของเตียง	58
3.16 การทำงานของชุดยกส่วนกลางของเตียง	58
3.17 แสดงขนาดและตำแหน่งของราวกันตกหลังการประกอบ	60
3.18 แสดงรายละเอียดครุปร่างของเบาะ กระดานรองรับ และ โครงสร้างชั้นที่ 2	60
3.19 แสดงภาพประกอบ รถเข็นเตียงพับ และ กล้องใ้ดูอุปกรณ์เสริมเปรียบเทียบกับ 3D Model ของคน	61
3.20 แสดงรายละเอียดของเตียงขณะพับ รถเข็น และ ผ้าคลุมกันฝุ่น	61
3.21 แสดงรายละเอียดของกล้องเก็บอุปกรณ์เสริมและอุปกรณ์เสริมที่บรรจุภายใน	62
3.22 แบบจำลองโครงสร้างเตียงรูปแบบท่านอนราบ (บน) ทำยกหัวเตียงขึ้น 20 องศา (ซ้าย) และทำยกท้ายเตียงขึ้น 20 องศา (ขวา)	64
3.23 แบบจำลองโครงสร้างเตียงรูปแบบทำยกลำตัวสูง 45 องศา (ซ้าย) และทำยกสะโพก สูง 200 มม. (ขวา)	64
3.24 แบบจำลองโครงสร้างเตียงรูปแบบ ทำยกเข้าชั้น 45 องศา (ซ้าย) และทำยกเข้าชั้นเท้าสูง (ขวา)	65
3.25 แบบ FE Model โครงสร้างชั้นที่ 1 รูปแบบท่านอนราบ	65
3.26 แบบ FE Model โครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 รูปแบบทำยกหัวเตียงสูง 20 องศา	66
3.27 แบบ FE Model โครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 รูปแบบทำยกท้ายเตียงสูง 20 องศา	66
3.28 แบบ FE Model โครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำยกลำตัว 45 องศา	67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.29	แบบ FE Model โครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำยกสะโพก 200 มม.	67
3.30	แบบ FE Model โครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำยกเข้าชั้น 45 องศา	68
3.31	แบบ FE Model โครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำยกเข้าชั้นเท้าสูง	68
3.32	รูปการทดสอบการลู่เข้าของอีลิเมนต์	70
3.33	รูปกราฟผลทดสอบการลู่เข้าของอีลิเมนต์	70
3.34	การกำหนดจุดรองรับของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 รูปแบบทำนอนราบ	72
3.35	การกำหนดจุดรองรับของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 รูปแบบทำยกหัวเตียงสูง 20 องศา	72
3.36	การกำหนดจุดรองรับของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 รูปแบบทำยกท้ายเตียงสูง 20 องศา	73
3.37	การกำหนดจุดรองรับของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำยกลำตัว 45 องศา	73
3.38	การกำหนดจุดรองรับของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำยกสะโพก 200 มม.	73
3.39	การกำหนดจุดรองรับของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำชั้นเข้า 45 องศา	74
3.40	การกำหนดจุดรองรับของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำชั้นเข้าเท้าสูง	74
3.41	แบบจำลองรูปร่างผู้ป่วยและตำแหน่งการวางรูปร่างผู้ป่วยบนกระดานรองรับ	75
3.42	ตำแหน่ง รูปร่างและทิศทางของแรงที่กระทำบนโครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 รูปแบบทำนอนราบ	75
3.43	ตำแหน่ง รูปร่างและทิศทางของแรงที่กระทำบนโครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 รูปแบบทำยกหัวสูง 20 องศา	76
3.44	ตำแหน่ง รูปร่างและทิศทางของแรงที่กระทำบนโครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 รูปแบบทำยกท้ายเตียงสูง 20 องศา	76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.45	ตำแหน่งรูปร่าง ทิศทาง และสัดส่วนของแรงที่กระทำบน โครงสร้าง เตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำยกลำตัว 45 องศา	77
3.46	ตำแหน่งรูปร่าง ทิศทาง และสัดส่วนของแรงที่กระทำบน โครงสร้าง เตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำยกละโพก 200 มม.	77
3.47	ตำแหน่งรูปร่าง ทิศทาง และสัดส่วนของแรงที่กระทำบน โครงสร้าง เตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำชันเข้า 45 องศา	78
3.48	ตำแหน่งรูปร่าง ทิศทาง และสัดส่วนของแรงที่กระทำบน โครงสร้าง เตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำชันเข้า เพ้าสูง	78
4.1	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด Ø 19 มม. ทำนอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียด ตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	80
4.2	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด Ø 25.40 มม. ทำนอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	80
4.3	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด Ø 31 มม. ทำนอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียด ตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	80
4.4	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด Ø 38 มม. ทำนอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียด ตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	81
4.5	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด Ø 19 มม. ทำ นอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียด ตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	81
4.6	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด Ø 25.40 มม. ทำ นอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียด ตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.7	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ทำ นอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียด ตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	82
4.8	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ทำ นอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียด ตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	82
4.9	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 19 มม. ทำ นอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียด ตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	82
4.10	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำ นอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียด ตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	83
4.11	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ทำ นอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียด ตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	83
4.12	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ทำ นอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียด ตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	83
4.13	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 19 มม. ทำยกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	85
4.14	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำยกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	85

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด Ø 31 มม. ถ่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	85
4.16	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด Ø 38 มม. ถ่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	86
4.17	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด Ø 19 มม. ถ่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	86
4.18	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด Ø 25.40 มม. ถ่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	86
4.19	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด Ø 31 มม. ถ่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	87
4.20	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด Ø 38 มม. ถ่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	87
4.21	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด Ø 19 มม. ถ่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	87
4.22	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด Ø 25.40 มม. ถ่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	88

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.23	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ท่ายกหัวเดียวขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และรายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	88
4.24	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ท่ายกหัวเดียวขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และรายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	88
4.25	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 19 มม. ท่ายกท่ายเดียว 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และรายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	90
4.26	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกท่ายเดียว 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และรายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	90
4.27	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ท่ายกท่ายเดียว 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และรายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	90
4.28	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ท่ายกท่ายเดียว 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และรายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	91
4.29	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 19 มม. ท่ายกท่ายเดียว 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และรายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	91
4.30	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกท่ายเดียว 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และรายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	91

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.31	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ทำยก ท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	92
4.32	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ทำยก ท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	92
4.33	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 19 มม. ทำยก ท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	92
4.34	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำ ยกท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	93
4.35	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ทำยก ท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	93
4.36	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ทำยก ท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	93
4.37	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำยกลำตัว 45 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	96
4.38	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำ ยกลำตัว 45 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	97

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.39	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำ ยกล้ำตัว 45 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	78
4.40	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำยกละ โปกสูง 200 มม. หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	97
4.41	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำ ยกละ โปกสูง 200 มม. หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	98
4.42	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำ ยกละ โปกสูง 200 มม. หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	98
4.43	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำยกละเข้าชั้น หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	98
4.44	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำ ยกละเข้าชั้น หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียด ตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	99
4.45	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำ ยกละเข้าชั้น หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียด ตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	99
4.46	ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำยกละเข้าชั้นทำสูง หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	99

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.47	ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด Ø 25.40 มม. ทำ ยกเข้าชั้นเท้าสูง หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	100
4.48	ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด Ø 25.40 มม. ทำ ยกเข้าชั้นเท้าสูง หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)	100
4.49	รายละเอียดและขนาด ของเตียงพับปรับได้ ขณะพับเก็บ แยก และ ประกอบเพื่อใช้งาน	103
4.50	รายละเอียด ขนาด และ ส่วนประกอบในแต่ละชั้น ของเตียงพับปรับ ได้	103
4.51	รายละเอียด ขั้นตอนการซ้อนตัวผู้ป่วยเพื่อใช้งานเตียงพับแบบปรับ ได้	104
4.52	รายละเอียด การปรับเตียงพับแบบปรับได้เป็นท่าต่าง ๆ	105
4.53	ขนาดโดยรวมของเตียงพับปรับได้พร้อมชุดอุปกรณ์ปฏิบัติงาน (บน) และ แสดงการขนย้ายโดยใช้รถยนต์ 4 ประตู (ล่าง) อ้างอิงขนาดห้อง โดยสาร HONDA Civic	106
4.54	รายละเอียดและขนาด ของเตียงพับปรับได้ รถเข็น และ ผ้าคลุม	107
4.55	รายละเอียดและขนาด กล้องเก็บอุปกรณ์เสริมและอุปกรณ์เสริม ภายใน	108
4.56	รายละเอียด และขนาด ของรถเข็นเตียงพับ	110
4.57	รายละเอียด และขนาด ผ้าคลุมกันฝุ่น	110
4.58	รายละเอียด และขนาด ของราวกันตกด้านบน - ล่าง (บน) และ ราว กันตกด้านซ้ายและขวา (ล่าง)	111
4.59	รายละเอียด และขนาด ของพวงมาลัยมือหมุนสำหรับชุดยก	111

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เสมหะ (Phlegm) คือ เมือกประเภทหนึ่งซึ่งอยู่ในระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ มีลักษณะเป็นของเหลวใสเหนียว สร้างขึ้นจากเซลล์กอบเลต (Goblet Cells) ซึ่งมีกระจายอยู่ทั่วไปในชั้นของเนื้อเยื่อผิวภายในหลอดลม ทำหน้าที่เป็นกลไกสำคัญในการป้องกันปอดโดยการสกัดจับสิ่งแปลกปลอม สารระคายเคืองหรือแบคทีเรียต่าง ๆ ไม่ให้ผ่านไปยังถุงลมและปอด แล้วเคลื่อนย้ายก่อนเสมหะพร้อมสิ่งแปลกปลอมไปยังคอหอย (Pharynx) หรือช่องจมูก (Nasopharynx) เพื่อกำจัดโดยการกลืนหรือการขับออกจากร่างกาย (Reid & Chung, 2004) เสมหะเป็นวัสดุที่มีความหนืด (Viscosity) โดยความหนืดของเสมหะจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพในการยึดเกาะของเสมหะในอวัยวะ เช่น พังผืดทางเดินหายใจ เมื่อเสมหะมีความหนืดมากจะส่งผลให้การเกาะติดสูงขึ้นและไหลเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น แต่หากเพิ่มส่วนผสมของน้ำในเสมหะจะส่งผลให้เสมหะมีความเหลวมากขึ้น ลดความหนืดและไหลเคลื่อนที่ได้ง่าย (Cortez & Cherry, 2021) เมื่อมีสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ร่างกาย เกิดการระคายเคืองหรือเกิดการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ ร่างกายจะกระตุ้นให้เซลล์กอบเลตมีการสร้างเสมหะมากขึ้นและมีความข้นเหนียว (ซูลี โจนส์, 2557) จากปริมาณที่มากขึ้นหรือความหนืดที่มากขึ้นนี้ทำให้การระบายเสมหะออกจากร่างกายได้ยาก ส่งผลให้เกิดการคั่งค้างของเสมหะภายในร่างกาย โดยบางส่วนของอากาศในทางเดินหายใจส่งผลให้ผู้ป่วยหายใจได้ลำบากเกิดเป็นงานของการหายใจ (Work of Breathing) ทำให้ผู้ป่วยหายใจได้ลำบาก นำไปสู่ภาวะการขาดออกซิเจน (Hypoxemia) (Warren, McKie, Villar, Camporota, & Vuylsteke, 2022) และเมื่อมีเสมหะสะสมค้างในร่างกายเป็นระยะเวลานานอาจเพิ่มความเสี่ยงในการติดเชื้อของอวัยวะต่าง ๆ ในระบบทางเดินหายใจ (Fahy & Dickey, 2010) ซึ่งอาจทำให้เกิดภาวะหายใจล้มเหลว (Respiratory Failure) ส่งผลให้ผู้ป่วยเป็นอันตรายร้ายแรงได้ (กัลยพัทธ์ นิยมวิทย์, และสุภา คำมะฤทธิ์, 2562) ผู้ป่วยที่มีปัญหาการคั่งค้างของเสมหะในช่องทางเดินหายใจมักเป็นผู้ป่วยที่มีเสมหะคั่งค้างอยู่ในบริเวณส่วนลึกของช่องทางเดินหายใจ เช่น ในปอดและหลอดลมส่วนล่าง ทำให้การขับเสมหะตามปกติทำได้ยาก จึงควรทำการรักษาด้วยการระบายเสมหะควบคู่กันไปด้วยเพื่อให้การรักษาเกิดประสิทธิภาพมากขึ้น โดยกลุ่มผู้ป่วยที่ต้องทำการระบายเสมหะได้แก่ กลุ่มผู้ป่วยที่มีเสมหะค้างในปอด มีอาการปอด

อีกเสบมีหนองในปอดหรือมีเสมหะอุดกั้นทางเดินหายใจ กลุ่มผู้ป่วยที่มีแนวโน้มจะมีเสมหะคั่งค้างในระยะยาว เช่น ผู้ป่วยติดเชื้อ ผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจเป็นเวลานาน หรือผู้ที่ได้รับการเจาะคอ และกลุ่มผู้ป่วยที่ไม่มีแรงไอหรือไอขับเสมหะออกมาได้น้อย (ชนัดดา วงศ์เอกษุตระกูล, 2563)

เทคนิคการระบายเสมหะเป็นหนึ่งในเทคนิคกายภาพบำบัดทรวงอก เพื่อระบายและกำจัดเสมหะที่คั่งค้างในระบบทางเดินหายใจเป็นวิธีที่ใช้กันมาอย่างยาวนานและแพร่หลาย ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการรักษาและใช้เทคโนโลยีหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ช่วยในการรักษา ทำให้มีหลายเทคนิคให้ผู้ป่วยได้เลือกใช้งาน โดยเทคนิคการระบายเสมหะสามารถจัดหมวดหมู่ตามวิธีการรักษาต่าง ๆ ได้ดังนี้

1.1.1 การใช้แรงโน้มถ่วง (Gravity) เป็นวิธีการอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยใช้การจัดท่า (Postural Drainage) จัดท่าผู้ป่วยรูปแบบต่าง ๆ ให้ตำแหน่งที่มีเสมหะคั่งค้างอยู่สูงกว่าตำแหน่งหลอดลม ทำให้เสมหะไหลลงตามแรงโน้มถ่วงจากทางเดินหายใจส่วนลึกไหลสู่ส่วนต้น หลังจากนั้นทำการระบายเสมหะด้วยวิธีต่าง ๆ ต่อไป เช่น การเคาะปอดและการไอ

1.1.2 การใช้แรงภายนอกกระทำโดยตรงต่อผนังทรวงอก เป็นการใช้แรงจากภายนอกกระทบหรือเขย่าบริเวณผนังทรวงอกผู้ป่วย เพื่อคลายการยึดติดของเสมหะที่อยู่ภายใน เช่น การเคาะปอด (Chest Percussion) และการเขย่าปอด (Chest Vibration and Shaking)

1.1.3 การเพิ่มแรงขับของลมในทางเดินหายใจ เป็นการใช้เทคนิคการควบคุมลมหายใจช่วยเพิ่มแรงขับในการเคลื่อนเสมหะให้เคลื่อนตัวออกจากทางเดินหายใจได้มากขึ้น เช่น การไอและการกระแอม (Cough and Huff) การฝึกวงจรหายใจร่วมกับการไอ (Active Cycle Breathing Technique: ACBT) การบังคับหายใจออกอย่างแรง (Forced Expiration Technique: FET) และ การฝึกควบคุมการหายใจที่ระดับปริมาตรปอดต่างกัน (Autogenic Drainage: AD)

1.1.4 การดูดเสมหะ เป็นการใช้สายยางปราศจากเชื้อใส่เข้าไปในร่างกายผ่านเข้าทางปาก จมูก ท่อช่วยหายใจ หรืออุปกรณ์ที่ใส่เข้าไปในหลอดลม สอดเข้าไปถึงบริเวณหลอดลม โดยสายยางปราศจากเชื้อจะใช้ร่วมกับเครื่องดูดเสมหะเมื่อทำงานจะสร้างแรงดูดสู่สายยาง เพื่อดูดเสมหะออกจากทางเดินหายใจ ใช้สำหรับผู้ป่วยไม่สามารถไอหรือขับเสมหะออกด้วยตนเองได้ (โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์, 2565)

โดยในการรักษาผู้ทำการรักษาจำเป็นต้องประเมินผู้ป่วยและทรัพยากรที่มีอยู่เพื่อเลือกใช้เทคนิคการรักษาที่เหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด และต้องดูข้อบ่งใช้รวมทั้งข้อห้ามต่าง ๆ ประกอบการพิจารณา เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายหรือความเสี่ยงกับผู้ป่วย (West, 2014)

ในการศึกษานี้ผู้วิจัยมีความสนใจในเทคนิคการจัดท่าและใช้แรงโน้มถ่วงเพื่อระบายเสมหะ เนื่องจากเป็นกระบวนการพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพสูง โดยการจัดท่าที่เหมาะสมสามารถระบายเสมหะที่อยู่เฉพาะจุดนั้น ๆ ได้ เช่น ในการระบายเสมหะที่ค้างอยู่ในปอดส่วนกลีบล่าง ใช้การจัดท่าให้ผู้ป่วยอยู่ในลักษณะนอนคว่ำเอียงลำตัวช่วงล่างขึ้น 15 - 20 องศา ทำให้เสมหะในบริเวณดังกล่าวไหลลงมากองบริเวณหลอดลมแล้วจึงทำการระบายออกต่อไป ซึ่งในการระบายเสมหะที่ค้างในส่วนอื่นของร่างกายจะใช้การจัดท่าในลักษณะที่ต่างกันไปตามหลักการจัดท่าเพื่อระบายเสมหะ เทคนิคการจัดท่านี้สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคอื่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพได้ ทั้งเทคนิคการใช้แรงภายนอกกระทำต่อทรวงอกหรือการดูดเสมหะ ตัวอย่างเช่น ในการรักษาผู้ป่วยที่อ่อนแรงและผู้ป่วยที่ไม่รู้สึกตัว ซึ่งเป็นกลุ่มผู้ป่วยที่ไม่สามารถไอเพื่อขับเสมหะออกมาด้วยตนเองได้ จึงไม่สามารถใช้เทคนิคการเพิ่มแรงขับในทางเดินหายใจในการรักษาได้ ผู้รักษาจึงใช้เทคนิคการจัดท่าร่วมกับการเคาะปอดร่วมในการรักษา เนื่องจากการจัดท่าสามารถช่วยให้เสมหะไหลลงตามแรงโน้มถ่วงได้ ประกอบกับการเคาะปอดร่วมด้วยทำให้เสมหะหลุดร่อนและเคลื่อนตัวออกมาได้ง่ายขึ้น ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก โดยในปัจจุบันเพียงสำหรับการจัดท่าเพื่อระบายเสมหะโดยเฉพาะนั้น มีการใช้งานน้อยมากในโรงพยาบาล เนื่องจากมีราคาแพงและยังมีการศึกษาน้อยมาก จึงยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก ส่งผลให้มีการจัดหาและใช้งานประจำโรงพยาบาลในจำนวนน้อย ในการรักษาด้วยการจัดท่าการระบายเสมหะผู้ทำการรักษาจึงมักใช้เตียงผู้ป่วยทั่วไปของโรงพยาบาลร่วมกับการใช้หมอนรองทดแทน โดยนำหมอนมารองให้ระดับความสูงแล้วช่วยยกตัวผู้ป่วยเพื่อจัดท่าให้อยู่ในท่าที่ต้องการ แล้วจึงทำการระบายเสมหะด้วยการเคาะปอดหรือการสั่นปอด อย่างไรก็ตามการรองตัวผู้ป่วยด้วยหมอนแม้จะทำได้ง่าย แต่ยังพบข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น หมอนที่ใช้มีการยุบตัวขณะรองทำให้ไม่ได้ความสูงที่ต้องการ หรือทำให้ช่วงหลอดลมของผู้ป่วยไม่อยู่ในลักษณะเส้นตรง ซึ่งทำให้การไหลออกของเสมหะไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร หรือต้องใช้หมอนหลายใบหนุนผู้ป่วยเพื่อให้ได้ความสูงที่เหมาะสมในการจัดท่าซึ่งจำนวนหมอนที่มีอยู่อาจไม่เพียงพอต่อการใช้งานตลอดจนการรักษาผู้ป่วยนอกสถานที่ซึ่งทรัพยากรของผู้ป่วยอาจมีจำกัดไม่เพียงพอในการใช้งานด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงต้องการออกแบบเตียงที่มีกลไกสามารถเอียงปรับมุมผู้ป่วยให้อยู่ในตำแหน่งการจัดท่าต่าง ๆ ได้ตามหลักการจัดท่าเพื่อช่วยจัดทำสนับสนุนการเคาะปอดและการสั่นปอดในการ

ระบายเสมหะ โดยคำนึงถึงการใช้งานที่มีประสิทธิภาพ มีอายุการใช้งานยาวนาน ขนาดเหมาะสม สามารถขนย้ายได้ง่ายในกรณีที่ต้องใช้รักษาผู้ป่วยในสถานที่อื่นนอกโรงพยาบาล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบเตียงที่สามารถปรับมุมและเคลื่อนย้ายได้ รองรับการจัดทำสำหรับช่วยการระบายเสมหะในผู้ป่วยด้วยวิธีเคาะปอดและสั่นปอด

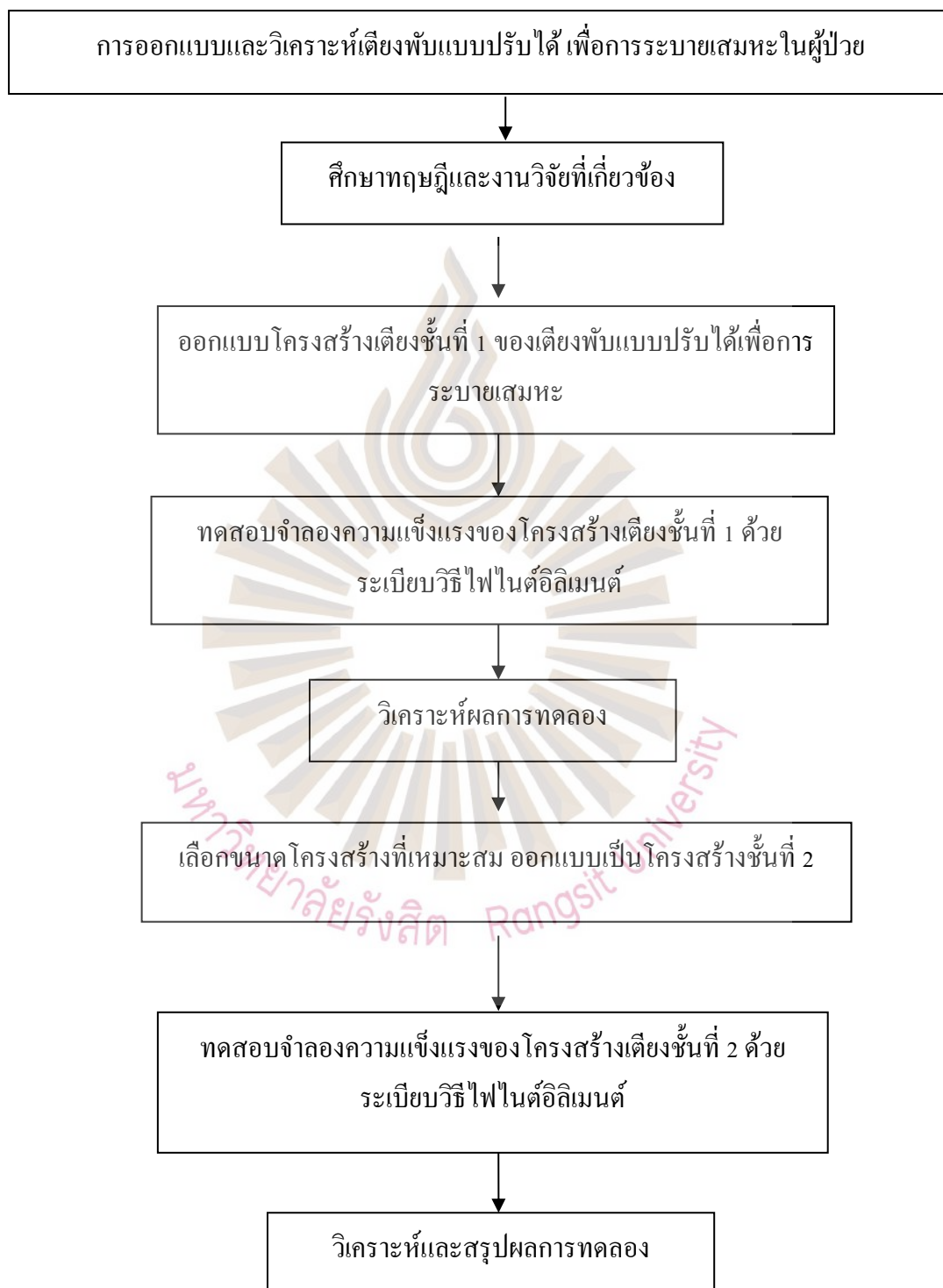
1.2.2 เพื่อศึกษาวิเคราะห์ความแข็งแรงในการใช้งานของเตียงหลังการออกแบบ โดยจำลองการรับภาระกรรมและวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 โมเดลเตียงจากการออกแบบสามารถพับ - กาง และปรับเป็นมุมต่าง ๆ ได้ตามหลักการจัดทำระบายเสมหะ

1.3.2 โมเดลเตียงจากการออกแบบสามารถรับภาระกรรมจากผู้ป่วยได้ ผ่านการจำลองการรับภาระกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ โดยกำหนดเงื่อนไขตามมาตรฐาน BS EN 60601

1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย



รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ที่มา: ผู้วิจัย

1.5 นิยามศัพท์

เสมหะ (Phlegm) หมายถึง เมือกที่ออกจากลำคอ ทรวงอก และลำไส้

เทคนิคการระบายเสมหะ (Airway Clearance Techniques) หมายถึง วิธีปฏิบัติเพื่อขจัดเสมหะในช่องทางเดินหายใจ

การจัดท่าเพื่อการระบายเสมหะ (Postural Drainage) หมายถึง การจัดท่าผู้ป่วยในลักษณะต่าง ๆ เพื่อให้เสมหะเคลื่อนที่ลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก

การเคาะปอด (Chest Percussion) หมายถึง หนึ่งในเทคนิคการระบายเสมหะโดยใช้การเคาะด้วยมือโดยใช้มือทำเป็นรูปถ้วยตบลงบนส่วนที่กำหนดของหน้าอกผู้ป่วย

การสั่นปอด (Chest Vibration) หมายถึง หนึ่งในเทคนิคการระบายเสมหะโดยใช้การส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนจากฝ่ามือเข้าไปยังปอด เพื่อให้เสมหะคลายตัวและหลุดออก

ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Method; FEM) หมายถึง การประยุกต์ใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ช่วยทำนายพฤติกรรมของวัสดุ เมื่อรับพลังงานที่กำหนดภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนด

บทที่ 2

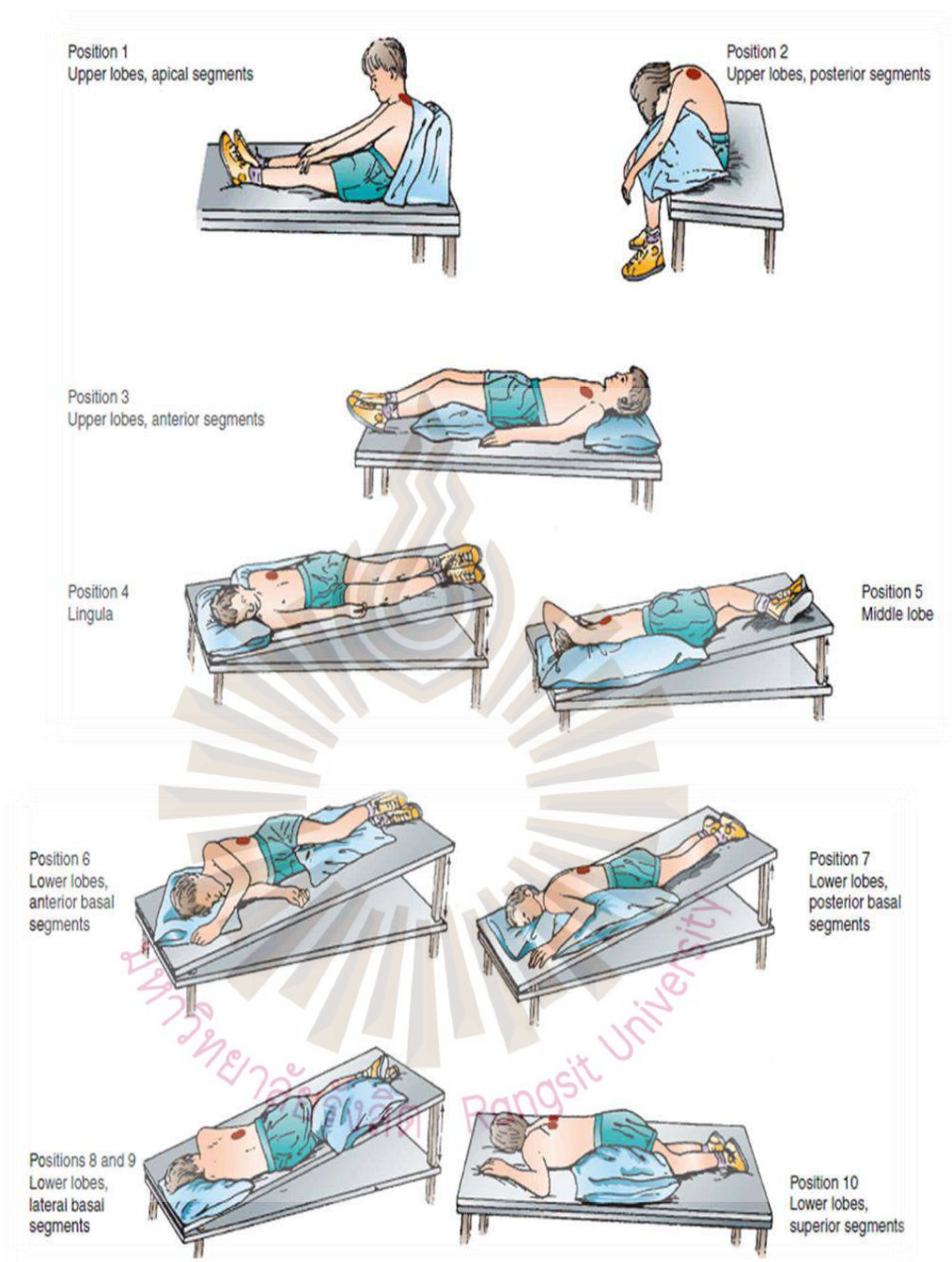
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคนิคการระบายเสมหะ (AIRWAY CLEARANCE TECHNIQUES)

เทคนิคการระบายเสมหะ เป็นส่วนหนึ่งในเทคนิคการกายภาพบำบัดทรวงอกเพื่อช่วยสนับสนุนเพื่อช่วยระบายเสมหะในผู้ป่วยที่มีการคั่งค้างของเสมหะภายในระบบทางเดินหายใจ รวมทั้งช่วยระบายเสมหะในผู้ป่วยที่มีอาการอ่อนแรงไม่สามารถระบายเสมหะได้ด้วยตนเอง แบ่งได้เป็น 4 วิธีหลักดังนี้ (สมจิตร ทองคำ, 2548)

2.1.1 การจัดท่า (Postural Drainage) และการใช้แรงโน้มถ่วง (Gravity)

เป็นวิธีการกำจัดเสมหะที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและยาวนาน โดยใช้การจัดท่าในตามรูปแบบต่าง ๆ และอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้เสมหะหลุดออกได้ง่ายขึ้น เสมหะจะไหลตามแรงโน้มถ่วงออกจากทางเดินหายใจส่วนลึกไหลสู่ส่วนต้น หลังจากนั้นทำการระบายเสมหะด้วยวิธีต่าง ๆ ซึ่งลักษณะการจัดท่าจะส่งผลต่อเสมหะที่คั่งค้างในแต่ละจุดต่างกัน ดังรูปที่ 2.1 โดยการจัดท่านี้นี้สามารถใช้ร่วมกับวิธีการกำจัดเสมหะอื่นพร้อมกันได้ เช่น การเคาะปอดและการไอ (Pavaskar & Liliane, 2013)



รูปที่ 2.1 การจัดท่าในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งที่มีเสมหะกั่งค้างในปอด

ที่มา : Postural Drainage, 2022

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าการจัดทำของผู้ป่วยจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งที่มีเสมหะค้างค้างในปอดของผู้ป่วย โดยในการรักษาจะใช้การไค้เอียงหรือหมอนรองช่วยจัดทำให้ตำแหน่งที่มีเสมหะค้างค้างของผู้ป่วยเอียงสูงเหนือกว่าตำแหน่งหลอดลมประธานเป็นเวลา 3 - 15 นาที (อาจนานกว่านี้ในกรณีพิเศษ) ส่งผลให้เสมหะที่ค้างอยู่ในตำแหน่งนั้น ๆ ไหลลงตามแรงโน้มถ่วงมากองบริเวณหลอดลม ซึ่งตำแหน่งการจัดทำอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะของผู้ป่วย การจัดทำเพื่อระบายเสมหะได้แบ่งเป็นทำตามตำแหน่งเสมหะที่ค้างในตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

2.1.1.1 ปอดส่วนบน (Apical Segments) จัดทำผู้ป่วยในลักษณะนั่งตัวตรง โดยมีการปรับตำแหน่งท่าเล็กน้อยตามตำแหน่งการค้างค้างของเสมหะ ซึ่งอาจจำเป็นต้องเอนไปด้านหลังถ้ามีเสมหะค้างอยู่บริเวณปอดกลีบหลังบนหรือด้านข้างเล็กน้อยถ้าเสมหะค้างบริเวณปอดกลีบบนซ้ายหรือขวา

2.1.1.2 ปอดส่วนหน้า (Anterior Segments) จัดทำผู้ป่วยในลักษณะนอนราบ ผ่อนคลายท่อนแขน รองเท้าให้สูงขึ้นเล็กน้อยด้วยหมอน

2.1.1.3 ปอดส่วนหลังกลีบซ้ายและขวา (Posterior Segments)

1) กลีบขวา จัดทำผู้ป่วยนอนคว่ำตะแคงหันหน้าไปทางซ้าย รองหมอนหนุนศีรษะอีกข้างหนึ่ง โดยวางแขนซ้ายไว้ด้านหลังให้แขนขวาวางบนหมอนรอง เข้าทั้งสองข้างควรงอเล็กน้อย

2) กลีบซ้าย จัดทำผู้ป่วยนอนคว่ำตะแคงขวา นอนพิงหมอนหนุนศีรษะอีกข้างหนึ่ง วางแขนขวาไว้ด้านหลังโดยให้แขนซ้ายวางบนหมอนรอง เข้าทั้งสองข้างควรงอเล็กน้อย

2.1.1.4 ปอดส่วนกลาง (Middle Lobe) ผู้ป่วยควรรอนหงายโดยหันลำตัวไปทางซ้าย โดยมีหมอนอยู่ใต้ด้านขวาจากไหล่ถึงสะโพกและแขนผ่อนคลายข้างลำตัว ส่วนเท้าของเตียงควรยกสูง หน้าอกเอียงทำมุม 15° กับพื้น

2.1.1.5 ปอดส่วนล่างด้านหน้าซ้าย (Lingula) จัดทำผู้ป่วยควรรอนหงายโดยหันร่างกายไปทางขวา โดยรองหมอนใต้ด้านซ้ายจากไหล่ถึงสะโพก ควรยกปลายของเตียงให้สูง หน้าอกเอียงทำมุม 15° กับพื้น

2.1.1.6 ปอดส่วนล่าง (Lower Lobe)

1) ส่วนล่างกลีบหน้า (Anterior Basal Segments) จัดทำผู้ป่วยควรรอนหงาย โดยให้ก้นวางอยู่บนหมอนและรองเท้า ควรยกปลายของเตียงให้สูง หน้าอกเอียงทำมุม 20° กับพื้น

2) ส่วนล่างกลีบหลัง (Posterior Basal Segments) จัดทำผู้ป่วยควรรอนคว่ำ โดยหันศีรษะไปข้างหนึ่ง แขนอยู่ในตำแหน่งที่สบายข้างศีรษะและหมอนใต้สะโพก ควรยกปลายของเตียงให้สูง หน้าอกเอียงทำมุม 120° กับพื้น

3) ส่วน Medial Basal Segments (Cardiac) ผู้ป่วยควรรอนตะแคงขวาโดยใช้หมอนหนุนใต้สะโพก และยกปลายของเตียงให้สูง หน้าอกเอียงทำมุม 120° กับพื้น

4) ส่วน Lateral Basal Segments ผู้ป่วยควรรอนตะแคงซ้าย ใช้หมอนรองใต้สะโพก และยกปลายของเตียงให้สูง หน้าอกเอียงทำมุม 120° กับพื้น

2.1.2 การใช้แรงภายนอกกระทำโดยตรงต่อผนังทรวงอก

เป็นการใช้แรงจากภายนอกกระทบบริเวณหรือเข้่าบริเวณผนังทรวงอกผู้ป่วย เพื่อคลายการยึดติดของเสมหะที่อยู่ภายใน ส่งผลให้เสมหะหลุดร่อนและเคลื่อนตัวออกได้ง่ายขึ้น วิธีการที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ การเคาะปอด (Chest Percussion) และการเขย่าปอด (Chest Vibration and Shaking) โดยในปัจจุบันได้มีการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยโดยการสร้างเป็นเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องสั่นสะเทือนทางกล (Mechanical Vibration) และเครื่องสั่นผนังหน้าอกด้วยความถี่สูง (High Frequency Chest Wall Oscillation) (สมจิตร ทองคำ, 2548)

2.1.2.1 การเคาะปอด เป็นการใช่วิธีสับัดหรือเคลื่อนไหวนส่วนข้อมือโดยทำมือเป็นลักษณะรูปถ้วยทำการเคาะลงบริเวณผนังอก อากาศที่อยู่ในอุ้งมือจะถูกอัดลงไป บริเวณที่เคาะ ซึ่งจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือน เคาะเป็น จังหวะที่สม่ำเสมอ เสียงที่เคาะควรเป็นเสียงที่กังวาน และโปร่งระยะเวลา โดยเฉลี่ยเวลาในการเคาะปอดประมาณ 3 - 5 นาที/จุด หรือนานกว่านั้นหากยังมีเสมหะอยู่ (ชนิดดา วงศ์เอกษุตระกูล, 2563) การเคาะปอดเพื่อระบายเสมหะในผู้ป่วยนั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่มีเสมหะค้างของผู้ป่วยด้วย เช่น มีเสมหะค้างบริเวณปอดส่วนหลังกลีบขวา ผู้รักษาจะให้ผู้ป่วยนอนคว่ำตะแคงซ้ายเพื่อทำการเคาะดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การระบายเสมหะในผู้ป่วยด้วยการเคาะปอด

ที่มา : Firstphysio Clinic, 2016

2.1.2.2 การสั่นปอด เป็นการส่งแรงสั่นสะเทือนจากมือของผู้รักษาโดย มือทั้งสองข้างทาบบริเวณที่ต้องการสั่นปอดและเหยียดแขนทั้งสองข้างให้ตรง รอผู้ป่วยเริ่มหายใจออก จากนั้นเกร็งแขนทั้งสองข้างให้เกิดการสั่นผ่านไปยังฝ่ามือ แล้วลงไปที่ทรวงอกของผู้ป่วย ประมาณ 3 - 5 นาที หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนท่าหรือเปลี่ยนบริเวณที่สั่นปอด (ชนิดดา วงศ์เอกชูตระกูล, 2563)



รูปที่ 2.3 การระบายเสมหะในผู้ป่วยด้วยการสั่นปอด

ที่มา : balaofcavada, 2016



รูปที่ 2.4 เครื่องสั่นผนังหน้าอกด้วยความถี่สูง (High Frequency Chest Wall Oscillation)

ที่มา : Caroline & Annemarie, 1991

2.1.3 การเพิ่มแรงขับของลมในทางเดินหายใจ

เป็นการใช้เทคนิคการควบคุมลมหายใจช่วยเพิ่มแรงขับในการหายใจ โดยใช้การหายใจให้อากาศไหลเข้าไปในส่วนที่มีเสมหะ จากนั้นจึงใช้แรงขับค่อย ๆ เคลื่อนเสมหะให้ออกมาอยู่ใน

บริเวณที่ตื้นขึ้น ทำให้เสมหะเคลื่อนตัวออกจากทางเดินหายใจได้มากขึ้น ได้แก่ การไอและการกระแอม (Cough and Huff) การฝึกวงจรการหายใจร่วมกับการไอ (Active Cycle Breathing technique : ACBT) การฝึกบังคับลมหายใจออก (Forced Expiration Technique : FET) และการฝึกหายใจที่ปริมาตรปอดต่างกัน (Autogenic Drainage : AD) ซึ่งเทคนิคเหล่านี้ต้องอบรมให้ความรู้กับผู้ป่วยเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด (Arik and Çevik, 2021)

2.1.3.1 การไอและการกระแอม เป็นวิธีที่ใช้การหดเกร็งตัวของกล้ามเนื้อหน้าท้องขณะหายใจออกพร้อมปิดช่องหลอดลม (Glottis) ทำให้แรงดันในระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น เมื่อไอหรือกระแอมออก อากาศภายในระบบทางเดินหายใจจะถูกขับออกมาด้วยแรงขับที่มากขึ้นพร้อมเสมหะ

2.1.3.2 การฝึกบังคับลมหายใจออก เป็นการฝึกหายใจออกเพื่อใช้แรงขับภายในระบบทางเดินหายใจ โดยทำการกระแอม 1 - 2 ครั้ง และ ทำการหายใจโดยใช้กระบังลม (Diaphragmatic Breathing) 5 - 8 ครั้ง ทำสลับกันเป็นวงจรการกระแอมออกจะทำให้เกิดแรงเฉือนช่วยลดความหนืดของเสมหะทำให้ขับเสมหะออกได้ดีขึ้น (Derojanawong, 1995)

2.1.3.3 การฝึกหายใจร่วมกับการไอ เป็นเทคนิคที่พัฒนามาจากการฝึกบังคับลมหายใจออก โดยใช้การควบคุมการหายใจให้ทรวงอกขยายออกเพื่อให้อากาศเข้าภายในปอดมากขึ้น และทำการไอหรือกระแอมเพื่อขับเสมหะออกมา ทำซ้ำ 3 - 4 ครั้งเป็นวงจรดังรูปที่ 2.5 (โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร, 2564)



รูปที่ 2.5 วงจรการฝึกหายใจร่วมกับการไอ

ที่มา : โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร หน่วยกายภาพบำบัด, 2564

2.1.3.4 การฝึกหายใจที่ปริมาตรแตกต่างกัน เป็นการฝึกควบคุมการหายใจที่ระดับปริมาตรปอดต่าง ๆ โดยแบ่งการควบคุมการหายใจเป็น 3 ช่วง ช่วงที่ 1 (Unstick) เป็นการควบคุมการหายใจที่ระดับปริมาตรปอดต่ำ (Low Lung Volume) เพื่อให้อากาศเข้าและหายใจออกพร้อมปิดช่องหลอดลมเพื่อขับเสมหะบริเวณส่วนต้นของทางเดินหายใจ ช่วงที่ 2 (Collect) เป็นการควบคุมการหายใจที่ระดับปริมาตรปอดปานกลาง (Middle Lung Volume) เพื่อให้อากาศเข้าและหายใจออกเพื่อขับเสมหะบริเวณส่วนกลางของทางเดินหายใจ และช่วงที่ 3 (Evacuate) เป็นการควบคุมการหายใจที่ระดับปริมาตรปอดสูง (High Lung Volume) เพื่อให้อากาศเข้าและหายใจออกเพื่อขับเสมหะบริเวณส่วนลึกของทางเดินหายใจโดยใช้แรงขับสูงในการขับเสมหะ (Strong Huffing / Expiration) (Giles, Wagener, Accurso, & Rutler-Simon, 1995)

2.1.3.5 การใช้เครื่องช่วยฝึกหายใจ เนื่องจากการฝึกหายใจดังกล่าวในช่วงต้นต้องใช้เวลาในการฝึกและทำความเข้าใจ ในปัจจุบันจึงได้มีการออกแบบอุปกรณ์ช่วยเพื่อช่วยให้การใช้เทคนิคควบคุมลมหายใจทำได้ง่ายขึ้น เช่น หน้ากากแรงดันหายใจเชิงบวก (Positive Expiratory Pressure High Frequency), Oscillation (HFO) และ Flutter ดังรูปที่ 2.6 - 2.7



รูปที่ 2.6 หน้ากากแรงดันหายใจเชิงบวก (Positive Expiratory Pressure High Frequency)

ที่มา : Wingard, 2024



รูปที่ 2.7 เครื่องช่วยฝึกหายใจแบบ Flutter

ที่มา : Braun, 2024

2.1.4 การดูดเสมหะ

เป็นการใช้สายยางปราศจากเชื้อใส่เข้าไปในร่างกายผ่านเข้าทางปาก, จมูก, ท่อช่วยหายใจ หรืออุปกรณ์ที่ใส่เข้าไปในหลอดลม สอดเข้าไปยังบริเวณที่มีเสมหะ ซึ่งอาจลึกถึงช่วงหลอดลม ประธาน (Carina) โดยสายยางปราศจากเชื้อจะใช้ร่วมกับเครื่องดูดเสมหะเมื่อทำงานจะสร้างแรงดูด สู้สายยาง เพื่อดูดเสมหะออกออกจากทางเดินหายใจ ใช้สำหรับผู้ป่วยไม่สามารถไอหรือขับเสมหะ ออกด้วยตนเองได้ (โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์, 2565) โดยแบ่งวิธีการการดูดเสมหะได้ดังนี้

2.1.4.1 การดูดเสมหะทางจมูกและทางปาก

1) การดูดเสมหะผ่านทางท่อหายใจทางจมูก (Nasopharyngeal Tube หรือ Nasal Airway) เป็นการสอดสายยางดูดเสมหะผ่านช่องจมูก ซึ่งตัวสายยางมีลักษณะเป็นท่อกดงยาว ความโค้งและความยืดหยุ่น ทำให้สามารถสอดเข้าทางรูจมูกผ่านไปถึงโพรงจมูกด้านหลัง (Nasopharynx) ได้สะดวก การดูดเสมหะผ่านทางจมูกมักใช้ในกรณีผู้ป่วยขบกัดท่อหายใจทางปาก

2) การดูดเสมหะผ่านทางท่อหายใจทางปาก (Oropharyngeal Tube) เป็นสายยางที่สอดใส่เข้าทางปากผ่านช่องปากไปถึงโคนลิ้น โดยสอดยาวเข้าไปถึงจุดที่มีเสมหะอุดกั้นอยู่ลึกสุดได้ถึงบริเวณหลอดลมประธาน

