

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์บำบัดการบำบัดประเภทยืดหยุ่น
DESIGN AND FABRICATION OF SKATEBOARD OCCUPATIONAL,
THERAPY EQUIPMENT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทสเก็ตบอร์ด

DESIGN AND FABRICATION OF SKATEBOARD OCCUPATIONAL THERAPY EQUIPMENT

โดย



T119482

นาย ศุภศิษย์ จีระพัทธ์

นาย จูติพงษ์ กันตารณวัฒน์

นาย ศุภณัฐ ทักษาศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.อนุตต์ พิณโสภณ

ร.พ.

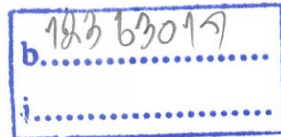
ร.พ. 79317

2553

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....119482.....

วัน,เดือน,ปี.....ค.ศ. 2554



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทสเก็ตบอร์ด

DESIGN AND FABRICATION OF SKATEBOARD OCCUPATIONAL THERAPY EQUIPMENT

ผู้จัดทำ

1. นาย สุภศิษฏ์ จีระภัทร์ รหัสประจำตัว 49010993
2. นาย สุทธิพงษ์ กันตารณวัฒน์ รหัสประจำตัว 50010408
3. นาย สุภณัฐ ทัพสาคร รหัสประจำตัว 50011591


อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.อุन्नัต พิณ โสภณ)

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด

นาย ศุภศิษฏ์	จิรภัทร์	49010993
นาย จูติพงษ์	กันตารณวัฒน์	50010408
นาย ศุภณัฐ	ทัพศาสตร์	50011591

ผศ.ดร.อุนนต์ พินโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษา พัฒนา และสร้างอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาอุปกรณ์จากเดิมที่ไม่สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ ให้สามารถทำงานได้โดยระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งเครื่องต้นแบบสามารถเคลื่อนที่ได้ 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ ลักษณะเคลื่อนที่เป็นครึ่งวงกลม ลักษณะเคลื่อนที่เป็นวงกลม และลักษณะเคลื่อนที่เป็นเลขแปด โดยการทำงานของเครื่องอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นนั้น ทำงานได้โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของกลไกสี่ลิงค์ (Four-bar linkage) เป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งในการออกแบบได้มีการคำนวณให้ลักษณะการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นของอุปกรณ์มีความใกล้เคียงกับลักษณะการเคลื่อนที่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยเครื่องต้นแบบที่ถูกสร้างขึ้นได้ถูกนำไปทดสอบ โคนแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ และทดลองใช้จริงกับผู้ป่วย เพื่อประเมินการทำงาน และประสิทธิภาพของเครื่องเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป

DESIGN AND FABRICATION OF SKATEBOARD OCCUPATIONAL THERAPY EQUIPMENT

Suppasit Geerapatr

Thitipong Kantathanawat

Suppanat Thapsart

Assoc.Prof. Dr.Unnat Pinsopon Advisor

Abstract

This study aims at investigating and building up innovative equipment for occupational therapy in type of skateboard. This innovation is utilized as an original model for further development. Its purpose is for the patient better occupational therapy. This innovation is to transform existing equipment unable to function automatically into an automatic control device. The mechanism of this original device consists of 3 characteristics of movement. Those are (1) quarter movement of the circle, (2) circle movement and (3) 8-shapte movement. Which the equipment for occupational therapy in type of skateboard that develop by using Four-bar linkage theory for movement. The design of movement, move characteristic, be similar to the present equipment. Firstly, is tested by therapy specialist, and second test with the patient as a real case. Estimation quality and efficiency of equipment for future improve and development.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผศ.ดร.อุณหัต พิน โสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา และผู้เชี่ยวชาญด้านกิจกรรมบำบัด โรงพยาบาลพระมงกุฎ ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ และขอบคุณเจ้าหน้าที่ที่ดูแลห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆในการทำโครงการนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นาย สุภศิษฏ์ จีร์ภัทร์

นาย จูติพงษ์ กันตารณวัฒน์

นาย สุภณัฐ ทัพศาสตร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 บทนำ	3
2.2 กิจกรรมบำบัด	3
2.2.1 ประเภทของผู้ป่วยที่ทำกิจกรรมบำบัด	3
2.2.2 ประเภทของการรักษาทางกิจกรรมบำบัด	4
2.2.2.1 ด้านกิจกรรมประจำวัน	4
2.2.2.2 ด้านการเคลื่อนไหว	5
2.2.2.3 การกระตุ้นการรับรู้	5
2.2.2.4 กายอุปกรณ์เสริมข้อมือ	5
2.2.2.5 การฝึกการใช้แขนเทียม	5
2.2.2.6 การฝึกพัฒนาการ	6

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2.7 การฝึกการฝึกงานอาชีพ	6
2.2.2.8 การปรับสภาพทางด้านจิตสังคม	6
2.2.3 ลักษณะของกิจกรรมบำบัดประเภทเสกซ์บอร์ด	6
2.3 กลไกสี่ลิงค์	7
2.3.1 กฎของกราชอฟ	7
2.3.2 กลไกสี่ลิงค์ (Four-bar linkage) ของ โอลิเวอร์ อีแวนส์ (Oliver Evans)	9
2.3.3 การวิเคราะห์ความเร็วด้วยสมการเวกเตอร์	9
2.3.4 การวิเคราะห์ความเร่งด้วยสมการเวกเตอร์	11
2.3.5 การวิเคราะห์แรง	12
2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	14
2.4.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	15
2.5 แชน	16
2.6 ความเค้นเฉือนเฉื่อย	17
2.6.1 ความเค้นเฉือนหน้าตัดเดียว (Single Shear Stress)	17
2.6.1 ความเค้นเฉือนสองหน้าตัด	17
บทที่ 3 การออกแบบและวิเคราะห์	19
3.1 บทนำ	19
3.2 หลักการออกแบบและหลักการทำงานเบื้องต้น	19
3.3 การหาขนาดความยาวของลิงค์	20
3.4 การหาขนาดมอเตอร์	24
3.5 อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน	37
3.5.1 ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.2 ชุดควบคุมทิศทางรถหมุนของมอเตอร์	38
3.6 แหล่งจ่ายไฟ	39
บทที่ 4 หลักการทำงานและผลการทดลอง	40
4.1 บทนำ	40
4.2 หลักการทำงาน	41
4.2.1 ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญในการแยกประเภทผู้ป่วยและการใช้ท่าในการบำบัด	41
4.2.2 จัดเตรียมอุปกรณ์ในท่าตามที่ผู้เชี่ยวชาญบอก ซึ่งมีทั้งหมดคร่าดังนี้	41
4.2.2.1 การเคลื่อนที่แบบเลขแปด	41
4.2.2.1 การเคลื่อนที่แบบวงกลม	42
4.2.2.1 การเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม	43
4.2.3 นำผู้ป่วยเข้าไปในโต๊ะ	43
4.2.4 นำแขนผู้ป่วยติดกับที่วางแขน	44
4.3 การทดสอบอุปกรณ์โดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ	44
4.3.1 การทดลองโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในการเคลื่อนที่รูปเลขแปด	45
4.3.2 การทดลองโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในการเคลื่อนที่รูปวงกลม	45
4.3.1 การทดลองโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในการเคลื่อนที่รูปเลขแปด	46
4.4 ผลการทดลอง	46
4.5 การใช้งานจริงกับผู้ป่วย	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	49
5.1 สรุปผลการทดลอง	49
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	50
5.3 แนวทางการพัฒนา	51
ภาคผนวก	52
ภาคผนวก ก	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข	54
ภาคผนวก ค	56
เอกสารอ้างอิง	64

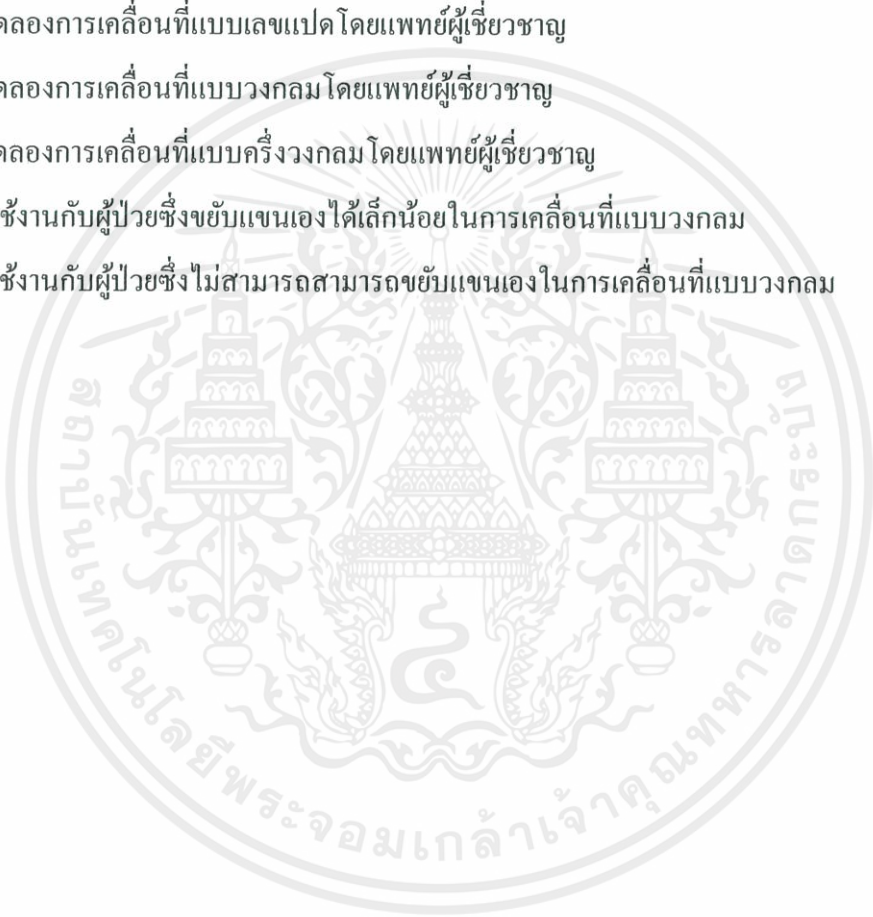


สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่างๆตามกฎของกราชอฟ(Grashoff's Law)	8
รูปที่ 2.2 กลไกสี่ลิงค์ของ โอลิเวอร์ อีเวนส์ (Oliver Evans)	9
รูปที่ 2.3 รูปกลไกสี่ลิงค์สำหรับประกอบกราคำนวณ	10
รูปที่ 2.4 รูปกลไกสี่ลิงค์สำหรับประกอบกราคำนวณ	11
รูปที่ 2.5 รูปตัวอย่างกลไกสี่ลิงค์สำหรับประกอบกราคำนวณ	12
รูปที่ 2.6 แสดงการหมุนของอาร์มาเจอร์	15
รูปที่ 2.7 คานและแกนสะเทิน	16
รูปที่ 2.8 ความเค้นเฉือนเฉลี่ย	17
รูปที่ 2.9 ความเค้นเฉือนหน้าตัดเดียว	18
รูปที่ 2.10 ความเค้นเฉือนสองหน้าตัด	18
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของอุปกรณ์	19
รูปที่ 3.2 ลักษณะการวางตัวของลิงค์เมื่อลิงค์หมายเลข 2 ทำมุม 60 องศาับลิงค์หมายเลข 1	21
รูปที่ 3.3 ลักษณะลิงค์หมายเลข 2	22
รูปที่ 3.4 ลักษณะลิงค์หมายเลข 4	22
รูปที่ 3.5 ลักษณะลิงค์หมายเลข 3	23
รูปที่ 3.6 ลักษณะข้อต่อระหว่างลิงค์	23
รูปที่ 3.7 ลักษณะข้อต่อที่ยึดอยู่กับที่	24
รูปที่ 3.8 ภาพประกอบกราคำนวณ	24
รูปที่ 3.9 วงจรชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์	37
รูปที่ 3.10 ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์สำเร็จรูป	37
รูปที่ 3.11การทำงานของ Relay ในวงจร	39
รูปที่ 4.1 แสดงรูปเครื่องอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกที่ตบอร์คที่ผู้ศึกษาออกแบบและสร้างขึ้น	40
รูปที่ 4.2 แสดงการจัดเตรียมอุปกรณ์ในท่าเลขแปด	41
รูปที่ 4.3 แสดงการจัดเตรียมอุปกรณ์ในท่าวงกลม	42

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 แสดงการจัดเตรียมอุปกรณ์ในท่าครึ่งวงกลม	43
รูปที่ 4.5 การนำผู้ป่วยเข้าไปใน โต๊ะ	43
รูปที่ 4.6 การนำแขนของผู้ป่วยติดกับที่วางแขน	44
รูปที่ 4.7 การทดลองการเคลื่อนที่แบบเลขแปดโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ	45
รูปที่ 4.8 การทดลองการเคลื่อนที่แบบวงกลมโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ	45
รูปที่ 4.9 การทดลองการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลมโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ	46
รูปที่ 4.10 การใช้งานกับผู้ป่วยซึ่งขยับแขนเองได้เล็กน้อยในการเคลื่อนที่แบบวงกลม	48
รูปที่ 4.11 การใช้งานกับผู้ป่วยซึ่งไม่สามารถสามารถขยับแขนเองในการเคลื่อนที่แบบวงกลม	48



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4-2 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกซ์ตบอर्ड	46
ตารางที่ 4-2 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกซ์ตบอर्ड	47



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

เนื่องจากในปัจจุบันมีผู้ป่วยที่ประสบอุบัติเหตุ รวมถึงทหารที่ได้รับบาดเจ็บจากการปฏิบัติหน้าที่จนไม่สามารถขยับแขนได้เป็นจำนวนมาก โดยผู้ป่วยประเภทนี้จะต้องอาศัยกิจกรรมบำบัดเข้าช่วยในการรักษา ด้วยเครื่องกิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด ซึ่งเครื่องกิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดในปัจจุบันนี้ ไม่สามารถทำงานได้เอง โดยอัตโนมัติ ซึ่งหากไม่มีพยาบาลหรือผู้เชี่ยวชาญมาคอยดูแลตลอดเวลา อาจทำให้ผู้ป่วยได้รับอันตรายหรือไม่สามารถทำกิจกรรมบำบัดได้เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ใช้ระยะเวลาในการรักษา เพื่อให้ผู้ป่วยมีอาการดีขึ้นตามวัตถุประสงค์ของกิจกรรมบำบัดนี้ จึงทำให้พยาบาลหรือผู้เชี่ยวชาญต้องคอยดูแลผู้ป่วยตลอดเวลาในการบำบัด ซึ่งทำให้ในปัจจุบันพยาบาลหรือผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้มีจำนวนไม่เพียงพอต่อจำนวนผู้ป่วย

ด้วยสาเหตุดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงถูกค้นคว้าขึ้นเพื่อการสร้างอุปกรณ์ทางการแพทย์ เพื่อช่วยประหยัดเวลา และลดจำนวนของพยาบาลหรือผู้เชี่ยวชาญที่ต้องใช้ในการดูแล ให้เหลือเพียงพยาบาลหรือผู้เชี่ยวชาญคอยดูแลขณะตั้งค่าของเครื่องตามความต้องการเท่านั้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดและทำให้สามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดลงได้

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

ในปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1.2.1 เพื่อทำการวิจัย ออกแบบ อุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด

1.2.2 เพื่อสร้าง และพัฒนาอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด ให้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ในปริญญานิพนธ์นี้มีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

- 1.3.1 อุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดสามารถทำงานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ใน 3 ลักษณะ คือ ลักษณะเคลื่อนที่เป็นครึ่งวงกลม ลักษณะเคลื่อนที่เป็นวงกลม ลักษณะเคลื่อนที่เป็นเลขแปด
- 1.3.2 อุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดที่เคลื่อนที่ในทั้ง 3 ลักษณะ สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้ง แบบเคลื่อนที่อัตโนมัติ และแบบไม่อัตโนมัติ

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

ในปฏิญานิพนธ์นี้มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

- 1.4.1 ศึกษาวิธีการทำกิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดตามโรงพยาบาลต่างๆ
- 1.4.2 ศึกษาว่าแต่ละท่าในการทำกิจกรรมบำบัดต้องใช้กล้ามเนื้อและอวัยวะส่วนใดบ้าง
- 1.4.3 ออกแบบอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด ว่าต้องประกอบด้วยส่วนใดบ้าง
- 1.4.4 ออกแบบวงจรในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด
- 1.4.5 สร้างและประกอบชิ้นส่วนต่างๆตามที่ได้ออกแบบไว้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา

ในปฏิญานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องกิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด ซึ่งผลที่คาดว่าจะได้รับมีดังนี้

- 1.5.1 เครื่องเครื่องกิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดสามารถใช้งานได้จริง
- 1.5.2 สามารถทำงานวิจัยนี้ไปใช้ได้จริงตามโรงพยาบาลต่างๆ เพื่อช่วยรักษาผู้ป่วยได้
- 1.5.3 สามารถทุนแรง และลดอัตราส่วนระหว่างจำนวนพยาบาลหรือผู้เชี่ยวชาญ และผู้ป่วยได้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 บทนำ

เครื่องจักรกรรมบำบัดประเภทสเก็ทบอร์ดนั้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบริหารกล้ามเนื้อและระบบประสาทของผู้ป่วยโดยผู้ป่วยแต่ละประเภทย่อมมีลักษณะความผิดปกติของกล้ามเนื้อและระบบประสาทที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกประเภทของผู้ป่วยให้เหมาะสมกับลักษณะการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์และออกแบบให้การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์มีความถูกต้องเหมาะสม จึงจะสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้ โดยในการออกแบบนั้นจำเป็นต้องใช้ทฤษฎีทางสรีรวิทยา ในการจำแนกประเภทของผู้ป่วย และนำทฤษฎีในทางวิศวกรรมศาสตร์ต่างๆเข้ามาใช้ในการออกแบบการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์

2.2 กิจกรรมบำบัด

กิจกรรมบำบัด คือ การประยุกต์กิจกรรมเพื่อใช้ในการประเมิน การวินิจฉัยและการรักษาผู้ป่วยที่มีปัญหา หรืออุปสรรคในการทำกิจกรรมหรือทำงาน นักกิจกรรมบำบัดจึงมีหน้าที่ในการพัฒนาการรักษาและฟื้นฟู ทักษะในการทำหน้าที่ต่าง ๆ ของผู้ป่วย เช่น ทักษะในการทำกิจกรรม ทั้งที่เคยและไม่เคยทำมาก่อน โดยมีจุดมุ่งหมายให้ผู้ป่วยสามารถดำรงชีวิตอยู่โดยอิสระและไม่เป็นภาระแก่สังคมโดยกิจกรรมที่นำมาใช้ ในการบำบัดผู้ป่วยจะขึ้นกับวิจารณ์ญาณของนักกิจกรรมบำบัดที่กำหนดกิจกรรมนั้น ๆ ขึ้นมาเพื่อให้เหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละคน

2.2.1 ประเภทของผู้ป่วยที่ทำการบำบัด

กิจกรรมบำบัดแบ่งผู้ป่วยออกเป็น 3 ประเภท

1. ฝ่ายกายเช่น ผู้ป่วยด้านระบบประสาท (Neurology) ด้านกระดูกและข้อ (Orthopaedics)

ฯลฯ

2. ฝ่ายจิตเช่น ผู้ป่วยจิตเภท (Schizophrenia)
3. ฝ่ายเด็กเช่น เด็กสมองพิการ (Cerebral palsy) เด็กที่มีความพิการด้านร่างกายมาแต่กำเนิด เด็กที่มีปัญหาด้านการเรียนรู้ เด็กที่มีปัญหาทางจิต เป็นต้น

2.2.2 ประเภทของการรักษาทางกิจกรรมบำบัด

การรักษาทางกิจกรรมบำบัดแบ่งเป็น

2.2.2.1 ด้านกิจวัตรประจำวัน (Activities of daily living : ADL)

