

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกายภาพ 3 มิติ สำหรับผู้ที่มีปัญหา บริเวณสะโพกและหัวเข่า

A Designing and Prototyping of a 3-Dimensional Physical Therapy Machine for Patients with Hip and knee area Problems

คมสัน ตันติชูเกียรติ^{1*}

¹ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่อยู่ ถนนทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

*ติดต่อ: mi_kom@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 089-132-1738, เบอร์โทรสาร 042-221-978

บทคัดย่อ

การเคลื่อนที่ของร่างกายมนุษย์มาจากกลไกการทำงานที่สอดคล้องกันของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ซึ่งควบคุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อแต่ละส่วน เช่น การเคลื่อนที่ของหัวเข่า (Knee joint) เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่ใช้เหยียดข้อเข่า (quadriceps) และกล้ามเนื้อที่ใช้ควบคุมการงอข้อเข่า (hamstrings) ในขณะที่การเคลื่อนที่ของข้อสะโพก (hip joint) เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อสะโพก (Gluteal muscle) ซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ของขาในทิศทางด้านหลัง (ระนาบ y-z) และการกางขาออกและเข้าในทิศทางข้าง (ระนาบ x-z) โดยทั่วไป ผู้สูงอายุมักประสบกับปัญหาด้านการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนล่าง เช่น ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับข้อเข่า ข้อสะโพก หรือกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับบริเวณนั้น และนอกจากนี้ ผู้ที่บาดเจ็บหรือ ผู้ที่เพิ่งผ่าตัดในบริเวณเข่าและสะโพก ซึ่งต้องได้รับการกายภาพบำบัดและฟื้นฟูสภาพกล้ามเนื้อ เพื่อให้การเคลื่อนที่ของร่างกายส่วนล่างทำงานได้เป็นปกติ

ปัจจุบัน เครื่องกายภาพในส่วนของสะโพกหรือหัวเข่ามีอยู่หลายแบบ แต่โดยส่วนใหญ่มีราคาสูงและมักกายภาพได้เพียงเครื่องละส่วนเท่านั้น ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกายภาพ 3 มิติ สำหรับผู้ที่มีปัญหาบริเวณสะโพกและหัวเข่า โดยเครื่องกายภาพที่ออกแบบสามารถกายภาพได้ทั้งทิศทางหน้าหลังสำหรับการกายภาพในบริเวณหัวเข่าและสะโพก รวมทั้งกายภาพได้ในทิศทางด้านข้างสำหรับการกายภาพสะโพก การออกแบบได้คำนึงข้อมูลด้านกายภาพของเครื่องให้สอดคล้องกับสรีระของมนุษย์ สามารถปรับค่าความสูงให้เหมาะสมกับความสูงของผู้กายภาพ การขับเคลื่อนกลไกของเครื่องกายภาพจะใช้มอเตอร์จำนวน 2 ตัว ควบคุมการเคลื่อนที่ใน 2 ทิศทาง ผลการทดสอบ เครื่องกายภาพต้นแบบสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ได้ออกแบบไว้ และผลการทดสอบกับผู้ใช้งาน 45 คน แสดงให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเครื่องกายภาพโดยแผนภูมิพาเรโต

คำหลัก: เครื่องกายภาพ 3 มิติ; กายภาพ; สะโพก; หัวเข่า; ระบบขับเคลื่อน

Abstract

Human body movement occurs due to the mechanism of muscle within our body control the point where bones align which is called joint. Knee joint movement, for example, occurs due to the cooperation of quadriceps and hamstrings while gluteal muscle allows hip joint to move in y-z and x-z directions for legs movement in front to back and side to side directions, respectively. Hip-to-toe movement problems usually found in elderly people such as joint or muscle problems in knees and hips and also found in knee and hip surgery patients. Physical therapy plays an important role in muscle rehabilitation and helps the patients recover from movement disorder.

Nowadays, there are several types of hip-to-toe physical therapy machine. However, the machines could be used at a specific part of body and they are usually expensive. This research aims at designing and developing a prototype of 3-dimensional physical therapy machine for hip and knee

problems patients. The machine can be used in both front to back (for hip and knee problems patients) and side to side (for hip problems patients) direction. The design considerations include human body and variability of patient height as well. The machine is driven by 2 motors which move in 2 directions. The test results of the developed machine show that it could meet the research objectives. Moreover, the results of testing the machine with 45 people are showed the involve problem by the Pareto chart.

Keywords: 3-dimensional physical therapy machine; physical therapy; hip; knee; driving system

1. บทนำ

การเคลื่อนที่ของร่างกายมนุษย์มาจากกลไกการทำงานที่สอดประสานกันของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ซึ่งควบคุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อแต่ละส่วน เช่น การเคลื่อนที่ของหัวเข่า (Knee joint) เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่ใช้เหยียดข้อเข่า (quadriceps) และกล้ามเนื้อที่ใช้ควบคุมการงอข้อเข่า (hamstrings) ในขณะที่การเคลื่อนที่ของข้อสะโพก (hip joint) เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อสะโพก (Gluteal muscle) ซึ่งควบคุมการเคลื่อนไหวของขาในทิศหน้าหลัง (ระนาบ y-z) และการกางขาออกและเข้าในทิศด้านข้าง (ระนาบ x-z) ดังแสดงในรูปที่ 1 [1]