2.1.4.2 การดูดเสมหะทางท่อหายใจและท่อเจาะคอ เป็นการดูดเสมหะในผู้ป่วยที่มีการเจาะคอหรือใช้เครื่องช่วยหายใจ โดยสอดสายยางดูดเสมหะเข้าทางท่อเจาะคอ (Endotracheal tube) เข้าท่อช่วยหายใจทางปาก (Orotracheal) หรือทางจมูก (Nasotracheal) โดยผ่านฝาปิดกล่องเสียง (Epiglottis) เข้าสู่หลอดลม (Trachea) ช่วยให้ผู้สามารถดูดเสมหะที่อยู่ในทางเดินหายใจส่วนล่าง ออกมาได้ง่าย โดยเฉพาะในกรณีที่ผู้ป่วยไม่รู้สีกัดตัวหรือไม่สามารถขับเสมหะออกด้วยตนเองได้

2.2 การยศาสตร์ในการออกแบบงาน

การยศาสตร์ในการออกแบบงาน เป็นการประยุกต์ใช้ชีววิทยาของมนุษย์ (Human Biological Science) เข้ากับวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Science) ร่วมกัน โดยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อออกแบบระบบ งาน หรือผลิตภัณฑ์ ให้มีความเหมาะสมสอดคล้องกับสภาพธรรมชาติของ ร่างกายมนุษย์ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานหรือผู้ใช้งานเกิดภาวะสบาย ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานมีสวัสดิภาพและ ประสิทธิภาพงานที่ดี (อุดมศักดิ์ สาริบุตร, 2549) เนื่องจากข้อมูลปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบต้องมีความสอดคล้องสัมพันธ์กับบุคคลในงานนั้น ๆ ประกอบกับการออกแบบงานที่ต้องรวบรวมหลาย องค์ประกอบเข้ากันอย่างมีระบบให้สัมพันธ์กับประโยชน์ใช้สอยที่ได้รวมทั้งให้เกิดความปลอดภัย

เมื่อใช้งาน ด้วยเหตุนี้ผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องใช้ความรู้ด้านชีววิทยาของมนุษย์หรือกายวิภาคศาสตร์ ร่วมกับความรู้ด้านวิศวกรรมศาสตร์ในการออกแบบ เพื่อให้งานหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบ เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการทำงานสูงสุด

2.2.1 การยศาสตร์ (Ergonomics)

เป็นการศึกษาเกี่ยวกับคนและการทำงาน มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงงาน หรือ สภาพแวดล้อมในการทำงานให้เข้ากับแต่ละบุคคล โดยการเน้นองค์ประกอบด้านมนุษย์ทั้งสภาวะ ทางร่างกายและจิตใจ ซึ่งหมายถึงการใช้ข้อมูล คุณลักษณะ ตลอดจนข้อจำกัดต่าง ๆ ของมนุษย์ นำมาใช้ในการพิจารณาออกแบบระบบ วิธีการ อุปกรณ์ หรือสิ่งแวดล้อมให้ตอบสนองวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการดังนี้ (Alexander & Pulat, 1985)

2.1.2.1 เพื่อให้เกิดภาวะสบาย (Comfort)

2.1.2.2 เพื่อให้เกิดสวัสดิภาพ (Wellbeing)

2.1.2.3 เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ (Efficiency) อันเกี่ยวกับ

1) การผลิต (Production)

2) ร่างกาย (Physiological)

3) จิตใจ (Mental)

แนวคิดหลักของการยศาสตร์ เป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับงาน ซึ่งรวมถึง เครื่องจักร เครื่องมืออุปกรณ์ สภาพแวดล้อม ตลอดจนสภาพจิตใจ โดยเป็นการสร้างวิธีการ ทำงานและเครื่องมืออุปกรณ์ ภายใต้อารมณ์ใด ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยไม่กระทบต่อ สวัสดิภาพของคน

โดยแม้ว่าการยศาสตร์จะมุ่งเน้นที่การศึกษาระหว่างคนผู้คนและสภาพแวดล้อมในการ ปฏิบัติงานเป็นส่วนใหญ่ก็ตาม แต่ยังคงต้องให้ความสำคัญในด้านของการออกแบบด้วย ไม่ว่าจะเป็น ผลิตภัณฑ์หรือระบบงานต่าง ๆ ซึ่งส่งผลโดยตรงกับวัตถุประสงค์หลักตามที่กล่าวมาข้างต้น การ นำเอาข้อมูลของมนุษย์ในแง่มุมของลักษณะทางกายภาพ กลศาสตร์ชีวภาพ สรีระวิทยา และจิตวิทยา มาเป็นปัจจัยในการพิจารณาออกแบบ ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลใน ระบบงานได้เป็นอย่างดี โดยในขณะเดียวกันการออกแบบต้องคำนึงถึงความปลอดภัย สุขภาพ อนามัย และความเป็นอยู่ของผู้ปฏิบัติงานนั้น ๆ ด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำความรู้ด้านกายวิภาค

ศาสตร์มาร่วมใช้ในงานออกแบบด้วย เพื่อให้ระบบ งาน หรือผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีความสอดคล้องตามคุณลักษณะและข้อจำกัดของร่างกายมนุษย์ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดสถานะที่เหมาะสมกับการทำงานตามหลักของการยศาสตร์ต่อไป (Sanders & McCormick, 1987)

2.2.2 กายวิภาคศาสตร์ (Anatomy)

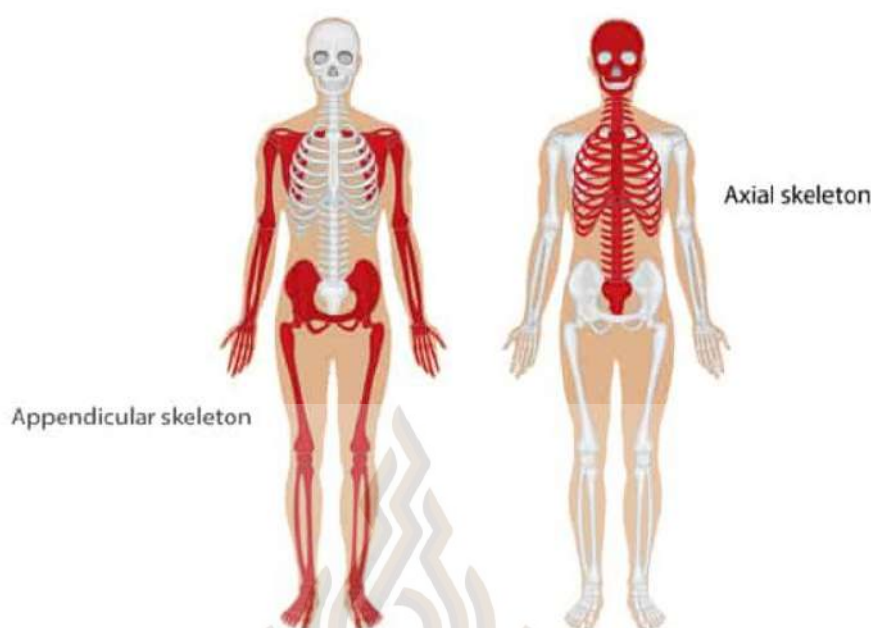
เป็นการศึกษาโครงสร้างลักษณะภายในและภายนอกของร่างกายมนุษย์ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นอีก 2 ส่วนใหญ่ ได้แก่ มหากายวิภาคศาสตร์ (Macroscopic Anatomy) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับอวัยวะและส่วนประกอบของร่างกายที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า และ จุลกายวิภาคศาสตร์ (Microscopic Anatomy) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับอวัยวะและส่วนประกอบของร่างกายในระดับที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เช่น เซลล์และเนื้อเยื่อ (Histology) โครงสร้างขนาดเล็กภายในเซลล์ (Cytology) การปฏิสนธิและการเจริญเติบโตของมนุษย์ (Embryology)

สำหรับกายวิภาคศาสตร์ที่เป็นพื้นฐานในการออกแบบผลิตภัณฑ์นั้น จะเน้นศึกษามหากายวิภาคศาสตร์ในส่วนของอวัยวะและส่วนประกอบของร่างกายที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน (Work Anatomy) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวขณะทำงานหรือใช้งานผลิตภัณฑ์ โดยในการศึกษามหากายวิภาคศาสตร์ สามารถแบ่งโครงสร้างร่างกายมนุษย์ออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ดังนี้

2.2.2.1 ระบบโครงกระดูก (Skeletal System) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักพยุงร่างกาย ช่วยให้เกิดการเคลื่อนไหวในลักษณะการเคลื่อนไหวจากการหดตัวของกล้ามเนื้อหรือการหมุนตัวผ่านข้อต่อต่าง ๆ ทั้งยังมีส่วนช่วยปกป้องอวัยวะสำคัญภายในร่างกาย เช่น สมอง หัวใจ และปอด โครงสร้างกระดูกของมนุษย์ผู้ใหญ่ที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้วมีประมาณ 206 ชิ้น ระบบโครงสร้างกระดูกโดยรวม (Gross Skeletal Structure) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

1) ส่วนโครงกระดูกแกนตัว (Axial Skeleton) อันประกอบไปด้วย กระโหลกศีรษะ (รวมกระดูกใบหน้าและหู) กระดูกสันหลัง กระดูกซี่โครง กระดูกหน้าอก และกระดูกเชิงกราน

2) ส่วนกระดูกสาขา (Appendicular Skeleton) อันประกอบไปด้วยกระดูกส่วนที่ติดกับกระดูกแกนตัวรวมทั้งกระดูกส่วนบนและล่าง โดยกระดูกส่วนบนประกอบด้วยกระดูกไหปลาร้า กระดูกสะบัก ขูดกระดูกแขนถึงกระดูกมือ และกระดูกส่วนล่างประกอบด้วยกระดูกสะบ้า กระดูกต้นขา รวมไปถึงกระดูกเท้า ดังรูปที่ 2.8



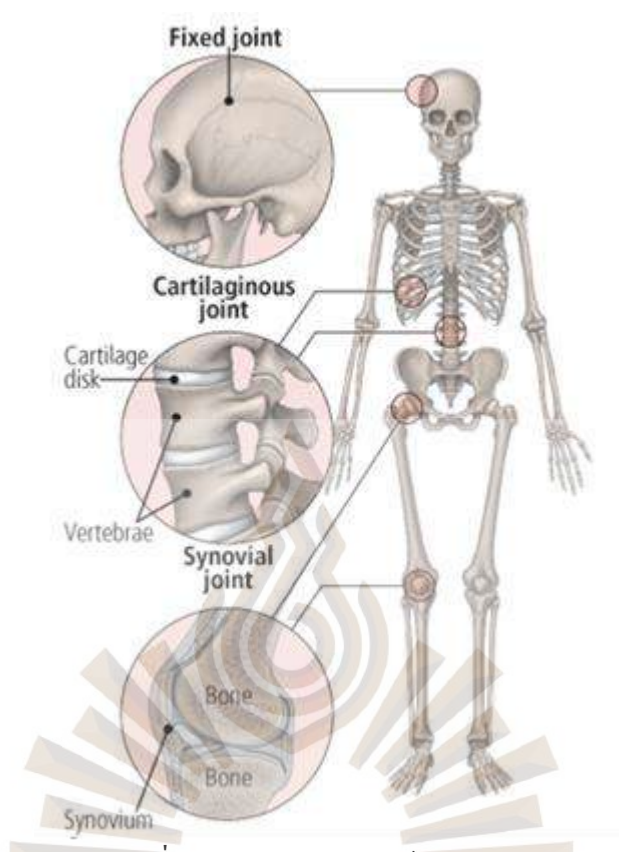
รูปที่ 2.8 ส่วนกระดูกสาขา (ซ้าย) และ ส่วนกระดูกแกนตัว (ขวา)
ที่มา : นิสิต มาแก้ว, 2560

2.2.2.2 ข้อต่อ (Joints) เป็นกระดูก 2 ชิ้นหรือมากกว่า ต่อกันเข้าด้วยกันช่วยให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกายในลักษณะต่าง ๆ โดยข้อต่อแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและการเคลื่อนไหวที่ต่างกันออกไปตามรูปแบบผิวสัมผัส (Articular Surface) ของกระดูกที่ต่อกัน ดังรูปที่ 2.9 (นที กัดนานตติส, 2523) ข้อต่อสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1) ข้อต่อชนิดเชื่อมติดกัน (Fibrous Joints) เป็นข้อต่อชนิดเชื่อมติดกันด้วยเยื่อพังผืด (Fibrous Tissue) ซึ่งไม่สามารถเคลื่อนไหวได้หรือเคลื่อนไหวได้น้อยมาก เช่น ข้อต่อที่กระดูกไหปลาร้า และกระดูกฟัน

2) ข้อต่อชนิดเชื่อมด้วยกระดูกอ่อน (Cartilaginous Joints) เป็นข้อต่อที่มีกระดูกอ่อนแทรกอยู่ระหว่างกลาง มีความยืดหยุ่นสามารถเคลื่อนไหวได้บ้างในลักษณะการงอหรือบิด เช่น กระดูกสันหลัง

3) ข้อต่อชนิดเชื่อมด้วยถุงน้ำไขข้อ (Synovial Joints) เป็นข้อต่อที่มีช่องว่างภายใน ภายในข้อต่อส่วนปลายของกระดูกที่ต่อกันถูกหุ้มด้วย Articular Capsule โดยภายใน Capsule มีเยื่อ Synovial Membrane ทำหน้าที่หลั่งน้ำไขข้อเพื่อหล่อลื่นให้กระดูกเสียดสีกันได้อย่างคล่องตัวสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ มีรูปแบบการเคลื่อนไหวหลายแบบตามรูปร่างของข้อต่อ เช่น ข้อต่อบริเวณหัวไหล่ ข้อศอก สะโพก ข้อเข่า ข้อเท้า ฯลฯ



รูปที่ 2.9 ชนิดต่าง ๆ ของข้อต่อร่างกาย

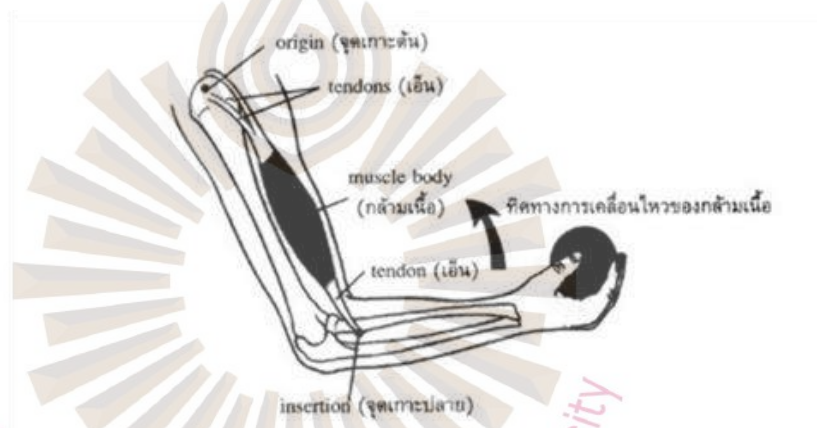
ที่มา : นิสิต มาแก้ว, 2560

2.2.2.3 ระบบกล้ามเนื้อ (Muscular System) เป็นอวัยวะหนึ่งของร่างกายที่สามารถออกแรงได้ เป็นแหล่งให้กำลังในการทำงานใด ๆ แก่มนุษย์ (กิตติ อินทรานนท์, 2553) โดยเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีเป็นพลังงานทางกล มีมวลรวมประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักตัว ประกอบด้วยกล้ามเนื้อต่อเนื่อง (Connective Tissue) และเนื้อเยื่อหลอดเลือด (Vascular Tissue) การยึดและหดตัวของกล้ามเนื้อเมื่อทำงานร่วมกับกระดูก เอ็น และข้อต่อ ทำให้ร่างกายสามารถเคลื่อนไหวได้ ช่วยในการทรงตัว ทั้งยังช่วยบังคับการเคลื่อนไหวของอวัยวะภายในได้ เช่น การบีบตัวหรือคลายตัวของหลอดเลือด ระบบทางเดินหายใจและทางเดินอาหาร หรือการบีบตัวของมดลูกขณะคลอด กล้ามเนื้อของร่างกายมีรูปร่างและโครงสร้างแตกต่างกันไป โดยสามารถแบ่งแยกตามตำแหน่งและลักษณะการทำงานออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่

1) กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth Muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่มีลักษณะเรียบไม่มีลาย เช่น กล้ามเนื้อผนังลำไส้ กระเพาะอาหารหรือกระเพาะปัสสาวะ การทำงานของกล้ามเนื้อเรียบจะควบคุมด้วยระบบประสาทอัตโนมัติ เรียกว่าเป็นกล้ามเนื้อที่ทำงานอยู่นอกอำนาจจิตใจ (Involuntary Muscle)

2) กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac Muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่พบในหัวใจเท่านั้น มีการทำงานตลอดเวลา ถูกควบคุมด้วยระบบประสาทอัตโนมัติ เป็นกล้ามเนื้อที่ทำงานอยู่นอกอำนาจจิตใจ

3) กล้ามเนื้อลาย (Striated Muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่ติดกับกระดูกและข้อต่อ โดยมีจุดเกาะต้น (Origin) และ จุดเกาะปลาย (Insertion) โดยจุดเกาะมักมีลักษณะเป็นเอ็น (Tendon or Ligament) ทำงานโดยใช้การยืดและหดกล้ามเนื้อ เพื่อเคลื่อนที่ตำแหน่งจุดเกาะต้นและปลายทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกาย ดังรูปที่ 2.10 การทำงานของกล้ามเนื้อลายจะถูกควบคุมด้วยประสาทส่วนกลาง เรียกได้ว่าเป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ (Voluntary Muscle) เช่น กล้ามเนื้อแขน ขา ลำตัว ใบหน้า



รูปที่ 2.10 การทำงานของกล้ามเนื้อ ลักษณะจุดเกาะต้นและจุดเกาะปลาย

ที่มา : รัชชานนท์ สิปปภากุล, 2548, น.41

ข้อมูลจากการศึกษากายวิภาคศาสตร์ เป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะมหากายวิภาคศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับอวัยวะและส่วนประกอบของร่างกายที่สอดคล้องกับการเคลื่อนไหวเมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ การศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับ ตำแหน่ง ขนาด สัดส่วน ลักษณะทางกายภาพของร่างกายในลักษณะต่าง ๆ ทำให้ผู้ออกแบบเข้าใจในระบบการเคลื่อนไหวและข้อจำกัดของร่างกายมนุษย์ อันจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้ข้อมูลเพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสม มีความปลอดภัยและสอดคล้องตามการใช้งานได้เป็นอย่างดี (รัชชานนท์ สิปปภากุล, 2553)

2.2.3 ลักษณะและข้อจำกัดของการเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

การเคลื่อนไหวของร่างกาย เกิดจากกลไกการทำงานของข้อต่อ กล้ามเนื้อ และระบบประสาทร่วมกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ต่อเนื่อง โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ การเคลื่อนไหวแบบไม่เคลื่อนที่ เช่น การงอ การบิด การโยกตัว และการเคลื่อนไหวแบบเคลื่อนที่ เช่น การเดิน การวิ่ง การกระโดด

สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ จะเน้นศึกษาการเคลื่อนไหวแบบไม่เคลื่อนที่เป็นหลัก เพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะทางกายภาพรวมทั้งข้อจำกัดของการเคลื่อนไหวในรูปแบบต่าง ๆ โดยประยุกต์ใช้ข้อมูลเหล่านี้ช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีความสอดคล้องกับการเคลื่อนไหวขณะใช้งาน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ลดอาการเมื่อยล้าหรือการบาดเจ็บจากการใช้งานตามหลักการยศาสตร์ต่อไป

2.2.3.1 ลักษณะการเคลื่อนไหวแบบไม่เคลื่อนที่ สามารถแบ่งออกได้เป็นลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

1) การเคลื่อนไหวแบบเส้นโค้ง เป็นการเคลื่อนไหวในลักษณะเพิ่มหรือลดมุมของส่วนที่เคลื่อนไหว โดยมีจุดหมุนบริเวณข้อต่อ ลักษณะและข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวจะขึ้นอยู่กับรูปร่างของข้อต่อ การเคลื่อนไหวแบบเส้นโค้งสามารถแบ่งย่อยได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

1.1) การงอและการเหยียด เป็นการเคลื่อนไหวโดยลดมุม (งอ) หรือเพิ่มมุม (เหยียด) ส่วนที่เคลื่อนไหว เช่น การเอียงคอ การงอของข้อต่อแขนหรือข้อศอก การงอขา ท่อนบน การงอข้อเท้าและการงอเท้า ดังรูปที่ 2.11

1.2) การกางออกและหุบเข้า เป็นการเคลื่อนไหวในระนาบด้านข้างของร่างกายโดยเคลื่อนที่ออกจากร่างกาย (กางออก) และเคลื่อนที่เข้าหาร่างกาย (หุบเข้า) เช่น การกางแขนและขา การกางข้อมือ การกางนิ้วมือและนิ้วเท้า ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 การงอและการเหยียดของอวัยวะ
ที่มา : รัชชานนท์ สิปป์ภากุล, 2548, น. 57 - 58



รูปที่ 2.12 การกางออกและหุบเข้าของอวัยวะ
ที่มา : รัชชานนท์ สิปป์ภากุล, 2548, น. 59 - 60

1.3) การเคลื่อนไหวเชิงวงกลม เป็นการเคลื่อนไหวในลักษณะการหมุนรอบแกนข้อต่อ โดยมีจุดหมุนบริเวณข้อต่อ ลักษณะและข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวจะขึ้นอยู่กับ

รูปร่างของข้อต่อและกล้ามเนื้อบริเวณนั้น ๆ การเคลื่อนไหวเชิงวงกลมสามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

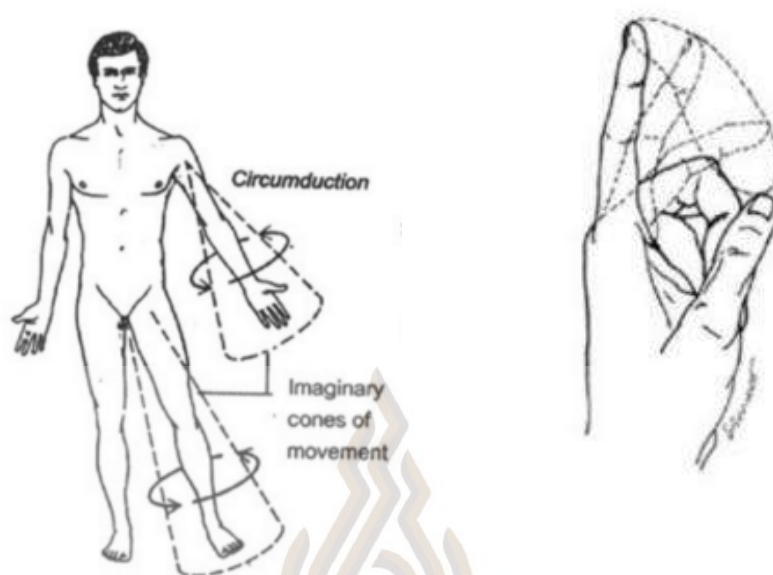
(1) การหมุนหรือบิด เป็นการเคลื่อนไหวโดยหมุนรอบแกนตั้งตามยาว แกนของการเคลื่อนไหวอาจอยู่ในแนวตั้งหรืออยู่ในมุมอื่นร่วมกับการเคลื่อนไหวอื่นได้ เช่น การบิดลำตัว การบิดข้อมือและข้อเท้า การบิดแขนและขา ดังรูปที่ 2.13

(2) การหมุนควง เป็นการเคลื่อนไหวในลักษณะคล้ายรูปกรวย โดยมีจุดยึดปลายกรวยที่บริเวณข้อต่อ ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวที่รวมทั้งการงอ การเหยียด การกาง การหุบ และการบิด ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น การหมุนควงแขนเป็นวงกลมหรือการหมุนควงนิ้ว ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 การหมุนหรือบิดของอวัยวะ

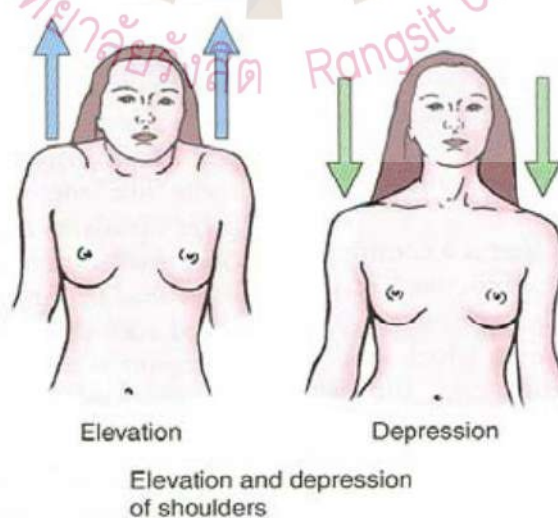
ที่มา : จิราพร วรเสน, 2550



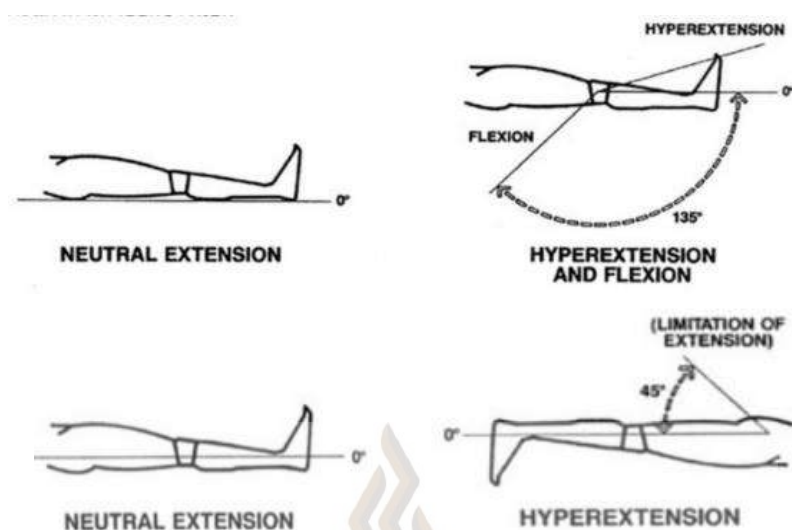
รูปที่ 2.14 การหมุนควงของอวัยวะ
ที่มา : รัชชานนท์ สิปปภากุล, 2548, น.61 – 62

1.4) การเคลื่อนไหวพิเศษเฉพาะส่วน เป็นการเคลื่อนไหวในลักษณะอื่น ๆ เพิ่มเติมดังนี้ การยกหรือลด เช่น การยกบ่าหรือหัวไหล่ ดังรูปที่ 2.15

การงอหรือเหยียดที่มากกว่าตำแหน่งปกติ (Hyperflexion and Hyperextension) เช่น การเหยียดต้นขาหรือการงอขาในลักษณะที่มากกว่าปกติ ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 การยกหรือลดของอวัยวะ
ที่มา : จิราพร วรเสน, 2550



รูปที่ 2.16 การงอหรือเหยียดที่มากกว่าตำแหน่งปกติของอวัยวะ

ที่มา : รัชชานนท์ สิปปภากุล, 2548, น. 67 - 68

2.2.3.2 ข้อจำกัดการเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

1) การเคลื่อนไหวส่วนศีรษะและคอ สามารถเคลื่อนไหวได้ทั้งแบบการงอ - เหยียด การงอและเหยียดเกินตำแหน่งปกติ การกาง - หุบ และหมุน โดยมีจุดหมุนบริเวณข้อต่อระหว่างฐานกระดูกโกลกศีรษะกับกระดูกต้นหลังส่วนคอชิ้นที่ 1 (Atlanto - Occipital Joint) ลักษณะการเคลื่อนไหวและข้อจำกัดโดยประมาณเป็นไปดังรูปที่ 2.17

2) การเคลื่อนไหวส่วนลำตัว สามารถเคลื่อนไหวได้ทั้งแบบการงอ - เหยียด การงอและเหยียดเกินตำแหน่งปกติ การกาง - หุบ และหมุน ลักษณะการเคลื่อนไหวและข้อจำกัดโดยประมาณเป็นไปดังรูปที่ 2.18

3) การเคลื่อนไหวส่วนหัวไหล่ สามารถเคลื่อนไหวได้ทั้งแบบการงอ - เหยียด การกาง - หุบ การหมุนควง และการเคลื่อนไหวแบบยกหรือลดได้ ลักษณะการเคลื่อนไหวและข้อจำกัดโดยประมาณเป็นไปดังรูปที่ 2.19

4) การเคลื่อนไหวส่วนข้อศอก สามารถเคลื่อนไหวในลักษณะการงอและเหยียดเท่านั้น ลักษณะการเคลื่อนไหวและข้อจำกัดโดยประมาณเป็นไปดังรูปที่ 2.20

5) การเคลื่อนไหวส่วนปลายแขน สามารถเคลื่อนไหวในลักษณะการหมุนในลักษณะการพลิกคว่ำและหงาย การเคลื่อนไหวและข้อจำกัดโดยประมาณเป็นไปดังรูปที่ 2.20

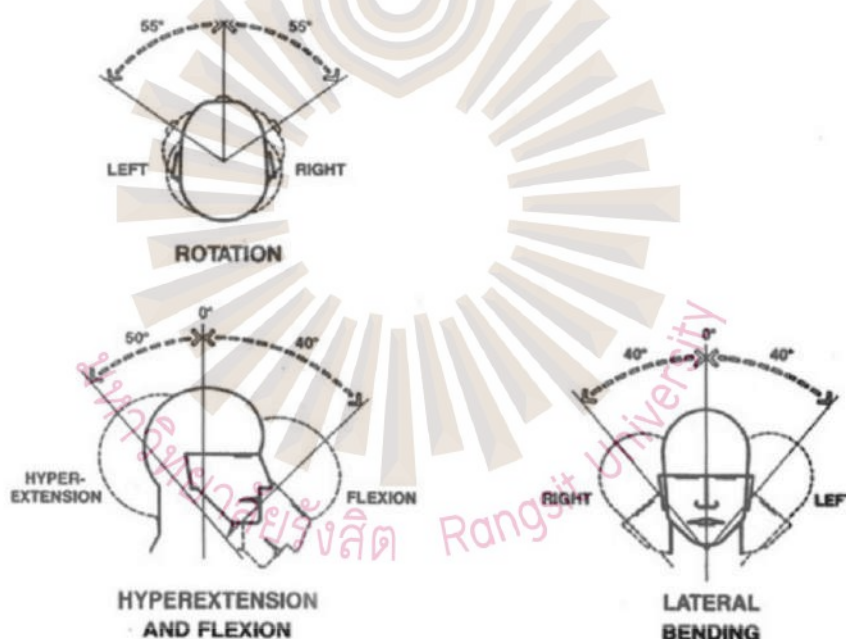
6) การเคลื่อนไหวส่วนมือและข้อมือ สามารถเคลื่อนไหวได้ทั้งแบบการงอ - เหยียด การกาง - หุบ การงอและเหยียดเกินตำแหน่งปกติ และส่วนนิ้วมือสามารถเคลื่อนไหวได้ทั้ง

การงอ - เหยียด การกาง - หุบ และการหมุนควง การเคลื่อนไหวและข้อจำกัดโดยประมาณเป็นไปดังรูปที่ 2.21

7) การเคลื่อนไหวส่วนสะโพก สามารถเคลื่อนไหวได้ทั้งแบบการงอ - เหยียด การกาง - หุบ การหมุนควง และการเคลื่อนไหวแบบขกหรือลดได้ มีการเคลื่อนไหวอิสระคล้ายกับส่วนหัวไหล่ ลักษณะการเคลื่อนไหวและข้อจำกัดโดยประมาณเป็นไปดังรูปที่ 2.22

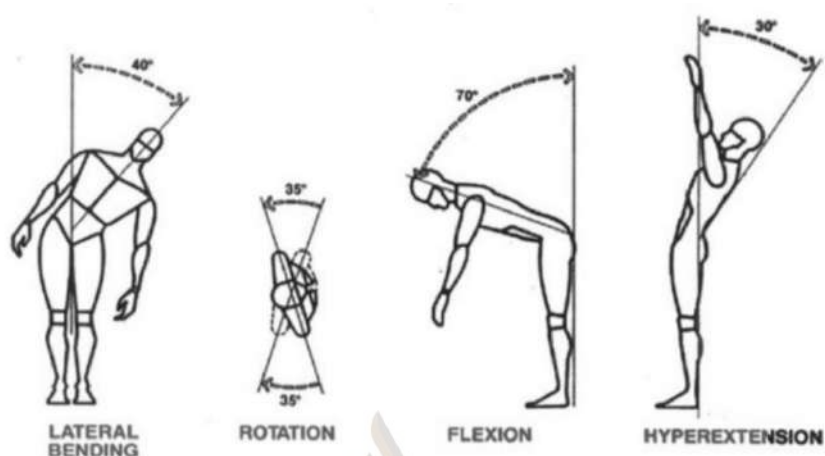
8) การเคลื่อนไหวส่วนหัวเข่า สามารถเคลื่อนไหวในลักษณะการงอและเหยียดเท่านั้น ลักษณะการเคลื่อนไหวและข้อจำกัดโดยประมาณเป็นไปดังรูปที่ 2.22 - 2.23

9) การเคลื่อนไหวส่วนเท้า สามารถเคลื่อนไหวในลักษณะการงอ - เหยียด โดยในส่วนของนิ้วเท้าสามารถเคลื่อนไหวได้ทั้งแบบการงอ - เหยียดและการกาง - หุบ ลักษณะการเคลื่อนไหวและข้อจำกัดโดยประมาณเป็นไปดังรูปที่ 2.24



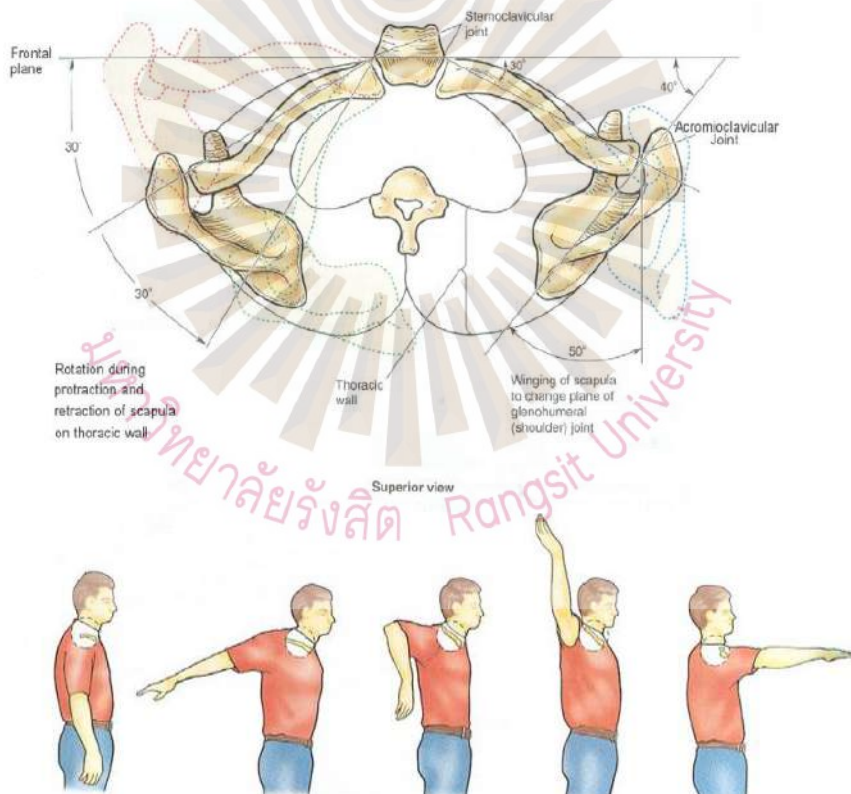
รูปที่ 2.17 การเคลื่อนไหวส่วนศีรษะและคอ

ที่มา : Panero & Zelnik, 1979, p. 115



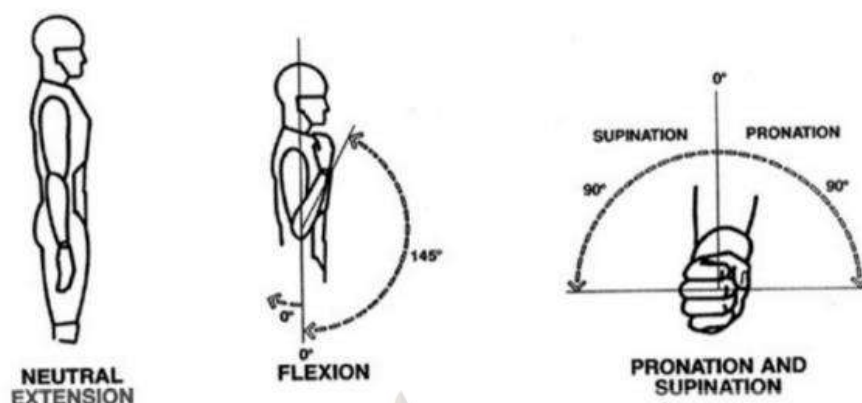
รูปที่ 2.18 การเคลื่อนไหวส่วนลำตัว

ที่มา : Panero & Zelnik, 1979, p. 115



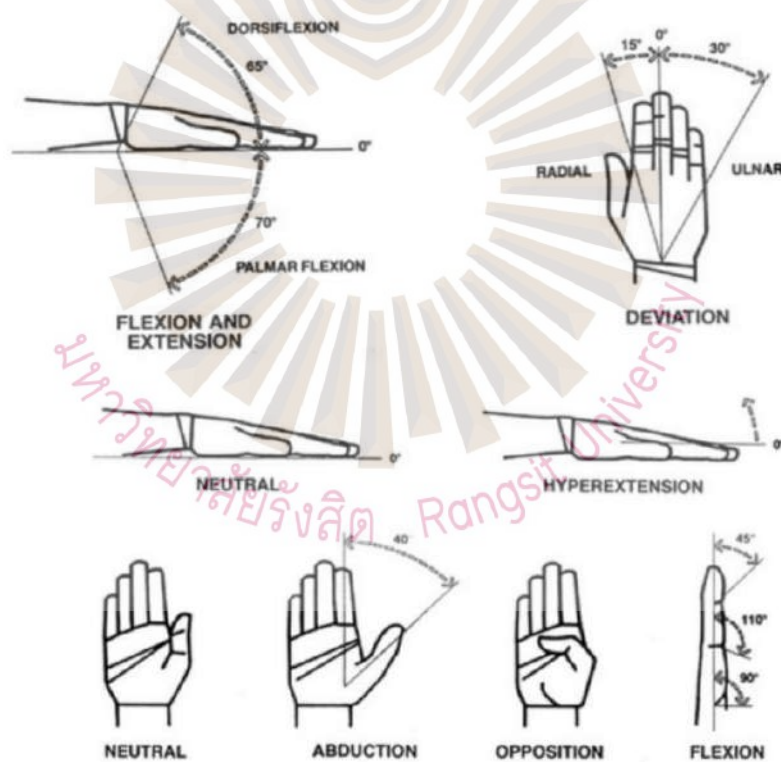
รูปที่ 2.19 การเคลื่อนไหวของข้อต่อบริเวณหัวไหล่ (บน) และส่วนหัวไหล่ (ล่าง)

ที่มา : จิราพร วรเสน, 2550



รูปที่ 2.20 การเคลื่อนไหวของข้อศอก (ซ้าย) และ ปลายแขน (ขวา)

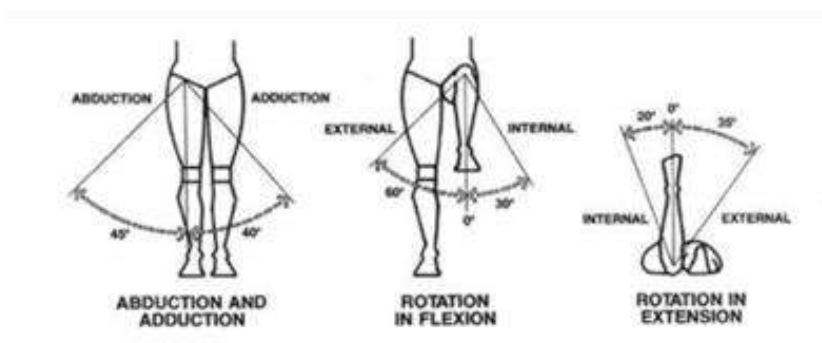
ที่มา : Panero & Zelnik, 1979, p.116



รูปที่ 3.12 การเคลื่อนไหวส่วนของนิ้วมือ (ที่มา : Panero and Zelnik. 1979 : 117)

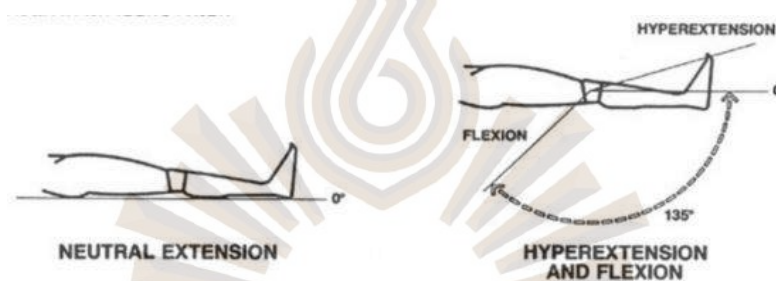
รูปที่ 2.21 การเคลื่อนไหวของมือ (บน) และนิ้วมือ (ล่าง)

ที่มา : Panero & Zelnik, 1979, p. 117



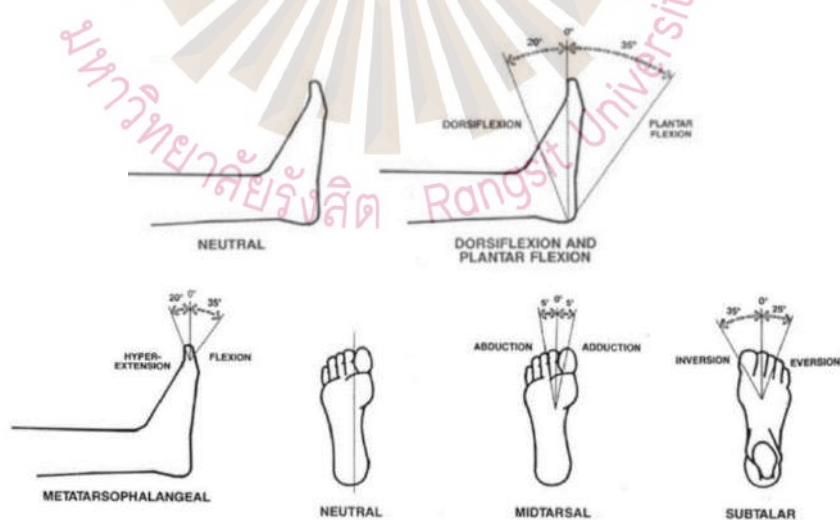
รูปที่ 2.22 การเคลื่อนไหวส่วนสะโพก

ที่มา : Panero and Zelnik, 1979, p. 118



รูปที่ 2.23 การเคลื่อนไหวส่วนหัวเข่า

ที่มา : รัชชานนท์ สิปป์ภากุล, 2548, น. 67



รูปที่ 2.24 การเคลื่อนไหวเท้าและนิ้วเท้า

ที่มา : Panero & Zelnik, 1979, น. 119

2.2.4 มานุษยวิทยากายภาพเกี่ยวกับการวัดร่างกาย (Anthropometry)

เป็นหนึ่งในสาขาวิชาของมานุษยวิทยากายภาพ (Physical Anthropology) ที่แตกแขนงออกเป็นวิชามานุษยวิทยากายภาพเกี่ยวกับการวัดร่างกาย โดยเป็นศาสตร์แห่งการวัดและการประยุกต์ใช้ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ ความแข็งแรงและมิติของร่างกายมนุษย์ เพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะของร่างกายมนุษย์ที่มีความแตกต่างกัน เช่น ขนาดร่างกาย ความแข็งแรงและความสามารถในการทำงานของร่างกาย ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามพื้นที่หรือเผ่าพันธุ์ ชาตินาเกิด (ศรดา จิรัฐกุลธนา, 2564) โดยในทางการยศาสตร์ได้นำข้อมูลดังกล่าวประยุกต์ใช้ในการออกแบบเพื่อการกำหนดขนาดมิติต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับผู้ใช้งาน โดยแบ่งออกเป็น 2 มิติหลักที่ใช้ในการออกแบบ คือ

2.2.4.1 มิติเผื่อ (Clearance Dimensions) หมายถึง การมีช่องว่างน้อยสุดระหว่างคนทำงานกับสถานงาน เช่น การออกแบบการใช้งาน ช่องทางสำหรับการซ่อมบำรุงต่าง ๆ จำเป็นต้องออกแบบให้สามารถใช้ได้ทุกคนโดยออกแบบระยะเผื่อจากการอ้างอิงขนาดของคนที่รูปร่างใหญ่ที่สุดจากประชากรผู้ใช้งาน ดังเช่นการออกแบบประตูหรือช่องทางเดินที่ได้มาจากมิติของผู้ใช้ที่มีรูปร่างใหญ่ที่สุด

2.2.4.2 มิติเอื้อมถึง (Reach Dimension) หมายถึง ช่องว่างที่มากที่สุดที่ยอมรับได้สำหรับผู้ใช้งาน โดยออกแบบระยะเอื้อมถึงจากมิติผู้ใช้งานที่เล็กที่สุด เช่น การออกแบบอุปกรณ์คันโยก หรือตำแหน่งความสูงบานพับต่าง ๆ ซึ่งต้องใช้ข้อมูลมิติของผู้ใช้ที่มีรูปร่างเล็กที่สุด เพื่อให้ผู้ใช้งานที่มีรูปร่างเล็กสามารถเอื้อมถึงในการใช้งานได้

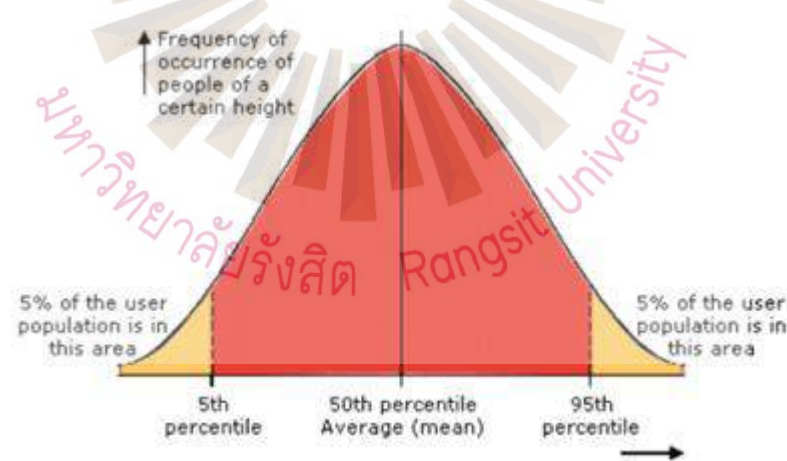
2.2.5 แนวคิดหลักในการออกแบบเชิงการยศาสตร์

