

อภินันทนาการ



การพัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบ
Development of a Lateral Patient Transfer Device.

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์
วันลงทะเบียน..... - 5 ก.ย. 2560
เลขทะเบียน..... 19196292
เลขเรียกหนังสือ.....

นายอดุลย์ พูลคำ รหัสนิสิต 55360826
นายกฤษณ์ มุลเมือง รหัสนิสิต 55362899
นายภาณุพงศ์ พิพัฒน์ รหัสนิสิต 55363421

ปฐ
๐ 1330
๒๕๖๐

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์
ปีการศึกษา 2558



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ	การพัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบ		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายอดุลย์ พูลคำ	รหัสนิสิต	55360826
	นายกฤตนัย มูลเมือง	รหัสนิสิต	55362899
	นายภาณุพงศ์ พิพัฒน์	รหัสนิสิต	55363421
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์		
ที่ปรึกษาโครงการร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรรณรัตน์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2558		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....*ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์*.....ที่ปรึกษาโครงการ

(ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์)

.....*พรพิศุทธิ์ วรรณรัตน์*.....ที่ปรึกษาโครงการร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรรณรัตน์)

.....*สุเมธ เหมะวัตินะชัย*.....กรรมการ

(ดร.สุเมธ เหมะวัตินะชัย)

.....*ศิษย์ภัณฑ์ แคนลา*.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิษย์ภัณฑ์ แคนลา)

ชื่อหัวข้อโครงการ : การพัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบ
 ผู้ดำเนินโครงการ : นายอดุลย์ พูลคำ รหัส 55360826
 : นายกฤตนิย มูลเมือง รหัส 55362899
 : นายภาณุพงศ์ พิพัฒน์ รหัส 55363421
 ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์
 : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรันตน์
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 ปีการศึกษา : 2558

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบ โดยสามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ การออกแบบต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบและการสร้างและทดสอบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย อุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยมีหลักการทำงานคือใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังสำหรับขับเคลื่อนให้ม้วนเก็บสายดึงที่ติดกับอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยเพื่อทำการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยหนัก 120 kg จากเตียงหนึ่งสู่อีกเตียงหนึ่งในแนวราบ ซึ่งจากการทดสอบในเบื้องต้นพบว่าเมื่อใช้อุปกรณ์รองรับผู้ป่วยเป็นผ้าฝ้ายต้องใช้แรงดึงในแนวราบ 569 N (เทียบเท่ากับมวล 58 kg) เพื่อเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ในการออกแบบเลือกใช้พลาสติกพีอีเอ็มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 31.75 mm ซึ่งสามารถรับความเค้นตัดและความเค้นเฉือนเนื่องจากภาวะบิดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากการใช้งานได้ อีกทั้งมีการโค้งตัวและมุมบิดของเพลายูนิในช่วงที่ยอมรับได้ โดยอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบไว้ได้นำมาคำนวณความแข็งแรงและการเสียรูปของโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้โครงสร้างของอุปกรณ์มีขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) 100 x 130 x 121 cm สามารถปรับระดับความสูงได้ในช่วง 81 – 121 cm มีล้อเลื่อนที่สามารถล็อกได้และแบตเตอรี่ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ ในส่วนของการสร้างและทดสอบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ได้ทำการทดสอบมอเตอร์ของระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยตามที่ได้ออกแบบไว้และทดสอบการใช้งานเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโดยใช้หุ่นจำลองหนัก 120 kg ที่สร้างขึ้น จากผลการทดสอบมอเตอร์ พบว่ามอเตอร์ที่เลือกใช้คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 V แบบมีเกียร์ทดขนาดกำลัง 250 W ความเร็วรอบใช้งาน 337 rpm พร้อมทั้งชุดเฟืองทด (อัตราทด 1:4.75) สามารถยกมวลในแนวตั้งได้สูงสุด 68 kg โดยได้ประสิทธิภาพของมอเตอร์เท่ากับ 23.04% และการทดสอบการใช้งานโดยใช้อุปกรณ์รองรับผู้ป่วยเป็นผ้าฝ้ายและกระดาษเลื่อน พบว่ากลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่สร้างขึ้นสามารถเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองในแนวราบได้ โดยมีประสิทธิภาพของมอเตอร์เท่ากับ 34.65% และ 30.54% ตามลำดับ

Project title : Development of a Lateral Patient Transfer Device

Name : Mr. Adul Poolkum ID. 55360826
: Mr. Krittanai Moonmuang ID. 55362899
: Mr. Panupong Pipat ID. 55363421

Project advisor : Dr. Punyawan Lumpaopong
: Assistant Professor Dr. Ponpisut Worrajiran

Major : Mechanical Engineering

Department : Mechanical Engineering

Academic year : 2015

Abstract

The objective of this project was to develop a prototype of a lateral patient transfer device. The process was divided into two main parts: the design of the prototype and the build and test of the transfer mechanism. The principle of the patient transfer device was to use a motor to drive a shaft which winds back the pulling straps attached to a patient supporting accessory, in order to transfer a patient weighing 120 kg laterally, from one bed to another. A preliminary test showed that, using a cotton sheet as the supporting accessory required the lateral pulling force of 569 N (comparable to 58 kg) to move the patient. For the design, a solid aluminium shaft with the diameter of 31.75 mm was selected since it could endure the applied bending and shear stresses, due to torques and shear forces. The deflection and angle of twist of the shaft were also acceptable. The strength and deformation of the structure were also tested using a computer program. The overall dimension of the device was (w x l x h) 100 x 130 x 121 cm. The height was adjustable between 81 and 121 cm. The device was also equipped with braked wheels and a battery to drive the motor. For the build and test of the transfer mechanism, the motor was tested for its efficiency. Then, functional tests were performed, by transferring a constructed human model, weighing 120 kg. The results showed that, the selected geared motor 24 VDC 250 W, speed 337 rpm, together with the chain drives (ratio 1:4.75) could lift up the maximum mass of 68 kg with the motor efficiency of 23.04%. The functional tests, using either a cotton sheet or a slide board as the supporting accessory, showed that the mechanism was capable of transferring the human model. The motor efficiency for the cases was 34.65% and 30.54%, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือในด้านการให้คำแนะนำ ในการ
ทำโครงการจาก ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพิศุทธิ์ วรจิรันตน ซึ่งเป็
นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร ปิยะคง คณะพยาบาลศาสตร์มหาวิทยาลัย
นเรศวร และขอขอบคุณ นางมาเยื่อน สุขสุวรรณ พยาบาลวิชาชีพชำนาญการ โรงพยาบาลพุทธชิน
ราช พิษณุโลก ที่สนับสนุนข้อมูลทางด้านการแพทย์

ขอขอบคุณ นายชัชชัย อินเขียน ที่คอยให้การสนับสนุนอุปกรณ์ไฟฟ้า

ขอขอบคุณ หน่วยวิจัยเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมความเที่ยงตรงและการแพทย์ ภาควิชา
วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนสถานที่สำหรับปฏิบัติงาน

ขอขอบคุณ โรงพยาบาลพุทธชินราช พิษณุโลก ที่ได้อนุเคราะห์ให้ยืมเตียงผู้ป่วยสำหรับ
นำมาใช้ทดลอง และขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
นเรศวร ที่ได้อนุเคราะห์ให้ยืมอุปกรณ์ช่วยในการทดลอง

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ช่วยเหลืองานด้านการทำโครงการและด้านเอกสารให้เสร็จสิ้นโดย
เรียบร้อย

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจ
อย่างสม่ำเสมอตลอดมา

คณะผู้ดำเนินโครงการ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
สารบัญกราฟ	ฎ
ลำดับสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 แผนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การยกและการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย	4
2.2 ผลกระทบด้านสุขภาพจากการประกอบวิชาชีพพยาบาล	7
2.3 อุปกรณ์ยกและเคลื่อนย้ายผู้ป่วย	8
2.4 กระบวนการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์	10
2.5 การกระจายมวลและจุดศูนย์กลางมวลในแต่ละส่วนของร่างกายมนุษย์	13
2.6 การออกแบบเพลลา	16
2.7 การคำนวณเฟืองโซ่	19
2.8 ระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 การวิเคราะห์ปัญหา ความต้องการและวรรณกรรมปริทัศน์	23
3.2 การออกแบบต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การคำนวณความแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	41
3.4 ขั้นตอนการสร้างและทดลองชุดอุปกรณ์ทดลองเฉพาะส่วนกลไก เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	41
บทที่ 4 การทดลองหาค่าแรงดึงที่ใช้เลื่อนอุปกรณ์รองรับผู้ป่วย	
4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง	41
4.2 ขอบเขตการทดลอง	41
4.3 วัสดุอุปกรณ์	41
4.4 การเตรียมการทดลอง	42
4.5 วิธีดำเนินการทดลอง	45
4.6 ผลการทดลอง	46
4.7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	47
บทที่ 5 ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผลการทดสอบ	
5.1 การออกแบบต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	48
5.2 ผลการคำนวณความแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	52
5.3 การทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย	56
บทที่ 6 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการดำเนินงาน	72
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม	74
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การคำนวณเกี่ยวกับเพลา	77
ภาคผนวก ข. ผลการทดลองและการวิเคราะห์	88
ประวัติผู้ทำโครงการ	97

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 3.1 ทางเลือกในการแก้ปัญหา	27
ตารางที่ 3.2 น้ำหนักส่วนต่างๆ ของร่างกายและระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวล ถึงจุดอ้างอิงปลายเท้าจากการแบ่งส่วนประกอบของร่างกายเป็นส่วนบน กับส่วนล่าง	30
ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบมอเตอร์เพื่อเลือกนำมาใช้งานจริง	38
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาค่าแรงดึงที่ใช้เลื่อนอุปกรณ์รองรับผู้ป่วย	46
ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองดึงตะกร้าใส่ถุงทรายของชุดทดสอบระบบกลไก เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	65
ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองเลื่อนหุ่นจำลองของอุปกรณ์ทดลองระบบกลไก เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	66
ตารางที่ 5.3 การคำนวณผลการทดสอบเลื่อนหุ่นจำลองของชุดทดสอบระบบกลไก เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	70
ตารางที่ 6.1 ลักษณะของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	73
ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองดึงตะกร้าใส่ถุงทรายของชุดอุปกรณ์ทดลองระบบกลไก เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	89
ตารางที่ ข.2 ผลการคำนวณค่าตัวแปรจากการทดลองดึงตะกร้าใส่ถุงทรายด้วย ชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย	95

สารบัญรูปภาพ

	หน้า	
รูปที่ 2.1	การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยด้วยคน 3 คน	6
รูปที่ 2.2	อุปกรณ์เคลื่อนย้ายแบบแผ่นกระดานเลื่อน	8
รูปที่ 2.3	อุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยแบบมีระบบควบคุม	9
รูปที่ 2.4	การออกแบบและพัฒนาต้นแบบเครื่องยกผู้ป่วย	10
รูปที่ 2.5	ชุดอุปกรณ์ยกและเคลื่อนย้ายผู้ป่วยควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	10
รูปที่ 2.6	อุปกรณ์ยกอัตโนมัติ	10
รูปที่ 2.7	แบบจำลองกล่องดำของเครื่องชงกาแฟ	11
รูปที่ 2.8	รายละเอียดภายในแบบจำลองกล่องดำของเครื่องชงกาแฟ	12
รูปที่ 2.9	การปรับพารามิเตอร์ของผู้หญิง (มวลร่างกาย = 61.9 กิโลกรัม, ความสูง = 1.735 เมตร) และผู้ชาย (มวลร่างกาย = 73.0 กิโลกรัม, ความสูง = 1.741 เมตร) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลแต่ละส่วนกับมวลร่างกายและความสัมพันธ์ระหว่างความยาวแต่ละส่วนกับความสูง	14
รูปที่ 2.10	จุดศูนย์กลางมวลของร่างกายมนุษย์	15
รูปที่ 2.11ก	ความเครียดเฉือนบนเพลลา	17
รูปที่ 2.11ข	การกระจายของความเค้นเฉือนในเพลลากลมตัน	17
รูปที่ 2.12	การพิจารณาความเค้นตัดสูงสุดจาก FBD ของส่วนตัดของเพลลา	17
รูปที่ 2.13	เส้นโค้งอีลาสติก (Elastic curve)	18
รูปที่ 2.14	การต่อวงจรแบบอนุกรมและแบบขนาน	21
รูปที่ 2.15	มอเตอร์แกนซึก	22
รูปที่ 3.1	แบบจำลองกล่องดำของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	24
รูปที่ 3.2	ตำแหน่งการวางอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	24
รูปที่ 3.3	รายละเอียดภายในแบบจำลองกล่องดำของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	25
รูปที่ 3.4	แบบร่างเบื้องต้นของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	28
รูปที่ 3.5	การแบ่งการกระจายมวลของร่างกายมนุษย์ออกเป็น 2 ส่วน	29
รูปที่ 3.6	ผังวัตถุอิสระ (Free Body Diagram : FBD) ที่ใช้ในการพิจารณาภาระที่ใช้สำหรับเคลื่อนย้ายผู้ป่วย	31

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.7	FBD ที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาระกระทำบนเพลลาจากแรงดึง (F) มวลของเพลลา (m_s) และแรงปฏิกิริยาจากแบร์ริง (N_{sx} , N_{sy})	32
รูปที่ 3.8ก	การแสดงผลภาพไอโซเมตริก (Isometric) ของเพลลาเมื่อมีภาระต่างๆ มากระทำ	33
รูปที่ 3.8ข	FBD ของภาระที่กระทำบนเพลลา	33
รูปที่ 3.9	แผนภาพแรงเฉือน (Shear Force Diagram : SFD) และ โมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram : BMD)	34
รูปที่ 4.1ก	ขนาดของผ้าและระยะจุดตั้ง	42
รูปที่ 4.1ข	ลักษณะการเตรียมจุดตั้ง	42
รูปที่ 4.2	กระดานเลื่อนที่ได้ทำการเจาะรูแล้ว	42
รูปที่ 4.3	ระยะจุดตั้งของกระดานเลื่อน	43
รูปที่ 4.4ก	ขนาดของชุดทดลอง	43
รูปที่ 4.4ข	การติดตั้งรอกเข้ากับชุดทดลอง	43
รูปที่ 4.5ก	การนำเทปผ้า (Leak Seal Tape) พันหีบรอบฟิล์มห่ออาหาร	44
รูปที่ 4.5ข	การถอดชุดหุ่นทดลอง	44
รูปที่ 4.5ค	ชุดหุ่นทดลอง	44
รูปที่ 4.6	การเตรียมหุ่นจำลอง	45
รูปที่ 4.7	การนำผ้ามารองไว้ใต้หุ่นจำลอง	45
รูปที่ 4.8	การเตรียมอุปกรณ์ก่อนทดลอง	45
รูปที่ 4.9	การใส่ถุงทรายทั้ง 2 ตะกร้าพร้อมๆ กัน	46
รูปที่ 5.1	ต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	48
รูปที่ 5.2	โครงสร้างต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย	49
รูปที่ 5.3	อุปกรณ์หลักของระบบกลไกปรับระดับความสูง	50
รูปที่ 5.4	ลักษณะโดยรวมของระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย	51

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 5.5	ลักษณะการติดตั้งชิ้นส่วนป้องกันการกระแทก	51
รูปที่ 5.6	อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการคำนวณความแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	52
รูปที่ 5.7	พื้นที่สำหรับทำการ Fixed Geometry ของอุปกรณ์ต้นแบบ	53
รูปที่ 5.8	การกำหนดแรงที่กระทำบนอุปกรณ์ต้นแบบ	53
รูปที่ 5.9	การวิเคราะห์ความเค้น Von Mises ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้าง	55
รูปที่ 5.10	การเสียรูปโดยรวมของโครงสร้าง	55
รูปที่ 5.11	ผลการวิเคราะห์ความเค้นและการโก่งของเพลลาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	56
รูปที่ 5.12	แบบ 3 มิติ ของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย	58
รูปที่ 5.13	ชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย	58
รูปที่ 5.14	การวางตำแหน่งของอุปกรณ์ทดลองระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยและเตียงผู้ป่วย	59
รูปที่ 5.15	การต่อวงจรของกล่องควบคุม	60
รูปที่ 5.16	การติดตั้งสายดึงจากชุดทดสอบเข้ากับตะกร้า	60
รูปที่ 5.17	การนำลูกรถมาใส่ในตะกร้า	61
รูปที่ 5.18	การใช้ Tachometer วัดความเร็วรอบเพลลา	61
รูปที่ 5.19	การยกตะกร้าขึ้นไปจนถึงรถที่ติดอยู่บนคาน	62
รูปที่ 5.20	การวางตำแหน่งของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยและเตียงผู้ป่วย	63
รูปที่ 5.21	การติดตั้งสายยึดเข้ากับชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยและอุปกรณ์รองรับผู้ป่วย	63
รูปที่ 5.22	การเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองจากเตียงผู้ป่วยหนึ่งมายังเตียงผู้ป่วยสอง	64
รูปที่ ก.1	การวิเคราะห์แรงระหว่างเพลลากับเฟืองโซ่	78
รูปที่ ก.2	FBD ของภาระที่กระทำบนเพลลา	79

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ก.3 การพิจารณาเพลابرเวณหน้าตัดช่วงที่ 1	80
รูปที่ ก.4 การพิจารณาเพลابرเวณหน้าตัดช่วงที่ 2	81
รูปที่ ก.5 การพิจารณาเพลابرเวณหน้าตัดช่วงที่ 3	81
รูปที่ ก.6 การพิจารณาเพลابرเวณหน้าตัดช่วงที่ 4	82
รูปที่ ก.7 แผนภาพแรงเฉือน (Shear Force Diagram : SFD) และโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram : BMD)	83



สารบัญกราฟ

หน้า

กราฟที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ ความเร็วรอบเพลาและมอเตอร์กับมวล	67
กราฟที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับมวล	68
กราฟที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ากับมวล	68
กราฟที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังมอเตอร์และประสิทธิภาพของมอเตอร์กับมวล	69
กราฟที่ 5.5 กราฟประสิทธิภาพของมอเตอร์	70



ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
R_{Total}	ระยะจากจุดอ้างอิงถึงจุดศูนย์กลางมวลใดๆ ของมวลรวมที่ต้องการรวมมวล	cm
m_1	มวลรวมส่วนที่ 1	kg
m_2	มวลรวมส่วนที่ 2	kg
m_n	มวลรวมส่วนใดๆ	kg
r_1	จุดศูนย์กลางของมวลที่ 1	cm
r_2	จุดศูนย์กลางของมวลที่ 2	cm
r_n	จุดศูนย์กลางของมวลใดๆ	cm
τ_{max}	ความเค้นเฉือนสูงสุด	Pa
T	แรงบิดของเพลลา	$N \cdot m$
d_o	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	m
d_i	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	m
σ	ความเค้นดัดสูงสุด	Pa
M	โมเมนต์ดัด	$N \cdot m$
y	ระยะจากแกนสะเทินถึงผิวเพลลา	m
I	โมเมนต์เฉื่อย	m^4
τ	ความเค้นเฉือน	MPa
V	แรงเฉื่อย	N
A	พื้นที่หน้าตัด	m^2
θ	มุมบิด	rad
L	ความยาวของเพลลา	m
G	โมดูลัสของการเฉือน	Pa
J	โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว	m^3
x	จำนวนข้อโซ่	-
c	ระยะห่างศูนย์กลางเฟืองโซ่โดยประมาณ	mm
p	ระยะพิทช์ของโซ่	mm
Z	จำนวนฟันบนเฟือง	-
z	จำนวนฟันบนพีเนียน	-
m_o	อัตราทด	-
n_1	ความเร็วรอบของเพลลาอบสูง	rpm

ลำดับสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
n_2	ความเร็วรอบของเพลารอบต่ำ	<i>rpm</i>
P	กำลังของมอเตอร์	<i>w</i>
ω	ความเร็วรอบของเพลา	<i>rad/s</i>
Ah	ความจุของแบตเตอรี่ในการบรรจุพลังงาน	<i>A/hr</i>
w	กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์	<i>W</i>
n	จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้า	-
hr	จำนวนชั่วโมงการใช้งานของอุปกรณ์	<i>hr</i>
v	แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่	<i>V</i>



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความรู้และความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางการแพทย์ในปัจจุบันพัฒนาการรักษาพยาบาลที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ผู้ป่วยสามารถฟื้นฟูสภาพร่างกายได้อย่างรวดเร็ว แต่การรักษาพยาบาลในโรงพยาบาลอาจไม่สามารถกระทำได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากจำนวนของพยาบาลมีจำนวนไม่เพียงพอเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนประชากรหรือผู้ป่วย โดยมีอัตราส่วนพยาบาล 1 คนต่อประชากรทั้งประเทศ 506 คน [1] ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่างานดูแลผู้ป่วยเป็นงานหนัก โดยเฉพาะหอผู้ป่วยหนัก (Intensive care unit: ICU) ซึ่งเป็นผู้ป่วยหมดสติหรือไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้ จากการสังเกตการณ์งานพยาบาลในหน่วยผู้ป่วยหนัก ศัลยกรรมประสาท ณ โรงพยาบาลพุทธชินราช อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ทำให้ทราบว่ากรณีที่มีความต้องการย้ายผู้ป่วยจากเตียงพักฟื้นไปสู่เตียงอื่น เพื่อนำผู้ป่วยไปทำการรักษา เช่น ห้องผ่าตัด ห้องถ่ายภาพทางการแพทย์ เป็นต้น จำเป็นต้องใช้พยาบาลจำนวน 3-4 คน ต่อการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย 1 ครั้ง ทั้งนี้ผู้ป่วยในหน่วยผู้ป่วยหนัก ศัลยกรรมประสาทมีจำนวน 18 เตียง เนื่องจากมีผู้ป่วยเข้ารับการรักษาอย่างต่อเนื่องทำให้มีผู้ป่วยพักรักษาตัวครบทั้ง 18 เตียง จากการสอบถามพยาบาลผู้ปฏิบัติหน้าที่ดูแลผู้ป่วย ใน 1 วัน ประกอบด้วยรอบเวรการทำงาน 3 รอบเวร และมีจำนวนพยาบาล 6-7 คน ต่อ 1 รอบเวร โดยต้องมีการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยประมาณ 1-2 ครั้งต่อเตียงต่อวัน เพื่อเป็นการทำให้ผู้ป่วยได้ปรับเปลี่ยนท่าทางและลดการเกิดแผลกดทับ จึงส่งผลให้พยาบาลเกิดความเหนื่อยล้าและอาจเกิดอาการบาดเจ็บกล้ามเนื้อเนื่องจากการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย จากงานวิจัยของ โรสมาลิน สุขเกษม (2546) [2] ชลาลัย ทองพูล (2552) [3] และ นุชนารถ กันธิยะ (2552) [4] พบว่า การยกหรือการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเป็นสาเหตุหลักของอาการบาดเจ็บกล้ามเนื้อส่วนหลัง คอ แขน และไหล่ของพยาบาล ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูแลรักษาผู้ป่วยได้

ด้วยเหตุนี้คณะผู้จัดทำจึงมองเห็นความสำคัญของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยและมีแนวคิดพัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย เพื่อลดภาระในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยและลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บเนื่องจากการทำงานของพยาบาล ซึ่งส่งผลต่อการทำงานของพยาบาล ทำให้สามารถให้การรักษาพยาบาลผู้ป่วยได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการรักษาผู้ป่วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยศัลยกรรมในหน่วยหอผู้ป่วยหนัก ที่สามารถเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากเตียงสู่เตียงได้
- 1.2.2 เพื่อนำแนวทางที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยสำหรับใช้ในบ้านเพื่อดูแล ผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสำรวจผลิตภัณฑ์กลุ่มอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในท้องตลาด และทำการศึกษาระบวนการการออกแบบและเริ่มออกแบบอุปกรณ์ จากนั้นทำการค้นคว้าหาข้อมูลของอุปกรณ์ที่จะใช้เป็นส่วนประกอบทำต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยและศึกษาการคำนวณหาแรงที่เกี่ยวข้องในการออกแบบอุปกรณ์ โดยอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบนี้ได้ออกแบบให้มีลักษณะดังนี้

1. ใช้สำหรับช่วยเคลื่อนตัวผู้ป่วยในแนวราบ โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการดึงฝารองผู้ป่วยเพื่อเคลื่อนย้ายตัวผู้ป่วยจากเตียงสู่เตียง
2. ใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สำรอง
3. อุปกรณ์สามารถปรับระดับขึ้นลงให้เหมาะสมกับเตียงผู้ป่วยที่จะใช้เคลื่อนย้ายได้
4. อุปกรณ์มีล้อสำหรับเคลื่อนที่ได้สะดวกและใช้งานได้ง่าย สามารถหามล้อได้ นอกจากนี้ อุปกรณ์สามารถรองรับน้ำหนักตัวผู้ป่วยได้ 120 กิโลกรัม

จากนั้นทำการออกแบบต้นแบบอุปกรณ์ด้วยซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS (SOLIDWORKS, สหรัฐอเมริกา) และคำนวณความแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อทำการออกแบบอุปกรณ์เสร็จ ต่อไปทำการสร้างและทดสอบกลไกเคลื่อนตัวผู้ป่วย โดยการทดสอบการเคลื่อนย้ายหุ่นจำลอง ขั้นตอนสุดท้ายทำการสรุปผลการทดสอบและจัดทำเอกสารเพื่อให้ศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์ต่อไป

1.4 แผนการดำเนินงาน

การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบมีแผนการดำเนินงานดังนี้

- 1.4.1 วิเคราะห์ปัญหาและความต้องการ
- 1.4.2 ศึกษาวรรณกรรมปริทัศน์ หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.3 ออกแบบต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย
- 1.4.4 สร้างชุดทดสอบส่วนกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย
- 1.4.5 ทดสอบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย
- 1.4.6 การจัดทำรูปเล่มปริญญาานิพนธ์

ตาราง 1.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2558					2559				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. วิเคราะห์ปัญหาและความต้องการ										
2. การศึกษาวรรณกรรมปริทัศน์ หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง										
3. ออกแบบต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย										
4. สร้างต้นแบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย										
5. ทดสอบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย										
6. การจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้แบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบ ซึ่งมีกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่สามารถทำงานได้จริง

1.5.2 การสร้างต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในครั้งนี้สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยสำหรับใช้ภายในบ้านเพื่อดูแลผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุต่อไปได้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยนั้นจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานในด้านต่างๆ เพื่อสามารถนำความรู้นั้นไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย โดยได้ทำการศึกษา งานวิจัย หลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. การยกและการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย
2. ผลกระทบด้านสุขภาพจากการประกอบวิชาชีพพยาบาล
3. อุปกรณ์ยกและเคลื่อนย้ายผู้ป่วย
4. กระบวนการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์
5. ขนาดส่วน/สัดส่วน/มิติของมนุษย์
6. การออกแบบเพลลา
7. การคำนวณเฟืองโซ่
8. ระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า

2.1 การยกและการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

การบาดเจ็บหรืออาการปวดหลังเป็นปัญหาที่พบได้ในกลุ่มพยาบาล โดยก่อให้เกิดผลกระทบทั้งในด้านสุขภาพและความสามารถในการทำงาน ซึ่งงานที่ทำให้เกิดความผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูกโดยส่งผลต่ออาการปวดหลังที่พบบ่อยในกลุ่มพยาบาลคือการยกและการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย [2, 3, 4] จากความผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูกที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการทำงาน (Work Related Musculoskeletal Disorders-WRMDs) ส่วนใหญ่หมายถึงความผิดปกติที่เกิดจากความเครียดที่เส้นเอ็นจากการเคลื่อนไหวซ้ำๆ (Repetitive strain disorders) การบาดเจ็บสะสม (Cumulative trauma disorders) ความผิดปกติของแขนขาส่วนบน ซึ่งมาจากปัจจัยการทำงานหนักมากเกินไป การทำงานในท่าทางที่ผิดเป็นเวลานาน หรือการยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของหนักซ้ำๆ กัน จึงจำเป็นต้องศึกษาวิธีการยกที่ถูกต้องและปลอดภัย เพื่อช่วยลดการบาดเจ็บและอาการปวดหลังให้น้อยลง

กฎการยกที่ปลอดภัย [5]

B = Back Straight (ยกในท่าทางหลังตรง)

A = Avoid Twisting (อย่าบิดตัวขณะยก)

C = Close to the Body (ยกสิ่งของให้ใกล้ตัว)

K = Keep Smooth (ค่อยๆ ทำ)

ยกในท่าทางหลังตรง (Back Straight)

- หมอนรองกระดูกสามารถทนต่อแรงกดได้มากกว่าในท่าหลังตรง
- หมอนรองกระดูกจะทนได้น้อยลงเมื่อยกในท่างอตัว
- พยายามให้กระดูกสันหลังอยู่ในท่า neutral position
- พยายามเคลื่อนไหวหลังช้าๆ
- ลดแรงกดที่กระดูกสันหลังให้เหลือน้อยที่สุด
- พยายามนึกถึงรูปโค้งปกติเมื่ออยู่ในท่าตรงทุกครั้งที่มีการเคลื่อนไหว

อย่าบิดตัวขณะยก (Avoid Twisting)

- หมอนรองกระดูกจะทนต่อแรงกดได้น้อยลงเมื่อยกและบิดตัวพร้อมกัน
- ข้อต่อของกระดูกสันหลังถูกออกแบบเพื่อป้องกันการหมุน
- ถ้ามีการบิดตัวขณะยกข้อจะอักเสบและมีอาการปวด

ยกสิ่งของให้ใกล้ตัว (Close to the body)

- ถ้าสิ่งของที่ยกอยู่ในระยะห่างจากตัว กล้ามเนื้อหลังและข้อหลังจะทำงานมากเพื่อยกน้ำหนักทำให้เกิดความเครียดที่หลัง
- ถ้าพยายามยกให้ใกล้ตัว ยิ่งใกล้ตัวมากเท่าใดก็จะมีน้ำหนักและความเครียดต่อหลังน้อยลงเท่านั้น

ค่อยๆ ทำ (Keep Smooth)

- การยกหรือเคลื่อนไหว แบบทันทีทันใดจะเพิ่มแรงกดลงบนหมอนรองกระดูกมากขึ้น

สิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติม

- พยายามใช้เครื่องมือแรงเข้าช่วย
- ระหว่างเคลื่อนไหวควรใช้กล้ามเนื้อขา สะโพก และเข้าช่วยยก
- เมื่อยกให้เกร็งกล้ามเนื้อท้องและเชิงกรานเพื่อให้ข้อหรือผู้ป่วยอยู่ใกล้ตัวเรามากที่สุด
- พยายามอย่าเอื้อมตัวเพื่อยกเพื่อป้องกันความเครียดต่อข้อต่อต่างๆ ของกระดูกสันหลัง
- ถ้ายกไม่ไหวหรือผู้ป่วย สิ่งของลื่นหลุด ให้ค่อยๆ ย่อตัวลงกับพื้น และพยายามเกร็งกล้ามเนื้อหน้าท้องเพื่อป้องกันการหมุนตัว

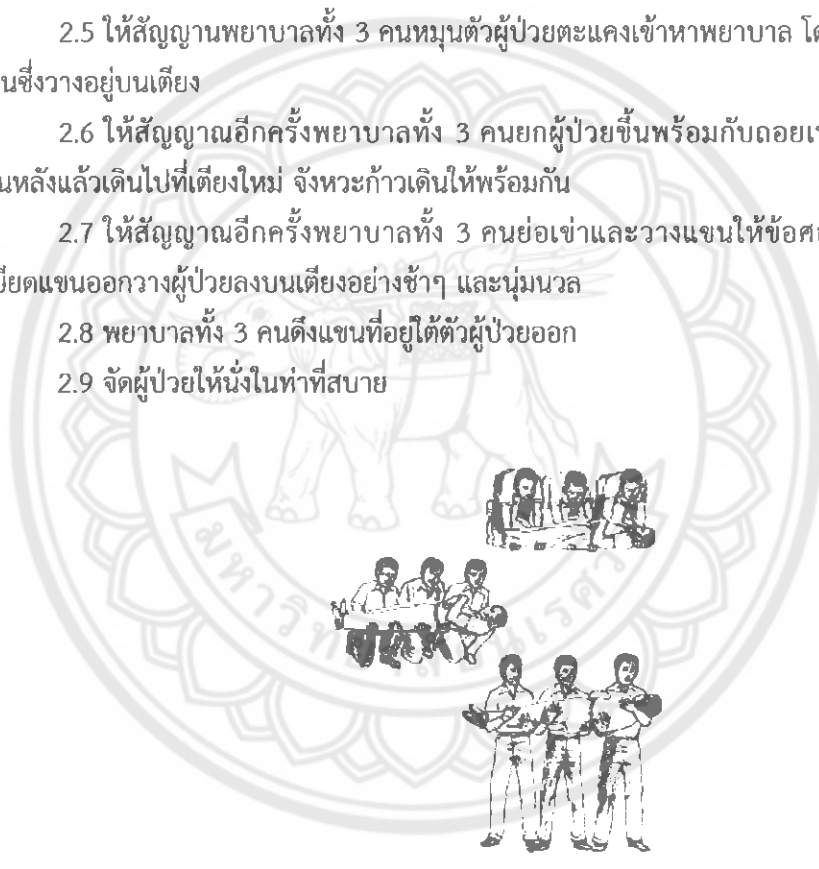
จากการศึกษาหลักการยกที่ปลอดภัยทำให้รู้ถึงวิธีการปฏิบัติที่ถูกต้องวิธีนี้จะช่วยลดอาการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้น ต่อไปจะเป็นการศึกษาวิธีการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยหรือยกตัวผู้ป่วย [6] สำหรับวิธีการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยอาจเกิดปัญหาได้ถ้าทำไม่ถูกต้อง โดยวิธีการนั้นต้องปลอดภัยทั้งผู้ดูแล และผู้ป่วย ซึ่งต้องทำให้มี Body stress น้อย และให้ความรู้สึกสะดวกสบายมากที่สุด โดยมีหลักในการปฏิบัติ ดังนี้

การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากเตียงไปรถนอน มี 2 แบบ คือ

1. การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากเตียงไปยังรถนอนในรายที่ช่วยตนเองได้พยาบาลจะบอกให้ผู้ป่วยทราบและคอยช่วยเหลือให้ผู้ป่วยย้ายจากเตียงหนึ่งไปยังอีกเตียงหนึ่งด้วยความปลอดภัย

2. การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากเตียงไปยังรถนอนในรายที่ช่วยตนเองไม่ได้อาจใช้วิธีการอุ้มยก หรืออาจใช้ผ้าขวางเตียงในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย สำหรับการอุ้มยกหากเป็นผู้ป่วยเด็กสามารถทำได้ ง่ายอาจใช้พยาบาลเพียง 1 - 2 คน ในผู้ป่วยผู้ใหญ่ต้องใช้พยาบาลถึง 3 คน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยมีวิธีปฏิบัติดังนี้

- 2.1 บอกให้ผู้ป่วยทราบเพื่อให้ความร่วมมือ
- 2.2 พยาบาล 3 คนยืนข้างเตียงหันหน้าเข้าหาผู้ป่วย ก้าวเท้าไปข้างหน้า
- 2.3 ถ้าผู้ป่วยขยับแขนขาไม่ได้ให้วางแขนผู้ป่วยไว้บนหน้าอก
- 2.4 พยาบาล 3 คนย่อเข้า สอดแขนเข้าใต้ลำตัวผู้ป่วย คนที่ 1 สอดแขนเข้าที่คอไหล่และเอว คนที่ 2 สอดแขนเข้าที่ใต้เอวและตะโพกคนที่ 3 สอดแขนเข้าที่ใต้ตะโพกและขา
- 2.5 ให้สัญญาณพยาบาลทั้ง 3 คนหมุนตัวผู้ป่วยตะแคงเข้าหาพยาบาล โดยใช้ข้อศอกเป็นจุด หมุนซึ่งวางอยู่บนเตียง
- 2.6 ให้สัญญาณอีกครั้งพยาบาลทั้ง 3 คนยกผู้ป่วยขึ้นพร้อมกับถอยเท้าที่อยู่ข้างหน้าไป ด้านหลังแล้วเดินไปที่เตียงใหม่ จังหวะก้าวเดินให้พร้อมกัน
- 2.7 ให้สัญญาณอีกครั้งพยาบาลทั้ง 3 คนย่อเข้าและวางแขนให้ข้อศอกอยู่บนเตียงใหม่ เขี่ยดแขนออกวางผู้ป่วยลงบนเตียงอย่างช้าๆ และนุ่มนวล
- 2.8 พยาบาลทั้ง 3 คนดึงแขนที่อยู่ใต้ตัวผู้ป่วยออก
- 2.9 จัดผู้ป่วยให้นั่งในท่าที่สบาย



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยด้วยคน 3 คน [7]

ปัจจุบันการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากเตียงไปยังรถนอนหรือรถนอนไปเตียงนิยมใช้กระดานเลื่อน (Slide Board) เนื่องจากการใช้กระดานเลื่อนสำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยนั้นจะสะดวก รวดเร็วและปลอดภัยทั้งผู้ป่วยและพยาบาลมากขึ้น แต่การใช้กระดานเลื่อนก็ยังคงมีปัญหาเรื่องของอาการบาดเจ็บของพยาบาลที่ต้องออกแรงยกผู้ป่วยอยู่ ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ช่วยผ่อนแรงสำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเพื่อลดอาการบาดเจ็บของพยาบาลที่เกิดขึ้น

2.2 ผลกระทบด้านสุขภาพจากการประกอบวิชาชีพพยาบาล

การบาดเจ็บบริเวณหลัง

การบาดเจ็บของกล้ามเนื้อหรือเอ็นที่บริเวณหลังส่วนใหญ่เกิดจากการใช้หลังทำงานในอิริยาบถที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดการฉีกขาดของเอ็นกระดูก และยิ่งพบว่างานการยกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเป็นงานที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายและสามารถก่อให้เกิดอาการปวดและบาดเจ็บที่หลังได้อย่างแน่นอน [2, 3, 4] เมื่อเกิดการบาดเจ็บขึ้นจะทำให้มีสารที่กระตุ้นให้เกิดอาการปวด ส่งผลให้เกิดอาการปวดขึ้นทันทีที่มีการบาดเจ็บ อาการปวดจะรุนแรงมากที่สุดใน 24 - 48 ชั่วโมง และจะค่อยๆ หายไปในระยะเวลาประมาณ 10 - 14 วัน นอกจากนี้การมีท่าทางที่ต้องนั่งก้มโค้ง หรือมีการโน้มลำตัวมาด้านหน้ายังส่งผลให้ความดันภายในหมอนรองกระดูกสันหลังสูงขึ้น จากการที่จุดศูนย์กลางลำตัวที่กระทำต่อข้อต่อเอวเคลื่อนไปด้านหน้ามากขึ้นจึงเป็นเหตุให้กล้ามเนื้อโดยรอบข้อกระดูกสันหลังต้องเกร็งต้านแรงมากขึ้นเพื่อพยุงตัวให้อยู่ในสภาพสมดุล ส่งผลให้เกิดอันตรายต่อหมอนรองกระดูกสันหลังได้ [8]

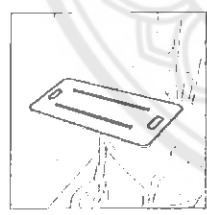
การบาดเจ็บบริเวณไหล่และคอ

การบาดเจ็บที่บริเวณไหล่เป็นผลมาจากการทำงานที่ต้องออกแรงมาก การใช้ท่าทางในการทำงานที่ไม่เหมาะสม และการทำงานด้วยท่าทางซ้ำซาก เนื่องจากการทำงานที่ต้องมีการเคลื่อนไหวของข้อไหล่น้อยๆ เป็นเวลานานจะทำให้เกิดการสึกหรอของส่วนประกอบในข้อไหล่ การเคลื่อนไหวของแขนทุกครั้งจะมีการเสียดสีของเส้นเอ็นกับกระดูกและถุงน้ำที่หุ้มรองอยู่ เมื่อเวลาผ่านไปทำให้เกิดความเครียดหรือการอักเสบของเส้นเอ็นหรือถุงน้ำและบางส่วนอาจมีการฉีกขาดขึ้น ถ้ามีการอักเสบแบบเรื้อรังจะทำให้เกิดพังผืดหรือหินปูนไปเกาะ หินปูนที่เกาะเส้นเอ็นนั้นอาจไม่ก่อให้เกิดการเจ็บปวดใดๆ ยกเว้นในรายที่แตกเข้าไปในถุงน้ำ หรือ ปลอกเส้นเอ็น จึงอาจเกิดการปวดไหล่เฉียบพลันขึ้นได้ แต่หากเกิดพังผืดขึ้นบริเวณกล้ามเนื้อบ่าสะบัก หรือหัวไหล่ จะทำให้เกิดอาการปวด ถ้ามีอาการปวดรุนแรงทำให้กล้ามเนื้อดูเสมือนอ่อนกำลังไม่สามารถยกแขนขึ้นเหนือศีรษะได้และมีอาการปวดร้าวไปยังส่วนต้นแขนปลายแขนปลายมือหรือมีอาการปวดชาร่วมด้วยได้ [9] ส่วนการเคลื่อนไหวของคอในขณะที่ทำงาน เช่น การเอียงคอไปด้านข้าง จะทำให้ส่วน foramen ของกระดูกสันหลังส่วนคอเอียงออกไปในทิศทางที่ศีรษะโน้มเอียงออกไป การก้มเงยคอไปมาจะทำให้เกิดแรงกดลงบนส่วนหมอนรองกระดูกสันหลังส่วนคอ และการหันหน้าไปมาจะทำให้กระดูกสันหลังส่วนคอข้อนหมุนทับกันไปมา และทำให้เกิดแรงกดลงบนหมอนรองกระดูกส่วนนั้น เมื่อเกิดการเคลื่อนไหวที่ซ้ำซากเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการบาดเจ็บได้ [10]

2.3 อุปกรณ์ยกและเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเป็นกิจกรรมหนึ่งในกระบวนการให้บริการผู้ป่วย โดยเฉพาะผู้ป่วยที่ช่วยเหลือตัวเองได้น้อยหรือช่วยเหลือตัวเองไม่ได้ จากการศึกษางานวิจัยพบว่า การบาดเจ็บบริเวณกล้ามเนื้อหลังที่เกิดจากการทำงานในกลุ่มพยาบาลหรือผู้ดูแลผู้ป่วยนั้น ส่วนใหญ่เป็นผลอันเนื่องมาจากการยกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย [2, 3, 4] จากเตียงผู้ป่วยไปยังเตียงเคลื่อนย้ายหรือไปยังรถเข็นผู้ป่วยแบบนั่งซึ่งเป็นงานหนักมากสำหรับผู้ดูแลและนั่นการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่มีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และลดความเสี่ยงต่ออาการบาดเจ็บ ต้องอาศัยอุปกรณ์ช่วยที่เหมาะสม

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อช่วยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยหลายวิธีการ โดยได้แบ่งลักษณะของอุปกรณ์เป็นแบบใช้แผ่นกระดานเลื่อน (รูปที่ 2.2) และอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยแบบมีระบบควบคุม (รูปที่ 2.3) อุปกรณ์ที่ใช้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยแบบใช้แผ่นกระดานเลื่อนนั้นมีอยู่หลายรูปแบบ มีทั้งแบบแผ่นกระดานสั้น (รูปที่ 2.2ก) แบบแผ่นกระดานยาว (รูปที่ 2.2ข) แบบแผ่นกระดานฉากเลื่อน (รูปที่ 2.2ค) และแบบแผ่นกระดานหมุนกลิ้ง (รูปที่ 2.2ง) แต่อุปกรณ์ลักษณะนี้ยังคงต้องใช้แรงจากผู้ดูแลในการเคลื่อนย้ายอยู่ จึงมีอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยแบบมีระบบควบคุมเพื่อช่วยผ่อนแรงของผู้ดูแล ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ก็มีลักษณะการทำงานหลายรูปแบบ มีทั้งแบบใช้กลไกเพื่อลากเคลื่อนตัวผู้ป่วยโดยใช้ระบบควบคุมด้วยมือหมุน (รูปที่ 2.3ก) แบบใช้ระบบไฟฟ้าควบคุมการปรับปริมาณอากาศในเบาะเคลื่อนย้ายเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างเบาะกับเตียงให้สามารถเคลื่อนตัวผู้ป่วยได้ง่ายขึ้น (รูปที่ 2.3ข) แบบเตียงเคลื่อนย้ายอัตโนมัติจะมีลักษณะเป็นเตียงเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่มีระบบไฟฟ้าควบคุมแผ่นกระดานเลื่อนมาสอดใต้ตัวผู้ป่วยแล้วเลื่อนตัวผู้ป่วยกลับไปยังเตียง (รูปที่ 2.3ค) ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ยังไม่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงพยาบาลของรัฐเนื่องจากมีราคาสูง และแบบอุปกรณ์ยกและเคลื่อนย้ายผู้ป่วย (รูปที่ 2.3ง)



1. Place the SST Board diagonally in front of the wheel



2. Remove by pulling upward

(ก) แบบแผ่นกระดานสั้น [11]



(ค) Slide medical system [12]

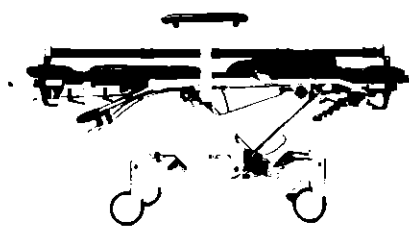


(ข) แบบแผ่นกระดานยาว

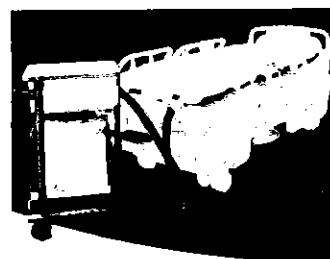


(ง) Roll Board Lateral Transfer [13]

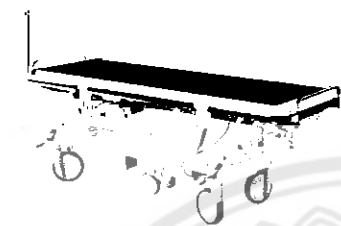
รูปที่ 2.2 อุปกรณ์เคลื่อนย้ายแบบแผ่นกระดานเลื่อน



(ก) Barton Transfer System [14]



(ข) Prevelon™ Liftaem [15]



(ค) Electric Patient transfer trolley [16]



(ง) Patient lifts [17]

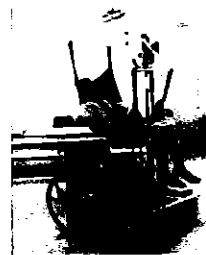
รูปที่ 2.3 อุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยแบบมีระบบควบคุม

ในประเทศไทยงานวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ยกและเคลื่อนย้ายผู้ป่วยมีลักษณะการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่คล้ายคลึงกันคือการใช้หลักการยกตัวผู้ป่วยขึ้นแล้วเคลื่อนย้ายตัวผู้ป่วยไปยังที่ต้องการงานวิจัยดังกล่าว ได้แก่

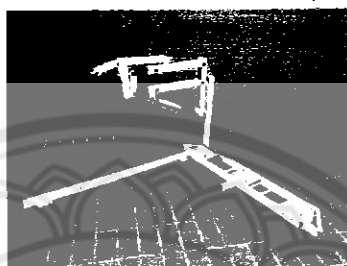
1. การออกแบบและพัฒนาต้นแบบเครื่องยกผู้ป่วย (รูปที่ 2.4) โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) เป็นอุปกรณ์เคลื่อนย้ายชนิดใช้สายแขวนชุดรองตัวผู้ป่วยกับคานยก และใช้ระบบไฟฟ้าในการยก ทำให้มีการยกที่นุ่มนวลกว่าระบบไฮดรอลิก สามารถเคลื่อนย้ายไปยังที่ต้องการด้วยล้อเลื่อน
2. ชุดอุปกรณ์ยกและเคลื่อนย้ายผู้ป่วยควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (รูปที่ 2.5) โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีร่วมกับศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นอุปกรณ์ยกและเคลื่อนย้ายผู้ป่วยชนิดใช้สายแขวนชุดรองผู้ป่วย โดยมีระบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งให้ยกผู้ป่วยขึ้นลง หรือ ขยับผู้ป่วยไปทางซ้ายหรือทางขวา มีระบบป้องกันและรักษาความปลอดภัยหากการยกมีความผิดพลาดเกินตำแหน่ง
3. อุปกรณ์ยกผู้ป่วยอัตโนมัติ (Home - Auto lifting System) (รูปที่ 2.6) โดยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เป็นอุปกรณ์ชนิดใช้หลักการยกตัวผู้ป่วยขึ้น แต่มีความแตกต่าง คือ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถพกพาไปกับรถยนต์ได้ โดยส่วนฐานมี 2 แบบคือ ฐานที่ใช้กับล้อรถยนต์จะออกแบบให้สามารถปรับขนาดความกว้างตามขนาดของล้อรถยนต์ได้ และฐานที่มีล้อเลื่อนสำหรับเคลื่อนย้าย อุปกรณ์นี้สามารถยกย้ายผู้ป่วยไป-มาระหว่างเบาะนั่งรถยนต์กับรถเข็น หรือไป-มาระหว่างเตียงผู้ป่วยกับรถเข็น



รูปที่ 2.4 การออกแบบและพัฒนาต้นแบบ
เครื่องยกผู้ป่วย [18]



รูปที่ 2.5 ชุดอุปกรณ์ยกและเคลื่อนย้ายผู้ป่วย
ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ [19]



รูปที่ 2.6 อุปกรณ์ยกอัตโนมัติ [20]

อย่างไรก็ตาม การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในลักษณะการยกย้ายนี้อาจจะไม่เหมาะกับงานดูแลผู้ป่วยศัลยกรรมที่รับการรักษาในหอผู้ป่วยหนัก ที่อยู่ในสภาวะไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้หรือไม่รู้สึกตัว รวมถึงผู้ป่วยที่มีอาการบาดเจ็บที่กระดูกสันหลัง ซึ่งควรเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบมากกว่าการยกย้าย [21] เพื่อให้ผู้ป่วยเกิดการกระทบกระเทือนส่วนหลังน้อยที่สุด

2.4 กระบวนการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์

เพื่อให้การออกแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยดำเนินการอย่างถูกต้อง เหมาะสม ตามหลักวิศวกรรมและได้ผลลัพธ์ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ คณะผู้ดำเนินการจึงทำการศึกษากระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ [22] โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.4.1 การแก้ปัญหาจากความต้องการการใช้งาน

การรู้รูปแบบของผลิตภัณฑ์คือความเป็นไปได้ที่จะค้นหาคุณสมบัติและฟังก์ชันที่ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้

2.4.2 ขั้นตอนกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม

การออกแบบคือ รูปแบบเฉพาะอย่างหนึ่งของการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม ประกอบด้วยพื้นฐาน ดังต่อไปนี้

- การทำให้ปัญหาชัดเจน: ศึกษาความต้องการและสภาพแวดล้อม
- การออกแบบค่าของระบบ: เริ่มตั้งวัตถุประสงค์และข้อกำหนด
- การสังเคราะห์ระบบ: สร้างทางเลือกในการแก้ปัญหา

- การวิเคราะห์ระบบ: วิเคราะห์ทางเลือกในการแก้ปัญหา
- การเลือกระบบที่ดีที่สุด: เปรียบเทียบทางเลือกกับข้อกำหนดที่เลือกไว้
- การวางแผนดำเนินการ: ระบุทางเลือก

2.4.3 กำหนดปัญหาและตั้งวัตถุประสงค์

ปัญหาคือผลลัพธ์ที่เกิดจากความจำเป็นที่ไม่ได้รับการเติมเต็ม จากข้อความข้างต้นกล่าวได้ว่าเราสามารถกำหนดปัญหาที่ชัดเจนได้จากการศึกษาความจำเป็นและสภาพแวดล้อมที่อาจส่งผลให้เกิดความจำเป็นนั้น โดยทั่วไปแล้วจุดเริ่มต้นของปัญหาจะมีความคลุมเครือ ส่งผลให้การออกแบบไม่ชัดเจนหรือไม่ตรงกับปัญหา ดังนั้นในขั้นแรกจะทำการศึกษาปัญหาและตั้งวัตถุประสงค์ทั่วไป โดยวัตถุประสงค์นั้นต้องมีความเป็นไปได้ในการปฏิบัติ วัตถุประสงค์ทั่วไปนั้นอาจมีการเปลี่ยนแปลงหรือมีความจำเพาะเจาะจงมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะสะท้อนถึงความเข้าใจปัญหาที่เพิ่มมากขึ้น และนำไปสู่การออกแบบที่มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น

เมื่อวัตถุประสงค์มีความจำเพาะ ชัดเจนและแม่นยำตรงต่อปัญหานั้น สามารถแยกย่อยเป็นวัตถุประสงค์ย่อยหรือเป็นข้อกำหนดในการพัฒนาการออกแบบ

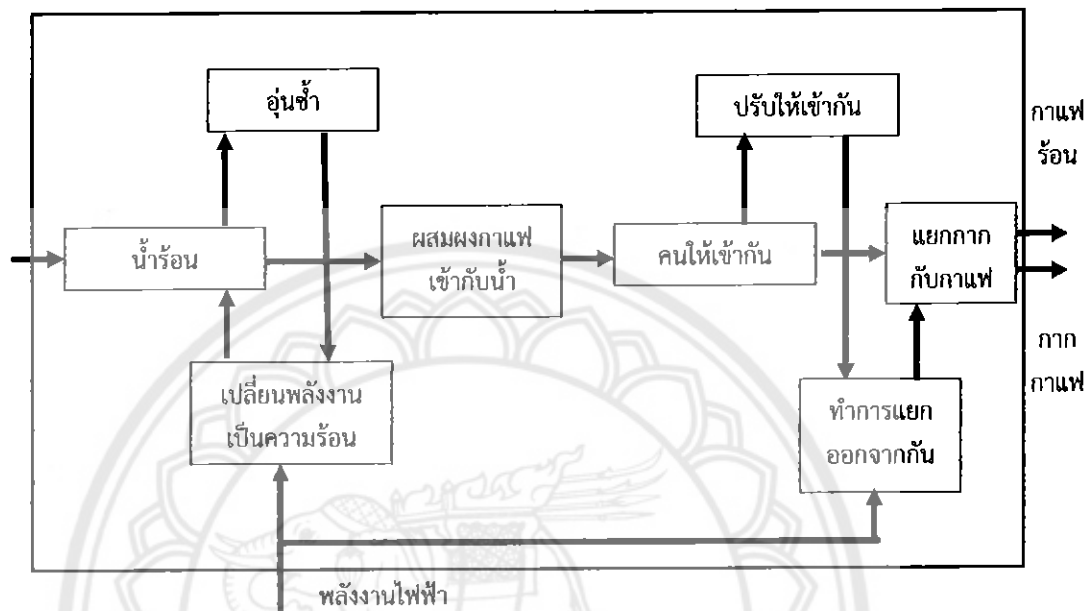
2.4.4 สร้างฟังก์ชัน ความต้องการและพัฒนารายละเอียด

เมื่อทำการทบทวน รวบรวมและแก้ไขวัตถุประสงค์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำการสร้างฟังก์ชันที่จะส่งผลให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยใช้ทฤษฎีกล่องดำในการสร้างฟังก์ชันที่เป็นไปได้ ทฤษฎีกล่องดำเริ่มต้นด้วยการกำหนดปัญหาและผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยกำหนดให้ตัวผลิตภัณฑ์เป็นเสมือนกล่องดำ เมื่อทำการใส่ปัญหาลงสู่กล่องดำ สิ่งที่ได้จากกล่องดำคือผลลัพธ์ที่ต้องการ ตัวอย่างการใช้ทฤษฎีกล่องดำออกแบบเครื่องชงกาแฟ โดยสมมติให้เครื่องชงกาแฟคือกล่องดำ เมื่อทำการใส่ผงกาแฟ น้ำเย็น พลังงานไฟฟ้าและสัญญาณส่งเข้า ลงสู่กล่องดำและได้ผลลัพธ์ออกมาคือน้ำกาแฟร้อน พลังงานความร้อน กากกาแฟและสัญญาณส่งออก ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แบบจำลองกล่องดำของเครื่องชงกาแฟ [22]

ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดกระบวนการต่างๆ ที่นำไปสู่ผลลัพธ์ โดยเปรียบกระบวนการต่างๆ เหมือนกล่องดำขนาดเล็กที่อยู่ในกล่องดำที่เป็นผลิตภัณฑ์ กล่องดำขนาดเล็กทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนปัญหาด้วยกรรมวิธีต่างๆ จนกระทั่งได้ผลลัพธ์ออกมา ดังรูปที่ 2.8 ทั้งนี้กระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในกล่องดำจะปราศจากการสูญเสียใดๆ



รูปที่ 2.8 รายละเอียดภายในแบบจำลองกล่องดำของเครื่องชงกาแฟ [22]

2.4.5 การพัฒนาการออกแบบเบื้องต้น

กรรมวิธีสำหรับพัฒนาวิธีการออกแบบเรียกว่า กรรมวิธีการออกแบบ กระบวนการ เทคนิค หรือเครื่องมือ ที่เกี่ยวกับการออกแบบส่วนหนึ่งของกรรมวิธีการออกแบบ โดยทั่วไปกรรมวิธีการออกแบบประกอบด้วย กรรมวิธีรวบรวมความคิดสร้างสรรค์ กรรมวิธีเปรียบเทียบความคิดสร้างสรรค์ และกรรมวิธีวิเคราะห์

2.4.5.1 การระดมสมอง

การระดมสมองคือกรรมวิธีรวบรวมความคิดสร้างสรรค์ที่เป็นที่รู้จักมากที่สุด เป็นกรรมวิธีที่ทำให้ได้ไอเดียจำนวนมาก แม้ว่าไอเดียที่ได้จะมีทั้งไอเดียที่ใช้งานได้และไอเดียที่ไม่สามารถใช้งานได้ และจะต้องถูกคัดออก

2.4.5.2 การเปรียบเทียบและโอกาส

ไอเดียนวัตกรรมจำนวนมากที่สามารถกลายเป็นโอกาส บ่อยครั้งที่วิธีการออกแบบต้องเจอกับสองทางเลือก จึงมีกระบวนการทางกลศาสตร์ที่รู้จักในนาม ไชเน็คติค

ไชเน็คติคแตกต่างจากการระดมสมองตรงที่การสร้างสรรคไอเดีย กลุ่มต้องพยายามทำงานร่วมกันโดยวิธีการเฉพาะ กลุ่มจะผลักดันให้ใช้การเปรียบเทียบ ซึ่งขั้นตอนของกรรมวิธีไชเน็คติคมีดังนี้

- สถานะของปัญหา
- ใช้การเปรียบเทียบโดยตรง
- วิเคราะห์การเปรียบเทียบ
- ควบคุมให้พอดี
- สร้างสรรค์ไอเดีย
- พัฒนาไอเดียที่ได้

2.4.5.3 กรรมวิธีวิเคราะห์

กรรมวิธีวิเคราะห์เรียกอีกอย่างว่ากรรมวิธีซีสเตมติก กรรมวิธีเป็นดังที่ได้อธิบายไว้ใน การวิเคราะห์ฟังก์ชัน (หัวข้อ 2.4.4) โดยมีการเพิ่มเติมด้วยการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันย่อยและเปรียบเทียบผลลัพธ์ เพื่อให้ได้โครงสร้างฟังก์ชันที่ดีที่สุด

2.4.6 การประเมินผลและตัดสินใจสร้าง

หนึ่งในทางเลือกการออกแบบที่ถูกพัฒนาแล้ว นักออกแบบต้องทำการเลือกสิ่งที่ดีที่สุด การพิจารณาวัตถุประสงค์คือหัวใจหลักของการสร้างทางเลือกสุดท้าย ตั้งแต่วัตถุประสงค์โดยรวม แต่ละวัตถุประสงค์ให้น้ำหนักที่ต่างกันตามความจำเป็น ดังนั้น การออกแบบทั้งหมดอาจถูกนำมา เปรียบเทียบกับวัตถุประสงค์ โดยทั่วไปแต่ละวัตถุประสงค์จะถูกกำหนดน้ำหนักเป็นคะแนนที่ชัดเจน คะแนนสุดท้ายของแต่ละการออกแบบคือคะแนนรวมที่ได้จากการเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือ ข้อกำหนด การออกแบบที่ได้คะแนนสูงสุดจะเป็นผู้ชนะ

2.5 การกระจายมวลและจุดศูนย์กลางมวลในแต่ละส่วนของร่างกายมนุษย์

ในการออกแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบ มีหลักการคือเป็นการออกแรงดึงเพื่อ เลื่อนตัวผู้ป่วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงการกระจายน้ำหนักของร่างกายมนุษย์ เนื่องจากร่างกาย มนุษย์มีการกระจายของมวลไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้แต่ละส่วนของร่างกายมีน้ำหนักไม่เท่ากัน เพราะฉะนั้นภาระที่กระทำต่ออุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแต่ละจุดจึงไม่เท่ากัน โดยสามารถแบ่งการ กระจายมวลของร่างกายมนุษย์ออกเป็น 9 ส่วน [23] ดังนี้

- | | |
|----------------------|-----------------|
| 1. ส่วนศีรษะ | 6. ส่วนท่อนแขน |
| 2. ส่วนลำตัว | 7. ส่วนฝ่ามือ |
| 3. ส่วนลำตัวส่วนบน | 8. ส่วนต้นขา |
| 4. ส่วนลำตัวส่วนล่าง | 9. ส่วนหน้าแข้ง |
| 5. ส่วนต้นแขน | |

โดยแต่ละส่วนของร่างกายมนุษย์ที่แบ่งออกจะมีสัดส่วนต่อมวลของร่างกาย ดังรูปที่ 2.9 และ จุดศูนย์กลางมวลของแต่ละส่วนนั้นๆ ดังรูปที่ 2.10

Table 4. Adjusted parameters for females (F; body mass = 61.9 kg, stature = 173.5 m) and males (M; 73.0 kg, 1.741 m). Segment masses are relative to body mass; segment CM positions are referenced either to proximal or cranial endpoints (origin). Both segment CM positions and radii of gyration (r) are relative to the respective segment lengths. A set of easy-to-use endpoints is considered in the first part of the table; for some segments, alternative endpoints are considered in the second part (UPT, MPT, and LPT are the Upper, Middle, and Lower Parts of Trunk)

Segment	Endpoints		Longitudinal length (mm)		Mass* (%)		Longitudinal CM position (%)		Sagittal r (%)		Transverse r (%)		Longitudinal r (%)	
	Origin	Other	F	M	F _S	M _S	F	M	F	M	F	M	F	M
Head	VERT†	MIDG†	200.2	203.3	6.68	6.94	58.94	59.76	33.0	36.2	35.9	37.6	31.8	31.2
Trunk	SUPR†	MIDH†	529.3	531.9	42.57	43.46	41.51	44.86	35.7	37.2	33.9	34.7	17.1	19.1
UPT	SUPR†	XYPH†	142.5	170.7	15.45	15.96	20.77	29.99	74.6	71.6	50.2	45.4	71.8	65.9
MPT*	XYPH†	OMPH†	205.3	215.5	14.65	16.33	45.12	45.02	43.3	48.2	35.4	38.3	41.5	46.8
LPT	OMPH†	MIDH†	181.5	145.7	12.47	11.17	49.20	61.35	43.3	61.5	40.2	55.1	44.4	58.7
Upper arm	SJC†	EJC†	275.1	281.7	2.55	2.71	57.54	57.72	27.8	28.5	26.0	26.9	14.8	15.8
Forearm	EJC†	WJC†	264.3	268.9	1.38	1.62	45.59	45.74	26.1	27.6	25.7	26.5	9.4	12.1
Hand	WJC†	MET†	78.0	86.2	0.56	0.61	74.74	79.00	53.1	62.8	45.4	51.3	33.5	40.1
Thigh	HJC†	KJC†	368.5	422.2	14.78	14.16	36.12	40.95	36.9	32.9	36.4	32.9	16.2	14.9
Shank	KJC†	LMAL†	432.3	434.0	4.81	4.33	44.16	44.59	27.1	25.5	26.7	24.9	9.3	10.3
Foot*	HEEL†	TTIP†	228.3	258.1	1.29	1.37	40.14	44.15	29.9	25.7	27.9	24.5	13.9	12.4
Using alternative endpoints														
Head*	VERT†	CERV†	243.7	242.9	6.68	6.94	48.41	50.02	27.1	30.3	29.5	31.5	26.1	26.1
Trunk	CERV†	MIDH†	614.8	603.3	42.57	43.46	49.64	51.38	30.7	32.8	29.2	30.6	14.7	16.9
UPT*	MIDS†	XYPH†	497.9	515.5	42.57	43.46	37.82	43.10	37.9	38.4	36.1	35.8	18.2	19.7
Forearm	EJC†	STYL†	262.4	242.1	15.45	15.96	50.50	50.66	46.6	50.5	31.4	32.0	44.9	46.5
Hand	WJC†	DAC†	170.1	266.9	1.38	1.62	45.92	46.08	26.3	27.8	25.9	26.7	9.5	12.2
Hand*	STYL†	DAC†	172.0	189.9	0.56	0.61	34.27	36.24	24.4	28.8	20.8	23.5	15.4	18.4
Hand	STYL†	MET†	79.9	88.2	0.56	0.61	75.34	36.91	24.1	28.5	20.6	23.3	15.2	18.2
Shank	KJC†	AJC†	438.6	440.3	4.81	4.33	43.52	43.95	51.9	61.4	44.3	50.2	32.7	39.2
Shank	KJC†	SPHY†	426.0	427.7	4.81	4.33	44.81	45.24	27.5	25.8	26.3	24.6	9.2	10.2
														10.5

* Not adjusted values.

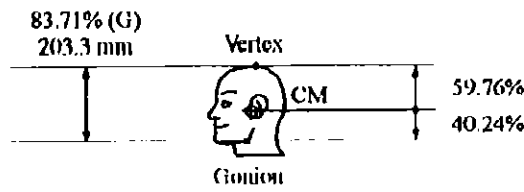
† Normal projection on the segment longitudinal axis.

‡ Assumed to lay on the segment longitudinal axis.

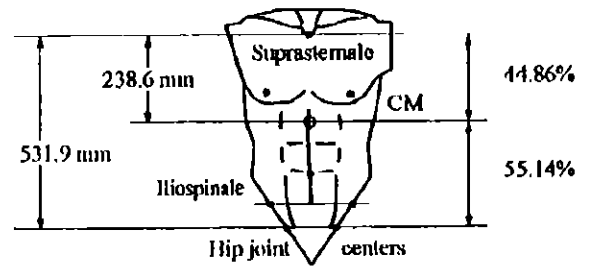
§ Zatsiorsky et al. (1990a).

¶ Zatsiorsky et al. (1990b, 1993).