โดยทั่วไป ผู้สูงอายุมักประสบกับปัญหาด้านการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนล่าง เช่น ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับข้อเข่า ข้อสะโพก หรือกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับบริเวณนั้น เนื่องจากการเสื่อมสภาพตามกาลเวลานอกจากนี้ ผู้ที่บาดเจ็บหรือผู้ที่เพิ่งผ่าตัดในบริเวณเข่าและสะโพก ก็ต้องการการกายภาพบำบัดเพื่อฟื้นฟูสภาพกล้ามเนื้อ หรือการออกกำลังกายกล้ามเนื้อส่วนนั้น ๆ ให้แข็งแรง เพื่อให้การเคลื่อนที่ของร่างกายส่วนล่างทำงานได้เป็นปกติ [2-3] ซึ่งในปัจจุบัน เครื่องกายภาพในส่วนของสะโพกหรือหัวเข่ามีอยู่หลายแบบ เช่น เครื่อง Continuous Passive Motion; CPM [4-5]

เครื่อง N - K table, Quadriceps board [2] เป็นต้น แต่โดยส่วนมากมีราคาค่อนข้างสูงและมักกายภาพได้เพียงส่วนใดส่วนหนึ่งหรือเครื่องละท่าทางเท่านั้น ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกายภาพ 3 มิติ สำหรับผู้ที่มีปัญหาบริเวณสะโพกและหัวเข่า

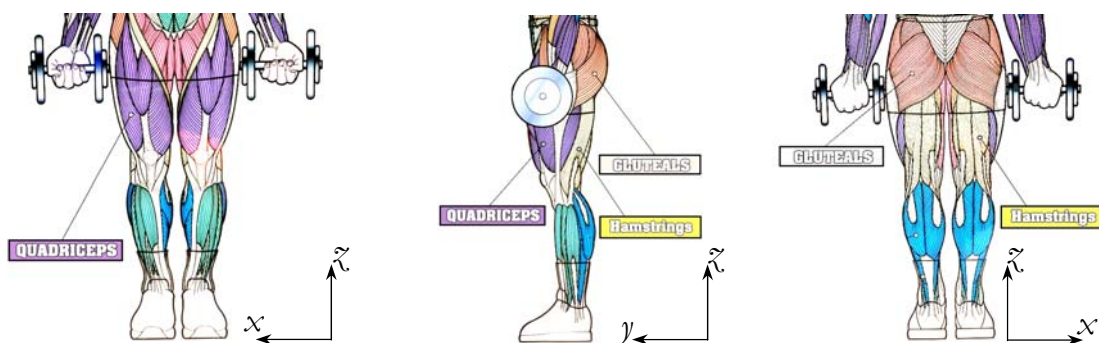
2. กลไกการทำงานของเข่าและสะโพก

2.1 หัวเข่า

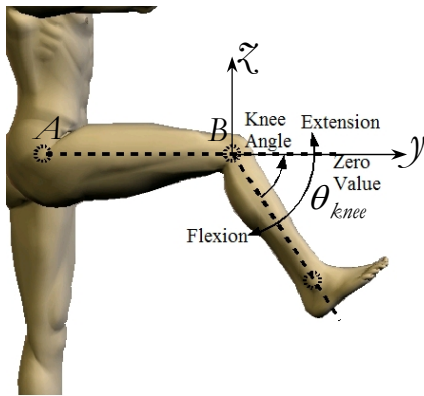
การทำงานของหัวเข่า เกิดจากการการทำงานควบคู่กันของกล้ามเนื้อ quadriceps และ hamstrings เกิดเป็นการเหยียดขา (Extension) และการงอขา (Flexion) [6] รอบจุดหมุน B ดังแสดงในรูปที่ 2 [7] ซึ่งในขณะที่ขาเหยียดสุดจะมีมุมเป็น 0 องศาและถูกเรียกว่าเป็น Zero value และมุมที่เกิดขึ้นระหว่างการงอเข่าจาก Zero value ถูกเรียกว่าเป็น Knee angle (θ_{knee})

2.2 สะโพก

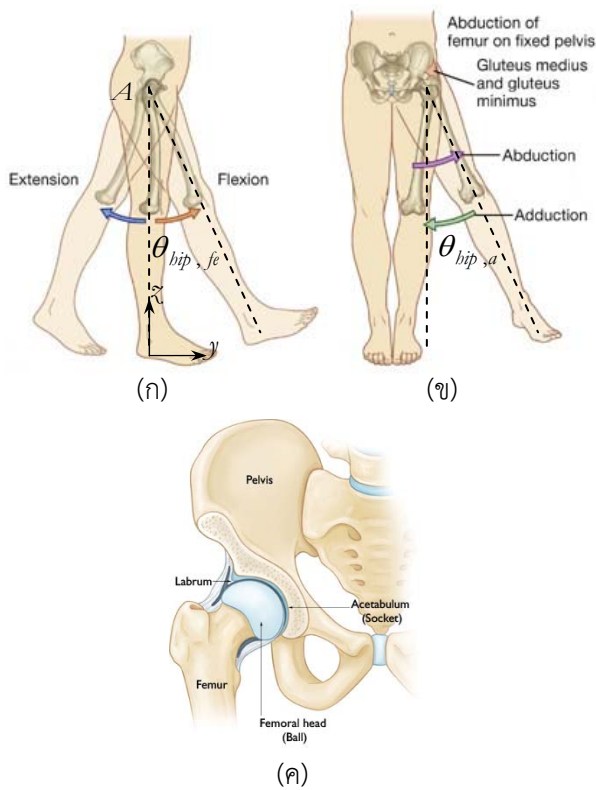
กลไกการทำงานของสะโพก เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อ Gluteal ซึ่งประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 3 ส่วนหลัก [8] ได้แก่ Gluteus medius, Gluteus minimus และ Gluteus maximus ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อส่วนที่ใหญ่ที่สุดและมีหน้าที่สำคัญในการเคลื่อนที่ของสะโพก โดยกล้ามเนื้อทั้ง 3 ส่วน จะทำงาน