แนวทางการออกแบบที่นักการยศาสตร์ใช้ในการนำข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพและสัดส่วนร่างกายมาประยุกต์ใช้เพื่อการออกแบบสำหรับผู้ใช้งานแบบไม่เฉพาะเจาะจงหรือผู้ใช้งานเฉพาะกลุ่ม โดยอาศัยข้อมูลสัดส่วนร่างกาย (Anthropometric Data) ที่เป็นข้อมูลทางสถิติแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ไทล์ (Percentile) หรือค่าร้อยละของกลุ่มประชากร ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ค่าหลัก คือ ค่าขนาดเล็ก (5 Percentile) ค่าขนาดเฉลี่ย (50 Percentile) และค่าขนาดใหญ่ (95 Percentile) ดังรูปที่ 2.25 การเลือกใช้ข้อมูลดังกล่าวเพื่อการออกแบบจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การในงาน โดยแนวคิดหลักในการออกแบบเชิงการยศาสตร์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะดังนี้

2.2.5.1 การออกแบบเพื่อกลุ่มโดยเฉลี่ย (Design for the Average) เป็นการออกแบบเพื่อประชากรทุกกลุ่มโดยอาศัยค่าเฉลี่ยของประชากรทุกกลุ่มเป็นจำนวนมาก ซึ่งมักใช้ช่วง 50 เปอร์เซนต์ไทล์เป็นข้อมูลมาตรฐานในการออกแบบ มักใช้กับอาคารหรือสถานที่สาธารณะ เช่น ที่นั่งต่าง ๆ ตู้คนน้ำสาธารณะ หรือเก้าอี้รถบัส

2.2.5.2 การออกแบบสำหรับบุคคลที่มีขนาดสุด ๆ (Design for Extremes) เป็นการออกแบบเพื่อประชากรกลุ่มเฉพาะ โดยใช้ข้อมูลค่าขนาดเล็ก (ต่ำกว่า 5 Percentile) หรือข้อมูลขนาดใหญ่ (มากกว่า 95 Percentile) เป็นมาตรฐานในการออกแบบ ซึ่งอาจมีขนาดเล็กสุดหรือใหญ่สุดก็ได้ แต่อย่างไรก็ตามการออกแบบที่มีความเฉพาะเจาะจงนี้มักมีปัญหาด้านต้นทุนเนื่องจากกลุ่มผู้ใช้งานมีจำนวนน้อย หรือในกรณีการออกแบบที่มีมิติเผื่อมาก ถึงแม้จะสามารถใช้งานได้ในทุกกลุ่มประชากร แต่ก็ต้องใช้ต้นทุนสูงจากพื้นที่หรือวัสดุที่ต้องใช้เป็นจำนวนมากตามมาเช่นกัน

2.2.5.3 การออกแบบสำหรับกลุ่มประชากร (Design for Range) เป็นการออกแบบสำหรับประชากรเป็นกลุ่ม ซึ่งใช้ช่วงระหว่างเปอร์เซนต์ไทล์ที่ 5 และ 95 มาเป็นข้อมูลมาตรฐานในการออกแบบ โดยกำหนดช่วง (Range) ข้อมูลที่ใช้เพื่อนำมาออกแบบ ซึ่งผลที่ได้จะครอบคลุมกลุ่มประชากร 90% ในช่วงที่กำหนด โดยในการออกแบบจริงสามารถปรับช่วงนี้ให้แคบลงหรือใหญ่ขึ้นได้เพื่อให้เหมาะสมตามลักษณะการใช้งานหรือต้นทุนการผลิต



รูปที่ 2.25 กราฟค่าเปอร์เซนต์ไทล์ของกลุ่มประชากร

ที่มา :ศรุตา จิรัฐกุลธนา, 2564

สมบัติทางกายภาพและมิติสัดส่วนของร่างกายมนุษย์เป็นพื้นฐานสำคัญในการวิเคราะห์ออกแบบเชิงการยศาสตร์ โดยเฉพาะการออกแบบเพื่อกลุ่มประชากรนั้นยิ่งทวีความสำคัญมากขึ้นไปอีก ผู้ออกแบบจึงต้องพิจารณาถึงทุกองค์ประกอบอย่างละเอียดถี่ถ้วน ต้องเข้าใจถึง

กระบวนการได้มาของข้อมูลต่าง ๆ วิธีการวัด ตลอดจนกลุ่มประชากรที่เหมาะสมในการเลือกใช้ข้อมูล ในการออกแบบผู้ออกแบบจำเป็นต้องกำหนดถึงกลุ่มประชากรผู้ใช้เครื่องมือให้ชัดเจน เช่น เป็นพลเรือนพื้นที่ใด เพศ หรือช่วงวัยใด เพื่อต่อยอดถึงการเลือกใช้อัตราส่วนร้อยละของประชากรให้เหมาะสม หลังจากนั้นจึงใช้ข้อมูลที่ได้นำมากำหนดมิติสำคัญต่าง ๆ ในการออกแบบ โดยหากผู้ออกแบบมีความเข้าใจในการเลือกใช้และกำหนดข้อมูลเหล่านี้แล้วจะส่งผลให้กระบวนการทำงานหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบนั้นมีความถูกต้องเหมาะสมตามหลักทฤษฎีด้วยเช่นกัน

2.3 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FINITE ELEMENT METHOD; FEM หรือ FINITE ELEMENT ANALYSIS; FEA)

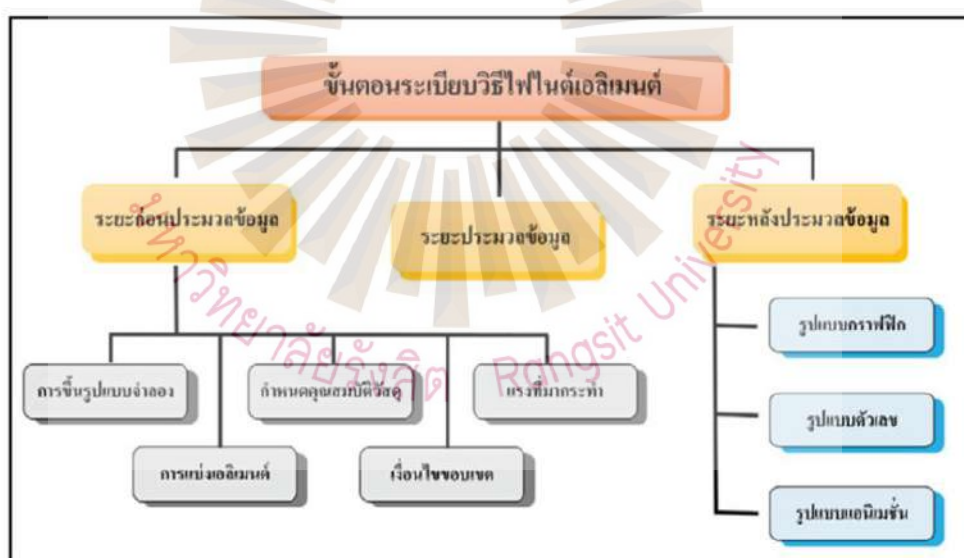
ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นการประยุกต์ใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equation) ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนด เพื่อทำนายถึงพฤติกรรมของวัสดุโดยประมาณ (Approximate Solution) ซึ่งสามารถประเมินพฤติกรรมของวัสดุเป็นผลลัพธ์ทั้งในเชิงโครงสร้าง (Structure) ความร้อน (Heat transfer) หรือของไหล (Fluid) (Pavlou, 2015)

ในอดีตที่ผ่านมาการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ เป็นการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์โดยใช้กระบวนการหาผลเฉลยแบบแม่นยำ (Exact Solution) ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการแก้สมการที่มีหลากหลายวิธีเพื่อแก้สมการในรูปแบบที่ต่างกัน แต่ทว่ายังพบข้อจำกัดอยู่หลายประการ เนื่องจากกระบวนการหาผลเฉลยแบบแม่นยำสามารถใช้ได้กับปัญหาง่าย ๆ ที่ไม่ซับซ้อนมากนัก ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วรูปแบบของปัญหามีความซับซ้อนทั้งจากรูปร่างตัวชิ้นงานเอง ทิศทางแรงกระทำ อุณหภูมิขณะนั้น ๆ รวมไปถึงสภาพแวดล้อมที่กำหนด จึงทำให้กระบวนการหาผลเฉลยแบบแม่นยำตรงแทบไม่สามารถใช้งานในการแก้ปัญหามาจริงได้เลย ดังนั้นเพื่อลดความซับซ้อนในการแก้สมการกระบวนการแก้ปัญหของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงใช้เป็นแบบกระบวนการหาผลเฉลยโดยประมาณ (Approximate Solution) จาก 3 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ สมการเชิงอนุพันธ์ , เงื่อนไขขอบเขต และรูปร่างของปัญหา โดยทำการวิเคราะห์ปัญหาทั้ง 3 ส่วนนี้ ไปพร้อม ๆ กัน สมการเชิงอนุพันธ์ในรูปแบบของค่าอนุพันธ์ (Derivative) จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสมการพีชคณิต (Algebraic Equation) ซึ่งมีความซับซ้อนน้อยลงมากและสามารถแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นตัวเลขได้ ทำให้การแก้ปัญหามีความสะดวกรวดเร็วมากขึ้น (Stolarski, Nakasone, & Yoshimoto, 2018) โดยเฉพาะในปัจจุบัน การวิเคราะห์ปัญหาคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ถูกพัฒนามากขึ้นโดย

ได้ผนวกรวมกับวิทยาการคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณและวิเคราะห์ปัญหาที่มีขนาดใหญ่มาก หรือมีความซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Gosz, 2006)

2.3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาด้วยซอฟต์แวร์ ในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เนื่องจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นกระบวนการที่สามารถวิเคราะห์ปัญหาได้อย่างเป็นขั้นเป็นตอน มีระเบียบแบบแผน ให้ผลลัพธ์ที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกับปัญหาจริง ทำให้เกิดซอฟต์แวร์สำเร็จรูปจำนวนมากเพื่อใช้งานดังเช่นในปัจจุบัน ทุกซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาคด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น จำเป็นต้องมีย่อประกอบพื้นฐานสำคัญในการวิเคราะห์ ได้แก่ แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ (Geometry) ค่าเฉพาะหรือคุณสมบัติของวัสดุที่ต้องการวิเคราะห์ (Materials Parameter) เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) และ แรงที่กระทำ (Load) โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์ปัญหา ได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก (ณัฐ ดวงประทีป, พิมพ์เดือน รังษิยากุล, ชาย รังษิยากุล และกุลภพ สุทธิอาจ, 2561) ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ขั้นตอนระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ที่มา :ณัฐ ดวงรัตนประทีป และคณะ, 2561

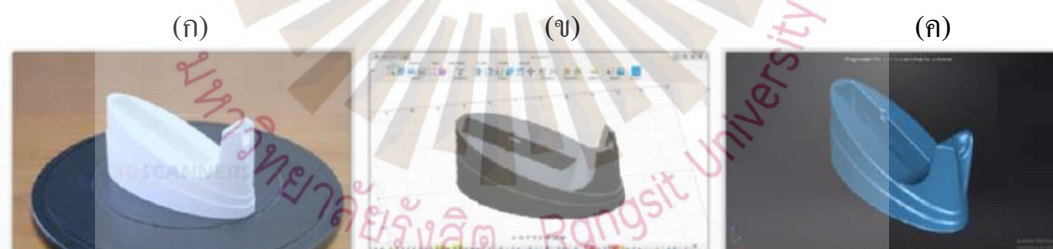
2.3.1.1 กระบวนการขั้นต้น

เป็นขั้นตอนการเตรียมองค์ประกอบสำหรับการวิเคราะห์ก่อนเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ มีความสำคัญส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ องค์ประกอบที่ดีในการวิเคราะห์ ควร

มีความเหมือนหรือใกล้เคียงชิ้นงานจริงมากที่สุด ทั้งมิติรูปร่าง คุณสมบัติทางกลหรือคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ เพื่อให้ผลลัพธ์การตอบสนองของชิ้นงานที่วิเคราะห์มีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด โดยในกระบวนการขั้นต้น สามารถแบ่งออกได้เป็นการเตรียมองค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) การขึ้นรูปแบบจำลอง (Model Simulation) เป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหา โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ออกแบบทางงานวิศวกรรม (Computer Aided Design: CAD) ตัวแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์นี้ สามารถใช้ได้ทั้งแบบสองมิติหรือสามมิติ ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ โดยแบบจำลองสามมิติจะให้ผลลัพธ์ในการวิเคราะห์ที่แม่นยำเนื่องจากแบบจำลองสามมิติมีรูปร่างที่เหมือนจริงมากกว่า แต่จะใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมวลผลมากกว่าแบบสองมิติ เนื่องจากความซับซ้อนของตัวแบบ

การขึ้นรูปแบบจำลองสามารถสร้างได้โดยการวาดขึ้นรูปจากซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ เช่น Solidworks, AutoCAD, Unigraphics ซึ่งนอกจากการสร้างแบบจำลองขึ้นมาเองแล้วยังสามารถใช้เทคนิคการสแกนสามมิติ (3D Scanning) สแกนชิ้นงานต้นแบบแล้วนำเข้า (Imported file) ไปยังซอฟต์แวร์ไฟไนต์อีลิเมนต์เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไปได้ โดยไฟล์ที่ได้จากเทคนิคสแกนสามมิตินี้ควรทำการปรับแต่งให้มีความสมบูรณ์มากขึ้นก่อนการวิเคราะห์



รูปที่ 2.27 ภาพชิ้นงานจริง (ก) ชิ้นงานจากการสแกนสามมิติ (ข) และ(ค) จากการขึ้นรูป 3D CAD

ที่มา : Sorasakon, 2023

2) การแบ่งอีลิเมนต์ (Meshing Method)

การแบ่งอีลิเมนต์ เป็นการแบ่งรูปร่าง (Meshing Geometry) ขอบเขตของปัญหาหรือชิ้นงานที่มีความซับซ้อนออกมาเป็นชิ้นส่วนย่อยขนาดเล็กหลายชิ้นเชื่อมติดกัน เรียกว่าอีลิเมนต์ (Element) เพื่อให้ง่ายในการวิเคราะห์ โดยในแต่ละอีลิเมนต์จะมีคุณสมบัติวัสดุเป็นไปตามชิ้นงานจริงที่ต้องการวิเคราะห์ เช่น ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ความหนาแน่น (Density) ค่ายังมอดูลัส (Young's modulus) หรืออัตราส่วนปัวซอง (Poisson Ratio) เป็นต้น

รูปร่างของอิลิเมนต์ได้ถูกจัดประเภทตามตามรูปร่างที่สร้างขึ้น ซึ่งลักษณะรูปร่าง ความสัมพันธ์ จุดเชื่อมต่อ และการเลือกใช้งาน ของอิลิเมนต์แต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันไป โดยรูปร่างของอิลิเมนต์สามารถแบ่งได้เป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

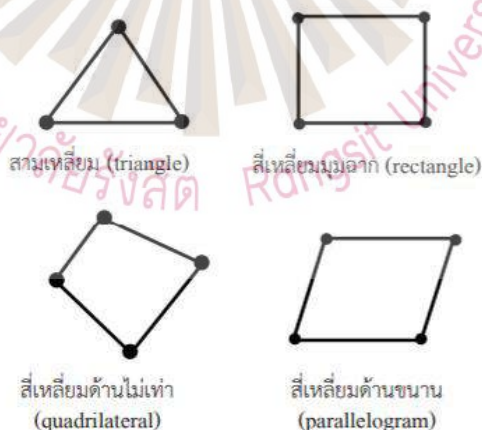
(1) รูปร่างอิลิเมนต์ 1 มิติ เป็นอิลิเมนต์ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) มีจุดเชื่อมต่อหัวและท้ายของเส้น ด้วยรูปร่างที่เป็นลักษณะเป็นเชิงเส้นดังรูปที่ 10 จึงมักถูกเลือกใช้ในการแก้ปัญหาทางานที่มีลักษณะเป็นคาน (Beam) เช่น คานเดือว โครงถัก และคานประกอบต่าง ๆ



รูปที่ 2.28 รูปร่างอิลิเมนต์ 1 มิติ

ที่มา : ฉัฐ ดวงรัตนประทีป และคณะ, 2561

(2) รูปร่างอิลิเมนต์ 2 มิติ เป็นอิลิเมนต์ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นสันหลายเส้นประกอบกันเป็นพื้นที่ (Area) หรือแผ่น (Sheet) รูปร่าง 3 เหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยม มีจุดเชื่อมต่อบริเวณมุมทุกด้านของอิลิเมนต์ ดังรูปที่ 2.29 ด้วยลักษณะรูปร่างที่เป็นแผ่น อิลิเมนต์ชนิดนี้จึงมักเลือกใช้ในการแก้ปัญหาทางานที่มีลักษณะเป็นระนาบรับแรง (Plane) หรือพื้นผิว (Surface)

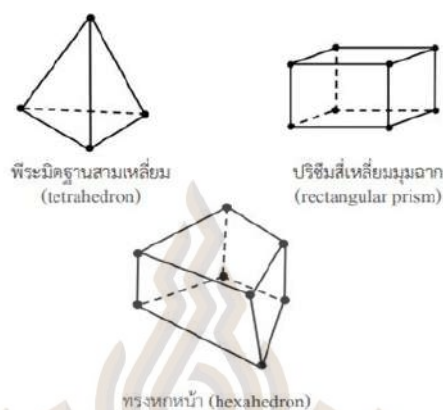


รูปที่ 2.29 รูปร่างอิลิเมนต์ 2 มิติ

ที่มา : ฉัฐ ดวงรัตนประทีป และคณะ, 2561

(3) รูปร่างอิลิเมนต์ 3 มิติ เป็นอิลิเมนต์ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นสันหลายเส้นหรือแผ่นหลายแผ่น ประกอบกันเป็นโครงสร้างรูปทรงต่าง ๆ เช่น โครงสร้างพีระมิดฐาน

สามเหลี่ยม (Tetrahedron) ปริซึมสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular Prism) หรือทรงหกหน้า (Hexahedron) ดังรูปที่ 2.30 มีจุดเชื่อมต่อบริเวณมุมทุกด้านของอิลิเมนต์ เลือกใช้กับการแก้ปัญหา งานรูปทรงสามมิติต่าง ๆ



รูปที่ 2.30 รูปร่างอิลิเมนต์ 3 มิติ

ที่มา : ฌัฐ ดวงรัตน์ประทีป และคณะ, 2561

เมื่อแบบจำลอง ถูกแบ่งเป็นหน่วยย่อยแล้วควรมีรูปร่างใกล้เคียงกับรูปร่างชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์มากที่สุด ขนาด รูปร่างและจำนวนของอิลิเมนต์ที่ถูกแบ่งจะมีความสัมพันธ์กับรูปร่างและขนาดของชิ้นงาน ซึ่งผู้ปฏิบัติสามารถเลือกกำหนดให้เหมาะสมได้ตามการใช้งาน ด้านปลายของแต่ละอิลิเมนต์ที่อยู่ติดกันมีจุดต่อเชื่อมกันเป็นโครงสร้าง และสามารถกำหนดเพิ่มจุดเชื่อมต่อตรงกลาง (Mid Side Node) ระหว่างปลายสองด้านของอิลิเมนต์เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำมากขึ้น หากขนาดและจำนวนของอิลิเมนต์มีจำนวนมากจะช่วยให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันการประมวลผลจากคอมพิวเตอร์ต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น จากอิลิเมนต์และจุดเชื่อมต่อที่มีจำนวนมากเช่นกัน ดังนั้นผู้วิเคราะห์ควรให้ความสำคัญกับการเลือกกำหนดขนาด รูปร่างและจำนวนของอิลิเมนต์ให้เหมาะสม เพื่อให้การวิเคราะห์ผลมีความแม่นยำ เหมาะสมกับอุปกรณ์ซอฟต์แวร์ที่ใช้ และไม่ใช้เวลามากเกินไป

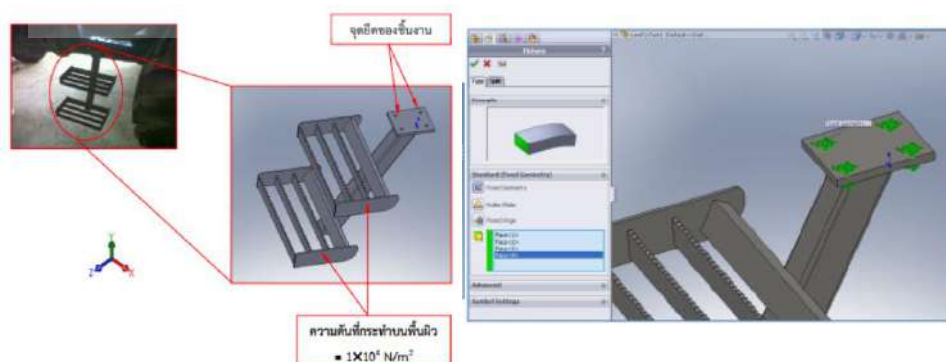
3) การกำหนดคุณสมบัติวัสดุ

เป็นการกำหนดค่าคุณสมบัติทางกล (Physical Properties) ของวัสดุชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์ เพื่อกำหนดเป็นตัวแปรในสมการที่ใช้วิเคราะห์ ซึ่งมีความสำคัญในการประมวลผลผลลัพธ์พฤติกรรมตอบสนองของชิ้นงานเมื่อได้รับแรงในทิศทางต่าง ๆ โดยคุณสมบัติทางกลของแต่ละวัสดุจะมีความแตกต่างกันไปตามโครงสร้างจุลภาค (Micro Structure) ภายในของวัสดุ โดยค่าคุณสมบัติของวัสดุที่สำคัญมักนำมาใช้กำหนดในการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์อิลิเมนต์ ได้แก่ ค่า

ความแข็งแรงดึง (Tensile Stress) ค่าความแข็ง (Hardness) ค่าอัตราส่วนปัวซอง (Passion Ratio) ค่าความเค้น ณ จุดคราก (Yield stress) ค่าความเค้นผสมรวม (Von Mises Stress) ฯลฯ โดยสำหรับวัสดุที่มีมาตรฐานรับรอง สามารถหาค่าคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นมาตรฐานได้ตามเว็บไซต์ต่าง ๆ ได้ แต่ในกรณีวัสดุที่ไม่ทราบชนิดอาจต้องใช้การทดสอบทางกล (Mechanical Testing) ร่วมด้วยเพื่อหาค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุนั้น ๆ และเนื่องจากคุณสมบัติทางกลของวัสดุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุจึงควรกำหนดให้เหมือนหรือมีความใกล้เคียงกับชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์ที่สุด

4) การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

เป็นการกำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขตของชิ้นงานที่วิเคราะห์ เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขสำหรับประมวลผล ค่าตัวแปรที่ใช้เป็นการกำหนดบริเวณจุดต่อใด ๆ ของชิ้นงานให้เป็นจุดต่อที่มีการขยับได้หรือจุดต่อใดให้เป็นจุดต่อที่หยุดนิ่ง (Zero Displacement) และในลักษณะงานที่มีหลายชิ้นประกอบกันการกำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขตจะมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น โดยมีการกำหนดขอบเขตเพิ่มระหว่างจุดต่อของหน้าสัมผัส (Contact) แต่ละชิ้น ให้เป็นหน้าสัมผัสที่มีความสัมพันธ์แบบต่าง ๆ เช่น Bond Contact, Separate Contact, Frictionless Contact etc. ซึ่งหน้าสัมผัสแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมต่อการรับแรงในทิศทางต่าง ๆ ที่ต่างกันออกไป (Academy, 2022) การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตส่งผลกับความเสรีของแต่ละจุดต่อ การอนุญาตให้จุดต่อสามารถเคลื่อนที่ได้หรือหยุดนิ่ง และการเคลื่อนที่ระหว่างจุดสัมผัสสามารถเคลื่อนที่ไปได้มากน้อยเพียงใด ทำให้ปัญหาวิเคราะห์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เสมือนการบอกสถานะของชิ้นงานวิเคราะห์ว่าถูกจับยึดหรือถูกสวมประกอบในลักษณะใด ดังแสดงในรูปที่ 2.31 ดังนั้นการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญในการประมวลข้อมูล ซึ่งควรกำหนดให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้



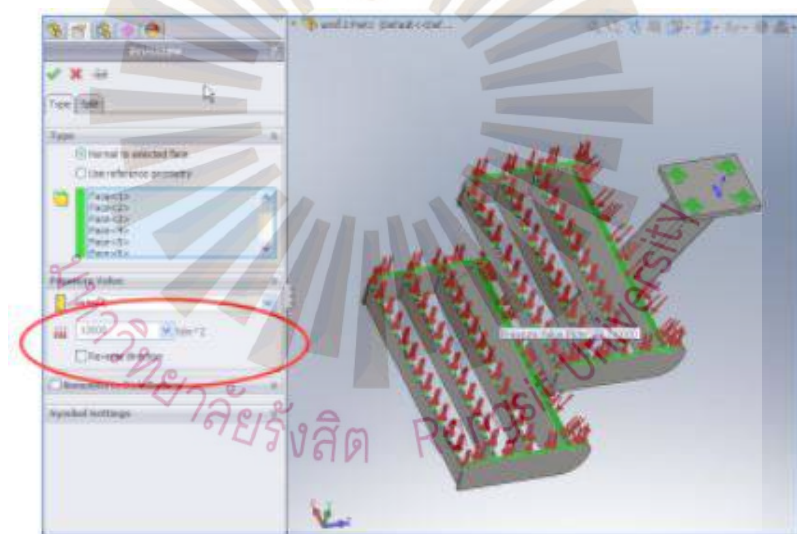
รูปที่ 2.31 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

ที่มา : เกรียงไกร แซ่มสีม่วง, 2565

5) การกำหนดพลังงานภายนอกที่กระทำ

เป็นการกำหนดค่าพลังงานภายนอกที่กระทำกับชิ้นงานวิเคราะห์ ซึ่งสามารถกำหนดได้ในหลายรูปแบบ ได้แก่ พลังงานความร้อน ความดัน หรือแรง ที่กระทำบนตำแหน่งหรือพื้นที่ การกำหนดปริมาณตำแหน่งและทิศทาง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นงานเกาอี้ซึ่งเป็นวัสดุแข็งแรง โดยทั่วไปมักวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยจำลองลักษณะการรับแรงที่กระทำในทิศทางต่าง ๆ โดยกำหนดพลังงานภายนอกเป็นแรงจากน้ำหนักตัวของผู้นั่งกระทำบนเกาอี้ในทิศทางตามแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของเกาอี้เมื่อรับน้ำหนักจากการนั่ง

การเตรียมองค์ประกอบในกระบวนการขึ้นต้น เป็นการกำหนดค่าตัวแปรเพื่อตั้งต้นในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ทุกองค์ประกอบมีความสำคัญส่งผลต่อการประมวลผลและผลลัพธ์ที่ได้ ดังนั้นในกระบวนการขึ้นต้น การกำหนดข้อมูลที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงที่ต้องการวิเคราะห์ มีความถูกต้องชัดเจน จะส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้นตามไปด้วย



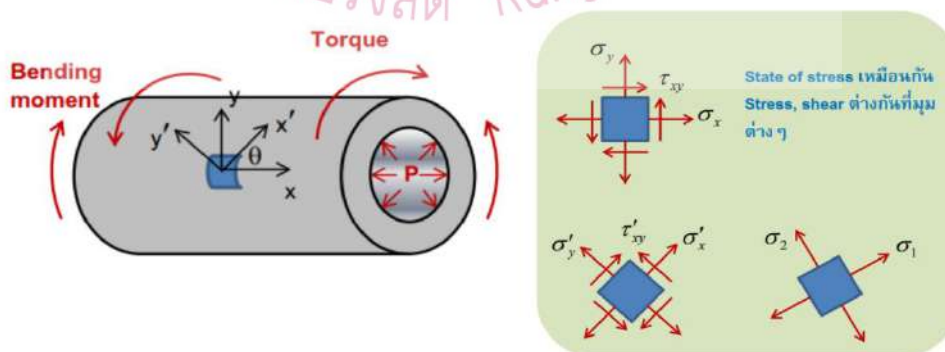
รูปที่ 2.32 การกำหนดพลังงานภายนอกที่กระทำ

ที่มา : เกรียงไกร แซ่มสีม่วง, 2565

2.3.1.2 กระบวนการวิเคราะห์

เป็นกระบวนการประมวลผลข้อมูล โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์วิเคราะห์ทางงานวิศวกรรม (Computer Aided Engineering: CAE) ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล นำมาจากองค์ประกอบในกระบวนการขึ้นต้น สร้างเป็นสมการรวมระบบแล้วทำการประมวลผล หลังประมวลผลเสร็จจึงแสดงคำตอบออกมาในรูปผลลัพธ์โดยประมาณของแต่ละเอลิเมนต์ที่มีความ

เปลี่ยนแปลงไป เช่น ค่าความเค้น ความเครียด พลังงานความร้อน ทิศทางการเคลื่อนที่ หรือทิศทางการเสียรูปของอิลิเมนต์ เมื่อได้รับพลังงานเข้ามากกระทำดังสมการ ความแม่นยำของผลลัพธ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับวิธีการทุกองค์ประกอบที่เตรียมจากกระบวนการขึ้นต้น ซึ่งหากกำหนดองค์ประกอบต่าง ๆ ได้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมาก ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความแม่นยำมากขึ้นตามไปด้วย ระยะเวลาในการประมวลผลข้อมูลขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของอุปกรณ์และจำนวนองค์ประกอบในสมการที่ใช้วิเคราะห์ โดยสมการที่ใช้ในการประมวลผลจะแตกต่างกันตามรูปแบบการวิเคราะห์ สำหรับการวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นงาน มักใช้การพิจารณาจากความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานภายใต้ขอบเขตที่กำหนดซึ่งสอดคล้องตามการใช้งานจริง นำมาเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงของตัววัสดุ หรือจุด Yield Strength ของวัสดุ ซึ่งหมายถึง หากวัสดุได้รับค่าความเค้นเกินจุด Yield Strength ของตัววัสดุจะทำให้เกิดการเสียรูปแบบถาวร (Plastic Deformation) ประมวลผลจากแบบจำลอง 3 มิติ โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกตามแนวแกน X Y และ Z แสดงผลลัพธ์เป็นความเค้นในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ความเค้นหลัก (Principal Stress) ความเค้นอัด (Compressive Stress) ความเค้นเฉือน (Shear Stress) หรือความเค้นดึง (Tensile Stress) ที่เกิดขึ้นในแต่ละแนวแกน สรุปรวมเป็นความเค้นผสมรวมหรือ Von Mises Stress เพื่อนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบต่อไปซึ่งช่วยลดภาระในการประมวลผลลดเวลาทำงาน มีความแม่นยำสูงและเพิ่มประสิทธิภาพผลลัพธ์ได้เป็นอย่างดี การคำนวณเริ่มจากทฤษฎีตั้งต้นของ Henri Tresca ปี ค.ศ. 1864 ซึ่งกล่าวถึงการเสียรูปแบบถาวรหรือ Plastic Deformation และเกณฑ์การพิจารณา โดยกำหนดความเสียหายแบบถาวรของวัสดุจะเกิดขึ้นได้เมื่อค่าความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum Shear Stress) มีค่าเท่ากับค่าความเค้นเฉือน (Shear Stress) ของวัสดุที่จุด Yield Strength ของอิลิเมนต์ที่ถูกทำ Tensile Test ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของ Shear Stress / Principal Stress และ Yield Stress แสดงดังรูปที่ 2.32 และ สมการที่ 1 – 2



รูปที่ 2.33 ความสัมพันธ์ของ Shear Stress / Principal Stress และ Yield Stress

ที่มา : Chulalongkorn University, 2021

กรณีที่เกิด yield ในวัสดุนั้น ค่าความเค้นเฉือน (Shear Stress) ความเค้นหลัก (Principal Stress) และ ค่าความเค้นคราก (Yield Stress) มีความสัมพันธ์กันดังรูปสมการ

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_y}{2} \quad (2-1)$$

และ

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_y \quad (2-2)$$

หลังจากนั้นในปี 1913 Richard Von Mises ได้เสนอทฤษฎีเพิ่มเติมโดยพิจารณาค่าความเค้นหลัก (Principal) ที่เกิดขึ้นจากทั้ง 3 แนวแกนร่วมด้วย ซึ่งสามารถแสดงได้ดัง สมการที่ 3 และ 4 สรุปเป็นผลลัพธ์รวมเป็นค่าความเค้น (Stress) 1 ตัว เพื่อใช้พิจารณาเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรง (Yield Strength) ของวัสดุต่อไป

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1} \quad (2-3)$$

สรุปได้ว่า วัสดุจะเกิด Yield เมื่อ

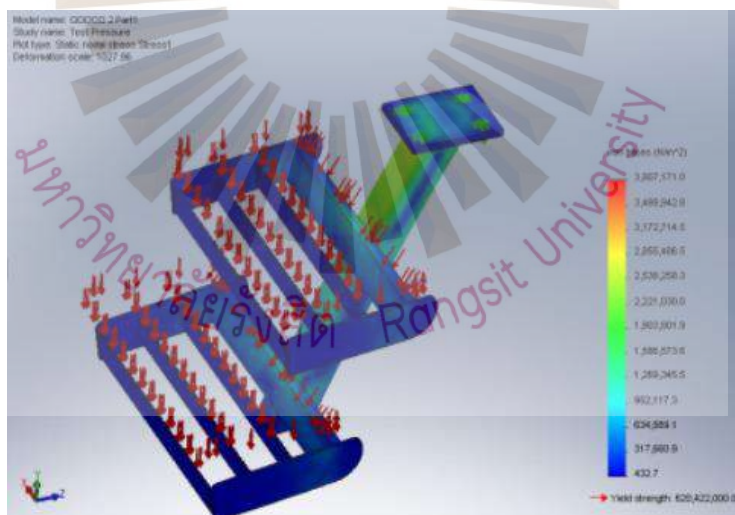
$$\sigma' = \sigma_y \quad (2-4)$$

ชุดสมการในการประมวลผลนั้นมีจำนวนมากซึ่งจะถูกแบ่งย่อยและกำหนดให้เหมาะสมกับหมวดหมู่ในการวิเคราะห์ เช่น การวิเคราะห์ในสภาวะสมดุลสถิตหรือภาคสถิต (Static Equilibrium Load) หรือแบบภาคพลวัต (Dynamic Load) โดยผู้ใช้งานควรเลือกใช้ให้เหมาะสม เพื่อให้การวิเคราะห์มีความถูกต้องตามสภาพการณ์จริง การวิเคราะห์งานมีขนาดใหญ่ มีความซับซ้อน หรือมีจำนวนอีเลเมนต์จำนวนมากจะส่งผลให้การประมวลผลใช้เวลานานเนื่องจากข้อมูลที่ใช้ประมวลผลมีจำนวนมาก โดยเฉพาะงานวิเคราะห์ที่มีอีเลเมนต์จำนวนมาก แม้จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ได้มีความละเอียดสูงจากจำนวนของข้อมูล แต่อย่างไรก็ตามความถูกต้องแม่นยำจากการประมวลผลนั้นขึ้นอยู่กับข้อกำหนดองค์ประกอบทุกส่วนในขั้นตอนให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงที่สุด มิใช่เพียงจำนวนของอีเลเมนต์หรือองค์ประกอบใดเพียงตัวเดียวเท่านั้น ดังนั้นการกำหนดจำนวนขององค์ประกอบให้เหมาะสมเพื่อลดเวลาในการประมวลผลจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ปฏิบัติงานควรพิจารณา โดยในปัจจุบันมีหลายซอฟต์แวร์ที่พัฒนาเพิ่มการวิเคราะห์ด้วยระเบียบไฟไนต์อีเลเมนต์เข้าเป็นอีกหนึ่งโมดูลของซอฟต์แวร์ ทำให้การปรับแต่งแก้ไขรูปร่างชิ้นงานหลังการวิเคราะห์รวมทั้งการวิเคราะห์ชิ้นงานหลังปรับแก้อีกครั้งสามารถทำได้ง่าย ช่วยลดปัญหาจากการโอนย้ายไฟล์ระหว่างซอฟต์แวร์ เนื่องจากองค์ประกอบทั้งหมดเตรียมจากซอฟต์แวร์เดียว ทำให้การเตรียมองค์ประกอบ

ในการวิเคราะห์ทำได้สะดวกมากยิ่งขึ้น โดยซอฟต์แวร์ที่นิยมใช้ทั่วไป ได้แก่ Ansys, Solidworks Simulation, NX CAE เป็นต้น

2.3.1.3 กระบวนการขึ้นท้าย

ในกระบวนการขึ้นท้าย เป็นการแสดงผลลัพธ์หลังการประมวลผล ซอฟต์แวร์แสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าสำคัญต่าง ๆ เช่น ค่าความเค้นผสมรวม (Von Mises Stress) ค่าความเค้นหลัก (Principle Stress) ค่าความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ในทิศทางต่าง ๆ ออกมาเป็นค่าตัวเลขแล้วทำการแสดงผลในลักษณะกราฟฟิก (Graphical Output) สามารถแสดงรายละเอียดปลีกย่อย เช่น เส้นชั้น (Contour) แถบสี (Fring) หรือ เวกเตอร์ (Vector) ทั้งยังสามารถแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบภาพเคลื่อนไหว (Animate Output) แสดงการถ่ายทอดพลังงาน ทิศทาง และพฤติกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานวิเคราะห์ (ปราโมทย์ เดชะอำไพ และคณะ, 2555) ดังแสดงในรูปที่ 2.33 ผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์มีการทำเส้นชั้นแบ่งแนวระดับความรุนแรงที่เกิดออกเป็นแถบสีต่าง ๆ มีความชัดเจนเป็นรูปธรรมและสวยงาม เห็นแนวโน้มหรือตำแหน่งที่เกิดปัญหาอย่างชัดเจน การนำเสนอทำให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจและตัดสินใจ ผู้ปฏิบัติงานสามารถตรวจสอบซ้ำหรือปรับค่าองค์ประกอบขึ้นต้นแล้วทำการทดสอบซ้ำเดิมได้ตามความต้องการ



รูปที่ 2.34 ผลลัพธ์การเลื่อยรูปของชิ้นงานเมื่อได้รับแรงกระทำ

ที่มา : เกรียงไกร แซ่มสีม่วง, 2565

2.3.2 การแปลผลข้อมูลจากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Interpretation) และการประยุกต์ใช้ในงานสร้างต้นแบบเตียงพับ

ผลลัพธ์ที่ได้หลังจากจบกระบวนการขึ้นท้าย เป็นข้อมูลหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของชิ้นงาน สามารถวิเคราะห์ได้ในหลาย ๆ ประการตามปัญหาที่ต้องการ สำหรับงานที่ต้องการวิเคราะห์ความแข็งแรงของวัสดุจะทำการพิจารณาจากค่าความเค้นและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นรวมทั้งทิศทางและตำแหน่ง โดยเฉพาะบริเวณที่เกิดความเค้นสูง เนื่องจากมีความเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายมากกว่าบริเวณอื่น การเลือกใช้วัสดุเพื่อสร้างชิ้นงานตามการวิเคราะห์มักพิจารณาเลือกใช้งานจากค่าความเค้นจุดคราก (Yield Stress) ของวัสดุ เนื่องจากเป็นจุดที่วัสดุยังคงคุณสมบัติการเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติก (Elastic Deformation) กล่าวคือวัสดุสามารถคืนรูปเดิมได้เมื่อปลดแรงกระทำหรือความเค้น โดยความเค้นที่ได้รับต้องไม่เกินความเค้นจุดครากของวัสดุนั้น ๆ การเลือกวัสดุจึงควรเลือกใช้ที่มีความค่าความเค้นจุดครากสูงกว่าค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้น ตำแหน่งที่เกิดความเค้นผสมรวมสูงสามารถปรับลดความเค้นได้จากการปรับแบบจำลองให้มีพื้นที่รับแรงมากขึ้น หรือการลบมุมตามขอบต่าง ๆ เพื่อลดความเค้นคั่ง (Stress Concentration) ที่เกิดขึ้น ซอฟต์แวร์ที่มีโมดูลสำหรับขึ้นรูปแบบจำลอง (CAD Software) พร้อมโมดูลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ (CAE Software) ในตัวเดียวจะมีความได้เปรียบ ในกรณีต้องการปรับแก้ไขแบบจำลอง โดยใช้ฟังก์ชันประกอบแบบเดิมทั้งหมด การแก้ไขสามารถแก้ไขและประมวลผลใหม่อีกครั้ง ภายในซอฟต์แวร์เดียว ลดขั้นตอนการนำเข้าไฟล์ (Import File) ระหว่างซอฟต์แวร์ ทำให้ขั้นตอนการแก้ไขและการเตรียมองค์ประกอบขึ้นต้นสะดวกขึ้นมาก โดยในการประมวลผลครั้งแรก ผู้ออกแบบมักใช้การประมาณเพื่อเตรียมองค์ประกอบขึ้นต้นในลักษณะใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง เพื่อทราบผลลัพธ์แนวโน้มที่เกิดขึ้นในเบื้องต้นแล้วทำการแก้ไขแบบจำลองให้เหมาะสม ก่อนทำการประมวลผลอีกครั้งด้วยองค์ประกอบที่มีความละเอียดถูกต้องมากกว่าครั้งแรกเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีประสิทธิภาพสูงสุด

สำหรับงานสร้างต้นแบบเตียงพับแบบปรับเอียงได้นี้ ได้นำแนวคิดการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มาใช้เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของเตียงในการรับน้ำหนักของผู้ป่วย ทั้งขณะกางปกติและขณะปรับเอนเป็นมุมต่าง ๆ เพื่อให้การออกแบบโครงสร้างทำได้ครอบคลุมมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถเลือกวัสดุที่มีความแข็งแรงเพียงพอในการใช้งานและมีน้ำหนักที่เหมาะสมสามารถใช้งานได้จริง การแก้ไขแบบจำลองและการวิเคราะห์ซ้ำ สามารถทำได้โดยไม่ต้องขึ้นรูปชิ้นงานจริง ทำให้สามารถออกแบบชิ้นงานที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานได้

ครั้งแรกที่สร้างชิ้นงานจริงหรือช่วยลดจำนวนการทดสอบชิ้นงานจริงได้ จากการประเมินแนวโน้มของผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งผลลัพธ์สามารถนำมาประเมินซ้ำและตรวจสอบได้ ช่วยให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความน่าเชื่อถือมากพอที่จะนำไปสร้างเป็นต้นแบบจริงเพื่อทดสอบทดลองใช้งานได้ในอนาคต แต่อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์เหล่านี้ เป็นเพียงการคาดคะเนโดยใช้โปรแกรมเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกแนวทางนำไปประยุกต์กับการปฏิบัติงานจริง ในการรับรองใช้งานต้นแบบจริงจึงควรสร้างชิ้นงานที่มีรูปร่าง ขนาดตามที่ทำการวิเคราะห์และทดสอบเพื่อช่วยตรวจสอบยืนยันผลจากการวิเคราะห์ต่อไป

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบและสร้างเตียงปรับได้เพื่อการจัดท่าระบายเสมหะในผู้ป่วย เป็นการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยเพื่อให้สามารถจัดท่าผู้ป่วยตามหลักการจัดทำเพื่อระบายเสมหะประกอบการรักษาด้วยการเคาะปอด สั่นปอด หรือการดูดเสมหะได้ ในการศึกษาวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงรวบรวมบทความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเตียงปรับได้และการสร้างอุปกรณ์ช่วยต่าง ๆ ที่มีจุดประสงค์หลักในการจัดท่าผู้ป่วยขณะทำการรักษา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิจัย ดังนี้

เตียงปรับได้และอุปกรณ์ช่วยจัดทำเพื่อสนับสนุนการรักษาผู้ป่วย มีการศึกษาและออกแบบสร้างเพื่อใช้งานมาอย่างยาวนานนับศตวรรษ ดังข้อมูลการวิจัยที่ได้ทำการศึกษาพบว่าในปี ค.ศ. 1912 ได้มีการออกแบบและสร้างเตียงต้นแบบปรับได้สำหรับเด็กทารกแรกเกิดจนถึง 6 ปี โดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้แยกของเสียจากการขับถ่ายลงภาชนะที่รองไว้ด้านล่างของเตียง โดยตัวเตียงทำจากไม้สามารถยืดขยายออกได้ตามขนาดของเด็กแต่ละช่วงวัย มีช่องสำหรับการขับถ่ายบริเวณช่วงกลางของเตียง และเตียงสามารถปรับเอียงเพื่อให้เด็กอยู่ในนั่งหรือนอนยกขาสูงได้ (Hoobler, 1912) โดยวิวัฒนาการของเตียงปรับได้มีการพัฒนามากขึ้น ในปี ค.ศ. 1962 ได้เริ่มออกแบบและสร้างเตียงปรับได้สำหรับผู้ป่วยติดเตียง เพื่อลดภาระในการพลิกตัวของผู้ป่วยติดเตียงและผู้ป่วยอัมพาต ช่วยให้ผู้ป่วยสามารถทำกิจกรรมอื่นได้มากขึ้น เช่น การอ่านหนังสือ ทานข้าว หรือแม้กระทั่งการยืนบนเตียง โดยเตียงมีกลไกการเคลื่อนที่ในหลายรูปแบบทั้งการเอนหลัง งอเข่า หรือยกเอียงทั้งเตียงเพื่อให้ผู้ป่วยอยู่ในท่าอื่น กลไกการปรับเตียงใช้มอเตอร์ไฟฟ้าและตัวปรับเตียงเป็นปุ่มกดซึ่งสามารถปรับได้ด้วยตัวผู้ป่วยเอง ด้วยฟังก์ชันการใช้งานที่มาก เตียงจึงทำออกมาหลายรุ่น ซึ่งมีราคาตั้งแต่ 195 - 395 ดอลลาร์สหรัฐ (Lowman & Rusk, 1962) โดยนอกจากเตียงแล้วยังมีการออกแบบอุปกรณ์อื่นด้วย อาทิเช่น เบาะพองน้ำเพื่อช่วยจัดท่าผู้ป่วยในลักษณะนอนคว่ำเพื่อผ่าตัดบริเวณส่วนหลังและ

ท้ายทอย โดยใช้เบาะรองน้ำคัตเป็นช่องเว้นบริเวณหน้า หน้าอกและหน้าท้องของผู้ป่วยเพื่อไม่ให้รบกวนระบบการหายใจของผู้ป่วยขณะทำการผ่าตัดซึ่งใช้งานได้ดีและมีราคาไม่แพง (Slemmer, 1954) และอุปกรณ์สำหรับช่วยจัดทำเพื่อการระบายเสมหะตามหลักการจัดทำเพื่อระบายเสมหะโดยเฉพาะ ออกแบบเป็นแผ่นกระดานไม้วางทำมุมกัน เพื่อให้ผู้ป่วยนอนคว่ำบนแผ่นไม้ โดยเมื่อผู้ป่วยนอนคว่ำบนแผ่นไม้แล้วผู้ป่วยจะอยู่ในลักษณะนอนคว่ำเอียงศีรษะลงหน้าอกผู้ป่วยทำมุม 45 องศากับพื้น แล้วทำการระบายเสมหะด้วยวิธีการเคาะปอดต่อไป ซึ่งพบว่าสามารถใช้งานได้ดี ไม่พบอาการไม่สบายตัวในผู้ป่วย โดยตัวบอร์ดนี้สามารถใช้เพื่อการจัดทำนอนคว่ำได้ทำเดียวเท่านั้น (Brown, 1972)