ประเมินและฝึกผู้ป่วยในเรื่องต่าง ๆ เหล่านี้ โดยอาศัยกระบวนการทางกิจกรรมบำบัด

- Bed activities เช่น การพลิกตะแคงตัว การพลิกตัวจากท่านอนหงายไป นอนคว่ำ และจากท่าคว่ำไปหงาย การลุกจากท่านอนขึ้นนั่ง เพื่อทำกิจวัตรต่าง ๆ
- Hygiene เช่น การดูแลสุขอนามัยส่วนบุคคล เช่น การอาบน้ำ การทำความสะอาดร่างกาย ล้างหน้า แปรงฟัน หวีผม แต่งหน้า
- Dressing การแต่งกาย เช่น การใส่และถอดเสื้อผ้า ถูงเท้า รองเท้า การติดกระดุม และ รูดซิป
- Toileting สามารถเข้าห้องน้ำ ห้องส้วมเองได้
- Functional transfer การเคลื่อนย้ายตนเองจากที่หนึ่ง ไปยังอีกที่หนึ่งเพื่อทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น จากเตียง ไปรถเข็น จากรถเข็น ไปเตียง การเคลื่อนย้ายตัวภายในบ้าน เช่น รอบห้องครัว ห้องน้ำ ฯลฯ
- Transportation การเดินทางไปทำกิจกรรมประจำวันต่าง ๆ
- Management of environment การปรับสภาพบ้าน
- Home making ได้แก่งานบ้านต่าง ๆ รวมทั้งการจ่ายตลาด เช่นการทำอาหาร ทำความสะอาด บ้าน ฯลฯ

จุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้ป่วยสามารถช่วยเหลือตัวเองได้มากที่สุดตามสภาพของผู้ป่วยแต่ละราย ไม่เป็นภาระแก่ครอบครัว และเพื่อลดอาการซึมเศร้าในผู้ป่วยให้ผู้ป่วยกลับเข้าสู่สังคมโดยเร็วที่สุด

2.2.2.2 ด้านการเคลื่อนไหว (motor)

ใช้กิจกรรมการเคลื่อนไหว (kinetic activities) ต่าง ๆ เช่น skateboard, peg board, weight bearing, sliding board ฯลฯ จุดมุ่งหมายเพื่อป้องกันข้อติดแข็ง (joint stiffness) ลดความเจ็บปวดที่เกิดจากการเกร็งของกล้ามเนื้อ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ความทนทาน ต่อการทำงาน และการทำงานที่ประสานกันของกล้ามเนื้อ (coordination) ให้ผู้ป่วย

2.2.2.3 การกระตุ้นการรับรู้ (perceptual stimulation)

ปัญหาการรับรู้ (perceptual deficit) เป็นปัญหาที่อาจเกิดได้ในผู้ป่วยที่มีปัญหาทางด้านสมอง และผู้ป่วยทางด้านจิตเวชบางราย เช่น การรับรู้ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย การรับรู้ทางสายตา

2.2.2.4 กายอุปกรณ์เสริมของมือ (hand orthosis)

ประเมินว่าผู้ป่วยควรใช้กายอุปกรณ์เสริมชนิดใด ออกแบบ ประดิษฐ์ และตรวจสอบคุณภาพการทำงานของกายอุปกรณ์เสริม และสอนวิธีการใช้ ชนิดของกายอุปกรณ์เสริม

- Static splint คือ กายอุปกรณ์เสริมที่ใส่แล้วจะไม่สามารถเคลื่อนไหวข้อนั้นๆ เพื่อให้ข้อได้พักเป็นการลดอาการปวดหรือป้องกันการผิดรูปของข้อ (deformity)
- Dynamic splint คือ เมื่อผู้ป่วยใส่กายอุปกรณ์เสริมแบบนี้จะสามารถเคลื่อนไหวข้อได้จุดประสงค์เพื่อให้กล้ามเนื้อเกิดการเรียนรู้ใหม่ (muscle re-education) หรือเพื่อป้องกันข้อติดแข็ง (joint stiffness)

2.2.2.5 การฝึกการใช้แขนเทียม (upper extremity prosthesis)

เริ่มตั้งแต่การเตรียมความพร้อมของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการควบคุมแขนเทียม การตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของแขนเทียมและการฝึกทักษะในการใช้แขนเทียมทำกิจกรรมต่าง ๆ

2.2.2.6 การฝึกพัฒนาการ (developmental training)

กระตุ้นพัฒนาการในเด็กสมองพิการ เด็กที่มีพัฒนาการช้า ฯลฯ โดยใช้หลัก neurodevelopmental training และ/หรือหลักการอื่น ๆ เช่น การกระตุ้นตามพัฒนาการ ในเด็กแต่ละคนในด้านต่าง ๆ ให้เหมาะสมแก่วัยและตามสภาพของเด็กแต่ละราย

2.2.2.7 การเตรียมการฝึกงานอาชีพ (prevocational training)

เป็นการเตรียมความพร้อมให้ผู้ป่วยกลับเข้าสู่สังคมเดิม โดยเฉพาะความพร้อมในการ ประกอบงานอาชีพ นักกิจกรรมบำบัดมีหน้าที่ประเมินองค์ประกอบพื้นฐานที่จำเป็น จะต้องใช้ในการทำงานเช่น คำสั่งกล้ามเนื้อ สมารถระเบียบวินัยในการทำงาน ฯลฯ และ ฝึกหัดผู้ป่วยให้มีทักษะพื้นฐานเหล่านี้เพื่อให้ผู้ป่วยมีทักษะในการทำงานอาชีพเดิม หากผู้ป่วยสามารถกลับไปประกอบอาชีพเดิมได้ หรือสอนทักษะใหม่ๆ หากผู้ป่วยไม่ สามารถกลับไปประกอบอาชีพเดิมได้ เนื่องจากผู้ป่วยในแผนกเวชศาสตร์ฟื้นฟูมักมี ปัญหาซ้ำซ้อนกันหลายด้าน ดังนั้นผู้รักษาจึงต้องทำกันเป็นที่ประกอบด้วย แพทย์ นัก กายภาพบำบัด นักกิจกรรมบำบัด พยาบาล นักจิตวิทยา นักแก้ไขการพูด และนัก สังคมสงเคราะห์มาร่วมวางแผนและอภิปรายแสดงความคิดเห็น เพื่อให้การรักษา เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.2.8 การปรับสภาพทางด้านจิตสังคม (psychosocial adjustment)

ในผู้ป่วยทางด้านจิตเวช เช่น ผู้ป่วยจิตเภท ผู้ป่วยเด็กที่มีปัญหาทางด้านพฤติกรรมและ สังคม เช่น ผู้ป่วยติดยาเสพติด

2.2.3 ลักษณะของกิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด์

ลักษณะของกิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด์นั้นเป็นการรักษาทางกิจกรรมบำบัดประเภท การใช้กิจกรรมการเคลื่อนไหว (kinetic activities) จุดมุ่งหมายเพื่อป้องกันข้อติดแข็ง (joint stiffness) ลดความเจ็บปวดที่เกิดจากการเกร็งของกล้ามเนื้อ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ความ ทนทานต่อ การทำงาน และการทำงานที่ประสานกันของกล้ามเนื้อให้ผู้ป่วย

ลักษณะของการทำกิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด์ จะแบ่งลักษณะการเคลื่อนที่ทั้งหมด 3 ลักษณะการเคลื่อนที่ คือ ลักษณะการเคลื่อนที่แบบวงกลม ลักษณะการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม และ ลักษณะการเคลื่อนที่แบบเลขแปด

2.3 กลไกสี่ลิงก์ (Four-bar linkage)

เป็นกลไกพื้นฐาน และเป็นกลไกที่ง่ายที่สุดและถูกใช้อย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน โดยมี 4 ก้านต่อที่เชื่อมติดกันโดยข้อต่อ โดยความยาวของก้านแต่ละก้านจะเป็นตัวกำหนดลักษณะการเคลื่อนที่ของกลไก

2.3.1 กฎของกราชอฟ(Grashoff's Law)

กฎของกราชอฟเป็นทฤษฎีที่อธิบายลักษณะการเคลื่อนที่พื้นฐานของกลไกสี่ลิงก์ โดยกล่าวไว้ว่า “ถ้าผลบวกของความยาวของชิ้นส่วนที่สั้นที่สุดกับชิ้นส่วนที่ยาวที่สุดมีค่าน้อยกว่าผลบวกของความยาวของชิ้นที่เหลือ จะทำให้มีการหมุนสัมพัทธ์อย่างต่อเนื่อง (ครบรอบ) ของชิ้นส่วนหนึ่งเทียบกับอีกชิ้นส่วนหนึ่ง”

โดยเมื่อกำหนดให้ s คือ ความยาวของชิ้นส่วนที่สั้นที่สุด
 l คือ ความยาวของชิ้นส่วนที่ยาวที่สุด
 p และ q คือ ความยาวของชิ้นส่วนที่ยาวมากกว่า s และน้อยกว่า l

จะได้รูปแบบการเคลื่อนที่ดังนี้

2.3.1.1.1 ถ้า $l+s < p+q$

2.3.1.1.2 แบบแครงค์ร็อกเกอร์ (Crank-rocker) ถ้า s เป็นตัวขับเคลื่อน (Crank หรือ Driver) และอยู่ติดกับฐาน (Frame หรือ Ground) จะได้ลักษณะกลไกดังรูป 2.1(a)

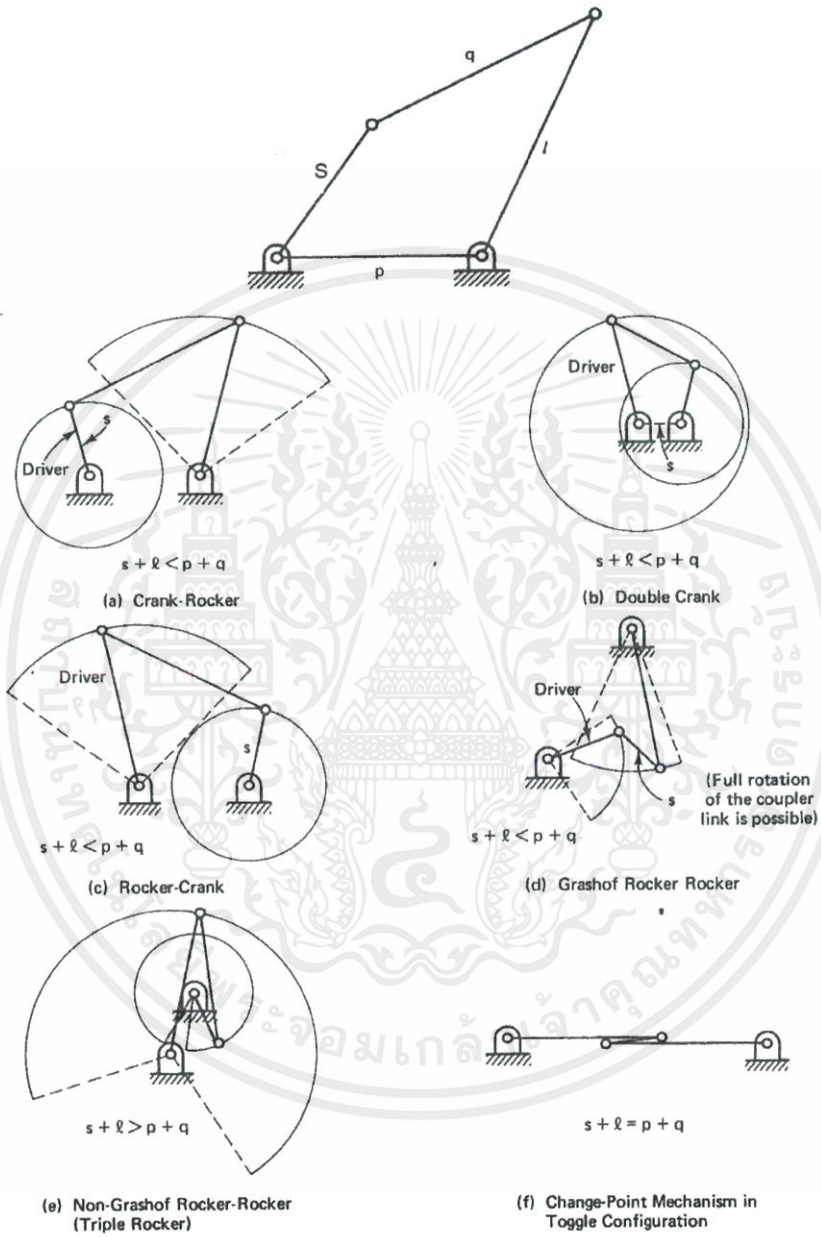
2.3.1.1.3 แบบดับเบิลแครงค์ (Double-crank) ถ้า s เป็นฐาน (Frame) จะได้ลักษณะกลไกดังรูป 2.1(b)

2.3.1.1.4 แบบร็อกเกอร์แครงค์ (Rocker-crank) ถ้า s เป็น ตัวตาม (Follower) จะได้ลักษณะกลไกดังรูป 2.1(c)

2.3.1.1.5 แบบดับเบิลร็อกเกอร์ (Double-rocker) ถ้าลิงค์ตรงข้าม s เป็นฐาน (Frame) ซึ่งลิงค์ s จะสามารถหมุนได้ครบรอบ โดยมีลักษณะกลไกดังรูป 2.1(d)

2.3.1.2 ถ้า $l+s > p+q$ จะเป็นการเคลื่อนที่ของกลไกแบบนอนกราชอฟ (Non-grashoff) หรือการไม่เกิดการหมุนสัมพัทธ์อย่างต่อเนื่อง(ครบรอบ) ดังรูป 2.1(e)

2.3.1.3 ถ้า $l+s = p+q$ ได้เหมือนกรณีที่ 1 แต่จะเกิดจุดตายของการเคลื่อนที่ (Change point condition) หรือเกิดซิงกูลาริตี (Singularity) หรือ ชิ้นส่วนเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน ดังรูป 2.1(f)



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่างๆตามกฎของกราชอฟ(Grashoff's Law)

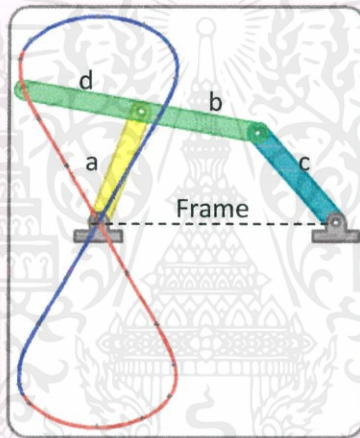
2.3.2 กลไกสี่ลิงค์ (Four-bar linkage) ของโอลิเวอร์ อีแวนซ์ (Oliver Evans)

กลไกสี่ลิงค์ (Four-bar linkage) ของโอลิเวอร์ อีแวนซ์ (Oliver Evans) เป็นตัวอย่างกลไกสี่ลิงค์ที่ถูกนำไปใช้ในเครื่องยนต์เครื่องจักรไอน้ำเมื่อปี ค.ศ. 1802 โดยเป็นลักษณะกลไกแบบนอนกราชอฟ (Non-grashoff) โดยมีลิงค์ a เป็นตัวขับ (Crank) ซึ่งในการเคลื่อนที่ไปกลับนั้นมุมของลิงค์ s ที่ทำกับฐาน (Frame) จะอยู่ที่ 76 ถึง -76 องศา และส่วนที่ถูกนำไปใช้งาน (Output) คือส่วนปลายของลิงค์ d ซึ่งต่อออกมาจากลิงค์ b โดยมีอัตราส่วนความยาวของแต่ละลิงค์ดังนี้คือ

$$\text{ความยาวลิงค์ } a = \text{ความยาวลิงค์ } b = \text{ความยาวลิงค์ } c$$

และฐาน (Frame) ที่ความยาวเป็นสองเท่าของความยาวลิงค์ a

ซึ่งส่วนที่นำไปใช้ (Output) นั้นจะมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นรูปเลขแปด

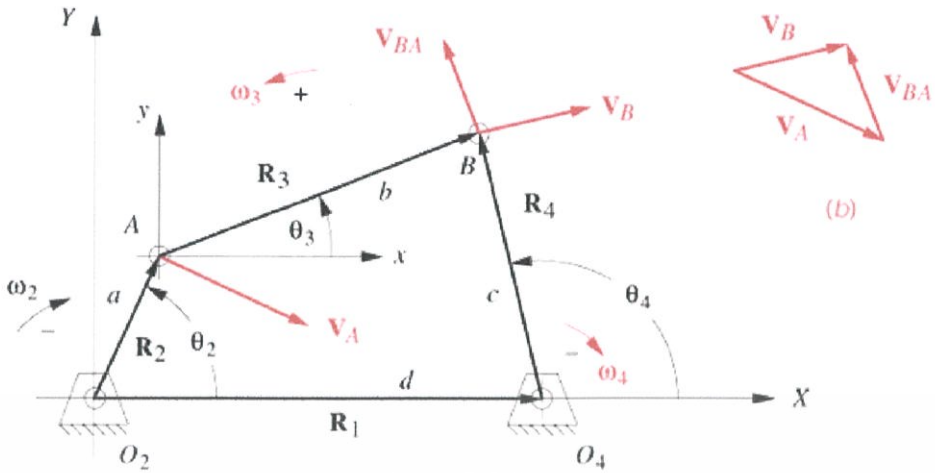


รูปที่ 2.2 กลไกสี่ลิงค์ของโอลิเวอร์ อีแวนซ์ (Oliver Evans)

จากรูป 2.2 แสดงลักษณะของลิงค์และเส้นทางการเคลื่อนที่ของส่วนที่นำไปใช้ (Output) ของกลไกสี่ลิงค์ (Four-bar linkage) ของโอลิเวอร์ อีแวนซ์ (Oliver Evans)

2.3.3 การวิเคราะห์ความเร็วด้วยสมการเวกเตอร์

วิธีการนี้จะใช้หลักการของการเขียนเวกเตอร์ให้อยู่ในรูปสมการของเวกเตอร์บนพิกัดฉาก จากนั้นเทียบสัมประสิทธิ์ของหน้าทอม เวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแนวแกน x และ y ซึ่งจะทำให้เราได้สมการความสัมพันธ์สองสมการเสมอ จากนั้นทำการแก้สมการเพื่อหาค่าตัวแปรที่ต้องการรู้



รูปที่ 2.3 รูปกลไกสี่ลิงค์สำหรับประกอบการคำนวณ

จากรูปเราสามารถหาความเร็วของจุด B ได้จากสมการความเร็วสัมพัทธ์

$$\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA} \quad (2.3.1)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \vec{V}_A &= \vec{\omega}_2 \times \vec{R}_2 = \omega_2 \vec{k} \times a(\cos \theta_2 \vec{i} + \sin \theta_2 \vec{j}) \\ &= (\omega_2 a)(-\sin \theta_2 \vec{i} + \cos \theta_2 \vec{j}) \end{aligned} \quad (2.3.2)$$

$$\begin{aligned} \vec{V}_B &= \vec{\omega}_4 \times \vec{R}_4 = \omega_4 \vec{k} \times c(\cos \theta_4 \vec{i} + \sin \theta_4 \vec{j}) \\ &= (\omega_4 c)(-\sin \theta_4 \vec{i} + \cos \theta_4 \vec{j}) \end{aligned} \quad (2.3.3)$$

$$\begin{aligned} \vec{V}_{AB} &= \vec{\omega}_3 \times \vec{R}_3 = \omega_3 \vec{k} \times b(\cos \theta_3 \vec{i} + \sin \theta_3 \vec{j}) \\ &= (\omega_3 b)(-\sin \theta_3 \vec{i} + \cos \theta_3 \vec{j}) \end{aligned} \quad (2.3.4)$$

แทนค่าของสมการ (2.3.2), (2.3.3) และ (2.3.4) ลงในสมการ (2.3.1) ได้

$$(\omega_4 c)(-\sin \theta_4 \vec{i} + \cos \theta_4 \vec{j}) = (\omega_2 a)(-\sin \theta_2 \vec{i} + \cos \theta_2 \vec{j}) + (\omega_3 b)(-\sin \theta_3 \vec{i} + \cos \theta_3 \vec{j}) \quad (2.3.5)$$

เทียบสัมประสิทธิ์หน้าเทอมเวกเตอร์ i และ j จะได้สมการดังนี้

$$(\omega_4 c)(\sin \theta_4) = (\omega_2 a)(\sin \theta_2) + (\omega_3 b)(\sin \theta_3) \quad (2.3.6)$$

$$(\omega_4 c)(\cos \theta_4) = (\omega_2 a)(\cos \theta_2) + (\omega_3 b)(\cos \theta_3) \quad (2.3.7)$$