รูปที่ 1 แสดงกล้ามเนื้อบริเวณข้อเข่าและข้อสะโพก



รูปที่ 2 มุมในการเหยียดและงอของข้อเข่ารอบจุดหมุน B



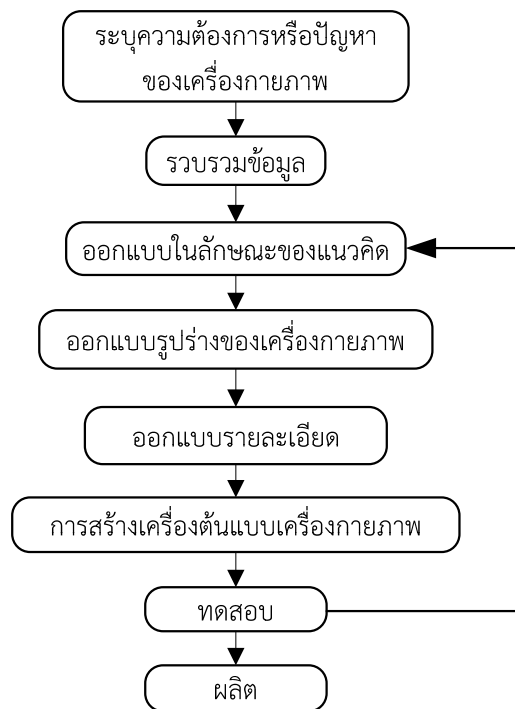
รูปที่ 3 มุมที่เกิดขึ้นของข้อต่อสะโพก

ควบคู่กัน ทำให้ข้อสะโพกสามารถเคลื่อนที่ได้ 2 ทิศทาง คือ ทิศทาง flexion – extension จากการควบคุมของกล้ามเนื้อ Gluteus maximus เกิดเป็นมุม $\theta_{hip,fe}$ และ ทิศทาง abduction – adduction จากการทำงานของกล้ามเนื้อ Gluteus medius และ Gluteus minimus [8] เกิดเป็นมุม $\theta_{hip,a}$ ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) และ (ข) [8] ตามลำดับ โดยมีส่วนหัวของกระดูกต้นขา (Femur head) และเข้าสะโพก (acetabulum) ดังรูปที่ 3 (ค) [9] ทำหน้าที่เป็นจุดหมุนของสะโพก และให้เป็นจุดหมุน A

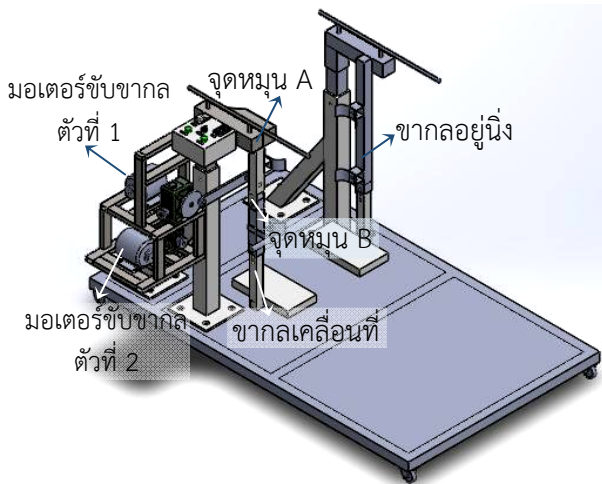
3. หลักการออกแบบกลไก

ขั้นตอนในการออกแบบเครื่องกายภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4 เริ่มตั้งแต่การระบุปัญหาและความต้องการของเครื่องกายภาพ รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง จากนั้นออกแบบในลักษณะของแนวคิด (Conceptual design) ซึ่งแนวคิดในการออกแบบเครื่องกายภาพ 3 มิติ สืบเนื่องมาจากเครื่องกายภาพที่พบเห็นทั่วไป สามารถกายภาพได้เพียงส่วนใดส่วนหนึ่งเท่านั้น [2],[4-5] ดังนั้น เครื่องกายภาพนี้ จึงถูกออกแบบให้สามารถกายภาพได้ทั้งบริเวณหัวเข่าและบริเวณสะโพก หลังจากได้แนวคิดของการออกแบบ ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการออกแบบรูปร่างและกลไกการทำงานของเครื่อง ผลการออกแบบทำให้ได้เครื่องกายภาพมีลักษณะดังรูปที่ 5