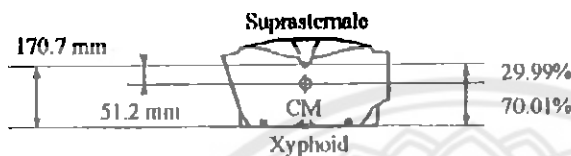
รูปที่ 2.9 การปรับพารามิเตอร์ของผู้หญิง (มวลร่างกาย = 61.9 กิโลกรัม, ความสูง = 1.735 เมตร) และผู้ชาย (มวลร่างกาย = 73.0 กิโลกรัม, ความสูง = 1.741 เมตร) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลแต่ละส่วนกับมวลร่างกายและความยาวแต่ละส่วนกับความสูง [23]



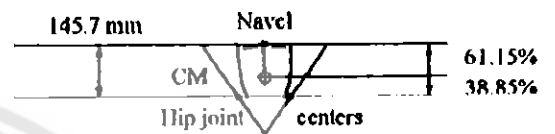
(ก) จุดศูนย์กลางมวลของส่วนศีรษะ



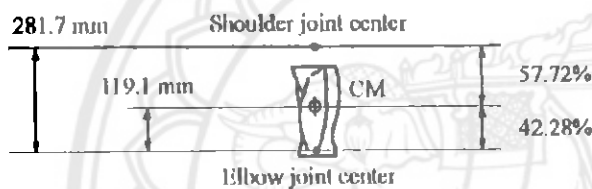
(ข) จุดศูนย์กลางมวลของส่วนลำตัว



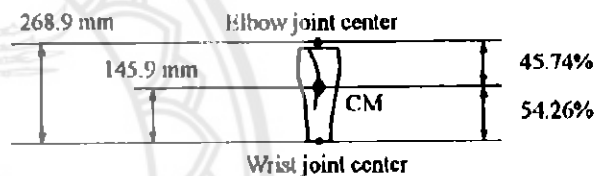
(ค) จุดศูนย์กลางมวลของส่วนลำตัวส่วนบน



(ง) จุดศูนย์กลางมวลของส่วนลำตัวส่วนล่าง



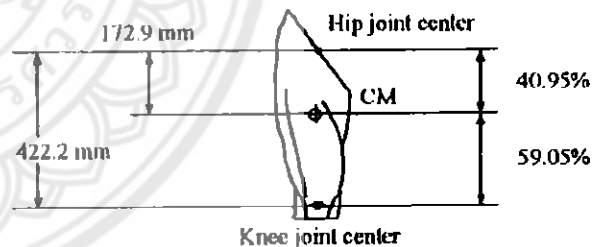
(จ) จุดศูนย์กลางมวลของส่วนต้นแขน



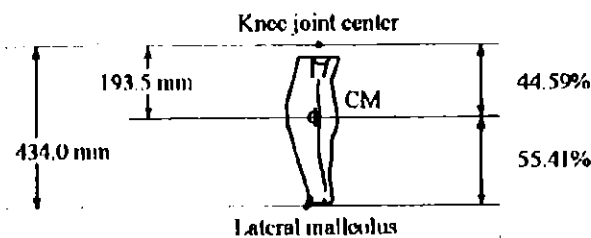
(ฉ) จุดศูนย์กลางมวลของส่วนท่อนแขน



(ช) จุดศูนย์กลางมวลของส่วนฝ่ามือ



(ซ) จุดศูนย์กลางมวลของส่วนต้นขา



(ฌ) จุดศูนย์กลางมวลของส่วนหน้าแข้ง

รูปที่ 2.10 จุดศูนย์กลางมวลของร่างกายมนุษย์ [23]

สามารถรวมมวลของแต่ละส่วนของร่างกายที่แบ่งออกและระบุจุดศูนย์กลางมวลของมวลที่รวมนั้นโดยใช้สมการ

$$R_{total} = \frac{m_1 r_1 + m_2 r_2 + \dots + m_n r_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} \quad (2.1)$$

โดยที่ R_{total} คือ ระยะจากจุดอ้างอิงถึงจุดศูนย์กลางมวลใดๆ ของมวลรวมที่ต้องการรวมมวล (cm)

m_1 คือ มวลรวมส่วนที่ 1 (kg)

m_2 คือ มวลรวมส่วนที่ 2 (kg)

m_n คือ มวลรวมส่วนใดๆ (kg)

r_1 คือ จุดศูนย์กลางของมวลที่ 1 (cm)

r_2 คือ จุดศูนย์กลางของมวลที่ 2 (cm)

r_n คือ จุดศูนย์กลางของมวลใดๆ (cm)

2.6 การออกแบบเพลลา

ในการออกแบบเพลลานั้นต้องคำนึงถึงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้จากการใช้งาน ซึ่งความเสียหายนี้เกิดจากภาระกระทำภายในเพลลา โดยมีทั้งความเครียดเฉือนบนเพลลา (รูปที่ 2.11ก) และมีการกระจายของความเค้นเฉือนในเพลลา (รูปที่ 2.11ข) ดังนั้นการออกแบบขนาดเพลลาจึงต้องมีการคำนวณให้ผ่านเกณฑ์ความเสียหายต่างๆ ดังนี้ ความเค้นเฉือนภายในเพลลา มุมบิด ระยะการโก่งตัวของเพลลา และมุมโก่งตัวของเพลลา [24] เพื่อตรวจสอบความปลอดภัยของเพลลาที่จะออกแบบ

2.6.1 สมการความเค้นเฉือนเนื่องจากแรงบิด

$$\tau_{max} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad \text{สำหรับเพลลากลมตัน} \quad (2.2)$$

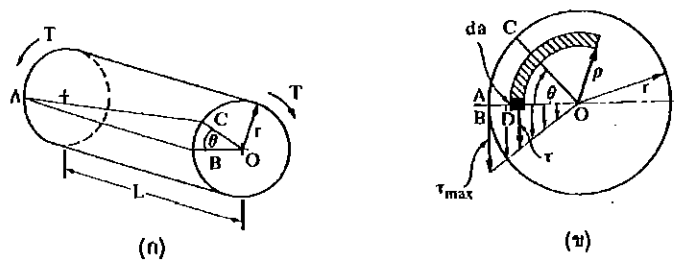
$$\tau_{max} = \frac{16Td_0}{\pi(d_o^4 - d_i^4)} \quad \text{สำหรับเพลลากลมกลวง} \quad (2.3)$$

โดยที่ τ_{max} คือ ความเค้นเฉือนสูงสุด มีหน่วยเป็น ปาสคาล (Pa)

T คือ แรงบิดของเพลลา มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร (N·m)

d_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก มีหน่วยเป็น (m)

d_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน มีหน่วยเป็น (m)



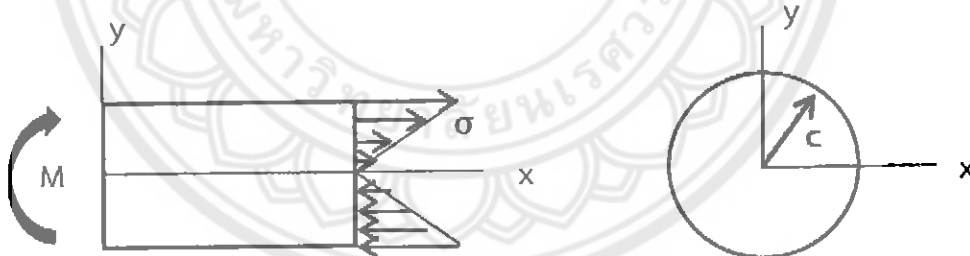
รูปที่ 2.11 (ก) ความเครียดเฉือนบนเพลลา (ข) การกระจายของความเค้นเฉือนในเพลลากลมตัน [24]

2.6.2 สมการความเค้นดัดของคาน

เมื่อมีภาระใดๆ มากระทำบนคานแล้วทำให้เกิดเป็นโมเมนต์ดัดขึ้น โดยโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผลทำให้มีความเค้นดัดภายในหน้าตัดของคาน ดังแสดงในรูปที่ 2.12

$$\sigma = -\frac{My}{I} \tag{2.4}$$

- โดยที่ σ คือ ความเค้นดัดสูงสุด มีหน่วยเป็น ปาสคาล (Pa)
 M คือ โมเมนต์ดัด มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร ($N \cdot m$)
 y คือ ระยะจากแกนสะเทินถึงผิวเพลลา มีหน่วยเป็น เมตร (m)
 I คือ โมเมนต์เฉื่อย มีหน่วยเป็น (m^4)



รูปที่ 2.12 การพิจารณาความเค้นดัดสูงสุดจาก FBD ของส่วนตัดของเพลลา

2.6.3 สมการความเค้นเฉือนเนื่องจากแรงเฉือน

$$\tau = \frac{V}{A} \tag{2.5}$$

- โดยที่ τ คือ ความเค้นเฉือน มีหน่วยเป็น (MPa)
 V คือ แรงเฉือน มีหน่วยเป็น (N)
 A คือ พื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็น (m^2)

2.6.4 สมการมุมบิด

จากรูปที่ 2.11 โดยสามารถพิจารณาการเสียรูปภายใต้ภาระบิดของเพลากลมตันได้จากมุมบิดที่เกิดขึ้นบนระนาบหน้าตัดขวาง ซึ่งสามารถคำนวณมุมบิดได้จากสมการดังต่อไปนี้

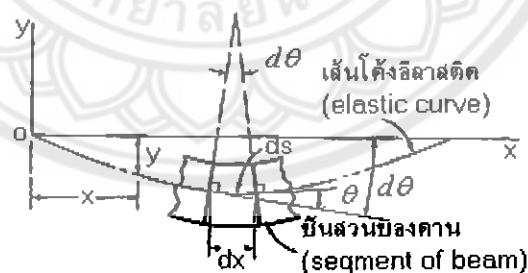
$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad (2.6)$$

โดยที่ θ	คือ มุมบิด มีหน่วยเป็น เรเดียน (rad)
T	คือ แรงบิดของเพล่า มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร ($N \cdot m$)
L	คือ ความยาวของเพล่า มีหน่วยเป็น เมตร (m)
G	คือ โมดูลัสของการเฉือน มีหน่วยเป็น ปาสคาล (Pa)
J	คือ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว มีหน่วยเป็น (m^4)

2.6.5 สมการการโก่งตัวของเพล่า

ในกรณีที่เพล่ารับภาระดัดจะเกิดการโก่งตัวขึ้น การโก่งตัวนี้สามารถคำนวณได้จากทฤษฎีการโก่งตัวของคาน โดยวิธีดับเบิ้ลอินทิเกรชัน (Double Integration Method) ดังนี้

เมื่อคานมีการโก่งตัว เส้นโค้งที่เกิดจากระนาบตั้ง (Vertical plane) ตัดกับพื้นผิวสะเทิน (Neutral surface) เรียกว่า เส้นโค้งอีลาสติก (Elastic curve) กำหนดให้ปลายคานด้านซ้ายเป็นจุดเริ่มต้น (Origin) แกน X มีทิศทางไปทางขวามือผ่านจุดศูนย์กลางถ่วงของพื้นที่หน้าตัดของคานที่ยังไม่โก่งตัว แกน Y มีทิศทางขึ้นและตั้งฉากกับแกน X ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เส้นโค้งอีลาสติก (Elastic curve) [25]

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M \quad (2.7)$$

สมการ (2.7) คือ สมการเส้นโค้งอีลาสติก (Elastic curve equation) ของคาน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสมการของโมเมนต์ดัด สำหรับผลคูณของ EI คือ ความแข็งเกร็งแกร่งดัด (Flexural

rigidity) ของคานซึ่ง E คือค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น I คือโมเมนต์เฉื่อย และ M คือ โมเมนต์ หากอินทิเกรตครั้งแรกจะได้ค่าดังนี้

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M dx + c_1 \quad (2.8)$$

สมการ (2.8) คือ สมการความลาด (Slope equation) ของเส้นสัมผัส (Tangent) กับ เส้นโค้งอีลาสติกเมื่ออินทิเกรตสมการ (2.8) อีกครั้งจะได้ค่าดังนี้

$$EIy = \iint M dx dx + c_1 x + c_2 \quad (2.9)$$

สมการ (2.9) คือสมการการโก่ง (Deflection equation) ของเส้นโค้งอีลาสติกของคาน C_1 และ C_2 คือ ค่าคงที่จากการอินทิเกรต (Constants of integration) ซึ่งจะหาได้จากเงื่อนไขของ เส้นโค้งอีลาสติก (Boundary conditions)

2.7 การคำนวณเฟืองโซ่

ในกระบวนการส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังเพลานั้นได้ใช้ระบบเฟืองโซ่เป็นตัวหลักในการส่ง กำลัง ดังนั้นจึงได้มีการคำนวณหาขนาดของเฟืองโซ่และระยะห่างของเฟืองโซ่ [26] ที่เหมาะสมตาม สมการดังต่อไปนี้

สมการหาจำนวนข้อโซ่

$$x = \frac{2c}{p} + \frac{Z+z}{2} + \left(\frac{Z-z}{2\pi} \right)^2 \left(\frac{p}{c} \right) \quad (2.10)$$

สมการหาระยะห่างศูนย์กลางเฟืองโซ่

$$c = \frac{p}{4} \left(x - \frac{Z+z}{2} + \sqrt{\left(x - \frac{Z+z}{2} \right)^2 - 2 \left(\frac{Z-z}{\pi} \right)^2} \right) \quad (2.11)$$

สมการหาอัตราทด

$$m_\omega = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.12)$$

โดยที่	x	คือ จำนวนข้อโซ่
	c	คือ ระยะห่างศูนย์กลางเฟืองโซ่โดยประมาณ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)
	p	คือ ระยะพิทช์ของโซ่ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)
	Z	คือ จำนวนฟันบนเฟือง

z	คือ จำนวนฟันบนเฟือง
m_ω	คือ อัตราทด
n_1	คือ ความเร็วรอบของเฟืองรอบสูง มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (rpm)
n_2	คือ ความเร็วรอบของเฟืองรอบต่ำ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (rpm)

2.8 ระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า

2.8.1 การคำนวณกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้า

สำหรับการเคลื่อนย้ายตัวผู้ป่วยในแนวราบนั้น อุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยต้องใช้กำลังในการขับเคลื่อนเพลลาให้หมุนได้ โดยต้องใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนเพลลา ซึ่งสามารถหาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าได้จากการคำนวณกำลังที่เกิดขึ้นจากแรงบิดของเพลลาที่ใช้ดึงผู้ป่วยในแนวราบตามสมการต่อไปนี้

$$P = T\omega \quad (2.13)$$

โดยที่ P	คือ กำลังของมอเตอร์ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)
T	คือ แรงบิดของเพลลา มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร ($N \cdot m$)
ω	คือ ความเร็วรอบของเพลลา มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s)

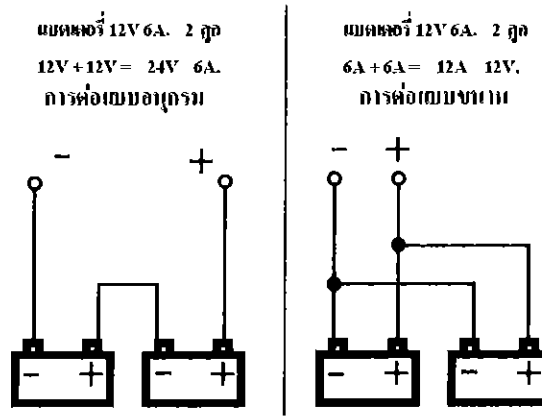
2.8.2 ระบบแบตเตอรี่สำรอง

เนื่องจากอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยนั้นทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นหลัก โดยได้ใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งการต่อแบตเตอรี่นั้นต้องมีความรู้พื้นฐานการต่อวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น [27] ดังนี้

วงจรไฟฟ้า คือการนำเอาแหล่งจ่ายไฟฟ้ามาจ่ายแรงดันและกระแสให้กับโหลด โดยผ่านลวดตัวนำ และใช้สวิตซ์ในการเปิดปิดวงจรสำหรับจ่ายไฟให้โหลด วงจรไฟฟ้าเบื้องต้นมี 2 ลักษณะ คือ วงจรอนุกรมและวงจรขนาน ดังแสดงในรูปที่ 2.14

1. วงจรอนุกรม คือการนำโหลดมาต่อเรียงกัน โดยให้ปลายของโหลดตัวแรกต่อกับปลายของโหลดตัวถัดไป ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลไปทิศทางเดียวกัน

2. วงจรขนาน คือการนำโหลดมาต่อขนานกันหรือต่อคร่อมกัน ตั้งแต่สองตัวขึ้นไปโดยนำจุดต่อของปลายทั้งสองข้างของโหลดแต่ละตัวมาต่อร่วมกัน



รูปที่ 2.14 การต่อวงจรแบบอนุกรมและแบบขนาน [28]

2.8.3 การคำนวณหาปริมาณกระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่

พลังงานหลักในการทำงานของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยนั้นคือพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณหาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่อุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยต้องใช้ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการคำนวณหาปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อชั่วโมงของแบตเตอรี่ [28] ดังนี้

$$Ah = \frac{\sum (W \times n \times hr)}{v} \quad (2.14)$$

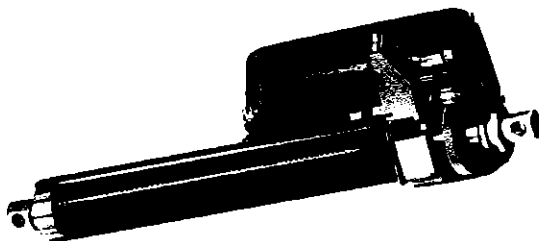
โดยที่	Ah	คือ ความจุของแบตเตอรี่ในการบรรจุพลังงาน มีหน่วยเป็น แอมแปร์ต่อชั่วโมง (Ampere-Hour)
	W	คือ กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)
	n	คือ จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้า
	hr	คือ จำนวนชั่วโมงการใช้งานของอุปกรณ์ มีหน่วยเป็น ชั่วโมง
	v	คือ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

2.8.4 ระบบมอเตอร์แกนชัก (Linear actuator)

กลไกการทำงานที่สำคัญส่วนหนึ่งของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยนั้นก็คือการปรับระดับของอุปกรณ์ เนื่องจากเตียงผู้ป่วยบางส่วนนั้นมีระดับความสูงที่ไม่เท่ากัน จึงได้ทำการออกแบบให้อุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยสามารถปรับความสูงได้ด้วยมอเตอร์แกนชัก ดังนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาหลักการทำงานของมอเตอร์แกนชัก [29] โดยมีหลักการทำงานดังนี้

มอเตอร์แกนชัก คือ อุปกรณ์ช่วยเสริมแรงประเภทหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ปรับระยะห่างให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ตามที่ต้องการ (รูปที่ 2.15) โดยการทำงานจะเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมจากมอเตอร์

ไฟฟ้าให้เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น ซึ่งจะสามารถขยายระยะแกนชักให้ได้ตามระยะที่ต้องการและสามารถหดรยะแกนชักกลับมายังตำแหน่งเดิมได้



รูปที่ 2.15 มอเตอร์แกนชัก [30]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การวิเคราะห์ปัญหา ความต้องการและวรรณกรรมปริทัศน์

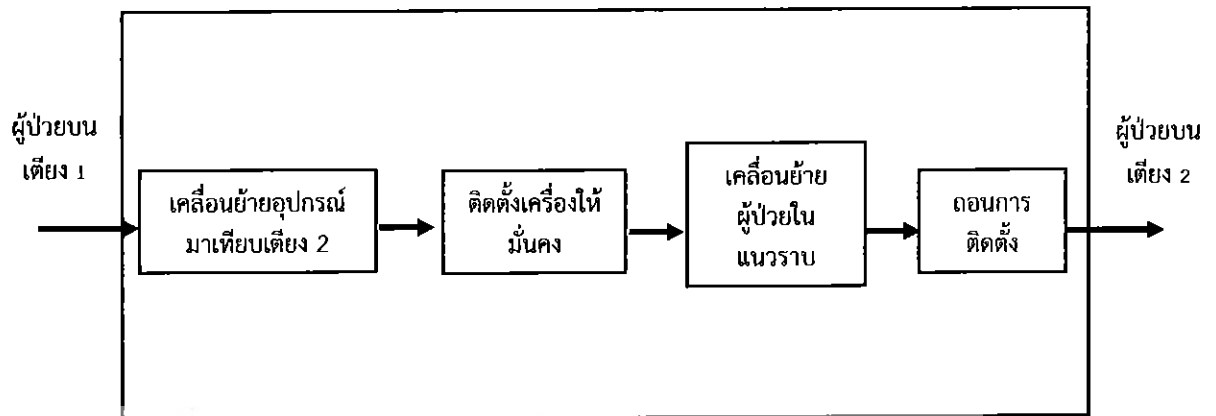
จากที่ได้ศึกษาปัญหาผลกระทบด้านสุขภาพจากการประกอบวิชาชีพพยาบาล พบว่าปัญหาหลักเกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยบ่อยๆ ดังที่ได้รวบรวมไว้ในหัวข้อที่ 2.2 และจากการที่คณะผู้จัดทำโครงการได้สังเกตการณ์งานพยาบาลในหน่วยผู้ป่วยหนักศัลยกรรมประสาท ณ โรงพยาบาลพุทธชินราช อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ทำให้ทราบว่าต้องการอุปกรณ์สำหรับช่วยเคลื่อนย้ายผู้ป่วย โดยได้ทำการศึกษางานวิจัยและสินค้าในท้องตลาดที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยมาแล้วดังที่ได้รวบรวมไว้ในหัวข้อ 2.3

3.2 การออกแบบต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย

การออกแบบต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยตามหลักกระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการศึกษา โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ปัญหาและความต้องการจากการสังเกตการณ์งานพยาบาลจึงได้กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของอุปกรณ์ จากนั้นจะเป็นกระบวนการออกแบบต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

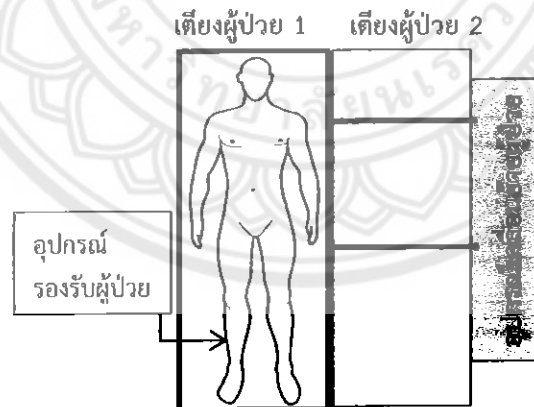
3.2.1 การสร้างฟังก์ชันของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย

การสร้างฟังก์ชันของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยสามารถทำได้โดยการใช้ทฤษฎีกล่องดำ โดยเริ่มจากกำหนดให้กล่องดำคือต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย ปัญหาคือผู้ป่วยอยู่บนเตียงที่ 1 และผลลัพธ์ที่ต้องการคือผู้ป่วยอยู่บนเตียงที่ 2 สามารถสร้างแบบจำลองกล่องดำของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบจำลองกล่องดำของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย

สำหรับหลักการทำงานเริ่มจากผู้ป่วยอยู่บนเตียง 1 โดยนำเตียง 2 ที่มีความสูงเท่ากับเตียง 1 และอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยมาเทียบชิดกับเตียง 1 (รูปที่ 3.2) จากนั้นจึงทำการล็อกล้อและปรับระดับความสูงของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยให้เท่ากับเตียง 1 ต่อมานำปลายด้านหนึ่งของสายดึงทั้งสองเส้นมาติดตั้งกับอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยและนำปลายอีกด้านหนึ่งของสายดึงทั้งสองเส้นดังกล่าวมาติดตั้งกับอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยบนเตียง 1 จากนั้นทำการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากเตียง 1 มายังเตียง 2 เมื่อเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเสร็จแล้วต่อไปทำการถอดเชือกออกทั้งสองด้านพร้อมกับปลดล็อกล้ออุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย สุดท้ายแล้วจะได้ผู้ป่วยอยู่บนเตียง 2



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย



ฟังก์ชันย่อยภายในแบบจำลองกล่องดำดังรูป 3.1 คือ รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. เคลื่อนย้ายอุปกรณ์มาเทียบเตียง 2

ฟังก์ชันย่อยของการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์มาเทียบเตียง 2 โดยใช้ล้อในการเคลื่อนอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยมาเทียบเตียง 2 เพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน

2. ติดตั้งเครื่องให้มันคง

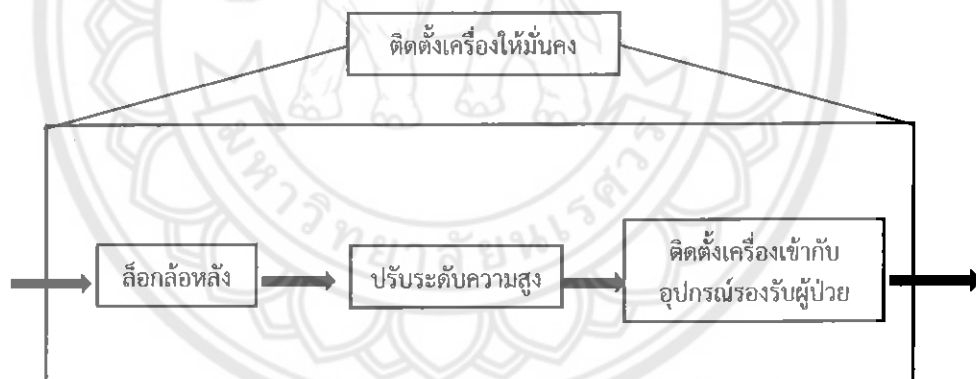
ฟังก์ชันย่อยของการติดตั้งเครื่องให้มันคง (รูปที่ 3.3ก) เริ่มจากล้อล้อของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยให้อยู่หนึ่ง จากนั้นปรับระดับความสูงของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยให้เท่ากับเตียงผู้ป่วย สุดท้ายติดตั้งสายดึงเข้ากับอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยให้เรียบร้อย

3. เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบ

ฟังก์ชันย่อยของการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบ (รูปที่ 3.3ข) เริ่มจากแหล่งพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ส่งมายังมอเตอร์ ต่อมาใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนเพลลาให้หมุนเพื่อทำการเคลื่อนอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยให้เคลื่อนที่จากเตียงหนึ่งสู่อีกเตียงหนึ่งในแนวราบ

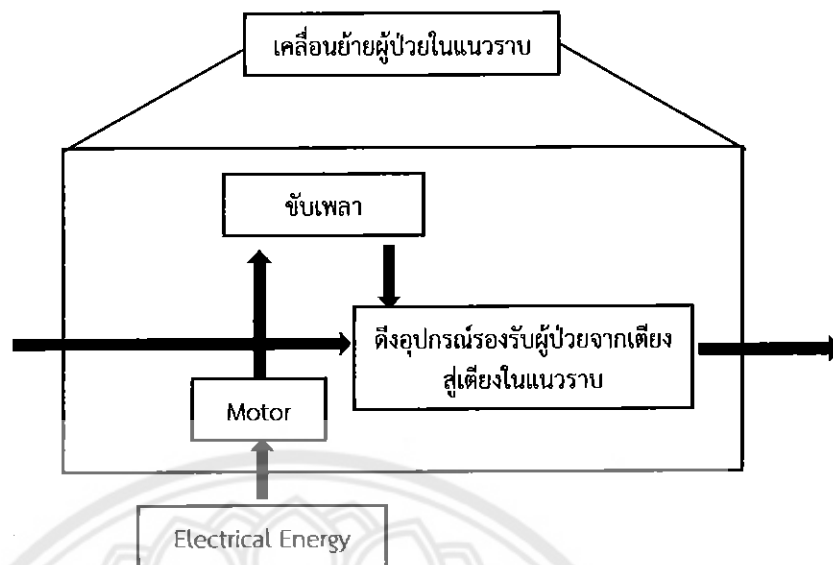
4. ถอนการติดตั้ง

ฟังก์ชันย่อยของการถอนการติดตั้ง (รูปที่ 3.3ค) โดยทำการปลดเชือกที่ยึดติดอยู่กับอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยจากนั้นปลดล้อล้อของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย แล้วเลื่อนออกไปจัดเก็บให้เรียบร้อย

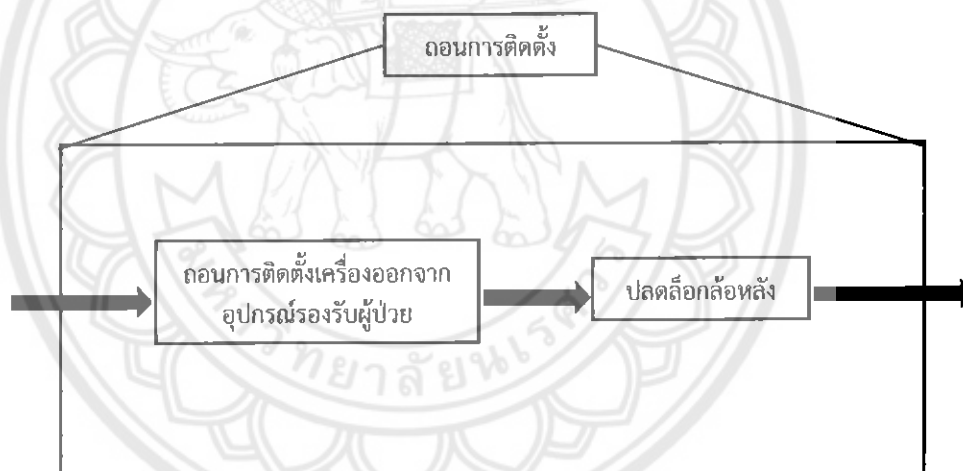


(ก) รายละเอียดของฟังก์ชันติดตั้งเครื่องให้มันคง

รูปที่ 3.3 รายละเอียดภายในแบบจำลองกล่องดำของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย



(จ) รายละเอียดของฟังก์ชันเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบ



(ค) รายละเอียดของฟังก์ชันถอนการติดตั้ง

รูปที่ 3.3 รายละเอียดภายในแบบจำลองกล่องดำของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย (ต่อ)

3.2.2 การสร้างทางเลือกในการแก้ปัญหา

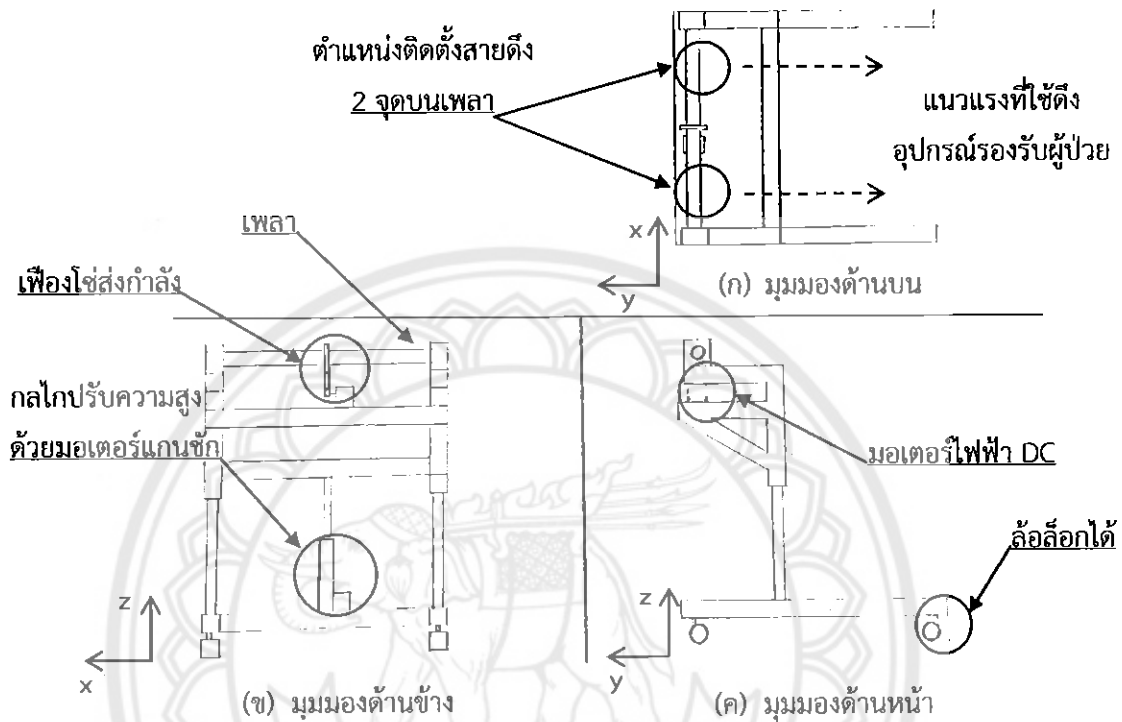
จากการกำหนดกระบวนการต่างๆ ภายในแบบจำลองกล่องดำของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย ทำให้สามารถสร้างทางเลือกหรือคำตอบ (Solutions) ในการแก้ปัญหาที่ตอบสนองกับกระบวนการดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยจะสร้างทางเลือกหลายๆ ทางเลือกแล้วนำทางเลือกต่างๆ มาเปรียบเทียบเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสม ทางเลือกที่ได้นี้สามารถเปลี่ยนแปลงในภายหลังได้ตามความเหมาะสม

ตารางที่ 3.1 ทางเลือกในการแก้ปัญหา (วิธี/อุปกรณ์ที่เลือกใช้)

No.	Subfunctions /Solutions	1	2	3	4	5
1	ล็อกล้อ	ใช้ระบบล็อกที่มาพร้อมกับล้อ	ใช้ระบบดิสก์เบรกแบบจักรยาน	ใช้ระบบดิสก์เบรกทำงานด้วยไฟฟ้า		
2	ปรับระดับความสูง	ใช้สลักล็อก	ใช้สกรูปรับระดับด้วยไฟฟ้า	ใช้มอเตอร์แกนชัก	ใช้ระบบ rack and pinion	ใช้ระบบ Hydraulic pump
3	ติดตั้งสายดึงเข้ากับอุปกรณ์รองรับผู้ป่วย	ใช้ตะขอคล้องกับอุปกรณ์	ใช้สายดึงพันเข้ากับอุปกรณ์	ใช้ตัวหนีบพร้อมกับแท่งพันผ้า		
4	ดึงอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยจากเตียงสู่เตียงในแนวราบ	ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า DC หมุนเพลลาทั้ง 2 ด้าน	ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า DC หมุนเพลลาด้านเดียว	ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า DC วางตรงกลางแล้วหมุนเพลลาด้วยเฟืองโซ่ทดกำลัง		

จากตารางที่ 3.1 หลังจากได้ทำการสร้างทางเลือกในการแก้ปัญหาที่ตอบสนองต่อกระบวนการต่างๆ ภายในแบบจำลองกล่องดำของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบทางเลือกเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมเพียง 1 ทางเลือก จากฟังก์ชันย่อยที่ 1 ระบบล็อกล้อที่นำมาเลือกใช้คือ ล้อที่มีระบบล็อกภายในตัวเพราะง่ายต่อการติดตั้งและใช้งาน ฟังก์ชันย่อยที่ 2 การปรับระดับความสูงของอุปกรณ์ได้เลือกใช้มอเตอร์แกนชักเพราะง่ายต่อการใช้งาน เสียงเบา เหมาะกับการใช้งานในโรงพยาบาล ฟังก์ชันย่อยที่ 3 การติดตั้งสายดึงเข้ากับอุปกรณ์รองรับได้เลือกใช้วิธีนำเอาสายยึดด้านหนึ่งมาพันเข้ากับอุปกรณ์รองรับส่วนสายยึดอีกด้านหนึ่งนำมาพันเข้ากับเพลลาพร้อมทั้งใช้อุปกรณ์ครอบสายยึดให้ติดแน่นอยู่กับเพลลา ฟังก์ชันย่อยที่ 4 การดึงอุปกรณ์รองรับให้ตัวผู้ป่วยเลื่อนจากเตียงหนึ่งสู่เตียงหนึ่งในแนวราบด้วยระบบไฟฟ้า โดยเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้า DC นำมาวางไว้บริเวณส่วนกลางของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยแล้วทำการติดตั้งระบบส่งกำลังด้วยเฟืองโซ่

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ทางเลือกในการแก้ปัญหาแล้ว จึงสามารถนำเอาทางเลือกที่ได้ทำการเลือกไว้มาใช้ในการออกแบบต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย ซึ่งสามารถแสดงผลการออกแบบร่างในเบื้องต้นของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยได้ดังรูปที่ 3.4



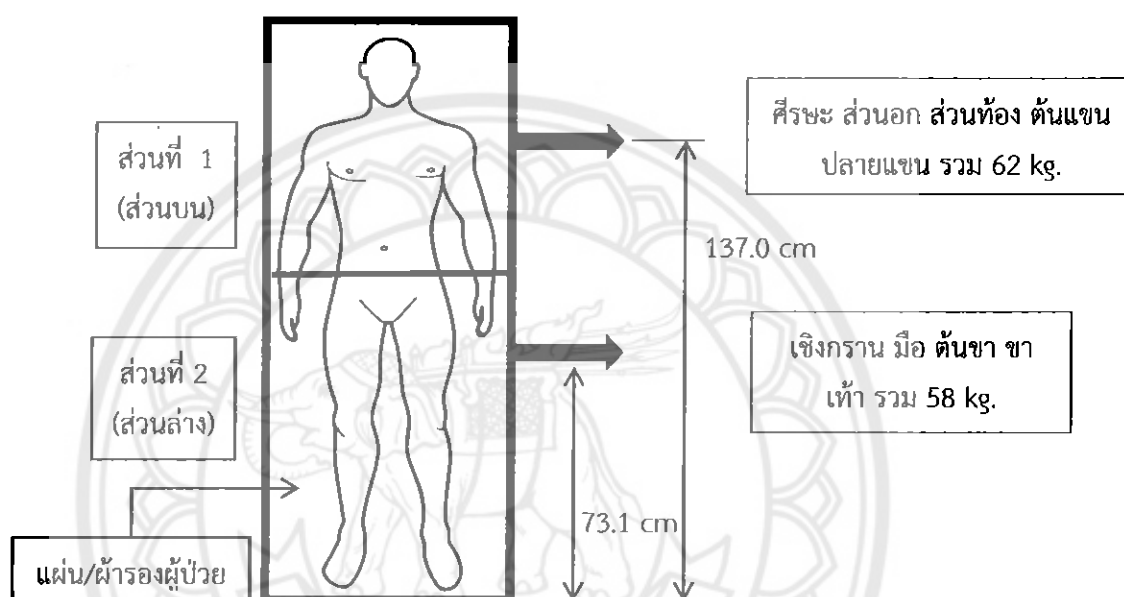
รูปที่ 3.4 แบบร่างเบื้องต้นของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย

เมื่อได้ทำการร่างแบบเบื้องต้นของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยเสร็จ จึงได้นำเอาแบบร่างเบื้องต้นที่ได้ไปพัฒนาออกแบบให้เป็นแบบสามมิติโดยใช้ซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS ซึ่งจะแสดงผลการออกแบบได้ในบทที่ 5 ต่อไป

3.2.3 การออกแบบจุดยึดสายดึง

สำหรับอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยถือว่าเป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ช่วยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ซึ่งปกติแล้วอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยที่ใช้ในโรงพยาบาลจะเป็นผ้าและกระดานเลื่อนที่ไม่มีจุดยึดสายดึง ทำให้ต้องออกแบบจุดยึดเพื่อใช้สำหรับเป็นจุดดึงในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

จากการศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยได้ทำการศึกษาระบายมวลและจุดศูนย์กลางมวลในแต่ละส่วนของร่างกายมนุษย์และคำนวณการกระจายมวลและจุดศูนย์กลางมวลในแต่ละส่วนของร่างกายมนุษย์โดยอาศัยข้อมูลที่ได้ทำการศึกษามาตามที่ได้แสดงในหัวข้อ 2.5 เนื่องจากการแบ่งการกระจายมวลของร่างกายมนุษย์ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นมีจำนวนถึง 10 ส่วน จึงทำการรวมมวลย่อยโดยใช้สมการที่ 2.1 ซึ่งสามารถแบ่งร่างกายมนุษย์ออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนบนและส่วนล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การแบ่งการกระจายมวลของร่างกายมนุษย์ออกเป็น 2 ส่วน

จากการแบ่งการกระจายมวลของร่างกายมนุษย์ทำให้ได้ตำแหน่งที่มีการกระจายมวลทั้งหมด 2 จุดที่ใช้ในการออกแบบจุดยึดสำหรับดึงแผ่น/ผ້ารองผู้ป่วยเพื่อเคลื่อนย้ายตัวผู้ป่วยจากเตียงหนึ่งสู่อีกเตียงหนึ่งอย่างปลอดภัย โดยมีขั้นตอนการคำนวณตำแหน่งจุดยึดสายดังดังนี้

กำหนดให้น้ำหนักของร่างกายมนุษย์แบ่งออกเป็น 10 ส่วน [23] มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 120 kg มีความสูงเท่ากับ 175 cm โดยอ้างอิงจากขนาดความสูงเฉลี่ยของมาตรฐานชายไทยจาก Size Thailand [31] จากงานวิจัยของ Paola De Leva และคณะ (1996) [23] สามารถคำนวณน้ำหนักส่วนต่างๆ ดังกล่าวรวมทั้งระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลถึงจุดอ้างอิง (ปลายเท้า) ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 น้ำหนักส่วนต่างๆ ของร่างกายและระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลถึงจุดอ้างอิงปลายเท้าจากการแบ่งส่วนประกอบของร่างกายเป็นส่วนบนกับส่วนล่าง

	ส่วนที่	ส่วนประกอบของร่างกาย	(m) น้ำหนักส่วนประกอบของร่างกาย (kg)	(r) ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลถึงจุดอ้างอิงปลายเท้า (cm)
ส่วนบน	1	ศีรษะ	9.9	159.6
	2	ส่วนอก	24.1	138.6
	3	ส่วนท้อง	15.7	122.4
	4	ต้นแขน	7.8	138.1
	5	ปลายแขน	4.5	128.1
			รวม	62.0
ส่วนล่าง	6	เชิงกราน	16.4	114.0
	7	มือ	1.6	88.9
	8	ต้นขา	25.2	73.7
	9	ขา	11.4	31.9
	10	เท้า	3.4	3.8
			รวม	58.0

จากการนำส่วนประกอบต่างๆ ของร่างกายส่วนบนมาคำนวณระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลถึงจุดอ้างอิงปลายเท้าสามารถหาได้จากสมการที่ 2.1 สมการหาจุดศูนย์กลางมวลรวม จะได้ว่า

$$R_{total,upper} = \frac{m_1r_1 + m_2r_2 + m_3r_3 + m_4r_4 + m_5r_5}{m_{total,upper}}$$

$$R_{total,upper} = \frac{(9.9)(159.6) + (24.1)(138.6) + (15.7)(122.4) + (7.8)(138.1) + (4.5)(128.1)}{(9.9) + (24.1) + (15.7) + (7.8) + (4.5)}$$

$$R_{total,upper} = 137.0 \text{ cm}$$

ฉะนั้นร่างกายส่วนบนจะมีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลถึงจุดอ้างอิงปลายเท้าเท่ากับ 137.0 cm

และจากการนำส่วนประกอบต่างๆ ของร่างกายส่วนล่างมาคำนวณระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลถึงจุดอ้างอิงปลายเท้า จะได้ว่า

$$R_{total,lower} = \frac{m_6r_6 + m_7r_7 + m_8r_8 + m_9r_9 + m_{10}r_{10}}{m_{total,lower}}$$

$$R_{total,lower} = \frac{(16.4)(114.0) + (1.6)(88.9) + (25.2)(73.7) + (11.4)(31.9) + (3.4)(3.8)}{(16.4) + (1.6) + (25.2) + (11.4) + (3.4)}$$

$$R_{total,lower} = 73.1 \text{ cm}$$

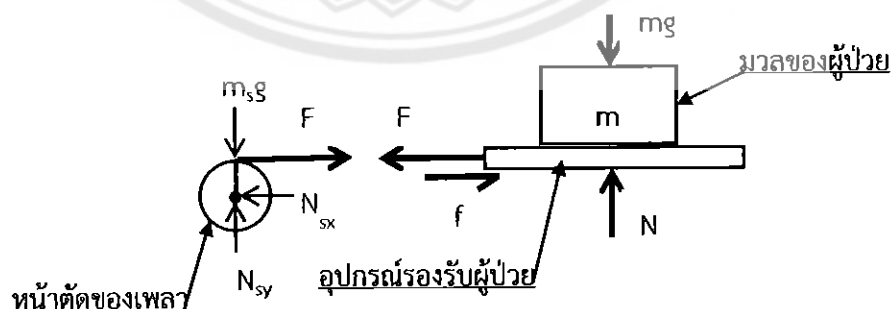
ฉะนั้นร่างกายส่วนล่างจะมีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลถึงจุดอ้างอิงปลายเท้าเท่ากับ 73.1 cm

ดังนั้นจะได้ระยะห่างระหว่างจุดตั้งทั้ง 2 จุด อยู่ในช่วง 64 ± 2 cm ซึ่งจะได้นำไปใช้สำหรับการเตรียมผ้าในการทดลองบทที่ 4 ต่อไป

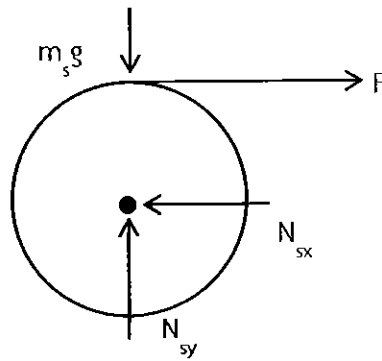
3.2.4 การคำนวณขนาดเพลลา

สำหรับในส่วนของการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยนั้น ได้มีการนำเพลลามาใช้เป็นแกนหมุนเพื่อทำการดึงอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยให้เคลื่อนที่จากเตียงหนึ่งสู่อีกเตียงหนึ่ง

ในการออกแบบเพลลานั้นต้องมีการคำนวณขนาดเพลลาและเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้งาน เพื่อให้สามารถรับภาระที่ใช้เลื่อนผู้ป่วยได้ โดยเริ่มจากสร้างผังวัตถุอิสระ (Free Body Diagram: FBD) เพื่อทำการวิเคราะห์ภาระที่ใช้สำหรับเคลื่อนย้ายผู้ป่วย สมมติให้ผู้ป่วยนอนอยู่บนอุปกรณ์รองรับที่มีพื้นสัมผัสกับเตียงในมุมมองจากปลายเท้า (รูปที่ 3.6) จากนั้นใช้เพลลาม้วนเก็บสายดิ่งที่ติดอยู่กับอุปกรณ์รองรับเพื่อดึงผู้ป่วยให้เคลื่อนย้ายจากเตียงหนึ่งสู่อีกเตียงหนึ่ง เมื่อทำการวิเคราะห์ภาระที่เกิดขึ้นแล้วพบว่า ในการดึงมวลของผู้ป่วย (m) ให้เคลื่อนที่ได้นั้นต้องใช้แรงดึง (F) ที่มีขนาดอย่างน้อยเท่ากับแรงเสียดทาน (f) สถิตยสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของอุปกรณ์รองรับกับเตียง ซึ่งสามารถคำนวณแรงเสียดทานได้จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกิริยา (mg) ของมวลผู้ป่วยกับแรงปฏิกิริยา (N) บริเวณผิวสัมผัสของอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยกับเตียง เมื่อทราบแรงดึงและความแข็งแรงเฉือน (Shear Strength: S_s หรือ τ_{max}) ของเพลลา จึงสามารถวิเคราะห์ภาระที่กระทำแล้วคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) จากผังวัตถุอิสระส่วนหน้าตัดของเพลลากลมตัน ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 ผังวัตถุอิสระ (Free Body Diagram: FBD) ที่ใช้ในการพิจารณาภาระที่ใช้สำหรับเคลื่อนย้ายผู้ป่วย



รูปที่ 3.7 FBD ที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาระกระทำบนเพลลาจากแรงดึง (F) มวลของเพลลา (m_s) และแรงปฏิกิริยาจากแบริ่ง (N_{sx} , N_{sy})

สำหรับวัสดุที่เลือกใช้คือเพลลาอลูมิเนียมที่มีหน้าตัดกลมตัน เนื่องจากมีน้ำหนักน้อยกว่าเหล็ก อลูมิเนียมมีความแข็งแรงเฉือน (Shear Strength) เท่ากับ 210 MPa [24] ในการคำนวณกำหนดให้ มวลของผู้ป่วยเท่ากับ 120 kg แรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 9.81 m/s^2 และค่า Safety factor เท่ากับ 3 และสมมติให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเท่ากับ 1 จากสมการที่ 2.2 สมการความเค้นเฉือน สำหรับเพลลาตัน สามารถย้ายข้างสมการเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา จะได้ว่า

จากสมการ
$$d^3 = \frac{16T}{\pi\tau_{\max}} \quad (3.1)$$

เมื่อ $T = F(d/2)$

และ $F = \mu mg$

จะได้ว่า
$$d^3 = \frac{16(\mu mg)(d/2)(SF)}{\pi\tau_{\max}}$$

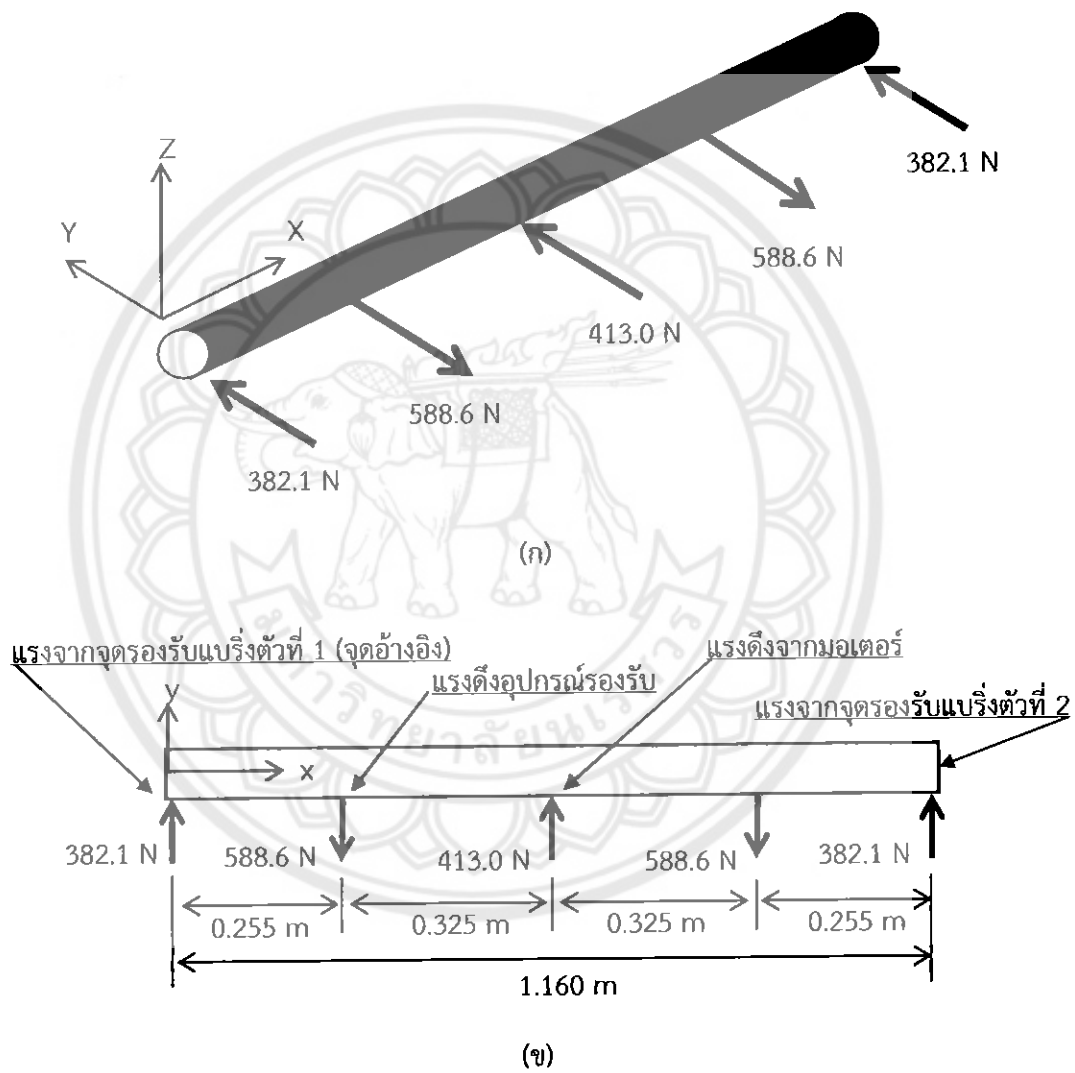
แทนค่า
$$d^3 = \frac{16(1)(120)(9.81)(d/2)(3)}{\pi(210 \times 10^6)}$$

$$d = 6.54 \text{ mm}$$

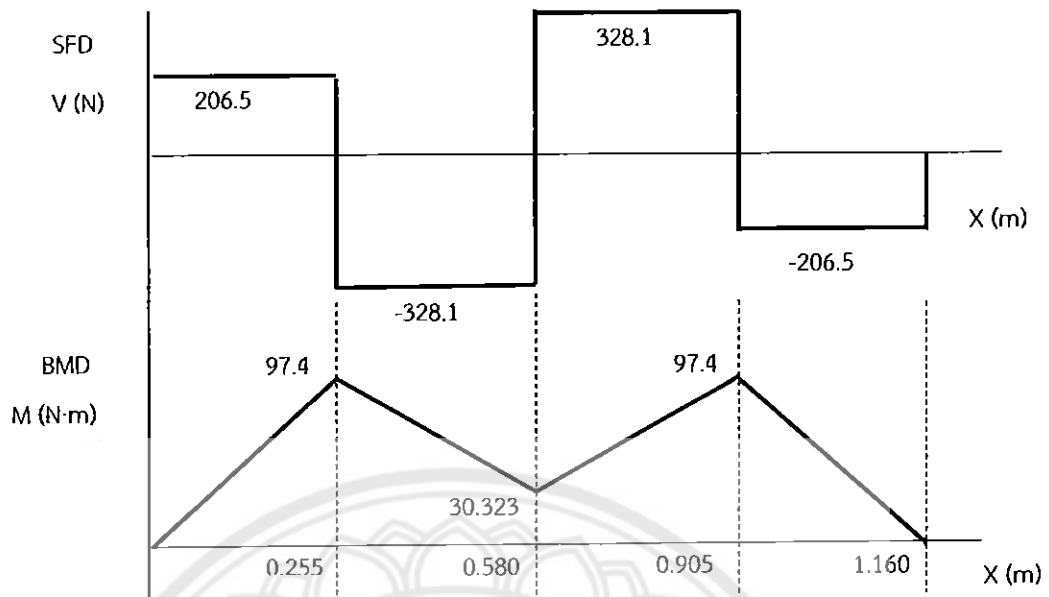
จึงสรุปได้ว่าเพลลาอลูมิเนียมกลมตันที่สามารถรับแรงเฉือนจากการดึงเลื่อนผู้ป่วยน้ำหนัก 120 kg ได้คือเพลลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 6.54 mm นอกจากนี้แล้วยังต้องพิจารณาถึงความเค้นดัดที่เกิดขึ้นกับเพลลาอีกด้วย

สำหรับการคำนวณความเค้นดัดของเพลลาอลูมิเนียมกลมตันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6.54 mm และกำหนดให้มีความยาว 1.16 m เนื่องจากต้องออกแบบเพลลาตามโครงสร้างของอุปกรณ์ เคลื่อนย้ายผู้ป่วยเพื่อให้มีความกว้างพอดีกับฐานของเตียงปรับทำนั้ง ซึ่งการคำนวณความเค้นดัดของเพลลาเป็นการตรวจสอบค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดจากการดัดภายในเพลลาและยังคงทำให้เพลลาไม่เสียหาย โดยเริ่มจากการพิจารณาภาระกระทำ (รูปที่ 3.8ก) ที่เกิดขึ้นกับเพลลาจากมุมมองด้านบนของแบบร่างต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย (รูปที่ 3.4) จากนั้นสร้าง FBD ของภาระที่กระทำบนเพลลา

(รูปที่ 3.8ข) โดยมีแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับแบบรีงตัวที่ 1 (จุดอ้างอิง) เท่ากับ 382.1 N แรงดึงผู้ป่วยของสายดึง 588.6 N ที่ระยะ 0.255 m และ 0.905 m จากจุดอ้างอิง แรงดึงของมอเตอร์ 413 N ที่ระยะ 0.58 m จากจุดอ้างอิง และแรงปฏิกิริยาของแบบรีงตัวที่ 2 เท่ากับ 382.1 N จากนั้นสามารถคำนวณแรงเฉือนและโมเมนต์คัตจากการพิจารณาในแต่ละช่วงหน้าตัดของเพลาดตรงจุดที่มีภาระมากระทำ แล้วนำผลการคำนวณ (ภาคผนวก ก) ที่ได้มาเขียนเป็นแผนภาพแรงเฉือน (Shear Force Diagram: SFD) และโมเมนต์คัต (Bending Moment Diagram: BMD) ซึ่งได้ผลการคำนวณแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์คัตสูงสุดดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 (ก) การแสดงภาพไอโซเมตริก (Isometric) ของเพลานี้เมื่อมีภาระต่างๆ มากระทำ
(ข) FBD ของภาระที่กระทำบนเพลานี้



รูปที่ 3.9 แผนภาพแรงเฉือน (Shear Force Diagram: SFD) และโมเมนต์ดัด (Bending Moment Diagram: BMD)

จากแผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดพบว่า เกิดแรงเฉือนสูงสุดเท่ากับ 328.1 N บริเวณช่วงความยาว 0.255 – 0.905 m ของเพลลา และเกิดโมเมนต์ดัดสูงสุดสองจุดบนเพลลาได้แก่ ระยะ 0.255 m และ 0.905 m จากจุดอ้างอิง ซึ่งมีค่าโมเมนต์สูงสุดเท่ากับ 97.4 N-m

จากนั้นนำค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ได้ไปคำนวณความเค้นดัดของเพลลา เมื่อเพลลาอลูมิเนียมกลมตันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6.54 mm มีค่า Moment of Inertia (I) เท่ากับ $8.98 \times 10^{-11} \text{ m}^4$ สามารถคำนวณความเค้นดัดสูงสุดของเพลลา (σ) จะได้ว่า

จากสมการ (2.4)

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

แทนค่า

$$\sigma = \frac{(97.4)(6.54 \times 10^{-3} / 2)}{8.98 \times 10^{-11}}$$

$$\sigma = 3.55 \text{ GPa}$$

ดังนั้นจะได้ความเค้นดัดสูงสุดเท่ากับ 3.55 GPa ซึ่งความเค้นดัดสูงสุดที่ได้จากการคำนวณนี้ต้องนำมาเปรียบเทียบกับความเค้นดัดที่ยอมรับได้ (Allowable Stress: σ_a) โดยกำหนดให้ค่าความแข็งแรงครากของอลูมิเนียม (S_y) เท่ากับ 280 MPa [24] และ Safety factor เท่ากับ 3 จะได้ว่า

จากสมการ
$$\sigma_a = \frac{S_y}{SF} \quad (3.2)$$

แทนค่า
$$\sigma_a = \frac{280 \times 10^6}{3}$$

$$\sigma_a = 0.093 \text{ GPa}$$

จะเห็นว่าความเค้นดัดที่ยอมรับได้ของเพลาลูมิเนียมมีค่าเท่ากับ 0.093 GPa เมื่อนำค่าความเค้นดัดสูงสุดจากการคำนวณของเพลามีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.54 mm มาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นดัดที่ยอมรับได้พบว่า ค่าความเค้นดัดสูงสุดของเพลามีค่ามากกว่าค่าความเค้นดัดที่ยอมรับได้อยู่ประมาณ 3.45 เท่า นั้นหมายความว่าเพลามีขนาดเล็กเกินไปจึงไม่สามารถรับความเค้นดัดที่เกิดขึ้นจากการใช้งานได้ ดังนั้นจึงต้องทำการคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลที่สามารถรับความเค้นดัดสูงสุดได้น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความเค้นดัดที่ยอมรับได้ จากสมการ (2.4) สมการความเค้นดัดของเพลสามารถย้ายข้างสมการเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพล จะได้ว่า

จากสมการ
$$\frac{S_y}{3} = \frac{Mc}{I} \quad (3.3)$$

เมื่อ
$$c = \frac{d}{2}$$

และ
$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

จะได้ว่า
$$\frac{S_y}{3} = \frac{M(d/2)}{(\pi d^4 / 64)}$$

$$d^3 = \frac{96M}{\pi S_y}$$

$$d^3 = \frac{96(97.4)}{\pi(280 \times 10^6)}$$

$$d = 21.99 \text{ mm}$$

จะได้ว่าเพลที่สามารถรับความเค้นดัดสูงสุดสำหรับใช้งานจริงต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 21.99 mm ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยขึ้นอีกระดับจึงเลือกเพลาลูมิเนียมกลมตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 31.75 mm ซึ่งเป็นขนาดที่มีขายตามท้องตลาด และเป็นขนาดที่ใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่คำนวณได้ 1.44 เท่า

เมื่อได้ขนาดเพลลาที่เหมาะสมสำหรับใช้งานจริงแล้ว จากนั้นนำค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา 31.75 mm มาคำนวณย้อนกลับเพื่อตรวจสอบค่าความเค้นเฉือนเนื่องจากภาระบิดและความเค้นดัดของเพลลา พบว่าได้ค่าความเค้นเฉือนจากภาระบิดเท่ากับ 23.79 MPa และความเค้นดัดของเพลลาเท่ากับ 31 MPa ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าความแข็งแรงเฉือนและค่าความแข็งแรงครากของอลูมิเนียมแล้ว ถือว่ามีค่าน้อยมาก ต่อมาทำการคำนวณมุมบิดของเพลลา เพื่อตรวจสอบความเสียหายที่อาจจะเกิดจากการบิดภายในเพลลา จากผลการคำนวณ (ภาคผนวก ก) จะได้ว่ามุมบิดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.125 องศา ซึ่งถือว่ามีค่าน้อยมากจึงไม่สามารถทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับเพลลาและแบริ่งได้

และนอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจสอบความเค้นเฉือน (τ) เนื่องจากแรงเฉือนสูงสุด (V) ของเพลลาอลูมิเนียมกลมตัน โดยจากผลการคำนวณ (ภาคผนวก ก) พบว่า เพลลาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 31.75 mm เมื่อรับแรงเฉือนสูงสุดเท่ากับ 328.1 N ทำให้เกิดความเค้นเฉือนเท่ากับ 0.414 MPa และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงเฉือนของอลูมิเนียม 210 MPa แล้วพบว่า ค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นนี้ยังถือว่ามีค่าน้อยมากจึงไม่สามารถทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับเพลลาได้เช่นกัน

ต่อมาเป็นการคำนวณการโก่งตัว (Deflection) ของเพลลาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 31.75 mm เพื่อตรวจสอบความเสียหายของเพลลาจากการโก่งตัวเมื่อมีการใช้งานจากการดึงเคลื่อนย้ายผู้ป่วย จากรูปที่ 3.8 เนื่องจากภาระที่กระทำบนเพลลานั้นมีลักษณะสมมาตรกัน ทำให้สามารถพิจารณาการโก่งตัวของเพลลาเพียงครึ่งเดียวได้ โดยแบ่งการพิจารณาการโก่งตัวของเพลลาออกเป็นสองช่วง ได้แก่ ช่วงความยาวของเพลลาระหว่าง 0 – 0.255 m และช่วงความยาวของเพลลาระหว่าง 0 – 0.58 m

จากผลการคำนวณการโก่งตัวของเพลลาด้วยทฤษฎี Double Integration (ภาคผนวก ก) พบว่า เมื่อพิจารณาเพลลาในช่วงความยาวระหว่าง 0 – 0.255 m มีการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 0.112 mm ที่ตำแหน่ง 0.147 m ของความยาวเพลลาวัดจากจุดอ้างอิง และเมื่อพิจารณาเพลลาในช่วงความยาวระหว่าง 0 – 0.58 m มีการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 1.056 mm ที่ตำแหน่ง 0.259 m ของความยาวเพลลาวัดจากจุดอ้างอิง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเพลลาอลูมิเนียมกลมตันเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 31.75 mm มีระยะการโก่งตัวสูงสุดทั้งหมดสองจุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.056 mm ที่ตำแหน่ง 0.259 m จากปลายทั้งสองด้านของความยาวเพลลา จึงถือได้ว่ามีค่าน้อยมากทำให้แน่ใจได้ว่าเพลลาที่เลือกมานี้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

3.2.5 การคำนวณกำลังของมอเตอร์และการเลือกมอเตอร์

สำหรับการหาค่ากำลังของมอเตอร์นั้นต้องเริ่มจากการคำนวณทอร์กของเพลลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย กำหนดให้มวลของผู้ป่วย (m) เท่ากับ 120 kg แรงโน้มถ่วงของโลก (g) เท่ากับ 9.81 m/s^2 เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลาเท่ากับ 31.75 mm จากสมการคำนวณทอร์ก จะได้ว่า

จากสมการ $T = F \times r$ (3.4)

เมื่อ $T = mg \times r$

แทนค่า $T = (120)(9.81) \times \left(\frac{31.75}{2} \times 10^{-3} \right)$

$$T = 18.68 \text{ N} \cdot \text{m}$$

ฉะนั้นทอร์กของเพลลาที่ใช้สำหรับเคลื่อนย้ายผู้ป่วยมีค่าเท่ากับ 18.68 N·m

ซึ่งการคำนวณทอร์กของมอเตอร์นั้นสามารถหาได้จากอัตราทดระหว่างเฟืองโซ่กับเฟืองมอเตอร์ กำหนดให้เฟืองโซ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 190 mm และเฟืองมอเตอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm จากสมการที่ 2.12 จะได้ว่า

อัตราทดเท่ากับ

$$m_\omega = \frac{d_1}{d_2}$$

$$m_\omega = \frac{40}{190}$$

$$m_\omega = \frac{1}{4.75}$$

ดังนั้นจะได้อัตราทดเท่ากับ 1 : 4.75 ซึ่งสามารถคำนวณทอร์กของมอเตอร์ (T_m) จะได้ว่า

$$T_m = T/4.75 = 18.68/4.75 = 3.93 \text{ N} \cdot \text{m}$$

เนื่องจากการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากเตียงที่ 1 มายังเตียงที่ 2 นั้นต้องใช้ระยะทาง (s) เท่ากับ 0.9 m โดยใช้เวลา (t) ประมาณ 10 วินาที ซึ่งสามารถนำมาคำนวณความเร็วรอบของเพลลา จะได้ว่า

จากสมการ $\omega = \frac{v}{r}$ (3.5)

เมื่อ $v = \frac{s}{t}$

จะได้ว่า $\omega = \frac{s}{t \times r}$

$$\omega = \frac{0.9}{10 \times (31.75 \times 10^{-3}) / 2}$$

$$\omega = 5.67 \text{ rad/s}$$

$$n_s = 54.14 \text{ rpm}$$

ฉะนั้นแล้วจะได้ความเร็วรอบของเพลาท่อกับ 54.14 rpm เมื่อนำมาคำนวณเป็นความเร็วรอบของมอเตอร์จะได้ว่า $n_m = 4.75n_s = 4.75(54.14) = 257.16 \text{ rpm}$

เมื่อทราบทอร์กและความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้สำหรับเคลื่อนย้ายผู้ป่วยแล้ว จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณขนาดกำลังของมอเตอร์ จากสมการที่ 2.13 สมการคำนวณกำลังของมอเตอร์จะได้ว่า

$$P = \frac{T_m n_m}{60 / 2\pi}$$

$$P = \frac{3.93 \times 257.16}{60 / 2\pi}$$

$$P = 105.83 \text{ W}$$

ฉะนั้นควรเลือกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดกำลังอย่างน้อย 105.83 W มีทอร์กไม่ต่ำกว่า 3.93 N-m และมีความเร็วรอบประมาณ 257.16 rpm เพื่อที่จะสามารถเคลื่อนย้ายผู้ป่วยได้ จากนั้นทำการเปรียบเทียบมอเตอร์ที่มีขายในท้องตลาดจากตารางที่ 3.3 เพื่อเลือกมาใช้งานจริง

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบมอเตอร์เพื่อเลือกนำมาใช้งานจริง

มอเตอร์	กำลัง (W)	อัตราทด	ทอร์ก (N-m)	ความเร็วรอบ (rpm)	แหล่งที่มา
1	250	1:1	0.61	2750	[32]
2	250	9.78:1	6.65	337	[33]
3	350	1:1	1.22	2750	[34]
4	350	9.78:1	10.85	393	[35]

จากตารางที่ 3.3 ดังนั้นจึงได้ทำการเลือกมอเตอร์ตัวที่ 2 ซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 V แบบมีเกียร์ทดขนาดกำลัง 250 W มีความเร็วรอบ 337 rpm และมีทอร์กสูงสุด 6.65 N-m มาใช้งานกับแบตเตอรี่ของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย

3.2.6 การคำนวณหาขนาดเฟืองโซ่

สำหรับการคำนวณหาขนาดของเฟืองโซ่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.7 ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้ สมมติให้ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่โดยประมาณเท่ากับ 195 mm แล้วกำหนดให้เฟืองขับมีระยะพิตช์เท่ากับ 12.7 mm จำนวนฟันเฟืองโซ่ขับเท่ากับ 11 ฟัน จำนวนฟันเฟืองโซ่ตาม 46 ฟัน จากสมการที่ (2.9) การหาจำนวนของข้อโซ่

จะได้
$$x = \frac{2c}{p} + \frac{Z+z}{2} + \left(\frac{Z-z}{2\pi}\right)^2 \left(\frac{p}{c}\right)$$

แทนค่า
$$x = \frac{2(195)}{12.7} + \frac{46+11}{2} + \left(\frac{46-11}{2\pi}\right)^2 \left(\frac{12.7}{195}\right)$$

$$x = 61.23$$

หรือประมาณ 62 ข้อ จากนั้นคำนวณหาระยะห่างศูนย์กลางเฟืองโซ่จริง จากสมการที่ (2.10) สมการหาระยะห่างศูนย์กลางเฟืองโซ่จริง

จะได้
$$c = \frac{p}{4} \left(x - \frac{Z+z}{2} + \sqrt{\left(x - \frac{Z+z}{2} \right)^2 - 2 \left(\frac{Z-z}{\pi} \right)^2} \right)$$

แทนค่า
$$c = \frac{12.7}{4} \left(62 - \frac{46+11}{2} + \sqrt{\left(62 - \frac{46+11}{2} \right)^2 - 2 \left(\frac{46-11}{\pi} \right)^2} \right)$$

$$c = 200.23 \text{ mm}$$

ดังนั้นจะได้ระยะห่างจริงระหว่างเฟืองโซ่ของมอเตอร์กับเฟืองโซ่ของเพลาท่ากับ 200.23 มิลลิเมตร

3.2.7 ขั้นตอนการทดสอบหาค่าแรงดึงที่ใช้เลื่อนอุปกรณ์รองรับผู้ป่วย

หลังจากที่ได้ทำการคำนวณหาแรงที่มอเตอร์ต้องใช้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยแล้ว ต่อมาจึงทำการทดสอบหาค่าแรงดึงจริงที่ใช้เลื่อนอุปกรณ์รองรับผู้ป่วย โดยการใช้มวลของถุงทรายมาถ่วงน้ำหนักเพื่อหาค่ามวลที่ทำให้หุ่นจำลองเริ่มเคลื่อนที่ แล้วนำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าแรงดึงของมอเตอร์ว่าแรงที่คำนวณมานั้นสามารถใช้งานได้จริง และยังสามารถเปรียบเทียบอุปกรณ์รองรับชนิดต่างๆ ที่ใช้มวลของถุงทรายน้อยที่สุดในการทำให้หุ่นจำลองเริ่มเคลื่อนที่ ซึ่งจะได้กล่าวถึงขั้นตอนและผลการทดลองในบทที่ 4 ต่อไป

3.2.8 การคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่

หลังจากที่ได้เลือกมอเตอร์สำหรับนำมาใช้งานแล้ว ต่อมาจึงทำการคำนวณขนาดแบตเตอรี่ และเลือกแบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้กับอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย สำหรับการคำนวณขนาดของแบตเตอรี่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.12) สมการคำนวณปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อชั่วโมงของแบตเตอรี่ กำหนดให้กำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าเท่ากับ 250 W จำนวน 1 ตัว กำลังของมอเตอร์แกนซึกเท่ากับ 108 W จำนวน 1 ตัว และแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่เท่ากับ 24 VDC เนื่องจากเตียงผู้ป่วยมีทั้งหมด 18 เตียง โดยสมมติให้หนึ่งวันจะใช้งานอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยเข้า 1 ครั้งต่อเตียง เย็น 1 ครั้งต่อเตียง แต่แต่ละครั้งจะเคลื่อนย้ายผู้ป่วย 2 รอบแบบไปกลับ ในหนึ่งวันจึงใช้งานอุปกรณ์รวมทั้งหมด 4 รอบต่อเตียง รอบละ 1 นาที ดังนั้นรวมแล้วใช้งานทั้งหมด 72 นาทีต่อวัน หรือ 1.2 ชั่วโมงต่อวัน จะได้ว่า

$$\text{จะได้} \quad Ah = \frac{(W \times n \times hr)_1 + (W \times n \times hr)_2}{v}$$

$$\text{แทนค่า} \quad Ah = \frac{(250 \times 1 \times 1.2) + (108 \times 1 \times 1.2)}{24}$$

$$Ah = 17.9$$

ดังนั้นควรเลือกแบตเตอรี่ที่มีแรงดันไฟฟ้า 24 VDC และมีปริมาณกระแสไฟฟ้ามากกว่า 17.9 Ah ดังนั้นจึงเลือกแบตเตอรี่ขนาด 24 VDC 18 Ah สำหรับนำมาใช้งาน