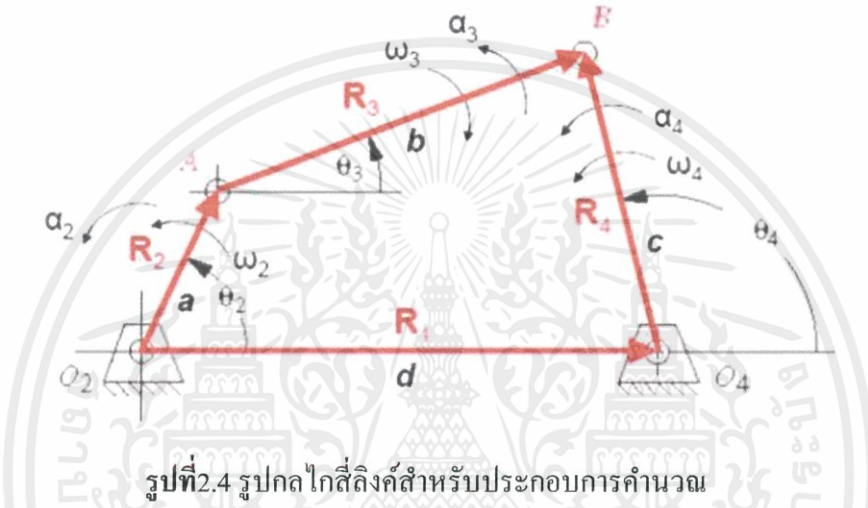
แก้สมการสม (2.3.6) และ (2.3.7) ได้

$$\omega_3 = \frac{a\omega_2 \sin(\theta_4 - \theta_2)}{b \sin(\theta_3 - \theta_4)} \quad (2.3.8)$$

$$\omega_4 = \frac{a\omega_2 \sin(\theta_2 - \theta_3)}{c \sin(\theta_4 - \theta_3)} \quad (2.3.9)$$

2.3.4 การวิเคราะห์ความเร่งด้วยสมการเวกเตอร์

ในการวิเคราะห์ความเร่งด้วยวิธีนี้เราจะทำการเขียนความสัมพันธ์ของความเร่งระหว่างจุดสองจุด จากนั้นเขียนเทอมความเร่งในสมการออกมาให้อยู่ในพิกัดอ้างอิงใดๆ



รูปที่ 2.4 รูปกลไกสี่ลิงค์สำหรับประกอบการคำนวณ

จากรูปเราสามารถหาความเร่งของจุด B ได้ดังสมการ

$$\vec{A}_B = \vec{A}_A + \vec{A}_{BA} \quad (2.3.10)$$

จากรูปเราสามารถหาค่าของแต่ละเทอมได้ดังนี้

$$\vec{A}_A = \vec{A}'_A + \vec{A}''_A = a\alpha_2(-\sin\theta_2\vec{i} + \cos\theta_2\vec{j}) - a\omega_2^2(\cos\theta_2\vec{i} + \sin\theta_2\vec{j}) \quad (2.3.11)$$

$$\vec{A}_B = \vec{A}'_B + \vec{A}''_B = c\alpha_4(-\sin\theta_4\vec{i} + \cos\theta_4\vec{j}) - c\omega_4^2(\cos\theta_4\vec{i} + \sin\theta_4\vec{j}) \quad (2.3.12)$$

$$\vec{A}_{BA} = \vec{A}'_{BA} + \vec{A}''_{BA} = b\alpha_3(-\sin\theta_3\vec{i} + \cos\theta_3\vec{j}) - b\omega_3^2(\cos\theta_3\vec{i} + \sin\theta_3\vec{j}) \quad (2.3.13)$$

แทนค่าของสมการ (2.3.11), (2.3.12) และ (2.3.13) ลงในสมการ (2.3.10) จากนั้นทำการเทียบสัมประสิทธิ์หน้าเทอมเวกเตอร์ \vec{i} และ \vec{j} จากนั้นแก้สมการทั้งสอง จะได้คำตอบของ α_3 และ α_4

$$\alpha_3 = \frac{C \times D - A \times F}{A \times E - B \times D} \quad (2.3.14)$$

$$\alpha_4 = \frac{C \times E - B \times F}{A \times E - B \times D} \quad (2.3.15)$$

เมื่อ

$$A = c \sin \theta_4 \quad (2.3.16)$$

$$B = b \sin \theta_3 \quad (2.3.17)$$

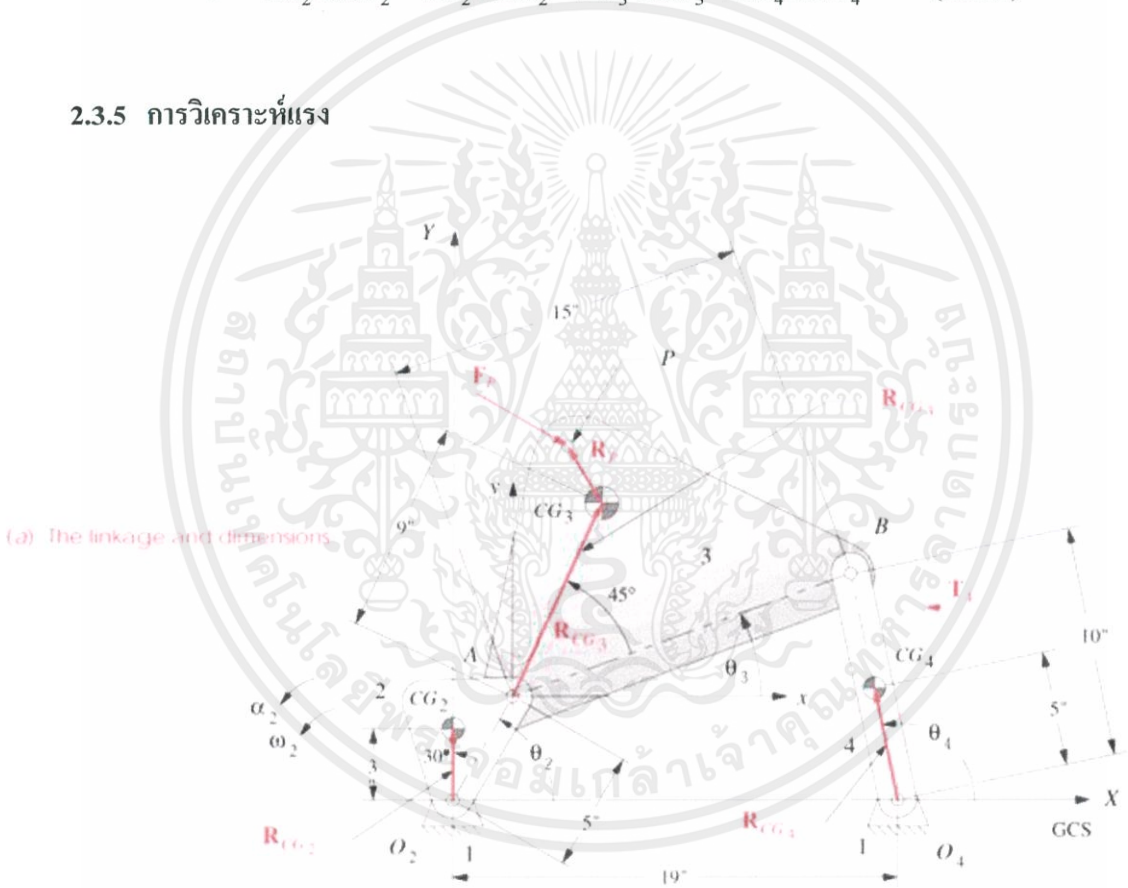
$$C = a\alpha_2 \sin \theta_2 + a\omega_2^2 \cos \theta_2 + b\omega_3^2 \cos \theta_3 - c\omega_4^2 \cos \theta_4 \quad (2.3.18)$$

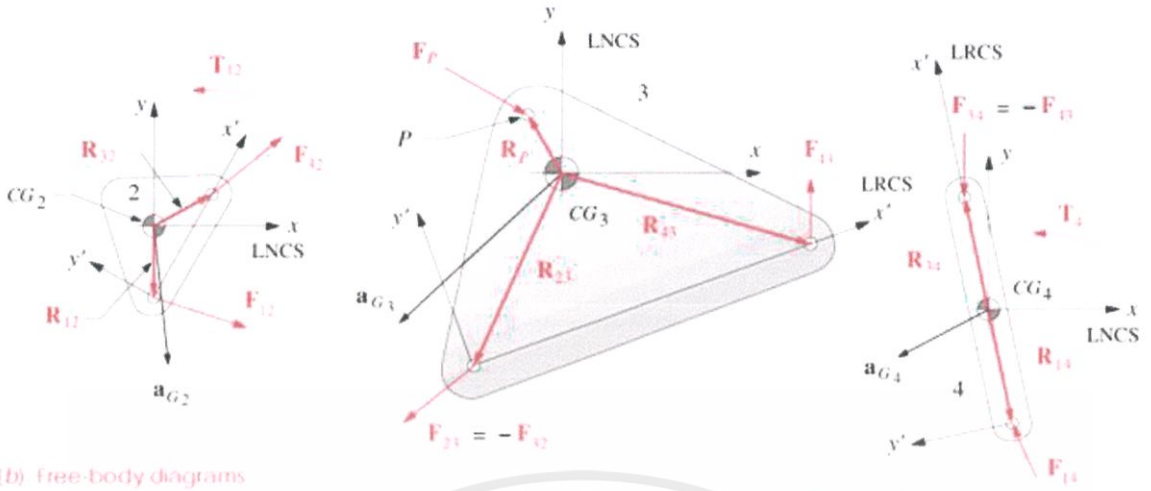
$$D = c \cos \theta_4 \quad (2.3.19)$$

$$E = b \cos \theta_3 \quad (2.3.20)$$

$$F = a\alpha_2 \cos \theta_2 - a\omega_2^2 \sin \theta_2 - b\omega_3^2 \sin \theta_3 + c\omega_4^2 \sin \theta_4 \quad (2.3.21)$$

2.3.5 การวิเคราะห์ที่แรง





(b) free-body diagrams

รูปที่ 2.5 รูปตัวอย่างกลไกสี่ลิงค์สำหรับประกอบการคำนวณ

จากรูปแสดงถึงกลไกสี่ลิงค์ที่มีลิงค์ OA เป็นตัวขับและมีแรงภายนอกกระทำที่จุด P ซึ่งในการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นในกลไกทำได้โดยการหาเขียนองค์ประกอบแรงแยกชิ้น (Free body diagrams) แล้วทำการคำนวณหาแรงที่เกิดขึ้นที่ข้อต่อต่างๆของลิงค์ดังนี้ จากกฎของนิวตันที่ว่า

$$\sum F_x = ma_x \quad \sum F_y = ma_y \quad \text{และ} \quad \sum T = I_G \alpha \quad (2.3.22)$$

พิจารณาลิงค์ที่ 2 โดยไม่คิดแรงเสียดทานจะได้

$$\begin{aligned} F_{12_x} + F_{32_x} &= m_2 a_{G_{2x}} \\ F_{12_y} + F_{32_y} &= m_2 a_{G_{2y}} \\ T_{12} + (R_{12_x} F_{12_y} - R_{12_y} F_{12_x}) + (R_{32_x} F_{32_y} - R_{32_y} F_{32_x}) &= I_{G_2} \alpha_2 \end{aligned} \quad (2.3.23a)$$

พิจารณาลิงค์ที่ 3 โดยไม่คิดแรงเสียดทานจะได้

$$\begin{aligned} F_{43_x} - F_{32_x} + F_{P_x} &= m_3 a_{G_{3x}} \\ F_{43_y} - F_{32_y} + F_{P_y} &= m_3 a_{G_{3y}} \\ (R_{43_x} F_{43_y} - R_{43_y} F_{43_x}) - (R_{23_x} F_{32_y} - R_{23_y} F_{32_x}) + (R_{P_x} F_{P_y} - R_{P_y} F_{P_x}) &= I_{G_3} \alpha_3 \end{aligned} \quad (2.3.23b)$$

พิจารณาถึงคี่ที่ 4 โดยไม่คิดแรงเสียดทานจะได้

$$F_{14_x} - F_{43_x} = m_4 a_{G_{4x}}$$

$$F_{14_y} - F_{43_y} = m_4 a_{G_{4y}} \quad (2.3.23c)$$

$$(R_{14_x} F_{14_y} - R_{14_y} F_{14_x}) - (R_{34_x} F_{43_y} - R_{34_y} F_{43_x}) + T_4 = I_{G_4} \alpha_4$$

จากสมการ (2.3.23a), (2.3.23b) และ (2.3.23c) จะได้ตัวแปรไม่ทราบค่าทั้งสิ้น 9 ตัวคือ

$F_{12_x}, F_{12_y}, F_{32_x}, F_{32_y}, F_{43_x}, F_{43_y}, F_{14_x}, F_{14_y}$ และ T_{12} จาก 9 สมการ จากนั้นทำการแก้สมการเพื่อหาตัวแปรไม่ทราบค่าทั้ง 9 ตัวต่อไปด้วยระบบสมการเมตริกซ์จะได้

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -R_{12y} & R_{12x} & -R_{32y} & R_{32x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_{23y} & -R_{23x} & -R_{43y} & R_{43x} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_{34y} & -R_{43x} & -R_{12y} & R_{14x} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} F_{12x} \\ F_{12y} \\ F_{32x} \\ F_{32y} \\ F_{43x} \\ F_{43y} \\ F_{14x} \\ F_{14y} \\ T_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_2 a_{G_{2x}} \\ m_2 a_{G_{2y}} \\ I_{G_2} \alpha_2 \\ m_3 a_{G_{3x}} - F_{P_x} \\ m_3 a_{G_{3y}} - F_{P_y} \\ I_{G_3} \alpha_3 - R_{P_x} F_{P_y} + R_{P_y} F_{P_x} \\ m_4 a_{G_{4x}} \\ m_4 a_{G_{4y}} \\ I_{G_4} \alpha_4 - T_4 \end{bmatrix} \quad (2.3.24)$$

2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

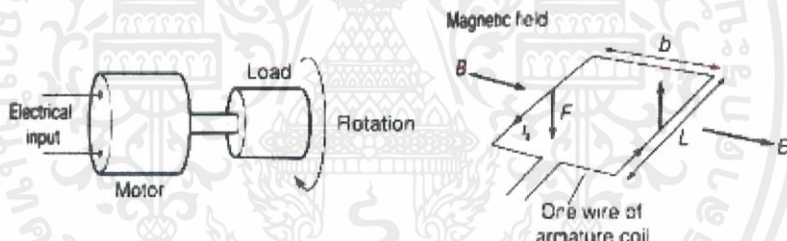
มอเตอร์ไฟฟ้ามีอยู่ด้วยกันหลายชนิด โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor)
3. มอเตอร์สเตปป์ (Stepping Motor)

แต่ในหัวข้อของโครงการนี้จะกล่าวถึงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพียงอย่างเดียว

2.4.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีโครงสร้างและส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่อยู่กับที่ (Stator) และส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) ซึ่งส่วนที่เคลื่อนที่นี้เรียกว่า อาร์มาเจอร์ (Armature) โดยจะมีขดลวดที่บรรจุลงในสล๊อตของแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ซึ่งด้านปลายของขดลวดจะถูกนำไปต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ซึ่งเป็นส่วนที่รับกระแสไฟฟ้าจากภายนอกโดยผ่านแปรงถ่าน (Brushes) เข้ามาเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ภายในมอเตอร์ แล้วสนามแม่เหล็กนี้จะกระทำร่วมกันกับกระแสในตัวนำของอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างแรงบิดเพื่อไปหมุนอาร์มาเจอร์ เพื่อที่จะรักษาแรงบิดนี้ไว้การกระจายของกระแสในตัวนำของอาร์มาเจอร์จะต้องรักษาให้คงที่และสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของอาร์มาเจอร์ โดยมีคอมพิวเตเตอร์เป็นตัวกลาง เพื่อที่จะกลับทิศทางของกระแสในตัวนำอาร์มาเจอร์ที่ผ่านจากขั้วแม่เหล็กหนึ่ง ไปสู่อีกขั้วแม่เหล็กหนึ่ง ขณะที่ตัวนำอาร์มาเจอร์เคลื่อนที่จะสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็ก แล้วจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่อาร์มาเจอร์ ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวจะทำให้เกิดแรงบิดที่อาร์มาเจอร์ได้อย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.6 แสดงการหมุนของอาร์มาเจอร์

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีข้อดีตรงที่สามารถจ่ายแรงบิดที่จะทำให้มอเตอร์หมุนได้มากกว่าแรงบิดขณะใช้งานปกติถึง 3 เท่า หรือมากกว่า และในสถานการณ์ฉุกเฉินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะจ่ายแรงบิดได้มากกว่าถึง 5 เท่าของแรงบิดใช้งานปกติโดยปราศจากการหยุดกลางคัน (Stalling) (ต้นกำลังสามารถจ่ายกำลังให้ได้)

การคำนวณแรงบิด กำลังของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

$$\text{แรงบิด(Torque)} \quad T = F \times R \quad (2.5.1)$$

งานที่ได้จากแรงใน 1 รอบการหมุนสามารถคำนวณได้จาก

$$= \text{แรง} \times \text{ระยะทาง}$$

$$= F \times 2\pi r \quad (2.5.2)$$

$$\begin{aligned} \text{กำลังที่เกิดขึ้น(P)สามารถหาได้จาก} &= F \times 2\pi r \times N/60 \\ &= \frac{2NT}{60} \end{aligned} \quad (2.5.3) \text{ เมื่อ}$$

$$\text{ความเร็วเชิงมุม} \quad w = 2\pi N/60 \quad (2.5.4) \text{ ดังนั้น กำลังที่}$$

$$\text{เกิดขึ้น} \quad P = T \times w \quad (2.5.5) \text{ ซึ่ง } T \text{ คือ}$$

แรงบิด

F คือ แรงที่มากกระทำ

R คือ ความยาวแขนโมเมนต์

w คือ ความเร็วเชิงมุม

N คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์

2.5 แขน

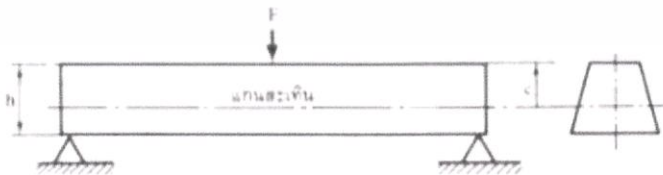
ทฤษฎีในการออกแบบแขนของกลไกสี่ลิงค์นั้นจะใช้ทฤษฎีเดียวกับการออกแบบคานะนั้นจึงใช้การคิดคำนวณความเค้นดัด (Bending Stress) และการยุบตัว (Deflection) เป็นข้อจำกัดในการออกแบบ ความเค้นดัดสูงสุดเกิดที่ผิวนอกสุดของแขน ณ ตำแหน่งที่โมเมนต์ (Bending Moment) มีค่าสูงสุด ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\sigma_y = \frac{Mc}{I} \quad (2.6.1)$$

โดยที่ M คือโมเมนต์ดัด

C คือระยะจากแกนสะเทิน(Neutral Axis) ไปยังผิวนอกสุด ดังรูปที่ 2.12

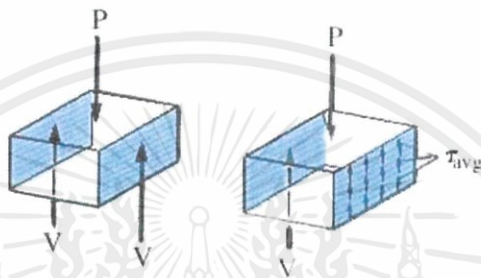
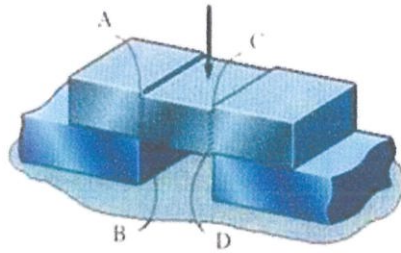
I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ สามารถดูได้จากตารางที่ 2.12-2.14 ในภาคผนวก



รูปที่ 2.7 คานและแกนสะเทิน

สำหรับค่า I ของหน้าตัดบางชนิด ดูได้จากตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของหน้าตัดในภาคผนวก

2.6 ความเค้นเฉือนเฉลี่ย (Average Shear Stress)