หลังช่วงปี ค.ศ. 2000 จากเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่พัฒนามากขึ้นได้ใช้โปรแกรมออกแบบสำเร็จรูปช่วยสร้างแบบจำลอง (CAD) ของเตียงหรืออุปกรณ์จัดทำมีความหลากหลายและมีระบบการควบคุมเคลื่อนที่ที่ดีมากขึ้นเพื่อจุดประสงค์ในการดูแลผู้ป่วยโดยเฉพาะกลุ่มผู้ป่วยอ่อนแรง หรือผู้ป่วยติดเตียง อาทิเช่น เตียงอเนกประสงค์เพื่อผู้ป่วยติดเตียง ซึ่งตัวเตียงมีกลไกปรับโครงเตียงเป็นมุมต่าง ๆ ได้ และมีสายพานช่วยส่งตัวผู้ป่วยจากเตียงสู่รถเข็น สร้างเป็นแบบจำลอง 3 มิติ และจำลองการเคลื่อนไหวของกลไก โดย ทำการจำลองการเคลื่อนไหวโดยการใส่แรงเข้าสู่กลไก เพื่อทราบแรงที่ใช้ในการยกโครงสร้างเตียงแต่ละจุดด้วยโปรแกรม Solidworks โดยผลการออกแบบเป็นที่น่าพอใจนำไปสู่การพิจารณาความเป็นไปได้ในการสร้างต่อไป (Peng & Lian, 2007) เตียงเพื่อการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย เป็นต้นแบบเตียงเคลื่อนที่อัตโนมัติหรือ Flex bed ซึ่งตัวเตียงสามารถเคลื่อนที่ได้อัตโนมัติเพื่อลดภาระในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยรวมทั้งการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยสู่เตียงที่มีล้อ ใช้ระบบนำทางอัตโนมัติออกแบบระบบนำทางโดยการจำลองทางคณิตศาสตร์เขียนโปรแกรมควบคุมในการหยุดหรือหลบสิ่งกีดขวางได้และสามารถปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมได้ (Wang, 2015) และการพัฒนาการออกแบบรถเข็นนอนคว่ำสำหรับผู้ป่วยติดเตียงโดยใช้หลักการพัฒนาแบบสหวิทยาการ (Interdisciplinary Development) และหลักการสรีรศาสตร์ (Ergonomic) โดยศึกษาจากรถเข็นนอนคว่ำสำหรับผู้ป่วยติดเตียงและผู้ป่วยฟื้นฟูจากการผ่าตัดช่วงหลังและสะโพก ซึ่งเป็นรถที่จัดผู้ป่วยในลักษณะนอนคว่ำเป็นหลักเพื่อบรรเทาความเจ็บปวดของผู้ป่วยบริเวณสะโพกและก้นกบ แต่ผลจากการนอนคว่ำทำให้ผู้ป่วยมีปัญหาเกิดอาการปวดคอ ไหล่ และหลังตามมา ผู้ศึกษาจึงใช้หลักการพัฒนาแบบสหวิทยาการและหลักการสรีรศาสตร์ ช่วยในการวิเคราะห์และพัฒนาการออกแบบ จากผลการพัฒนาทำให้ทีมผู้ออกแบบสามารถสร้างรถเข็นนอนคว่ำที่มีความเป็นอิสระในการใช้งานและช่วยลดอาการการปวด

จากการนอนคว่ำได้ ซึ่งยังคงทำการศึกษาควบคู่กับการออกแบบเชิงพานิชย์ต่อไป (Brose, Kilbane, Harpster, & Ho, 2016)

นอกจากในด้านการออกแบบในปัจจุบันยังมีการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ช่วยในการควบคุมกลไกการเคลื่อนที่ของเตียงด้วย โดยเฉพาะเทคโนโลยีไร้สายและสมาร์ทโฟน อาทิเช่น เตียงปรับได้เพื่อผู้ป่วยติดเตียงและผู้ป่วยทุพพลภาพ ซึ่งสามารถปรับเอียงโครงเป็นรูปแบบต่าง ๆ ช่วยในการจัดทำผู้ป่วย จากกลไกชุดยกภายใน นอกจากนี้ ยังติดตั้งระบบติดตามผู้ป่วยจากสถานะความดันเลือด อัตราการเต้นของหัวใจ อุณหภูมิ ฯลฯ สามารถติดตามและสั่งการได้จากสมาร์ทโฟน (Bunkum et al., 2018) เตียงปรับได้จากสัญญาณมือมนุษย์ ผู้ดูแลหรือผู้ป่วยสามารถปรับระดับการเอียงของเตียงในจุดต่าง ๆ ได้โดยการใช้สัญญาณมือโต้ตอบกับกล้องเว็บแคมระบบเรียลไทม์ เป็นการช่วยลดภาระให้กับผู้ดูแล และเพิ่มความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน ได้รวมถึงผู้ป่วยเอง ซึ่งผลการทดลองพบว่าเตียงสามารถปรับได้ตามสัญญาณมือที่กำหนดโดยตัวรับสัญญาณความแม่นยำในการรับสัญญาณมือสูงถึง 97% (Fayyaz, Bukhsh, Khan, Gondal, & Tahir, 2018) เตียงปรับได้โดยใช้ระบบศูนย์รวมการจัดการด้วยอินเทอร์เน็ต (Internet of Things Solutions) โดยเป็นนวัตกรรมใหม่ซึ่งใช้สัญญาณอินเทอร์เน็ตและโทรศัพท์สมาร์ทโฟนในการสั่งการเตียงเพื่อเป็นการลดภาระของผู้ดูแลและผู้ป่วย ตัวเตียงมีฟังก์ชันการใช้งานจำนวนมาก ได้แก่ การปรับความสูงที่ปรับได้ทั้งด้านหัวและท้ายเตียง อุณหภูมิ และ ความดัน สามารถเลือกใช้ฟังก์ชันการปรับได้ทั้งจากแอปพลิเคชัน โทรศัพท์และคำสั่งเสียง โดยตัวเตียงมีการคิดเซนเซอร์ต่าง ๆ เพื่อรายงานสถานะของผู้ป่วย เช่น เซนเซอร์วัดน้ำหนัก อุณหภูมิ ค่าออกซิเจนในเลือด การเต้นของหัวใจ และความดัน โดยจากผลการทดลองพบว่าตัวรับสัญญาณความแม่นยำในการรับคำสั่งสูงถึง 97% (Elsokah & Razek, 2019) เตียงเพื่อผู้ป่วยติดเตียง ซึ่งสามารถปรับเอียงเป็นมุมต่าง ๆ ได้ แม้กระทั่งการนั่ง จากระบบใช้คอป ช่วยลดภาระการจัดทำให้กับผู้ดูแล มีช่องโถส้วมด้านล่างของเตียงเพื่อจัดการการขับถ่ายของผู้ป่วย และใช้การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ ซึ่งการออกแบบยังคงมีการพัฒนางานปัจจุบัน (Andhare & Onkar, 2021) และเตียงเพื่อผู้ป่วยที่มีความบกพร่องในการเคลื่อนไหวซึ่งเป็นเตียงแบบ Multifunctional Intelligent Bed (MIB) ภายในเตียงแยกโครงสร้างเป็นตอน สามารถปรับมุมได้แบบอิสระ (DOF) มีอัลกอริทึมการตรวจจับความเสี่ยงจากการล้มบนเตียง การลุก การขับถ่าย สามารถจดจำลักษณะเฉพาะของผู้ใช้และมีฟังก์ชันประเมินข้อมูลการใช้งานส่งต่อเพื่อขอการช่วยเหลือได้ (Zhao et al., 2023)

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การออกแบบสร้างเตียงเพื่อการรักษาผู้ป่วยยังเป็นที่สนใจในการศึกษาวิจัยและพัฒนางานถึงปัจจุบัน แต่ในส่วนการออกแบบสร้างเตียงเพื่อระบายเสมหะผู้ป่วย

โดยเฉพาะนั้น พบว่ายังไม่เป็นที่สนใจมากนัก และในงานวิจัยหลายงานแม้จะมีเทคโนโลยีที่สูงพร้อมฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลายแต่ก็มาพร้อมกับต้นทุนการผลิตที่สูงซึ่งส่งผลให้ราคาเครื่องมือหรืออุปกรณ์สูงตามไปด้วย รวมทั้งกลไกในการปรับเตียงให้อยู่ในมุมต่าง ๆ ที่เป็นส่วนสำคัญในการสร้างเตียงปรับได้ มีน้ำหนักที่ค่อนข้างมากทำให้เตียงที่มีฟังก์ชันการปรับในหลายจุดหรือหลายระดับ มีน้ำหนักมากตามไปด้วยไม่เหมาะกับการเคลื่อนย้ายหรือนำไปใช้งานนอกสถานที่ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการออกแบบและสร้างเตียงปรับได้เพื่อการระบายเสมหะผู้ป่วย โดยจัดทำต้นแบบเตียงปรับได้ให้มีคุณลักษณะเบาและสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย สามารถตอบสนองการจัดทำเพื่อระบายเสมหะได้ตามหลักการ โดยคำนึงถึงการใช้วัสดุที่เบา ง่ายและราคาไม่แพง มีความแข็งแรงเพียงพอรองรับการใช้งานตามจุดประสงค์ มีอายุการใช้งานยาวนาน สามารถพับเก็บและสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย เพื่อความเหมาะสมในการเคลื่อนย้ายและสามารถนำไปใช้งานนอกสถานที่ได้ จึงนำไปสู่การวิจัยครั้งนี้



บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยออกแบบสร้างต้นแบบเตียงพับแบบปรับได้เพื่อการระบายเสมหะในผู้ป่วย มีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย ประกอบด้วย 7 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 ดำเนินการออกแบบโครงสร้างชั้นที่ 1 ของเตียงพับแบบปรับได้เพื่อการระบาย
เสมหะ

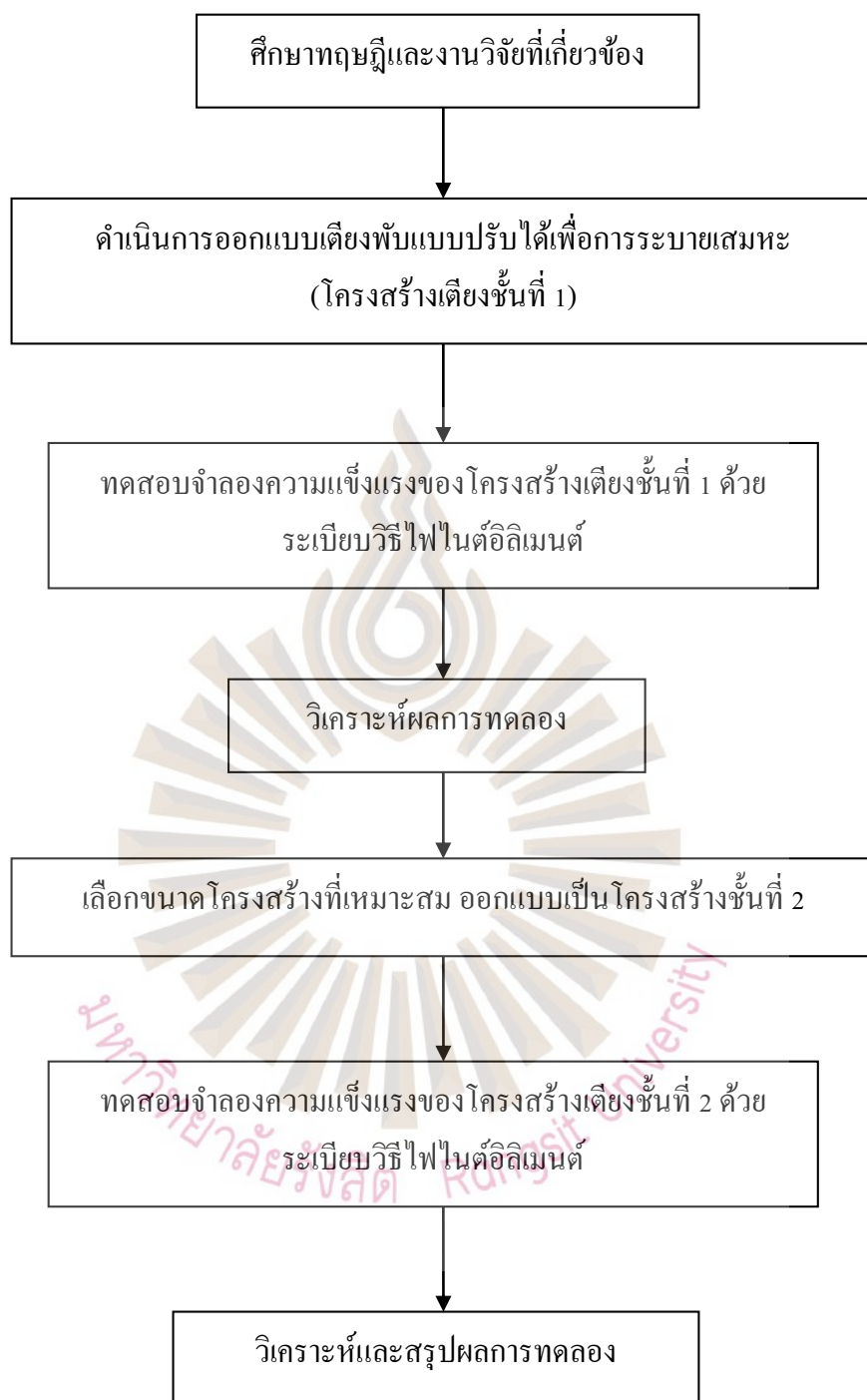
3.1.3 ทดสอบจำลองความแข็งแรงโครงสร้างชั้นที่ 1 ของเตียงในรูปแบบทำต่าง ๆ ด้วย
ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

3.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1.5 เลือกขนาดโครงสร้างที่เหมาะสม ออกแบบเป็นโครงสร้างชั้นที่ 2

3.1.6 ทดสอบจำลองความแข็งแรงของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 ของเตียงในรูปแบบทำต่าง
ๆ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

3.1.7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานวิจัย

3.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการออกแบบและการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.2.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบ

ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Solidworks 2019 ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ (3D Model) โดยสร้างแยกเป็นแบบจำลองเพียงในแต่ละชิ้นและปรับเป็นรูปแบบทำต่าง ๆ เพื่อให้สามารถแยกวิเคราะห์ได้ที่แต่ละส่วน ทั้งยังสามารถเลือกนำไฟล์แบบจำลอง ที่มีขนาดรูปร่างเหมาะสมนำมาประกอบรวมกันในลักษณะไฟล์งานประกอบ (Assembly File) เพื่อจำลองการเคลื่อนไหวเมื่อปรับเป็นมุมต่าง ๆ หรือทำการวิเคราะห์ซ้ำได้

3.2.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Ansys Workbench 17.2 ระบบวิเคราะห์ (Analysis Systems) แบบ Static Structural ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแบบจำลอง 3 มิติที่สร้างขึ้น โดยนำเข้าไฟล์แบบจำลอง 3 มิติ แล้วทำการแบ่งอีลิเมนต์ กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ และ จำลองภาระกรรมที่เกิดขึ้น เพื่อทำการวิเคราะห์ตามลำดับต่อไป

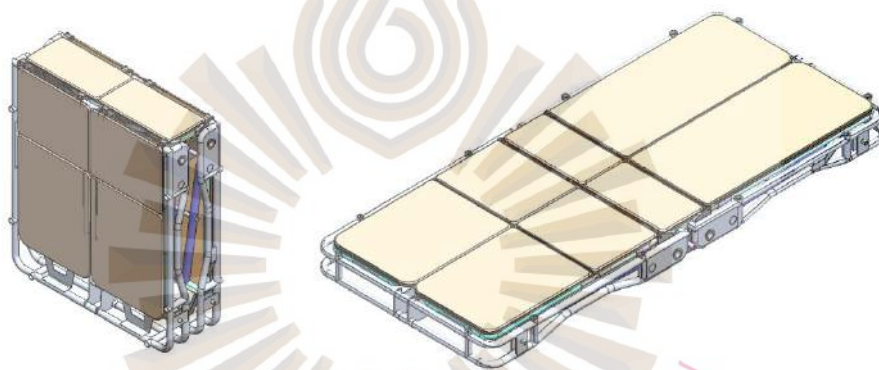
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การออกแบบโครงสร้างเตียง

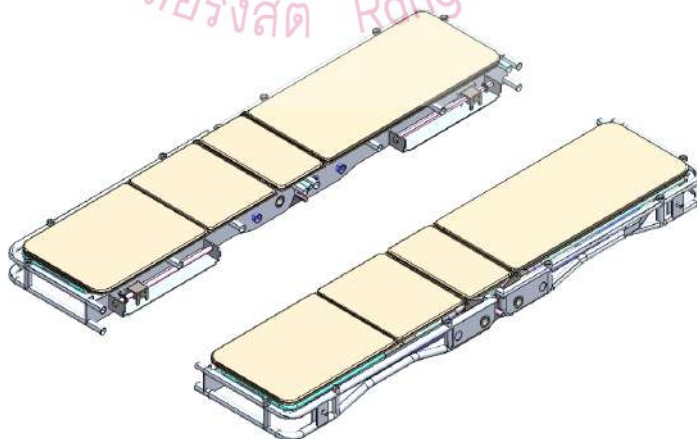
หลังทำการศึกษาข้อมูลของสมมติฐานเทคนิคการระบายเสมหะด้วยการจัดทำระบายเสมหะ และศึกษาสรีระร่างกายมนุษย์ ผู้วิจัยจึงทำการออกแบบเป็นเตียงเพื่อการจัดทำระบายเสมหะเป็นแบบจำลอง 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Solidworks โดยกำหนดโครงสร้างหลักเป็นท่ออลูมิเนียมดัดและเชื่อมเป็นโครงตามแบบ เลือกใช้วัสดุหลักเป็นอลูมิเนียมซึ่งมีน้ำหนักเบาและไม่เป็นสนิม ออกแบบให้โครงเตียงสามารถพับได้ตามขวางเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและจัดเก็บ นอกจากนี้ตัวเตียงยังสามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วน ซ้ายและขวา เพื่อให้สามารถซ้อนตัวผู้ป่วยขณะอยู่บนเตียงได้ โดยไม่ต้องทำการยกย้ายตัวผู้ป่วย ลักษณะดังรูปที่ 3.2 - 3.3 โดยขนาดในการออกแบบที่เลือกใช้ทั้งหมดอ้างอิงโดยใช้สัดส่วนร่างกายเฉลี่ยของประชากรชายไทยช่วงอายุ 30 - 39 ปี (ธวัชชานนท์

สิปปภากุล, 2553) ดังรูปที่ 3.4 โครงสร้างหลักของเตียงได้แบ่งย่อยเป็น 2 ชั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

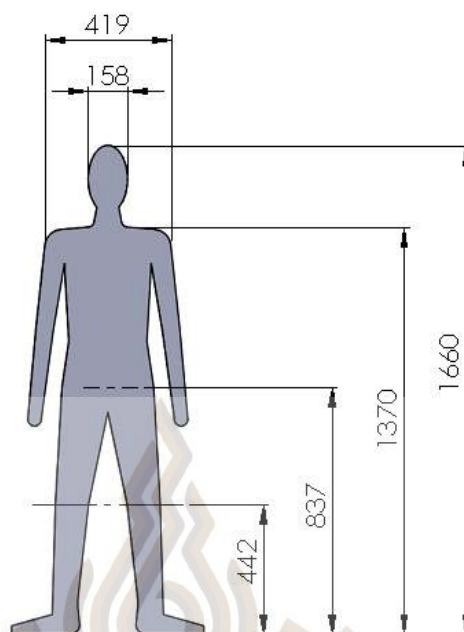
3.3.1.1 โครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 เป็นโครงสร้างที่อยู่ด้านล่างสุดรองรับโครงสร้างชั้นที่ 2 เบาะรอง และ ส่วนประกอบอื่น ๆ ตามลำดับ โครงสร้างในชั้นนี้ออกแบบให้มีความกว้างและความยาวไม่เกินขนาดของเตียงมาตรฐาน 3 ฟุต เพื่อให้สามารถวางปฏิบัติงานบนเตียงมาตรฐานได้ ซึ่งขนาดกว้างและยาวของเตียงนี้จะต้องไม่น้อยกว่าขนาดความสูงและความกว้างไหล่ของร่างกายประชากร หลังจากนั้นจึงออกแบบขาตั้งของเตียงซึ่งมีกลไกช่วยในการยกทั้งเตียงให้สูงขึ้นได้ทั้งในด้านหัวและท้ายของเตียง ส่งผลให้เตียงสามารถยกเอียงได้ตามแนวยาวทั้งด้านหัวและท้ายของเตียง โดยตัวเตียงยกเอียงทำมุมได้ตั้งแต่ 0 - 20 องศา กับพื้น ส่งผลให้สามารถจัดทำได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบท่านอนราบ ท่านอนยกหัวเตียง และ ท่านอนยกท้ายเตียง ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.2 รูปร่างเตียงขณะพับ (ซ้าย) และขณะกาง (ขวา) ของเตียงพับปรับได้จากการออกแบบเบื้องต้น

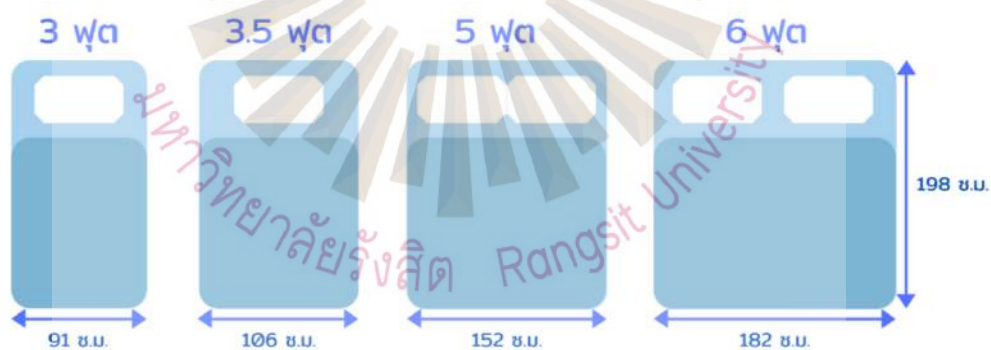


รูปที่ 3.3 เตียงขณะแยกส่วนออกเพื่อใช้งาน

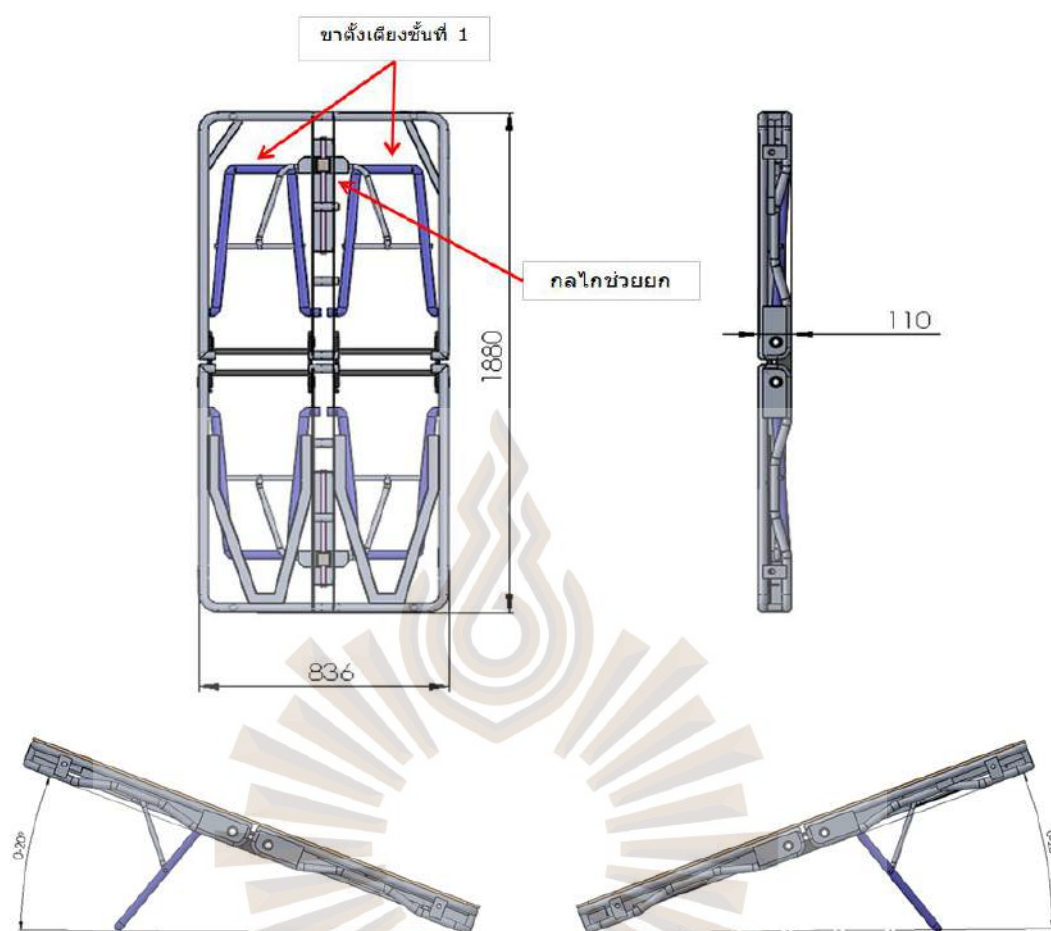


รูปที่ 3.4 สัดส่วนร่างกายเฉลี่ยของประชากรชายไทยช่วงอายุ 30 - 39 ปี (หน่วย มม.)

ที่มา : รัชชานนท์ สิปปภากุล, 2548, น. 100 - 122



รูปที่ 3.5 เที่ยงมาตรฐานขนาดต่าง ๆ



รูปที่ 3.6 โครงสร้างเตียงชั้นที่ 1

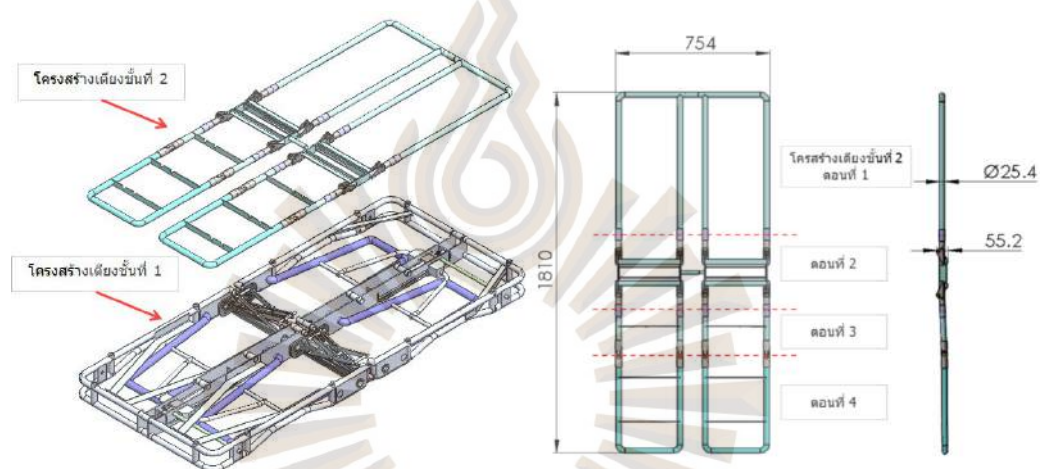
3.3.1.2 โครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 เป็นโครงสร้างรองรับขึ้นมาจากชั้นที่ 1 ตัวโครงขึ้นรูปด้วยท่อกลมนิยมนอกแบบโดยแบ่งออกเป็น 4 ตอนตามแนวขวาง ขนาดความยาวแต่ละตอนอ้างอิงโดยใช้สัดส่วนร่างกายโดยเฉลี่ยของชายไทย ช่วงอายุ 30 - 39 ปี ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งส่งผลให้สามารถปรับเอียงใน 4 รูปแบบดังนี้

1) รูปแบบท่ายกลำตัว จากโครงสร้างตอนที่ 1 ซึ่งออกแบบโดยความยาวแนวตั้งไม่น้อยกว่าความสูงเฉลี่ยจากช่วงสะโพกถึงศีรษะ บริเวณข้อพับใช้บานพับปรับเก้าอี้ไฟฟ้า เพื่อให้สามารถเอียงช่วงบน (ช่วงลำตัว) ขึ้นในลักษณะนั่งเอนหลัง โดยสามารถเอียงได้ 0 - 90 องศา ดังรูปที่ 3.7 - 3.8

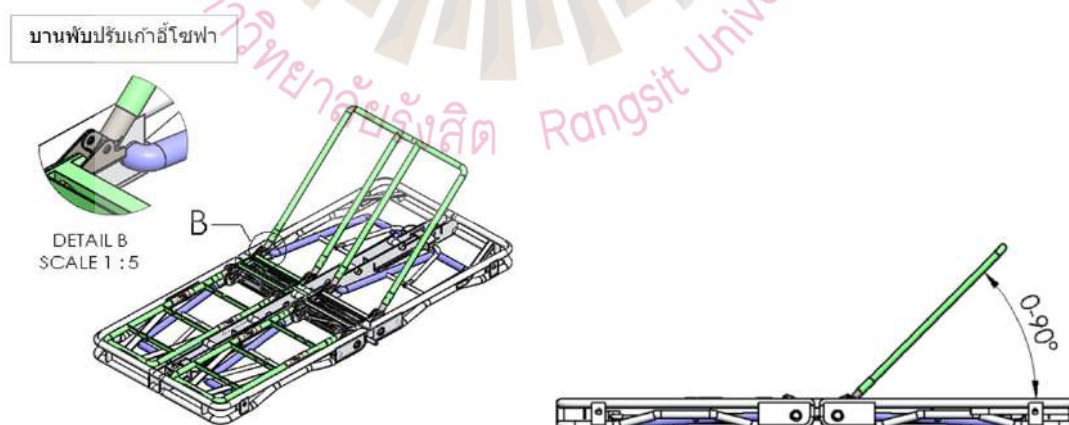
2) รูปแบบท่ายกสะโพก จากโครงสร้างตอนที่ 2 ซึ่งออกแบบโดยความยาวตามแนวตั้งครอบคลุมช่วงสะโพกของร่างกายและมีกลไกช่วยยกอยู่ด้านล่างของโครงสร้าง ส่งผลให้สามารถยกโครงสร้างขึ้นได้สูงถึง 200 มม. โดยช่วงลำตัวของผู้ป่วยเอียงลงต่ำ ช่วงนอนท่ามุมได้ตั้งแต่ 0 - 45 องศา และลำตัวท่อนบนเอียงลงต่ำท่ามุม 0 - 15 องศา กับพื้น ดังรูปที่ 3.9

3) รูปแบบท่ายกเข้าชั้น จากโครงสร้างตอนที่ 3 ซึ่งออกแบบโดยกำหนดความยาวแนวตั้งครอบคลุมช่วงขาตอนบนตั้งแต่สะโพกถึงหัวเข่า บริเวณข้อพับใช้บานพับปรับเก้าอี้โซฟาเพื่อให้สามารถเอียงช่วงล่าง (ช่วงขาตอนบน) ขึ้นในลักษณะชันเข้าขึ้น โดยสามารถเอียงได้ตั้งแต่ 0 - 80 องศา ดังรูปที่ 3.10

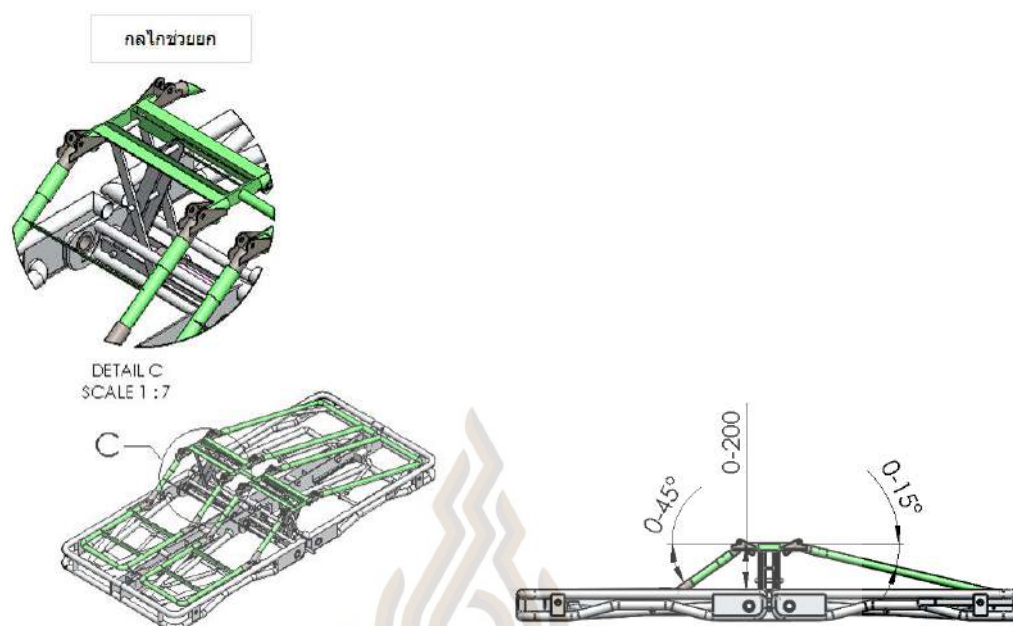
4) รูปแบบท่ายกเข้าชั้นเท้าสูง จากโครงสร้างตอนที่ 4 ออกแบบโดยความยาวครอบคลุมขาช่วงล่างตั้งแต่เข่าลงไป เชื่อมต่อกันด้วยข้อต่ออิสระ เมื่อยกขึ้นแล้วสามารถปรับขาตั้งลงเพื่อช่วยรับน้ำหนัก โดยขาตั้งยันกับพื้นโครงสร้างชั้นที่ 1 ดังรูปที่ 3.11



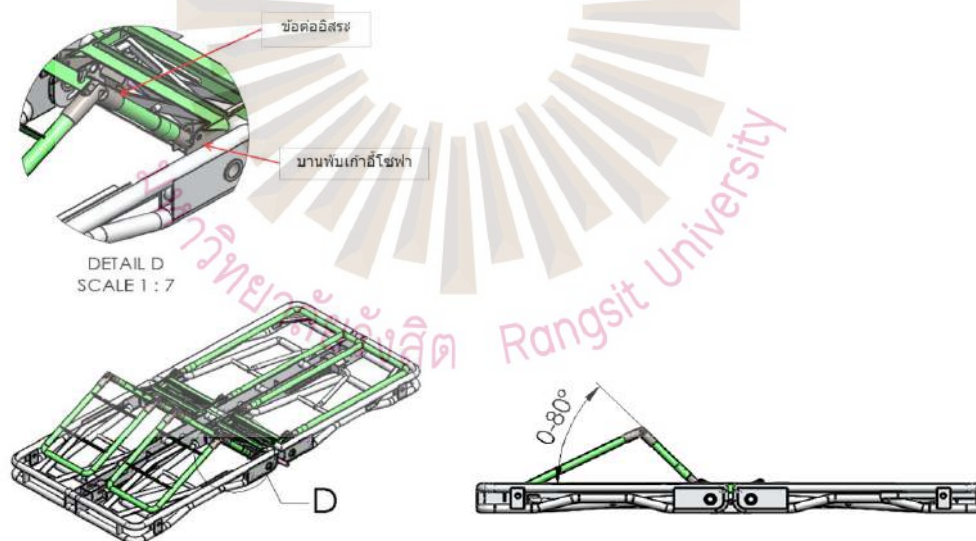
รูปที่ 3.7 โครงสร้างเตียงชั้นที่ 2



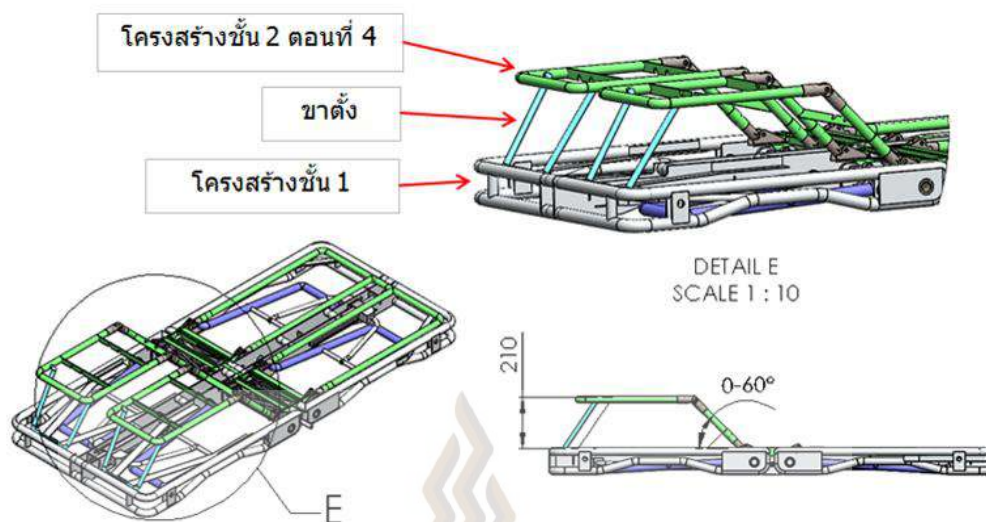
รูปที่ 3.8 การปรับโครงสร้างเตียงชั้น 2 ตอนที่ 1 สำหรับท่ายกลำตัว



รูปที่ 3.9 การปรับโครงสร้างเตียงชั้น 2 ตอนที่ 2 สำหรับทำยกสะพาน



รูปที่ 3.10 การปรับโครงสร้างเตียงชั้น 2 ตอนที่ 3 สำหรับทำยกเข้าชั้น



รูปที่ 3.11 การปรับโครงสร้างเตียงชั้น 2 ตอนที่ 4 สำหรับทำห่อเข้าชั้นเท้าสูง

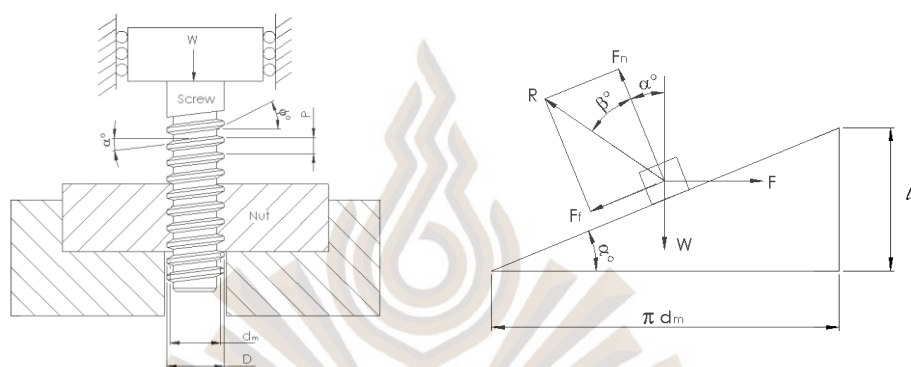
3.3.1.3 การออกแบบชุดยกเป็นกลไกสำคัญในการปรับเตียงให้เอียงในรูปแบบต่างๆ ตามหลักการจัดทำระบายน้ํา ตัวชุดยกออกแบบโดยใช้กลไกส่งกำลังจากเกียร์วี่เหลี่ยมไปยังชุดขับเคลื่อนเพื่อยกเตียงในลักษณะแม่แรง โดยชุดยกได้แบ่งออกเป็น 2 ชุดหลักดังนี้

1) ชุดยกด้านหัวและท้ายของเตียง เป็นชุดยกเตียงสำหรับโครงสร้างชั้นที่ 1 เพื่อยกทั้งเตียงในลักษณะยกศีรษะหรือเท้าของผู้ป่วยขึ้น ออกแบบโดยใช้ชุดส่งกำลังแบบมือหมุน กำหนดให้พวงมาลัยอยู่ด้านข้างของเตียง ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองคอกจอก (Bevel Gears) อัตราทดกำลัง 1.5 : 1 ถ่ายกำลังสู่ชุดเกียร์วี่เหลี่ยม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว ระยะพิทช์ 10 เกียร์ต่อนิ้ว วางขนานตามแนวยาวของเตียง ดังรูปที่ 3.13 ซึ่งเมื่อหมุนชุดเกียร์วี่เหลี่ยมนี้จะขับเคลื่อนให้ขาตั้งของเตียงถ่างออกเพื่อยกหัวหรือท้ายเตียงขึ้น ดังรูปที่ 3.14

2) ชุดยกส่วนกลางเตียง เป็นชุดยกเตียงสำหรับโครงสร้างชั้นที่ 2 เพื่อยกโครงเตียงช่วงสะโพกขึ้น จัดทำให้ผู้ป่วยอยู่ในลักษณะยกสะโพกขึ้นสูงและศีรษะก้มต่ำ ออกแบบโดยใช้ชุดส่งกำลังแบบมือหมุน กำหนดให้พวงมาลัยอยู่ด้านข้างของเตียง ส่งกำลังโดยตรงสู่ชุดเกียร์วี่เหลี่ยม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว ระยะพิทช์ 10 เกียร์ต่อนิ้ว วางขนานตามแนวขวางของเตียง ดังรูปที่ 3.15 ซึ่งเมื่อหมุนเกียร์ชุดขับเคลื่อนจะยกโครงสร้างชั้นที่ 2 ช่วงสะโพกของผู้ป่วยให้สูงขึ้น ดังรูปที่ 3.16

การเลือกใช้เกียร์สำหรับชุดยกทั้งหมด อ้างอิงจากตารางมาตรฐานสินค้าเกียร์วี่เหลี่ยม (Rempco, 2022) โดยเกียร์ที่ใช้เป็นขนาด 1/2 นิ้ว 10 TPI ซึ่งระบุรองรับการใช้งานที่แรงกระทำ 1,100 ปอนด์ (หรือ 498.95 กิโลกรัม) หลังจากกำหนดขนาดของเกียร์แล้ว จึงทำการ

ตรวจสอบการลื้อด้วยตัวเองของเกลียวอีกครั้ง โดยเกลียวที่ใช้ต้องสามารถลื้อตัวเองได้ในขณะที่ ยกค้างไว้ในตำแหน่งใด ๆ เพื่อความปลอดภัยของผู้ป่วยและผู้ปฏิบัติงานขณะใช้งานเดียว การ ตรวจสอบการลื้อด้วยตัวเองของเกลียวสามารถพิจารณาได้จากมุมเสียดทานของเกลียว (β) ต้อง มากกว่าค่ามุมอีลิคซ์ของเกลียว (α) ดังรูปที่ 3.12 ซึ่งหมายความว่าเกลียวไม่สามารถคลายตัวเอง จากน้ำหนักหรือไม่สามารถเอาชนะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นได้ โดยสำหรับเกลียวที่เหลี่ยมสามารถ คำนวณการลื้อด้วยตัวเองได้ตามสมการดังนี้ (วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, 2556)



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างสกรูส่งกำลังวางแนวตั้ง (ซ้าย) และ แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนผิวเกลียว เมื่อผ่าคล้อออก (ขวา)

ที่มา : วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน, 2556, น. 368 – 370

สกรูเกลียวสามารถลื้อด้วยตัวเองได้เมื่อมุมเสียดทานและมุมอีลิคซ์ของ เกลียวมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3-1

$$\frac{f_s - \tan \alpha}{1 + f_s \tan \alpha} > 0 \quad (3-1)$$

หรือ $\tan \alpha < f_s = \tan \beta$

หรือ $\alpha < \beta$

เมื่อ β = มุมเสียดทานของเกลียว

α = มุมอีลิคซ์ของเกลียว

f_s = ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวหน้าเกลียวกับแป้นเกลียว

โดย ค่ามุมอีลิคซ์ของเกลียว (α) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3-2

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{l_e}{\pi d_m} \right) \quad (3-2)$$

เมื่อ l_e = ระยะทางที่สกรูเกลียวเคลื่อนที่เมื่อหมุน 1 รอบ

P = ระยะพิตช์ของเกลียว

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่สุดของเกลียว

d_m = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเกลียว

$$\text{หรือ} \quad d_m = D - \left(\frac{7P}{16} \right) \quad (3-3)$$

ค่าแรงจากมุมเสียดทานของเกลียว (β) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3-4

$$\beta = \tan^{-1} f_s \quad (3-4)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f_s) กำหนดโดยอ้างอิงจากตารางค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัสดุสกรู (วริทธิ์ อิงภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, 2556)

ตารางที่ 3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f_s) ของวัสดุชนิดต่าง ๆ

วัสดุสกรู	เหล็ก	ทองเหลือง	บรอนซ์	เหล็กหล่อ
เหล็ก (แข็ง)	0.15 - 0.25	0.15 - 0.23	0.15 - 0.19	0.15 - 0.25
เหล็ก (หล่ออ่อน)	0.11 - 0.17	0.10 - 0.16	0.10 - 0.15	0.11 - 0.17
บรอนซ์	0.08 - 0.12	0.04 - 0.06	-	0.06 - 0.09

คุณลักษณะของเกลียวที่ใช้สร้างชุดยกของเตียง

สกรูเกลียวสี่เหลี่ยม วัสดุเหล็ก

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่สุด (D) = 1 นิ้ว

ระยะพิตช์ = 10 เกลียวต่อ 1 นิ้ว หรือ $\frac{1}{10}$ นิ้ว

ระยะเกลียว (l_e) = 0.1 นิ้ว

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเกลียว (d_m) คำนวณได้ดังสมการที่ 3-3

$$d_m = 1 - \left(\frac{(7)(0.1)}{16} \right)$$

$$d_m = 0.45625 \text{ นิ้ว}$$

ค่าแรงจากมุมอีลิกซ์ของเกลียว (α) คำนวณได้ดังสมการที่ 3-2

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{0.1}{(3.1416)(0.45625)} \right)$$