กลไกการทำงานของเครื่องกายภาพ 3 มิติ จะยึดตามกลไกการเคลื่อนที่จริงของหัวเข่าและสะโพก โดยการเคลื่อนไหวบริเวณหัวเข่าเกิดจากการเหยียดและการงอของกล้ามเนื้อ quadriceps และ hamstrings ตามลำดับ เกิดเป็นการเคลื่อนที่ในระนาบ y-z ดังรูปที่ 2 โดยมีหัวเข่าเป็นจุดหมุน (จุดหมุน B) ในขณะที่การเคลื่อนไหวบริเวณสะโพกเกิดจากการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อ Gluteal ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้ทั้งระนาบ y-z และระนาบ x-z โดยมีสะโพกเป็นจุดหมุน (จุดหมุน A)



รูปที่ 4 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องกายภาพ



รูปที่ 5 ภาพรวมของเครื่องถ่ายภาพ

3.1 รูปแบบของขากล

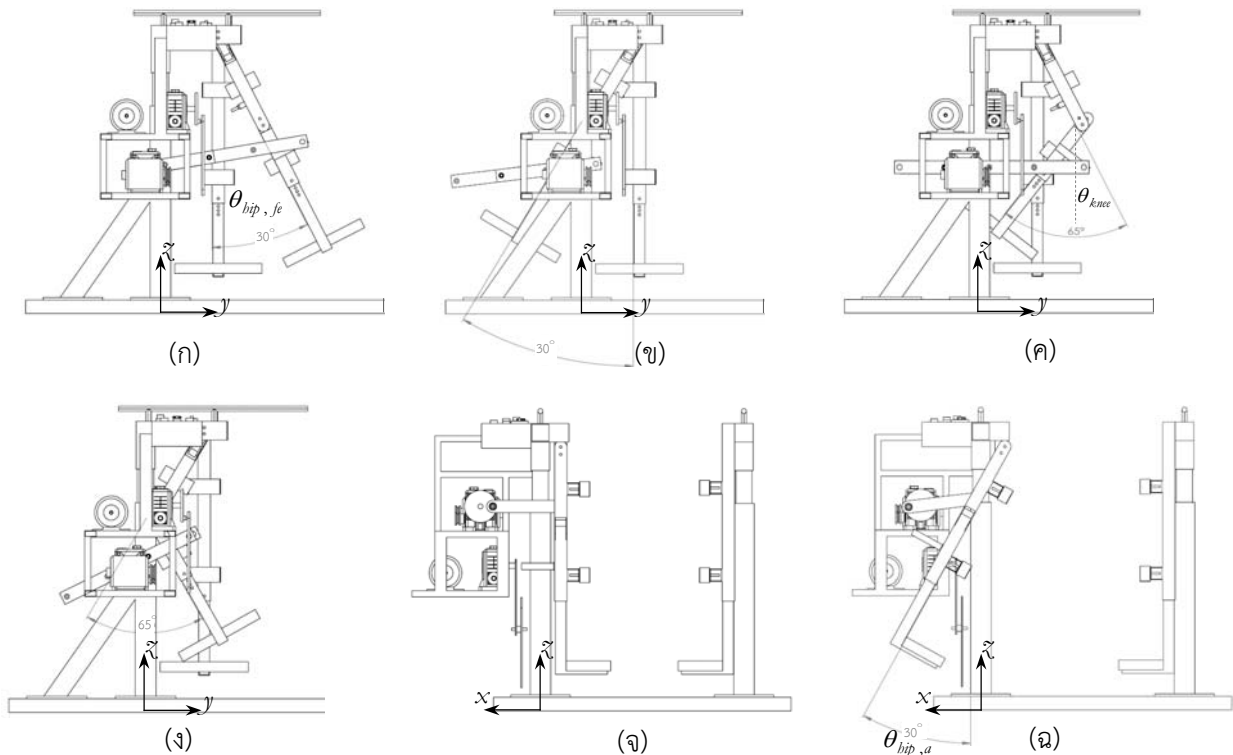
ด้วยแนวคิดในการออกแบบดังที่ได้กล่าวมา เครื่องถ่ายภาพจึงถูกออกแบบให้มีจุดหมุน 2 จุด คือ จุดหมุน A ที่บริเวณสะโพก ทำให้ขากลสามารถเคลื่อนที่เป็นส่วนหนึ่งของวงกลมในระนาบ y-z และระนาบ x-z และจุดหมุน B ที่บริเวณหัวเข่า ทำให้ขากลเคลื่อนที่เป็นส่วนหนึ่งของวงกลมในระนาบ y-z รูปแบบการเคลื่อนที่ของขากลดังแสดงในรูปที่ 6

ขากลประกอบด้วย 2 ขา ดังแสดงในรูปที่ 5 ขาหนึ่งจะอยู่กับที่ที่ ถูกเรียกว่า ขากลอยู่นิ่ง ในขณะที่อีกขาจะเคลื่อนที่ได้ ถูกเรียกว่า ขากลเคลื่อนที่ ซึ่งขากลส่วนนี้ประกอบด้วยขากลท่อนบน ตั้งแต่จุดหมุน A ถึงจุดหมุน B และขากลท่อนล่าง ตั้งแต่จุดหมุน B ถึงที่รองเท้า