รูปที่ 2.8 ความเค้นเฉือนเฉลี่ย

ความเค้นเฉือนเฉลี่ย เป็นความเค้นที่เกิดจากแรงภายใน กระทำในทิศทางขนานกับพื้นที่หน้าตัด โดยตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัดนั้นจะมีความเค้น โดยเฉลี่ยเท่ากันทั้งหมด ไม่ว่าจะอยู่ตำแหน่งใดของพื้นที่หน้าตัด ดังรูป 2.13 จะได้สมการดังต่อไปนี้

$$\tau_{ave} = \frac{V}{A} \tag{2.7.1}$$

กำหนดให้

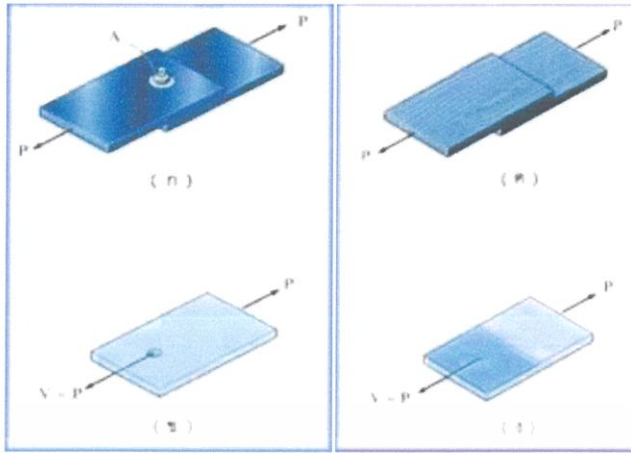
- τ_{ave} หมายถึง ความเค้นเฉือนเฉลี่ยที่หน้าตัด
- V หมายถึง ผลลัพธ์ของแรงเฉือนภายในที่หน้าตัดหาจากการสมการสมดุลย์
- A หมายถึง พื้นที่หน้าตัดที่แรงเฉือนผ่าน

การแบ่งประเภทแรงเฉือน

แรงเฉือนแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.6.1 ความเค้นเฉือนหน้าตัดเดียว (Single Shear Stress)

เป็นแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่ในเนื้อวัสดุเพียงหน้าตัดเดียวดังรูปที่ 2.14 แรงเฉือนเดียว



รูปที่ 2.9 ความเค้นเฉือนหน้าตัดเดียว

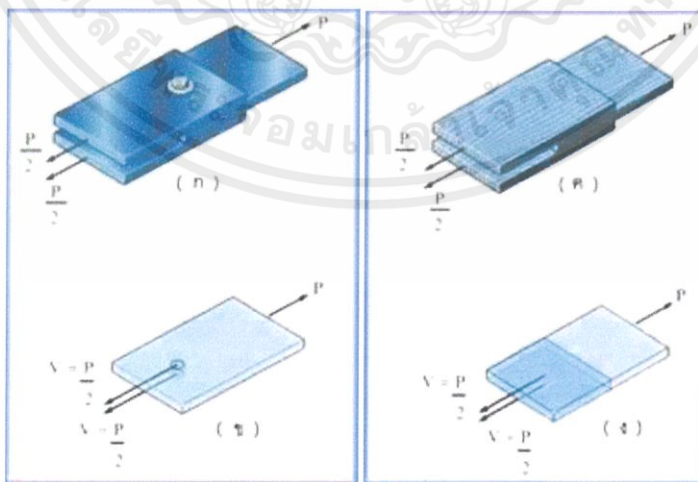
2.6.2 ความเค้นเฉือนสองหน้าตัด (Double Shear Stress)

เป็นแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด 2 หน้าตัดในเนื้อวัสดุเดียวกัน แต่หน้าตัดจะต้องคิดแรงภายในออกมาดังรูปที่ 2.15 และคำนวณค่าความเค้นเฉือนแต่ละหน้าตัดจากสมการ (2.7.1)

$$\tau_{ave} = \frac{V}{A} \quad (2.7.1)$$

การหาค่าแรงเฉือน (V) มาจากการสมดุลแรงจากรูป 2.13 โดยหาจาก

$$V = \frac{P}{2} \quad (2.7.2)$$



รูปที่ 2.10 ความเค้นเฉือนสองหน้าตัด

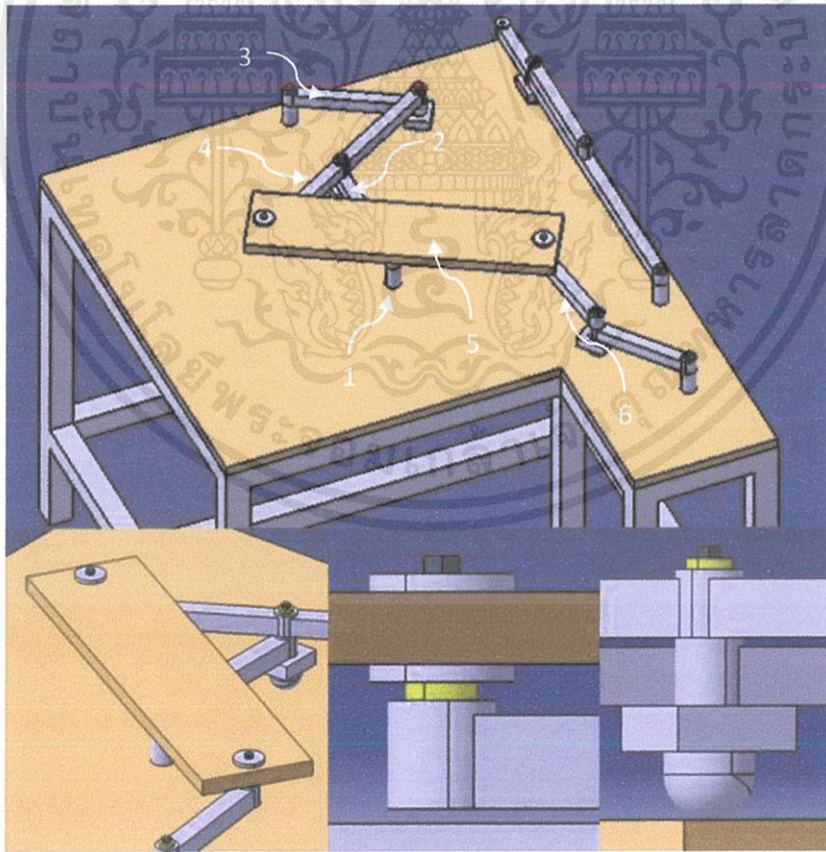
บทที่ 3

การออกแบบและวิเคราะห์

3.1 บทนำ

ในการออกแบบลักษณะกลไกที่ลึกลับและการวิเคราะห์หาค่าลึงมอเตอร์ ขนาดลึงค์ และข้อต่อ เพื่อให้มีความสะดวกรวดเร็ว และง่ายต่อการปรับปรุงแก้ไขอีกทั้งเพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่มีความแม่นยำเชื่อถือได้ นั้น ต้องอาศัย โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณ ซึ่งขั้นตอนในการเขียนคำสั่งของโปรแกรมจึงเป็นหัวข้อสำคัญในบทนี้จึงจะได้อธิบายต่อไป

3.2 หลักการออกแบบและหลักการงานเบื้องต้น



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของอุปกรณ์

จากรูปแสดงภาพรวมของอุปกรณ์โดย

หมายเลข 1 คือข้อต่อที่เชื่อมต่อลิงค์เข้ากับมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนกลไกของอุปกรณ์

หมายเลข 2 คือลิงค์หมายเลข 2 เป็นลิงค์ขับเคลื่อนกลไกซึ่งเชื่อมต่อเข้ากับมอเตอร์

หมายเลข 3 คือลิงค์หมายเลข 3

หมายเลข 4 คือลิงค์หมายเลข 4 ที่ต่อเข้ากับที่รองแขนผู้ป่วยในการทำกิจกรรมบำบัด

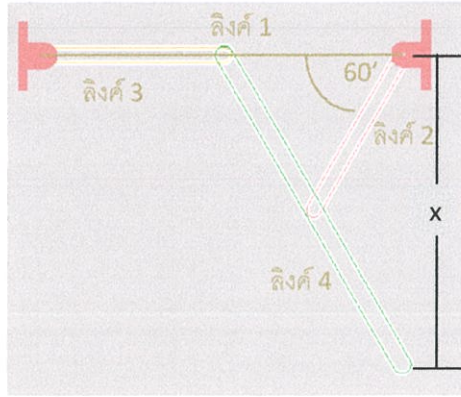
หมายเลข 5 คือกระดานรองแขนของผู้ป่วยซึ่งเชื่อมต่อเข้ากับลิงค์หมายเลข 4

หมายเลข 6 คือลิงค์ที่เชื่อมต่อเข้ากับกระดานรองแขนใช้รองข้อศอกของผู้ป่วย

จากในการทำงานของกลไกสี่ลิงค์ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่เป็นรูปเลขแปดซึ่งได้ต้นแบบมาจากทำงานของกลไกสี่ลิงค์ของโอลิเวอร์ อีแวนซ์ ซึ่งเป็นกลไกสี่ลิงค์แบบนอนกราชอฟ (Non-grashoff) ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบไม่เกิดการหมุนสัมพัทธ์อย่างต่อเนื่อง (ครบรอบ) เนื่องจากเกิดจุดตายหรือเกิดซิงกูลาริตี (Singularity) ซึ่งเป็นจุดที่ลิงค์จะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ จึงจำเป็นต้องมีตัวช่วยให้ลิงค์เคลื่อนที่ออกจากจุดตายและเคลื่อนที่ต่อไปได้ โดยในที่นี้สามารถใช้สปริงดึงให้ลิงค์กลับสู่สภาพที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยยึดปลายด้านหนึ่งของสปริงเข้ากับข้อต่อตรงส่วนปลายของลิงค์หมายเลข 4 ตรงส่วนที่เชื่อมต่อเข้ากับกระดานรองแขนของผู้ป่วย และยึดปลายอีกด้านหนึ่งเข้ากับข้อต่อตรงส่วนปลายของลิงค์หมายเลข 2 ที่เชื่อมต่อเข้ากับมอเตอร์ ซึ่งจะทำให้กลไกสามารถเคลื่อนที่ออกจากจุดตายและอาศัยกำลังจากมอเตอร์เคลื่อนที่ต่อไปได้

3.3 การหาขนาดความยาวของลิงค์

เพื่อให้ได้ลักษณะการเคลื่อนที่สเต็ปด้วยกลไกสี่ลิงค์ที่มีความใกล้เคียงกับการเคลื่อนที่ของสเต็ปบอร์ดที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของสเต็ปบอร์ดด้วยกลไกสี่ลิงค์นั้นจะถูกกำหนดด้วยอัตราส่วนความยาวของลิงค์ทั้งสิ้น ซึ่งขนาดของความยาวหนึ่งหน่วยจะกำหนดความใหญ่เล็กของเส้นทางการเคลื่อนที่ ซึ่งขนาดของเส้นทางการเคลื่อนที่รูปเลขแปดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีความกว้างประมาณ 85 เซนติเมตร ซึ่งสามารถทำการคำนวณหาขนาดความยาวของลิงค์ได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 ลักษณะการวางตัวของลิงค์เมื่อลิงค์หมายเลข 2 ทำมุม 60 องศา กับลิงค์หมายเลข 1

จากรูป ทางเดินรูปเลขแปดที่เกิดขึ้น เกิดจากการเลือกใช้นาฬิกาของลิงค์ที่มีอัตราส่วนของความยาวลิงค์หมายเลข 1: ความยาวลิงค์หมายเลข 2: ความยาวลิงค์หมายเลข 3: ความยาวลิงค์หมายเลข 4 ท่อนแรก : ความยาวลิงค์หมายเลข 4 ท่อนสอง เป็น 2:1:1:1 ซึ่งลิงค์หมายเลขสองจะถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ให้หมุนไปกลับในตำแหน่งที่มุมของลิงค์หมายเลข 1 กับ หมายเลข 2 ทำมุมกันตั้งแต่ประมาณ -76 ถึง 76 องศา โดยขนาดของความกว้างของทางเดินของมือผู้ป่วยซึ่งเป็นรูปเลขแปดนั้น จะขึ้นอยู่กับขนาด 1 หน่วยของลิงค์ (เท่ากับขนาดของลิงค์หมายเลข 1,3,4 ท่อนแรก และ 4 ท่อนสอง) ซึ่งความกว้างของทางเดินที่ต้องการคือประมาณ 85 เซนติเมตร ซึ่งจะสามารถคำนวณหาขนาด 1 หน่วยของลิงค์ได้จากในจังหวะที่ลิงค์หมายเลข 2 ทำมุม 60 องศา กับลิงค์หมายเลข 1 (เส้นตรงที่ลากจากจุดยึดอยู่กับที่ของลิงค์หมายเลข 2 กับลิงค์หมายเลข 3) เป็นจังหวะที่มือของผู้ป่วยเคลื่อนที่ผ่านจุดปลายสุดของทางเดินรูปเลขแปดจากรูป

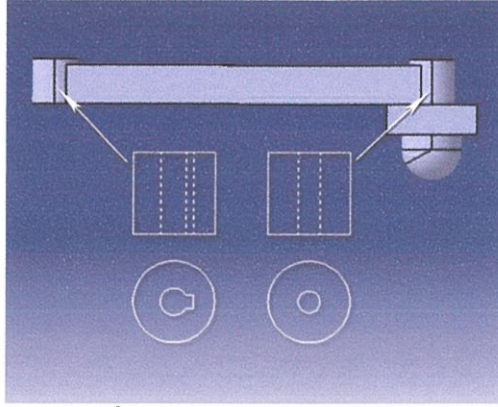
$$x = 2(\text{ขนาดลิงค์หมายเลข 1})(\cos 30) = 42.5$$

ดังนั้นจะได้ขนาดของลิงค์หมายเลข 1 เท่ากับ 24.54 เซนติเมตร

จึงเลือกใช้ความยาวลิงค์เป็น 25 เซนติเมตรเพื่อความสะดวกในการสร้างชิ้นงานจริง

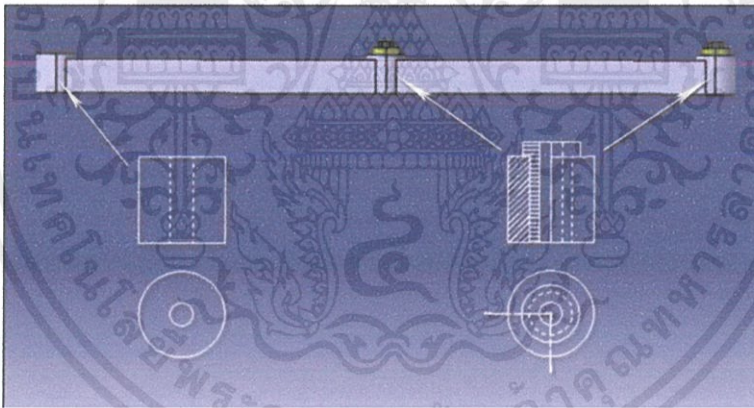
ดังนั้น จะได้ความยาวของลิงค์หมายเลข 1, 2, 3, 4 ท่อนแรก และ 4 ท่อนสองเป็น 50, 25, 25, 25, 25 เซนติเมตร ตามลำดับ

ดังนั้นจะได้ลิงค์และข้อต่อที่มีลักษณะดังรูป



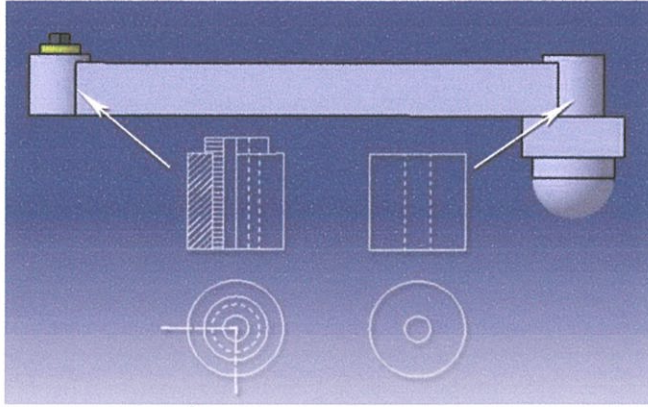
รูปที่ 3.3 ลักษณะลิ้งค์หมายเลข 2

จากรูป 3.3 แสดงลักษณะของลิ้งค์หมายเลข 2 ซึ่งมีความยาว 25 เซนติเมตร โดยด้านซ้ายเป็นข้อต่อซึ่งมาการทำร่องลิ้นไว้สำหรับต่อลิ้งค์เข้ากับมอเตอร์ ด้านขวาเป็นข้อต่อที่มีการเจาะรูทำเกี้ยวไว้ด้านในเชื่อมสำหรับเข้ากับลิ้งค์หมายเลข 4 โดยติดสล็อตไว้ด้านล่างของข้อตอดังกล่าวไว้สำหรับรองรับแรงที่กดลงบนลิ้งค์ และเป็นส่วนที่สัมผัสกับพื้นโต๊ะ



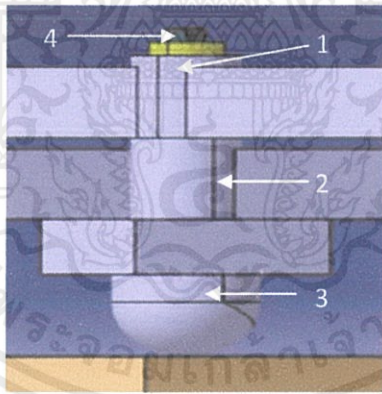
รูปที่ 3.4 ลักษณะลิ้งค์หมายเลข 4

จากรูป 3.4 แสดงลักษณะของลิ้งค์หมายเลข 4 ซึ่งประกอบด้วยข้อต่อ 3 ข้อต่อ ซึ่งข้อต่อตรงกลางจะแบ่งลิ้งค์ออกเป็นสองส่วน โดยด้านซ้ายและด้านขวามีความยาวเท่ากันคือ 25 เซนติเมตร โดยข้อต่อด้านซ้ายเป็นข้อต่อซึ่งเจาะรูทำเกี้ยวไว้ด้านในสำหรับเชื่อมต่อเข้ากับกระดานรองแขนของผู้ป่วย ข้อต่อตรงกลางเป็นข้อต่อที่เจาะรูสำหรับอัดทองเหลืองไว้ด้านในสำหรับต่อเข้ากับลิ้งค์หมายเลข 2 โดยทองเหลืองด้านในมีไว้สำหรับให้ลิ้งค์สามารถหมุนได้เมื่อทำการยึดสกรูแล้ว ส่วนลิ้งค์ด้านขวาเป็นข้อต่อลักษณะเดียวกับข้อต่อตรงกลางใช้สำหรับเชื่อมต่อลิ้งค์หมายเลข 4 เข้ากับลิ้งค์หมายเลข 3



รูปที่ 3.5 ลักษณะลิ้งค์หมายเลข 3

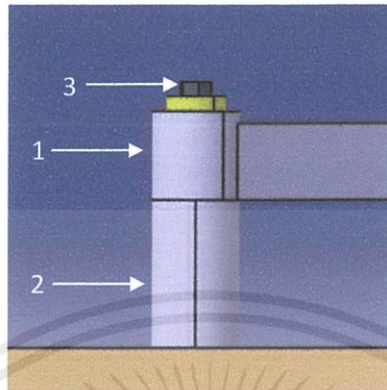
จากรูป 3.5 เป็นลักษณะของลิ้งค์หมายเลข 3 ซึ่งมีความยาว 25 เซนติเมตรประกอบด้วยข้อต่อสองชุด โดยข้อต่อด้านซ้ายเป็นข้อต่อที่เจาะรูสำหรับอัดทองเหลืองไว้ด้านใน สำหรับยึดเข้ากับโตะ ส่วนข้อต่อด้านขวาเป็นข้อต่อซึ่งเจาะรูทำเกี้ยวไว้ด้านในสำหรับเชื่อมต่อเข้ากับลิ้งค์หมายเลข 4 ซึ่งข้อตอดังกล่าวจะถูกรองรับไว้ด้วยล้อซึ่งใช้รับน้ำหนักที่กดลงบนลิ้งค์และเป็นส่วนที่สัมผัสกับพื้น โตะ



รูปที่ 3.6 ลักษณะข้อต่อระหว่างลิ้งค์

จากรูป 3.6 แสดงลักษณะของข้อต่อที่เชื่อมต่อลิ้งค์เข้าด้วยกัน โดยหมายเลข 1 คือข้อต่อที่ทำจากเหล็กทรงกระบอกเจาะรูสำหรับอัดทองเหลืองไว้ด้านใน โดยทองเหลืองจะเจาะรูสำหรับร้อยสลัก (หมายเลข 4) ผ่านได้ซึ่งสลักจะสามารถหมุนและเลื่อนได้ในรูทองเหลือง โดยสลักตัวดังกล่าวจะถูกขันเข้ากับข้อต่อหมายเลข 2 ซึ่งเป็นข้อต่อที่ทำจากเหล็กทรงกระบอกเจาะรูและทำเกี้ยวไว้ด้านในสำหรับขันสลัก โดย

ด้านล่างของข้อต่อหมายเลข 2 จะติดล้อ (หมายเลข 3) ไว้สำหรับรับแรงที่ตกลงบนลิงค์และเป็นส่วนที่สัมผัสกับพื้นโต๊ะ