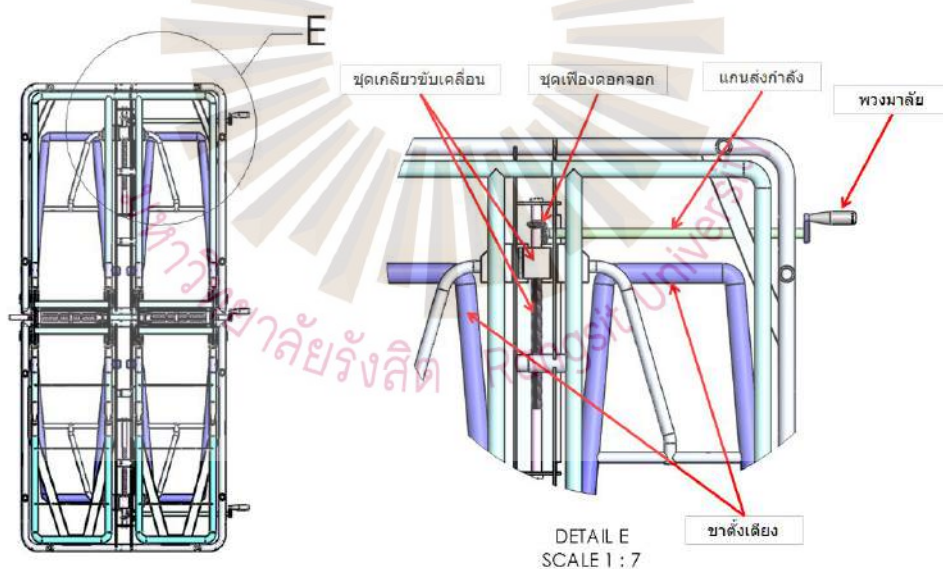
$$\alpha = 3.99^\circ$$

ค่าแรงจากมุมเสียดทานของเกลียว (β) คำนวณได้ดังสมการที่ 3-4

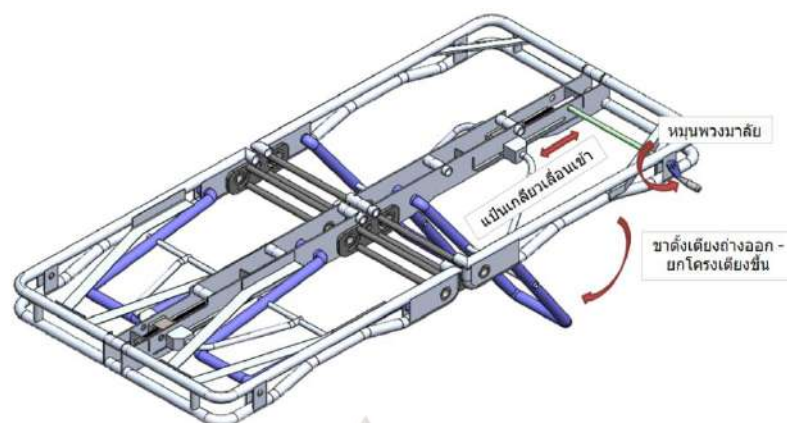
$$\beta = \tan^{-1}(0.11)$$

$$\beta = 6.277^\circ$$

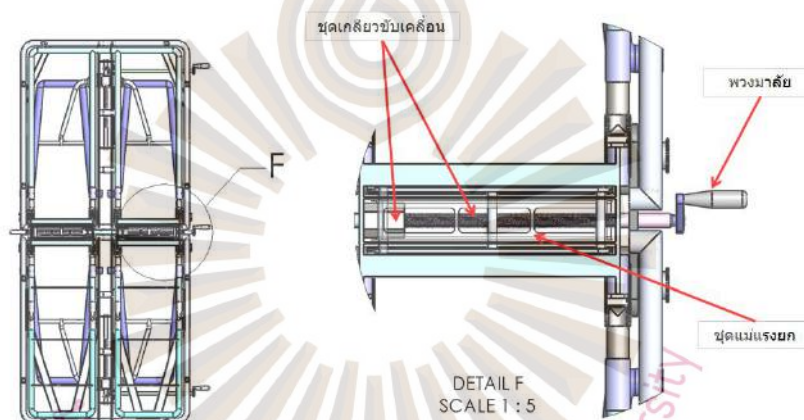
เนื่องจาก $\alpha < \beta$ จึงสรุปได้ว่า ชุดเกลียวดังกล่าวจึงสามารถล็อกด้วยตัวเองได้ มีความปลอดภัยในการใช้งาน



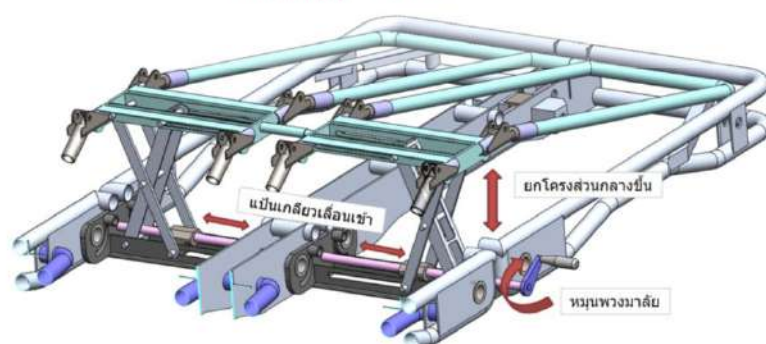
รูปที่ 3.13 ชุดยกด้านหัวและท้ายของเตียง



รูปที่ 3.14 การทำงานของชุดยกยกด้านหัวและท้ายของเตียง



รูปที่ 3.15 ชุดยกส่วนกลางของเตียง



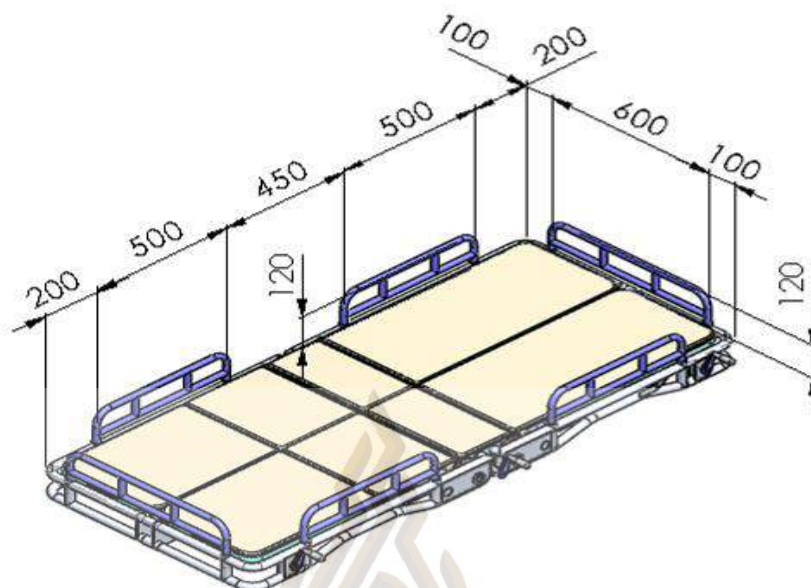
รูปที่ 3.16 การทำงานของชุดยกส่วนกลางของเตียง

3.3.1.4 การออกแบบอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างสมบูรณ์ รวมทั้งทำให้การจัดเก็บและเคลื่อนย้ายมีความสะดวกมากยิ่งขึ้น โดยรายละเอียดอุปกรณ์เสริมต่าง มีดังนี้

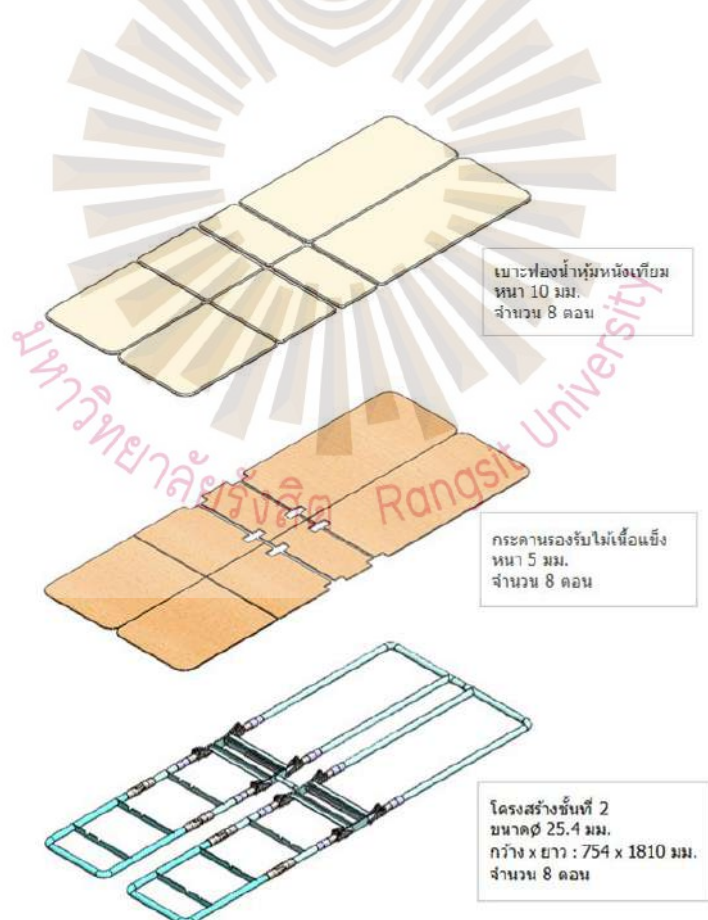
1) ราวกันตก การออกแบบกำหนดรูปร่างของราว ได้กำหนดโดยอ้างอิงขนาดความกว้าง × ยาว × สูง และขนาดช่องว่างต่าง ๆ อ้างอิงตามมาตรฐานมาตรฐาน BS EN 60601 ซึ่งกำหนดขนาดหลังการออกแบบเป็นท่ออลูมิเนียม AL6061 T6 ขนาด Ø 18 มม. ความหนา 1.50 มม. คัดและเชื่อมตามแบบ โดยระยะตำแหน่งการประกอบและรายละเอียดแบบราวกันตก เป็นไปดังรูปที่ 3.17

2) เบาะและกระดานรองรับ กำหนดใช้เบาะวัสดุฟองน้ำหุ้มหนังเทียม PU ปูด้านบนทั้งหมดเนื่องจากสามารถทำความสะอาดได้ง่าย วัสดุเป็นที่ยอมรับใช้ทั่วไป สามารถหาได้ง่ายและราคาไม่แพง ส่วนกระดานรองกำหนดเป็นวัสดุไม้ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ดูแลรักษาได้ง่าย กำหนดรูปร่างของกระดานรองและเบาะเป็นตอนต่าง ๆ ตามโครงสร้างชั้นที่ 2 เนื่องจากกระดานรองและเบาะของเตียง จำเป็นต้องพับได้ตามตอนต่าง ๆ ของเตียงด้วยเช่นกัน โดยกำหนดความหนาของกระดานรองไม้เท่ากับ 5 มม. และความหนาของเบาะฟองน้ำหุ้มหนัง PU เท่ากับ 10 มม. รายละเอียดดังรูปที่ 3.18

3) รถเข็นและกล่องเก็บอุปกรณ์เสริม การออกแบบกำหนดรูปร่างของรถเข็น ใช้ขนาดเตียงขณะพับสร้างเป็นขนาดอ้างอิงในการสร้างแบบ โดยแบ่งออกเป็น 2 คัน เพื่อลดน้ำหนักในการขนย้ายแต่ละครั้ง ทำให้สามารถจัดเก็บและขนย้ายได้สะดวก คุณลักษณะของล้อเพื่อการขนย้าย เป็นล้อสำหรับงานอุตสาหกรรมตราอักษร MISUMI รุ่น CJM75 ซึ่งเป็นล้อวัสดุยางสังเคราะห์ โครงและตัวล้อมีขนาดเล็ก (ขนาด 84 × 84 × 101 มม.) สามารถรับน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 785 นิวตัน หรือ 80 กก. ต่อ 1 ล้อ ซึ่งเพียงพอในการรับน้ำหนักของเตียงพับแบบปรับได้ตามการออกแบบ เมื่อพับใส่รถเข็นแล้วจึงคลุมปิดด้วยผ้าคลุมกันฝุ่นชนิดหนาสำหรับคลุมเตียง เพื่อกันฝุ่นละอองต่าง ๆ ซึ่งอาจเกาะติดเตียงพับได้เมื่อทำการจัดเก็บหรือขนย้าย และ กล่องเก็บอุปกรณ์เสริมขนาด 250 × 650 × 150 มม. เพื่อเก็บอุปกรณ์เสริมที่จำเป็นต้องใช้ของเตียงพับนี้ เช่น ราวกันตก พวงมาลัยหมุน หรือ ประแจต่าง ๆ สำหรับการซ่อมบำรุงเตียงหลังการใช้งาน ดังรูปที่ 3.19 - 3.21



รูปที่ 3.17 แสดงขนาดและตำแหน่งของราวกันตกหลังการประกอบ



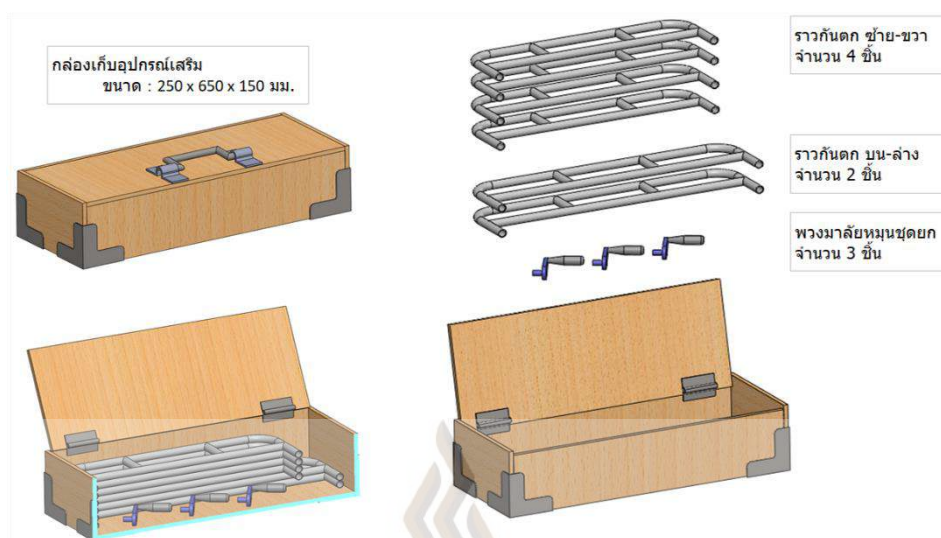
รูปที่ 3.18 แสดงรายละเอียดรูปร่างของเบาะ กระดานรองรับ และ โครงสร้างชั้นที่ 2



รูปที่ 3.19 แสดงภาพประกอบ รถเข็นเตียงพับ และ กล่องใส่อุปกรณ์เสริม
เปรียบเทียบกับ 3D Model ของคน



รูปที่ 3.20 แสดงรายละเอียดของเตียงขณะพับ รถเข็น และ ผ้าคลุมกันฝุ่น



รูปที่ 3.21 แสดงรายละเอียดของกล่องเก็บอุปกรณ์เสริมและอุปกรณ์เสริมที่บรรจุภายใน

3.3.2 การจำลองการรับภาระกรรมของเตียง

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของแบบจำลองโครงสร้างเตียงด้วยโปรแกรม Ansys Workbench 17.2 โดยใช้การวิเคราะห์โครงสร้างแบบสถิต (Static Structural) ซึ่งวิเคราะห์แบบจำลองด้วยทฤษฎีความเสียหายแบบวอนมิส (Von Mises Failure Theory) ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างโดยพิจารณาจากค่าความเค้นผสมรวม (Von Mises Stress) ค่าการเสียรูป (Total Deformation) และค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ที่เกิดขึ้น โดยกำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์เป็น 5 ส่วนหลัก ได้แก่

3.3.2.1 การสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ผู้ออกแบบได้ใช้แบบจำลอง 3D Model เพื่อจำลองการรับภาระกรรมของเตียงจากน้ำหนักตัวของผู้ป่วย โดยทำการจำลองการรับภาระของเตียงทีละชั้น เพื่อลดภาระในการประมวลผล และช่วยให้การเลือกใช้โครงสร้างในแต่ละชั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยรายละเอียดการจำลองภาระกรรมของเตียงแต่ละชั้น มีรายละเอียดดังนี้

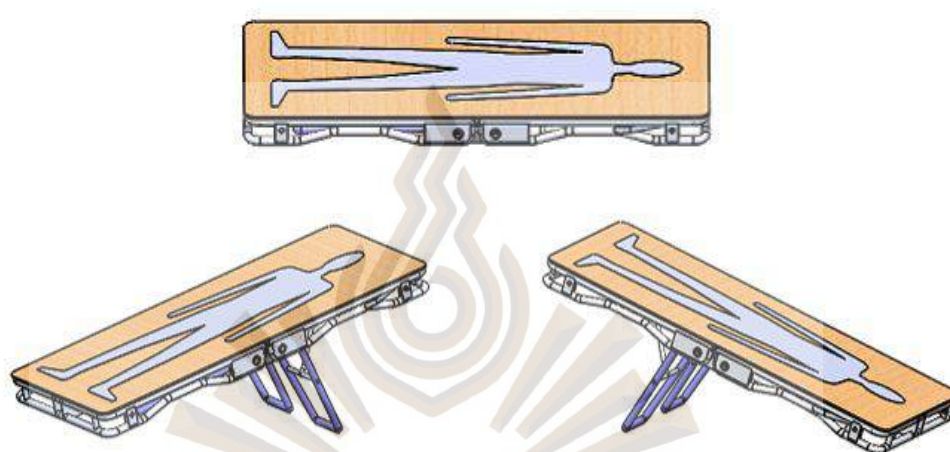
โครงสร้างชั้นที่ 1 ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองโครงสร้างเตียงในแต่ละทำเป็นจำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบท่อนอนราบ ทำยกหัวเตียงขึ้น 20 องศา และทำยกท้ายเตียงขึ้น 20 องศา ดังรูปที่ 3.22 ซึ่งในแต่ละทำได้แบ่งย่อยเป็นโครงสร้างที่มีขนาดแตกต่างกัน 4 ขนาด ได้แก่ โครงสร้างจากท่ออลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มม. (0.75 นิ้ว) 25.40 มม. (1 นิ้ว) ขนาด 31 มม. (1.25 นิ้ว) และขนาด 38 มม. (1.50 นิ้ว) กำหนดความหนาท่อเท่ากับ 1.50 มม. เท่ากันทุกตัว เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบความแข็งแรงของโครงสร้างแต่ละขนาด โดยขนาดโครงสร้างที่มีความเหมาะสมที่สุดจะถูกเลือกใช้

เพื่อสร้างโครงสร้างชั้นที่ 2 ต่อไป ซึ่งในการเลือกโครงสร้างที่เหมาะสมจะพิจารณาจากโครงสร้างมีขนาดเล็กที่สุด (หรือมีน้ำหนักน้อยที่สุด) และต้องสามารถรับภาระกรรมตามที่กำหนดได้ โดยกำหนดค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ไม่น้อยกว่า 2.50 อ้างอิงตามมาตรฐาน BS EN 60601-1:2006 หัวข้อ HAZARDS associated with support systems ดังตารางที่ 3.2

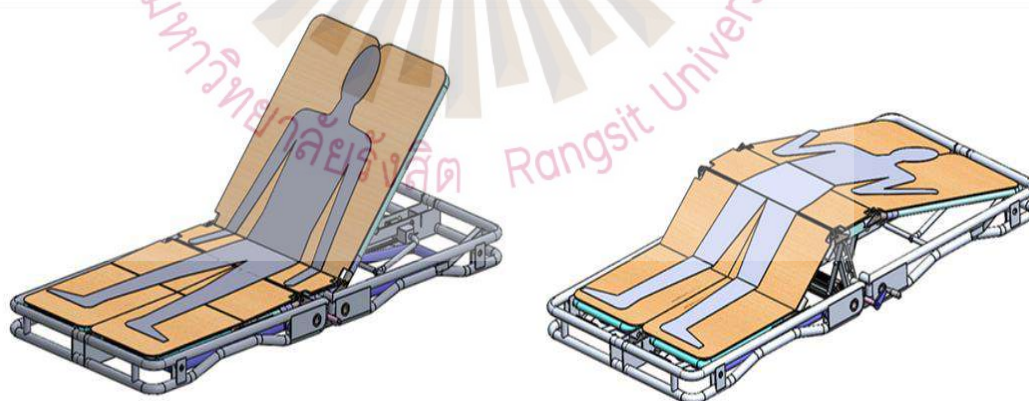
ตารางที่ 3.2 การกำหนดค่าความปลอดภัยจากค่าทดสอบแรงดึง (Determination of Tensile Safety Factor)

Situation			Minimum TENSILE SAFETY FACTOR ^a	
No.	System Part	Elongation	A ^b	B ^c
1	Support system parts not impaired by wear	Metallic material ^d having a specific elongation at break equal to or greater than 5 %	2,5	4
2	Support system parts not impaired by wear	Metallic material ^d having a specific elongation at break of less than 5 %	4	6
3	Support system parts impaired by wear ^e and no MECHANICAL PROTECTIVE DEVICE	Metallic material ^d having a specific elongation at break equal to or greater than 5 %	5	8
4	Support system parts impaired by wear ^e and no MECHANICAL PROTECTIVE DEVICE	Metallic material ^d having a specific elongation at break of less than 5 %	8	12
5	Support system parts impaired by wear ^e and with MECHANICAL PROTECTIVE DEVICE (or primary system of multiple support systems)	Metallic material ^d having a specific elongation at break equal to or greater than 5 %	2,5	4
6	Support system parts impaired by wear ^e and with MECHANICAL PROTECTIVE DEVICE (or primary system of multiple support systems)	Metallic material ^d having a specific elongation at break of less than 5 %	4	6
7	MECHANICAL PROTECTIVE DEVICE (or back-up system of multiple support system)		2,5	4
^a The TENSILE SAFETY FACTORS are intended to take account of conditions defined in 15.3.7 (i.e. environmental effects, impairing effects of wear, corrosion, material fatigue or ageing). ^b Case A = The material TENSILE STRENGTH and all external forces to be expected are quantifiable and known accurately. ^c Case B = Other than case A; specifically, the material TENSILE STRENGTH and all external forces to be expected are known approximately, but not with sufficient accuracy to justify the TENSILE SAFETY FACTOR for case A. ^d For non-metallic materials, particular standards can prescribe adequate TENSILE SAFETY FACTORS (see rationale in Annex A, Subclause 9.8). ^e Components considered impaired by wear include: chains, cables (wire rope), belts, jack screw nuts, springs, pneumatic or hydraulic hoses, gaskets or rings of pneumatic or hydraulic pistons.				

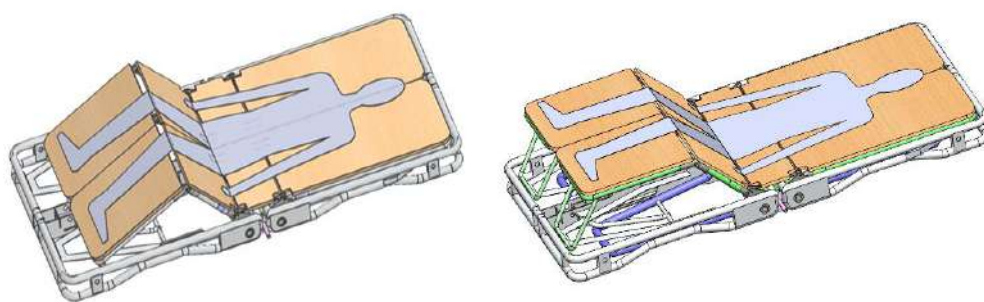
โครงสร้างชั้นที่ 2 เลือกใช้โครงสร้างท่ออลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.40 มม. ในการสร้างเนื่องจากเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดหลังจากการจำลองการรับภาระกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์บนโครงสร้างชั้นที่ 1 โดยในชั้นที่ 2 ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองโครงสร้างเตียงในแต่ละทำเป็นจำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบทำยกลำตัวสูง 45 องศา ทำยกสะโพกสูง 200 มม. ทำยกเข้าชัน 45 องศา และ ทำยกเข้าชันเท้าสูง ดังรูปที่ 3.23 - 3.24



รูปที่ 3.22 แบบจำลองโครงสร้างเตียงรูปแบบท่านอนราบ (บน) ทำยกหัวเตียงขึ้น 20 องศา (ซ้าย) และทำยกท้ายเตียงขึ้น 20 องศา (ขวา)



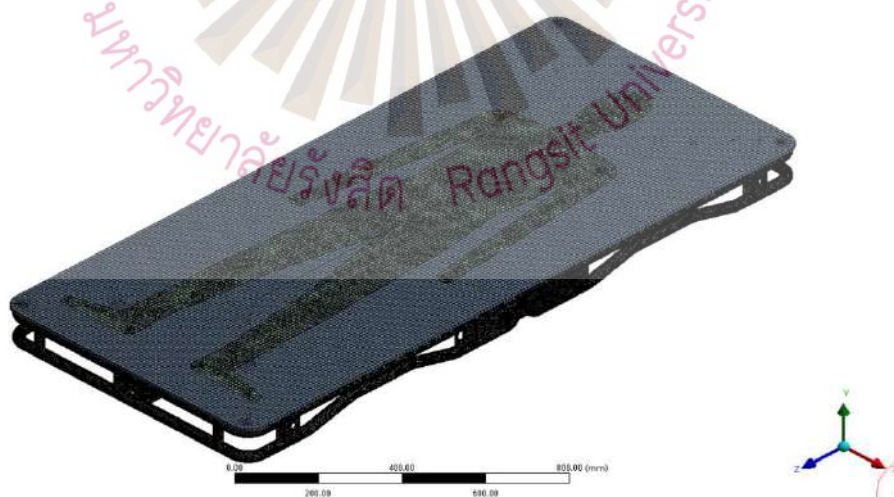
รูปที่ 3.23 จำลองโครงสร้างเตียงรูปแบบทำยกลำตัวสูง 45 องศา (ซ้าย) และทำยกสะโพกสูง 200 มม. (ขวา)



รูปที่ 3.24 แบบจำลองโครงสร้างเตียงรูปแบบพับก่เข้าชั้น 45 องศา (ซ้าย) และพับก่เข้าชั้นเพ้าสูง (ขวา)

3.3.2.2 การสร้างอิลิเมนต์

หลังการสร้างแบบจำลองสามมิติแล้ว จึงนำแบบจำลองดังกล่าวมาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Finite Element Model ; FE Model) สำหรับการวิเคราะห์ โดยสร้างเป็นอิลิเมนต์แบบ Tetrahedron Element และทำการกำหนดจำนวนอิลิเมนต์ให้เหมาะสมกับชิ้นส่วนที่ต้องการวิเคราะห์จากการกำหนดขนาดของอิลิเมนต์ที่ต่างกัน โดยใช้อิลิเมนต์ขนาด 5 มม. สำหรับชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์ ได้แก่ โครงสร้างเตียง ชุดยก รวมไปถึงชิ้นส่วนข้อต่อต่างๆ และใช้อิลิเมนต์ขนาด 10 มม. สำหรับชิ้นส่วนที่เป็นตัวแทนภาระกรรม ได้แก่ กระจาดรับแรงและรูปร่างจำลองของผู้ป่วย หลังจากการสร้างอิลิเมนต์จึงได้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังรูปที่ 3.25 - 3.31



รูปที่ 3.25 แบบ FE Model โครงสร้างชั้นที่ 1 รูปแบบท่านอนราบ



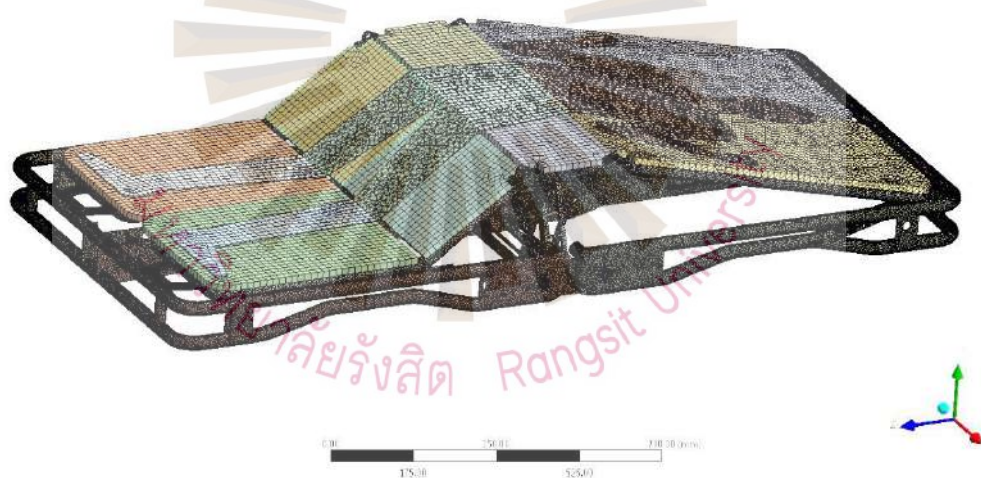
รูปที่ 3.26 แบบ FE Model โครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 รูปแบบท่ายกหัวเตียงสูง 20 องศา



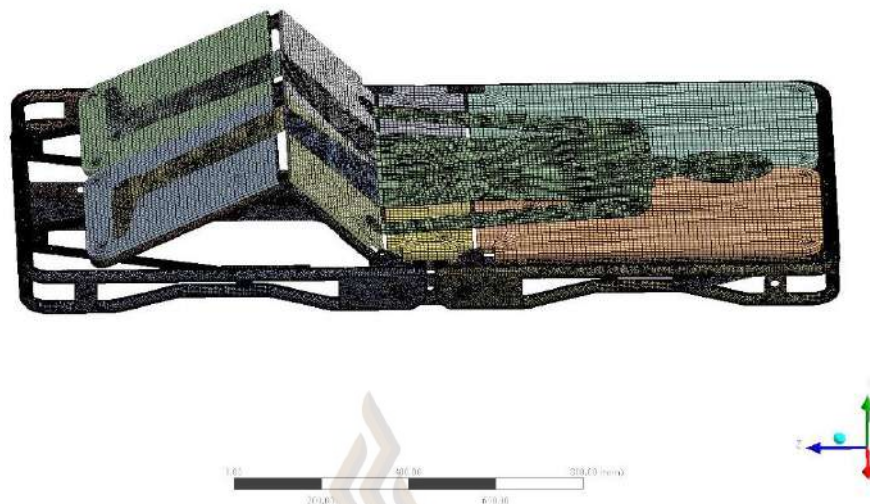
รูปที่ 3.27 แบบ FE Model โครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 รูปแบบท่ายกท้ายเตียงสูง 20 องศา



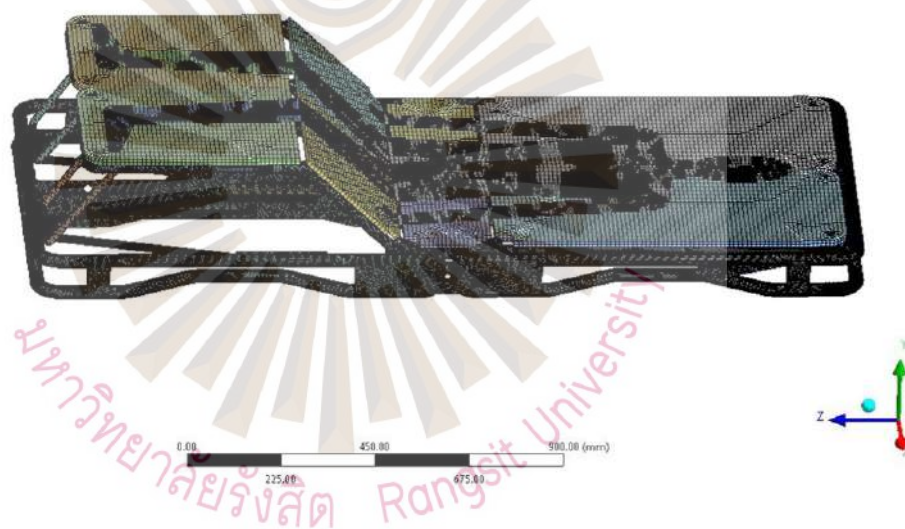
รูปที่ 3.28 แบบ FE Model โครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำยกกล้าตัว 45 องศา



รูปที่ 3.29 แบบ FE Model โครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำยกสะโพก 200 มม.



รูปที่ 3.30 แบบ FE Model โครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบท่ายกเข้าชั้น 45 องศา



รูปที่ 3.31 แบบ FE Model โครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบท่ายกเข้าชั้นเท้าสูง

โดยหลังการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คณะผู้วิจัยทำการทดสอบการลู่เข้าของอีลิเมนต์ (Mesh Convergence) กับโครงสร้าง ขนาด 25.40 มม. รูปแบบท่ายกหัวเตียง โดยกำหนดแรงกระทำ 1,000 นิวตัน ที่เงื่อนไขจำนวนอีลิเมนต์ 1, 1/2, 1/4, 1/8 และ 1/16 เท่าแล้วทำการวิเคราะห์เบื้องต้น พบค่าความเค้นผสมรวมของทั้ง 5 เงื่อนไข แตกต่างกัน 11.71% ดังตารางที่ 3.3 และ รูปที่ 3.32 - 3.33

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบการลู่เข้าของอีลิเมนต์

	Mesh Quantity		Result
	Nodes (Pcs)	Elements (Pcs)	Max Von mises stress (MPa)
Reference mesh (M ₁)			
ขนาดเมช 1 เท่า	874,549	186,268	62.5
(5 มม. และ 10 มม.)			
Mesh convergence (M ₂)			
ลำดับที่ 1	889,028	191,757	62.9
ขนาดเมช 1/2 เท่า (0.5×)			
ลำดับที่ 2	920,462	203,740	72.87
ขนาดเมช 1/4 เท่า (0.25×)			
ลำดับที่ 3	1,034,827	239,840	78.43
ขนาดเมช 1/8 เท่า (0.125×)			
ลำดับที่ 4	1,079,356	265,223	65.087
ขนาดเมช 1/16 เท่า (0.0625×)			
ค่าความแตกต่าง = $ ((M_1 - M_{2\text{ average}}) / M_1) \times 100\%$			11.71%

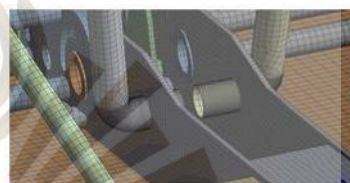
อีลิเมนต์ขนาด 10 มม.



อีลิเมนต์ขนาด 5 มม.



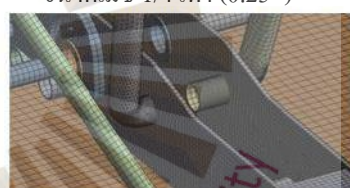
ขนาดเมฆ 1/2 นิ้ว (0.5×)



ขนาดเมฆ 1/4 นิ้ว (0.25×)



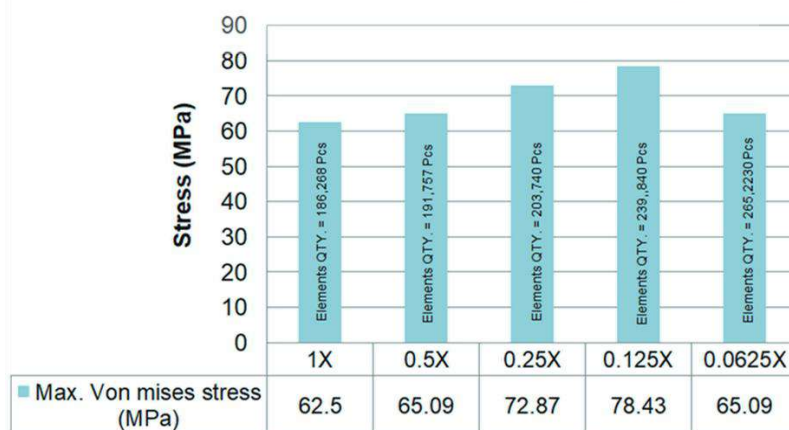
ขนาดเมฆ 1/8 นิ้ว (0.125×)



ขนาดเมฆ 1/16 นิ้ว (0.0625×)

รูปที่ 3.32 รูปการทดสอบการลู่เข้าของอีลิเมนต์

Max. Von mises stress (MPa)



รูปที่ 3.33 รูปกราฟผลทดสอบการลู่เข้าของอีลิเมนต์

3.3.2.3 การกำหนดคุณสมบัติวัสดุ

ในการออกแบบเดียงนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุท่ออลูมิเนียมสำหรับชิ้นงานที่เป็นโครงสร้างส่วนใหญ่เพื่อให้มีน้ำหนักเบา เช่น ตัวโครงเดียงชั้น 1 - 2 ซึ่งมีขนาดใหญ่ และเลือกใช้วัสดุเหล็กสำหรับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและต้องรับภาระมาก เช่น ตัวแกนเกลียวและแป้นเกลียวของชุดยก บานพับ และข้อต่อต่าง ๆ โดยได้กำหนดวัสดุอลูมิเนียมเป็นเกรด AL6061 T6 และวัสดุเหล็กเป็นเกรด SS400 ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้งานทั่วไป สามารถจัดหาได้ภายในประเทศ โดยคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่เลือกใช้ในการออกแบบวิเคราะห์เป็นไปตามตารางที่ 3.4 และ 3.5

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ AL6061 T6

Material	Density (g./cc.)	Ultimate Tensile Strength (MPa.)	Tensile Strength at Yield (MPa.)	Elongation at break (%)	Modulus of Elasticity (GPa.)
AL 6061 - T6	2.70	290	255	12%	68.90

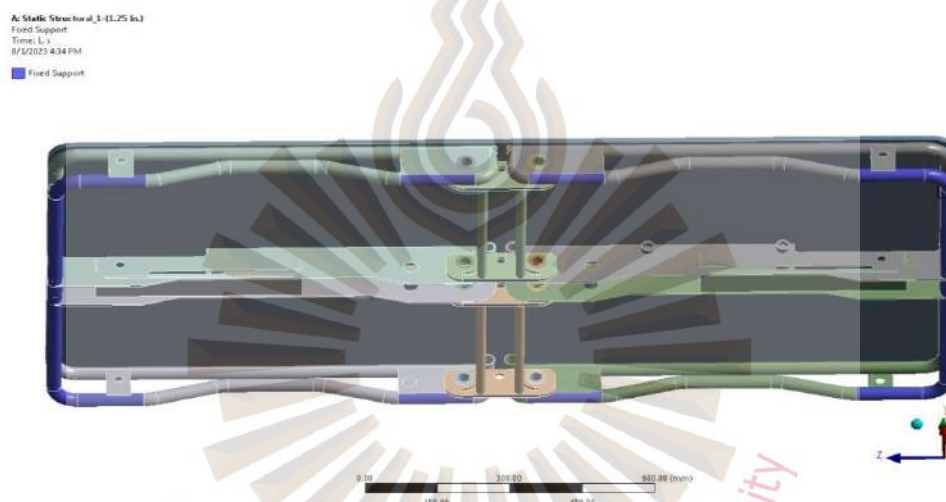
ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ SS400

Material	Density (g./cc.)	Ultimate Tensile Strength (MPa.)	Tensile Strength at Yield (MPa.)	Elongation at break (%)	Modulus of Elasticity (GPa.)
SS400	7.80	400	245	17%	79

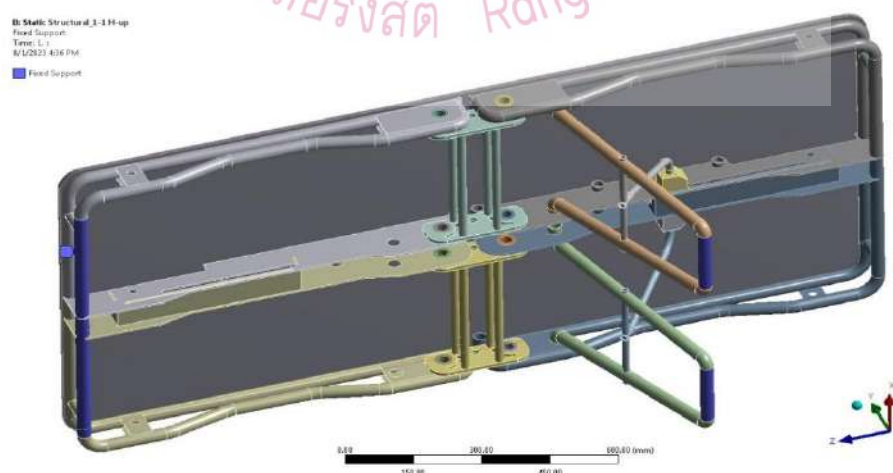
3.3.2.4 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในการวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้กำหนดจุดรองรับ (Support) ของโครงร่างเดียง บริเวณผิวสัมผัสของชิ้นส่วนเดียงที่รองรับน้ำหนักด้านล่างสุดที่สัมผัสกับพื้น ที่นอนผู้ป่วยให้เป็นแบบ Fix Support เสมือนยึดติดกับพื้นที่ยาวเดียงเพื่อใช้งาน โดยผิวชิ้นส่วนที่ถูกกำหนดเป็น Fix Support ได้แก่ ผิวด้านล่างของโครงเดียงและขาตั้งเดียง ซึ่งลักษณะการกำหนดจุดรองรับของแต่ละท่าจะต่างกันออกไปตามลักษณะการใช้งานจริง โดยการกำหนดจุดรองรับของ

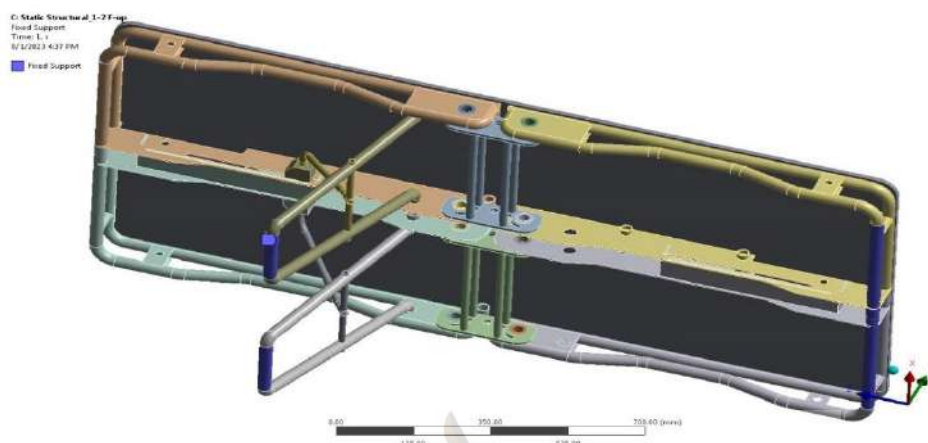
โครงสร้างเตียงแต่ละทำ ดังรูปที่ 3.34 - 3.40 และเนื่องจากแบบจำลองโครงสร้างเตียง สร้างโดยใช้ชิ้นส่วนหลายชิ้นเป็นลักษณะงานประกอบ (Assembly) จึงต้องเพิ่มการกำหนดหน้าสัมผัส (Contact) ของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น เพื่อให้การประมวลผลมีความแม่นยำใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น ซึ่งในขณะเดียวกันก็ใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นตามไปด้วย โดยในแบบจำลองนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดตำแหน่งหน้าสัมผัสของโครงสร้างแต่ละชิ้นที่มีการล๊อคติดกันหรือตำแหน่งที่มีการขับเคลื่อนด้วยเกียร์ให้เป็นลักษณะผิวสัมผัสแบบติดแน่น (Bond) และกำหนดตำแหน่งหน้าสัมผัสของโครงสร้างที่ติดกันในลักษณะวางหรือสวมกัน ให้เป็นลักษณะผิวติดกันแต่เลื่อนไถลได้ (Nonseparable)



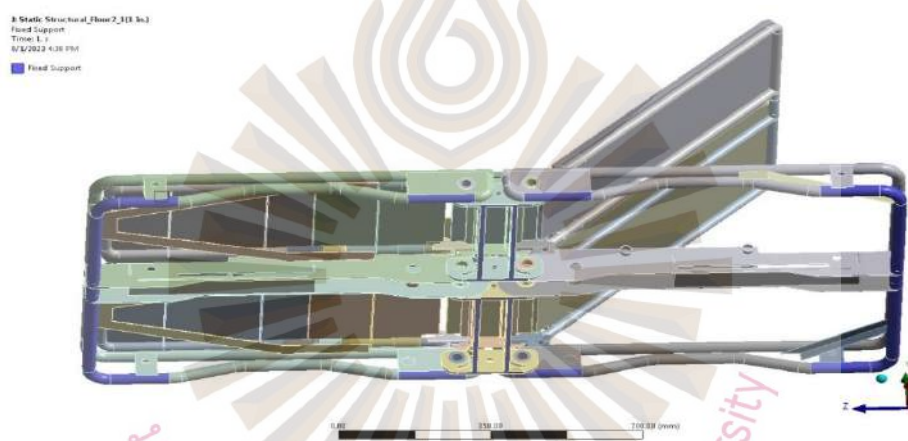
รูปที่ 3.34 การกำหนดจุดรองรับของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 รูปแบบท่อนอนราบ



รูปที่ 3.35 การกำหนดจุดรองรับของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 รูปแบบท่ายกหัวเตียงสูง 20 องศา



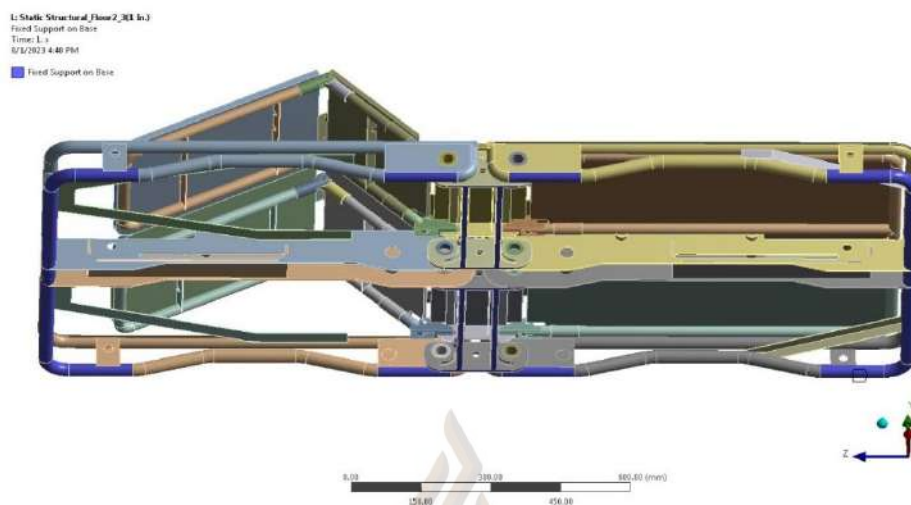
รูปที่ 3.36 การกำหนดจุดรองรับของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 รูปแบบท่ายกท้ายเตียงสูง 20 องศา



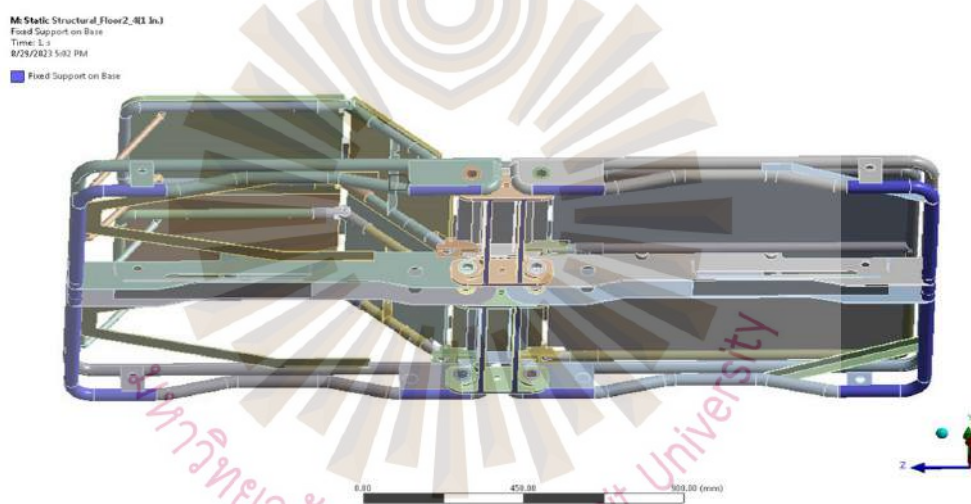
รูปที่ 3.37 การกำหนดจุดรองรับของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบท่ายกเก้าอี้ 45 องศา



รูปที่ 3.38 การกำหนดจุดรองรับของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบท่ายกสะโพก 200 มม.