3.3 การคำนวณความแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS Simulation โดยทำการวิเคราะห์ความเค้นของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยแล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า Yield Strength ของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบ และนอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดจากการเสียรูปของโครงสร้างเพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณเนื่องจากการโก่งตัวของอุปกรณ์ในหัวข้อที่ 3.2.4 ซึ่งจะได้แสดงผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในบทที่ 5 ต่อไป

3.4 ขั้นตอนการสร้างและทดลองชุดอุปกรณ์ทดลองเฉพาะส่วนกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

เมื่อได้ทำการคำนวณหาขนาดกำลังและเลือกขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าแล้ว จากนั้นทำการออกแบบและสร้างชุดทดลองเฉพาะส่วนกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโดยนำมอเตอร์ที่ได้เลือกมาใช้เป็นต้นกำลังเพื่อทดลองเลื่อนหุ่นจำลองน้ำหนัก 120 กิโลกรัม เพื่อเป็นการตรวจสอบว่ามอเตอร์ที่เลือกมาสามารถใช้งานได้จริง โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการสร้างและทดลองของชุดทดลองเฉพาะส่วนกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยซึ่งจะได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 ต่อไป

บทที่ 4

การทดลองหาค่าแรงดึงที่ใช้เลื่อนอุปกรณ์รองรับผู้ป่วย

การทดลองหาค่าแรงดึงที่ใช้เลื่อนอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการออกแบบ เนื่องจากการออกแบบมอเตอร์เริ่มแรกยังไม่ทราบขนาดแรงจริงที่ใช้ดึงหุ่นจำลอง จึงได้ทำการประมาณแรงจากมวลของหุ่นจำลองเพื่อใช้คำนวณหาขนาดมอเตอร์ตามที่แสดงไว้ในบทที่ 3 ต่อมาจึงได้นำค่าการทดลองนี้ไปเปรียบเทียบกับค่าการออกแบบในเบื้องต้น เพื่อตรวจสอบว่ามอเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้สามารถรับแรงดึงได้จริง

4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อทดลองหาค่าแรงดึงที่ใช้เลื่อนอุปกรณ์รองรับผู้ป่วย

4.2 ขอบเขตการทดลอง

1. ทดสอบโดยวิธีการถ่วงน้ำหนักเพื่อดึงหุ่นจำลองให้เริ่มเคลื่อนที่
2. ใช้ผ้าชนิดต่างๆ ได้แก่ ผ้าดิบ ผ้าไนลอน ผ้าฝ้าย (Cotton) ผ้าสักหลาดและกระดานเลื่อน ทำเป็นอุปกรณ์รองรับ
3. หุ่นจำลองน้ำหนัก 120 กิโลกรัม

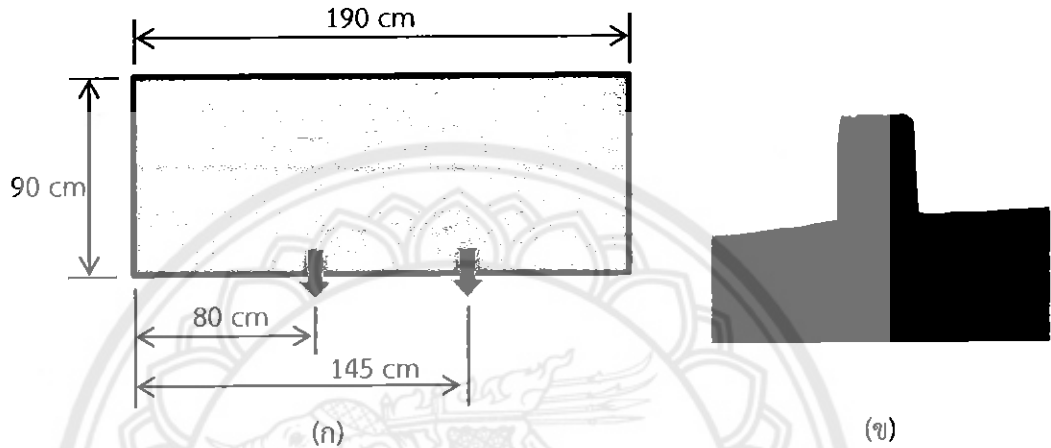
4.3 วัสดุอุปกรณ์

1. ผ้าดิบ ผ้าไนลอน ผ้าฝ้าย ผ้าสักหลาด	จำนวนอย่างละ	1	ผืน
2. กระดานเลื่อน	จำนวน	1	แผ่น
3. เตียงผู้ป่วย	จำนวน	1	เตียง
4. เชือกยาว 2 เมตร	จำนวน	2	เส้น
5. หุ่นจำลองน้ำหนัก 120 กิโลกรัม	จำนวน	1	ตัว
6. ตะกร้า	จำนวน	2	ใบ
7. ชุดทดลองหาค่าแรงดึง	จำนวน	1	ชุด
8. ทรายแบ่งใส่ถุงๆ ละ 10 กิโลกรัม 5 กิโลกรัม 2 กิโลกรัม และ 1 กิโลกรัม	จำนวนอย่างละ	4	ถุง

4.4 การเตรียมการทดลอง

4.4.1 การเตรียมผ้า

ผ้าทุกผืนที่นำมาทำการทดลองถูกเย็บให้มีขนาด 190 X 90 เซนติเมตร ตามขนาดมาตรฐานของเตียงผู้ป่วย (รูปที่ 4.1ก) และทำจุดดิ่ง 2 จุด (รูปที่ 4.1ข) มีระยะ 80 เซนติเมตรและ 145 เซนติเมตร จากขอบล่างของผ้า

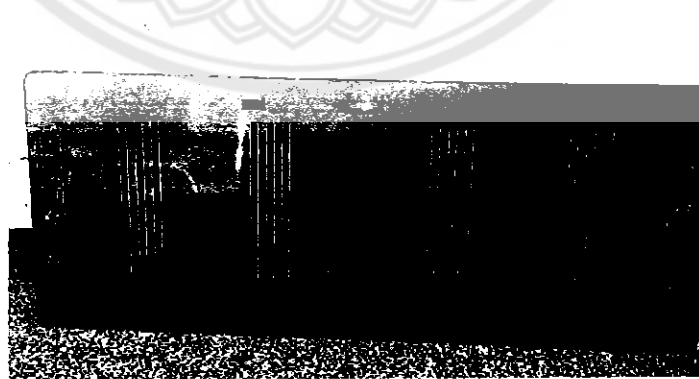


รูปที่ 4.1 (ก) ขนาดของผ้าและระยะจุดดิ่ง (ข) ลักษณะการเตรียมจุดดิ่ง

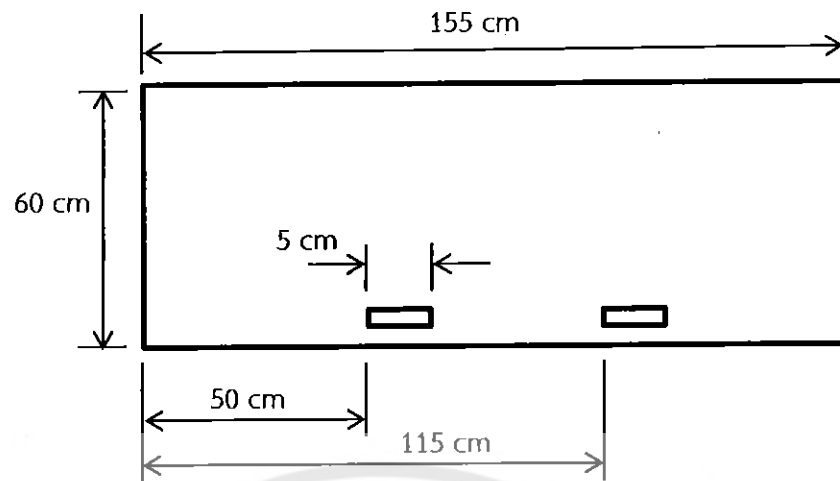
4.4.2 การเตรียมกระดานเลื่อน

เนื่องจากกระดานเลื่อนยี่ห้อ (P-SLIDE) ที่ใช้ทั่วไปในโรงพยาบาล มีขนาดตามมาตรฐาน 155 X 60 เซนติเมตร และมีรูสำหรับไว้ใช้มือจับเท่านั้น ทำให้ต้องทำการเจาะรูกระดานเลื่อนเพิ่มเติม เพื่อให้สามารถทำเป็นจุดยึดสำหรับร้อยเชือกได้ ดังรูปที่ 4.2

กระดานเลื่อนที่นำมาทดลอง ได้มีการจัดเตรียมเจาะรูเพื่อร้อยเชือกสำหรับไว้ดัดทดสอบ โดยมีระยะที่เจาะรู ดังรูปที่ 4.3



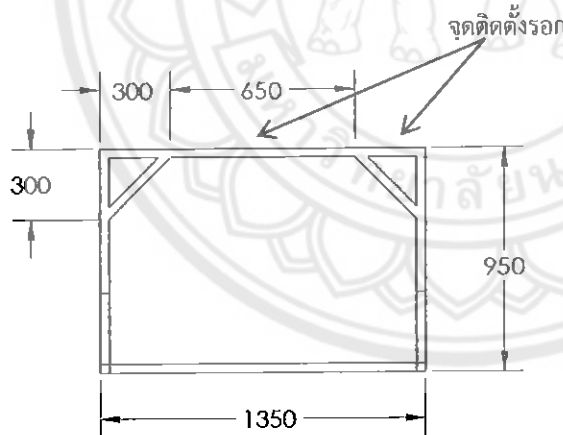
รูปที่ 4.2 กระดานเลื่อนที่ได้ทำการเจาะรูแล้ว



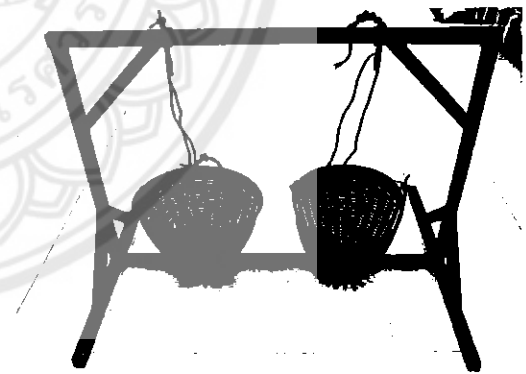
รูปที่ 4.3 ระยะจุดตั้งของกระดานเลื่อน

4.4.3 การเตรียมชุดทดลองหาค่าแรงดึง

การเตรียมชุดทดลองนั้นได้มีการออกแบบและสร้างโครงชุดทดลอง โดยเริ่มจากนำเหล็กกล่องขนาด 2 X 2 นิ้ว มาตัดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ (รูปที่ 4.3ก) และทำการเชื่อมเป็นโครงชุดทดลอง จากนั้นทำการติดตั้งรอกจำนวน 2 ตัว เข้าไปกับโครงของชุดทดลองโดยให้มีระยะห่าง 300 มิลลิเมตร จากด้านข้างทั้งสองด้าน เพื่อให้ระยะห่างระหว่างรอกทั้งสองเท่ากับระยะห่างของจุดตั้ง และสุดท้ายร้อยเชือกยึดกับตะกร้าให้เรียบร้อยดังที่แสดงในรูปที่ 4.3ข



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 (ก) ขนาดของชุดทดลองหาค่าแรงดึง (ข) การติดตั้งรอกเข้ากับชุดทดลองหาค่าแรงดึง

4.4.4 การสร้างหุ่นจำลอง

เนื่องจากการสร้างอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยนั้นต้องมีการทดลองหาค่าแรงดึงที่ใช้เลื่อนตัวผู้ป่วย ดังนั้นจึงได้มีการสร้างหุ่นจำลองเพื่อแทนตัวผู้ป่วยน้ำหนักตัว 120 กิโลกรัม สำหรับใช้ในการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. เริ่มจากคัดเลือกคนที่มาเป็นต้นแบบสำหรับทำหุ่นจำลอง โดยจะเลือกคนที่มีสัดส่วน Size 44 ตามมาตรฐาน Size Thailand [30]
2. นำฟิล์มห่ออาหารมาพันรอบบริเวณส่วนประกอบที่สำคัญของร่างกาย ได้แก่ ลำตัวช่วงบน ลำตัวช่วงล่าง แขน น่อง และต้นขาตามลำดับ
3. นำเทปผ้า (Leak Seal tape) ซึ่งมีความแข็งแรงและคงรูปได้ มาพันทับรอบบริเวณฟิล์มห่ออาหารให้เป็นชุดหุ่นจำลอง (รูปที่ 4.5ก)
4. นำกรรไกรตัดชุดหุ่นจำลองที่ติดอยู่กับคนที่เป็ต้นแบบ โดยให้คงสภาพเป็นชุดหุ่นจำลองไว้ (รูปที่ 4.5ข และ 4.5ค)
5. นำถุงทรายมาอัดใส่ข้างในชุดหุ่นจำลองให้ได้ขนาดสัดส่วนและน้ำหนักตาม Size 44 มาตรฐาน Size Thailand [30] และน้ำหนักแต่ละส่วนตาม Paola De Leva และคณะ (1996) [23]
6. นำส่วนประกอบของหุ่นจำลองที่ได้ใส่ถุงทรายไปแล้วมาประกอบรวมเข้าด้วยกันให้เป็นหุ่นจำลองที่สมบูรณ์
7. จากนั้นนำลูกโป่งมาเป่าให้มีขนาดพอดีเพื่อนำมาทำเป็นส่วนของศีรษะ ต่อมานำหนังสือพิมพ์มาห่อลูกโป่งไว้ทั้งลูกแล้วนำเทปผ้ามาพันให้รอบพร้อมทำการเจาะลูกโป่งให้แตก ส่วนมือของหุ่นจำลองนำทรายใส่ในถุงมือผ้าแล้วนำเทปผ้ามาพันรอบถุงมืออีกทีให้เรียบร้อย



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.5 (ก) การนำเทปผ้าและฟิล์มห่ออาหารมาสร้างเป็นหุ่นจำลองเสมือนมนุษย์
(ข) การถอดชุดหุ่นจำลอง (ค) ชุดหุ่นจำลอง

4.5 วิธีดำเนินการทดลอง

1. นำหุ่นจำลองมาจัดเตรียมวางไว้บนเตียง ดังรูปที่ 4.6



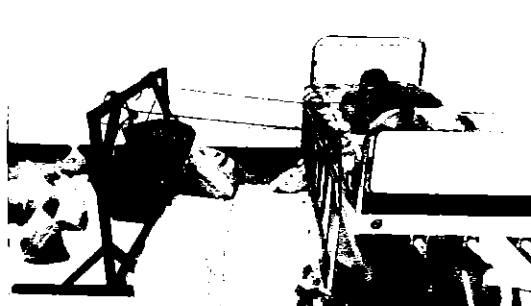
รูปที่ 4.6 การเตรียมหุ่นจำลอง

2. นำผ้าที่ได้จากการจัดเตรียมมารองไว้ใต้หุ่นจำลองให้เรียบร้อย ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การนำผ้ามารองไว้ใต้หุ่นจำลอง

3. วางชุดทดลองไว้ข้างเตียงโดยให้ห่างจากขอบเตียงเป็นระยะ 1 เมตร จากนั้นนำปลายด้านหนึ่งของเชือกทั้งสองเส้นผูกติดกับจุดตั้งทั้งสองจุด และนำปลายเชือกอีกด้านหนึ่งสอดผ่านรอกที่ผูกติดกับคานของชุดทดลอง และผูกยึดไว้กับตะกร้า ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การเตรียมอุปกรณ์ก่อนทดลอง

4. ทำการใส่ถุงทรายลงไปในแต่ละถ้ำทั้ง 2 ตะกร้า พร้อมๆกันทีละถุง โดยเริ่มจากนำถุงทรายหนัก 10 กิโลกรัม ใส่ตะกร้าละ 1 ถุง จากนั้นใส่ถุงทรายหนัก 5 กิโลกรัม ตะกร้าละ 2 ถุง หากหุ้่นจำลองยังไม่เริ่มเคลื่อนที่ให้เพิ่มถุงทรายหนัก 1 กิโลกรัม และ 2 กิโลกรัม ใส่ลงไป ในตะกร้า จนกว่าหุ้่นจำลองเริ่มเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การใส่ถุงทรายทั้ง 2 ตะกร้าพร้อมๆ กัน

5. บันทึกมวลของถุงทรายในแต่ละถ้ำรวมทั้งสองตะกร้าลงตาราง โดยวัดค่าขณะที่หุ้่นเริ่มเคลื่อนที่ ทำการทดลอง 5 ครั้งต่อผ้า 1 ผืน
6. เมื่อทำการทดลองผ้าชนิดแรกเสร็จ จากนั้นทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2-5 กับผ้าชนิดต่อไปและกระดานเลื่อน

4.6 ผลการทดลอง

จากการทดลองนำถุงทรายมาถ่วงน้ำหนักเพื่อตั้งหุ้่นจำลอง แล้วทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์รองรับแต่ละชนิด เพื่อหาค่ามวลของถุงทรายถ่วงน้ำหนักที่ทำให้หุ้่นจำลองเริ่มเคลื่อนที่ ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาค่าแรงดึงที่ใช้เลื่อนอุปกรณ์รองรับผู้ป่วย

ครั้งที่	มวลของถุงทรายรวมทั้ง 2 ตะกร้า (kg)				
	ผ้าดิบ	ผ้าไนลอน	ผ้าฝ้าย	ผ้าสักหลาด	กระดานเลื่อน
1	58	50	60	40	38
2	58	58	60	40	38
3	54	54	58	38	34
4	56	54	54	40	34
5	56	54	58	38	34
เฉลี่ย	56.4	54	58	39.2	35.6

4.7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองนำถุงทรายมาถ่วงน้ำหนักเพื่อตั้งหุ่นจำลองให้เกิดการเคลื่อนที่ พบว่าผ้าแต่ละชนิดและกระดานเลื่อนสามารถรับมวลของทรายเฉลี่ยที่จะทำให้หุ่นจำลองเริ่มเกิดการเคลื่อนที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งในการทดลองกระดานเลื่อนใช้มวลของทรายน้อยที่สุดเฉลี่ย 35.6 กิโลกรัมในการทำให้หุ่นจำลองเริ่มเกิดการเคลื่อนที่ ในส่วนของการทดลองอุปกรณ์รองรับชนิดผ้า ผ้าที่รับมวลของทรายน้อยที่สุดคือผ้าสักหลาดเฉลี่ยที่ 39.2 กิโลกรัม แต่เนื่องจากผ้าสักหลาดมีความยืดหยุ่นของเนื้อผ้าสูงและไม่คงทน จึงเกิดรอยฉีกขาดบริเวณจุดยึดทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นอุปกรณ์รองรับได้ ส่วนผ้าอีก 3 ชนิดผ้าในล่อนจะใช้มวลของทรายถ่วงน้อยสุดเฉลี่ยที่ 54 กิโลกรัมตามด้วยผ้าดิบเฉลี่ย 56.4 กิโลกรัม และผ้าฝ้าย เฉลี่ย 58 กิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งผ้าที่นิยมใช้ในโรงพยาบาลส่วนใหญ่จะเป็นผ้าฝ้าย เพราะมีเนื้อผ้านุ่ม แข็งแรง ระบายอากาศได้ดี

จากการทดลองนี้ทำให้ทราบว่าเมื่อนำค่ามวลของถุงทรายมาคิดเป็นแรงดึงในแนวราบจะได้ว่า ผ้าดิบต้องใช้แรง 553.28 นิวตัน ผ้าในล่อน 529.74 นิวตัน ผ้าฝ้าย 568.98 นิวตัน ผ้าสักหลาด 384.55 นิวตัน และกระดานเลื่อน 349.24 นิวตัน ในการทำให้หุ่นจำลองเริ่มเกิดการเคลื่อนที่ จากการออกแบบมอเตอร์ได้กำหนดให้แรงดึงมีขนาด 1200 นิวตัน ซึ่งพบว่าแรงที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าน้อยกว่าแรงที่ใช้ในการออกแบบมอเตอร์ ดังนั้นจึงทำให้แน่ใจได้ว่ามอเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้สามารถรับแรงดึงได้จริง

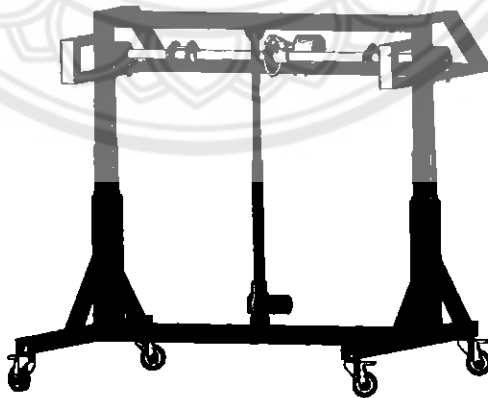
บทที่ 5

ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

สำหรับในส่วนของการดำเนินงานจากการออกแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบด้วยซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS สามารถแบ่งรายละเอียดส่วนประกอบของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยได้เป็นส่วนต่างๆ ดังที่จะแสดงต่อไป หลังจากที่ได้ทำการออกแบบอุปกรณ์เสร็จ ต่อมาจึงได้มีการทดสอบความแข็งแรงของเพลาและโครงสร้าง โดยการทดสอบด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิเลเมนต์ด้วยซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulations เพื่อวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นจากแรงที่ใช้เลื่อนผู้ป่วยและการเสียรูปของอุปกรณ์จากการใช้งาน นอกจากนี้ยังได้ทำการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ทดลองเฉพาะส่วนกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย เพื่อเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองดังที่จะได้แสดงต่อไป

5.1 การออกแบบต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย

คณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยดังที่แสดงในรูปที่ 5.1 โดยสามารถแบ่งการออกแบบเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ การออกแบบโครงสร้าง การออกแบบระบบกลไกปรับระดับความสูงและการออกแบบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

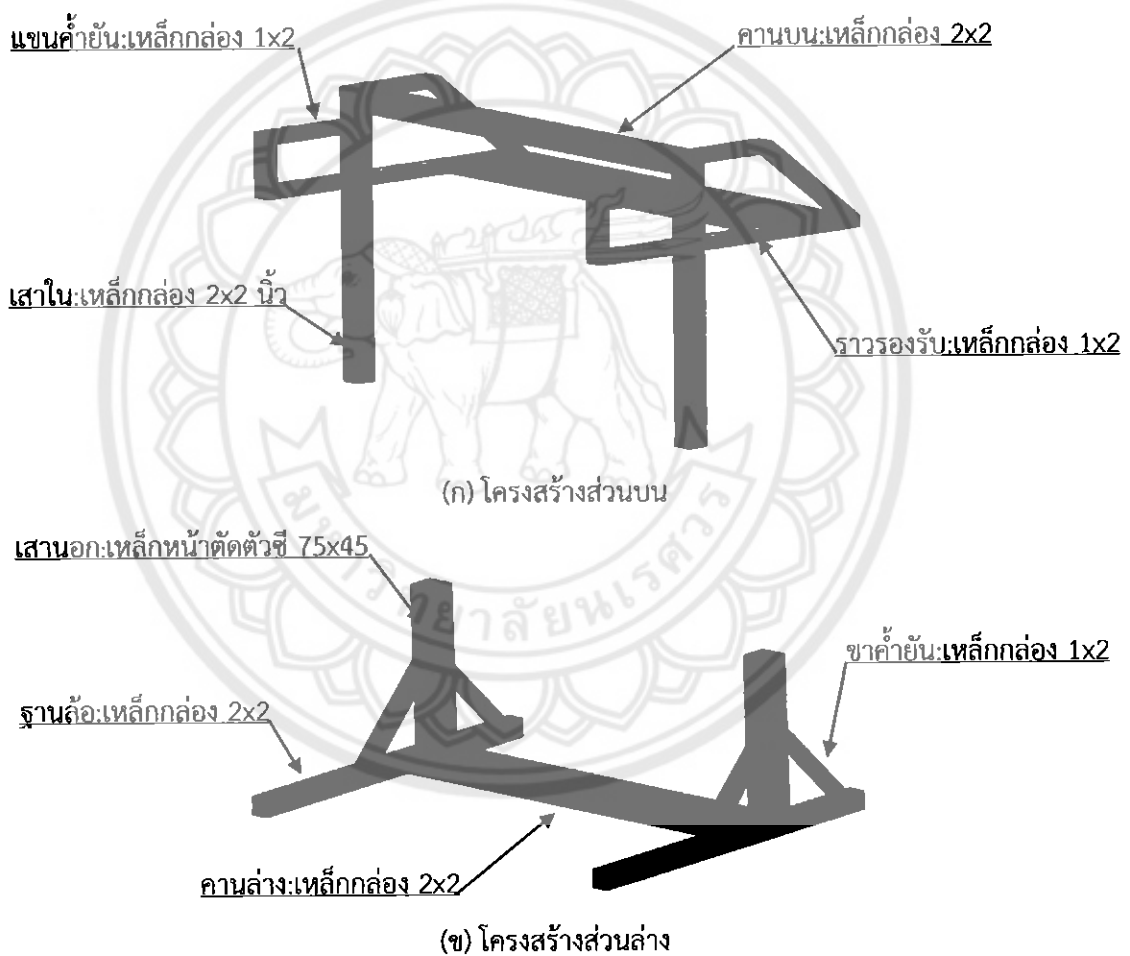


รูปที่ 5.1 ต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย

5.1.1 การออกแบบโครงสร้างต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย

โครงสร้างต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนหลักที่จะนำเอาชิ้นส่วนอื่นๆ มาประกอบ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของชิ้นส่วนอื่นๆ และรับแรงกระทำที่เกิดจากการทำงานของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย เพื่อให้อุปกรณ์สามารถปรับระดับความสูงได้จึงแบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ โครงสร้างส่วนบนและโครงสร้างส่วนล่าง

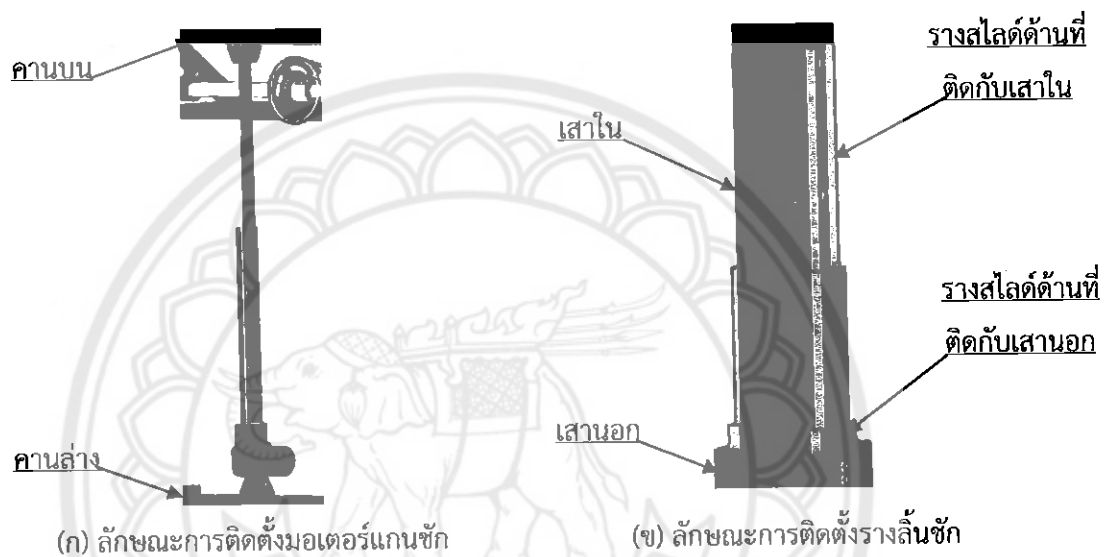
ส่วนประกอบหลักของโครงสร้างต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยคือ เหล็กกล่องขนาด 2 x 2 นิ้ว หนา 2 มิลลิเมตร เหล็กกล่องขนาด 1 x 2 นิ้ว หนา 2 มิลลิเมตร และเหล็กหน้าตัดตัวซีขนาด 75 x 45 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 โครงสร้างต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย

5.1.2 การออกแบบระบบกลไกปรับระดับความสูง

ระบบกลไกปรับระดับความสูงทำหน้าที่ในการปรับระดับความสูงของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถปรับระดับความสูงของอุปกรณ์ให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน ระบบกลไกปรับระดับความสูงประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 2 ชิ้น คือ มอเตอร์แกนชักและรางสไลด์ โดยมอเตอร์แกนชักทำหน้าที่ในการปรับระดับและค้ำยันโครงสร้างส่วนบนโดยสามารถปรับระดับความสูงของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยได้ที่ระดับความสูงซึ่งเป็นไปตามขอบเขตที่กำหนดไว้ และรางสไลด์ทำหน้าที่เพิ่มเสถียรภาพและลดแรงเสียดทานขณะปรับระดับอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 อุปกรณ์หลักของระบบกลไกปรับระดับความสูง

5.1.3 การออกแบบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

ระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากเตียงสู่เตียงในแนวราบโดยระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยมีลักษณะโดยรวมดังที่แสดงในรูป 5.4 ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญและหลักการทำงานดังนี้

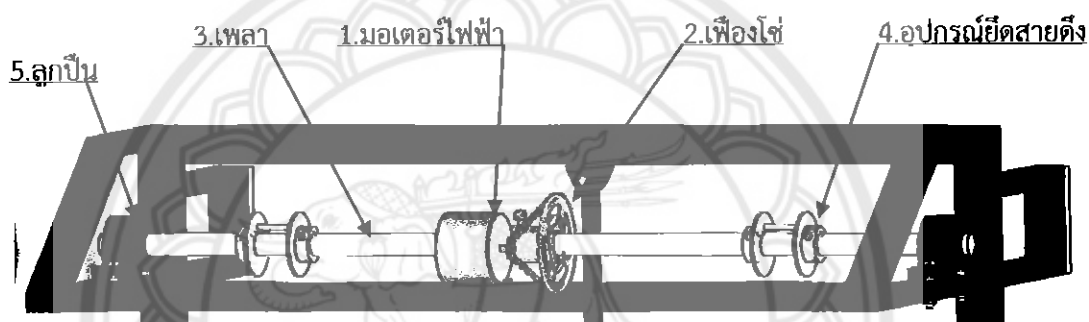
1. มอเตอร์ไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยและถูกควบคุมผ่านกล่องควบคุม ซึ่งผู้ใช้สามารถควบคุมการทำงานด้วยรีโมตคอนโทรล
2. เฟืองโซ่ ทำหน้าที่ในการทดความเร็วรอบและส่งกำลังจากมอเตอร์สู่เพลาโดยมีอัตราทดเท่ากับ 1 : 4.75 เพื่อความมั่นคงเฟืองโซ่ตัวตามจะถูกติดตั้งบนหน้าแปลนสำหรับใช้ติดตั้งกับเพลา
3. เพลา ทำหน้าที่เป็นแกนหมุนสำหรับหมุนเก็บสายดึงซึ่งมีปลายอีกด้านหนึ่งยึดอยู่กับอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยเพื่อเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบ โดยมีภารกิจส่งป่าเพลาสำหรับสวมลูกปืนและการกักร่องลิ่มสำหรับการติดตั้งหน้าแปลนของเฟืองโซ่
4. อุปกรณ์ยึดสายดึง
5. ลูกปืน ทำหน้าที่รองรับเพลา

5.1.4 การออกแบบชิ้นส่วนอื่นๆ

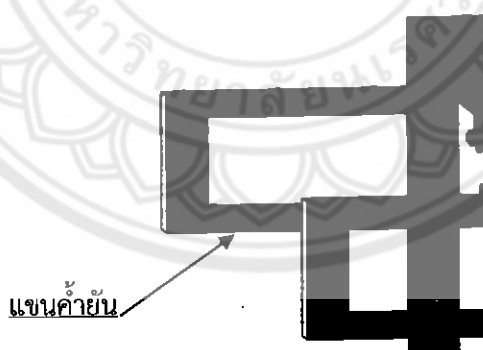
นอกจากส่วนประกอบสำคัญที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยยังประกอบด้วยชิ้นส่วนอื่นๆ ที่สำคัญ ได้แก่

1. ล้อ เป็นชิ้นส่วนสำคัญที่ทำให้ต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยสามารถเคลื่อนที่ได้สะดวก แต่ว่าในขณะที่เดียวกันล้อจำเป็นที่จะต้องมียางหรือระบบลื่นให้อุปกรณ์อยู่นิ่งเพื่อให้เกิดความมั่นคงในขณะที่ต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยทำงาน

2. ชิ้นส่วนแขนค้ำยัน ทำหน้าที่ในการช่วยค้ำยันระหว่างต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยกับเตียงผู้ป่วย ซึ่งขณะที่ต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยทำงานอยู่นั้นโครงสร้างส่วนบนจะสัมผัสกับเตียงผู้ป่วยและทำให้เกิดแรงกดอัดบริเวณขอบเตียงผู้ป่วยด้วย ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นและทำให้เกิดความสมดุลของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย จึงติดตั้งชิ้นส่วนแขนค้ำยันในบริเวณที่สัมผัสกัน ซึ่งมีลักษณะการติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.4 ลักษณะโดยรวมของระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย



รูปที่ 5.5 ลักษณะการติดตั้งชิ้นส่วนแขนค้ำยัน

5.2 ผลการคำนวณความแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

การคำนวณความแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยโปรแกรม SOLIDWORKS Simulation โดยทำการวิเคราะห์ความเค้นของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่า Yield Strength ของวัสดุที่เลือกใช้ในการออกแบบ และนอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเสียรูปของอุปกรณ์ เพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณในหัวข้อที่ 3.2.4

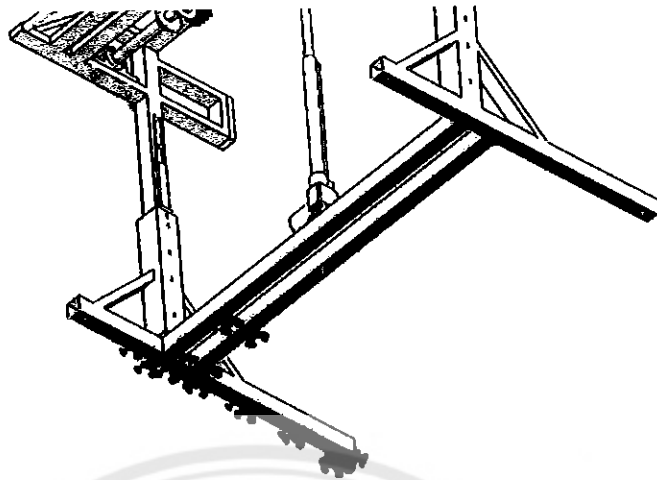
5.2.1 ขั้นตอนการคำนวณความแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