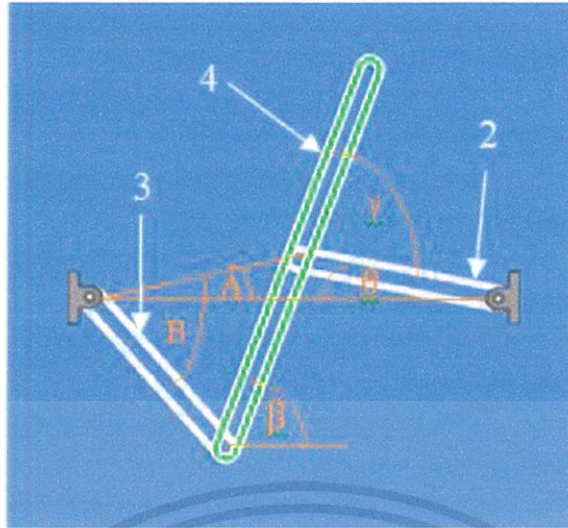


รูปที่ 3.7 ลักษณะข้อต่อที่ยึดอยู่กับที่

จากรูป 3.7 แสดงลักษณะของข้อต่อที่ใช้ยึดลิงค์ไว้กับโต๊ะ โดยหมายเลข 1 คือข้อต่อที่ทำจากเหล็กทรงกระบอกเจาะรูสำหรับอัดทองเหลืองไว้ด้านใน โดยทองเหลืองจะเจาะรูสำหรับร้อยสกรู (หมายเลข 3) ผ่านได้ซึ่งสกรูจะสามารถหมุนและเลื่อนได้ในรูทองเหลือง โดยสกรูตัวดังกล่าวจะถูกขันเข้ากับข้อต่อหมายเลข 2 ซึ่งเป็นข้อต่อที่ทำจากเหล็กทรงกระบอกเจาะรูและทำเกรียวไว้ด้านในสำหรับขันสกรู โดยข้อต่อหมายเลขสองจะถูกยึดติดไว้กับโต๊ะ

3.4 การหาขนาดมอเตอร์

ในการคำนวณเพื่อหาค่าลิงค์ของมอเตอร์นั้น มีตัวแปรที่ต้องนำมาใช้ในการคำนวณคือมุมต่างๆของลิงค์ ความเร็วเชิงมุมของลิงค์ และความเร่งเชิงมุมของลิงค์ ซึ่งในการคำนวณนั้นเพื่อความสะดวกรวดเร็วถูกต้องแม่นยำและง่ายต่อการแก้ไข จึงใช้โปรแกรมแมทแล็บ (Matlab) เข้ามาช่วยในการคำนวณ



รูปที่ 3.8 ภาพประกอบการคำนวณ

จากรูปเป็นภาพที่แสดงตำแหน่งของมุมและลิงค์หมายเลขต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ โดยความยาวของลิงค์หมายเลข 2 คือ 25 เซนติเมตรและระยะห่างระหว่างจุดยึดลิงค์หมายเลข 2 ถึงจุดยึดลิงค์หมายเลข 3 (ลิงค์หมายเลข 1) คือ 50 เซนติเมตร จะได้ว่าความยาวของ a จากกฎของ cosine ได้

$$a = \sqrt{25^2 + 50^2 - (2 \times 25 \times 50 \times \cos(180 - \theta))} \quad (3.4.1)$$

ซึ่งในการคำนวณด้วยโปรแกรมเมทแล็บนั้นเพื่อให้ทราบถึงขนาดของ a ที่เปลี่ยนไปเมื่อมุม (θ) เปลี่ยนจึงใช้คำสั่ง for เปลี่ยนค่าของมุม (θ) ตั้งแต่ -75 องศาถึง 75 องศา โดยเก็บค่าไว้ในรูปของเมตริกซ์ชื่อ angle1 ซึ่งต้องทำการประกาศค่าตัวแปรเมตริกซ์ด้วยคำสั่ง zeros แล้วทำการคำนวณหาค่า a ซึ่งจะถูกเก็บไว้ในรูปของเมตริกซ์เช่นกัน โดยเขียนชุดคำสั่งดังนี้

```
angle1=zeros(1,31);
a=zeros(1,31);

for t=1:31
    angle1(1,t)=(-80+(5*t))*pi/180;
end

for t=1:31
    a(1,t)=((50^2)+(25^2)-(2*25*50*cos(angle1(1,t))))^0.5;
end
```

จากนั้นหามุม A จากกฎของ sine ได้สมการคือ

$$A = \sin^{-1}\left(\frac{25}{a} \times \sin \theta\right) \quad (3.4.2)$$

ซึ่งทำการคำนวณด้วยโปรแกรมเมทแล็บเช่นเดียวกับการหาค่า a โดยเก็บค่าไว้ในรูปตัวแปรเมตริกซ์ชื่อ angleA ซึ่งจะนำค่าที่ได้จากการหาค่า a มาใช้ต่อได้ชุดคำสั่งดังนี้

```
angleA=zeros(1,31);
for t=1:31
    angleA(1,t)=asin((25/a(1,t))*sin(angle1(1,t)));
end
```

จากนั้นหามุม C จากกฎของ cosine ได้

$$C = \cos^{-1}\left(\frac{(25^2 + 25^2) - a^2}{2 \times 25 \times 25}\right) \quad (3.4.3)$$

ซึ่งทำการคำนวณด้วยโปรแกรมเมทแล็บเช่นเดียวกัน โดยเก็บค่าไว้ในรูปตัวแปรเมตริกซ์ชื่อ angleC ซึ่งจะนำค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาใช้ต่อได้ชุดคำสั่งดังนี้

```
angleC=zeros(1,31);
for t=1:31
    angleC(1,t)=acos(((2*25*25)-(a(1,t)^2))/(2*25*25));
end
```

จากนั้นหามุม B จากกฎของ sine ได้

$$B = \sin^{-1}\left(\frac{25}{a} \times \sin C\right) \quad (3.4.4)$$

ซึ่งทำการคำนวณด้วยโปรแกรมเมทแล็บเช่นเดียวกัน โดยเก็บค่าไว้ในรูปตัวแปรเมตริกซ์ชื่อ angleB ซึ่งจะนำค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาใช้ต่อได้ชุดคำสั่งดังนี้

```

angleB=zeros(1,31);
for t=1:31
angleB(1,t)=asin((25/a(1,t))*sin(angleC(1,t)));
end

```

จากนั้นจะหาค่ามุม β เท่ากับ

$$\beta = 180 - A - B - C \quad (3.4.5)$$

ซึ่งทำการคำนวณด้วยโปรแกรมเมทแล็บเช่นเดียวกัน โดยเก็บค่าไว้ในรูปตัวแปรเมตริกซ์ชื่อ angle2 โดยนำค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาใช้ต่อได้ชุดคำสั่งดังนี้

```

angle2=zeros(1,31);
for t=1:31
angle2(1,t)=pi-angleA(1,t)-angleB(1,t)-angleC(1,t);
end

```

จากนั้นจะหาค่ามุม γ เท่ากับ

$$\gamma = \theta - \beta \quad (3.4.6)$$

ซึ่งทำการคำนวณด้วยโปรแกรมเมทแล็บเช่นเดียวกัน โดยเก็บค่าไว้ในรูปตัวแปรเมตริกซ์ชื่อ angle3 โดยนำค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาใช้ต่อได้ชุดคำสั่งดังนี้

```

angle3=zeros(1,31);
for t=1:31
angle3(1,t)=angle1(1,t)-angle2(1,t);
end

```

ซึ่งจะหาระยะยึดของสปริงได้เท่ากับ

$$x = \sqrt{25^2 + 25^2 - (2 \times 25 \times 25 \times \cos \gamma)} \quad (3.4.7)$$

โดยสปริงที่ใช้จะมีความยาวปกติ 20 เซนติเมตร นั่นคือ เมื่อ x มีค่าต่ำกว่า 20 เซนติเมตร สปริงจะไม่ยึด และเมื่อค่า x มีค่ามากกว่า 20 เซนติเมตร แรงดึงของสปริงที่เกิดขึ้นคือ

$$F_{spring} = K(x - 20) \quad (3.4.8)$$

เมื่อ K คือ ค่าความแข็งของสปริง (ในที่นี้เลือกใช้ 500 N/m ได้จากค่าสปริงที่อ่อนที่สุดที่มีความยาวมากพอที่จะใช้กับระยะห่างสูงสุดที่ 42.5 เซนติเมตรซึ่งมาขยายตามท้องตลาดในที่นี้คือสปริงยาว 20 เซนติเมตร)

ซึ่งทำการคำนวณด้วยโปรแกรมเม็ทแล็บเช่นเดียวกัน โดยในการแยกการคำนวณเป็นสองกรณีนี้ใช้ชุดคำสั่ง if ในการคำนวณ โดยเก็บค่าแรงดึงสปริง (F_{spring}) ในรูปตัวแปรเมตริกซ์ชื่อ Fkx ซึ่งนำค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาใช้ต่อได้ชุดคำสั่งดังนี้

```
x=zeros(1,31);
Fkx=zeros(1,31);

for t=1:31
    x(1,t)=(2*(25^2)*(1-cos(angle3(1,t))))^0.5;
end

for t=1:31
    if x(1,t)<20
        Fkx(1,t)=0;
    else
        Fkx(1,t)=(x(1,t)-20)*4.8;
    end
end

end
```

จากนั้นหาความเร็วเชิงมุมของลิงค์หมายเลข 3 (ω_3) และ 4 (ω_4) เมื่อความเร็วเชิงมุมของลิงค์หมายเลข 2 (ω_2) กำหนดให้มีความเร็วเชิงมุมเท่ากับ 15 rpm หรือเท่ากับ 1.5708 rad/s ได้ดังนี้

$$\omega_3 = \omega_2 \frac{\sin(\theta - A - B)}{\sin(\beta - 180 + A + B)} \quad (3.4.9)$$

$$\omega_4 = \omega_2 \frac{\sin(180 - \theta - \beta)}{\sin(180 - A - B - \beta)} \quad (3.4.10)$$

ซึ่งทำการคำนวณด้วยโปรแกรมเม็ทแล็บเช่นเดียวกัน โดยเก็บค่าความเร็วเชิงมุมของลิงค์หมายเลข 3 (ω_3) ไว้ในรูปตัวแปรเมตริกซ์ชื่อ omega2 และเก็บค่าความเร็วเชิงมุมของลิงค์หมายเลข 4 (ω_4) ไว้ในรูปตัวแปรเมตริกซ์ชื่อ omega3 โดยนำค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาใช้ต่อได้ชุดคำสั่งดังนี้

```

omega3=zeros(1,31);
omega2=zeros(1,31);

for t=1:31
    omega2(1,t)=(1.5708*sin(pi-angle1(1,t)-angleA(1,t)-angleB(1,t)))/
s2(1,t)=sin(angle2(1,t)-pi+angleA(1,t)+angleB(1,t));
end

for t=1:31
    omega3(1,t)=(1.5708*sin(angle1(1,t)-angle2(1,t)))/sin(pi-
angleA(1,t)-angleB(1,t)-angle2(1,t));
end

```

จากนั้นหาความเร่งเชิงมุมของลิงค์หมายเลข 3(α_3) และ 4(α_4) ได้ดังสมการ

$$\alpha_4 = \frac{K_3 K_4 - K_1 K_6}{K_1 K_5 - K_2 K_4} \quad (3.4.11)$$

$$\alpha_3 = \frac{K_3 K_5 - K_2 K_6}{K_1 K_5 - K_2 K_4} \quad (3.4.12)$$

เมื่อ $K_1 = 25 \sin(180 - A - B)$

$$K_2 = 25 \sin(\beta)$$

$$K_3 = 25 \omega_2^2 \cos(\theta)$$

$$+ 25 \omega_3^2 \cos(\beta) + 25 \omega_4^2 \cos(180 - A - B)$$

$$K_4 = 25 \cos(180 - A - B)$$

$$K_5 = 25 \cos(\beta)$$

$$K_6 = 25 \omega_2^2 \sin(\theta)$$

$$+ 25 \omega_3^2 \sin(\beta) + 25 \omega_4^2 \sin(180 - A - B)$$

ซึ่งทำการคำนวณด้วยโปรแกรมเมทแล็บเช่นเดียวกัน โดยเก็บค่าความเร่งเชิงมุมของลิงค์หมายเลข 3(α_3) และ 4(α_4) ไว้ในรูปแบบตัวแปรเมตริกซ์ชื่อ alpha1 และ alpha2 ตามลำดับ โดยนำค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาใช้ต่อได้หาค่าตั้งดังนี้

```

k1=zeros(1,31);
k2=zeros(1,31);
k3=zeros(1,31);
k4=zeros(1,31);
k5=zeros(1,31);
k6=zeros(1,31);
alpha1=zeros(1,31);
alpha2=zeros(1,31);

for t=1:31
    k1(1,t)=0.25*sin(180-angleA(1,t)-angleB(1,t));
end

for t=1:31
    k2(1,t)=0.25*sin(angle2(1,t));
end

for t=1:31
k3(1,t)=(0.25*(1.5708^2)*cos(angle1(1,t)))+(0.25*(omegar2(1,t)^2)*cos
(angle2(1,t)))-(0.25*(omegar3(1,t)^2)*cos(pi-angleA(1,t)-
angleB(1,t)));
end

for t=1:31
    k4(1,t)=0.25*cos(pi-angleA(1,t)-angleB(1,t));
end

for t=1:31
    k5(1,t)=0.25*cos(angle2(1,t));
end

for t=1:31
    k6(1,t)=-((0.25*(1.5708^2)*sin(angle1(1,t)))-
(0.25*(omegar2(1,t)^2)*sin(angle2(1,t)))+(0.25*(omegar3(1,t)^2)*sin
(pi-angleA(1,t)-angleB(1,t))));
end

for t=1:31
    alpha1(1,t)=((k3(1,t)*k5(1,t))-
(k2(1,t)*k6(1,t)))/((k1(1,t)*k5(1,t))-(k2(1,t)*k4(1,t)));
end

for t=1:31
    alpha2(1,t)=((k3(1,t)*k4(1,t))-
(k1(1,t)*k6(1,t)))/((k1(1,t)*k5(1,t))-(k2(1,t)*k4(1,t)));
end

```

จากนั้นจะสามารถหาความเร่งของลิงค์ต่างๆได้จาก

$$a_{G_{2x}} = \frac{25 \times \omega_2^2 \cos(\theta)}{2} \quad (3.4.13)$$

$$a_{G_{2y}} = \frac{25 \times \omega_2^2 \sin(\theta)}{2} \quad (3.4.14)$$

$$a_{G_{3x}} = -25 \times \alpha_3 \sin(A+B) - 25 \times \omega_3^2 \cos(A+B) \quad (3.4.15)$$

$$a_{G_{3y}} = -25 \times \alpha_3 \cos(A+B) + 25 \times \omega_3^2 \sin(A+B) \quad (3.4.16)$$

$$a_{G_{4x}} = \frac{a_{G_{3x}}}{2} \quad (3.4.17)$$

$$a_{G_{4y}} = \frac{a_{G_{3y}}}{2} \quad (3.4.18)$$

$$a_{G_2} = \sqrt{a_{G_{2x}}^2 + a_{G_{2y}}^2} \quad (3.4.19)$$

$$a_{G_3} = \sqrt{a_{G_{3x}}^2 + a_{G_{3y}}^2} \quad (3.4.20)$$

$$a_{G_4} = \sqrt{a_{G_{4x}}^2 + a_{G_{4y}}^2} \quad (3.4.21)$$

ซึ่งทำการคำนวณด้วยโปรแกรมเม็ทแล็บเช่นเดียวกัน โดยเก็บค่าความเร่งของลิงก์หมายเลข 2 ($a_{G_{2x}}$, $a_{G_{2y}}$, a_{G_2}), 3 ($a_{G_{3x}}$, $a_{G_{3y}}$, a_{G_3}) และ 4 ($a_{G_{4x}}$, $a_{G_{4y}}$, a_{G_4}) ไว้ในรูปแบบตัวแปรเมตริกชื่อ ag2x, ag2y, ag2all, ag3x, ag3y, ag3all และ ag4x, ag4y, ag4all ตามลำดับ โดยนำค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาใช้ต่อได้ชุดคำสั่งดังนี้

```

ag2x=zeros(1,31);
ag2y=zeros(1,31);
ag2all=zeros(1,31);
ag3x=zeros(1,31);
ag3y=zeros(1,31);
ag3all=zeros(1,31);
ag4x=zeros(1,31);
ag4y=zeros(1,31);
ag4all=zeros(1,31);

for t=1:31
    ag2x(1,t)=(0.25*(1.5708^2)*cos(angle1(1,t)))/2;
end

for t=1:31
    ag2y(1,t)=(0.25*(1.5708^2)*sin(angle1(1,t)))/2;
end

end

```

```

for t=1:31
    ag3x(1,t)=(-0.25*alpha1(1,t)*sin
(angleA(1,t)+angleB(1,t)))-(0.25*(omegar3(1,t)^2)*cos
(angleA(1,t)+angleB(1,t)));
end

for t=1:31
    ag3y(1,t)=(-0.25*alpha1(1,t)*cos
(angleA(1,t)+angleB(1,t)))+(0.25*(omegar3(1,t)^2)*sin
(angleA(1,t)+angleB(1,t)));
end

for t=1:31
    ag4x(1,t)=ag3x(1,t)/2;
end

for t=1:31
    ag4y(1,t)=ag3y(1,t)/2;
end

for t=1:31
    ag2all(1,t)=((ag2x^2)+(ag2y^2))^0.5;
end

for t=1:31
    ag3all(1,t)=((ag3x^2)+(ag3y^2))^0.5;
end

for t=1:31
    ag4all(1,t)=((ag4x^2)+(ag4y^2))^0.5;
end

```

ซึ่งผลจากการคำนวณจะทำให้สามารถหาค่าแรงดึงสปริงสูงสุด และความเร่งของจุดศูนย์กลางลิ่งค์สูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อมุมของลิ่งค์เปลี่ยนไปซึ่งนำมาใช้ในการหาค่าแรงบิดที่ต้องการจากมอเตอร์สูงสุด เพื่อนำไปหาค่ากำลังมอเตอร์ต่อไป โดยค่าแรงดึงสปริงและความเร่งได้ค่าดังนี้

ค่าแรงดึงสปริง (F_{spring})

Fkx =

Columns 1 through 11

99.8828 108.8544 111.2459 111.8461 111.3592 109.9900 107.7692 104.6342 100.4549 95.0442

88.1676

Columns 12 through 22

79.5617 68.9687 56.1915 41.1624 24.0000 5.0231 0 0 0 0 0

Columns 23 through 31

0 0 0 0 5.8045 24.0000 42.2257 61.2714 85.9944

ความเร่งของจุดศูนย์กลางลึงค์หมายเลข 2

ag2all =

Columns 1 through 11

0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084

Columns 12 through 22

0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084

Columns 23 through 31

0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084 0.3084

ความเร่งของจุดศูนย์กลางลึงค์หมายเลข 3

ag3all =

Columns 1 through 11

146.4584 36.4864 5.5984 2.3098 1.2913 0.8451 0.6054 0.4618 0.3836 0.3696 0.4171

Columns 12 through 22

0.5102 0.6275 0.7402 0.8068 0.7832 0.6550 0.4615 0.2745 0.1423 0.0651 0.1198

Columns 23 through 31

0.2806 0.5084 0.8264 1.3216 2.3091 5.7831 28.0660 7.0949 33.2984

ความเร่งของจุดศูนย์กลางลึงค์หมายเลข 4

ap4all =

Columns 1 through 11

73.2292 18.2432 2.7992 1.1549 0.6456 0.4226 0.3027 0.2309 0.1918 0.1848 0.2086

Columns 12 through 22

0.2551 0.3137 0.3701 0.4034 0.3916 0.3275 0.2308 0.1373 0.0711 0.0326 0.0599

Columns 23 through 31

0.1403 0.2542 0.4132 0.6608 1.1545 2.8915 14.0330 3.5474 16.6492

จากผลที่ได้จะพบว่าค่าแรงดึงสปริงมีค่าสูงสุดที่มุม $\theta=60$ องศา และความเร่งของลิงค์มีค่าสูงสุดที่มุม $\theta=-76$ องศา จากนั้นนำผลที่ได้มาทำการคำนวณด้วยระบบสมการเมตริกซ์ ตามสมการ (2.3.24)