รูปที่ 3.39 การกำหนดจุดรองรับของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำชั้นเข้า 45 องศา

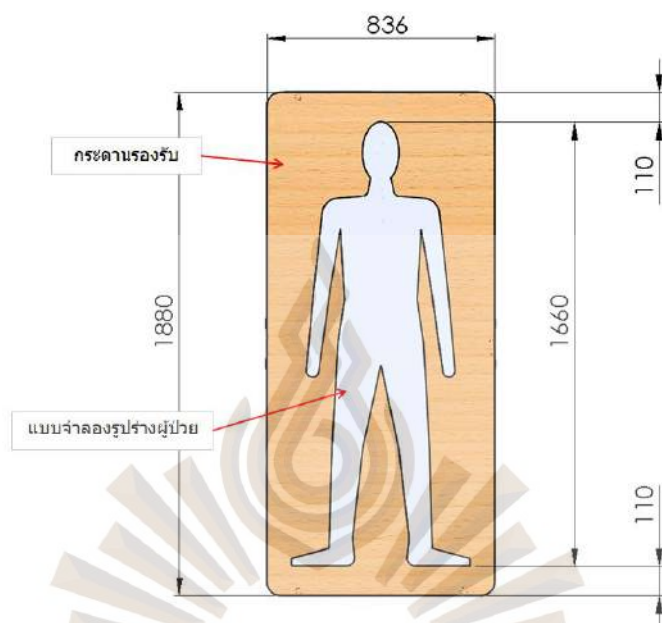


รูปที่ 3.40 การกำหนดจุดรองรับของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 รูปแบบทำชั้นเข้าทำสูง

3.3.2.5 การกำหนดแรงที่มากกระทำ

การกำหนดแรงกระทำเพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเตียง ผู้วิจัยได้กำหนดแรงกระทำขนาด 200 กก. หรือ 1,962 นิวตัน กระทำในทิศทางแนวดิ่งแทนน้ำหนักตัวของผู้ป่วย ซึ่งขนาดแรงดังกล่าวเป็นน้ำหนักขั้นต่ำที่เตียงต้องรับได้โดยไม่เสียหาย อ้างอิงตามมาตรฐาน BS EN 60601-2-52:2010 หัวข้อ Safe Working Load โดยพื้นที่และตำแหน่งแรงกระทำเป็นไปตามแบบจำลองรูปร่างผู้ป่วย ซึ่งได้ออกแบบโดยอ้างอิงจากขนาดร่างกายเฉลี่ยชายไทยช่วงอายุ 30 - 39 ปี วางกำหนดตำแหน่งให้สะโพกของผู้ป่วยอยู่ในช่วงกลางเตียง ซึ่งส่วนเท้าและหัวของร่างกายอยู่ห่างจากขอบเตียงด้านละ 110 มม. ดังรูปที่ 3.41 โดยบนโครงสร้างชั้นที่ 1 การรับภาระของโครงสร้างทุก

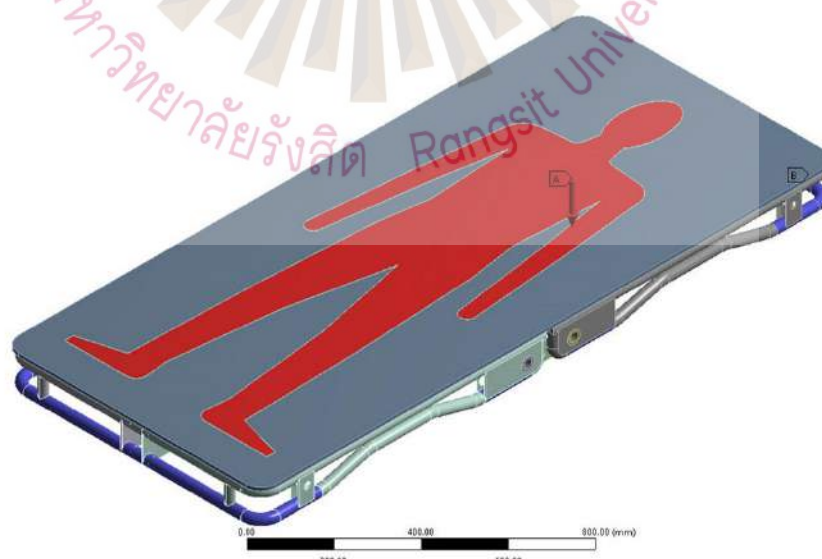
ขนาดจะเป็นลักษณะเดียวกันทั้งหมด โดยการกำหนดตำแหน่งและทิศทางของแรงกระทำแสดงดังรูปที่ 3.42 - 3.44



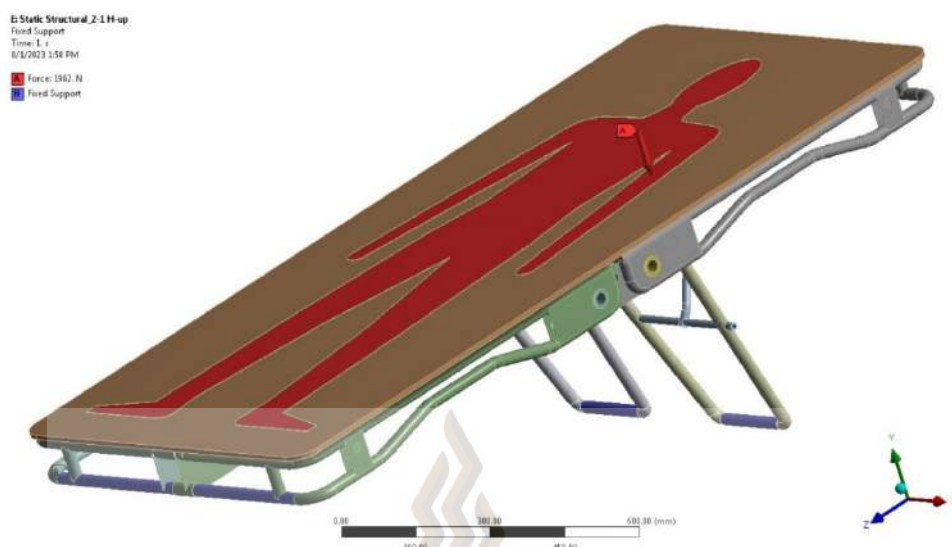
รูปที่ 3.41 แบบจำลองรูปร่างผู้ป่วยและตำแหน่งการวางร่างผู้ป่วยบนกระดานรองรับ

A: Static Structural, 1-(11.25 in.)
Static Structural
Time: 1.5
7/31/2013 6:17 PM

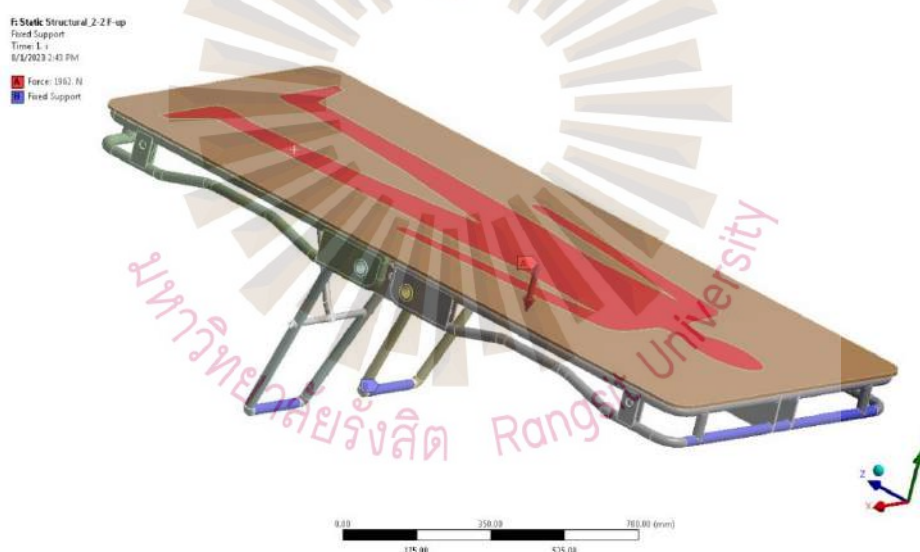
Force: 1962, N
Fixed Support



รูปที่ 3.42 ตำแหน่ง รูปร่างและทิศทางของแรงที่กระทำบน โครงสร้างเตียงชั้นที่ 1
รูปแบบท่านอนราบ



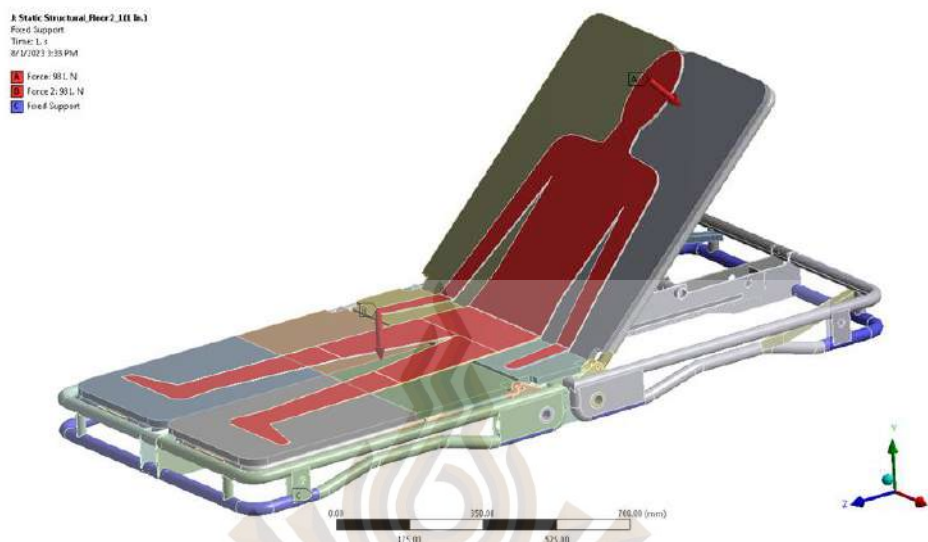
รูปที่ 3.43 ตำแหน่ง รูปร่างและทิศทางของแรงที่กระทำบนโครงสร้างเตียงชั้นที่ 1
รูปแบบท่ายกหัวสูง 20 องศา



รูปที่ 3.44 ตำแหน่ง รูปร่างและทิศทางของแรงที่กระทำบนโครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 รูปแบบท่ายกท้าย
เตียงสูง 20 องศา

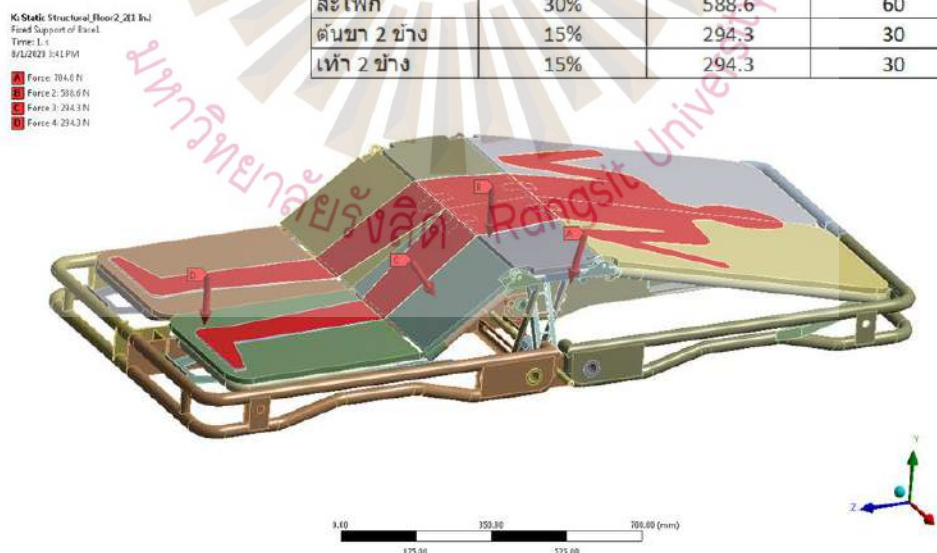
สำหรับโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 ลักษณะท่าทางและตำแหน่งของผู้ป่วย รวมทั้งทิศทางของแรงจะถูกเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการจัดท่าที่กำหนด จึงต้องเปลี่ยนแบบจำลองผู้ป่วยและแบ่งสัดส่วนของน้ำหนักผู้ป่วยเพื่อให้การจำลองภาระกรรมใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง โดยรูปร่างและการแบ่งสัดส่วนน้ำหนักของผู้ป่วยในท่าต่าง ๆ เป็นไปตามรูปที่ 3.45 - 3.48

	สัดส่วนน้ำหนัก	น้ำหนัก (นิวตัน)	น้ำหนัก (กก.)
ร่างกายท่อนบน	50%	981	100
ร่างกายท่อนล่าง	50%	981	100

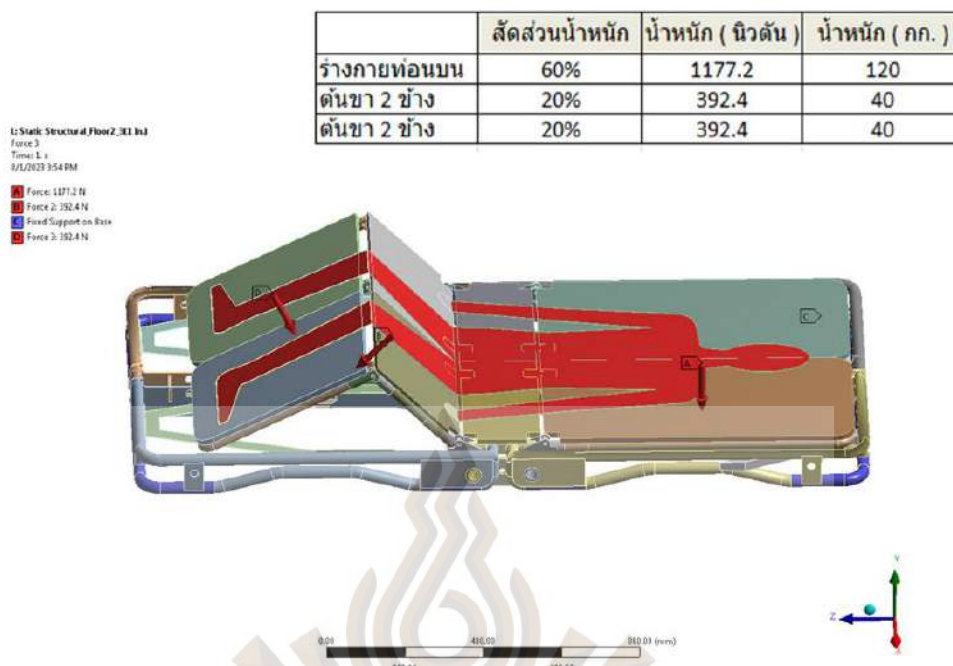


รูปที่ 3.45 ตำแหน่งรูปร่าง ทิศทาง และสัดส่วนของแรงที่กระทำบน โครงสร้างเตียงชั้นที่ 2
รูปแบบทำยกลำตัว 45 องศา

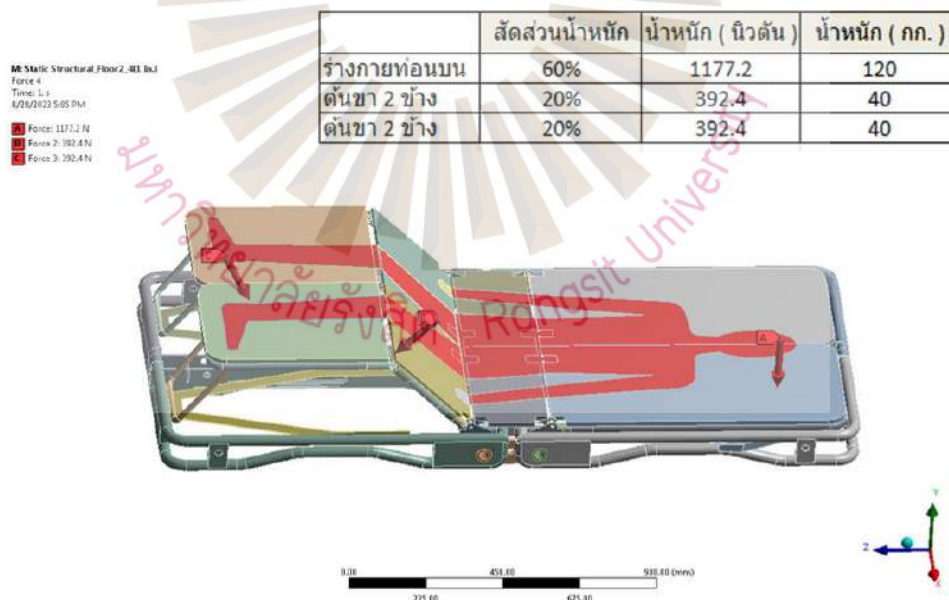
	สัดส่วนน้ำหนัก	น้ำหนัก (นิวตัน)	น้ำหนัก (กก.)
ร่างกายท่อนบน	40%	784.8	80
สะโพก	30%	588.6	60
ต้นขา 2 ข้าง	15%	294.3	30
เท้า 2 ข้าง	15%	294.3	30



รูปที่ 3.46 ตำแหน่งรูปร่าง ทิศทาง และสัดส่วนของแรงที่กระทำบน โครงสร้างเตียงชั้นที่ 2
รูปแบบทำยกสะโพก 200 มม.



รูปที่ 3.47 ตำแหน่งรูปร่าง ทิศทาง และสัดส่วนของแรงที่กระทำบนโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2
รูปแบบท่าชันเข้า 45 องศา



รูปที่ 3.48 ตำแหน่งรูปร่าง ทิศทาง และสัดส่วนของแรงที่กระทำบนโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2
รูปแบบท่าชันเข้า เก้าสูง

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

บทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบการรับภาระกรรมของเตียงพับปรับได้จากน้ำหนักตัวของผู้ป่วยในลักษณะต่าง ๆ กระทำบน โครงสร้างเตียง ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของ โครงสร้างเตียง ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ และผลการออกแบบเตียงพับปรับได้หลังการวิเคราะห์ ซึ่งมี รายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการจำลองและวิเคราะห์การรับภาระกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

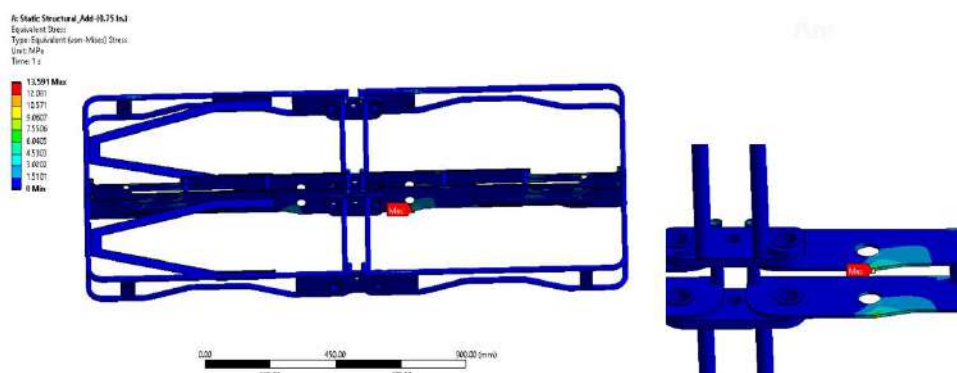
การจำลองการรับภาระกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์นี้ ได้แบ่งการจำลองออกเป็น 2 ชั้น แล้วทำการจำลอง โครงสร้างทีละชั้น โดยแสดงผลการจำลองเป็นตำแหน่งการเกิดค่าความเค้น ผสมรวม (Von Mises Stress) ค่าการเสียรูป (Deformation) และค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ตามลำดับ

4.1.1 ผลการจำลองการรับภาระกรรมของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 1

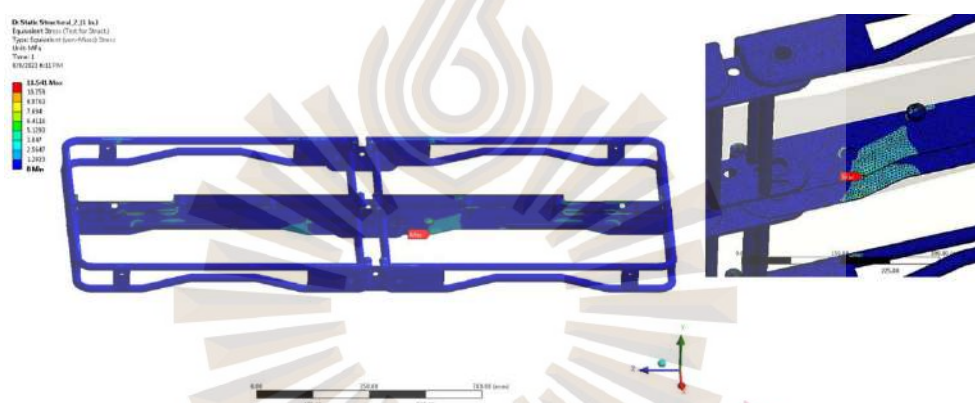
ใน โครงสร้างชั้นที่ 1 กำหนดเงื่อนไขการจำลองโดยใช้ภาระกรรมจากน้ำหนักตัวผู้ป่วย คงที่ 200 กก. (หรือ 1,962 นิวตัน) กระทำลงบนเตียงในลักษณะการวางที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ ท่านอนราบปกติ ท่าเอียงยกหัวเตียงขึ้น และท่าเอียงยกท้ายเตียงขึ้นทำมุม 20 องศา กับพื้น ดังรูปที่ 3.42 - 3.44 โดยกำหนดจุดรองรับของแต่ละรูปแบบจะต่างกันไปตามสอดคล้องตามการใช้งานจริง ดังรูปที่ 3.34 - 3.36 ตัวโครงสร้างทั้งสามรูปแบบจะถูกแบ่งย่อยออกเป็นขนาดที่แตกต่างกัน 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มม. 25.40 มม. 31 มม. และ 38 มม. เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบหาขนาดโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดนำไปสร้างเป็นโครงสร้างชั้นที่ 2 ต่อไป โดยผลการจำลองการรับภาระกรรม ของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 1 ในแต่ละรูปแบบเป็นดังนี้

4.1.1.1 รูปแบบท่านอนราบ

- 1) ค่าความเค้นผสมรวม (Von Miss Stress; MPa)



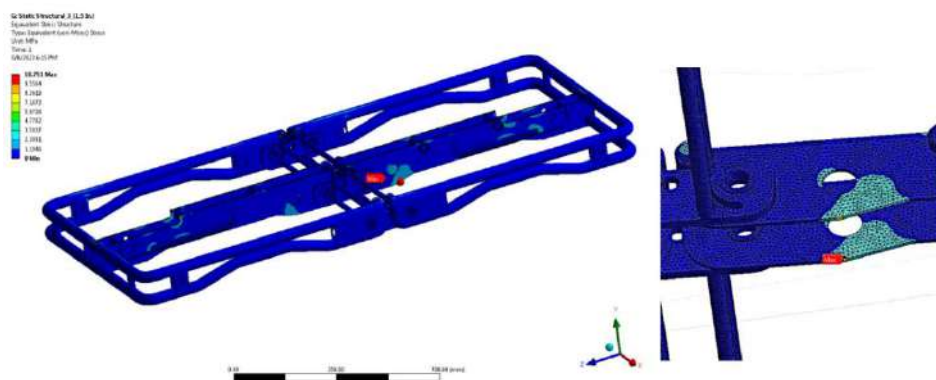
รูปที่ 4.1 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 19 มม. ท่อนอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.2 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่อนอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

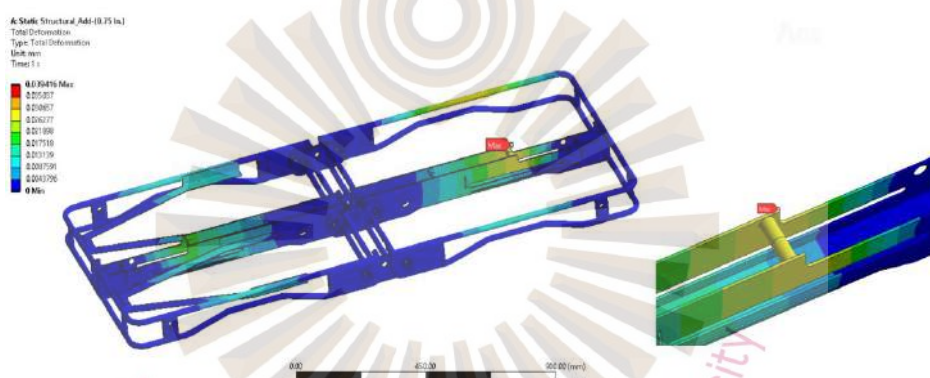


รูปที่ 4.3 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ท่อนอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

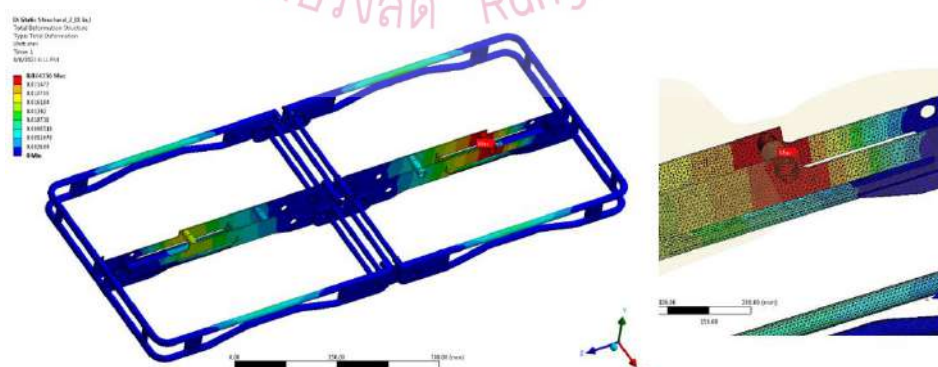


รูปที่ 4.4 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ทำนอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

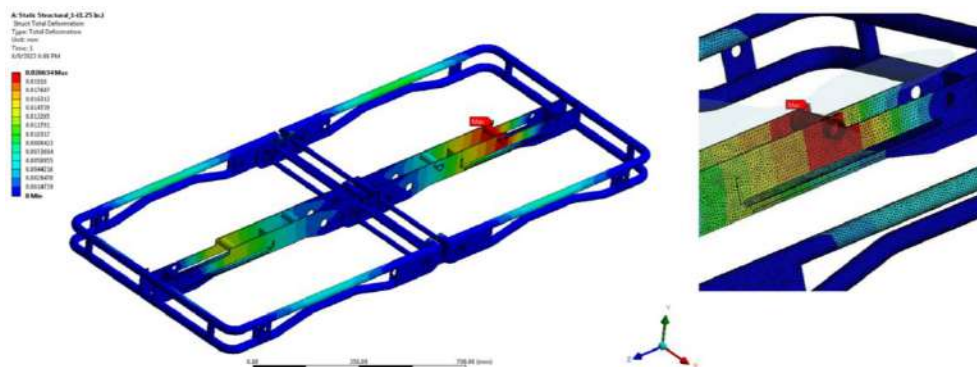
2) ค่าการเสียรูป (Deformation; mm)



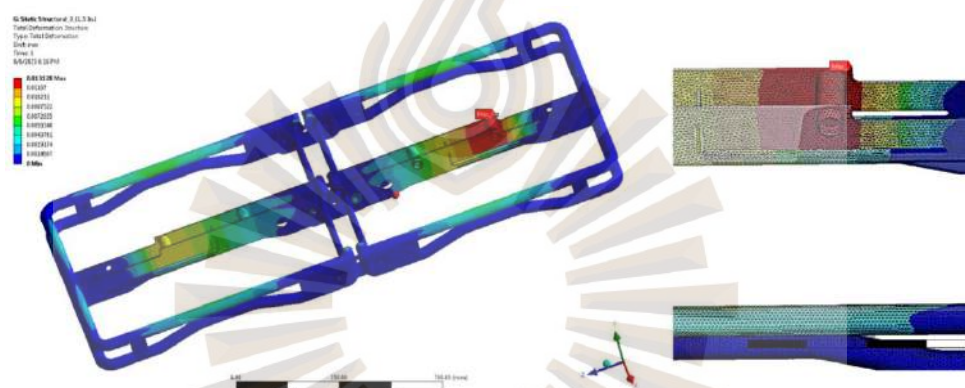
รูปที่ 4.5 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 19 มม. ทำนอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.6 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำนอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

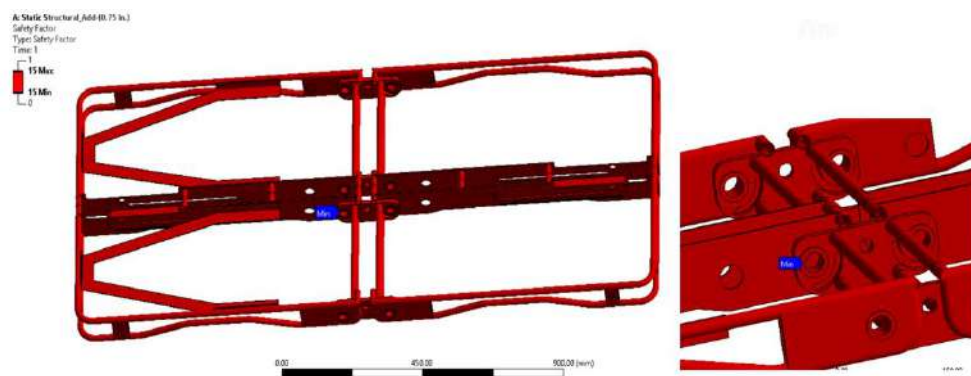


รูปที่ 4.7 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ทำนอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

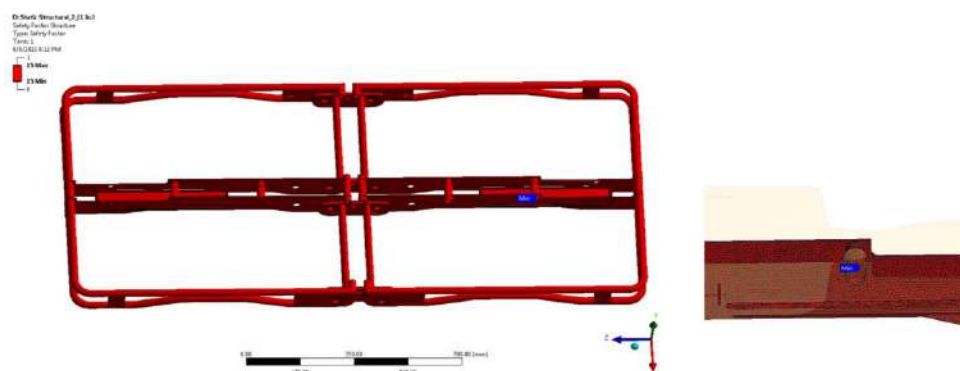


รูปที่ 4.8 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ทำนอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

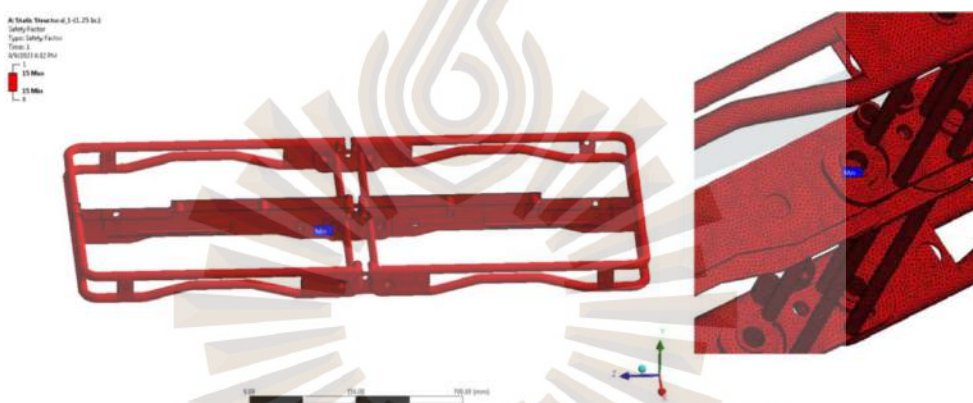
3) ค่าความปลอดภัย (Safety Factor)



รูปที่ 4.9 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 19 มม. ทำนอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.10 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำนอกรอบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.11 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ทำนอกรอบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.12 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ทำนอกรอบหลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

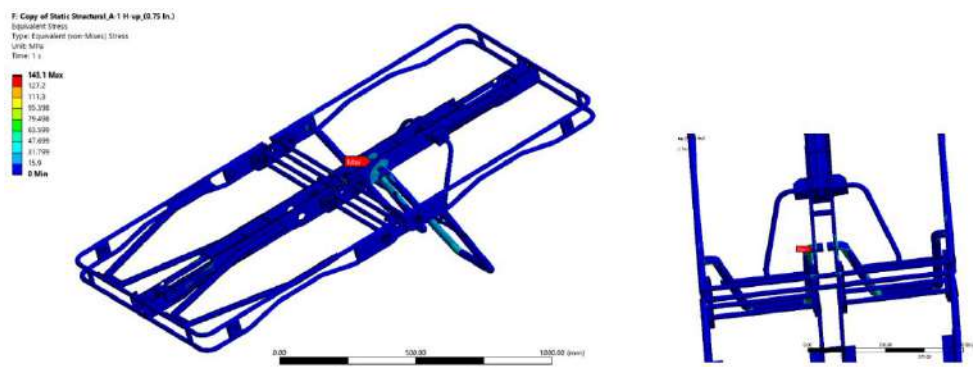
รูปที่ 4.1 - 4.4 แสดงให้เห็นถึงค่า Maximum Von Mises Stress (ค่าความเค้นผสมรวมสูงสุด) ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างชั้นที่ 1 ในรูปแบบท่านอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม โดยรูปที่ 4.1 แสดงค่า Maximum Von Mises Stress บนโครงสร้างขนาด 19 มม. รูปที่ 4.2 โครงสร้างขนาด 25.40 มม. รูปที่ 4.3 โครงสร้างขนาด 31 มม. และรูปที่ 4.4 โครงสร้างขนาด 38 มม. ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าความเค้นเกิดขึ้นสูงสุดที่โครงสร้างขนาด 19 มม. โดยเกิดขึ้น 13.59 MPa ลำดับรองลงมาเป็นโครงสร้างขนาด 25.40 มม. เกิดขึ้น 11.54 MPa โครงสร้างขนาด 31 มม. เกิดขึ้น 10.89 MPa และโครงสร้างขนาด 38 มม. เกิดขึ้น 10.75 MPa ตามลำดับ โดยจุดที่เกิดค่าความเค้นวอนมิสสูงสุดเกิดบริเวณขาตั้งยันซึ่งสวมต่อกับโครงสร้างชั้นที่ 1 ของเตียง เกิดบริเวณเดียวกันทั้งหมดในโครงสร้างทั้ง 4 ขนาด

รูปที่ 4.5 - 4.8 แสดงให้เห็นถึงค่า Maximum Deformation (ค่าการเสียรูปสูงสุด) ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างชั้นที่ 1 ในรูปแบบท่านอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม โดยรูปที่ 4.5 แสดงค่า Maximum Deformation บนโครงสร้างขนาด 19 มม. รูปที่ 4.6 โครงสร้างขนาด 25.40 มม. รูปที่ 4.7 โครงสร้างขนาด 31 มม. และรูปที่ 4.8 โครงสร้างขนาด 38 มม. ซึ่งจากผลการจำลองพบว่า การเสียรูปเกิดขึ้นสูงสุดที่โครงสร้างขนาด 19 มม. โดยเกิดขึ้น 0.039 มม. ลำดับรองลงมาเป็นโครงสร้างขนาด 25.40 มม. โดยเกิดขึ้น 0.024 มม. โครงสร้างขนาด 31 มม. เกิดขึ้น 0.020 มม. และโครงสร้างขนาด 38 มม. เกิดขึ้น 0.013 มม. ตามลำดับ โดยจุดที่เกิดการเสียรูปสูงสุดของโครงสร้างทั้ง 4 ขนาด เกิดในบริเวณเดียวกันทั้งหมด

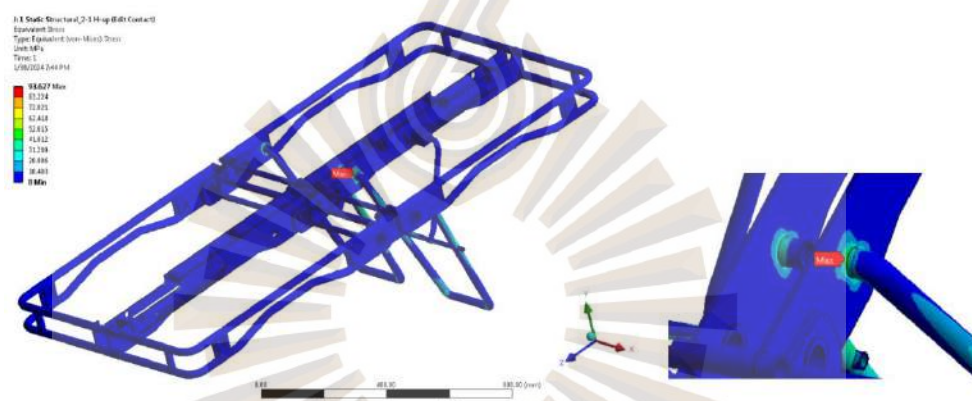
รูปที่ 4.9 - 4.12 แสดงให้เห็นถึงค่า Minimum Safety Factor (ค่าความปลอดภัยต่ำสุด) ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างชั้นที่ 1 ในรูปแบบท่านอนราบหลังการจำลองการรับภาระกรรม โดยรูปที่ 4.9 แสดงค่า Minimum Safety Factor บนโครงสร้างขนาด 19 มม. รูปที่ 4.10 โครงสร้างขนาด 25.40 มม. รูปที่ 4.11 โครงสร้างขนาด 31 มม. และรูปที่ 4.12 โครงสร้างขนาด 38 มม. ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าค่าความปลอดภัยเกิดขึ้นต่ำสุดค่าเท่ากับ 15 ในโครงสร้างทุกขนาดไม่แตกต่างกัน

4.1.1.2 รูปแบบถ่ายน้ำหนักเตียงขึ้น 20 องศา

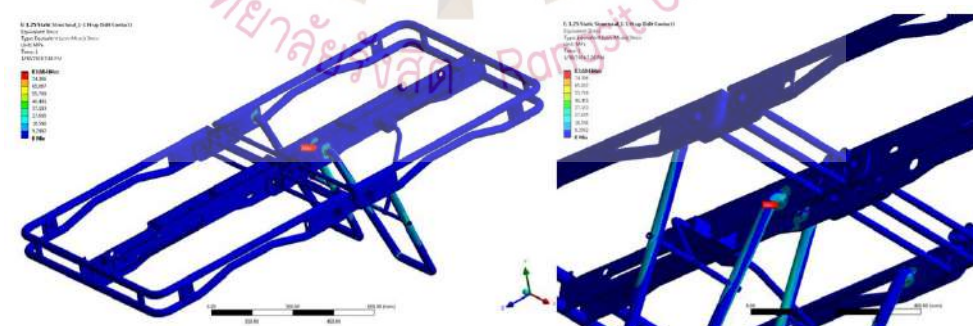
1) ค่าความเค้นผสมรวม



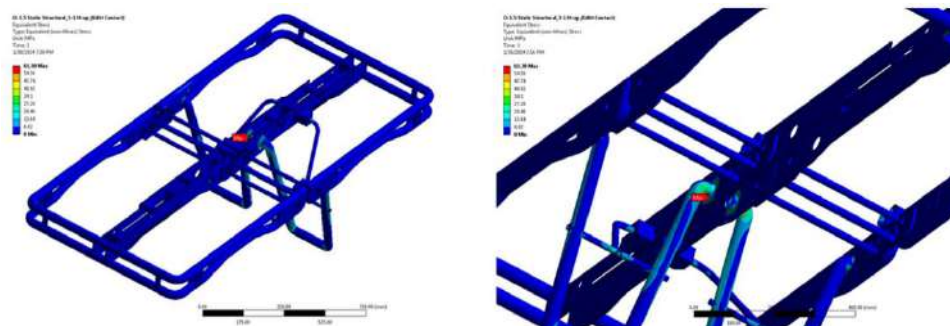
รูปที่ 4.13 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 19 มม. ท่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.14 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

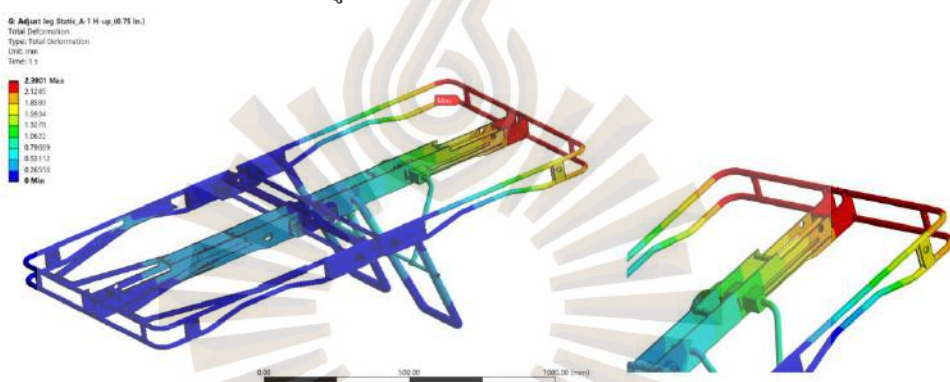


รูปที่ 4.15 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ท่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

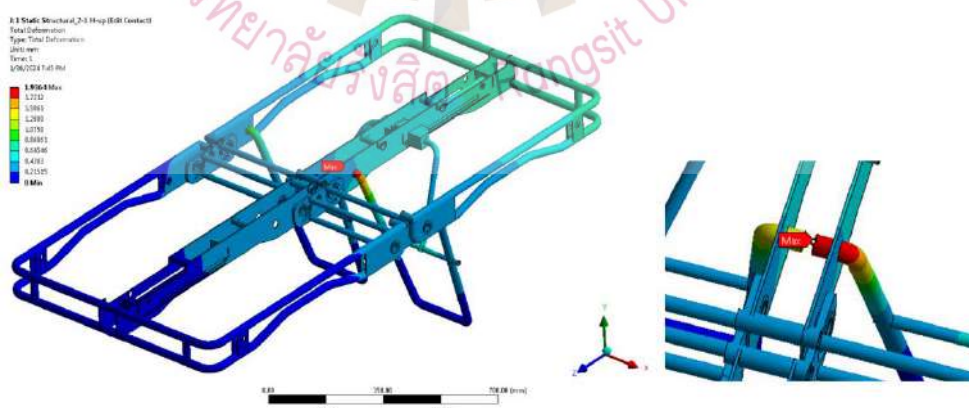


รูปที่ 4.16 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ท่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

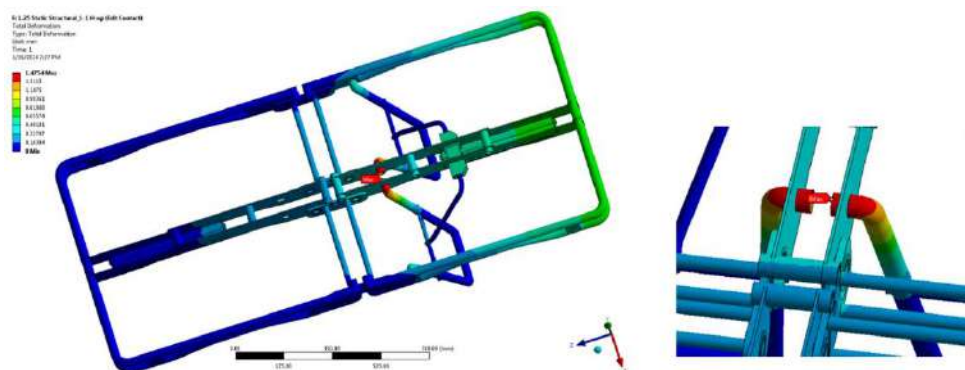
2) ค่าการเสียรูป



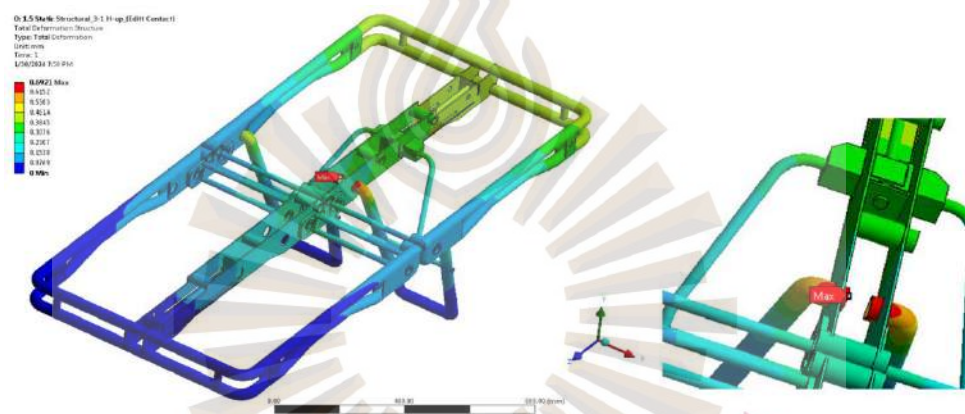
รูปที่ 4.17 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 19 มม. ท่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.18 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

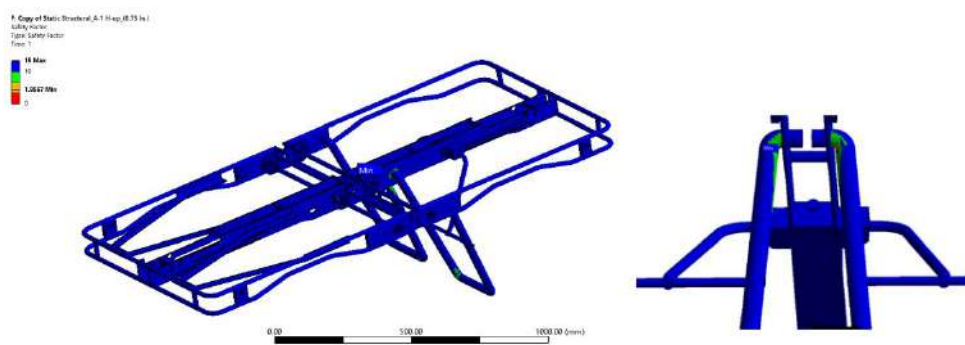


รูปที่ 4.19 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ท้ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