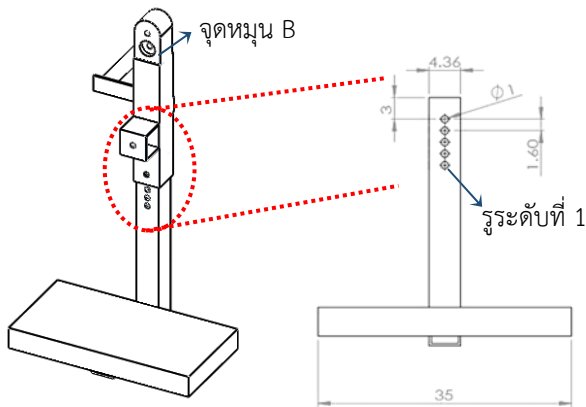
สรีระของผู้กายภาพก็เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบ ไม่ว่าจะเป็นน้ำหนัก ส่วนสูง หรือแม้กระทั่งบริเวณด้านซ้ายและด้านขวาของผู้กายภาพ

เครื่องถ่ายภาพถูกออกแบบให้รับภาระสูงสุดที่ 120 กิโลกรัม และมีค่าแฟคเตอร์ความปลอดภัยที่ 1.2 จากข้อมูลทั้งสองจะส่งผลต่อการออกแบบขนาดของขากลรวมไปถึงขนาดของข้อต่อต่างๆ นอกจากนี้ ขากลยังถูกออกแบบให้สามารถปรับระยะความยาวได้ 5 ระดับ เพื่อให้เหมาะสมกับความสูงของผู้กายภาพ ซึ่งแต่ละระดับห่างกันอยู่ 1.6 เซนติเมตร ดังนั้น ขากลสามารถปรับให้ยืดยาวออกได้มากที่สุด 8 เซนติเมตร ดังรูปที่ 7

และนอกจากนี้ เนื่องจากความสมมาตรในการออกแบบ ผู้กายภาพยังสามารถถ่ายภาพในบริเวณเข่าและสะโพกทั้งด้านขวาและด้านซ้าย โดยอาศัยการหมุนกลับทิศของตัวผู้กายภาพ



รูปที่ 6 รูปแบบและกลไกการทำงานของขากลในระนาบต่าง ๆ



รูปที่ 7 การปรับระดับความยาวของขา

การทำงานเมื่อต้องการกายภาพในบริเวณข้อสะโพก จะแสดงได้ด้วยรูปที่ 6 (ก), (ข) เมื่อต้องการกายภาพในระนาบ y-z และ รูปที่ 6 (ฉ) เมื่อต้องการกายภาพสะโพก ในระนาบ x-z ส่วนรูปที่ 6 (ค) และ (ง) แสดงการกายภาพหัวเข่า โดยใช้จุดหมุน B สำหรับหัวเข่าด้านขวา และด้านซ้าย ตามลำดับ

มุมในการแกว่งของขาแต่ละส่วน ถูกออกแบบให้แกว่งเป็นมุมตามเงื่อนไขของการทำงานของกล้ามเนื้อ สืบเนื่องมาจากการทำงานของกล้ามเนื้อ quadriceps มัดใน หรือที่เรียกว่า กล้ามเนื้อ Vastus Medialis ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่มีความสำคัญในการเคลื่อนไหว [10] กล้ามเนื้อ Vastus Medialis นี้ จะทำงานได้ดีเมื่อหัวเข่ามีการเหยียดสุด คือ มีมุมตั้งแต่ 30 – 0 องศา [2] ดังนั้น การทำงานของขากรรไกรรอบจุดหมุน B จึงถูกออกแบบให้แกว่งได้ครอบคลุมกับมุมดังกล่าว ทำให้ได้ว่า มุม θ_{knee} ,

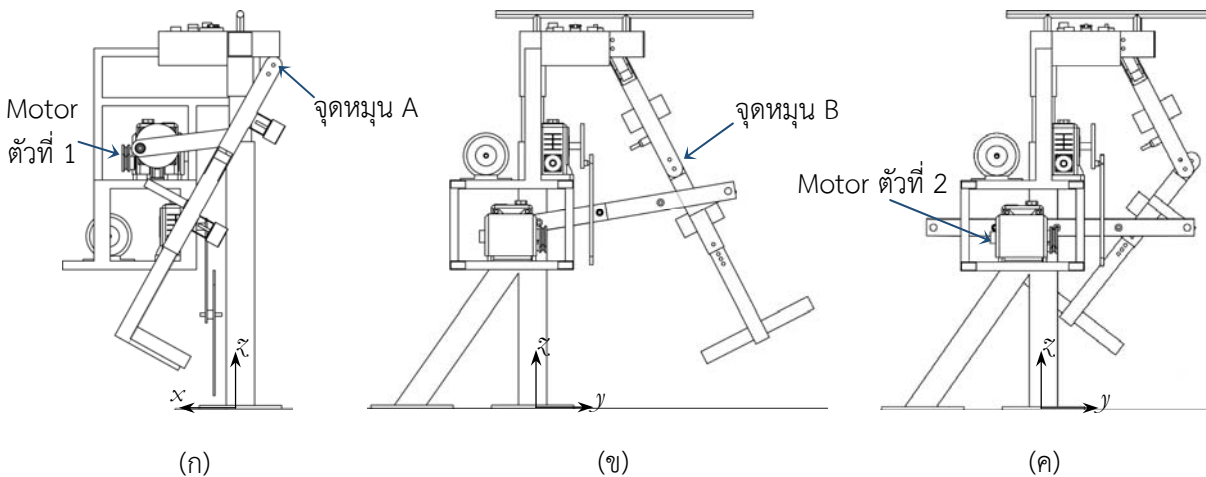
$\theta_{hip,fe}$ และ $\theta_{hip,at}$ ถูกออกแบบให้มีค่าต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) – (ฉ)