1. เริ่มจากการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS ดังรูปที่ 5.6



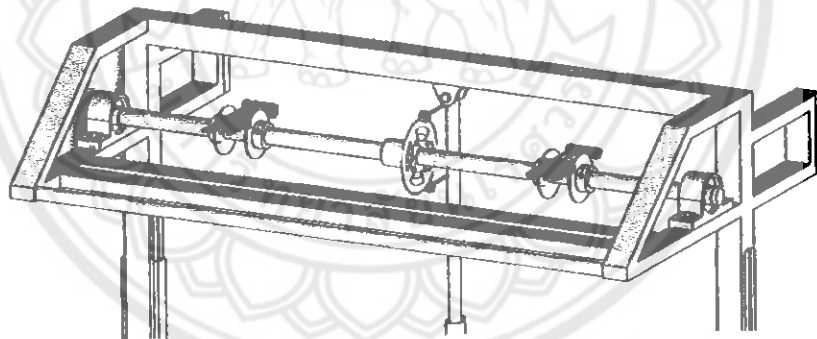
รูปที่ 5.6 อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการคำนวณความแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

2. กำหนดให้โครงสร้างที่นำมาวิเคราะห์เป็นวัสดุประเภท Alloy Steel ซึ่งมีค่า Yield Strength เท่ากับ 620 MPa และกำหนดให้เพลลาเป็น Aluminium Alloys 2014-T6 ซึ่งมีค่า Yield Strength เท่ากับ 415 MPa
3. ทำการกำหนดพื้นที่ของอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อต้องการไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ โดยได้กำหนดให้เป็นพื้นที่บริเวณใต้ฐานของอุปกรณ์ต้นแบบ ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 พื้นที่สำหรับการทำการ Fixed Geometry ของอุปกรณ์ต้นแบบ

4. ทำการกำหนดแรงดึงของเพลาและแรงดึงของมอเตอร์ (External Loads) จากการคำนวณในข้างต้น โดยกำหนดให้มีแรงดึงของเพลาบริเวณตัวยึดสายดึงทั้งสองตัว ตัวละ 588.6 N และแรงดึงของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นทั้งสองจุดบนเฟืองโซ่เท่ากับ 413 N ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 การกำหนดแรงที่กระทำบนอุปกรณ์ต้นแบบ

5. ทำการ Create Mesh เพื่อแบ่งเอลิเมนต์เตรียมพร้อมสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้าง จากนั้นเริ่มทำการคำนวณความแข็งแรงของอุปกรณ์ต้นแบบ เพื่อวิเคราะห์ผลของความเค้นและการเสียรูปของโครงสร้างต่อไป

5.2.2 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของอุปกรณ์ต้นแบบ

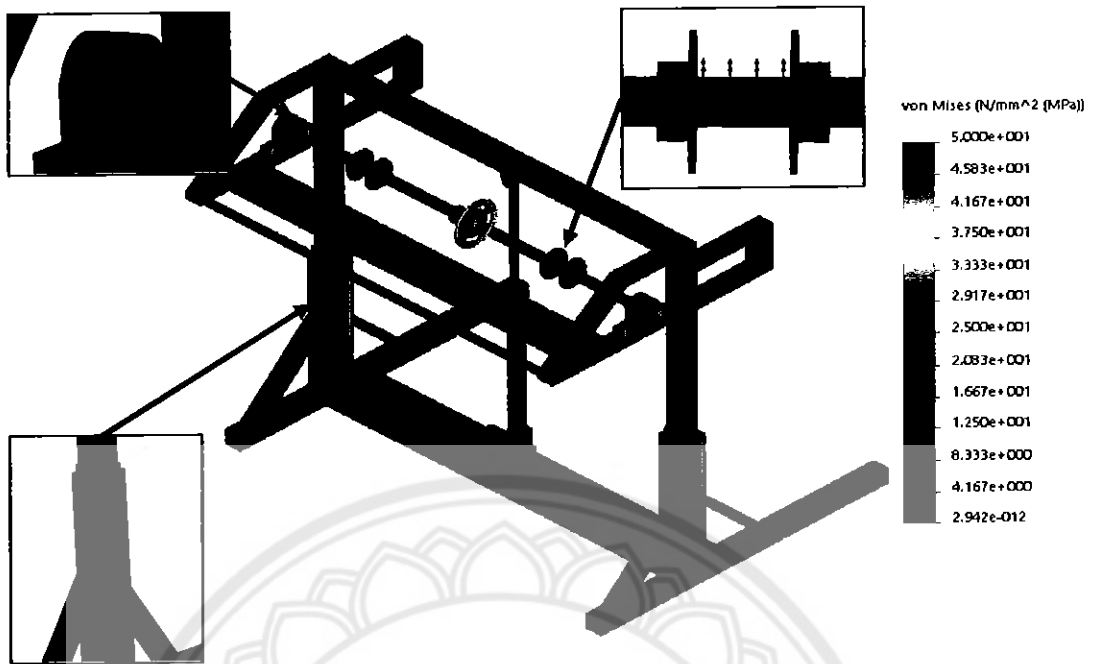
จากผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ (1) การวิเคราะห์ความเค้น Von Mises และการวิเคราะห์ความเสียหายเนื่องจากการเสียรูป (Deformation) ของโครงสร้าง (2) การวิเคราะห์ความเค้นต่างๆ และการเสียรูปที่เกิดขึ้นที่เพลลาเพื่อเปรียบเทียบกับค่าคำนวณทางทฤษฎี ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) จากการวิเคราะห์ความเค้นของโครงสร้าง พบว่าบริเวณแกนตัวยึดสายดึงมีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 37.50 MPa เนื่องจากเป็นจุดที่รับแรงดึงจากสายดึงโดยตรง ดังรูปที่ 5.9 ส่วนบริเวณบ่าเพลลาที่ติดกับแบริ่งมีความเค้นเท่ากับ 29.17 MPa เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนหน้าตัดของเพลลาทำให้มีพื้นที่สำหรับรับความเค้นน้อยลง และบริเวณเสานอกของโครงสร้างมีความเค้นเท่ากับ 20.83 MPa เนื่องจากมีภาระที่มากกระทำส่วนบนของโครงสร้างทำให้เกิดการตัดบริเวณตรงกลางของเสา ซึ่งความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ต้นแบบเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า Yield Strength ของวัสดุที่เลือกใช้ พบว่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์มีค่าน้อยมาก จึงสรุปได้ว่าโครงสร้างของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

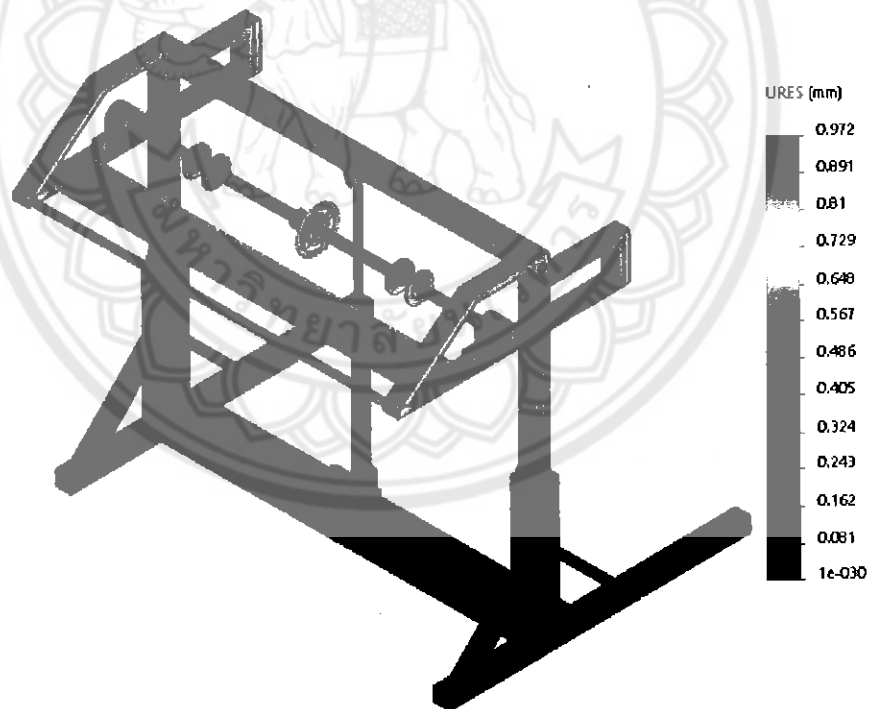
จากการวิเคราะห์ความเสียหายเนื่องจากการเสียรูปของโครงสร้าง พบว่าโครงสร้างของอุปกรณ์ต้นแบบมีการเสียรูปโดยรวมมากที่สุดบริเวณเพลลา ซึ่งมีค่าประมาณ 0.972 mm ดังรูปที่ 5.10

2) เมื่อพิจารณาเฉพาะเพลลาเพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความเค้นต่างๆ และการเสียรูปของเพลลาจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการคำนวณทางทฤษฎีในหัวข้อที่ 3.2.4 พบว่าเพลลา มีความเค้นดัดมากที่สุดประมาณ 22.2 MPa ดังรูปที่ 5.11ก ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความเค้นดัดที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี 8.8 MPa และมีความเค้นเฉือนมากที่สุด 4.7 MPa ดังรูปที่ 5.11ข ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความเค้นเฉือนเนื่องจากแรงบิด 19.1 MPa แต่มีค่ามากกว่าความเค้นเฉือนเนื่องจากแรงเฉือน 4.2 MPa

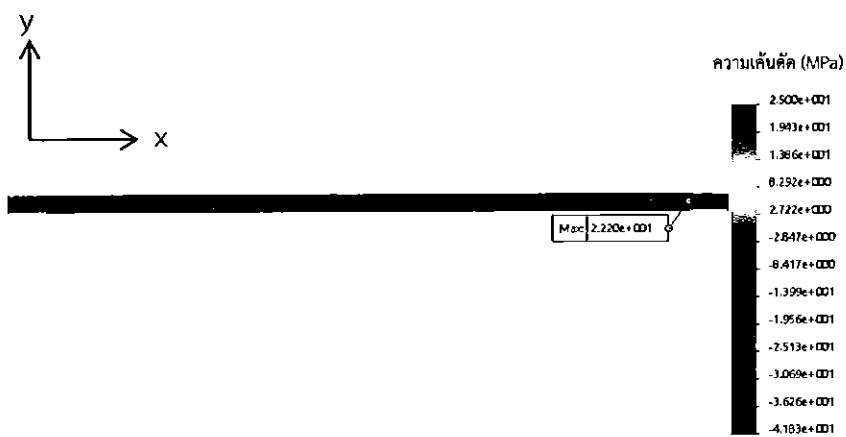
และเมื่อพิจารณาเพลลาในช่วงความยาวระหว่าง 0 – 0.255 m มีการโก่งตัวสูงสุดประมาณ 0.477 mm บนระนาบที่เพลลารับโมเมนต์ดัด ดังรูปที่ 5.11ค ซึ่งมีค่ามากกว่าผลจากการคำนวณทางทฤษฎีประมาณ 0.365 mm และเมื่อพิจารณาเพลลาในช่วงความยาวระหว่าง 0 – 0.58 m มีการโก่งตัวสูงสุดประมาณ 0.958 mm บนระนาบที่เพลลารับโมเมนต์ดัด ซึ่งระยะโก่งตัวของเพลลาจากการวิเคราะห์มีค่าน้อยกว่าผลจากการคำนวณทางทฤษฎีประมาณ 0.098 mm ดังนั้นผลที่ได้จากการวิเคราะห์การโก่งของเพลลาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงถือว่ามีความใกล้เคียงกับผลจากการคำนวณ



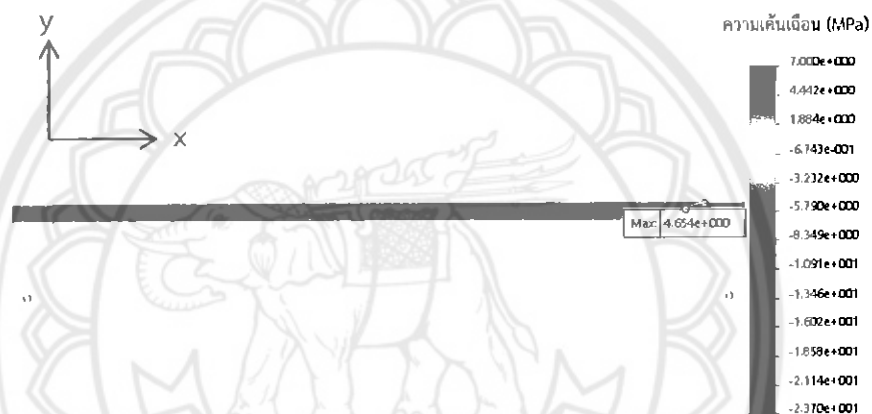
รูปที่ 5.9 การวิเคราะห์ความเค้น Von Mises ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้าง



รูปที่ 5.10 การเสียรูปโดยรวมของโครงสร้าง



(ก) การวิเคราะห์ความเค้นคัตของเพลลา



(ข) การวิเคราะห์ความเค้นเฉือนของเพลลา



(ค) การเสียรูปของเพลลาบนระนาบที่เพลลารับโมเมนต์คัต

รูปที่ 5.11 ผลการวิเคราะห์ความเค้นและการโก่งของเพลลาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.3 การทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

การทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย เป็นกระบวนการตรวจสอบการทำงานของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย เพื่อให้มั่นใจว่าระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยสามารถใช้งานได้จริงตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยเริ่มจากทำการออกแบบ สร้างและทดสอบเฉพาะส่วนกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยสำหรับในส่วนของ การทดสอบนั้นได้แบ่งวิธีการทดสอบออกเป็นสองตอนได้แก่ ตอนที่หนึ่งการทดลองดึงตะกร้าที่มีมวลลงท้ายด้วยชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยและตอนที่สองการทดสอบเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองด้วยชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะนำไปวิเคราะห์และคำนวณออกมาเป็นประสิทธิภาพของมอเตอร์ต่อไป

5.3.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อทดสอบการทำงานของกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย
2. เพื่อหาค่าทอร์กสูงสุดของมอเตอร์
3. เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์

5.3.2 ขอบเขตการทดลอง

1. ทดลองยกถ่วงท้ายโดยวิธีการใช้มอเตอร์ดึงเชือกผ่านอุปกรณ์คานถ่วงน้ำหนักเพื่อยกตะกร้าที่มีถ่วงท้ายขึ้น
2. ทดลองเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองโดยวิธีการใช้มอเตอร์ดึงอุปกรณ์รองรับผู้ป่วย
3. กระแสไฟฟ้าที่ใช้ต้องไม่เกิน 30 แอมแปร์
4. อุปกรณ์รองรับผู้ป่วยที่ใช้ได้แก่ ผ้าฝ้ายและกระดานเลื่อน
5. หุ่นจำลองน้ำหนัก 120 กิโลกรัม

5.3.3 วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย	จำนวน	1	ชุด
2. ชุดอุปกรณ์คานถ่วงน้ำหนัก	จำนวน	1	ชุด
3. ถ่วงท้ายขนาด 1 kg, 2 kg, 5 kg, 10 kg	จำนวนอย่างละ	4	ถ่วง
4. Clamp meter DC	จำนวน	1	ตัว
5. Tachometer	จำนวน	1	ตัว
6. นาฬิกาจับเวลา	จำนวน	1	ตัว
7. Volt meter	จำนวน	1	ตัว
8. สายดึง	จำนวน	2	เส้น
9. ตะกร้า	จำนวน	2	ใบ
10. หุ่นจำลองน้ำหนัก 120 kg	จำนวน	1	ตัว
11. แบตเตอรี่ 24 V	จำนวน	1	ก้อน
12. กล่องควบคุมและรีโมท	จำนวน	1	ชุด
13. ผ้าฝ้าย	จำนวน	1	ผืน
14. กระดานเลื่อน	จำนวน	1	แผ่น
15. เตียงผู้ป่วย	จำนวน	2	เตียง

16. ตะขอ

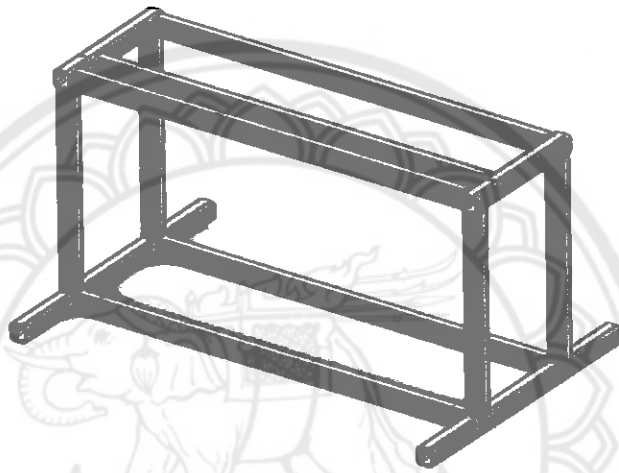
จำนวน

2 ตัว

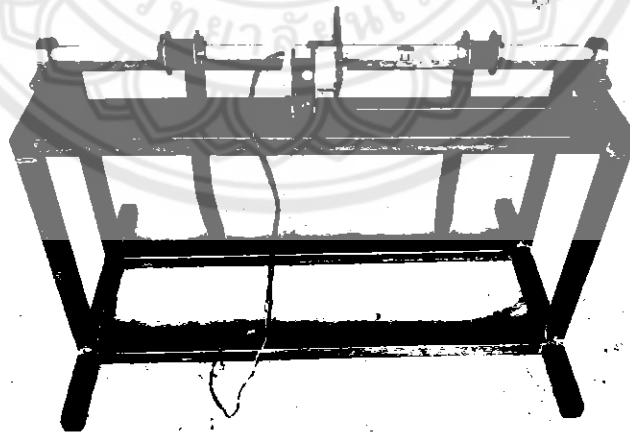
5.3.4 การเตรียมการทดลอง

การเตรียมชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

สำหรับการเตรียมชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย โดยเริ่มจากการออกแบบโครงสร้าง (รูปที่ 5.12) ที่ทำด้วยเหล็กกล่องขนาด 2 x 2 นิ้ว เมื่อทำการออกแบบชุดทดสอบเสร็จแล้ว จากนั้นนำมาเชื่อมเป็นโครงสร้างให้สมบูรณ์ ต่อกับมอเตอร์ขนาด 250 วัตต์ ที่ได้ทำการเลือกไว้ (หัวข้อ 3.2.5) และชุดเฟลาพร้อมเฟืองโซ่นำมาติดตั้งกับโครงสร้างให้เรียบร้อย ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.12 แบบ 3 มิติ ของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย



รูปที่ 5.13 ชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

5.3.5 วิธีดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 การทดลองดึงตะกร้าที่มีมวลลงทราวยด้วยชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

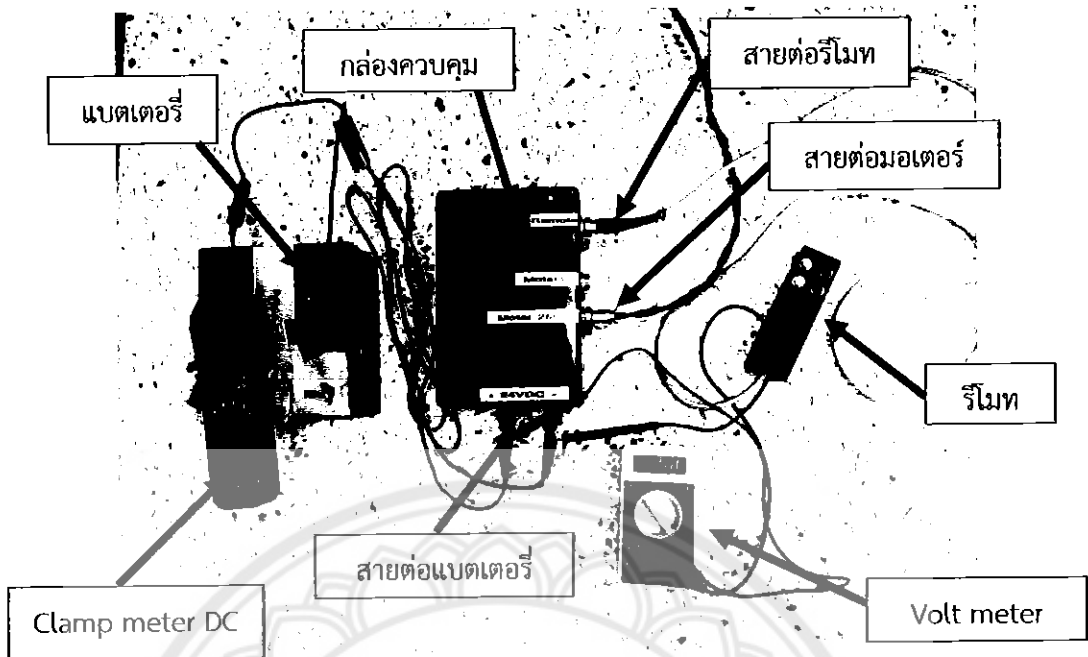
1.1 นำชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยมาเทียบไว้ข้างชุดอุปกรณ์คานถ่วงน้ำหนักเป็นระยะห่าง 1.3 เมตร แล้วจัดวางตำแหน่งให้เรียบร้อย ดังรูปที่ 5.14



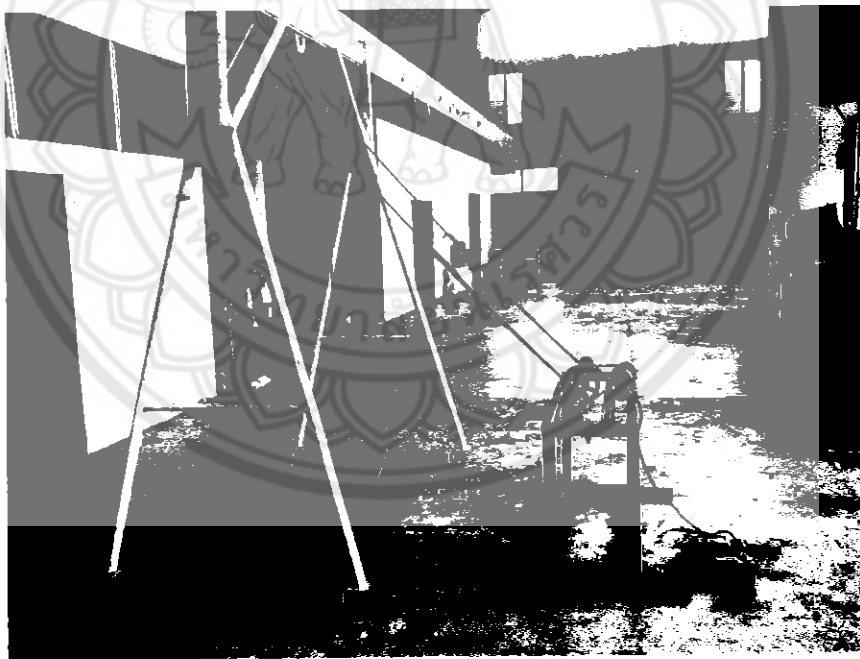
รูปที่ 5.14 การวางตำแหน่งของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

1.2 ต่อวงจรไฟฟ้าของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย โดยเริ่มจากนำสายไฟของแบตเตอรี่ สายมอเตอร์และสายรีโมทมาต่อรวมเข้ากับกล่องควบคุม จากนั้นนำ Volt meter มาต่อขนานกับสายไฟของแบตเตอรี่เพื่อเป็นการตรวจสอบให้แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ครั้งที่ 24 V ตลอดก่อนเริ่มทดสอบทุกครั้ง ต่อไปนำ Clamp meter DC มาหนีบครอบเข้ากับสายไฟขั้วบวกของแบตเตอรี่เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นขณะทดลอง สุดท้ายแล้วจะได้วงจรไฟฟ้าที่พร้อมสำหรับการทดลอง ดังรูปที่ 5.15

1.3 นำปลายด้านหนึ่งของสายยึดทั้งสองเส้นมาผูกติดกับจุดตั้งทั้งสองจุดของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย และนำปลายสายดึงอีกด้านหนึ่งสอดผ่านรอกที่ติดกับคานรับน้ำหนักมาผูกติดไว้กับตะกร้า ดังรูปที่ 5.16

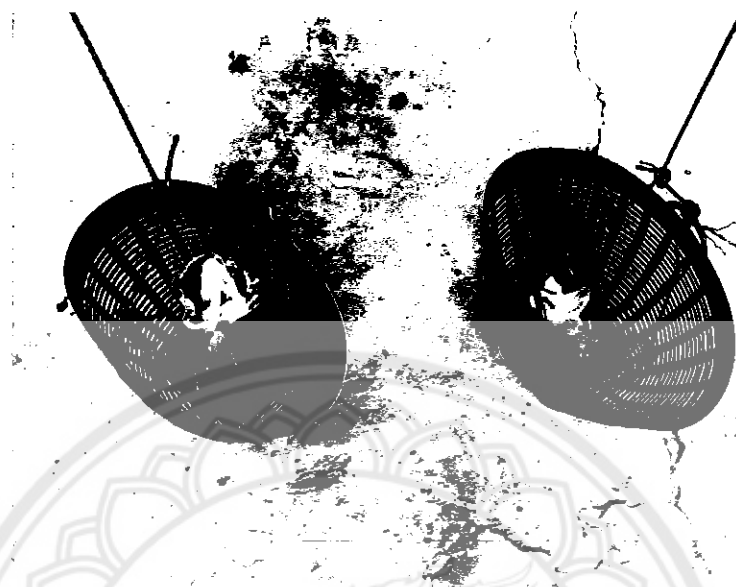


รูปที่ 5.15 การต่อวงจรของกล่องควบคุม



รูปที่ 5.16 การติดสายดึงจากชุดทดสอบเข้ากับตะกร้า

1.4 ต่อไปทดลองโดยเริ่มนำถุงทรายมาใส่ไว้ในตะกร้าข้างละ 1 กิโลกรัม ดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 การนำถุงทรายมาใส่ในตะกร้า

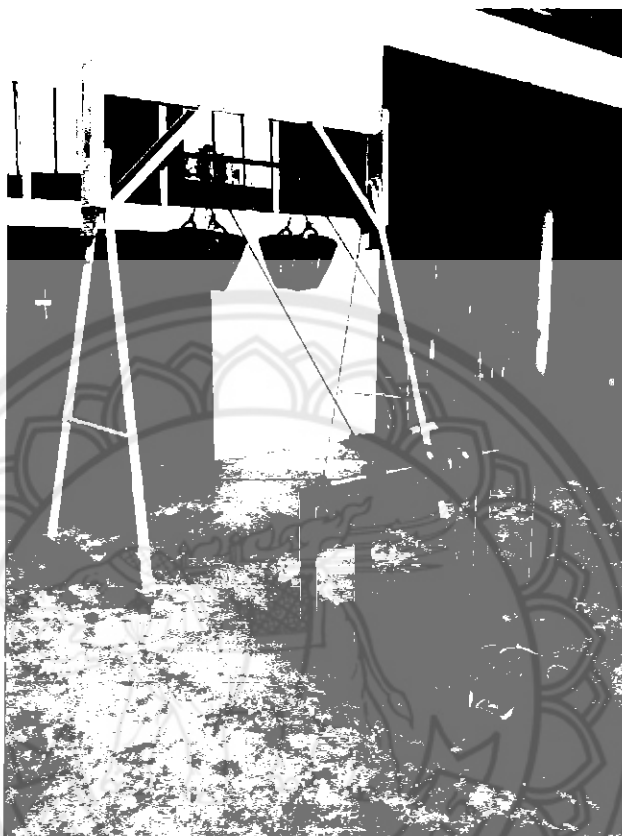
1.5 เปิดเครื่อง Clamp meter DC เพื่อเตรียมสำหรับวัดกระแสไฟฟ้า เปิดเครื่อง Volt meter เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าและใช้ Tachometer มาเตรียมพร้อมไว้สำหรับวัดความเร็วรอบของเพลา ดังรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 การใช้ Tachometer วัดความเร็วรอบเพลา

1.6 โดยก่อนการทดลองทุกครั้งต้องทำการยึดฐานของชุดอุปกรณ์คานถ่วงน้ำหนักและชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ช่วยให้อยู่นิ่งทุกครั้ง เพื่อป้องกันการเลื่อนตัวของอุปกรณ์ในขณะที่ทำการทดลองยกตะกร้า เมื่อพร้อมสำหรับทดลองแล้วจากนั้นกดสวิทช์บนรีโมทให้มอเตอร์หมุนเพื่อยก

ตะกร้าที่ใส่ถุงทรายขึ้นพร้อมกับจับเวลาตั้งแต่ตะกร้าเริ่มยกขึ้น จนกว่าเชือกที่ผูกไว้กับตะกร้าเคลื่อนไปถึงรอกที่ติดอยู่บนคาน จึงหยุดการทำงานของมอเตอร์ ดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 การยกตะกร้าขึ้นไปจนถึงรอกที่ติดอยู่บนคาน

1.7 ในระหว่างการทดลองให้ทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเมื่อมอเตอร์เริ่มทำงาน บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าเมื่อมอเตอร์ทำงานแบบคงที่ บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อมอเตอร์ทำงานคงที่ บันทึกค่าความเร็วรอบของเพลาและบันทึกค่าเวลาตั้งแต่เริ่มดึงตะกร้าขึ้นไปจนถึงรอกที่ติดอยู่บนคาน ลงในตารางที่ 5.1

1.8 ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 1.5 – 1.9 โดยจะทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง

1.9 จากนั้นเพิ่มมวลของถุงทรายใส่ลงในตะกร้าอีกข้างละ 1 กิโลกรัม แล้วทำการทดลองซ้ำ โดยจะเพิ่มมวลของถุงทรายไปเรื่อยๆ จนกว่าความเร็วรอบของเพลาต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้

ตอนที่ 2 การทดสอบเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองด้วยชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

2.1 นำเตียงผู้ป่วยหนึ่งที่มีหุ่นจำลองอยู่มาเทียบชิดไว้ข้างเตียงผู้ป่วยสอง จากนั้นนำชุดอุปกรณ์ทดลองระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยมาเทียบไว้อีกข้างหนึ่งของเตียงผู้ป่วยสองพร้อมก็นำเอาผ้าฝ้ายมารองไว้ใต้หุ่นจำลอง ดังรูปที่ 5.20

2.2 นำปลายด้านหนึ่งของสายยึดทั้งสองเส้นมาผูกติดกับจุดตั้งทั้งสองจุดของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย และนำปลายสายดึงอีกด้านหนึ่งมาผูกติดไว้กับอุปกรณ์รองรับผู้ป่วย ดังรูปที่ 5.21

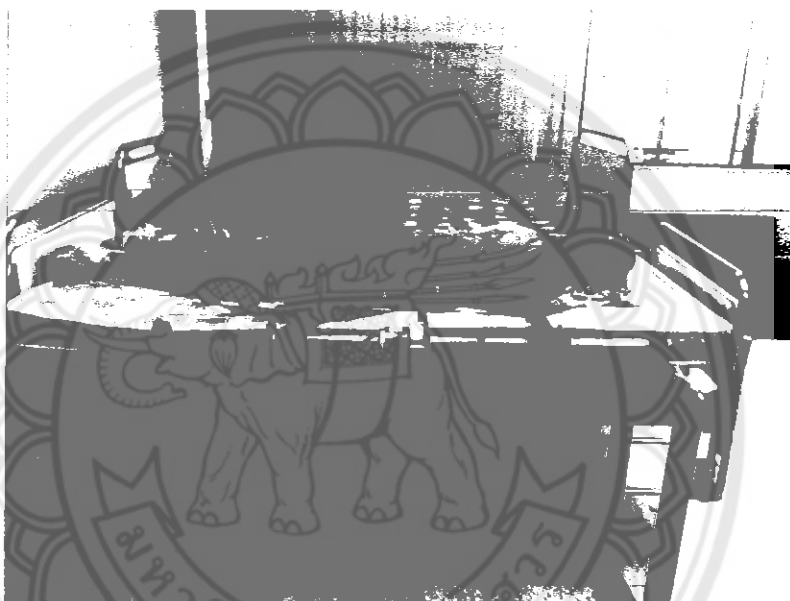


รูปที่ 5.20 การวางตำแหน่งของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยและเตียงผู้ป่วย

รูปที่ 5.21 การติดตั้งสายดึงเข้ากับชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยและอุปกรณ์รองรับผู้ป่วย

2.3 ทำการต่อวงจรไฟฟ้าของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย โดยเริ่มจากนำสายไฟของแบตเตอรี่ สายมอเตอร์และสายรีโมทมาต่อเข้ากับกล่องควบคุม จากนั้นนำ Volt meter มาต่อขนานกับสายต่อแบตเตอรี่เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ แล้วนำ Clamp meter DC มาหนีบครอบเข้ากับสายไฟขั้วบวกของแบตเตอรี่เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นขณะทดลอง สุดท้ายแล้วจะได้วงจรไฟฟ้าที่พร้อมสำหรับการทดลอง ดังรูปที่ 5.9

2.4 ทำการกดสวิทช์บนรีโมทให้มอเตอร์หมุนเก็บสายยึดเพื่อเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองจากเตียงผู้ป่วยหนึ่งสู่เตียงผู้ป่วยสองพร้อมกับจับเวลาตั้งแต่หุ่นจำลองเริ่มเคลื่อนย้าย เมื่อหุ่นจำลองเคลื่อนย้ายมาถึงตรงกลางของเตียงผู้ป่วยสองแล้วจึงหยุดการทำงานของมอเตอร์ ดังรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 การเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองจากเตียงผู้ป่วยหนึ่งมายังเตียงผู้ป่วยสอง

2.5 ในระหว่างการทดลองให้ทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเมื่อมอเตอร์เริ่มทำงาน บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าเมื่อมอเตอร์ทำงานคงที่ บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าเมื่อมอเตอร์ทำงานคงที่ บันทึกค่าความเร็วรอบของเพลาและบันทึกค่าเวลาตั้งแต่เริ่มเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองจากเตียงผู้ป่วยหนึ่งมายังเตียงผู้ป่วยสองลงในตารางที่ 5.2

2.6 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2.2 ถึง 2.5 โดยจะทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง

2.7 เปลี่ยนชนิดของอุปกรณ์รองรับจากผ้าฝ้ายเป็นแผ่นกระดาษเลื่อนแล้วทำการทดลองซ้ำ

5.3.6 ผลการทดลอง

จากการทดลองดึงตะกร้าใส่ถุงทรายของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย โดยได้มีการเพิ่มมวลของถุงทรายแล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความเร็วรอบ และเวลาช่วงที่ตะกร้าเคลื่อนที่ ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวก ข จากการทดลองมีค่าตัวแปร 3 ค่าต่อการเปลี่ยนแปลงมวลหนึ่งครั้งจึงหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรข้างต้นดังแสดงตารางที่ 5.1 และจากการทดสอบเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองดึงตะกร้าใส่ถุงทรายของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