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -R_{12y} & R_{12x} & -R_{32y} & R_{32x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_{23y} & -R_{23x} & -R_{43y} & R_{43x} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_{34y} & -R_{43x} & -R_{12y} & R_{14x} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} F_{12x} \\ F_{12y} \\ F_{32x} \\ F_{32y} \\ F_{43x} \\ F_{43y} \\ F_{14x} \\ F_{14y} \\ T_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_2 a_{G_2x} \\ m_2 a_{G_2y} \\ I_{G_2} \alpha_2 \\ m_3 a_{G_3x} - F_{P_x} \\ m_3 a_{G_3y} - F_{P_y} \\ I_{G_3} \alpha_3 - R_{P_x} F_{P_y} + R_{P_y} F_{P_x} \\ m_4 a_{G_4x} \\ m_4 a_{G_4y} \\ I_{G_4} \alpha_4 - T_4 \end{bmatrix}$$

เมื่อ

R_{P_x} คือระยะจากข้อต่อมือของผู้ป่วยถึงจุดศูนย์กลางลิงค์หมายเลข 4 ในแนวแกน x ซึ่งหาได้จาก

$$R_{P_x} = 50 \times \cos \beta \quad (3.4.22)$$

R_{P_y} คือระยะจากข้อต่อมือของผู้ป่วยถึงจุดศูนย์กลางลิงค์หมายเลข 4 ในแนวแกน y ซึ่งหาได้จาก

$$R_{P_y} = 50 \times \sin \beta \quad (3.4.23)$$

R_{12x} คือระยะจากข้อต่อยึดอยู่กับที่ของลิงค์หมายเลข 2 ถึงจุดศูนย์กลางลิงค์หมายเลข 2 ในแนวแกน x ซึ่งหาได้จาก

$$R_{12x} = \frac{-25 \cos(180 - \theta)}{2} \quad (3.4.24)$$

R_{12y} คือระยะจากข้อต่อยึดอยู่กับที่ของลิงค์หมายเลข 2 ถึงจุดศูนย์กลางลิงค์หมายเลข 2 ในแนวแกน y ซึ่งหาได้จาก

$$R_{12y} = \frac{-25 \sin(180 - \theta)}{2} \quad (3.4.25)$$

R_{32x} คือระยะจากข้อต่อระหว่างลิงค์หมายเลข 2 กับหมายเลข 3 ถึงจุดศูนย์กลางลิงค์หมายเลข 2 ในแนวแกน x ซึ่งหาได้จาก

$$R_{32x} = \frac{25 \sin(180 - \theta)}{2} \quad (3.4.26)$$

R_{32y} คือระยะจากข้อต่อระหว่างลิงค์หมายเลข 2 กับหมายเลข 3 ถึงจุดศูนย์กลางลิงค์หมายเลข 2 ในแนวแกน y ซึ่งหาได้จาก

$$R_{32y} = \frac{25 \sin(180 - \theta)}{2} \quad (3.4.27)$$

R_{23x} และ R_{23y} คือระยะจากข้อต่อระหว่างลิงค์หมายเลข 2 กับหมายเลข 3 ถึงจุดศูนย์กลางลิงค์หมายเลข 3 ในแนวแกน x และ y ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0

R_{43x} คือระยะจากข้อต่อระหว่างลิงค์หมายเลข 4 กับหมายเลข 3 ถึงจุดศูนย์กลางลิงค์หมายเลข 3 ในแนวแกน x ซึ่งหาได้จาก

$$R_{43x} = 25 \cos \beta \quad (3.4.28)$$

R_{43y} คือระยะจากข้อต่อระหว่างลิงค์หมายเลข 4 กับหมายเลข 3 ถึงจุดศูนย์กลางลิงค์หมายเลข 3 ในแนวแกน y ซึ่งหาได้จาก

$$R_{43y} = 25 \sin \beta \quad (3.4.29)$$

R_{34x} คือระยะจากข้อต่อระหว่างลิงค์หมายเลข 4 กับหมายเลข 3 ถึงจุดศูนย์กลางลิงค์หมายเลข 4 ในแนวแกน x ซึ่งหาได้จาก

$$R_{34x} = \frac{-25 \cos(A + B)}{2} \quad (3.4.30)$$

R_{34y} คือระยะจากข้อต่อระหว่างลิงค์หมายเลข 4 กับหมายเลข 3 ถึงจุดศูนย์กลางลิงค์หมายเลข 4 ในแนวแกน y ซึ่งหาได้จาก

$$R_{34y} = \frac{25 \sin(A + B)}{2} \quad (3.4.31)$$

R_{14x} คือระยะจากข้อต่อที่ยึดอยู่กับที่ของลิงค์หมายเลข 4 ถึงจุดศูนย์กลางลิงค์หมายเลข 4 ในแนวแกน x ซึ่งหาได้จาก

$$R_{14x} = \frac{25 \cos(A + B)}{2} \quad (3.4.32)$$

R_{14y} คือระยะจากข้อต่อที่ยึดอยู่กับที่ของลิงค์หมายเลข 4 ถึงจุดศูนย์กลางลิงค์หมายเลข 4 ในแนวแกน y ซึ่งหาได้จาก

$$R_{14y} = \frac{-25 \sin(A+B)}{2} \quad (3.4.33)$$

F_p คือแรงที่มากกระทำกับข้อต่อที่ต่อกับมือของผู้ป่วยซึ่งมีแรงมากกระทำด้วยกันสองแรงคือแรงจากสปริง และแรงจากโหลดจากมือผู้ป่วยซึ่งสมมุติให้เท่ากับ 50 N ในทิศทางเดียวกับความเร่ง ณ จุดนั้น

ซึ่งมุมของความเร่ง ณ จุดนั้นกับแกน x หาได้จาก

$$\theta_p = \tan^{-1} \left(\frac{a_{G_{2x}} + 25 \times \alpha_4 \sin \beta - 25 \times \omega_4^2 \cos \beta}{a_{G_{2y}} - 25 \times \alpha_4 \cos \beta - 25 \times \omega_4^2 \sin \beta} \right) \quad (3.4.34)$$

และมุมของแรงสปริงที่ทำกับแกน x หาได้จาก

$$\theta_{spring} = -\sin^{-1} \left(\frac{25}{x} \sin \gamma \right) + \beta \quad (3.4.35)$$

จะได้ F_p เท่ากับ

$$F_{p_x} = 50 \cos \theta_p + F_{spring} \cos \theta_{spring} \quad (3.4.36)$$

$$F_{p_y} = 50 \sin \theta_p + F_{spring} \sin \theta_{spring} \quad (3.4.37)$$

เมื่อสามารถหาค่าตัวแปรทั้งหมดที่ต้องใช้แล้วจึงแก้สมการเมตริกซ์ 9x9 เพื่อหาค่า T_{12} ซึ่งนำไปใช้หาค่ากำลังของมอเตอร์ต่อไป โดยกำลังของมอเตอร์ที่ได้จะเปลี่ยนตามมุมของลิงค์หมายเลข 2 กับแกน x (θ) ซึ่งมุมที่จะนำมาพิจารณาคือมุมที่ทำให้เกิดความเร่งในลิงค์มากที่สุด และมุมที่ทำให้สปริงเกิดการยืดมากที่สุด โดยจากการคำนวณข้างต้นพบว่าความเร่งของลิงค์มีค่ามากที่สุดที่มุม $\theta = -76$ องศา และแรงดึงของสปริงมีค่ามากที่สุดที่มุม $\theta = -60$ องศา

ซึ่งที่มุม $\theta = -76$ องศา T_{12} มีค่าเท่ากับ 13.2840 N-m

และที่มุม $\theta = -60$ องศา T_{12} มีค่าเท่ากับ 29.2527 N-m

ดังนั้นจึงนำค่า T_{12} ที่มุม $\theta = -60$ องศา มาใช้ในการคำนวณหาขนาดมอเตอร์ด้วยสมการ

$$P = T_{12} \times \omega_2 \quad (3.4.38)$$

เมื่อ ω_2 มีค่าเท่ากับ 15 rpm หรือ 1.5708 rad/s

จะได้ $P = 29.2527 \times 1.5708 = 45.9501 \text{ W}$

ซึ่งจากการคำนวณที่ผ่านมาเป็นการคำนวณโดยไม่คำนึงถึงแรงเสียดทานและกำลังที่อาจสูญเสียจากระบบส่งกำลัง ดังนั้นมอเตอร์ที่ใช้จำเป็นต้องเผื่อขนาดสำหรับแรงเสียดทานและกำลังที่อาจสูญเสียด้วย โดยใช้ค่าเซฟตี้แฟคเตอร์ (safety factor หรือ S.F.) เท่ากับ 1.2

ดังนั้นจึงได้กำลังมอเตอร์ที่ต้องการเท่ากับ

$$P_{real} = P_{Theory} \times S.F.$$

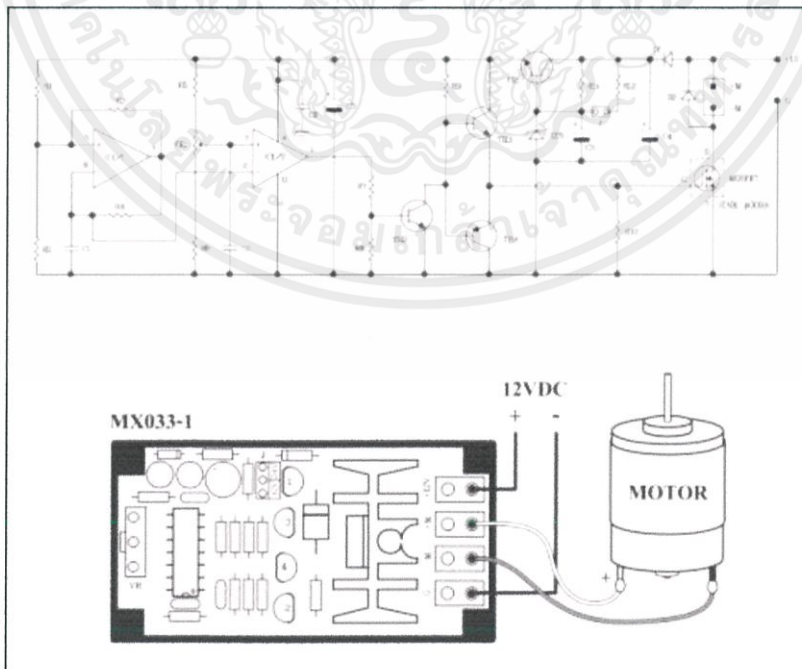
จะได้ $45.9501 \times 1.2 = 55.1401 \text{ W}$

ซึ่งสามารถเลือกมอเตอร์ขนาด 60 W มาใช้ได้

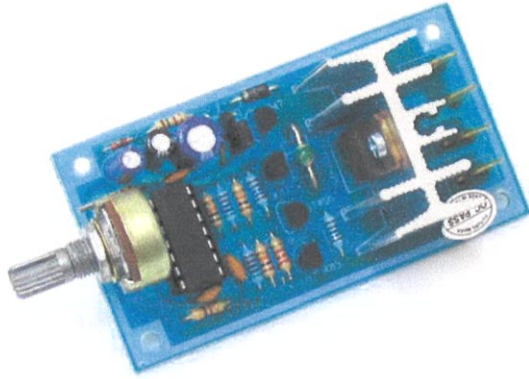
3.5 อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน

3.5.1 ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์

เป็นอุปกรณ์สำเร็จรูปที่ใช้สำหรับปรับกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ามอเตอร์ของบริษัท Maxx Tronic รหัส MX033 โดยใช้ค่าความต้านทานปรับค่าได้เป็นตัวควบคุมขนาดกระแสที่ต้องการ ทำให้ความเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปตามกระแสที่เปลี่ยน โดยลักษณะของอุปกรณ์ และวงจรของอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นดังรูป



รูปที่ 3.9 วงจรชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์



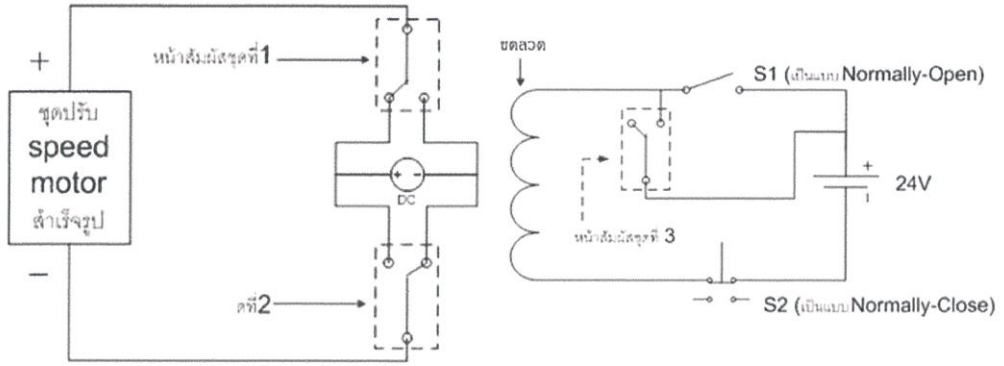
รูปที่ 3.10 ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์สำเร็จรูป

3.5.2 ชุดควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

ในการใช้งานนั้นมอเตอร์จะต้องหมุนถึงเครื่องหมายเลข 2 ให้ทำมุมกับถึงหมายเลข 1 ตั้งแต่ประมาณ -76 ถึง 76 องศาและหมุนกลับไปที่กลับมา จึงจำเป็นต้องมีตัวควบคุมทิศทางการหมุนของ มอเตอร์เพื่อให้ได้การเคลื่อนที่ที่ต้องการดังกล่าว โดยทำการติดตั้งลิมิตสวิตช์ไว้ในตำแหน่งที่มุมระหว่างถึงเครื่องหมายเลข 2 กับถึงหมายเลข 1 มีค่าเท่ากับ -76 และ 76 องศา เมื่อมอเตอร์หมุนถึงเครื่องหมายเลข 2 มาถึงในตำแหน่งในตำแหน่งดังกล่าว ถึงเครื่องหมายเลข 2 จะกดลิมิตสวิตช์ตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งลิมิตสวิตช์จะเป็นตัวสั่งการให้มอเตอร์หมุนกลับทิศ และเมื่อถึงเครื่องหมายสองเคลื่อนที่ไปจนถึงสวิตช์ตัวที่สอง และกดสวิตช์ดังกล่าว ลิมิตสวิตช์ก็จะสั่งการให้มอเตอร์หมุนกลับทิศอีกครั้ง และหมุนกลับไปที่กลับมาเรื่อยๆตลอดการทำงาน

โดยชุดควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ประกอบด้วย

1. ลิมิตสวิตช์ (Limit switch) 2 ตัว (S_1 , S_2)
2. รีเลย์ (Relay) หน้าสัมผัส 4 ชุด 24 V.D.C. 1 ตัว
3. ชุดปรับความเร็วมอเตอร์สำเร็จรูป



รูปที่ 3.11 การทำงานของ Relay ในวงจร

จากรูปเป็นวงจรชุดควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ โดยในตอนเริ่มต้นการทำงานลิมิตสวิตช์ตัวที่ 1 (S1) ยังไม่ถูกทำให้วงจรด้านขวามือไม่ครบวงจรกระแสจึงยังไม่ไหลเข้าขอลวดหน้าสัมผัสของรีเลย์ (Relay) ชุดที่ 1, 2 และ 3 จะเป็นดังรูป ทำให้กระแสด้านบวกที่ไหลจากชุดปรับความเร็วมอเตอร์ไหลเข้ามอเตอร์ที่ด้านบวก และให้กระแสด้านลบที่ไหลจากชุดปรับความเร็วมอเตอร์ไหลเข้ามอเตอร์ที่ด้านลบ จากนั้นเมื่อทำการกดสวิตช์ตัวที่ 1 (S1) ทำให้กระแสไฟไหลเข้าขลวด เหนี่ยวนำให้หน้าสัมผัสของของรีเลย์ทั้ง 3 หน้าสัมผัสเปลี่ยนไปอยู่ในตำแหน่งทวงกันข้าม ซึ่งเมื่อหน้าสัมผัสที่ 3 เปลี่ยนไปอยู่ในตำแหน่งตรงข้ามทำให้แม่ไม่กดสวิตช์ตัวที่ 1 (S1) แล้ว กระแสยังลงไหลเข้าขลวดอยู่ต่อไปทำให้หน้าสัมผัสทั้ง 3 อยู่ในตำแหน่งดังกล่าวต่อไป ซึ่งกระแสด้านบวกที่ไหลจากชุดปรับความเร็วมอเตอร์ไหลเข้ามอเตอร์ที่ด้านลบ และให้กระแสด้านลบที่ไหลจากชุดปรับความเร็วมอเตอร์ไหลเข้ามอเตอร์ที่ด้านบวก ส่งผลให้มอเตอร์หมุนกลับทิศกบในครั้งแรก จนกระทั่งเมื่อถึงคัทหมายเลข 2 เคลื่อนที่มาถึงลิมิตสวิตช์หมายเลข 2 (S2) และกดสวิตช์ตัวดังกล่าวทำให้วงจรด้านขวามือไม่ครบวงจรอีกครั้ง กระแสจึงไม่ไหลเข้าขลวด ส่งผลให้หน้าสัมผัสเปลี่ยนกลับไปอยู่ในตำแหน่งเดิม มอเตอร์จึงหมุนกลับทิศอีกครั้ง และกลับไปกลับมาเช่นนี้ตลอดการทำงาน

3.6 แหล่งจ่ายไฟ

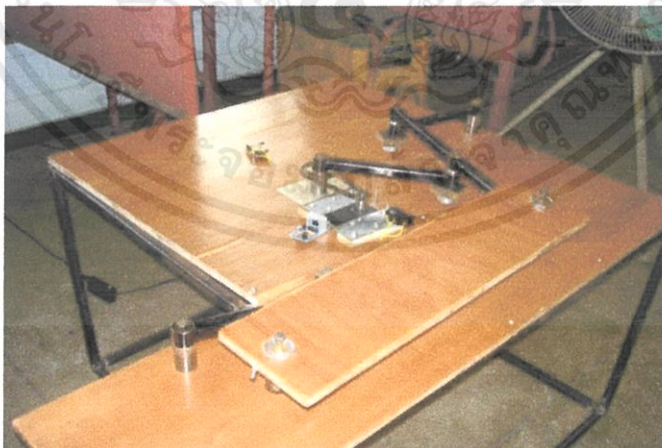
แหล่งจ่ายไฟที่ใช้จ่ายกระแสให้กับอุปกรณ์ต่างๆเป็นหม้อแปลงที่มีไฟฟ้าเข้าเป็น ไฟ 220 โวลต์ แล้วแปลงให้ไฟฟ้าออกเป็น 24 โวลต์ 3 แอมแปร์ เพื่อจ่ายไฟให้กับทั้งมอเตอร์ ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ และชุดควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

บทที่ 4

หลักการทางานและผลการทดลอง

4.1 บทนำ

หลังจากการออกแบบและสร้างเครื่องอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด ซึ่งผู้ศึกษาทำการสร้างอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดตามหลักวิศวกรรมโดยมีหลักการทางานดังที่ได้ออกแบบไว้ แต่เนื่องด้วยขาดความชำนาญและขาดประสบการณ์ในการทางาน เช่น การกลึงที่ไม่ได้สัดส่วน การเชื่อมที่ไม่เรียบร้อยหรือการเจาะรูที่ขาดแม่นยำ ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในบางประการ เช่น โซ่ที่ใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์มีการหย่อนเวลาทางาน การเกิดเสียงดังของลิ่งค์ ล้อมีการกดลงที่ตัวโตะมากเกินไป เป็นต้น ข้อผิดพลาดเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องเครื่องอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด แต่โดยพื้นฐานแล้วเครื่องเครื่องอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดยังสามารถทางานได้ตามหลักการทางานเดิม หากแต่สามารถแก้ไขข้อผิดพลาดเหล่านี้ลงได้ก็จะทำให้การทำงานของเครื่องอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.1 แสดงรูปเครื่องอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดที่ผู้ศึกษาออกแบบและสร้างขึ้น