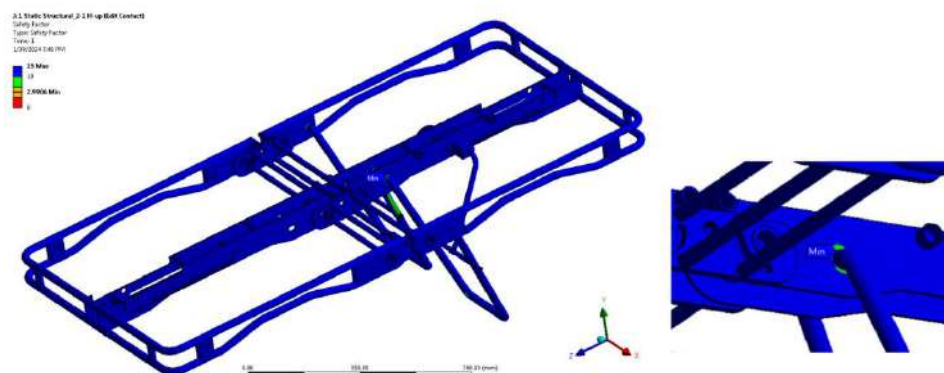


รูปที่ 4.20 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ท้ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

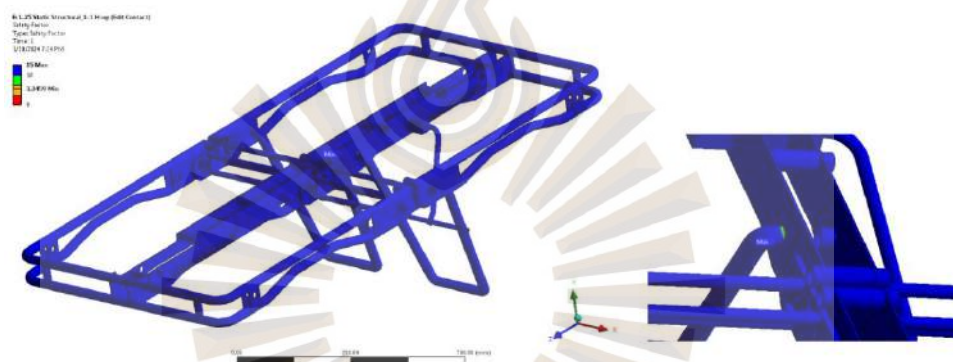
3) ค่าความความปลอดภัย



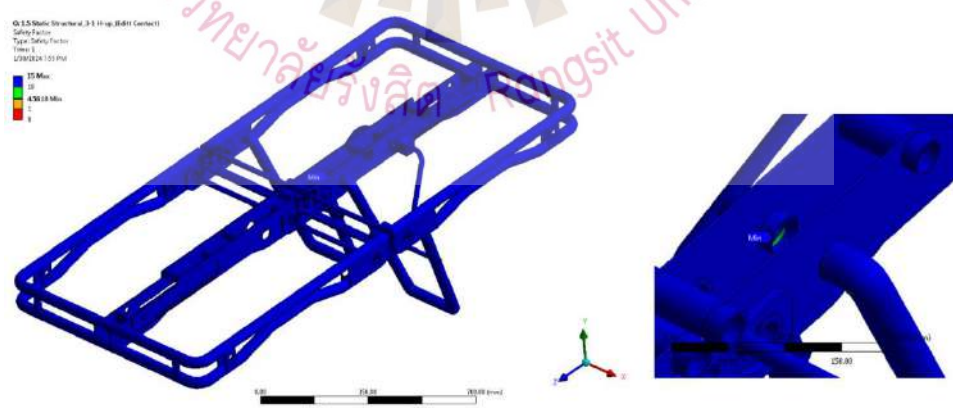
รูปที่ 4.21 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 19 มม. ท้ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.22 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.23 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ท่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.24 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ท่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

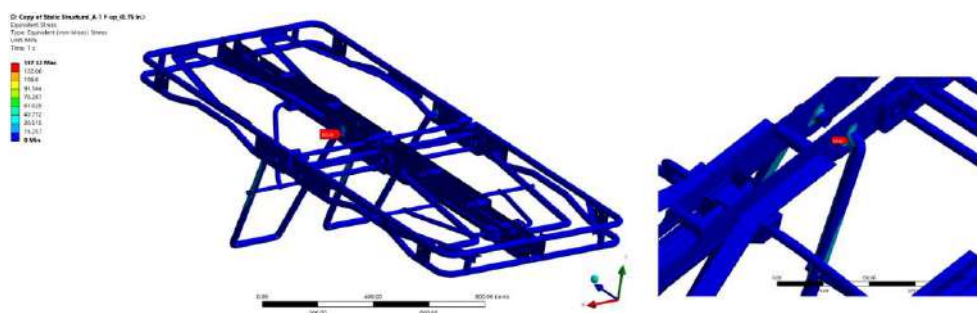
รูปที่ 4.13 - 4.16 แสดงให้เห็นถึงค่า Maximum Von Mises Stress ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างชั้นที่ 1 ในรูปแบบท่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม โดยรูปที่ 4.13 แสดงค่า Maximum Von Mises Stress บนโครงสร้างขนาด 19 มม. รูปที่ 4.14 โครงสร้างขนาด 25.40 มม. รูปที่ 4.15 โครงสร้างขนาด 31 มม. และรูปที่ 4.16 โครงสร้างขนาด 38 มม. ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าความเค้นเกิดขึ้นสูงสุดที่โครงสร้างขนาด 19 มม. โดยเกิดขึ้น 143.10 MPa ลำดับรองลงมาเป็นโครงสร้างขนาด 25.40 มม. โดยเกิดขึ้น 93.63 MPa โครงสร้างขนาด 31 มม. เกิดขึ้น 83.68 MPa และ โครงสร้างขนาด 38 มม. เกิดขึ้น 61.38 MPa ตามลำดับ จุดที่เกิดค่าความเค้นวอนมิสสูงสุดเกิดบริเวณขาตั้งยันซึ่งสวมต่อกับโครงสร้างชั้นที่ 1 ของเตียง โดยโครงสร้างทั้ง 4 ขนาด เกิดค่าความเค้นสูงสุดในบริเวณเดียวกันทั้งหมด

รูปที่ 4.17 - 4.20 แสดงให้เห็นถึงค่า Maximum Deformation ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างชั้นที่ 1 ในรูปแบบท่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม โดยรูปที่ 4.17 แสดงค่า Maximum Deformation บนโครงสร้างขนาด 19 มม. รูปที่ 4.18 โครงสร้างขนาด 25.40 มม. รูปที่ 4.19 โครงสร้างขนาด 31 มม. และรูปที่ 4.20 โครงสร้างขนาด 38 มม. ซึ่งจากผลการจำลองพบว่า การเสียรูปเกิดขึ้นสูงสุดที่โครงสร้างขนาด 19 มม. โดยเกิดขึ้น 2.390 มม. ลำดับรองลงมาเป็นโครงสร้างขนาด 25.40 มม. โดยเกิดขึ้น 1.936 มม. โครงสร้างขนาด 31 มม. เกิดขึ้น 1.475 มม. และโครงสร้างขนาด 38 มม. เกิดขึ้น 0.692 มม. ตามลำดับ จุดที่เกิดการเสียรูปสูงสุดสำหรับโครงสร้างขนาด 25.40 - 38 มม. เกิดในบริเวณขาตั้งยันซึ่งสวมต่อกับชั้นที่ 1 ของเตียงเช่นเดียวกันทั้ง 3 ขนาด และสำหรับโครงสร้างขนาด 19 มม. พบการเสียรูปสูงสุดบริเวณโครงหัวเตียงซึ่งมากกว่าจากบริเวณขาตั้งเตียงเล็กน้อย

รูปที่ 4.21 - 4.24 แสดงให้เห็นถึงค่า Minimum Safety Factor ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างชั้นที่ 1 ในรูปแบบท่ายกหัวเตียงขึ้น 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม โดยรูปที่ 4.21 แสดงค่า Minimum Safety Factor บนโครงสร้างขนาด 19 มม. รูปที่ 4.22 โครงสร้างขนาด 25.40 มม. รูปที่ 4.23 โครงสร้างขนาด 31 มม. และรูปที่ 4.24 โครงสร้างขนาด 38 มม. ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าค่าความปลอดภัยเกิดขึ้นต่ำสุดโครงสร้างขนาด 19 มม. โดยเกิดขึ้น 1.96 ลำดับรองลงมาเป็นโครงสร้างขนาด 25.40 มม. เกิดขึ้น 2.99 โครงสร้างขนาด 31 มม. เกิดขึ้น 3.35 และโครงสร้างขนาด 38 มม. เกิดขึ้น 4.56 ตามลำดับ ซึ่งบริเวณที่เกิดค่า Minimum Safety Factor อยู่ในบริเวณขาตั้งยันซึ่งสวมต่อกับโครงสร้างชั้นที่ 1 ของเตียง เช่นเดียวกันทั้งหมดในทุกขนาดโครงสร้าง

4.1.1.3 รูปแบบท่ายกหัวเตียง 20 องศา

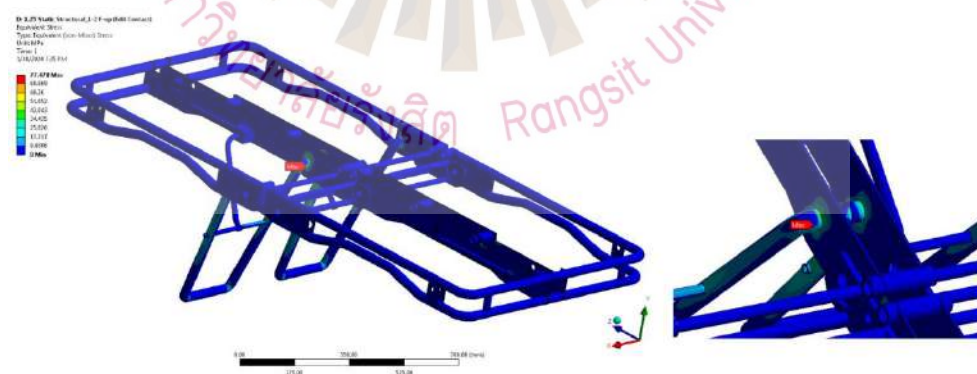
1) ค่าความเค้นผสมรวม



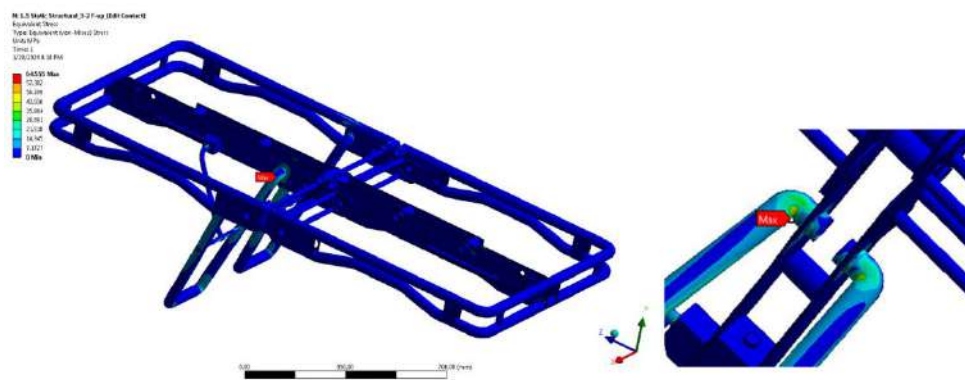
รูปที่ 4.25 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 19 มม. ทำยกท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.26 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำยกท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.27 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ทำยกท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.28 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ท่ายกท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

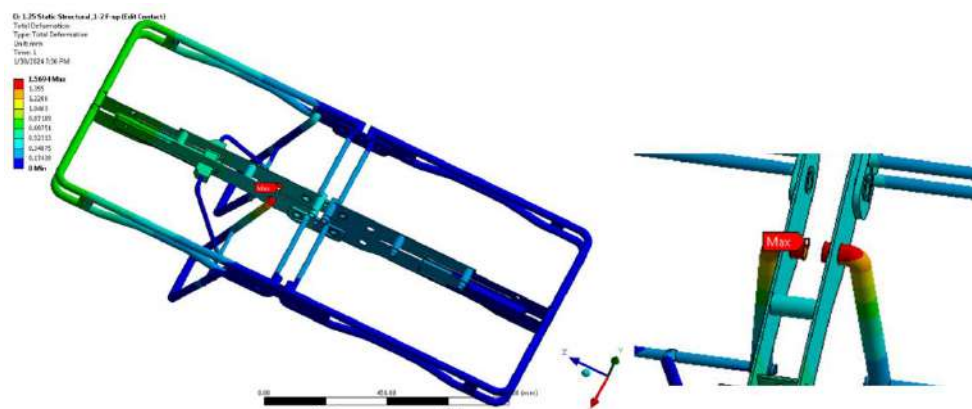
2) ค่าการเสียรูป



รูปที่ 4.29 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 19 มม. ท่ายกท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.30 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

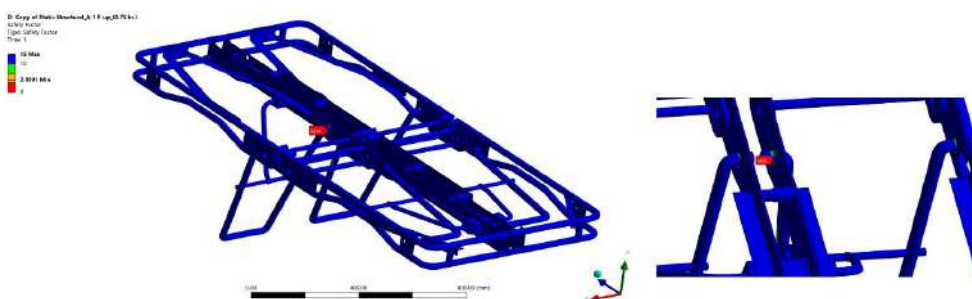


รูปที่ 4.31 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ท่ายกท้ายเตียง 20 องศา
หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

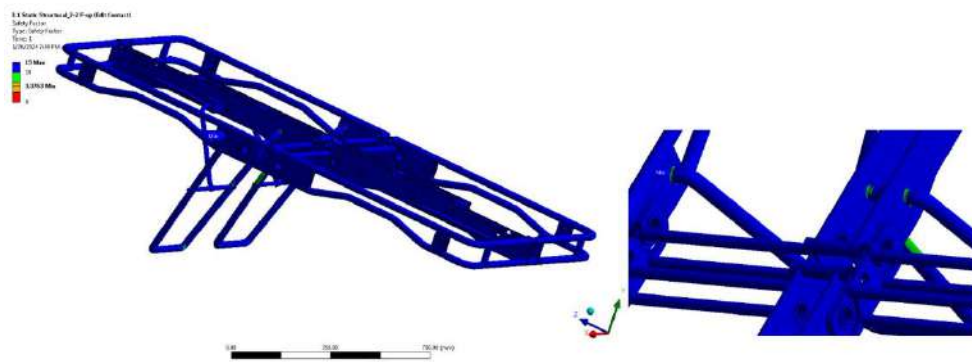


รูปที่ 4.32 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ท่ายกท้ายเตียง 20 องศา
หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

3) ค่าความปลอดภัย



รูปที่ 4.33 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 19 มม. ท่ายกท้ายเตียง 20 องศา
หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.34 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.35 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 31 มม. ท่ายกท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.36 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ขนาด $\varnothing$ 38 มม. ท่ายกท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

รูปที่ 4.25 - 4.28 แสดงให้เห็นถึงค่า Maximum Von Mises Stress ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างชั้นที่ 1 ในรูปแบบท่ายกท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม โดยรูปที่

4.25 แสดงค่า Maximum Von Mises Stress บนโครงสร้างขนาด 19 มม. รูปที่ 4.26 โครงสร้างขนาด 25.40 มม. รูปที่ 4.27 โครงสร้างขนาด 31 มม. และรูปที่ 4.28 โครงสร้างขนาด 38 มม. ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าความเค้นเกิดขึ้นสูงสุดที่โครงสร้างขนาด 19 มม. โดยเกิดขึ้น 137.32 MPa ลำดับรองลงมาเป็นโครงสร้างขนาด 25.40 มม. เกิดขึ้น 82.93 MPa โครงสร้างขนาด 31 มม. เกิดขึ้น 77.48 MPa และ โครงสร้างขนาด 38 มม. เกิดขึ้น 64.55 MPa ตามลำดับ จุดที่เกิดค่าความเค้นวอนมิสสูงสุดเกิดบริเวณขาตั้งยันซึ่งสวมต่อกับโครงสร้างชั้นที่ 1 ของเตียง โดยโครงสร้างทั้ง 4 ขนาด เกิดค่าความเค้นสูงสุดในบริเวณเดียวกันทั้งหมด

รูปที่ 4.29 - 4.32 แสดงให้เห็นถึงค่า Maximum Deformation ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างชั้นที่ 1 ในรูปแบบท่ายกท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม โดยรูปที่ 4.29 แสดงค่า Maximum Deformation บนโครงสร้างขนาด 19 มม. รูปที่ 4.30 โครงสร้างขนาด 25.40 มม. รูปที่ 4.31 โครงสร้างขนาด 31 มม. และรูปที่ 4.32 โครงสร้างขนาด 38 มม. ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าเกิดการเสียรูปเกิดขึ้นสูงสุดที่โครงสร้างขนาด 19 มม. โดยเกิดขึ้น 2.050 มม. ลำดับรองลงมาเป็นโครงสร้างขนาด 25.40 มม. เกิดขึ้น 1.671 มม. โครงสร้างขนาด 31 มม. เกิดขึ้น 1.569 มม. และ โครงสร้างขนาด 38 มม. เกิดขึ้น 0.898 มม. ตามลำดับ ตำแหน่งที่เกิดการเสียรูปสูงสุดเกิดบริเวณขาตั้งยันซึ่งสวมต่อกับโครงสร้างชั้นที่ 1 ของเตียง โดยโครงสร้างทั้ง 4 ขนาด เกิดค่าความเค้นสูงสุดในบริเวณเดียวกันทั้งหมด

รูปที่ 4.33 - 4.36 แสดงให้เห็นถึงค่า Minimum Safety Factor ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างชั้นที่ 1 ในรูปแบบท่ายกท้ายเตียง 20 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม โดยรูปที่ 4.33 แสดงค่า Minimum Safety Factor บนโครงสร้างขนาด 19 มม. รูปที่ 4.34 โครงสร้างขนาด 25.40 มม. รูปที่ 4.35 โครงสร้างขนาด 31 มม. และรูปที่ 4.36 โครงสร้างขนาด 38 มม. ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าค่าความปลอดภัยเกิดขึ้นต่ำสุดที่โครงสร้างขนาด 19 มม. โดยเกิดขึ้น 2.03 มม. ลำดับรองลงมาเป็นโครงสร้างขนาด 25.40 มม. เกิดขึ้น 3.38 มม. โครงสร้างขนาด 31 มม. เกิดขึ้น 3.61 มม. และ โครงสร้างขนาด 38 มม. เกิดขึ้น 4.34 ตามลำดับ ซึ่งบริเวณที่เกิดค่า Minimum Safety Factor ของโครงสร้างทั้ง 4 ขนาด เกิดขึ้นในบริเวณเดียวกันทั้งหมด

จากผลการจำลองการรับภาระกรรม สามารถสรุปเป็นค่า Max. Von Mises Stress Max. Deformation และ ค่า Min. Safety Factor ค่าการเสียรูปสูงสุด และค่าความปลอดภัยของโครงสร้างในแต่ละขนาดและรูปแบบได้ ดังตารางที่ 4.1 - 4.3

ตารางที่ 4.1 ค่า Maximum Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ในแต่ละรูปแบบ

รูปแบบ ผลลัพธ์ .	Maximum Von Mises Stress (MPa.)			
	ขนาด Ø 19 มม.	ขนาด Ø 25.4 มม.	ขนาด Ø 31 มม.	ขนาด Ø 38 มม.
ทำนอรบ	13.59	11.54	10.89	10.75
ทำยกหัวสูง 20°	143.1	93.63	83.68	61.38
ทำยกเท้าสูง 20°	137.32	82.93	77.48	64.55

ตารางที่ 4.2 ค่า Maximum Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ในแต่ละรูปแบบ

รูปแบบ ผลลัพธ์ .	Maximum Deformation (mm.)			
	ขนาด Ø 19 มม.	ขนาด Ø 25.4 มม.	ขนาด Ø 31 มม.	ขนาด Ø 38 มม.
ทำนอรบ	0.04	0.02	0.02	0.01
ทำยกหัวสูง 20°	2.39	1.94	1.48	0.69
ทำยกเท้าสูง 20°	2.05	1.67	1.57	0.90

ตารางที่ 4.3 ค่า Minimum Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 1 ในแต่ละรูปแบบ

รูปแบบ ผลลัพธ์ .	Minimum Safety Factor (S.F.)			
	ขนาด Ø 19 มม.	ขนาด Ø 25.4 มม.	ขนาด Ø 31 มม.	ขนาด Ø 38 มม.
ทำนอรบ	15	15	15	15
ทำยกหัวสูง 20°	1.96	2.99	3.35	4.56
ทำยกเท้าสูง 20°	2.03	3.38	3.61	4.34

จากตาราง 4.1 - 4.3 จะสังเกตได้ว่า ที่โครงสร้างขนาด 19 มม. พบค่าความเค้นผสมรวมเกิดขึ้นสูงที่สุดในทุกรูปแบบทำ รองลงมาเป็นโครงสร้างขนาด 25.40 มม. ขนาด 31 มม. และ 38 มม. ส่วนค่าการเสียดรูปเกิดขึ้นสูงที่สุดที่รูปแบบทำยกหัวเดียว 20 องศา โดยรองลงมาเป็นทำยกเท้าเดียว 20 องศา และทำนอรบตามลำดับ โดยตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นสูงสุดและ

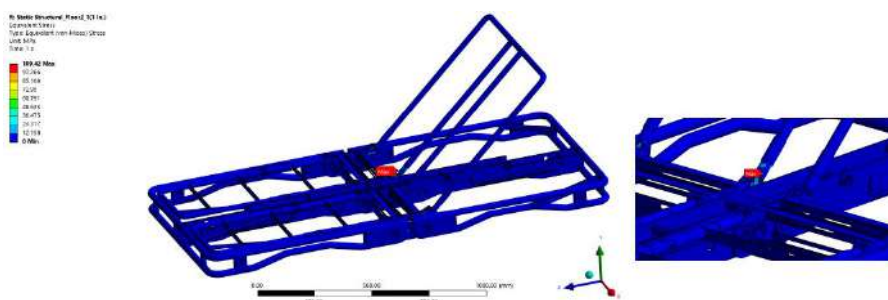
การเสียรูปสูงสุด เกิดในบริเวณเดียวกันสอดคล้องตามลักษณะการรับความเค้นที่เหมือนกันในแต่ละรูปแบบทำ

เมื่อพิจารณาจากค่าความปลอดภัย พบว่าในโครงสร้างขนาด 19 มม. พบค่าความปลอดภัยต่ำกว่าเกณฑ์การออกแบบที่กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 2.5 โดยพบค่าความปลอดภัยต่ำสุดที่รูปแบบท่ายกหัวเดียว 20 องศา เกิดขึ้น 1.96 และ รูปแบบท่ายกท้ายเดียว 20 องศา เกิดขึ้น 2.03 โดยในโครงสร้างขนาดอื่น ที่เหลือ พบค่าความปลอดภัยมากกว่าเกณฑ์ 2.5 ที่กำหนดทั้งหมด พบค่าความปลอดภัยต่ำสุด 2.99 ที่โครงสร้างขนาด 25.40 มม. ในรูปแบบท่ายกหัวเดียว จึงสามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างขนาด 19 มม. ไม่เหมาะในการนำมาใช้เป็นโครงสร้างเตียงในชั้นที่ 1 เนื่องจากพบค่าความปลอดภัยต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยผู้วิจัยได้พิจารณาเลือกใช้โครงสร้างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.40 มม. ในการสร้างโครงสร้างชั้นที่ 2 ต่อไป เนื่องจากโครงสร้างมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงเพียงพอในการรับภาระกรรม

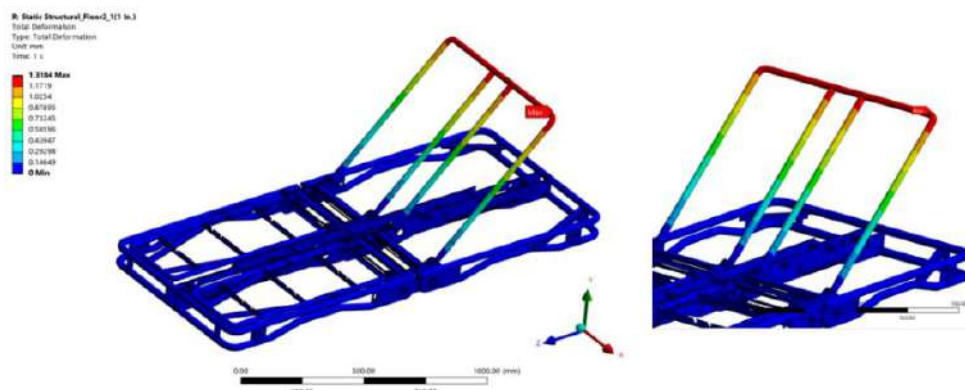
4.4.2 ผลการจำลองการรับภาระกรรมของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2

ในการจำลองการรับภาระกรรมของโครงสร้างชั้นที่ 2 กำหนดเงื่อนไขการจำลองโดยใช้ภาระกรรมจากน้ำหนักตัวผู้ป่วยคงที่ 200 กก. เท่ากับในชั้นที่ 1 แต่ทำการปรับรูปร่างผู้ป่วยและสัดส่วนของน้ำหนักให้สอดคล้องตามลักษณะการจัดท่าที่เกิดขึ้นจริง โดยยังคงน้ำหนักรวมของผู้ป่วย เท่ากับ 200 กก. กำหนดภาระกรรมกระทำกับโครงสร้างเตียงใน 4 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบท่ายกหัวเดียว 45 องศา ท่ายกสะโพกสูง 200 มม. ท่ายกเข้าชั้นทำมุม 45 องศา และท่ายกเข้าชั้นเท้าสูง ดังรูปที่ 3.45 - 3.48 ใช้โครงสร้างขนาด 25.40 มม. ขนาดเดียวในทุกรูปแบบท่า และกำหนดจุดรองรับและหน้าสัมผัสของชิ้นส่วนตามสภาพการใช้งานจริง ดังรูปที่ 3.37 - 3.40 โดยผลการจำลองการรับภาระกรรม ของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 ในแต่ละรูปแบบเป็นดังนี้

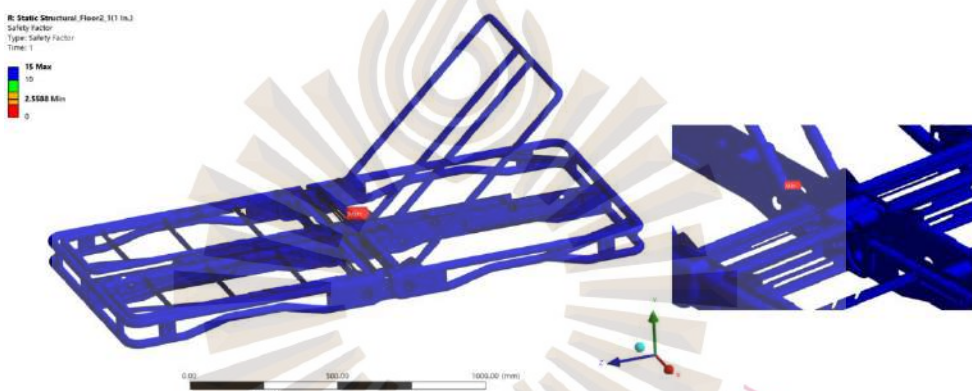
4.1.2.1 รูปแบบยกหัวทำมุม 45 องศา



รูปที่ 4.37 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกหัว 45 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

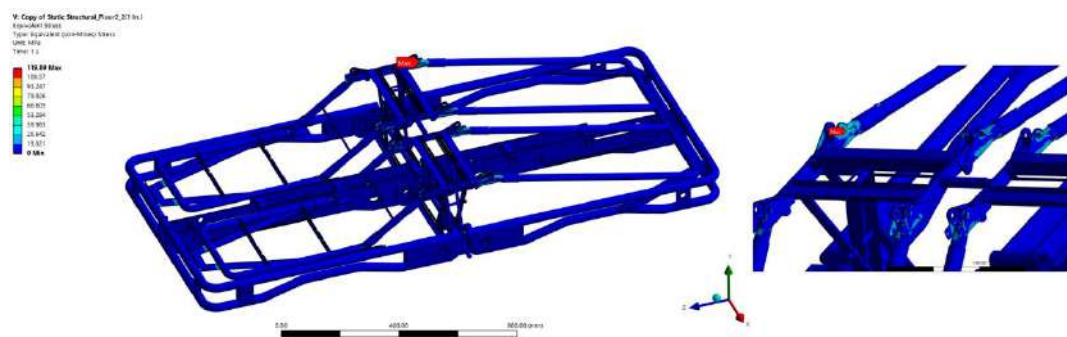


รูปที่ 4.38 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำยกลำตัว 45 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

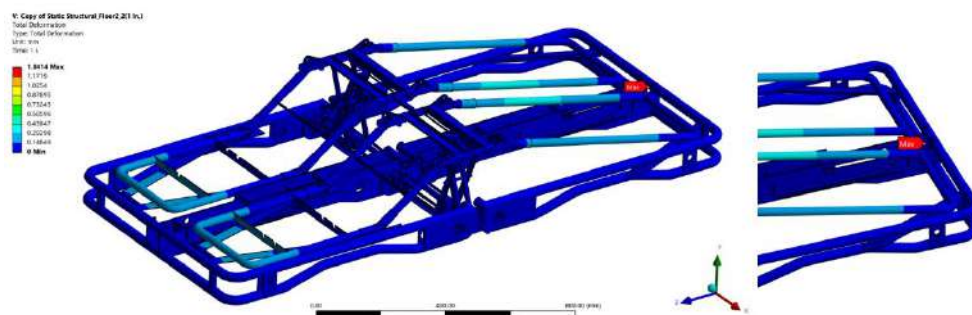


รูปที่ 4.39 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำยกลำตัว 45 องศา หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

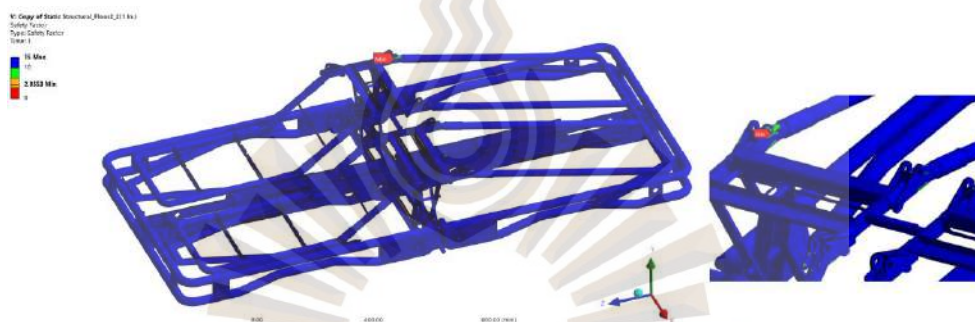
4.1.2.2 รูปแบบทำยกละ โปกสูง 200 มม.



รูปที่ 4.40 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ทำยกละ โปกสูง 200 มม. หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

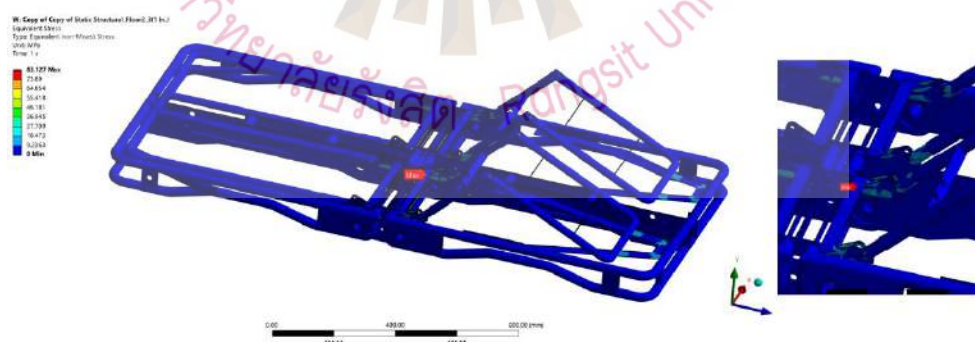


รูปที่ 4.41 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกสะโพกสูง 200 มม. หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

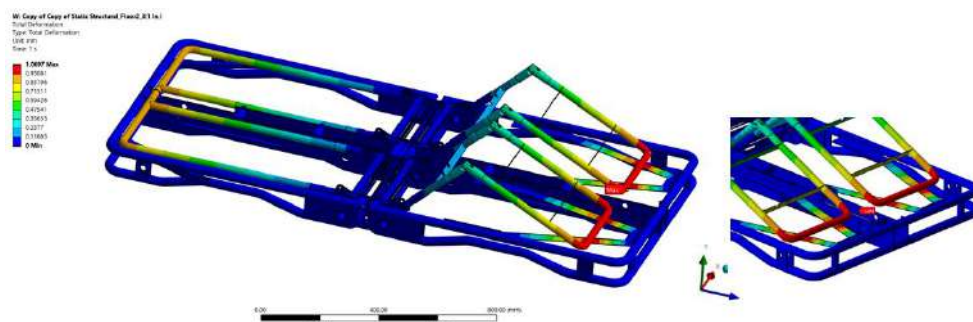


รูปที่ 4.42 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกสะโพกสูง 200 มม. หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

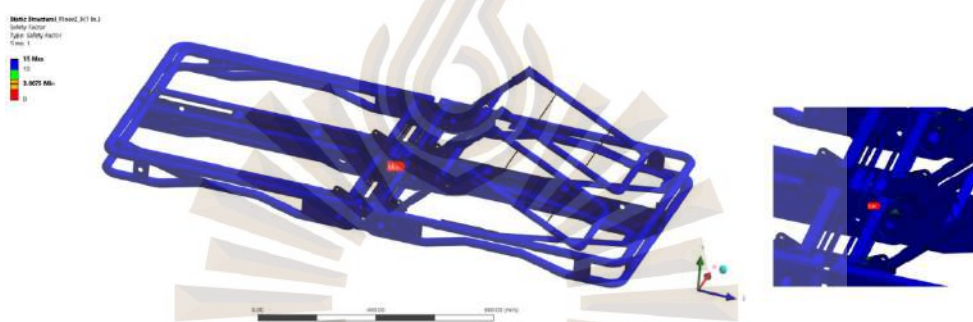
4.1.2.3 รูปแบบท่ายกเข้าชั้น



รูปที่ 4.43 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกเข้าชั้น หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.44 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกเข้าชั้น หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

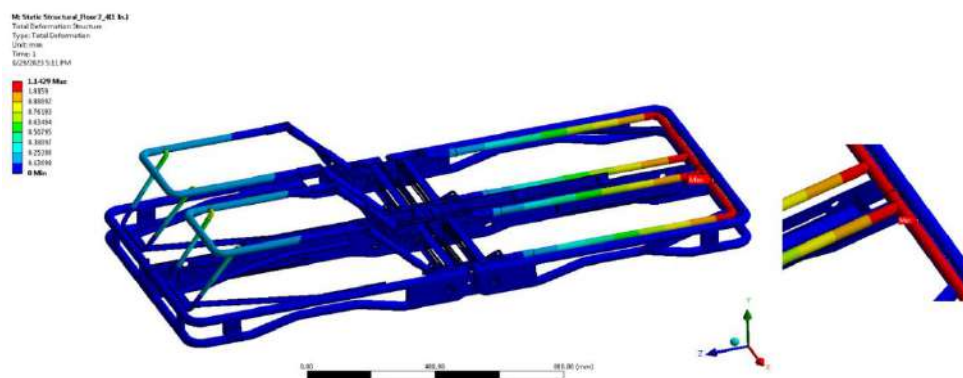


รูปที่ 4.45 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกเข้าชั้น หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

4.1.2.4 รูปแบบท่ายกเข้าชั้น แท้สูง



รูปที่ 4.46 ค่า Max. Von Mises Stress ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกเข้าชั้นแท้สูง หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.47 ค่า Max. Deformation ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกเข้าชั้นเท้าสูง หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)



รูปที่ 4.48 ค่า Min. Safety Factor ของโครงสร้างชั้นที่ 2 ขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ท่ายกเข้าชั้นเท้าสูง หลังการจำลองการรับภาระกรรม (ซ้าย) และ รายละเอียดตำแหน่งที่เกิด (ขวา)

รูปที่ 4.37 - 4.39 แสดงให้เห็นผลการจำลองการรับภาระกรรม ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างขนาด 25.40 มม. ชั้นที่ 2 ในรูปแบบท่ายกกล้าตัว 45 องศา โดยรูปที่ 4.37 แสดงค่า Maximum Von Mises Stress ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างโดยเกิดสูงสุด 109.42 MPa. บริเวณบานข้อพับโซฟาใกล้เคียงกันทั้ง 4 ตัว รูปที่ 4.38 แสดงค่า Maximum Deformation ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างโดยเกิดขึ้นสูงสุดที่ 1.32 มม. บริเวณโครงสร้างชั้นที่ 2 ของหัวเตียง และรูปที่ 4.39 Minimum Safety Factor ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างโดยเกิดขึ้นต่ำสุดที่ 2.56 บริเวณบานข้อพับโซฟา

รูปที่ 4.40 - 4.42 แสดงให้เห็นผลการจำลองการรับภาระกรรม ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ชั้นที่ 2 ในรูปแบบท่ายกสะโพกสูง 200 มม. โดยรูปที่ 4.40 แสดงค่า Maximum Von Mises Stress ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างโดยเกิดสูงสุด 119.89 MPa. บริเวณบานข้อพับโซฟา รูปที่ 4.41 แสดงค่า Maximum Deformation ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างโดยเกิดขึ้นสูงสุดที่ 1.84 มม. บริเวณช่วงกลางตัวของโครงสร้างชั้นที่ 2 ตอนที่ 1 และเกิดขึ้นเล็กน้อย 0.47 มม. บริเวณท่ายก

เตียงของโครงสร้างทั้ง 2 ชั้น และรูปที่ 4.42 Minimum Safety Factor ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างโดยเกิดขึ้นต่ำสุดที่ 2.8 บริเวณบานข้อพับโซฟา

รูปที่ 4.43 - 4.45 แสดงให้เห็นผลการจำลองการรับภาระกรรม ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ชั้นที่ 2 ในรูปแบบท่ายกเข้าท่ามูม 45 องศา โดยรูปที่ 4.43 แสดงค่า Maximum Von Mises Stress ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างโดยเกิดสูงสุด 83.13 MPa. บริเวณข้อต่อโครงสร้างตอนที่ 4 โดยเกิดขึ้นใกล้เคียงกันทั้ง 4 ตัว รูปที่ 4.44 แสดงค่า Maximum Deformation ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างโดยเกิดสูงสุดที่ 1.07 มม. บริเวณหัวเตียงของโครงสร้างชั้นที่ 2 ตอนที่ 1 และเกิดขึ้น 0.36 มม. บริเวณท้ายเตียงของโครงสร้างทั้ง 2 ชั้น และรูปที่ 4.45 Minimum Safety ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างโดยเกิดต่ำสุดที่ 3.01 บริเวณบานข้อต่อโครงสร้างตอนที่ 4

รูปที่ 4.46 - 4.48 แสดงให้เห็นผลการจำลองการรับภาระกรรม ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างขนาด $\varnothing$ 25.40 มม. ชั้นที่ 2 ในรูปแบบท่ายกเข้าท่ามูม 45 องศา กับพื้น - เพ้าสูง โดยรูปที่ 4.46 แสดงค่า Maximum Von Mises Stress ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างโดยเกิดสูงสุด 78.7 MPa. บริเวณข้อต่อบานพับโซฟาโครงสร้างตอนที่ 2 โดยเกิดขึ้นใกล้เคียงกันทั้ง 4 ตัว รูปที่ 4.47 แสดงค่า Maximum Deformation ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างโดยเกิดสูงสุดที่ 1.14 มม. บริเวณหัวเตียงของโครงสร้างชั้นที่ 2 ตอนที่ 1 และรูปที่ 4.48 Minimum Safety ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างโดยเกิดต่ำสุดที่ 3.18 บริเวณบานพับโซฟาโครงสร้างตอนที่ 2

จากผลการจำลองการรับภาระกรรมของโครงสร้างเตียงชั้นที่ 2 สามารถสรุปเป็นค่าความเค้นวอนมิตสูงสุด ค่าการเสียรูปสูงสุด และค่าความปลอดภัยของ โครงสร้างในแต่ละรูปแบบ และในแต่ละขนาดได้ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นที่ 2 ในแต่ละรูปแบบ

ผลลัพธ์ รูปแบบ	Max. Von Mises Stress (MPa.)	Max. Deformation (mm.)	Safety Factor (S.F.)
ท่ายกท่อนบนขึ้น 45°	109.42	1.32	2.56
ท่ายกสะโพกขึ้น 200 มม.	119.89	1.84	2.80
ท่ายกเข้าชั้น 45°	83.13	1.07	3.01
ท่ายกเข้าชั้น 45° เพ้าสูง	78.69	1.14	3.38

จากตาราง 4.4 พบว่าในโครงสร้างชั้นที่ 2 สร้างด้วยท่ออลูมิเนียมขนาด 25.40 มม. ที่รูปแบบท่ายกสะโพกขึ้น 200 มม. เกิดค่าความเค้นวอนมิตสูงสุด คือ 119.89 MPa.

รองลงมาคือรูปแบบท่ายกลำตัว 45 องศา เกิดค่าความเค้นวอนมิต 109.42 MPa. ลำดับถัดมาคือรูปแบบทำรูปแบบท่ายกเข้าชั้น เกิดค่าความเค้นวอนมิต 83.13 MPa. และรูปแบบท่ายกเข้าชั้นทำสูง เกิดค่าความเค้นวอนมิต 78.69 MPa. ตามลำดับ ในขณะที่ค่าการเสียรูปสูงสุดเกิดขึ้นที่รูปแบบท่ายกสะโพกมากที่สุด โดยเกิดการเสียรูป 1.84 mm. ลำดับรองลงมาเป็นรูปแบบท่ายกลำตัว ค่าการเสียรูป 1.32 mm. รูปแบบท่ายกเข้าชั้นทำสูง เสียรูป 1.14 mm. และรูปแบบท่ายกเข้าชั้น เสียรูป 1.07 mm. ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาจากค่าความปลอดภัยแล้ว พบว่ารูปแบบท่ายกลำตัว 45 องศา มีค่าความปลอดภัยต่ำที่สุด คือ 2.56 ซึ่งยังคงสูงกว่าเกณฑ์ค่าความปลอดภัย 2.50 ที่กำหนด จึงสามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างเตียงชั้น 2 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.40 มม. มีความแข็งแรงเพียงพอในการรับภาระกรรม

4.2 ผลการออกแบบเตียงพับปรับได้หลังการวิเคราะห์

หลังการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเตียงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แล้ว จึงทำการเลือกใช้ชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีขนาดเหมาะสม ประกอบรวมกับชิ้นส่วนต่าง ๆ และสรุปเป็นผลการออกแบบเตียงพับปรับได้ โดยรายละเอียดมีดังนี้

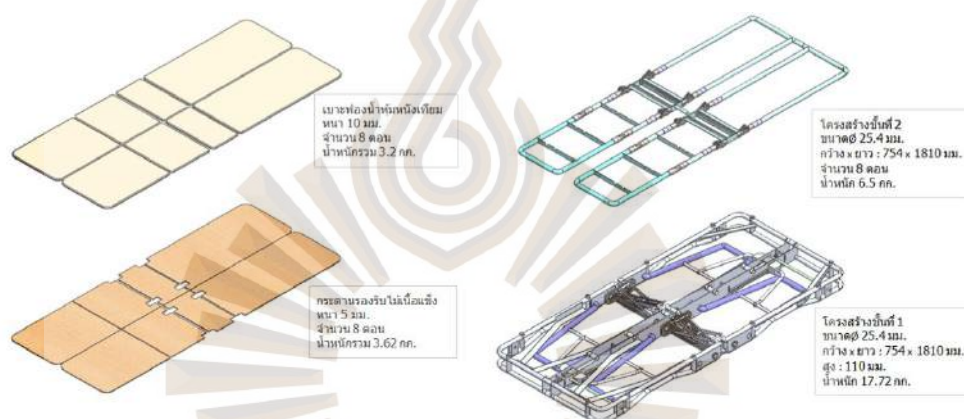
4.2.1 คุณลักษณะของเตียงและการใช้งานเตียงพับแบบปรับได้

คุณลักษณะของเตียงพับแบบปรับได้ สามารถแยกส่วน พับเก็บและกางออกประกอบกับอุปกรณ์เสริมเพื่อใช้งาน โดยขนาดขณะพับและกางออกเพื่อใช้งานเป็นไปดังรูปที่ 4.49 โครงเตียงได้แบ่งออกเป็นชั้นที่ 1 และ 2 ปิดด้านบนของชั้นที่ 2 ด้วยไม้กระดานรองและปูด้านบนด้วยฟองน้ำหุ้มหนังเทียม PU ดังรูปที่ 4.50

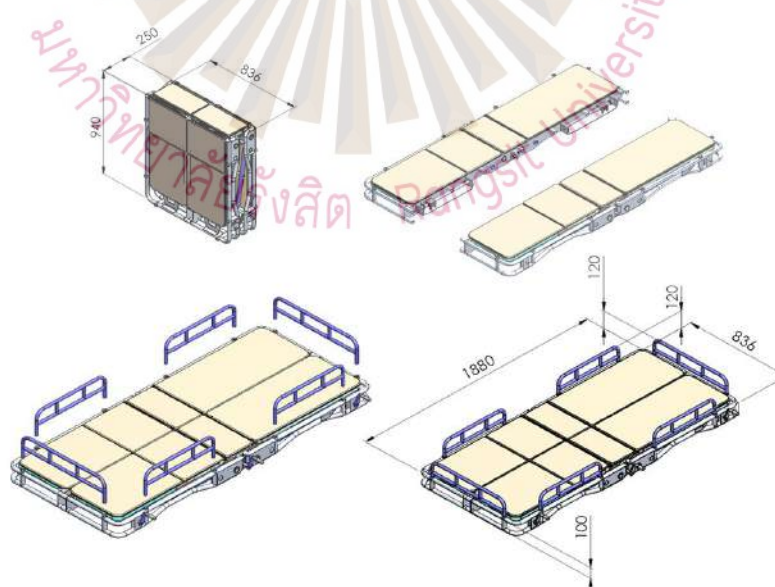
การใช้งานเตียงพับแบบปรับได้ ใช้การพับเตียงเพื่อความสะดวกในการจัดเก็บและขนย้าย โดยเฉพาะการใช้งานนอกสถานพยาบาล เตียงพับนี้ใช้งานโดยวางซ้อนบนเตียงของผู้ป่วยเพื่อปฏิบัติงาน (สามารถใช้งานโดยวางบนพื้นเพื่อปฏิบัติงานได้เช่นกัน) ซ้อนตัวผู้ป่วยขึ้นเตียงพับโดยใช้การขยับพลิกตัวผู้ป่วยแทน เพื่อลดภาระในการยกตัวผู้ป่วยขึ้นเตียงพับ รายละเอียดดังรูปที่ 4.51 โดยได้อธิบายเป็นรูปแยกย่อยดังนี้ รูปแบบจำลอง 3 มิติ แสดงตำแหน่งผู้ป่วยบนเตียงมาตรฐานขนาด 3 ฟุต (ก) จัดตำแหน่งโดยพลิกตัวผู้ป่วยไปข้างใดข้างหนึ่ง หลังจากนั้นกางเตียงพับและแยกส่วนซ้าย - ขวา วางลงบนที่วาง (ข) พลิกตัวผู้ป่วยวางบนเตียงซีกแรก หลังจากนั้นทำการประกอบเตียงอีกซีก

และวางผู้ป่วยนอนท่าปกติ (ค) ประกอบราวกันตกและตรวจสอบความเรียบร้อยปลอดภัยก่อนใช้งาน (ง)

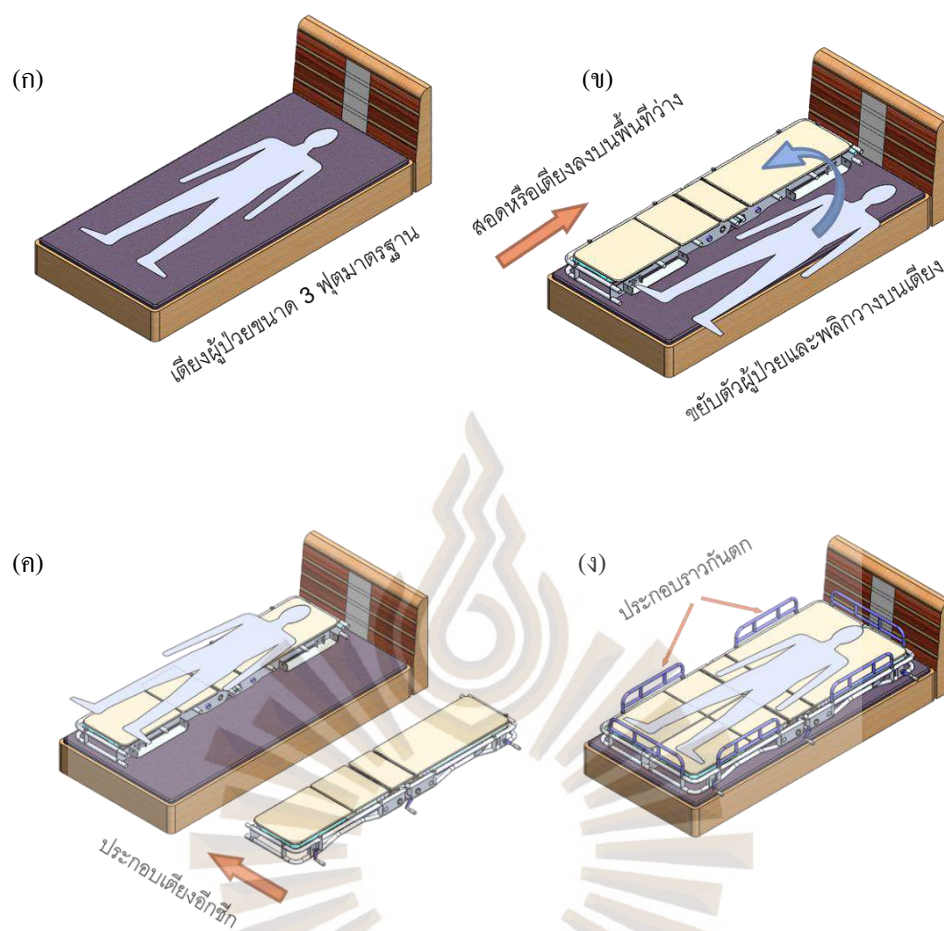
การปรับรูปแบบท่าเพื่อใช้งาน สามารถใช้งานปรับโครงเตียงเป็นตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อจัดทำของผู้ป่วยให้สอดคล้องตามหลักการจัดทำเพื่อระบายเสมหะ ด้วยกลไกภายในจากการออกแบบโครงสร้างตามหัวข้อ 3.31 ทำให้เตียงพับนี้ สามารถใช้งานปรับเป็นท่าต่าง ๆ จำนวน 7 ท่า ได้แก่ ทำนอนราบ(ก) ท่ายกหัวเตียง(ข) ท่ายกท้ายเตียง(ค) ท่ายกลำตัว(ง) ท่ายกสะโพก(จ) ท่ายกเข่าชัน(ฉ) และ ท่ายกเข่าต่ำสูง(ช) ดังรูปที่ 4.52



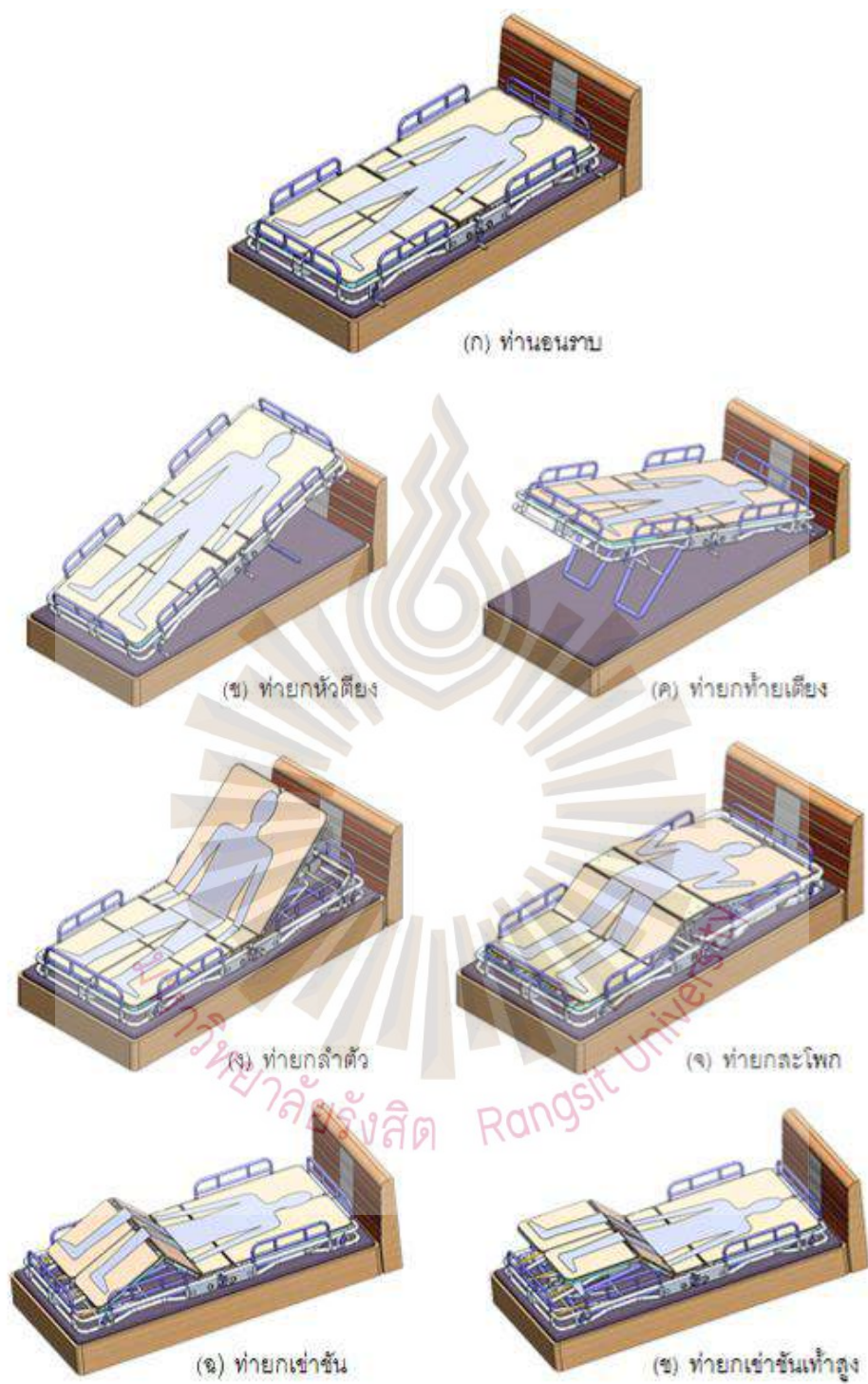
รูปที่ 4.49 รายละเอียดและขนาด ของเตียงพับปรับได้ ขณะพับเก็บ แยก และ ประกอบเพื่อใช้งาน



รูปที่ 4.50 รายละเอียด ขนาด และ ส่วนประกอบในแต่ละชั้น ของเตียงพับปรับได้



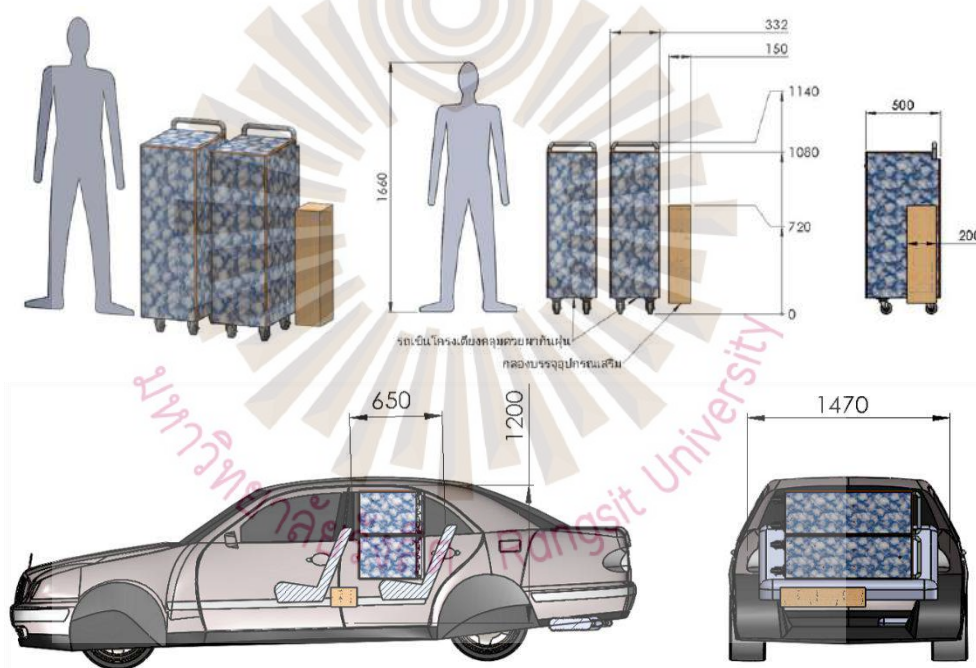
รูปที่ 4.51 รายละเอียด ขั้นตอนการขนตัวผู้ป่วยเพื่อใช้งานเตียงพับแบบปรับได้



รูปที่ 4.52 รายละเอียด การปรับเตียงพับแบบปรับได้เป็นท่าต่าง ๆ

4.2.2 คุณสมบัติของเตียงพับขณะจัดเก็บและเคลื่อนย้าย

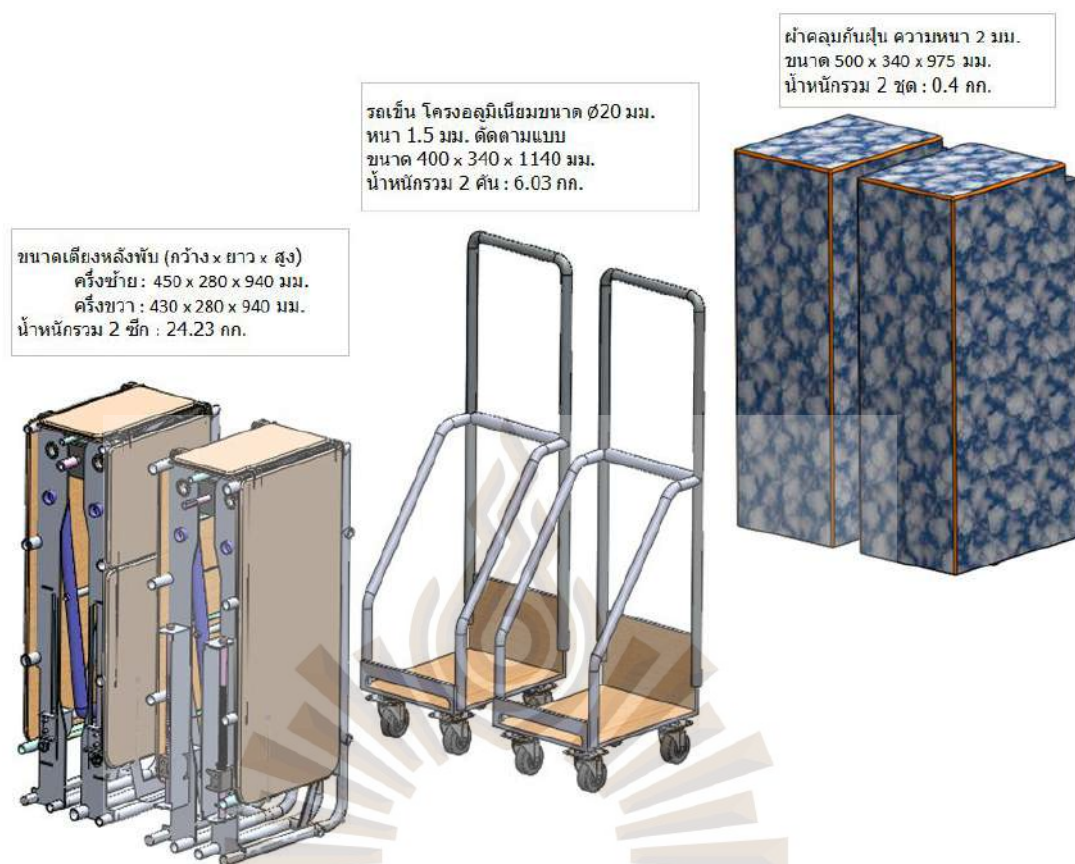
หลังการวิเคราะห์และเลือกขนาดชิ้นส่วนที่เหมาะสมในการสร้างเตียงพับปรับได้ จึงทำการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ สรุปลงเป็นแบบรวมอีกครั้ง ซึ่งรวมได้เป็นรถเข็นใส่เตียงพับคลุมด้วยผ้าคลุมกันฝุ่น จำนวน 2 คัน และกล่องใส่อุปกรณ์เสริมจำนวน 1 กล่อง หลังจากนั้นทดสอบความสะดวกในการจัดเก็บและเคลื่อนย้าย โดยสร้างแบบจำลอง 3 มิติ อ้างอิงจากขนาดเฉลี่ยชาวไทย เพื่อเปรียบเทียบขนาดในการขนย้าย และทดสอบการบรรจุเตียงพับพร้อมทั้งอุปกรณ์เสริม โดยดาวน์โหลดแบบจำลอง 3 มิติ รถยนต์ส่วนบุคคล 4 ประตู อ้างอิงขนาดห้องโดยสารรถยนต์ HONDA รุ่น CIVIC แล้วทำการใส่แบบจำลองเตียงพับรวมทั้งอุปกรณ์ด้านในเพื่อเปรียบเทียบขนาดในการบรรจุและจัดวางภายในรถ ดังรูปที่ 4.53



รูปที่ 4.53 ขนาดโดยรวมของเตียงพับปรับได้พร้อมชุดอุปกรณ์ปฏิบัติงาน (บน) และ แสดงการขนย้ายโดยใช้รถยนต์ 4 ประตู (ล่าง) อ้างอิงขนาดห้องโดยสาร HONDA Civic

4.2.2.1 ชุดเตียงพับปรับได้และรถเข็น

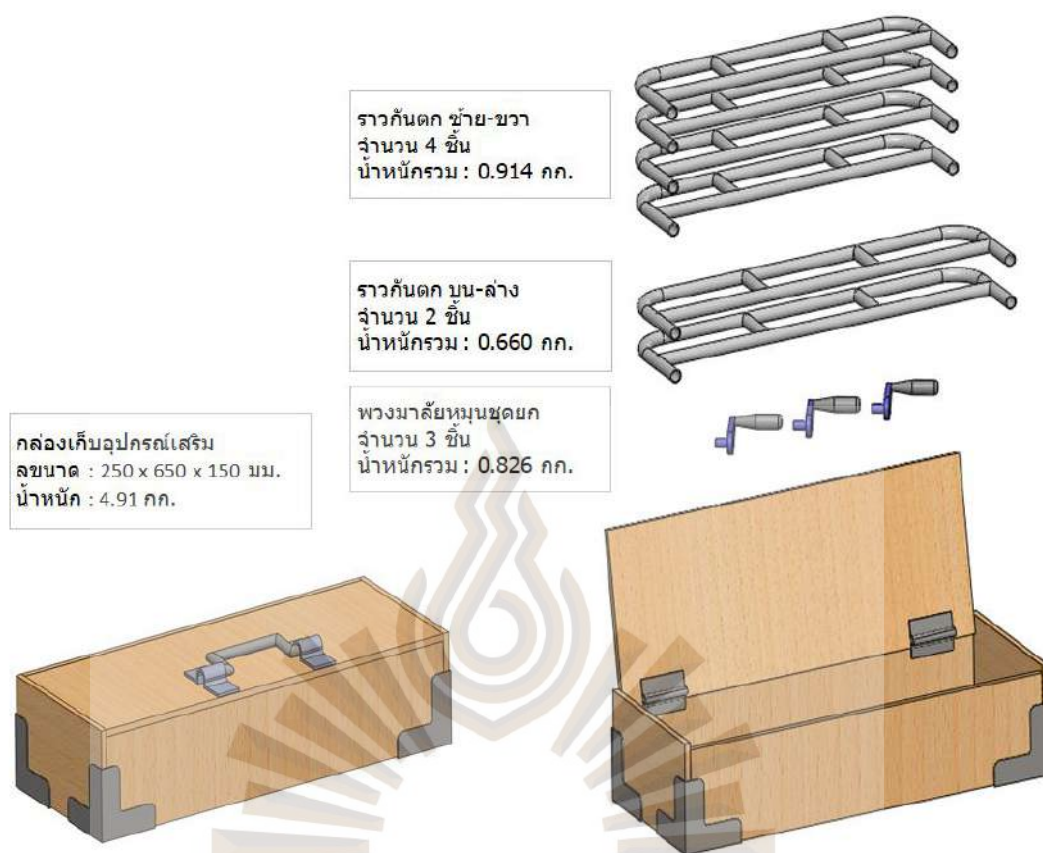
ชุดเตียงสามารถพับเก็บได้ เพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายและจัดเก็บได้สะดวก โดยหลังการพับเตียงแล้วได้เป็นเตียงพับขนาด $450 \times 280 \times 940$ มม. ซึ่งพอดีกับช่องใส่ของรถเข็น หลังจากนั้นจึงคลุมปิดด้วยผ้ากันฝุ่น ดังรูปที่ 4.54



รูปที่ 4.54 รายละเอียดและขนาด ของเตียงพับปรับได้ รถเข็น และ ผ้าคลุม

4.2.2.2 กล่องอุปกรณ์เสริมและอุปกรณ์เสริมภายใน

กล่องอุปกรณ์เสริมสร้างจากโครงอลูมิเนียมปิดด้วยไม้อัดรอบด้าน ขนาด $250 \times 650 \times 150$ มม. สำหรับใส่อุปกรณ์เสริมต่าง ๆ เช่น ราว พวงมาลัยหมุน หรือประแจต่าง ๆ สำหรับงานซ่อมบำรุงเตียงหลังการใช้งาน โดยรายละเอียดอุปกรณ์และการจัดวางภายในกล่อง ดังรูปที่ 4.55



รูปที่ 4.55 รายละเอียดและขนาด กล่องเก็บอุปกรณ์เสริมและอุปกรณ์เสริมภายใน

หลังจากสรุปภาพรวมในการใช้งาน จัดเก็บและเคลื่อนย้ายได้แล้ว จึงทำการจัดอุปกรณ์รวมเป็นชุด เพื่อประมาณการน้ำหนักรวมในการเคลื่อนย้ายโดยแยกออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ รถเข็นเตียงซีกซ้าย รถเข็นเตียงซีกขวา และ กล่องอุปกรณ์เสริม รายละเอียดดังรูปที่ 4.54 - 4.55 รายละเอียดน้ำหนักเป็นไปตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 น้ำหนักเตียงพับ เมื่อแยกชิ้นจัดเก็บหรือเคลื่อนย้าย

รายละเอียด	น้ำหนัก (กก.)	น้ำหนักรวม (กก.)
1. รถเข็นเตียงซีกซ้าย		19.77
- รถเข็น	3.218	
- โครงชั้น 1 ซีกซ้าย	6.79	
- โครงชั้น 2 ซีกซ้าย	3.25	
- ไม้กระดานรองรับ	1.81	
- เบาะฟองน้ำหุ้มหนังเทียม	1.6	

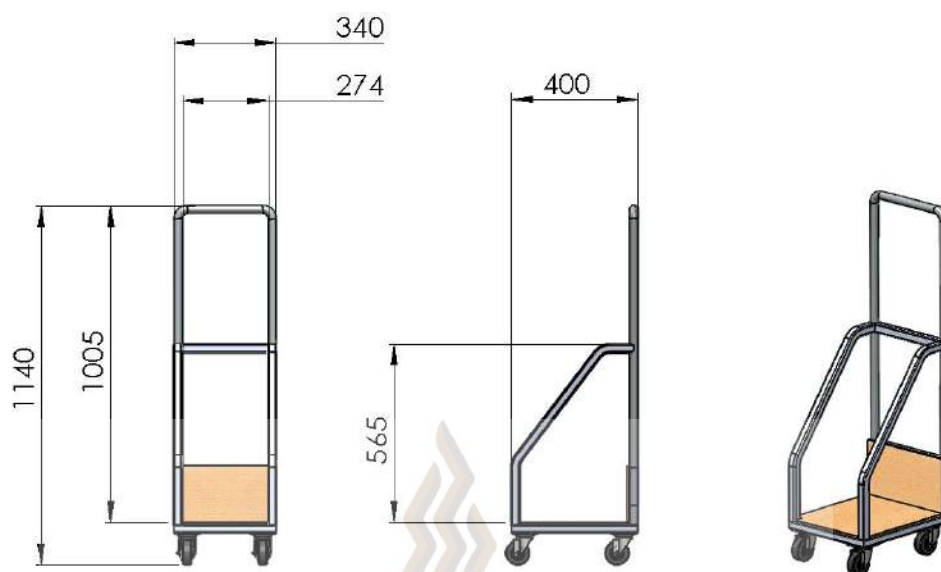
ตารางที่ 4.5 น้ำหนักเตียงพับ เมื่อแยกชิ้นจัดเก็บหรือเคลื่อนย้าย (ต่อ)

รายละเอียด	น้ำหนัก (กก.)	น้ำหนักรวม (กก.)
- ชุดยกบน	1.025	
- ชุดยกกลาง	1.047	
- ชุดยกล่าง	1.025	
2. รถเข็นเตียงซีกขวา		17.72
- รถเข็น	3.218	
- โครงชั้น 1 ซีกขวา	6.79	
- โครงชั้น 2 ซีกขวา	3.25	
- ไม้กระดานรองรับ	1.81	
- เบาะฟองน้ำหุ้มหนังเทียม	1.6	
- ชุดยกกลาง	1.047	
3. กล่องใส่อุปกรณ์เสริม		7.31
- กล่องอุปกรณ์เสริม	4.91	
- ราว บน - ล่าง	0.66	
- ราว ซ้าย - ขวา	0.914	
- พวงมาลัยมือหมุน	0.826	
รวมน้ำหนักทั้งหมด (กก.)		44.80

4.2.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์เสริม

4.2.3.1 รถเข็น และ ผ้าคลุมกันฝุ่น

รถเข็นสำหรับเคลื่อนย้ายเตียงพับ ออกแบบโดยแยกส่วนเตียงเป็นซ้ายและขวา พับเก็บบรรจุใส่รถเข็น โดยตัวรถเข็นมีขนาด $340 \times 400 \times 1,140$ มม. และ ช่องใส่เตียงขนาด 270×400 มม. สำหรับใส่เตียง ส่วนผ้าคลุมกันฝุ่น ใช้ผ้าหนา 2 มม. ตัดเย็บเป็นรูปกล่องเปิดด้านล่างขนาด $340 \times 500 \times 975$ มม. ใช้งานโดยคลุมทั้งตัวรถจากด้านบน รายละเอียดของรถเข็นและผ้าคลุมกันฝุ่นเป็นไปดังรูปที่ 4.56 - 4.57 หลังบรรจุเตียงคลุมผ้าแล้ว รถเข็นแต่ละคันมีน้ำหนักรวมประมาณ 17.72 - 19.77 กก. ซึ่งบุคคลทั่วไปสามารถยก - ย้ายได้อย่างไม่เป็นภาระมากนัก



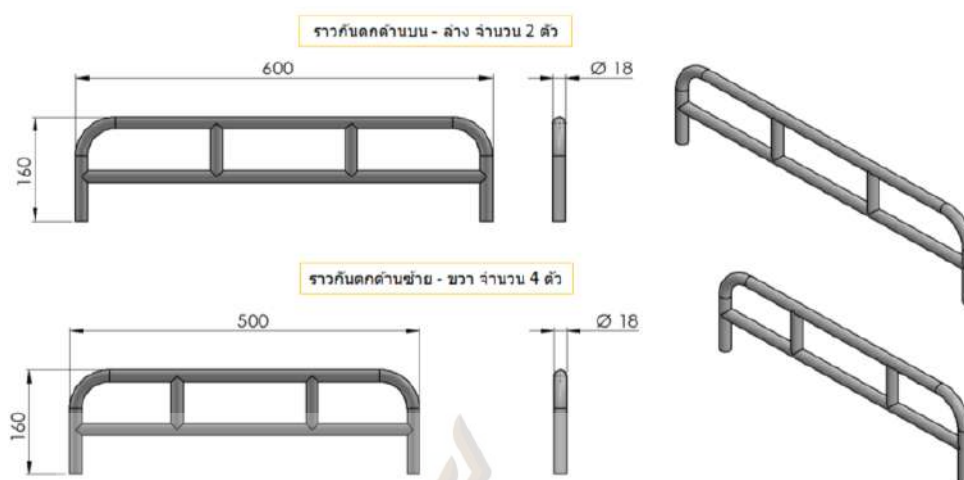
รูปที่ 4.56 รายละเอียด และขนาด ของรถเข็นเตียงพับ



รูปที่ 4.57 รายละเอียด และขนาด ผ้าคลุมกันฝุ่น

4.2.3.2 ราวกันตก

ราวกันตก ออกแบบโดยใช้ท่ออลูมิเนียม AL6061 T6 ขนาด $\varnothing$ 18 มม. ความหนา 1.50 มม. ตัดและเชื่อมตามแบบ แยกเก็บใส่กล่องอุปกรณ์เสริม ประกอบด้วยขั้ววิธีสวมล้อ ซึ่งตำแหน่งขนาด หลังการประกอบราวกันตก เป็นดังรูปที่ 3.17 โดยขนาดราวกันตกแต่ละด้านเป็นไปตามดังรูปที่ 4.58



รูปที่ 4.58 รายละเอียด และขนาด ของราวกันตกด้านบน - ล่าง (บน) และ
ราวกันตกด้านซ้ายและขวา (ล่าง)

4.2.3.3 พวงมาลัยมือหมุนสำหรับชุดยก

พวงมาลัยมือหมุน ใช้เพื่อหมุนขับเคลื่อนชุดยกบริเวณหัว กลางและท้ายเตียง ออกแบบโดยใช้เหล็กวัสดุ SS400 ขึ้นรูปตามแบบ จำนวน 3 ชิ้น แยกเก็บใส่กล่องอุปกรณ์เสริม ใช้ งานโดยสวมประกอบร่วมกับเพลาขับเคลื่อนแกนยก รายละเอียดขนาดของพวงมาลัยมือหมุน เป็นไปดัง รูปที่ 4.59



รูปที่ 4.59 รายละเอียด และขนาด ของพวงมาลัยมือหมุนสำหรับชุดยก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์ ช่วยในการออกแบบรูปร่างและขนาด รวมทั้งเลือกวัสดุของชิ้นงานที่เหมาะสมได้ ส่งผลให้ประหยัดเวลาในการออกแบบและลดขั้นตอนการทดสอบชิ้นงานจริงได้เป็นอย่างดี โดยหลังการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเตียงพับด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 โครงสร้างท่ออูมิเนียมความหนา 1.50 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.40 มม. เป็นโครงสร้างที่พิจารณานำมาใช้ในการสร้างโครงสร้างชั้นที่ 1 และ 2 ของเตียงพับปรับได้ เนื่องจากสามารถรับภาระกรรมที่เกิดขึ้นได้โดยไม่เกิดความเสียหาย และมีค่าความปลอดภัยต่ำสุดไม่น้อยกว่า 2.50 ตามมาตรฐาน BS EN 60601-1:2006 กำหนด

5.1.2 โครงสร้างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.40 มม. ชั้นที่ 1 รูปแบบท่ายกหัวเตียงพบค่าความเค้นผสมรวมและค่าการเสียรูปสูงสุดเท่ากับ 93.63 MPa. การเสียรูป 1.94 มม. รูปแบบท่ายกท้ายเตียงพบค่าความเค้นผสมรวมและค่าการเสียรูปสูงสุดเท่ากับ 82.93 MPa. การเสียรูป 1.67 มม. และ ท่านอนราบค่าความเค้นผสมรวมและค่าการเสียรูปสูงสุดเท่ากับ 11.54 MPa และ การเสียรูป 0.03 มม. ตามลำดับ

5.1.3 โครงสร้างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.40 มม. ชั้นที่ 1 รูปแบบท่ายกหัวเตียง ท่ายกท้ายเตียง และ ท่านอนราบ มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.99 , 3.38 และ 15 ตามลำดับ

5.1.4 โครงสร้างชั้นที่ 2 รูปแบบท่ายกลำตัวพบค่าความเค้นผสมรวมและค่าการเสียรูปสูงสุดเท่ากับ 109.42 MPa. การเสียรูป 1.32 มม. รูปแบบท่ายกสะโพก พบค่าความเค้นผสมรวมและค่าการเสียรูปสูงสุดเท่ากับ 119.89 MPa. การเสียรูป 1.84 มม. รูปแบบท่ายกเข้าชั้น ค่าความเค้นผสมรวมและค่าการเสียรูปสูงสุดเท่ากับ 83.13 MPa. การเสียรูป 1.07 มม. และ รูปแบบท่ายกเข้าชั้น เท้า

สูง ค่าความเค้นผสมรวมและค่าการเสียรูปสูงสุดเท่ากับ 78.70 MPa. การเสียรูป 1.14 มม. ตามลำดับ

5.1.5 โครงสร้างชั้นที่ 2 ท้ายกลั้วตัว ท้ายกระดูก โทก ท้ายกเข้าชั้น และ รูปแบบท้ายกเข้าชั้น เพ้าสูง มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.56 2.80 3.01 และ 3.18 ตามลำดับ

5.1.6 เติงพับปรับได้หลังการออกแบบ สามารถปรับเป็นท่าต่าง ๆ ได้จำนวน 7 ท่า ตามหลักการจัดทำระบายนสมหะ ได้แก่ ท่านอนราบ ท้ายกหัวเตียง ท้ายกท้ายเตียง ท้ายกลั้วตัว ท้ายกระดูก โทก ท้ายกเข้าชั้น และ ท้ายกเข้าชั้นเพ้าสูง โดยน้ำหนักรวมหลังการออกแบบเท่ากับ 44.80 กก.

5.2 ข้ออภิปรายและข้อเสนอแนะ

5.2.1 การแบ่งส่วนน้ำหนักของร่างกายมนุษย์ในงานวิจัยนี้ ใช้การแบ่งน้ำหนักจากการประมาณการพื้นที่ของแบบจำลองร่างกายมนุษย์ โดยควรใช้การแบ่งตามหลักการ Body Segment Parameters ซึ่งใช้หลักการแบ่งร่างกายมนุษย์รวมถึงอวัยวะออกเป็นส่วและแบ่งเทียบน้ำหนักของแต่ละส่วนเป็นร้อยละของน้ำหนักรวมร่างกายแทน (Drillis, Contini & Bluestein, 1957) เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ห้มีแนวโน้มที่ความใกล้เคียงสถานการณ์จริงมากขึ้น

5.2.2 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเตียงในงานวิจัยนี้ เป็นการวิเคราะห์การรับภาระกรรมในลักษณะแรงอยู่ในสภาวะสมดุลสถิตหรือภาคสถิต (Static Equilibrium Load) แต่ในการใช้งานจริงนั้นมีการรับภาระกรรมจากการเคาะปอดและการขยับตัวของผู้ป่วยเกิดขึ้นด้วย การวิเคราะห์แบบภาคพลวัต (Dynamic Load) จึงมีความเหมาะสมมากกว่า

5.2.3 ควรพิจารณาการรับภาระกรรมกรณีอื่นๆ จากการปฏิบัติงานเพิ่มเติมและพิจารณาวัสดุอื่นที่มีความแข็งแรงใกล้เคียงหรือดีกว่าวัสดุในงานวิจัยเพิ่มเติมในการวิเคราะห์

5.2.4 แบบจำลองรูปร่างคน สามารถพัฒนาเป็นรูปแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อให้ใกล้เคียงสถานการณ์จริงมากขึ้นได้ รวมทั้งน้ำหนักที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถอ้างอิงจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีการบันทึกค่าน้ำหนักผู้ป่วยบนที่นอนโดยใช้โหลดเซลล์ (Load Cell) เพื่อระบุสัดส่วนน้ำหนักที่ลงในแต่ละตำแหน่งได้ ซึ่งทำให้ผลการวิเคราะห์ห้มีแนวโน้มที่ความใกล้เคียงสถานการณ์จริงมากขึ้น

5.5.5 ควรพิจารณาข้อกำหนดด้านความปลอดภัยเพิ่มเติม เช่น การหนีบเนื้อของผู้ป่วยจากการปรับเอียงเตียง การระบุมุมขณะเอียงหรือจุดเริ่มต้น – สิ้นสุด ของการเอียงเตียง รวมทั้งความเร็วในการยก – หยด หรือปรับเอียงเตียง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน



บรรณานุกรม

- กัลยพัทธ์ นิยมวิทย์ และสุภา คำมะฤทธิ์. (2562). การพยาบาลเพื่อลดการกั้มค้ำของเสมหะในผู้ป่วยเด็ก. วารสารวิทยาลัยพยาบาลพระปกเกล้า จันทบุรี, 30(1), 216-225.
- กิตติ อินทรานนท์. (2553). การยศาสตร์ (Ergonomics). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกรียงไกร แซมสีม่วง. (2565). การวิเคราะห์ปัญหาแบบ Static Analysis of a Part. สืบค้นจาก <http://ae.engineer.rmutt.ac.th/wp-content/uploads/2021/08/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1-Analysis-of-a-Part-%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%A7%E0%B8%A2-SolidsWork-Simulation.pdf>
- จิราพร วรแสน. (2566, 25 มิถุนายน). Respiratory Dysfunction. สืบค้นจาก <https://slidetodoc.com/respiratory-dysfunction-nancy-lin-rn-ms-revised-lectured/>
- ชนิดดา วงศ์เอกษุตระกูล. (2563). การฟื้นฟูสมรรถภาพการหายใจ โดยวิธีการระบายเสมหะ. สืบค้นจาก <https://sriphat.med.cmu.ac.th/th/knowledge-507>
- สุทธิ โจนส์. (2557). ภาวะภาพบำบัดระบบหายใจ: เทคนิคการตรวจร่างกายและการระบายเสมหะ (พิมพ์ครั้งที่ 4). ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังน่านวิทยา.
- ณัฐ ดวงประทีป, พิมพ์เดือน รังสียากุล, ชาย รังสียากุล และกุลภพ สุทธิอาจ. (2561). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการประยุกต์ใช้ในทางทันตกรรมรากฟันเทียม. วารสารเชียงใหม่ทันตแพทยสาร, 39(3), 29-42.
- ที่นอนที่เราผลิตมีอะไรบ้าง?. (2565). สืบค้น 25 กันยายน, 2565, จาก <https://spayabedding.com/#/>
- เทคนิคการเคาะปอดเพื่อระบายเสมหะสำหรับผู้ป่วยนอนติดเตียง. (2565). สืบค้น 15 กันยายน, 2565, จาก <https://shorturl.asia/f2N3X>
- รัชชานนท์ สิบปภากุล. (2553). การยศาสตร์และกายวิภาคเชิงกล (Ergonomics). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มิตรสัมพันธ์กราฟิก.
- นที ถัดนานตติล. (2523). กล้ามเนื้อและข้อต่อ. สืบค้นจาก <https://www.doctor.or.th/article/detail/5067>
- นิสา มากแก้ว. (2560). ข้อต่อ (Joints). สืบค้นจาก <https://www.pw.ac.th/bodysystem/ske/page/p5.html>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- ปราโมทย์ เดชะอำไพ, วิโรจน์ ลิ้มตระการ, เสฏฐวรรธ สุจริตกวัตสกุล, และยศกร ประทุมวัลย์. (2555). *การประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย Solid works Simulation*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ปารยะ อาสนะเสนม. (2560, 21 สิงหาคม). *ว่า! มีเสมหะในคอตลอดเลย...น่ารำคาญจัง*. สืบค้นจาก <https://www.si.mahidol.ac.th/th/healthdetail.asp?aid=750>
- โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์. (2565). *การดูดเสมหะ*. สืบค้นจาก <https://www.bumrungrad.com/en/treatments/mucus-suction-1>
- โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร หน่วยกายภาพบำบัด. (2564). *การฟื้นฟูสมรรถภาพปอดและการออกกำลังกายด้วยตนเองในผู้ป่วยโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (covid-19)*. พิษณุโลก: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วีระยุทธ สุวรรณประทีป, สมาน เจริญกิจพูลผล, และวีระศักดิ์ กรัยวิเชียร. (2548). *กลศาสตร์วิศวกรรมฉบับเสริมประสบการณ์ ภาคพลศาสตร์ (Dynamics)*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ด ยูเคชั่น บมจ.
- ศรดา จิรัฐกุลธนา. (2564). *การออกแบบและแก้ไขปัญหาทางการยศาสตร์อื่น ๆ*. สืบค้นจาก <https://www.ohswa.or.th/17881032/ergonomics-and-workstation-design-series-ep6>
- สมจิตร ทองคำ. (2005). *กายภาพบำบัดทรวงอกเทคนิคดั้งเดิมเปรียบเทียบกับเทคนิคใหม่ในการระบายเสมหะในทางเดินหายใจ*. *จุฬาลงกรณ์เวชสาร*, 49(6), 357-363.
- อะไรคือ Von mises Stress. (2562) สืบค้น 1 ตุลาคม 2567, จาก, <https://metrosystems-des.com/solidworks/%210213.pdf%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD-vonmises-stress/>
- อุดมศักดิ์ สาริบุตร. (2549). *เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- Alexander, D. C., & Pulat, B. M. (1985). *A practitioner's guide*. Michigan: Industrial Engineering & Management Press, Institute of Industrial Engineers.
- Aluminum 6061-T6; 6061-T651*. (2015). Retrieved October 20, 2022, from <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?>
- Andhare, A. B., & Onkar, A. M. (2021). Design and development of multifunctional patient bed with integrated toilet. *SN Applied Sciences*, 3(10), 1-8.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Belli, S., Prince, I., Savio, G., Paracchini, E., Cattaneo, D., Bianchi, M., . . . Balbi, B. (2021). Airway clearance techniques: the right choice for the right patient. *Frontiers in medicine*, 8, 544826.
- Balaofcanada. (2022, February 20). Postural drainage, percussion, vibration technique [Video file]. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=vxFUPdFc1eM>
- Brose, S. W., Kilbane, M. J., Harpster, E., & Ho, C. (2016). Interdisciplinary development of an ergonomic prone mobility cart. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 53(4), 433.
- Brown, E. J. (1972). Postural Drainage Board. *Physical Therapy*, 52(6), 646-646.
- Bunkum, M., Reanaree, P., Wanluk, N., & Visitsattapongse, S. (2018, November). Prototype modeling of bed for bedridden patients. *11th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON)*, Chiang Mai, Thailand.
- Conquest Steel & Alloy, Inc. (2022, 20 October). *SS400 Steel Plates*. Retrieved from <https://www.csteelindia.com/ss-400-plates-supplier-exporter.html>
- Chulalongkorn University. (2021, 1 October). *Failure Theories*. Retrieved from http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~rchanat/2103320%20Des%20Mach%20Element/CRW003_Failure%20Theories.pdf
- Conquest Steel & Alloy Inc. (2022, 20 October). *SS400 Steel Plates*. Retrieved from <https://www.csteelindia.com/ss-400-plates-supplier-exporter.html>
- Cortez, V., & Schultz-Cherry, S. (2021). The role of goblet cells in viral pathogenesis. *The FEBS journal*, 288(24), 7060-7072.
- Deerojanawong, J. (1995). Chest physical therapy in children: present status and future trend. *Chulalongkorn Medical Journal*, 39(5), 381-392.
- Dempster, W. T., & Gaughran, G. R. (1957). Properties of body segments based on size and weight. *American journal of anatomy*, 120(1), 33-54. Retrieved from https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/49638/1001200104_ftp.pdf

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Drillis, R., Contini, R., & Bluestein, M. (2027, 30 September). *Body segment parameters: A Survey of Measurement Techniques*. Retrieved from https://www.oandplibrary.org/al/pdf/1964_01_044.pdf
- Elsokah, M. M., & Zerek, A. R. (2019, March). Next generation of medical care bed with internet of things solutions. *19th international conference on sciences and techniques of automatic control and computer engineering (STA)*, Sousse, Tunisia.
- Fahy, J. V., & Dickey, B. F. (2010). Airway mucus function and dysfunction. *New England journal of medicine*, 363(23), 2233-2247.
- Fayyaz, S., Bukhsh, R., Khan, M. A., Gondal, H. A. H., & Tahir, S. (2018, November). Adjustment of bed for a patient through gesture recognition: an image processing approach. In *2018 IEEE 21st International Multi-Topic Conference (INMIC)*, Karachi, Pakistan.
- Giles, D. R., Wagener, J. S., Accurso, F. J., & Rutler-Simon, N. (1995). Short-term effects of postural drainage with clapping vs autogenic drainage on oxygen saturation and sputum recovery in patients with cystic fibrosis. *Chest*, 108(4), 952-954.
- Gosz, M. R. (2006). *Finite element method: applications in solids, structures, and heat Julius*. US: CRC Press.
- Hoobler, B. R. (1912). An Adjustable Metabolism Bed for Infants and Young Children. *American Journal of Diseases of Children*, 3(4), 253-258.
- Lowman, E. W., & Rusk, H. A. (1962). Self-Help Devices: Communication and Vocations: Adjustable Beds and Bed Units. *Postgraduate Medicine*, 32(6), 609-611.
- Mark, S. S., McCormick, E. J. (1976). *Human factors in engineering and design*. Michigan: McGraw-Hill.
- Nicolson, c. & Lee, A. (1991). *High Frequency Chest Wall Oscillation (HFCWO) in children*. Retrieved from: <https://bronchiectasis.com.au/paediatrics/airway-clearance/high-frequency-chest-wall-oscillation>
- Panero, J., & Zelnik, M. (1979). *Human dimension and interior space: A source book of design reference standards*. NY: Watson-Guptill.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Pavlou, D. G. (2015). *Essentials of the finite element method: for mechanical and structural engineers*. Amsterdam: Academic Press.
- Peng, S. W., & Lian, F. L. (2007, December). Design of multi-functional bed for bedridden patient. *2007 IEEE workshop on advanced robotics and its social impacts*. Hsinchu, Taiwan.
- Postural Drainage*. (2022). Retrieved September 20, 2022, from https://www.physio-pedia.com/Postural_Drainage#Contraindications
- Reid, W. D., & Chung, F. (2004). *Clinical management notes and case histories in cardiopulmonary physical therapy*. USA: Slack Incorporated.
- Slemmer, R. E. (1954). Sponge Rubber Pad for Operations Performed with Patient in Prone Position. *Journal of Neurosurgery*, 11(2), 212-213.
- Sorasakon. (2023, 10 july). *3D Scan – Reverse Engineering – 3D Printing*. Retrieved from <https://3dscanners.co.th/3d-scan-reverse-engineering-3d-printing/>
- Square Thread*. (2022). Retrieved October 20, 2022, from <https://www.rempco.com/square-thread/>
- Stolarski, T., Nakasone, Y., & Yoshimoto, S. (2018). *Engineering analysis with ANSYS software*. Bodmin, Cornwall: MPG Books Ltd.
- Wang, C., Savkin, A. V., Clout, R., & Nguyen, H. T. (2015). An intelligent robotic hospital bed for safe transportation of critical neurosurgery patients along crowded hospital corridors. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 23(5), 744-754.
- Warren, A., McKie, M. A., Villar, S. S., Camporota, L., & Vuylsteke, A. (2022). Effect of hypoxemia on outcome in respiratory failure supported with extracorporeal membrane oxygenation: A cardinality matched cohort study. *ASAIO Journal*, 68(12), e235-e242.
- West, M. P., Paz, J. C., & Burkett, M. P. (2014). Postural drainage. In J. C. Paz & M. P. West (Ed.) *Physical Therapy* (pp. 467-470). St. Louis: W.B. Saunders.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Zhao, D., Wu, Y., Yang, C., Yang, J., Liu, H., Wang, S., . . . Hiroshi, Y. (2023). A novel multifunctional intelligent bed integrated with multimodal human–robot interaction approach and safe nursing methods. *IET Cyber-Systems and Robotics*, 5(3), e12097. Retrieved from <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/csy2.12097>



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	ธีรทัศน์ พรยังยืน
วัน เดือน ปีเกิด	17 กันยายน 2525
สถานที่เกิด	จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือ, 2549 มหาวิทยาลัยรังสิต ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์, 2567
ที่อยู่ปัจจุบัน	80/1 หมู่ 5 ตำบล พระประโทน อำเภอกอ เมือง จังหวัด นครปฐม 73000
สถานที่ทำงาน	สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
ตำแหน่งปัจจุบัน	นักวิจัย 4