มวลถุงทราย (kg)	เวลาเฉลี่ย (s)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)	ความเร็วรอบเพลาลเฉลี่ย (rpm)	ความเร็วรอบมอเตอร์เฉลี่ย (rpm)
2	6.66	1.9	24.7	71.5	339.8
4	7.07	2.1	24.5	70.3	334.1
6	6.88	2.2	24.3	70.2	333.3
8	7.23	2.4	24.2	70.1	333.0
10	7.18	2.8	24.1	68.9	327.3
12	7.34	3.0	24.3	67.3	319.7
14	7.35	3.5	24.1	67.0	318.4
16	8.02	3.6	23.3	63.8	303.2
18	7.61	3.8	24.6	64.4	306.1
20	7.65	4.2	24.3	65.4	310.7
22	7.65	4.4	23.9	63.9	303.5
24	8.47	4.8	22.5	57.7	273.9
26	8.98	5.0	22.0	59.7	283.7
28	8.28	5.1	24.2	65.9	312.9
30	8.00	5.6	24.0	65.5	311.1
32	8.16	5.8	23.8	64.1	304.3
34	8.79	6.0	23.4	61.0	289.6
36	8.6	5.8	23.4	60.3	286.4
38	8.86	6.1	22.6	60.2	286.0
40	9.4	6.5	20.9	55.1	261.7
42	10.0	7.2	20.8	53.9	256.2

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองดึงตะกร้าใส่ถุงทรายของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย (ต่อ)

มวลถุงทราย (kg)	เวลาเฉลี่ย (s)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)	ความเร็วรอบเพลาเฉลี่ย (rpm)	ความเร็วรอบมอเตอร์เฉลี่ย (rpm)
44	11.2	7.4	19.2	48.4	229.9
46	8.7	7.5	23.8	61.3	291.2
48	8.6	7.7	23.4	60	284.8
50	9.2	8.2	22.0	56.7	269.2
52	9.9	8.7	21.5	54.8	260.5
54	11	8.6	20.4	48.2	229.1
56	11.2	8.8	19.8	45.9	218.2
58	9.6	9.2	22.6	56.6	268.9
60	9.4	9.5	22.5	55.7	264.6
62	9.52	9.9	22.1	54.8	260.1
64	10.7	10.6	21.1	53.3	253.3
66	11.9	10.7	19.7	46.3	219.9
68	13.0	11.4	17.9	42.3	200.8

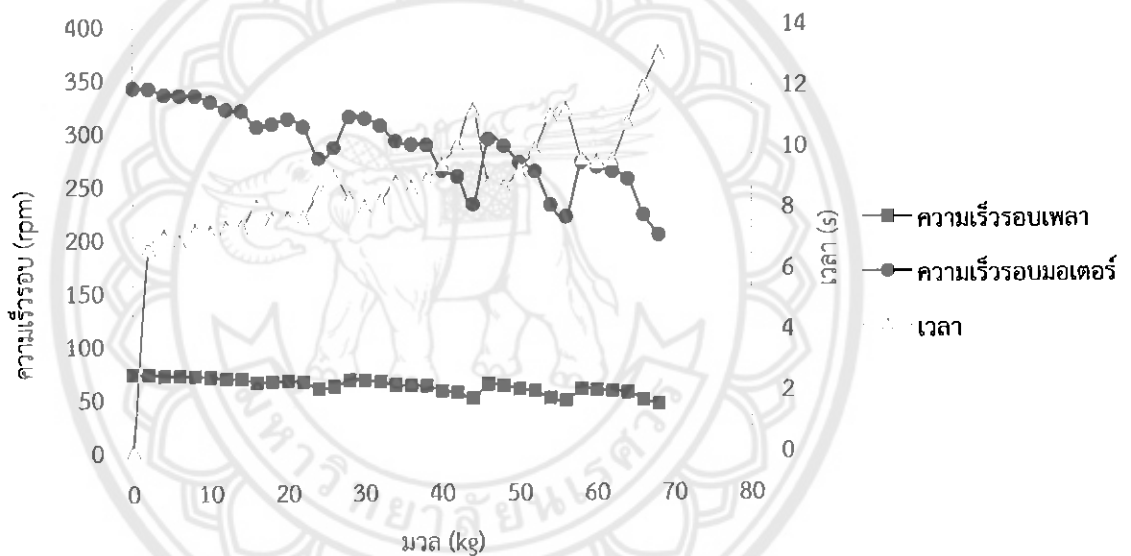
ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบเลื่อนหุ่นจำลองของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

ครั้งที่	อุปกรณ์รองรับ	เวลา (s)	กระแสไฟฟ้า		แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วรอบของแกนเพลา (rpm)
			สูงสุด (A)	คงที่ (A)		
1	ผ้าฝ้าย	6.28	20	7.3	24.0	60.4
2		6.57	9	6	24.0	62.5
3		6.61	15	7	23.9	60.7
4		6.61	11	7.5	23.8	60.5
5		6.83	14	7	23.6	60.1
เฉลี่ย		6.58	13.8	6.96	23.86	60.84
1	กระดานเลื่อน	6.39	11	5	24.2	63
2		6.38	10	5	23.6	64.4
3		5.89	8	5	24.2	66
4		5.96	12	5.5	24.6	65.6
5		6.06	18	5	24.3	65.3
เฉลี่ย		6.14	11.8	5.1	24.18	64.86

5.3.7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1. การทดลองดึงตะกร้าที่มีมวลถ่วงทรายด้วยชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

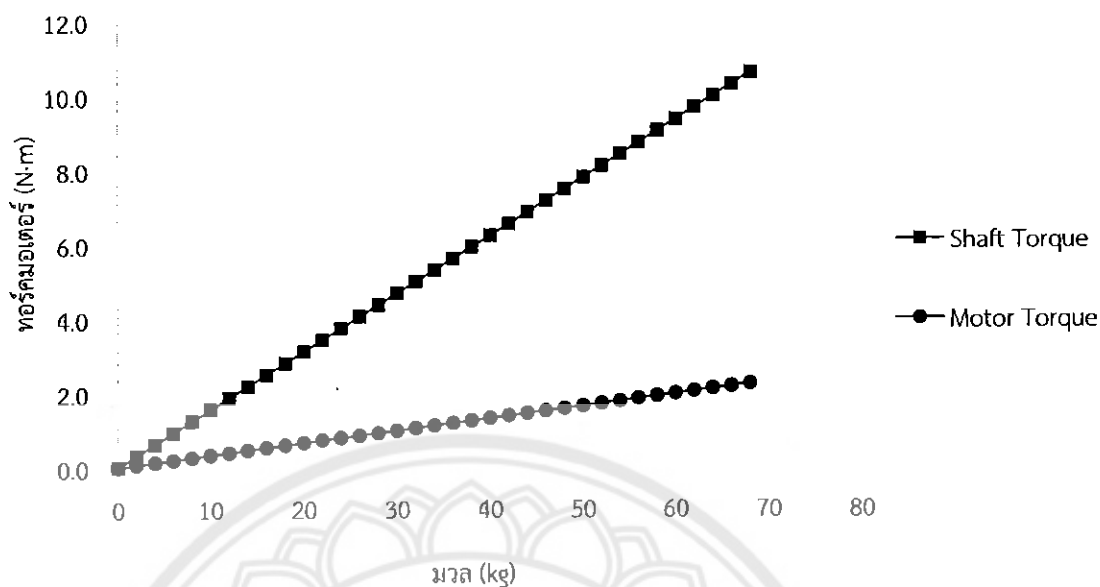
จากการทดลองดึงตะกร้าใส่ถ่วงทรายด้วยชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย เพื่อหาภาระสูงสุดที่ระบบสามารถรองรับได้ แล้วคำนวณย้อนกลับเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของมอเตอร์ที่ใช้ในระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย โดยทำการบันทึกค่าตัวแปรที่สนใจ ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการทดลองต่อหนึ่งรอบ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและความเร็วรอบของเพลลา จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และคำนวณหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ ซึ่งพบว่าเมื่อทำการทดลองด้วยการเพิ่มมวลมากขึ้นความเร็วรอบเพลลาของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยมีความเร็วลดลง และใช้เวลาในการทดลองต่อหนึ่งรอบมากขึ้น เมื่อนำความเร็วรอบเพลลาจากการทดลองคำนวณกับอัตราทดของเฟืองโซ่ซึ่งเท่ากับ 1 : 4.75 ได้ผลการคำนวณความเร็วรอบมอเตอร์ดังแสดงในกราฟที่ 5.1



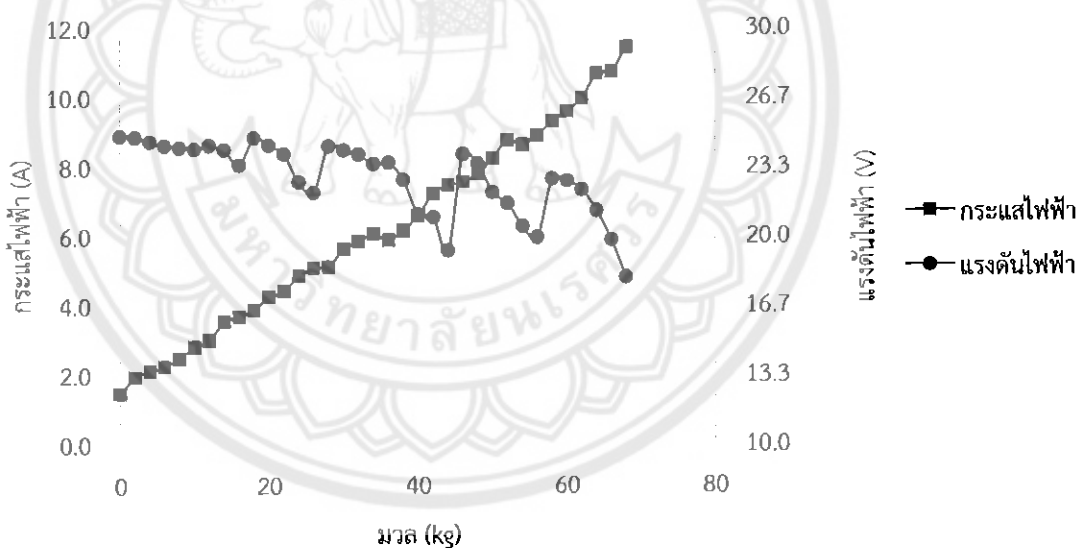
กราฟที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ ความเร็วรอบเพลลาและมอเตอร์กับมวล

เมื่อนำค่ามวลจากการทดลองมาคำนวณหาแรงเพื่อประกอบการคำนวณหาทอร์กที่เพลลาโดยใช้สมการที่ 3.4 จากนั้นทำการคำนวณทอร์กมอเตอร์โดยใช้อัตราทดของเฟืองโซ่ซึ่งเท่ากับ 1 : 4.75 ได้ความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับมวลดังแสดงในกราฟที่ 5.2 โดยทอร์กที่ได้จากการคำนวณมีค่าแปรผันตรงกับมวลที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองพบว่าเมื่อมวลเพิ่มขึ้นกระแสไฟฟ้าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในทางตรงกันข้ามเมื่อมวลเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าจะมีความลดลง โดยมีความสัมพันธ์ดังแสดงในกราฟที่ 5.3

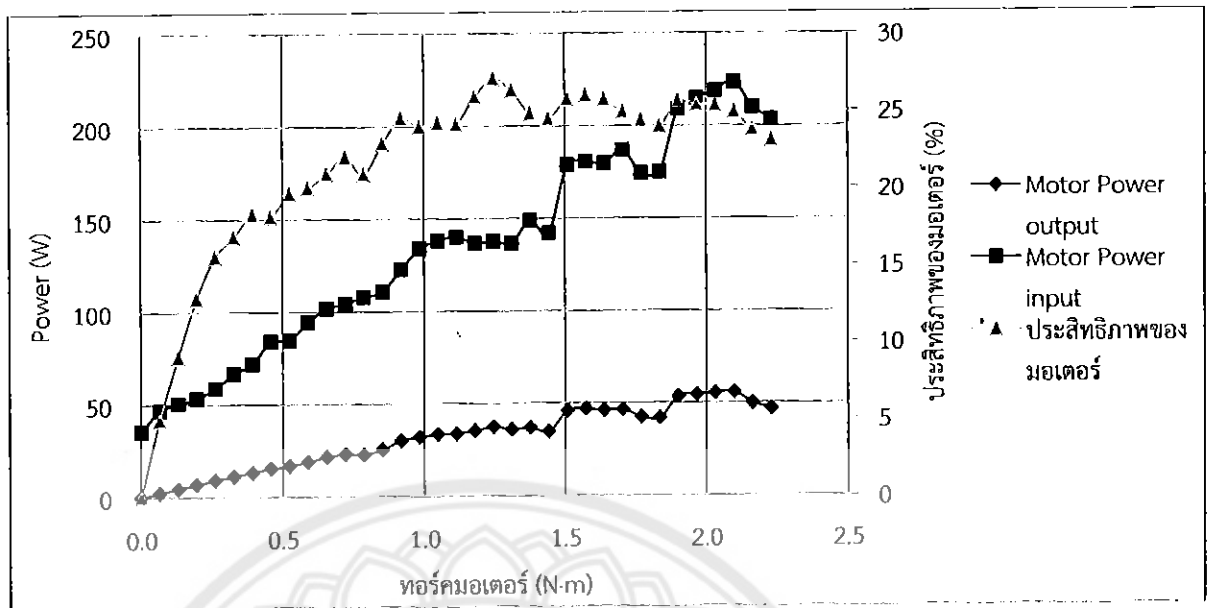


กราฟที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับมวล



กราฟที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ากับมวล

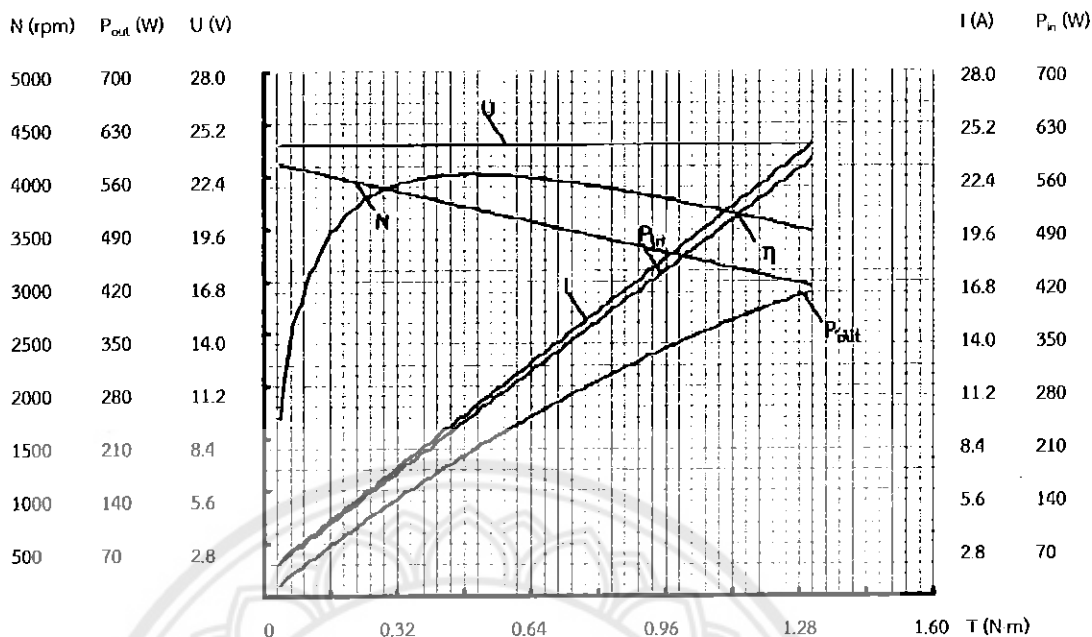
ทั้งนี้เมื่อนำค่าความเร็วรอบ (ω) และทอร์กมอเตอร์ (T) มาคำนวณหาค่ากำลังที่มอเตอร์ให้ออกมา (P_{output}) โดยใช้สมการ $P_{output} = T\omega$ และนำค่ากระแสไฟฟ้า (I) และแรงดันไฟฟ้า (V) มาคำนวณหาค่ากำลังที่ต้องจ่ายให้กับมอเตอร์ (P_{input}) โดยใช้สมการ $P_{input} = IV$ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาคำนวณประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้สมการ $eff = P_{output} / P_{input}$ ได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในกราฟที่ 5.4



กราฟที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังมอเตอร์และประสิทธิภาพของมอเตอร์กับมวล

จากกราฟ 5.4 สังเกตได้ว่าเมื่อมวลเพิ่มขึ้นกำลังของมอเตอร์ที่ใช้จะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อเพียงต่อการรับภาระของระบบ ทั้งนี้กราฟประสิทธิภาพมีลักษณะที่แตกต่างจากกราฟกำลังของมอเตอร์โดยประสิทธิภาพของมอเตอร์มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงมวลเริ่มต้นจนถึงมวล 38 กิโลกรัม จากนั้นพบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพลดลง ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดของมอเตอร์ที่คำนวณได้เท่ากับ 27.06% ที่มวล 38 กิโลกรัม เนื่องจากการทดลองมีการใช้งานมอเตอร์อย่างต่อเนื่องอาจก่อให้เกิดการสูญเสียทั้งทางกลและความร้อนซึ่งอาจส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพที่ได้มีค่าน้อยกว่าที่ควร ทั้งนี้ได้หยุดการทดลองไว้ที่น้ำหนัก 68 กิโลกรัม เนื่องจากพบว่ามอเตอร์หมุนช้าลงมาก มีความร้อนสูง และมีเสียงดังค่อนข้างมากจากตัวมอเตอร์เองและจากเฟืองโซ่ส่งกำลัง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับกราฟประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ยังไม่ได้ทดสอบซึ่งเป็นกราฟที่ทางผู้ผลิตเป็นผู้ทำการทดสอบ (กราฟที่ 5.5) จึงไม่สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะของมอเตอร์ได้โดยตรง อย่างไรก็ตามกราฟของตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับกราฟของผู้ผลิต ทั้งนี้การที่ประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่า 30% นั้นอาจเกิดจากการสูญเสียงานในระบบส่งกำลังและการทดกำลัง



กราฟที่ 5.5 กราฟประสิทธิภาพของมอเตอร์ [33]

2. การทดสอบเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองด้วยชุดอุปกรณ์ทดลองระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย จากการทดสอบเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองของอุปกรณ์ทดลองระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย เพื่อทดสอบการทำงานของระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเมื่อวัสดุของอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยแตกต่างกัน โดยทำการบันทึกค่าที่สนใจ ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการดึงอุปกรณ์รองรับผู้ป่วย กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและความเร็วรอบเพลา จากนั้นคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 การคำนวณผลการทดสอบเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองของชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

ชนิดของอุปกรณ์รองรับ	Shaft Torque (N.m)	Motor Torque (N.m)	Motor Power output (W)	Motor Power input (W)	ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%)
ผ้าฝ้าย	9.03	1.90	57.55	166.07	34.65
กระดานเลื่อน	5.54	1.17	37.66	123.32	30.54

จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อทำการทดสอบโดยใช้อุปกรณ์รองรับผู้ป่วยที่เป็นผ้าฝ้ายส่งผลให้เกิดทอร์คและใช้กำลังมอเตอร์สูงกว่าการใช้อุปกรณ์รองรับผู้ป่วยที่เป็นกระดานเลื่อน เมื่อทำการคำนวณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์แล้ว การใช้อุปกรณ์รองรับผู้ป่วยที่เป็นผ้าฝ้ายให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูงกว่าการใช้อุปกรณ์รองรับผู้ป่วยที่เป็นกระดานเลื่อน ซึ่งอาจเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผ้าฝ้ายกับผ้าปูเตียงมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างกระดานเลื่อนกับผ้าปูเตียง จึงส่งผลให้อุปกรณ์รองรับผู้ป่วยที่เป็นผ้าฝ้ายต้องใช้กำลังมอเตอร์ (P_{output}) สูงกว่าการใช้อุปกรณ์รองรับผู้ป่วยที่เป็นกระดานเลื่อนค่อนข้างมาก และเมื่อนำมาคำนวณด้วยสมการ $\text{eff} = P_{\text{output}}/P_{\text{input}}$ จึงได้ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่สูงกว่าเช่นกัน



บทที่ 6

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบ แบ่งการดำเนินงานไว้เป็น 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ การออกแบบต้นแบบอุปกรณ์ และการสร้างและทดสอบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ซึ่งได้สรุปผลการดำเนินงานดังนี้

สำหรับการออกแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบ เริ่มจากศึกษาความต้องการของผู้ใช้งานและศึกษาผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในท้องตลาดเพื่อกำหนดเป็นขอบเขตของโครงการ จากนั้นทำการวิเคราะห์ฟังก์ชันการทำงานของอุปกรณ์ โดยหลักการทำงานของอุปกรณ์คือใช้สำหรับเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากเตียงที่หนึ่งสู่เตียงที่สองในแนวราบจากการดึงอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยซึ่งมีลักษณะเป็นผ้าหรือกระดานเลื่อนด้วยสายดิ่งที่ต่ออยู่กับเพลาซึ่งส่งผ่านกำลังและการเคลื่อนที่มาจากมอเตอร์เกียร์ทดจากการทดลองหาแรงดึงสูงสุดที่ใช้ในการเลื่อนหุ่นจำลองน้ำหนัก 120 กิโลกรัม ในแนวราบ พบว่าอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยที่เป็นผ้าฝ้ายต้องใช้มวลของถ่วงทรายเฉลี่ย 58 กิโลกรัม และอุปกรณ์รองรับผู้ป่วยที่เป็นกระดานเลื่อนต้องใช้มวลของถ่วงทราย 35.6 กิโลกรัม ในการถ่วงน้ำหนักทำให้หุ่นจำลองเริ่มเคลื่อนที่ ในส่วนของเพลาใช้หลักการออกแบบวิศวกรรมในการคำนวณขนาดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน ซึ่งจากผลการคำนวณสามารถเลือกเพลาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 31.75 มิลลิเมตร โดยเพลาที่มีความเค้นเฉือนจากภาระบิดเท่ากับ 23.79 MPa มีความเค้นดัดเท่ากับ 31 MPa เกิดมุมบิดเท่ากับ 0.125 องศา มีความเค้นเฉือนจากแรงเฉือน 0.414 MPa และมีการโก่งตัวสูงสุด 1.056 มิลลิเมตร และนอกจากนี้ยังใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง พบว่าโครงสร้างของอุปกรณ์เกิดความเค้น Von Mises สูงสุดบริเวณแกนตัวยึดสายดิ่งมีค่าเท่ากับ 37.50 MPa และเพลาเกิดการโก่งสูงสุดประมาณ 0.958 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการโก่งที่ได้จากการคำนวณประมาณ 7.95% จึงสรุปได้ว่าเพลาที่ได้ออกแบบไว้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย และจากผลการออกแบบสามารถสรุปลักษณะของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบได้ดังแสดงในตารางที่ 6.1

ในส่วนของการสร้างและทดสอบนั้นได้ทำการสร้างอุปกรณ์ทดสอบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเพื่อใช้(1) ทดสอบมอเตอร์ของระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยตามที่ได้ออกแบบไว้ และ (2) ทดสอบการใช้งานเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโดยใช้หุ่นจำลอง จากผลการทดสอบมอเตอร์พบว่ามอเตอร์ที่เลือกใช้คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 V แบบมีเกียร์ทด (9.78:1) ขนาดกำลัง 250 W ความเร็วรอบ 337 rpm สามารถดึงตะกร้าที่บรรจุถุงทรายมีมวลสูงสุด (ณ ขณะทำการทดสอบ) 68 กิโลกรัม ในแนวตั้ง (ผ่านรอก) ได้ โดยได้ประสิทธิภาพของมอเตอร์เท่ากับ 23.04% ในส่วนของการทดสอบการใช้งาน โดยใช้อุปกรณ์รองรับผู้ป่วยเป็นผ้าฝ้ายและกระดานเลื่อน พบว่ากลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่สร้างขึ้นสามารถเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองที่มีน้ำหนัก 120 กิโลกรัม ในแนวราบได้ โดยมีประสิทธิภาพของมอเตอร์เท่ากับ 34.65% และ 30.54% ตามลำดับ

ตารางที่ 6.1 ลักษณะของต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วย

ขนาดของอุปกรณ์ (กว้าง x ยาว x สูง)	100 x 130 x 121 cm
ระยะสูงสุดของอุปกรณ์	121 cm
ระยะต่ำสุดของอุปกรณ์	81 cm
ระยะการปรับความสูง	40 cm
ต้งน้ำหนักสูงสุด	120 kg
การเคลื่อนย้าย	มีล้อเลื่อนที่สามารถล็อกได้
แหล่งพลังงาน	ใช้แบตเตอรี่ 24 VDC 18 Ah
อุปกรณ์รองรับผู้ป่วย	ผ้าฝ้าย/กระดานเลื่อน
ระยะตั้งอุปกรณ์รองรับผู้ป่วย	90 cm

จากผลการวิเคราะห์การออกแบบและผลการทดสอบโดยใช้อุปกรณ์ทดลองระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในการเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองในแนวราบ สามารถสรุปได้ว่าต้นแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยในแนวราบสามารถนำมาสร้างและใช้งานได้อย่างปลอดภัย

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

6.2.1 จากการใช้ชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในการทดลองเคลื่อนย้ายหุ่นจำลองน้ำหนัก 120 กิโลกรัม พบว่าในขณะที่กลไกทำงานทำให้เกิดเสียงดัง ซึ่งคาดว่าเกิดจากระบบส่งกำลังเนื่องจากเป็นระบบเฟืองโซ่ทดกำลัง หากเปลี่ยนเป็นระบบส่งกำลังประเภทอื่น เช่น สายพานหรือเฟืองเฉียงอาจจะช่วยลดเสียงที่เกิดจากระบบส่งกำลังได้

6.2.2 พัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยให้มีเซ็นเซอร์ตรวจสอบเพื่อช่วยหยุดการดึงอัตโนมัติ

บรรณานุกรม

- [1] รายงานทรัพยากรสาธารณสุข สถิติสาธารณสุข, กระทรวงสาธารณสุข, 2557.
- [2] โรสมารินทร์ สุขเกษม, การวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ของงานยกผู้ป่วยในโรงพยาบาล, วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [3] ชลาลัย ทองพูล, การบาดเจ็บโครงร่างกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการทำงานและพฤติกรรมเสี่ยงจากการประกอบอาชีพของพยาบาลในโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาพยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต (การพยาบาลอาชีวอนามัย) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552.
- [4] นุชนารถ กันธิยะ, กลุ่มอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการทำงานและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในพยาบาล, วิทยานิพนธ์ปริญญาพยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต (การพยาบาลอาชีวอนามัย) บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552.
- [5] <https://www.gotoknow.org> [สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2558]
- [6] <http://blog.goldenlifehome.com> [สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2558]
- [7] <http://emsnkp.ueuo.com> [สืบค้นเมื่อ 27 พฤศจิกายน พ.ศ.2558]
- [8] <https://www.tci-thaijo.org> [สืบค้นเมื่อ 22 พฤศจิกายน 2558]
- [9] สุรศักดิ์ ศรีสุข, เล็ก ปรีวิสุทธิ, นวลอนงค์ เลิศรัตน. อาการปวดคอ. กรุงเทพฯ: หมอชาวบ้าน.
- [10] <https://www.google.co.th> [สืบค้นเมื่อ 22 พฤศจิกายน 2558]
- [11] <http://www.scanmedical.com/transferboard.htm> [สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม พ.ศ.2558]
- [12] <http://www.lcrhea.ro/comanda-slidems.php> [สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม พ.ศ.2558]
- [13] <http://www.dotmed.com> [สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม พ.ศ.2558]
- [14] <http://www.steomedical.com> [สืบค้นเมื่อ 21 ตุลาคม พ.ศ.2558]
- [15] <https://www.linkedin.com> [สืบค้นเมื่อ 21 ตุลาคม พ.ศ.2558]
- [16] <http://www.fragoimpex.com> [สืบค้นเมื่อ 22 ตุลาคม พ.ศ.2558]
- [17] <http://www.patientliftsystems.net> [สืบค้นเมื่อ 22 ตุลาคม พ.ศ.2558]
- [18] พสุ สิริสารี และคณะ, การออกแบบและพัฒนาเครื่องยกผู้ป่วย, รายงานประจำปี 2556 ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2556.
- [19] เดชฤทธิ์ มณีธรรม และนิยม ลออปกษิณ, ชุดอุปกรณ์ยกและเคลื่อนย้ายผู้ป่วยควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์, สิทธิบัตรหมายเลข 7566, 2555.
- [20] บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ และคณะ, อุปกรณ์ยกอัตโนมัติ (Home-Auto lifting System), วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัธยมศึกษา, 2555.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [21] Hu C. T., Dipaola C. P., Conrad B. P., Horodyski M., Del Rossi G., Rehtine G. R., Motion is reduced in the unstable spine with the use of mechanical devices for bed transfers, The Journal of Spinal Cord Medicine, Vol. 3, No. 1, 2013, p.58-65.
- [22] Anil Mital. (2007). Product Development. butterworth-heinemann.
- [23] Paola.De Leva. (1996). ADJUSTMENTS TO ZATSIORSKY-SELUYANOV'S SEGMENT INERTIA PARAMETERS. Kinesiology Department, Indiana University, Bloomington.
- [24] บรรจบ อรชร. (2548). กลศาสตร์ของแข็ง. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมกรุงเทพ.
- [25] <http://www.building.cmtc.ac.th> [สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2558]
- [26] http://eng.sut.ac.th/ae/engsut/sites/default/files/AMD9_Chain.pdf [สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม พ.ศ.2559]
- [27] เจษฎา ชินรุ่งเรือง. (2551). ทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [28] <http://www.myfirstbrain.com> [สืบค้นเมื่อ 22 มกราคม พ.ศ.2559]
- [29] <http://www.pbclinear.com/Blog/What-is-a-Linear-Actuator> [สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม พ.ศ. 2559]
- [30] <http://www.design-engineering.com/products/linear-actuators-4> [สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม พ.ศ. 2559]
- [31] <http://www.sizethailand.org> [สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม พ.ศ.2559]
- [32] <http://www.mrtoolshop.com> [สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน พ.ศ.2559]
- [33] <http://www.ebikethaikit.com> [สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน พ.ศ.2559]
- [34] <http://www.cothai.com> [สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน พ.ศ.2559]
- [35] <http://519ebike.weloveshopping.com> [สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน พ.ศ.2559]



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยนเรศวร



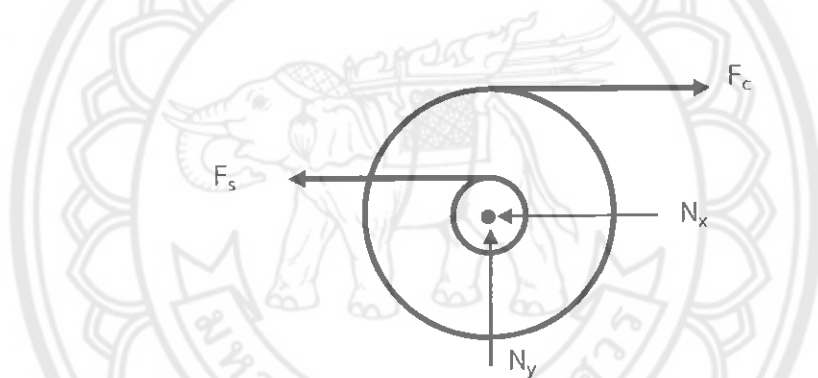
ก.1 การคำนวณแรงเหวี่ยงและโมเมนต์ดัดของเพลลา

ในการคำนวณแรงเหวี่ยงและโมเมนต์ดัดของเพลลานั้นเริ่มจากการคำนวณแรงที่ใช้ดึงผู้ป่วย กำหนดให้ผู้ป่วยมีน้ำหนัก 120 kg แรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 9.81 m/s^2 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad F &= mg & (ก.1) \\ F &= (120)(9.81) \\ F &= 1177.2 \text{ N} \end{aligned}$$

เนื่องจากการดึงผู้ป่วยนั้นใช้สายดึงสองเส้น ดังนั้นแรงดึงผู้ป่วยของสายดึงจะได้เส้นละ 588.6 N

จากนั้นคำนวณแรงที่เกิดขึ้นบนเฟืองโซ่จากการดึงผู้ป่วย กำหนดให้เฟืองโซ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 181 mm และเพลลา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 31.75 mm โดยมีแรงดึงจากเพลลา (F_s) แรงดึงจากเฟืองโซ่ (F_c) และแรงปฏิกิริยาจากแบริ่ง (N_x , N_y) ดังแสดงในรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 การวิเคราะห์แรงระหว่างเพลลา กับเฟืองโซ่

จากสมการ

$$\sum M = 0;$$

จะได้ว่า

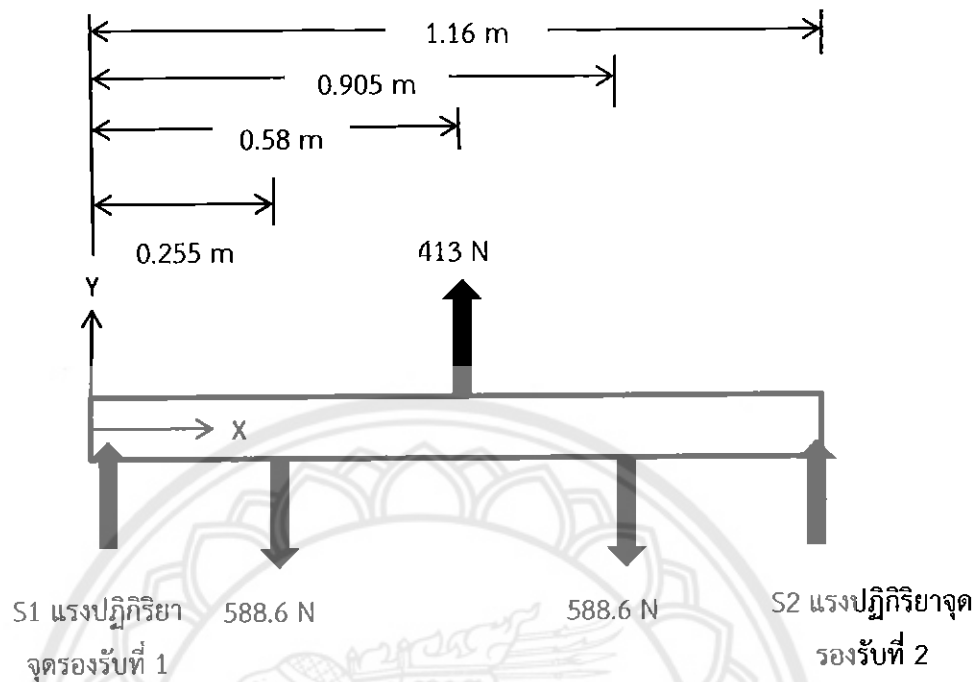
$$F_c r_c - 2 \left(\frac{F_s}{2} \right) r_s = 0$$

$$F_c = \frac{F_s r_s}{r_c}$$

$$F_c = \frac{1177.2 \times 31.75}{181}$$

$$F_c = 206.5 \text{ N}$$

แต่เนื่องจากเฟืองโซ่มีแรงดึงสองด้าน ดังนั้นแรงดึงที่เกิดขึ้นบนเฟืองโซ่มีค่าเท่ากับ 413 N เมื่อทราบแรงดึงที่เกิดขึ้นทั้งหมดบนเพลลา จากนั้นทำการคำนวณแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับของแบริ่งทั้งสองตัว โดยพิจารณาโมเมนต์ที่จุดรองรับของแบริ่งตัวที่ 1 จาก FBD ของภาระที่กระทำบนเพลลา ดังรูปที่ ก.2 จะได้ว่า