4.2 หลักการทำงาน

4.2.1 ปรีกษาผู้เชี่ยวชาญในการแยกประเภทผู้ป่วยและการใช้ท่าในการบำบัด

4.2.2 จัดเตรียมอุปกรณ์ในท่าตามที่ผู้เชี่ยวชาญบอก ซึ่งมีทั้งหมด3ท่าดังนี้

4.2.2.1 การเคลื่อนที่แบบเลขแปด



รูปที่ 4.2 แสดงการจัดเตรียมอุปกรณ์ในท่าเลขแปด

จากรูป แสดงการเชื่อมต่อลิงค์เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของกลไกสี่ลิงค์เป็นรูปแปด โดยเชื่อมต่อลิงค์หมายเลขสองเข้ากับมอเตอร์ด้วยข้อต่อที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับมอเตอร์ซึ่งได้ทำร่องลิ้นไว้สำหรับรับแรงจากมอเตอร์ และเชื่อมต่อข้อต่ออีกด้านหนึ่งเข้ากับข้อต่อตรงกลางของลิงค์หมายเลข 4 ซึ่งเจาะและอัดทองไว้สำหรับร้อยสกรู โดยวางลิงค์หมายเลข 4 ไว้ด้านบนแล้วร้อยสกรูผ่านข้อต่อของลิงค์หมายเลขสี่ เพื่อมาขึ้นเข้ากับข้อต่อของลิงค์หมายเลขสองซึ่งเจาะรูและทำเกรียวได้ด้านในสำหรับขันสกรู ส่วนข้อต่อส่วนปลายของลิงค์หมายเลข 4 ด้านที่เจาะรูสำหรับอัดทองเหลืองจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับลิงค์หมายเลข 3 โดยวางลิงค์หมายเลข 4 ไว้ด้านบนแล้วใช้สกรูยึดข้อต่อทั้งสองไว้ด้วยวิธีการเดียวกัน ส่วนข้อต่อที่ปลายอีกด้านหนึ่งซึ่งเจาะรูและทำเกรียวไว้ด้านในใช้เชื่อมต่อเข้ากับข้อต่อที่ปลายของกระดานรองแขนของผู้ป่วยซึ่งเป็นเหล็กทรงกระบอกซึ่งเจาะรูอัดทองเหลืองไว้เช่นกับซึ่งใช้สกรูยึดข้อต่อทั้งสองไว้ด้วยกันด้วยวิธีการเดียวกัน จากนั้นทำการเชื่อมต่อข้อต่อที่ปลายของลิงค์หมายเลข 3 ซึ่งเจาะรูอัดทองเหลืองเข้ากับข้อต่อที่ยึดติดกับโต๊ะซึ่งเจาะรูและทำเกรียวไว้ด้านในโดยใช้สกรูในการเชื่อมต่อด้วยวิธี

เกี่ยวกับการเชื่อมต่อก่อนหน้านี้ จากนั้นเชื่อมต่อข้อต่อที่ปลายของกระดานรองแขนผู้ป่วยเข้ากับลิงค์รองข้อศอกด้วยวิธีการเช่นเดิม

4.2.2.2 การเคลื่อนที่แบบวงกลม



รูปที่ 4.3 แสดงการจัดเตรียมอุปกรณ์ในท่าวงกลม

จากรูป แสดงการเชื่อมต่อลิงค์เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของกลไกสี่ลิงค์เป็นรูปแปด โดยเชื่อมต่อลิงค์หมายเลขสองเข้ากับมอเตอร์ด้วยข้อต่อที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับมอเตอร์ซึ่งได้ทำร่องลิ้นไว้สำหรับรับแรงจากมอเตอร์ จากนั้นเชื่อมต่อข้อต่อปลายอีกข้างหนึ่งของลิงค์หมายเลข 2 เข้ากับข้อต่อที่ปลายกระดานรองแขนของผู้ป่วย ซึ่งเป็นเหล็กทรงกระบอกซึ่งเจาะรูอัดทองเหลืองไว้สำหรับร้อยสกรู โดยวางลิงค์หมายเลข 4 ไว้ด้านบนแล้วร้อยสกรูผ่านข้อต่อที่ปลายของกระดานรองแขนผู้ป่วย เพื่อมาขันเข้ากับข้อต่อของลิงค์หมายเลขสองซึ่งเจาะรูและทำเกลียวได้ด้านในสำหรับขันสกรู จากนั้นเชื่อมต่อข้อต่อที่ปลายของกระดานรองแขนผู้ป่วยเข้ากับลิงค์รองข้อศอกด้วยวิธีการเดียวกัน

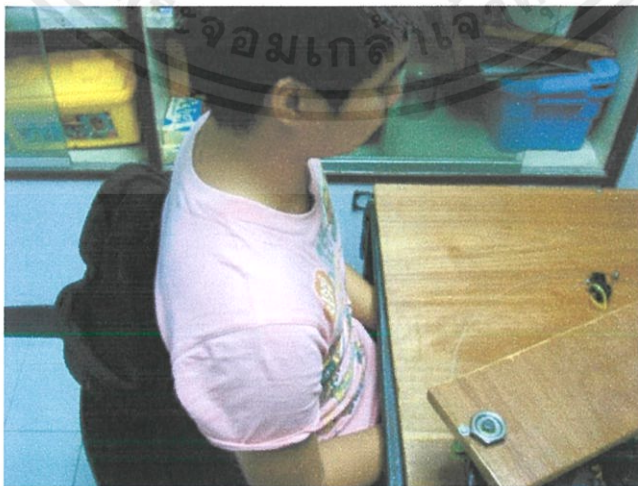
4.2.2.3 การเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม



รูปที่ 4.4 แสดงการจัดเตรียมอุปกรณ์ในท่าครึ่งวงกลม

จากรูป แสดงการเชื่อมต่อลิค์เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของกลไกสี่ลิงค์เป็นรูปครึ่งวงกลม โดยเชื่อมต่อลิค์ต่างๆ ไว้ในลักษณะเดียวกันกับการเชื่อมต่อลิค์สำหรับการเคลื่อนที่เป็นรูปวงกลม แต่มีการติดตั้งลิมิตสวิทช์เข้าไปในตำแหน่งที่ลิค์หมายเลข 2 กับหมายเลข 1 ทำมุมกันเท่ากับ -76 และ 76 องศา ซึ่งลิมิตสวิทช์จะเป็นตัวควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ทำให้ลิค์หมายเลขสองเคลื่อนที่กลับ ไปกลับมา ทำให้เกิดการเคลื่อนที่เป็นรูปครึ่งวงกลม

4.2.3 นำผู้ป่วยเข้าไปในโต๊ะ



รูปที่ 4.5 การนำผู้ป่วยเข้าไปในโต๊ะ

เมื่อทำการเชื่อมต่อลิงค์ต่างๆเพื่อให้ได้การเคลื่อนที่ของกลไกตามที่ต้องการแล้วจึงนำผู้ป่วยเข้าไปที่โต๊ะในตำแหน่งที่แขนของผู้ป่วยสามารถเคลื่อนที่ตามการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ได้สะดวก

4.2.4 นำแขนของผู้ป่วยติดกับที่วางแขน



รูปที่ 4.6 การนำแขนของผู้ป่วยติดกับที่วางแขน

เมื่อผู้ป่วยอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมแล้วนำแขนของผู้ป่วยวางบนกระดานรองแขน แล้วใช้สายรัดยึดแขนของผู้ป่วยเข้ากับกระดานรองแขน เพื่อให้แขนของผู้ป่วยเคลื่อนที่ไปตามการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์

4.3 การทดสอบอุปกรณ์โดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ

เพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่ทำขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพในการทำงาน และสามารถใช้งานได้จริงกับผู้ป่วยโดยไม่เกิดอันตราย จึงจำเป็นต้องมีการทดลองโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปใช้งาน โดยได้รับการอนุเคราะห์จากทางโรงพยาบาลพระมงกุฎ ซึ่งได้เชิญแพทย์ที่มีความรู้ และประสบการณ์ในการทำงานด้านกิจกรรมบำบัดเป็นอย่างดี มาพิจารณา และประเมินการทำงานในแต่ละลักษณะของอุปกรณ์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นก่อนนำไปใช้งานจริง

4.3.1 การทดลองโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในการเคลื่อนที่รูปเลขแปด



รูปที่ 4.7 การทดลองการเคลื่อนที่แบบเลขแปดโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ

จากรูป เป็นการทดลองใช้อุปกรณ์ในท่าเลขแปด โดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการนำไปใช้จริงกับผู้ป่วย

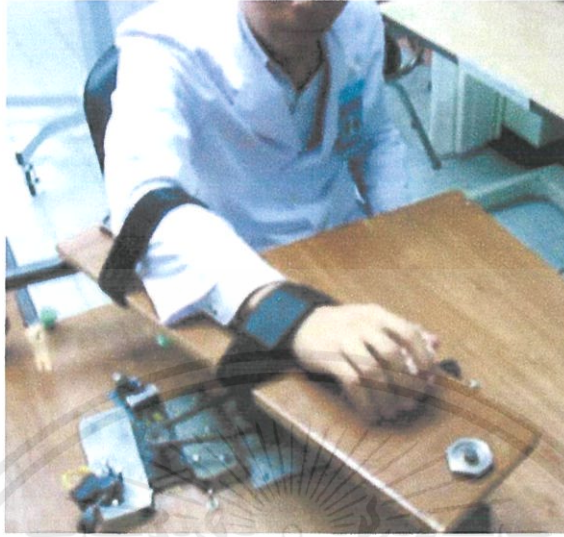
4.3.2 การทดลองโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในการเคลื่อนที่รูปวงกลม



รูปที่ 4.8 การทดลองการเคลื่อนที่แบบวงกลมโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ

จากรูป เป็นการทดลองใช้อุปกรณ์ในท่าวงกลม โดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการนำไปใช้จริงกับผู้ป่วย

4.3.3 การทดลองโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในการเคลื่อนที่รูปครึ่งวงกลม



รูปที่ 4.9 การทดลองการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลมโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ

จากรูป เป็นการทดลองใช้อุปกรณ์ในทำครึ่งวงกลม โดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการนำไปใช้จริงกับผู้ป่วย

4.4 ผลการทดสอบ

จากการทดสอบเครื่องอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกกีตบอร์ดในลักษณะต่างๆ โดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งได้พิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ในแต่ละลักษณะไว้ดังนี้

ตารางที่ 4-1 ผลการตรวจสอบทำการเคลื่อนที่แต่ละท่าจากผู้เชี่ยวชาญ

ท่าการเคลื่อนที่	ผลจากผู้เชี่ยวชาญ
1.การเคลื่อนที่แบบเลขแปด	ไม่สามารถนำไปใช้กับผู้ป่วยได้
2.การเคลื่อนที่แบบวงกลม	สามารถนำไปใช้กับผู้ป่วยได้
3.การเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลม	สามารถนำไปใช้กับผู้ป่วยได้

จากความเห็นของผู้เชี่ยวชาญสามารถสรุปได้ว่าในท่าการเคลื่อนที่แบบวงกลมและการเคลื่อนที่แบบครึ่งวงกลมนั้นสามารถนำไปใช้กับผู้ป่วยได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ทั้ง 2 ท่านี้สามารถเคลื่อนที่ได้ราบเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีการกระชาก หรือสะดุดซึ่งอาจเป็นผลให้เกิดอาการบาดเจ็บกับผู้ป่วยได้ และเมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นก็ยังสามารถเคลื่อนที่ได้เป็นอย่างดี แต่ในท่าการเคลื่อนที่แบบเลขแปดนั้นไม่สามารถนำไปใช้กับผู้ป่วยได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ มีการกระชาก และสะดุดในหลายจังหวะ ซึ่งอาจทำให้ผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาเกิดอาการบาดเจ็บจากการใช้เครื่องได้ เช่น กล้ามเนื้ออักเสบ เส้นเอ็นอักเสบ เป็นต้น

ตารางที่ 4-2 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด

ข้อดี	ข้อเสีย
1.สามารถบำบัดได้อย่างต่อเนื่องด้วยตัวคนเดียว	1.เสียงดังเล็กน้อยที่เกิดขึ้นในบางจังหวะ
2.สามารถบำบัดได้อย่างถูกต้อง	2.รูปแบบของอุปกรณ์ที่ขาดความสวยงาม
3.สามารถลดจำนวนผู้เชี่ยวชาญได้	3.ที่วางแขนแข็งเกินไปซึ่งอาจทำให้เกิดแผลกดทับหากทำการบำบัดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ
4.ผู้ป่วยไม่ต้องใช้ความพยายามในบำบัดซึ่งทำให้ผู้ป่วยที่เคลื่อนไหวได้น้อยมีกำลังใจในการรักษา	4. โต๊ะมีขนาดใหญ่เกินไปทำให้เคลื่อนย้ายไม่สะดวก
	5.มีความยุ่งยากในการถอดประกอบอุปกรณ์เมื่อต้องการเปลี่ยนลักษณะการเคลื่อนที่

4.5 การใช้งานจริงกับผู้ป่วย

หลังจากที่แพทย์ผู้เชี่ยวชาญได้ทำการทดสอบอุปกรณ์ในลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่างๆแล้ว จึงได้นำอุปกรณ์มาใช้งานจริงกับผู้ป่วยในลักษณะการเคลื่อนที่ที่ใช้งานได้ และไม่เป็นอันตราย



รูปที่ 4.10 การใช้งานกับผู้ป่วยซึ่งขยับแขนเองได้เล็กน้อยในการเคลื่อนที่แบบวงกลม

จากรูป แสดงการใช้งานอุปกรณ์ในลักษณะการเคลื่อนที่รูปร่างกลมซึ่งผ่านทดสอบจากแพทย์ผู้เชี่ยวชาญแล้ว ไปใช้งานจริงกับผู้ป่วยซึ่งสามารถขยับแขนเองได้เล็กน้อย



รูปที่ 4.11 การใช้งานกับผู้ป่วยซึ่งไม่สามารถขยับแขนเองในการเคลื่อนที่แบบวงกลม

จากรูป แสดงการใช้งานอุปกรณ์ในลักษณะการเคลื่อนที่รูปวงกลมซึ่งผ่านทดสอบจากแพทย์ผู้เชี่ยวชาญแล้ว ไปใช้งานจริงกับผู้ป่วยซึ่งไม่สามารถสามารถขยับแขนเอง

จากการนำอุปกรณ์ไปใช้งานจริงดังกล่าวพบว่า ผู้ป่วยที่ทำการบำบัดมีความพึงพอใจกับอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกกีตบอร์ด เนื่องจากผู้ป่วยสามารถทำการบำบัดได้เองอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งความง่ายในการทำการบำบัดที่ไม่ต้องใช้ความพยายาม ซึ่งทำให้ผู้ป่วยที่ไม่สามารถขยับแขนเองได้ซึ่งมักจะเกิดความท้อแท้บ่อยครั้งในการทำการบำบัดแบบเดิม มีกำลังใจมากขึ้นและมีความต้องการในการเข้ารับการรักษามากขึ้น



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการนำอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดไปทดสอบกับแพทย์ผู้เชี่ยวชาญพบว่าเครื่องสามารถใช้งานได้จริง แต่มีเพียงบางลักษณะเท่านั้นที่สามารถนำไปใช้งานจริงกับผู้ป่วยได้ กล่าวคือ การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ในลักษณะการเคลื่อนที่เป็นรูปวงกลมและครึ่งวงกลมสามารถเคลื่อนที่ได้ดี และนำไปใช้งานจริงได้ แต่การในลักษณะการเคลื่อนที่รูปเลขแปดนั้นประสบปัญหาในการเคลื่อนที่ที่ไม่สม่ำเสมอ เกิดการกระตุกกระชากในบางจังหวะซึ่งถึงแม้จะเคลื่อนที่ได้จริงตามทีออกแบบไว้ แต่ไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริงกับผู้ป่วยเนื่องจากอาจทำให้เกิดอาการบาดเจ็บจากการกระตุกและกระชากดังกล่าวได้ นอกจากนี้ อุปกรณ์ยังสามารถรับแรงต้านจากกล้ามเนื้อของผู้ป่วยในกรณีที่ผู้ป่วยมีอาการเกร็งของกล้ามเนื้อได้ตามที่คำนวณหาขนาดของมอเตอร์ไว้ ในส่วนของชุดควบคุมการทำงานสามารถทำงานได้เป็นปกติและมีประสิทธิภาพดี อุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดสามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้โดยสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้ง 3 ลักษณะ และสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งแบบอัตโนมัติ และแบบไม่อัตโนมัติ อีกทั้งยังสามารถพ่นเวลาให้กับแพทย์และนักกิจกรรมบำบัดจากที่ต้องคอยดูแลตลอดเวลา เป็นเพียงการตั้งค่าเครื่องไว้แล้วดูแลเพียงบางเวลาเท่านั้น ซึ่งส่งผลให้ลดอัตราส่วนระหว่างผู้ป่วยกับแพทย์หรือนักกิจกรรมบำบัดลงได้ และจากการที่ได้สัมภาษณ์ผู้ป่วยที่ทำการใช้เครื่องแล้วพบว่าผู้ป่วยมีความพึงพอใจมากกว่าอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากผู้ป่วยไม่ต้องออกแรงเองซึ่งทำให้เกิดอาการเหนื่อยง่าย ไม่สามารถทำกิจกรรมบำบัดได้ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหลายๆ แต่ อุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดที่เราพัฒนาไปนั้นทำให้ผู้ป่วยไม่ต้องออกแรงส่งผลให้ผู้ป่วยสามารถทำกิจกรรมได้นานขึ้นซึ่งส่งผลดีต่อการรักษา นอกจากนี้ยังได้ขอความคิดเห็นจากแพทย์และนัก

กิจกรรมบำบัด ซึ่งแพทย์และนักกิจกรรมบำบัดกล่าวว่าสามารถใช้งานได้จริงในโรงพยาบาล และยังสามารถลดภาระงานของแพทย์นักกิจกรรมบำบัดได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการออกแบบและสร้างอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีด้านอุปกรณ์ทางการแพทย์ เพื่อการรักษาผู้ป่วยที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งแม้ว่าอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดที่ได้พัฒนาขึ้น จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้การรักษาด้วยกิจกรรมบำบัดได้จริง และสามารถลดภาระงานของนักกิจกรรมบำบัดได้เป็นอย่างดี แต่จากการทดลองพบว่า อุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดที่พัฒนาขึ้นนี้ยังมีข้อผิดพลาดบางประการ ดังนี้

- วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กซึ่งหากขาดการดูแลรักษาเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดสนิมได้ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้ป่วย
- ที่วางแขนของผู้ป่วยแข็งเกินไป ซึ่งอาจทำให้เกิดแผลกดทับหากทำการบำบัดเป็นระยะเวลานานๆ
- ลักษณะโต๊ะที่ไม่สามารถสอดรถเข็นของผู้ป่วยเข้าไปได้ ทำให้ผู้ป่วยที่จำเป็นต้องนั่งรถเข็น มีความลำบากในการเข้า-ออก
- เสียงดังเล็กน้อยจากมอเตอร์และระบบส่งกำลัง ที่เกิดขึ้นขณะที่อุปกรณ์ทำงาน
- การเคลื่อนที่ที่ไม่สม่ำเสมอในลักษณะการเคลื่อนที่แบบเลขแปดในบางจังหวะซึ่งอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บกับผู้ป่วยได้

หากสามารถปรับปรุงและแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ แล้วนำข้อดีของการออกแบบในเบื้องต้นมารวมเข้าด้วยกัน อุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ด จะมีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มมากขึ้น และยังสามารถสร้างความมั่นใจให้กับผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

5.3 แนวทางการพัฒนา

จากปัญหาและข้อบกพร่องของอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดที่ได้ทำการพัฒนาดังกล่าว สามารถปรับปรุงและแก้ไขให้ดีขึ้นต่อไปได้ด้วยแนวทางการพัฒนาดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำส่วนของลึงค์นั้นควรจะต้องเปลี่ยนวัสดุในการใช้จากเหล็กเป็นวัสดุจำพวกพลาสติกเนื่องจากไม่ก่อให้เกิดสนิมเมื่อใช้ไปในระยะเวลาอันยาวนาน ทำให้ง่ายต่อการดูแลรักษา อีกทั้งวัสดุจำพวกพลาสติกนั้นมีน้ำหนักเบากว่าเหล็กทำให้สะดวกต่อการขนย้าย และยังลดภาระการทำงานของมอเตอร์ได้อีกด้วย
2. ที่วางแขนของผู้ป่วยนั้นควรมีขนาดที่สามารถปรับให้พอดีกับแขนของผู้ป่วย และมีการปรับปรุงให้นุ่มขึ้นโดยอาจหุ้มที่รองแขนผู้ป่วยด้วยฟองน้ำ เพื่อลดโอกาสการเกิดแผลกดทับหากทำการบำบัดเป็นระยะเวลานานๆ
3. ลักษณะของโต๊ะในการติดอุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกต์บอร์ดนั้นควรออกแบบให้ผู้ป่วยที่นั่งรถเข็นสามารถเข้าออกได้โดยสะดวก และออกแบบให้ผู้ป่วยสามารถใช้งานได้ทั้งแขนด้านซ้ายและขวา
4. ควรติดอุปกรณ์เสริมเพื่อลดการกระชากที่เกิดขึ้นในลักษณะการเคลื่อนที่รูปเลขแปดเพื่อให้สามารถใช้ได้กับผู้ป่วยโดยไม่เกิดอาการบาดเจ็บ
5. ลักษณะของข้อต่อต่างๆที่ควรออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้โดยสะดวกและรวดเร็วในการเปลี่ยนลักษณะการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าที่ชุบแข็งได้ (mechanical properties of carburizing and hardening grade steels)

AISI Type	Tensile Strength, ksi	Yield Point, ksi	Elongation in 2 in.,%	Reduction of Area,%	Impact Strength (Izod), ft-lb	Hardness		Machining	
						Case (Brinell)	Case (Rockwell)		
Plain carbon, Carburized Steels									
C1015	73	46	30	71	93	149	C62 (.048")	ไม่พอใช้	
C1020	75	48	31	71	93	156	C62 (.046")	ไม่พอใช้	
C1022	83	47	27	66	81	163	C62 (.046")	ดี	
C1117	97	59	23	53	33	192	C65 (.045")	ดีมากถึงดีเลิศ	
C1118	113	77	17	45	16	229	C61 (.065")	ดีมากถึงดีเลิศ	
Plain Carbon, Hardened Steels									
C1030	122-75	93-58	18-33	48-71	8-100	495-179		พอใช้ถึงดี	
C1040	113-89	86-62	19-33	48-68	36-72			262-183	พอใช้ถึงดี
C1050	143-96	108-61	10-30	42-63	16-53			321-192	พอใช้ถึงดี
C1060	160-103	112-68	12-28	40-60	14-23			321-212	ต้องแอนนีส
C1080	190-117	142-70	12-24	35-51	10-22			388-223	ต้องแอนนีส
C1095	188-190	120-74	10-26	30-53	5-6			401-229	ต้องแอนนีส
C1137	158-87	138-60	6-28	22-70	10-90			352-174	ดีถึงดีมาก
C1141	237-94	188-68	7-28	58-61	9-81			461-192	ดีถึงดีมาก
C1144	128-97	91-68	17-24	35-59	7-62			277-201	ดีถึงดีมาก

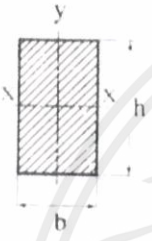
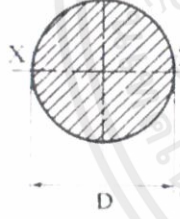
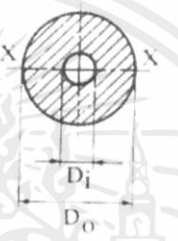
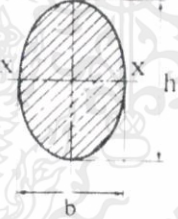
ตารางที่ 1.1 (ต่อ) คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าที่ชุบแข็งได้

AISI Type	Tensile Strength, ksi	Yield Point, ksi	Elongation in 2 in.,%	Reduction of Area,%	Impact Strength (Izod), ft-lb	Hardness		Machining
						Case (Brinell)	Case (Rockwell)	
Alloy Steels, Hardening Grades								
4130	234-98	197-89	12-28	44-71	32-108	461-202		-
8630	250-115	230-93	10-26	47-70	33-114	495-217		-
1340	282-100	235-76	9-25	24-61	9-97	578-235		-
3140	280-112	249-92	11-23	49-69	9-97	555-223		-
4140	290-117	251-100	11-23	42-65	11-108	578-235		-
4340	284-142	228-130	11-21	48-64	18-77	555-293		-
5140	278-114	228-84	8-28	28-68	9-93	534-207		-
8740	290-119	240-100	10-25	42-64	21-88	578-241		-
4150	308-128	248-117	10-20	34-60	10-77	578-262		-
5150	312-116	250-102	9-22	31-62	7-78	601-241		-
6150	315-118	270-108	7-22	17-61	14-87	601-241		-
8650	282-123	250-114	11-22	41-62	9-78	555-255		-
9255	305-130	288-102	2-22	4-49	3-25	601-262		-
5160	322-115	260-106	4-24	9-60	2-63	627-229		-
4063	345-114	257-103	4-24	8-60	3-67	557-229		-
Alloy Steels, Carburizing Grades								
E3310	180,180	146,180	14,15	57,58	55,57	363,363	61,58 (.047")	-
4320	218,211	178,173	14,13	48,51	28,29	429,415	63,59 (.075")	-
4520	103,102	65,62	24,25	60,64	61,90	217,212	65,61 (.061")	-
4620	199,115	83,80	20,21	59,64	52,69	277,248	63,59 (.075")	-
4820	207,205	167,184	14,13	52,53	44,47	415,415	61,58 (.047")	-
8620	188,167	149,120	12,14	52,53	26,30	388,341	64,61 (.075")	-
E9310	173,168	135,137	16,16	16,16	61,39	363,341	62,60 (.047")	-

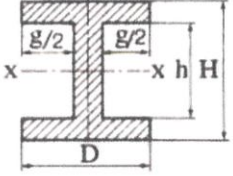
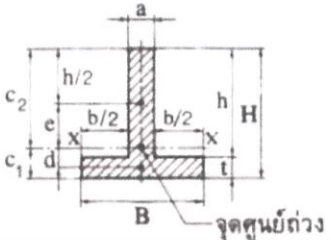
ภาคผนวก ข

ตารางที่ 1.2 คุณสมบัติของหน้าตัด

- I_x คือ โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน X-X
- J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วรอบแกนศูนย์กลาง
- $Z = I/C$ คือ โมดูลัสหน้าตัดของรูปสี่เหลี่ยมรอบแกน
- $Z' = J/C$ คือ โมดูลัสหน้าตัดเชิงขั้ว
- $K = \sqrt{I/A}$ คือ รัศมีไจเรชัน

	$I_x = \frac{bh^3}{12}$ $Z_x = \frac{bh^2}{6}$ $k_x = \frac{h}{\sqrt{12}}$ $Z = \frac{2b^2h}{9}$
	$I_x = \frac{\pi D^4}{64}$ $Z_x = \frac{\pi D^3}{32}$ $k_x = \frac{D}{4}$ $Z = \frac{\pi D^3}{16}$
	$I_x = \frac{\pi}{64}(D_o^4 - D_i^4)$ $Z_x = \frac{\pi}{32} \left(\frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \right)$ $k_x = \sqrt{\frac{D_o^2 - D_i^2}{16}}$ $J = \frac{\pi}{32}(D_o^4 - D_i^4)$ $Z'_x = \frac{\pi}{16} \left(\frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \right)$
	$I_x = \frac{\pi b h^3}{64}$ $Z_x = \frac{\pi b h^2}{32}$ $k_x = \frac{h}{4}; k_y = \frac{b}{4}$ $J = \frac{\pi b h}{64}(h^2 - b^2)$ $Z'_x = \frac{\pi b^2 h}{16}$ $A = \frac{\pi b h}{4}$

ตารางที่ 1.3 คุณสมบัติของหน้าตัด(ต่อ)

 $Ix = \frac{\pi}{12}(GH^3 - gh^3)$ $Zx = \frac{GH^3 - gh^3}{6H}$ $kx = \sqrt{\frac{1}{12} \left(\frac{GH^3 - gh^3}{GH - gh} \right)}$	 $C_1 = \frac{aH^2 + bt^2}{2(aH + bt)}; C_2 = H - C_1$ $Ix = \frac{bt^3}{12} + (Bt)d^2 + \frac{aH^3}{12} + (ah)e^2$ <p>พื้นที่ = $Bt + a(H - t); k = \sqrt{I/A}$</p>
--	---

ภาคผนวก ค

ตารางที่ 1.4 แสดงคุณสมบัติทางกลและขนาดของเหล็กรูปพรรณ

Material of Grade	Chemical Composition (%)					Mechanical Properties			Color code
	C Max	Si Max	Mn Max	P Max	S Max	Yield Strength N/mm ²	Tensile strength N/mm ²	Elongation (%)	Material of Grade
HS 41	0.28	-	-	0.048	0.048	235	402	23	Green
HS 50	0.21	0.57	1.53	0.048	0.048	3314	490	23	Red
Nominal Size			Thickness mm.			Weight (plain end) Kg/m.			
A	B		STD.			STD.			
25	25		2.00			1.36			
			3.20			1.53			
32	32		2.30			2.04			
			3.20			2.69			
38	38		2.30			2.47			
			3.20			3.29			
50	50		2.30			3.34			
			3.20			4.50			
60	60		2.30			4.06			
			3.20			5.50			
			4.00			6.71			

ตารางที่ 1.5 คุณสมบัติทางกลของวัสดุแต่ละชนิด

Table C-1 Physical Properties of Some Engineering Materials								
Data from Various Sources. These Properties Are Essentially Similar for All Alloys of the Particular Material								
Material	Modulus of Elasticity E		Modulus of Rigidity G		Poisson's Ratio ν	Weight Density γ	Mass Density ρ	Specific Gravity
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		Lb/in ³	Mg/m ³	
Aluminum Alloys	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Beryllium Copper	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Brass, Bronze	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Copper	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Iron, Cast, Gray	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Iron, Cast, Ductile	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Iron, Cast, Malleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Magnesium Alloys	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Nickel Alloys	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Steel, Carbon	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Steel, Alloys	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Steel, Stainless	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Titanium Alloys	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Zinc Alloys	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

* Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co, Inc, N.Y. Metals Handbook,

American Society for Metals, Materials Park, Ohio

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
เหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง

มอก. 107-2533

พิมพ์เพิ่มเติมครั้งที่ 4 พ.ศ. 2545 จำนวน 300 เล่ม

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 2023300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 107 ตอนที่ 171

วันที่ 13 กันยายน พุทธศักราช 2533

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

เหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด แบบและชั้นคุณภาพ ขนาด มวลและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน คุณบัพัษณะที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบเหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวงชนิดมีตะเข็บเชื่อม ทำด้วยเหล็กกล้าละมุน (mild steel) สามารถเชื่อมได้

2. แบบและชั้นคุณภาพ

2.1 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “เหล็กกลวง” แบ่งตามรูปภาคตัดออกเป็น 3 แบบ คือ

2.1.1 แบบกลม แบ่งตามสมบัติในการดึงออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ คือ HS 41 HS 50 และ HS 51

2.1.2 แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส แบ่งตามสมบัติในการดึงออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ HS 41 และ HS 50

2.1.3 แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบ่งตามสมบัติในการดึงออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ HS 41 และ HS 50

3. ขนาด มวลและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

3.1 ชื่อขนาด มิติและมวลต่อเมตรของเหล็กกลวง ให้เป็นไปตามตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และตารางที่ 3 โดยจะมีความคลาดเคลื่อนของมิติได้ตามเกณฑ์ในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 และจะมีความคลาดเคลื่อนของมวลได้ตามเกณฑ์ในตารางที่ 6 ซึ่งคำนวณจากสูตร

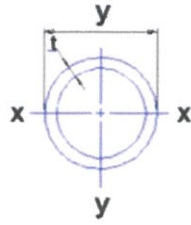
$$\text{เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน} = \frac{\text{มวลต่อเมตรในตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 3} - \text{มวลที่ชั่งได้}}{\text{มวลต่อเมตรในตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 3}} \times 100$$

หมายเหตุ มวลต่อความยาว 1 เมตร คำนวณจากสูตร

$$\text{มวลต่อความยาว 1 เมตร} = 0.785 A \text{ กิโลกรัม}$$

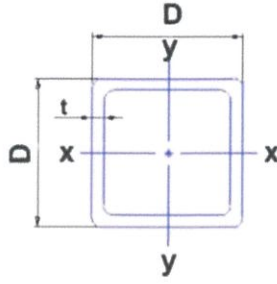
เมื่อ A คือพื้นที่หน้าตัดเป็นตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 1.6 ชื่อขนาด มิติ และมวลต่อเมตรของเหล็กกลวงแบบกลม



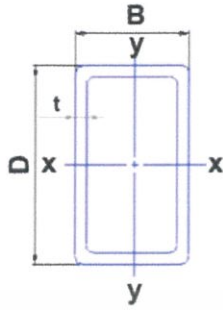
ชื่อขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก mm	ความหนา mm	พื้นที่หน้าตัด Cm ²	มวลต่อเมตร Kg/m	โมเมนต์ ความเฉื่อย Cm ⁴	มอดูลัส ตัด Cm ³	รัศมีไจเรชั่น cm
	D	t	A		I	Z	R
15	21.7	2.0	1.238	0.972	0.607	0.560	0.700
20	27.3	2.3	1.799	1.41	1.41	1.03	0.880
25	34.0	2.3	2.291	1.80	2.89	1.70	1.12
32	42.7	2.3	2.919	2.29	5.97	2.80	1.43
40	48.6	2.3	3.345	2.63	8.99	3.70	1.64
		3.2	4.564	3.58	11.8	4.86	1.61
50	60.5	3.2	5.760	4.52	23.7	7.84	2.03
		4.0	7.100	5.57	28.5	9.41	2.00
65	76.3	3.2	7.349	5.77	49.2	12.9	2.59
		4.0	9.085	7.13	59.5	15.6	2.56
80	89.1	3.2	8.636	6.78	79.8	17.9	3.04
		4.0	10.69	8.39	97.0	21.8	3.01
90	101.6	3.2	9.892	7.76	120	23.6	3.48
		4.0	12.26	9.63	146	28.8	3.45
100	114.3	3.2	11.17	8.77	172	30.2	3.93
		4.5	15.52	12.2	234	41.0	3.89
		5.6	19.12	15.0	283	49.6	3.85
125	139.8	4.5	19.13	15.0	438	62.7	4.79
		6.0	25.22	19.8	566	80.9	4.74
150	165.2	4.5	22.72	17.8	734	88.9	5.68
		6.0	30.01	23.6	952	115	5.63
175	190.7	5.0	29.17	22.9	1260	132	6.57
		7.0	40.40	31.7	1710	179	6.50
200	216.3	6.0	39.61	31.1	2190	203	7.44
		8.0	52.35	41.1	2840	263	7.37

ตารางที่ 1.7 ชื่อขนาด มิติ และมวลต่อเมตรของเหล็กกลวงแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส



ชื่อขนาด	ความหนา	พื้นที่หน้าตัด	มวลต่อเมตร	โมเมนต์ความเฉื่อย	โมดูลัสกักลัด	รัศมีไจเรชัน
	mm	Cm^2	Kg/m	Cm^4	Cm^3	cm
$D \times D$	t	A		$I_x = I_y$	$Z_x = Z_y$	$r_x = r_y$
25×25	2.0	1.737	1.36	1.48	1.19	0.924
	2.3	1.972	1.53	1.61	1.29	0.904
32×32	2.3	2.596	2.04	3.71	2.32	1.20
	3.2	3.423	2.69	4.54	2.84	1.15
38×38	2.3	3.148	2.47	6.54	3.44	1.44
	3.2	4.191	3.29	8.18	4.30	1.40
50×50	2.3	4.252	3.34	15.9	6.34	1.93
	3.2	5.727	4.50	20.4	8.16	1.89
60×60	2.3	5.172	4.06	28.3	9.44	2.34
	3.2	7.007	5.50	36.9	12.3	2.30
	4.0	8.548	6.71	43.6	14.5	2.26
75×75	3.2	8.927	7.01	75.5	20.1	2.91
	4.0	10.948	8.59	90.2	24.1	2.87
90×90	3.2	10.85	8.51	135	29.9	3.52
	4.0	13.35	10.48	162	36.0	3.48
	4.5	17.87	11.67	178	39.5	3.46
100×100	3.2	12.13	9.52	187	37.5	3.93
	4.0	14.95	11.7	226	45.3	3.89
	4.5	16.67	13.1	249	49.9	3.87
150×150	4.5	25.67	20.1	896	120	5.91
	6.0	33.63	26.4	1150	153	5.84
175×175	4.5	30.17	23.7	1450	166	6.93
	6.0	39.63	31.1	1860	213	6.86
200×200	6.0	45.63	35.8	2830	283	7.88
	8.0	59.79	46.9	3620	362	7.78
	9.0	66.67	52.3	3990	399	7.73
250×250	6.0	57.63	45.2	5670	454	9.92
	8.0	75.79	59.2	7320	585	9.82
	9.0	84.67	66.5	8090	647	9.78
300×300	6.0	69.63	54.7	9960	664	12.0
	9.0	102.7	80.6	14300	956	11.8
	12.0	134.5	106	18300	1220	11.7
350×350	9.0	120.7	94.7	23200	1320	13.9
	12.0	158.5	124	29800	1700	13.7

ตารางที่ 1.8 ชื่อขนาด มิติ และมวลต่อเมตรของเหล็กกลวงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า



ชื่อขนาด	ความหนา mm	พื้นที่หน้าตัด Cm^2	มวลต่อเมตร Kg/m	โมเมนต์ความ เฉื่อย Cm^4		มอดูลัสสภาพคด Cm^3		รัศมีจอยเรชัน cm	
				I_x	I_y	Z_x	Z_y	r_x	r_y
D×D	t	A							
50×25	2.3	3.102	2.44	9.31	3.10	3.72	2.48	1.73	1.00
	3.2	4.127	3.24	11.6	3.80	4.65	3.04	1.68	0.96
60×30	2.3	3.792	2.98	16.8	5.65	5.61	3.76	2.11	1.22
	3.2	5.087	3.99	21.4	7.08	7.15	4.72	2.05	1.18
75×38	2.3	4.850	3.81	34.6	12.0	9.23	6.30	2.67	1.57
	3.2	6.559	5.15	45.0	15.4	12.0	8.09	2.62	1.53
75×45	2.3	5.172	4.06	38.9	17.6	10.4	7.82	2.74	1.84
	3.2	7.007	5.50	50.8	22.8	13.5	10.1	2.69	1.80
90×45	2.3	5.862	4.60	61.0	20.8	13.6	9.22	3.23	1.88
	3.2	7.967	6.25	80.2	27.0	17.8	12.0	3.17	1.84
100×50	3.2	8.927	7.01	112	38.0	22.5	15.2	3.55	2.06
	4.0	10.95	8.59	145	46.7	28.4	18.7	3.55	2.03
	4.5	12.17	9.55	147	48.9	29.3	19.5	3.47	2.00
125×50	3.2	10.53	8.26	198	46.7	31.6	18.7	4.33	2.11
	4.0	12.95	10.2	238	55.6	38.0	22.0	4.28	2.07
	4.5	14.42	11.3	261	60.6	41.7	24.2	4.25	2.05
125×75	3.2	12.13	9.52	257	114	41.1	31.1	4.60	3.10
	4.0	14.95	11.7	311	141	49.7	37.5	4.56	3.07
	4.5	16.67	13.1	342	155	54.8	41.2	4.53	3.04
150×80	4.5	19.37	15.2	563	211	75.0	52.9	5.39	3.30
	6.0	25.23	19.8	710	264	94.7	66.1	5.31	3.24
150×100	4.5	21.17	16.6	658	352	87.7	70.4	5.58	4.08
	6.0	27.63	21.7	835	444	111	88.8	5.50	4.01
200×100	4.5	25.67	20.1	1330	455	133	90.9	7.20	4.21
	6.0	33.63	26.4	1770	577	170	155	7.12	4.14

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุธี สุทัศน์ ณ อยุธยาและกลุ่ม, “กายวิภาคศาสตร์ ระบบการเคลื่อนไหว” พิมพ์ครั้งที่สอง สำนักพิมพ์เมดิคัล มีเดีย กรุงเทพมหานคร, 2533
- [2] Anderson JE, “Grant’s Atlas of Anatomy” tenth edition, Williams & Wilkins, Baltimore/Maryland, U.S.A. 1983
- [3] Eberhardt KS, “Grant’s Dissector” twelfth edition, Williams & Wilkins, Baltimore/Maryland, U.S.A.1999
- [4] Hollinshead WH and Jenkins DB, “Functional Anatomy of the Limbs and Back” W.B. Saunders Company, Philadelphia, 1981
- [5] อุปกรณ์กิจกรรมบำบัดประเภทเสกี้ตบอร์คแบบปัจจุบันของบริษัท Unlimited Performance Rehabilitation & SportsMedicine : <http://www.unlimitedperformance.org/index.html>
- [6] Robert L.Norton, “Design of machinery” Worcester Polytechnic Institute Worcester, Massachusetts, 1992
- [7] อรพรรณ วิญญูวรรณ, “กิจกรรมบำบัด กรณีเลือกสรรการพยาบาลเพื่อการฟื้นฟูสภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช” โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, กรุงเทพมหานคร, 2529, หน้า 231-289
- [8]. Trombly C.A.Scott A.D, “Occupational Therapy for Physical Dysfunction” Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1983