3.2 ระบบขับเคลื่อน

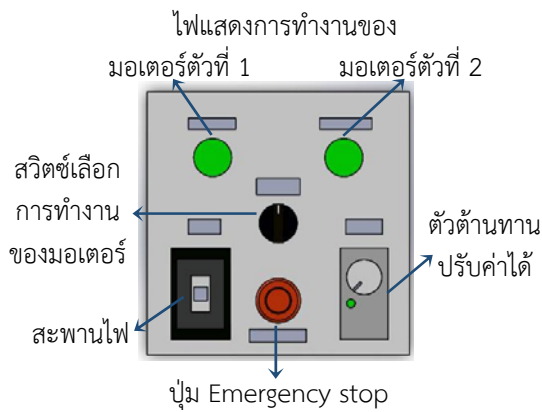
จากรูปที่ 8 ขากลเคลื่อนที่ถูกขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์ 2 ตัว ซึ่งมอเตอร์ตัวที่ 1 ใช้ขับเคลื่อนให้เคลื่อนที่ทางเข้า (adduction) และ ทางออก (abduction) บนระนาบ x-z รอบจุดหมุน A ดังรูปที่ 6 (จ) และ (ฉ) ในขณะที่ มอเตอร์ตัวที่ 2 ใช้ขับเคลื่อนให้เคลื่อนที่แบบ flexion และ extension บนระนาบ y-z รอบจุดหมุน A และ B ดังรูปที่ 6 (ก) – (ง) ซึ่งระบบขับเคลื่อนทั้งสองชุดใช้มอเตอร์ขนาด 0.25 แรงม้า เป็นตัวส่งกำลังผ่านลิงค์ เพื่อใช้ขับเคลื่อนที่ให้เคลื่อนที่เป็นมุมตามที่ได้ออกแบบ

3.3. ระบบควบคุมการทำงาน

เครื่องกายภาพมีระบบควบคุมการทำงาน โดยระบบควบคุมศูนย์กลาง ดังรูปที่ 9 ซึ่งผู้กายภาพเป็นผู้ควบคุมการเปิดและปิดการทำงานของเครื่อง ภายในชุดควบคุมจะมีปุ่มเพื่อเลือกการทำงานของมอเตอร์เป็นตัวที่ 1 หรือ 2 และจะมีไฟ LED แสดงเพื่อบอกให้ทราบว่า ในขณะนี้มอเตอร์ขับเคลื่อนตัวไหนกำลังทำงานอยู่ ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของขาถูกปรับแต่งโดยตัวต้านทานปรับค่าได้ ส่งผลไปยังความเร็วรอบในการหมุนของมอเตอร์ นอกจากนี้ ชุดระบบควบคุมยังประกอบด้วยตัวตัดไฟฉุกเฉินหรือปุ่ม Emergency stop ในกรณีที่เครื่องกายภาพเกิดมีปัญหา



รูปที่ 8 ระบบขับเคลื่อนขา



รูปที่ 9 ระบบควบคุมการทำงาน

4. การทดสอบการทำงาน

หลังจากสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกายภาพด้วยขนาดจริงเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบการทำงาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทดสอบค่ามุม θ_{knee} , $\theta_{hip,fe}$ และ $\theta_{hip,a}$ ของขากลในการเคลื่อนที่บนระนาบ y-z และระนาบ x-z และการทดสอบภาพรวมเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่อง โดยผู้ทดสอบจำนวน 45 คน

4.1 การทดสอบการทำงานของขากล

มุมทำงานของขากลเคลื่อนที่ประกอบด้วยมุม θ_{knee} และมุม $\theta_{hip,fe}$ บนระนาบ y-z และมุม $\theta_{hip,a}$ บนระนาบ x-z ในการทำงาน ค่ามุมสูงสุดของขากลเคลื่อนที่จากการวัดด้วย protractor ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มุมสูงสุดของขากลในทิศการเคลื่อนที่ต่าง ๆ

มุม	จุดหมุน A			จุดหมุน B	
	มุม $\theta_{hip,a}$	มุม $\theta_{hip,fe}$	มุม $\theta_{hip,a}$	มุม θ_{knee}	มุม θ_{knee}
การออกแบบ	30°	+30° -30°	+30°	+30°	-35°
ผลที่ได้	30°	+28.5° -28.7°	+28.5°	+28.5°	-36.5°

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า มุมทำงานของขากลเคลื่อนที่ไม่ว่าจะเป็นมุม θ_{knee} , มุม $\theta_{hip,fe}$ และมุม $\theta_{hip,a}$ ต่างมีค่าใกล้เคียงกับมุมที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งความคลาดเคลื่อนของมุมดังกล่าว เกิดจากขนาดของ link ในกระบวนการผลิตที่คลาดเคลื่อนจากที่ได้ออกแบบไว้ แต่ด้วยลักษณะการออกแบบที่สมมาตร ดังนั้น มุมทำงานที่เกิดขึ้นหากมีการกลับทิศทางการทำงาน จะมีค่าเท่ากัน

ซึ่งไม่ว่าผู้กายภาพจะกายภาพสะโพกและเข่าด้านขวาหรือด้านซ้าย มุมในการกายภาพของทั้ง 2 ด้าน จะเท่ากัน

ดังที่ได้กล่าวมา การออกแบบในส่วนของขากล ได้ออกแบบให้ขากลสามารถปรับความยาวได้ เพื่อให้ผู้กายภาพที่มีสรีระที่ต่างกัน สามารถใช้งานได้เหมาะสม ดังนั้น การทดสอบการใช้งานโดยผู้กายภาพที่มีส่วนสูงแตกต่างกัน จำนวน 5 คน ที่มีส่วนสูงแตกต่างกัน ให้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบการใช้งานในส่วนของการปรับความยาวของขากล

ส่วนสูง (cm)	ความยาว		ระดับรูของขากล
	l_{lower} (cm)	l_{upper} (cm)	
182.2	40.9	42.7	5
175.7	39.1	41.4	3
166.5	36.5	40.8	2
160.7	37.6	39.4	3
153.8	34.7	37.8	1

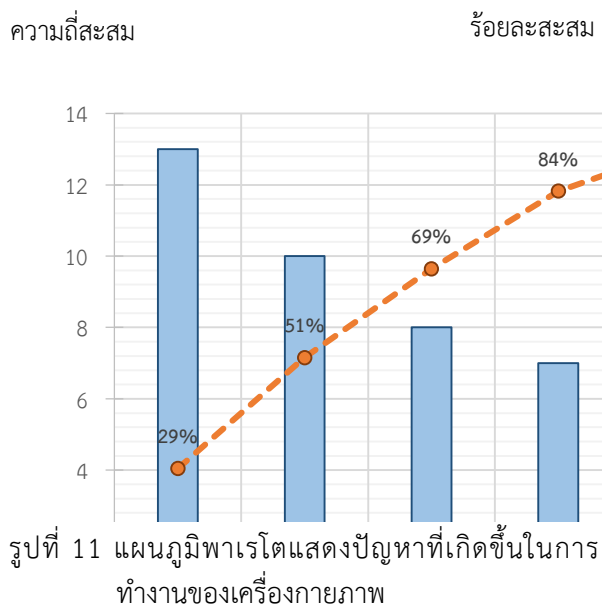
ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลของผู้ทดสอบจำนวน 5 คน โดยวัดส่วนสูง ระยะระหว่างหัวเข่าถึงฝ่าเท้า (l_{lower}) และระยะระหว่างสะโพกถึงหัวเข่า (l_{upper}) ตามรูปที่ 10 ซึ่งจะได้ว่าความยาวของขากลจะถูกปรับระดับโดยใช้ความยาวระหว่างหัวเข่าถึงฝ่าเท้า (l_{lower}) ในการปรับความยาวไม่ว่าผู้กายภาพจะมีส่วนสูงมากหรือน้อยจะไม่มีผลต่อการปรับระยะ ซึ่งการปรับระดับเป็นการปรับจุดหมุน B ให้อยู่ในระดับเดียวกับหัวเข่าของผู้กายภาพนั่นเอง



รูปที่ 10 ระยะระหว่างสะโพกถึงหัวเข่า (l_{upper}) และระยะระหว่างหัวเข่าถึงฝ่าเท้า (l_{lower})

4.2 การทดสอบภาพรวมการทำงานของเครื่อง

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องกายภาพ โดยผู้ทดสอบจำนวน 45 คน เพื่อดูการทำงาน รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเครื่องกายภาพ ผลการทดสอบพบว่าปัญหาหลักเกิดจากความไม่เสถียรภาพขณะที่ตัวเครื่องทำงาน รองลงมาคือเรื่องน้ำหนัก รวมไปถึงปัญหาที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง ซึ่งทำให้จุดหมุน A ไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมกับข้อสะโพกของผู้ทดสอบ นอกจากนี้ ปัญหาพบจากการทดสอบ ยังรวมไปถึงปัญหาความสะดวกรบายจากการใช้งานเครื่อง และปัญหาสุดท้ายคือ ผู้ทดสอบไม่รู้สึกรถึงการกายภาพในกล้ามเนื้อบริเวณหัวเข่าหรือสะโพก เมื่อนำปัญหาทั้งหมดมาคำนวณเป็นความถี่และร้อยละสะสมของปัญหา และสร้างเป็นแผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) ได้ผลดังรูปที่ 11



จากแผนภูมิพาเรโตในรูปที่ 11 พบว่า ผลการทดสอบการใช้งานเครื่องกายภาพ ผู้ทดสอบจำนวน 13 คน จาก 45 คน พบว่าปัญหาหลักของการทำงาน เกิดจากความไม่เสถียรภาพขณะที่ตัวเครื่องทำงาน เครื่องมีอาการสั่นและโยกเยกเล็กน้อย ซึ่งคิดเป็นร้อยละสะสมเท่ากับ 29% ปัญหารองลงมา ผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ระบุว่าตัวเครื่องรวมถึงขากลมมีน้ำหนักเยอะเกินไป ทำให้การเปลี่ยนความยาวรวมถึงเปลี่ยนทิศทางและจุดหมุนทำได้ค่อนข้างยาก ซึ่งมีร้อยละสะสมเป็น 51% และอีกปัญหาที่พบเจอคือ ตำแหน่งของจุดหมุน A และตำแหน่งข้อสะโพกของผู้ทดสอบไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน

ทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกเมื่อยและไม่สะดวกสบายขณะใช้งาน คิดเป็นร้อยละสะสมเท่ากับ 69% ดังนั้น ถ้าสามารถปรับปรุงปัญหาของเครื่องกายภาพทั้ง 3 อย่างดังที่ได้กล่าวมานี้ จะทำให้ความพึงพอใจของผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นได้ถึงร้อยละ 69 ของปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมด

5. สรุป

5.1 อภิปรายผลการออกแบบ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกายภาพ 3 มิติ สำหรับผู้ที่มีปัญหาบริเวณสะโพกและหัวเข่า เพื่อฟื้นฟูสภาพกล้ามเนื้อบริเวณนั้นให้กลับมาแข็งแรงและใช้งานได้เป็นปกติ ผลจากการออกแบบและการสร้างเครื่องต้นแบบ ทำให้ได้เครื่องต้นแบบเครื่องกายภาพที่สามารถกายภาพได้ทั้งสะโพกและหัวเข่า ทั้งในระนาบ x-z และระนาบ y-z ซึ่งการเปลี่ยนทิศทางในการกายภาพ ยังต้องอาศัยคนในการปรับเปลี่ยนจุดหมุนจากจุดหมุนที่สะโพกไปเป็นจุดหมุนที่หัวเข่า การทดสอบการทำงาน พบว่ามุมในการหมุนสูงสุดเมื่อจุดหมุนอยู่ที่สะโพกหรือจุดหมุน A บนระนาบ x-z ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบ Adduction-Abduction ให้มุมเท่ากับ 30° ในขณะที่การเคลื่อนที่แบบ Flexion-Extension บนระนาบ y-z ให้มุมเท่ากับ 28.5° และ 28.7° ตามลำดับ และมุมในการทำงานเมื่อจุดหมุนอยู่ที่หัวเข่าหรือจุดหมุน B ในการเคลื่อนที่แบบ Flexion-Extension บนระนาบ x-z เป็น 28.5° และ 36.5° ตามลำดับ

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ยังเป็นเพียงงานเริ่มต้นของเครื่องกายภาพ 3 มิติ เปรียบเสมือนการสร้างโมเดลขึ้นมาเพื่อทดสอบแนวคิดของการออกแบบและการทำงาน รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำงาน ซึ่งจากการสร้างเครื่องต้นแบบการทดสอบการทำงานของเครื่อง และปัญหาที่พบเจอจากการใช้งานเครื่องกายภาพ ซึ่งถูกแสดงโดยแผนภูมิพาเรโตดังรูปที่ 11 นอกจากนี้ พบว่า เครื่องกายภาพยังมีอีกหลายส่วนที่ต้องพัฒนาต่อออกไปในอนาคต ซึ่งถ้ากลไกทางกายภาพของเครื่องสมบูรณ์แบบ ไม่พบปัญหาขณะทำงาน งานวิจัยต่อไปก็จะนำระบบควบคุมอัตโนมัติเข้ามาช่วยควบคุมการทำงาน เพื่อให้ผู้ใช้งานเครื่องกายภาพ เกิดความสะดวกรบายและได้รับประโยชน์จากเครื่องกายภาพมากที่สุด

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bruce algra posters, Exercise and muscle guide. URL: <http://www.algra.com/fitness-posters/exercise-workouts/male-exercise-muscle-guide-poster#>
- [2] มุลินธิโรคข้อในพระราชูปถัมภ์ในสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, การออกกำลังสำหรับโรคข้อเข่าเสื่อมสภาพ. URL: <http://www.thaiarthritis.org/article16.php>
- [3] ลัดดา คมโสภภาพงษ์, ฉัฐยา จิตประไพ, ภัทรวรรณ อภิญาสวัสดิ์, นพวรรณ แสนเจริญสุทธิกุล, สุกัญญา วิบูลย์พานิช และ วณาพรรณ ชื่นอ้อม (2543). ภาพกายภาพบำบัดในผู้ป่วยกระดูกข้อสะโพกหัก, *เวชศาสตร์ฟื้นฟู*, ปีที่ ปีที่ 10 ฉบับที่ 1, หน้า 17 – 22.
- [4] พงษ์สุข ธารพงษ์พันธ์ และ ดร.สุเมธ อ่ำชิต. การพัฒนาเครื่องช่วยการเคลื่อนไหวข้อเข่าอย่างต่อเนื่องอัจฉริยะ, *the 34th national graduate research conference*, อาคารเรียนรวม คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น, 27 มีนาคม 2558, หน้า 239 – 248.
- [5] Michael R. McCarthy, Patrick C. O'Donoghue, Carlan K. Yates. The Clinical Use of Continuous Passive Motion in Physical Therapy, *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, Volume 15, Number 3, March 1992
- [6] จิราพร วรแสน (2550). การยศาสตร์ (ERGONOMICS), กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, หน้า 78 - 98.
- [7] Research institute of human engineering for quality life, Measurement and evaluation of the human dynamic characteristics, URL: <https://www.dh.aist.go.jp/database/properties/a/HQL-00-05e.html>
- [8] Richard Drake, A. Wayne Vogl and Adam W. M. Mitchell (2014), *Gray's Anatomy for Students*, 3rd Edition, Churchill Livingstone, Elsevier
- [9] the American Academy of Orthopaedic Surgeons, Femoroacetabular Impingement (FAI), USA, URL: <http://orthoinfo.aaos.org/topic.cfm?topic=a00571>
- [10] Bolgla L A, Shaffer SW, Malone TR. Vastus medialis activation during knee extension exercises: evidence for exercise prescription. *J Sport Rehabil* 2008; 17: 1-10.