รูปที่ ก.2 FBD ของภาระที่กระทำบนเพลา

พิจารณาโมเมนต์ที่จุดรองรับที่ 1 $\sum M_{r1} = 0;$

จะได้ว่า

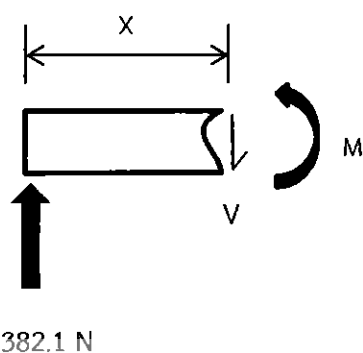
$$-(588.6)(0.255) + (413)(0.58) - (588.6)(0.905) + (s_2)(1.16) = 0$$

$$s_2 = 382.1 \text{ N}$$

ดังนั้นแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับของแบริ่งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 382.1 N ซึ่งภาระที่กระทำบนเพลา
นั้นมีความสมมาตรทำให้แรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับของแบริ่งที่ 1 มีค่าเท่ากัน

เมื่อทราบภาระทั้งหมดที่กระทำบนเพลา จากนั้นสามารถคำนวณแรงเฉือนและโมเมนต์ตัด
ของเพลา กำหนดให้มีแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับของแบริ่งทั้งสองจุด จุดละ 382.1 N แรงดึงของ
มอเตอร์ 413 N และแรงดึงบนเพลาทั้งสองจุด จุดละ 588.6 N สามารถคำนวณแรงเฉือนและโมเมนต์
ตัดสูงสุด จะได้ว่า

พิจารณาแรงเฉือนและโมเมนต์คัตของเพลาบริเวณหน้าตัดช่วงที่ 1 ดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 การพิจารณาเพลาบริเวณหน้าตัดช่วงที่ 1

พิจารณาช่วงความยาวของเพลา $0 \text{ m} < x < 0.255 \text{ m}$

จากสมการ

$$\sum M = 0;$$

จะได้ว่า

$$M - 382.1x = 0$$

$$M = 382.1x \text{ N}$$

(ก.2)

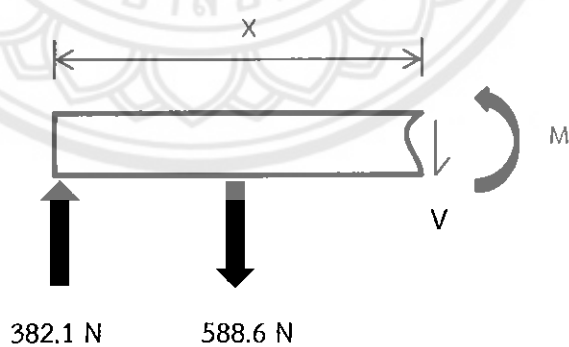
จากสมการ

$$\sum F = 0;$$

$$-V + 382.1 = 0$$

$$V = 382.1 \text{ N}$$

พิจารณาแรงเฉือนและโมเมนต์คัตของเพลาบริเวณหน้าตัดช่วงที่ 2 ดังรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.4 การพิจารณาเพลาบริเวณหน้าตัดช่วงที่ 2

พิจารณาช่วงความยาวของเพลา $0.255 \text{ m} < x < 0.58 \text{ m}$

จากสมการ

$$\sum M = 0;$$

จะได้ว่า

$$M - 382.1x + 588.6(x - 0.255) = 0$$

$$M = 150.093 - 206.5x \quad N \quad (ก.3)$$

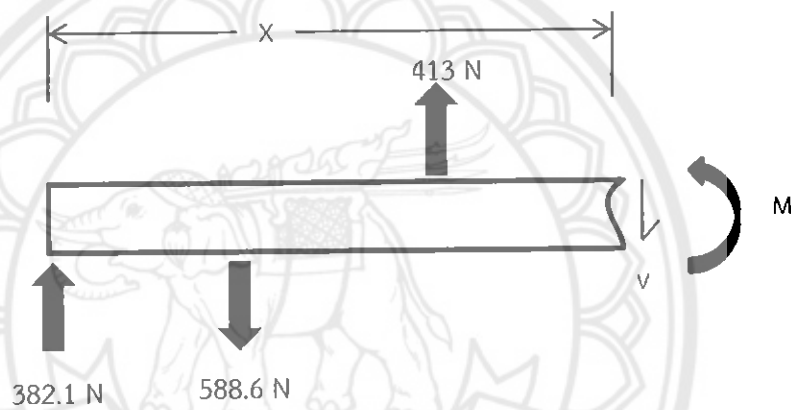
จากสมการ

$$\sum F = 0;$$

$$382.1 - V - 588.6 = 0$$

$$V = -206.5 \quad N$$

พิจารณาแรงเฉือนและโมเมนต์ตัดของเพลาบริเวณหน้าตัดช่วงที่ 3 ดังรูปที่ ก.5



รูปที่ ก.5 การพิจารณาเพลาบริเวณหน้าตัดช่วงที่ 3

พิจารณาช่วงความยาวของเพลา $0.58 \text{ m} < x < 0.905 \text{ m}$

จากสมการ

$$\sum M = 0;$$

จะได้ว่า

$$M - 413(x - 0.58) + 588.6(x - 0.255) - 382.1x = 0$$

$$M = 206.5x - 89.447 \quad N \quad (ก.4)$$

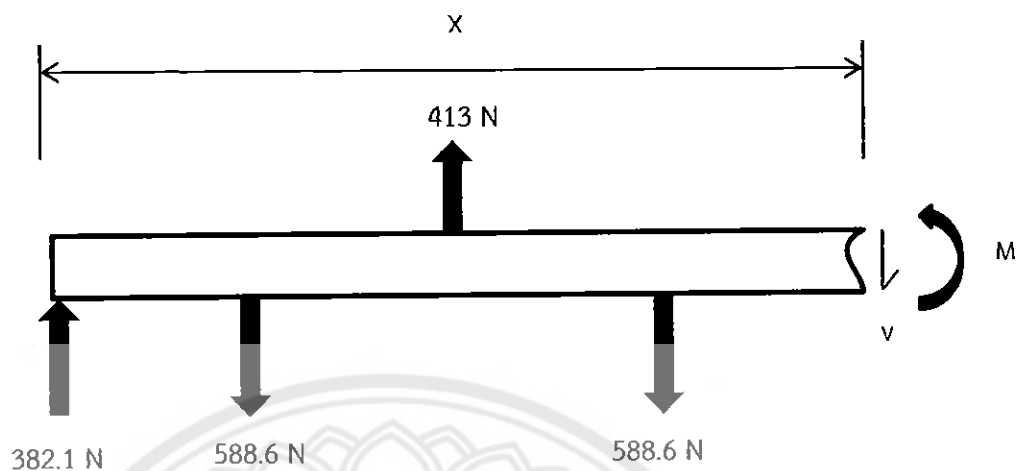
จากสมการ

$$\sum F = 0;$$

$$382.1 + 413 = 588.6 + V$$

$$V = 206.5 \quad N$$

พิจารณาแรงเฉือนและโมเมนต์คัตของเพลาบริเวณหน้าตัดช่วงที่ 4 ดังรูปที่ ก.6



รูปที่ ก.6 การพิจารณาเพลาบริเวณหน้าตัดช่วงที่ 4

พิจารณาช่วงความยาวของเพลา $0.905 \text{ m} < x < 1.16 \text{ m}$

จากสมการ

$$\sum M = 0;$$

จะได้ว่า

$$M + 588.6(x - 0.905) - 413(x - 0.58) + 588.6(x - 0.255) - 382.1x = 0 \quad (\text{ก.5})$$

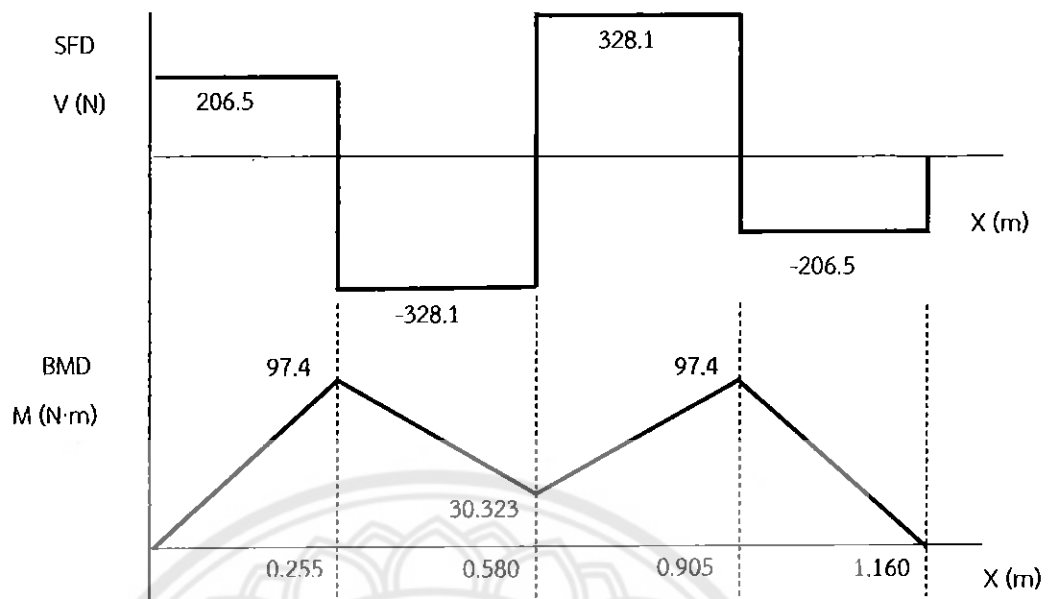
$$M = 443.236 - 382.1x \text{ N}$$

จากสมการ

$$\sum F = 0;$$

$$382.1 + 413 = 588.6 + 588.6 + V$$

$$V = -382.1 \text{ N}$$



รูปที่ ก.7 แผนภาพแรงเฉือน (Shear Force Diagram: SFD) และโมเมนต์ดัด
(Bending Moment Diagram: BMD)

ก.2 การคำนวณความเค้นเฉือนของเพลานี้เนื่องจากแรงเฉือน

สำหรับการคำนวณความเค้นเฉือน (τ) เนื่องจากแรงเฉือนสูงสุด (V) ของเพลาลูกมียวมกลมตันที่เกิดขึ้นเมื่อรับภาระจากการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย สามารถหาได้จากสมการความเค้นเฉือน จะได้ว่า

จากสมการ
$$\tau = \frac{V}{A} \quad (\text{ก.6})$$

แทนค่า
$$\tau = \frac{328.1}{\pi \left(\frac{31.75 \times 10^{-3}}{2} \right)^2}$$

$$\tau = 414408 \text{ Pa}$$

หรือ
$$\tau = 0.414 \text{ MPa}$$

ดังนั้นความเค้นเฉือนของเพลานี้เมื่อมีการรับภาระจากการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยมีค่าเท่ากับ 0.414 MPa

ก.3 การคำนวณการโก่งตัวของเพลลา

การคำนวณการโก่งตัวของเพลลาจากทฤษฎี Double Integration กำหนดให้อะลูมิเนียมมีค่า Modulus of Elasticity (E) เท่ากับ 73 GPa [24] และเพลลาเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 31.75 mm มีค่า $I = 4.99 \times 10^{-8} \text{ m}^4$ จะได้ว่า

จากสมการ (2.6)

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M(x)$$

พิจารณาช่วงความยาวของเพลลา $0 < x < 0.255 \text{ m}$

จะได้สมการโมเมนต์ตัด $M = 382.1x$ (ก.7)

สูงสุด

จะได้ว่า

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = 382.1x$$

อินทิเกรตครั้งที่หนึ่ง

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M(x) dx$$

$$EI \frac{dx}{dy} = \frac{382.1x^2}{2} + C_1 \quad (\text{ก.8})$$

อินทิเกรตครั้งที่สอง

$$EIy = \iint (M(x) dx) dx$$

$$EIy = \frac{382.1x^3}{6} + C_1x + C_2 \quad (\text{ก.9})$$

ทำการแก้สมการเพื่อหาตัวแปร C_1 และ C_2

กำหนดเงื่อนไขให้ $y=0$ เมื่อ $x=0$ แทนค่าในสมการ (2.3)

จะได้ $C_2 = 0$

กำหนดเงื่อนไขให้ $y=0$ เมื่อ $x=0.255$ แทนค่าในสมการ (2.3)

จะได้ $C_1 = -4.141$

จากสมการ (2.2) หาค่าตำแหน่งการโก่งตัวสูงสุดของเพลลา

$$y_{\max} \text{ เมื่อ } \frac{dy}{dx} = 0$$

จะได้ว่า

$$\frac{dx}{dy} = \frac{1}{EI} \left[\frac{382.1x^2}{2} + C_1 \right] = 0$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{(73 \times 10^9 \times 4.99 \times 10^{-8})} \left[\frac{382.1x^2}{2} - 4.141 \right] = 0$$

$$x = 0.147 \text{ m}$$

จากสมการ (2.3) ทหาระยะโค้งตัวสูงสุดของเพลลา ที่ $x = 0.1472$ m

จะได้ว่า

$$y = \frac{1}{EI} \left[\frac{382.1x^3}{6} + C_1x + C_2 \right]$$

$$y = \frac{1}{(73 \times 10^9 \times 4.99 \times 10^{-8})} \left[\frac{382.1(0.1472)^3}{6} + (-4.141)(0.1472) + 0 \right]$$

$$y = -1.1158 \times 10^{-4} \text{ m}$$

หรือ

$$y = -0.112 \text{ mm}$$

จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาเพลลาในช่วงความยาวระหว่าง $0 - 0.255$ m มีการโค้งตัวสูงสุดเท่ากับ 0.112 mm ที่ตำแหน่ง 0.147 m ของความยาวเพลลา

พิจารณาช่วงความยาวของเพลลา $0 < x < 0.58$ m

จะได้สมการโมเมนต์ดัด $M = 150.093 - 206.5x$ (ก.10)

สูงสุด

จะได้ว่า

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = 150.093 - 206.5x$$

อินทิเกรตครั้งที่หนึ่ง

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M(x) dx$$

$$EI \frac{dy}{dx} = 150.093x - \frac{206.5x^2}{2} + C_1 \quad (\text{ก.11})$$

อินทิเกรตครั้งที่สอง

$$EIy = \iint (M(x) dx) dx$$

$$EIy = \frac{150.093x^2}{2} - \frac{206.5x^3}{6} + C_1x + C_2 \quad (\text{ก.12})$$

ทำการแก้สมการเพื่อหาตัวแปร C_1 และ C_2

กำหนดเงื่อนไขให้ $y=0$ เมื่อ $x=0$ แทนค่าในสมการ (2.6)

จะได้ $C_2 = 0$

กำหนดเงื่อนไขให้ $y=0$ เมื่อ $x=0.58$ แทนค่าในสมการ (2.6)

จะได้ $C_1 = -31.9772$

จากสมการ (2.5) หาดำแหน่งการโค้งตัวสูงสุดของเพลลา

$$y_{\max} \text{ เมื่อ } \frac{dy}{dx} = 0$$

จะได้ว่า
$$\frac{dx}{dy} = \frac{1}{EI} \left[150.093x - \frac{206.5x^2}{2} + C_1 \right] = 0$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{(73 \times 10^9 \times 4.99 \times 10^{-8})} \left[150.093x - \frac{206.5x^2}{2} + (-31.9772) \right] = 0$$

$$x = 0.259 \text{ m}$$

จากสมการ (2.6) ทหาระยะโค้งตัวสูงสุดของเพลลา ที่ $x = 0.2593 \text{ m}$

จะได้ว่า
$$y = \frac{1}{EI} \left[\frac{150.093x^2}{2} - \frac{206.5x^3}{6} + C_1x + C_2 \right]$$

$$y = \frac{1}{(73 \times 10^9 \times 4.99 \times 10^{-8})} \left[\frac{150.093(0.2593)^2}{2} - \frac{206.5(0.2593)^3}{6} - (31.9772)(0.2593) \right]$$

$$y = -1.0558 \times 10^{-3} \text{ m}$$

หรือ
$$y = -1.056 \text{ mm}$$

จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาเพลลาในช่วงความยาวระหว่าง $0 - 0.58 \text{ m}$ มีการโค้งตัวสูงสุดเท่ากับ 1.056 mm ที่ตำแหน่ง 0.259 m ของความยาวเพลลา

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเพลลาอลูมิเนียมกลมตันเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 31.75 mm มีระยะการโค้งตัวเท่ากับ 1.056 mm ที่ตำแหน่ง 0.259 m ของความยาวเพลลา ซึ่งถือว่ามีค่าน้อยมากทำให้แน่ใจได้ว่าเพลลาที่เลือกมานี้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

ก.4 การคำนวณมุมบิดของเพลลา

กำหนดให้เพลลามีแรงบิด (T) เท่ากับ $(120) \times (9.81) \times (31.75 \times 10^{-3})/2 = 18.69 \text{ N-m}$ มีระยะห่างระหว่างจุดติดตั้งเฟืองบนเพลลา (L) เท่ากับ 0.325 m และอลูมิเนียมมีโมดูลัสของการเฉือน (G) เท่ากับ 28 GPa [24] จะได้ว่า

จากสมการ (2.5)
$$\theta = \frac{TL}{GJ}$$

เมื่อ
$$J = \left(\frac{\pi}{2} \right) \left(\frac{d}{2} \right)^4$$

จะได้ว่า

$$\theta = \frac{(T)(L)}{(G)\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{d}{2}\right)^4}$$

แทนค่า

$$\theta = \frac{(18.69)(0.325)}{(28 \times 10^9)\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{31.75 \times 10^{-3}}{2}\right)^4}$$

$$\theta = 2.1743 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

หรือ

$$\theta = 0.125 \text{ องศา}$$





ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองดึงตะกร้าใส่ถุงทรายด้วยชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

ครั้งที่	มวลถุงทราย (kg)	เวลา (s)	กระแสไฟฟ้า		แรงดันไฟฟ้า (v)	ความเร็วรอบ เพลา (rpm)	ความเร็วรอบ มอเตอร์ (rpm)
			สูงสุด (A)	คงที่ (A)			
1	2	6.76	7.7	2.1	24.9	72.9	346.3
2		6.39	8.7	1.7	24.6	70.9	336.8
3		6.82	6.8	1.9	24.5	70.8	336.3
เฉลี่ย		6.66	7.7	1.9	24.7	71.5	339.8
1	4	7	6.4	2.2	24.4	72.3	343.4
2		7.14	5.2	2	24.5	67.7	321.6
3		7.06	5.1	2	24.5	71	337.3
เฉลี่ย		7.07	5.6	2.1	24.5	70.3	334.1
1	6	6.98	7.4	2.3	24	71	337.3
2		7.02	6	2.2	24.4	70.1	333.0
3		6.64	7.1	2.1	24.4	69.4	329.7
เฉลี่ย		6.88	6.8	2.2	24.3	70.2	333.3
1	8	7.27	8.4	2.5	24	71.2	338.2
2		7.07	8.5	2.4	24.3	69.4	329.7
3		7.36	10.5	2.4	24.2	69.7	331.1
เฉลี่ย		7.23	9.1	2.4	24.2	70.1	333.0
1	10	7.07	13.2	2.8	24	69.9	332.0
2		7.21	12.7	2.8	24.2	68.5	325.4
3		7.26	11.8	2.7	24.1	68.3	324.4
เฉลี่ย		7.18	12.6	2.8	24.1	68.9	327.3

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองติดตั้งกร้าใส่ถุงทรายด้วยชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย (ต่อ)

ครั้งที่	มวลถุงทราย (kg)	เวลา (s)	กระแสไฟฟ้า		แรงดันไฟฟ้า (v)	ความเร็วรอบ เพลา (rpm)	ความเร็วรอบ มอเตอร์ (rpm)
			สูงสุด (A)	คงที่ (A)			
1	12	7.19	18.3	3	24.7	67.4	320.2
2		7.33	14.7	2.9	24.1	67.4	320.2
3		7.51	11.6	3	24	67.1	318.7
เฉลี่ย		7.34	14.9	3.0	24.3	67.3	319.7
1	14	7.22	12.3	3.3	24.6	69.9	332.0
2		7.46	13.4	3.5	23.9	64.3	305.4
3		7.36	10.1	3.7	23.7	66.9	317.8
เฉลี่ย		7.35	11.9	3.5	24.1	67.0	318.4
1	16	7.27	18.3	3.5	24.6	68	323.0
2		8.39	13.7	3.6	23.6	64.3	305.4
3		8.39	17.4	3.8	21.8	59.2	281.2
เฉลี่ย		8.02	16.5	3.6	23.3	63.8	303.2
1	18	7.32	13.3	3.8	24.6	68.3	324.4
2		8.22	17.8	4	24.7	58.7	278.8
3		7.28	11.7	3.7	24.6	66.3	314.9
เฉลี่ย		7.61	14.3	3.8	24.6	64.4	306.1
1	20	7.83	15.6	4	24.1	65.6	311.6
2		7.47	19.1	4.4	24.4	66	313.5
3		7.64	18.3	4.2	24.3	64.6	306.9
เฉลี่ย		7.65	17.7	4.2	24.3	65.4	310.7
1	22	7.73	18.4	4.2	24	67.7	321.6
2		8.24	20.7	4.4	24.1	64.7	307.3
3		8.16	13.6	4.5	23.5	59.3	281.7
เฉลี่ย		8.04	17.6	4.4	23.9	63.9	303.5

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองดึงตะกร้าใส่ถุงทรายด้วยชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย (ต่อ)

ครั้งที่	มวลถุงทราย (kg)	เวลา (s)	กระแสไฟฟ้า		แรงดันไฟฟ้า (v)	ความเร็วรอบ เพลา (rpm)	ความเร็วรอบ มอเตอร์ (rpm)
			สูงสุด (A)	คงที่ (A)			
1	24	8.08	16.4	5	23.7	59.1	280.7
2		8.64	14.5	4.6	22.3	55.3	262.7
3		8.7	18.4	4.8	21.5	58.6	278.4
เฉลี่ย		8.47	16.4	4.8	22.5	57.7	273.9
1	26	7.71	15.8	5.3	24	65.6	311.6
2		9.49	17	4.7	21.3	57.1	271.2
3		9.75	12.3	5.1	20.7	56.5	268.4
เฉลี่ย		8.98	15.0	5.0	22.0	59.7	283.7
1	28	8.44	18.7	5.5	23.8	66	313.5
2		8.52	15.6	4.8	24.5	65.7	312.1
3		7.88	15.2	4.9	24.4	65.9	313.0
เฉลี่ย		8.28	16.5	5.1	24.2	65.9	312.9
1	30	8.36	19.3	6	23.7	66	313.5
2		7.67	16	5.2	24.2	67.3	319.7
3		7.98	12.4	5.5	24.2	63.2	300.2
เฉลี่ย		8.00	15.9	5.6	24.0	65.5	311.1
1	32	8.46	14.8	6.3	23.5	65.5	311.1
2		8.12	22	5.5	24	63.8	303.1
3		7.91	19	5.6	24	62.9	298.8
เฉลี่ย		8.16	18.6	5.8	23.8	64.1	304.3
1	34	9.35	18.5	6.2	22.5	59.6	283.1
2		8.37	18.2	5.9	23.8	62.2	295.5
3		8.66	14.9	5.9	23.8	61.1	290.2
เฉลี่ย		8.79	17.2	6.0	23.4	61.0	289.6

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองดึงตะกร้าใส่ถุงทรายด้วยชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย (ต่อ)

ครั้งที่	มวลถุงทราย (kg)	เวลา (s)	กระแสไฟฟ้า		แรงดันไฟฟ้า (v)	ความเร็วรอบ เพลา (rpm)	ความเร็วรอบ มอเตอร์ (rpm)
			สูงสุด (A)	คงที่ (A)			
1	36	9.46	18.4	6.2	22.5	59.6	283.1
2		8.46	17.6	5.5	24	60	285.0
3		7.96	18	5.8	23.8	61.3	291.2
เฉลี่ย		8.6	18.0	5.8	23.4	60.3	286.4
1	38	9.82	19.4	6.7	21	57.2	271.7
2		8.43	16.4	5.9	23.5	61	289.8
3		8.33	16.7	5.7	23.3	62.4	296.4
เฉลี่ย		8.86	17.5	6.1	22.6	60.2	286.0
1	40	9.57	19.8	6.9	20.9	55.8	265.1
2		9.71	16.1	6.2	21	54.2	257.5
3		8.83	15	6.5	20.9	55.3	262.7
เฉลี่ย		9.4	17.0	6.5	20.9	55.1	261.7
1	42	10.24	21.1	7.5	20.5	53.1	252.2
2		9.87	14.7	7	21.1	55.2	262.2
3		9.98	13.1	7	20.8	53.5	254.1
เฉลี่ย		10.0	16.3	7.2	20.8	53.9	256.2
1	44	11.95	18.7	7.8	18.8	48.5	230.4
2		10.09	12.3	7.2	20	50.3	238.9
3		11.43	11.8	7.2	18.8	46.4	220.4
เฉลี่ย		11.2	14.3	7.4	19.2	48.4	229.9
1	46	8.65	18.8	8	23.5	59.3	281.7
2		8.62	14.1	7.2	24	62.5	296.9
3		8.97	13.4	7.3	24	62.1	295.0
เฉลี่ย		8.7	15.4	7.5	23.8	61.3	291.2

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองดึงตะกร้าใส่ถุงทรายด้วยชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย (ต่อ)

ครั้งที่	มวลถุงทราย (kg)	เวลา (s)	กระแสไฟฟ้า		แรงดันไฟฟ้า (v)	ความเร็วรอบเพลา (rpm)	ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)
			สูงสุด (A)	คงที่ (A)			
1	48	8.46	13.6	8	23.3	57.4	272.7
2		8.66	20.1	7.7	23.8	61.2	290.7
3		8.82	19.2	7.5	23	61.3	291.2
เฉลี่ย		8.6	17.6	7.7	23.4	60	284.8
1	50	8.6	11	8.3	23.5	56.3	267.4
2		9.42	22	8	21.5	59.2	281.2
3		9.46	15.9	8.2	21	54.5	258.9
เฉลี่ย		9.2	16.3	8.2	22.0	56.7	269.2
1	52	9.85	18.2	8.3	23.5	58.6	278.4
2		9.45	15.1	8.9	20	53.7	255.1
3		10.31	12.9	8.9	20.9	52.2	248.0
เฉลี่ย		9.9	15.4	8.7	21.5	54.8	260.5
1	54	10.3	18.8	8.5	23	50.3	238.9
2		11.37	11.4	8.9	19.1	48.1	228.5
3		11.23	11.6	8.3	19	46.3	219.9
เฉลี่ย		11	13.9	8.6	20.4	48.2	229.1
1	56	10.26	13.8	8.7	22.8	49.3	234.2
2		11.55	14.2	9	18.5	44.3	210.4
3		11.69	11.8	8.8	18.2	44.2	210.0
เฉลี่ย		11.2	13.3	8.8	19.8	45.9	218.2
1	58	10.58	19.3	9	21.6	54.7	259.8
2		9.04	11.7	9.4	23.5	59	280.3
3		9.1	20.2	9.3	22.8	56.1	266.5
เฉลี่ย		9.6	17.1	9.2	22.6	56.6	268.9

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองดึงตะกร้าใส่ถุงทรายด้วยชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย (ต่อ)

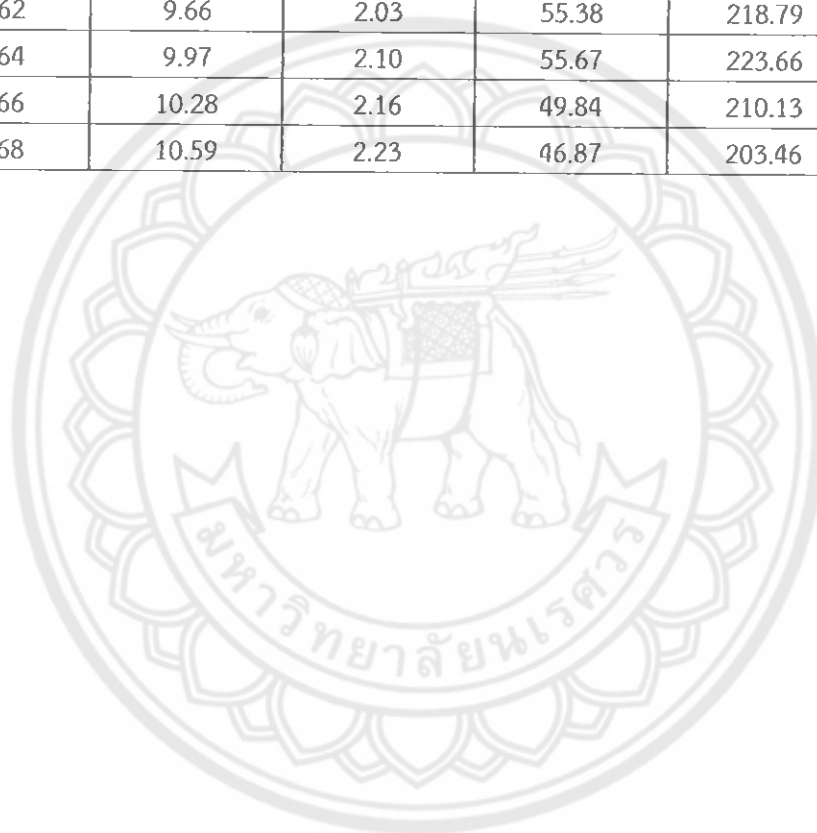
ครั้งที่	มวลถุงทราย (kg)	เวลา (s)	กระแสไฟฟ้า		แรงดันไฟฟ้า (v)	ความเร็วรอบเพลา (rpm)	ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)
			สูงสุด (A)	คงที่ (A)			
1	60	10.49	13.5	9.2	20.9	53	251.8
2		8.91	15.1	9.7	23.4	59	280.3
3		8.94	16.7	9.7	23.3	55.1	261.7
เฉลี่ย		9.4	15.1	9.5	22.5	55.7	264.6
1	62	10.3	12.4	10	20.5	51.5	244.6
2		8.79	22.6	9.6	23	56	266.0
3		9.47	20.1	10.1	22.8	56.8	269.8
เฉลี่ย		9.52	18.4	9.9	22.1	54.8	260.1
1	64	11.4	18.5	10.1	19.1	53.7	255.1
2		9.84	14.8	11	22.2	53.9	256.0
3		10.94	14.7	10.7	22	52.4	248.9
เฉลี่ย		10.7	16.0	10.6	21.1	53.3	253.3
1	66	12.93	18.1	10.4	18.5	40	190.0
2		11.06	14.4	10.6	20.5	50.4	239.4
3		11.76	14.6	11	20.1	48.5	230.4
เฉลี่ย		11.9	15.7	10.7	19.7	46.3	219.9
1	68	12.8	16.6	11	18	42.2	200.5
2		12.49	12.9	11.3	18	42.9	203.775
3		13.73	13.6	11.8	17.7	41.7	198.075
เฉลี่ย		13.0	14.4	11.4	17.9	42.3	200.8

ตารางที่ ข.2 ผลการคำนวณค่าตัวแปรจากการทดลองดึงตะกร้าใส่ถุงทรายด้วยชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

มวลถุงทราย (kg)	Shaft Torque (N.m)	Motor Torque (N.m)	Motor Power output (W)	Motor Power input (W)	ประสิทธิภาพ (%)
0	0.00	0.00	0.00	35.45	0.00
2	0.31	0.07	2.33	46.87	4.98
4	0.62	0.13	4.59	50.56	9.07
6	0.93	0.20	6.87	53.39	12.86
8	1.25	0.26	9.15	58.81	15.55
10	1.56	0.33	11.24	66.68	16.85
12	1.87	0.39	13.17	71.99	18.29
14	2.18	0.46	15.30	84.23	18.17
16	2.49	0.52	16.66	84.78	19.65
18	2.80	0.59	18.91	94.43	20.03
20	3.11	0.66	21.33	101.92	20.93
22	3.43	0.72	22.93	104.22	22.00
24	3.74	0.79	22.57	108.00	20.90
26	4.05	0.85	25.33	110.73	22.87
28	4.36	0.92	30.08	122.78	24.50
30	4.67	0.98	32.05	133.79	23.95
32	4.98	1.05	33.43	138.23	24.19
34	5.29	1.11	33.81	140.20	24.11
36	5.61	1.18	35.40	136.69	25.90
38	5.92	1.25	37.31	137.86	27.06
40	6.23	1.31	35.94	136.76	26.28
42	6.54	1.38	36.94	149.07	24.78
44	6.85	1.44	34.73	142.08	24.44
46	7.16	1.51	45.99	178.75	25.73
48	7.48	1.57	46.94	180.70	25.98
50	7.79	1.64	46.21	179.67	25.72
52	8.10	1.70	46.50	186.76	24.90

ตารางที่ ข.2 ผลการคำนวณค่าตัวแปรจากการทดลองดึงตะกร้าใส่ถุงทรายด้วยชุดทดสอบระบบกลไกเคลื่อนย้ายผู้ป่วย (ต่อ)

มวลถุงทราย (kg)	Shaft Torque (N.m)	Motor Torque (N.m)	Motor Power output (W)	Motor Power input (W)	ประสิทธิภาพ (%)
54	8.41	1.77	42.48	174.47	24.35
56	8.72	1.84	41.95	175.19	23.94
58	9.03	1.90	53.54	208.98	25.62
60	9.34	1.97	54.50	214.82	25.37
62	9.66	2.03	55.38	218.79	25.31
64	9.97	2.10	55.67	223.66	24.89
66	10.28	2.16	49.84	210.13	23.72
68	10.59	2.23	46.87	203.46	23.04



ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ : นายอดุลย์ พูลคำ
วัน เดือน ปีเกิด : วันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2537
ภูมิลำเนา : บ้านเลขที่ 268 หมู่ 13 ต.แม่กา อ.เมือง จ.พะเยา
ประวัติการศึกษา : ระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนอนุบาลเมืองพะเยาบ้านโทกหวาก
: ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนประชาบำรุง
: ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนประชาบำรุง
: ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

ชื่อ : นายกฤษณ์ มุลเมือง
วัน เดือน ปีเกิด : วันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2536
ภูมิลำเนา : บ้านเลขที่ 180 หมู่ 3 ต.บุญเกิด อ.ดอกคำใต้ จ.พะเยา
ประวัติการศึกษา : ระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนไทยรัฐวิทยา ๔๖
: ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนดอกคำใต้วิทยาคม
: ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนดอกคำใต้วิทยาคม
: ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

ชื่อ : นายภาณุพงศ์ พิพัฒน์
วัน เดือน ปีเกิด : วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2536
ภูมิลำเนา : บ้านเลขที่ 16 หมู่ 1 ต.ยางฮ่อม อ.ขุนตาล จ.เชียงราย
ประวัติการศึกษา : ระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านทุ่งน้ำแพร่ป่าบาง
: ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนบุญเรืองวิทยาคม
: ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนบุญเรืองวิทยาคม
: ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก