

การวิจัยและพัฒนานวัตกรรมเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพช่วงแขนในผู้สูงอายุและผู้ป่วย หลอดเลือดสมองที่มีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF INNOVATIONS TO REHABILITATE ARM FUNCTIONALITY IN ELDERLY INDIVIDUALS AND STROKE PATIENTS WITH MUSCLE WEAKNESS

นิตต์อลิน พันธุ์ภัย^{1*}, วรพล อรามรัสมีกุล², ธีรภัทร หลิมบุญเรือง¹, ภาคภูมิ ศรีมรินทร์¹, สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว¹,
ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน¹, ประมวล ชูรัตน์¹

Nittalin Phunapai^{1}, Woraphon Aramrussameekul², Teerapath Limboonruang¹, Parkpoom Sriromreun¹,
Sittinun Tawkaew¹, Khajohnsak Srikhongpan¹, Pramual Choorat¹*

¹ห้องปฏิบัติการพัฒนานวัตกรรมและระบบอัตโนมัติเพื่อความยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

¹Innovative Development and Automation System for Sustainability Laboratory (I-DASS Lab),
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University.

²ภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

²Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Faculty of Medicine, HRH Princess Maha Chakri
Sirindhorn Medical Center, Srinakharinwirot University.

*Corresponding author, e-mail: nittalin@g.swu.ac.th

Received: 19 June 2023; **Revised:** 4 December 2023; **Accepted:** 4 December 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ระบบไฟฟ้าในเซลล์อิเล็กโทรดช่วยในการออกแบบและพัฒนานวัตกรรม
กายภาพช่วงแขนและมือแบบการเรียนรู้ซ้ำ เพื่อช่วยฟื้นฟูสมรรถภาพในผู้ป่วยหลอดเลือดสมองและผู้สูงอายุที่มีอาการ
กล้ามเนื้ออ่อนแรง รวมถึงช่วยปัญหาการควบคุมการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุให้มีพัฒนาการทางด้าน
การเคลื่อนไหวดีขึ้น สามารถช่วยเหลือตัวเองได้หรือกลับมาใช้ช่วงแขนและมือใกล้เคียงอย่างแต่ก่อน อีกทั้งเป็นการ
พัฒนาต้นแบบเทคโนโลยีทางการแพทย์ที่มีอย่างจำกัดและราคาสูง ให้สามารถผลิตได้เองและลดการนำเข้า
จากต่างประเทศ รวมถึงเป็นการส่งเสริมและขยายโอกาสในการเข้าถึงการรักษาที่มีประสิทธิภาพในประเทศไทย
การใช้งานของนวัตกรรมเน้นไปที่บริหารช่วงแขนที่อ่อนแรงแบบเรียนรู้ซ้ำโดยให้ผู้ป่วยสอดแขนเข้าไปที่ชุดสเกิร์ตบอร์ด
กายภาพและฝึกขยับแขนไปตามรางสไลด์เป็นรูปครึ่งวงกลม แต่หากแขนของผู้ป่วยมีแรงไม่มากพอ อุปกรณ์มีฟังก์ชัน
ที่ช่วยในการประคองและขยับแขนให้เคลื่อนที่ไปตามรางสไลด์ตามโปรแกรมที่กำหนดได้ ผลการออกแบบและวิเคราะห์
พบว่าส่วนประกอบต่าง ๆ ของนวัตกรรมมีความแข็งแรงและเหมาะสมสำหรับการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ และสามารถนำมาใช้พัฒนานวัตกรรมในการฟื้นฟูสมรรถภาพของแขนในผู้ป่วยที่มีกล้ามเนื้ออ่อนแรงจากอาการโรคหลอดเลือดสมองได้

คำสำคัญ: อุปกรณ์กายภาพ; โรคหลอดเลือดสมอง; โรคอัมพาต; ผู้สูงอายุ; เวชศาสตร์ฟื้นฟู; แบบเรียนรู้ซ้ำ

Abstract

This research aims to apply the finite element method to design and develop a physical innovation for forearm and hand rehabilitation using a repetitive learning approach. This innovation is intended to restore functionality in patients with cerebrovascular disease and the elderly with muscle weakness in their arms and hands, including improving movement control. It is designed to be self-helping, allowing individuals to regain near-normal arm and hand function. Additionally, it is a prototype for medical technology that is limited and costly, enabling local production and reducing imports. Furthermore, it aims to promote and expand access to effective treatment in Thailand. The innovation focuses on repetitive learning-based physical rehabilitation for managing weak arm muscles. Patients insert their arms into a physical skateboard set to support them and practice moving their arms along a semicircular slide. If a patient's arm is not strong enough, the device has a function to assist in moving their arm along the slide rail according to the program. The engineering design and analysis results show that the various components of the innovation are structurally sound and suitable for producing a quality product within the specified scope. They can also be used to develop an innovation for restoring arm functionality in patients with muscle weakness due to stroke.

Keywords: Rehabilitation Device; Stroke; Paralysis; Elderly; Rehabilitation; Iterative Learning

บทนำ

ปัจจุบันมีผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งอาการแตกต่างกันไปตามระดับของผู้ป่วย โดยส่วนใหญ่แล้วจะเกิดอาการอ่อนแรงหรือเป็นอัมพาตครึ่งซีก อาการดังกล่าวเกิดจากความผิดปกติของระบบประสาทที่พบได้บ่อยครั้ง ส่งผลให้ผู้ป่วยมีอาการอ่อนแรง ไม่สามารถใช้งานหรือควบคุมกล้ามเนื้อได้ตามปกติ เช่น หากผู้ป่วยมีอาการอ่อนแรงของแขน ผู้ป่วยจะไม่สามารถหยิบแขนขึ้นลงได้ตามปกติ คนทั่วไปมักเรียกอาการเหล่านี้ว่า “อาการอัมพาตหรืออ่อนแรง” อาการเหล่านี้เกิดขึ้นจากความผิดปกติของระบบประสาทสั่งการหรือระบบสั่งการซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทส่วนปลาย แพทย์สามารถวินิจฉัยได้ว่าผู้ป่วยมีรอยโรคอยู่บริเวณส่วนใดของระบบสั่งการและจะต้องได้รับการบำบัดรักษาด้วยวิธีการที่แตกต่างกันไป [1-3] เช่นการบำบัดด้วยตนเอง (กายบริหาร) หรือการใช้อุปกรณ์ช่วยในการบำบัด ซึ่งพบว่าการใช้อุปกรณ์ช่วยในการบำบัดผู้ป่วยจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการบำบัดด้วยตนเอง อย่างไรก็ตามการบำบัดรักษาต้องอยู่ในความดูแลของแพทย์หรือคนคอยดูแลอย่างใกล้ชิดจนกว่าผู้ป่วยจะช่วยเหลือตัวเองได้เป็นปกติ [4-5] จากนวัตกรรมที่มีอยู่ในปัจจุบัน [6-11] พบปัญหาทางด้านอุปกรณ์ โครงสร้างที่ไม่ค่อยเหมาะสม มีขนาดใหญ่และหนัก ทำให้เคลื่อนย้ายไม่สะดวก ตัววัสดุทำจากโลหะเป็นส่วนใหญ่ทำให้หนักและดูไม่น่าใช้งาน ตัวสเก็ทบอร์ดรองรับแขนไม่สามารถปรับได้ตามขนาดช่วงแขนต่าง ๆ ของผู้ใช้งานได้ ทำให้ไม่เหมาะสมกับผู้ใช้งานที่มีช่วงแขนยาว รวมถึงการนำใช้อุปกรณ์และเทคโนโลยีจากต่างประเทศที่มีราคาค่อนข้างแพง จึงทำให้การเข้าถึงการรักษาที่ไม่ครอบคลุมและเข้าถึงยากสำหรับคนทั่วไป ดังนั้นความมุ่งหมายของงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนานวัตกรรมกายภาพแบบการเรียนรู้ซ้ำเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพในผู้ป่วยหลอดเลือดสมองและผู้สูงอายุที่มีอาการกล้ามเนื้อในส่วนแขนและมีมืออ่อนแรง มีประสิทธิภาพพร้อมใช้งาน

และเหมาะสมในการนำไปใช้งานได้จริง (ระดับภาคสนาม) ที่สามารถใช้งานได้ง่าย เพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองและผู้สูงอายุที่มีอาการกล้ามเนื้อในส่วนแขนอ่อนแรง ให้ผู้ป่วยและผู้สูงอายุได้มีพัฒนาการทางด้านการเคลื่อนไหวดีขึ้น กลายเป็นปรกติหรือใกล้เคียงอย่างแต่ก่อน อีกทั้งเป็นการพัฒนาต้นแบบเครื่องมือแพทย์เพื่อใช้ในฟื้นฟูสมรรถภาพร่างกายที่สามารถผลิตได้ตามมาตรฐานและเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมและผลิตขึ้นในใช้เองในประเทศไทยเพื่อลดการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ เป็นการส่งเสริมและขยายโอกาสในการเข้าถึงการรักษาที่มีประสิทธิภาพในประเทศไทยอีกด้วย

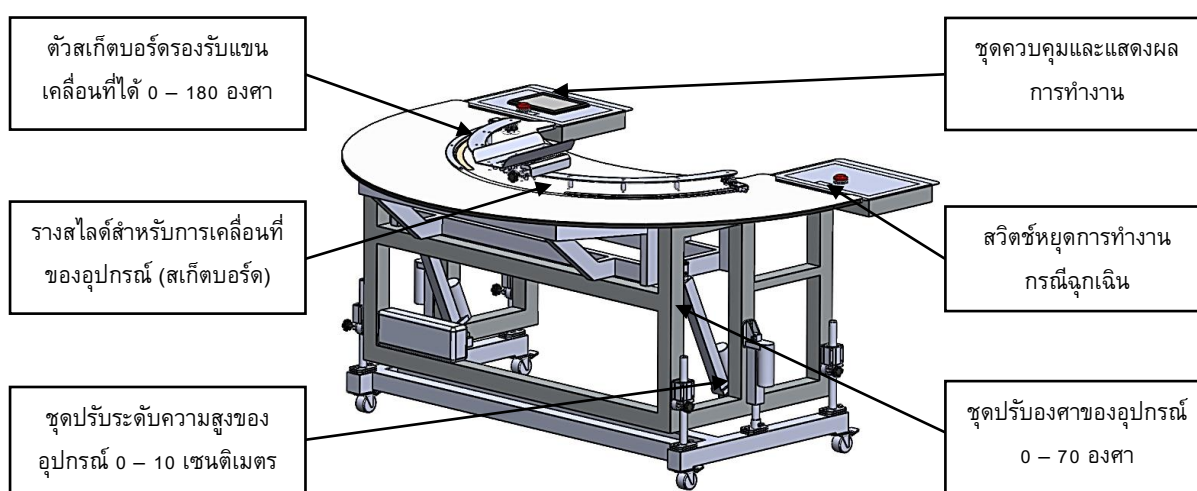
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและพัฒนานวัตกรรมกายภาพแบบการเรียนรู้ซ้ำเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพในผู้ป่วยหลอดเลือดสมองและผู้สูงอายุที่มีอาการกล้ามเนื้อในส่วนแขนและมืออ่อนแรง

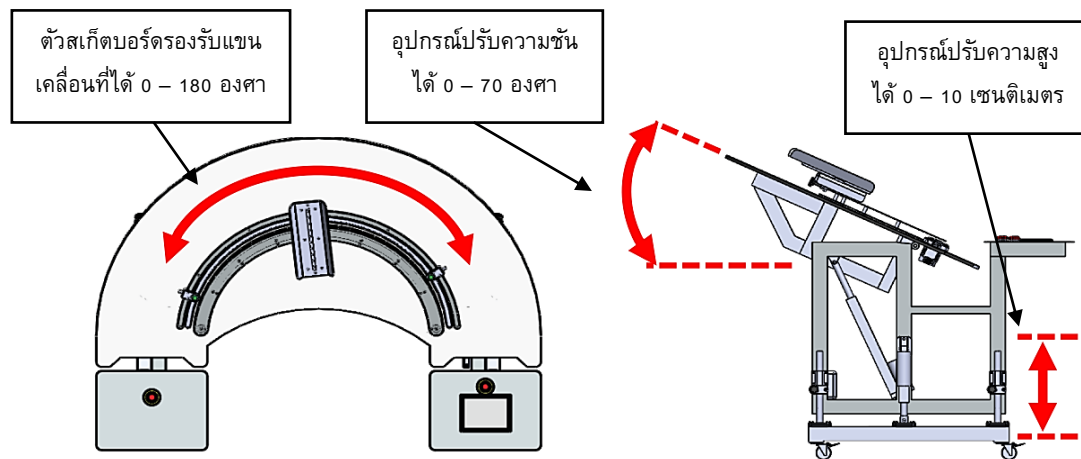
วิธีดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบหลักการทำงาน

นวัตกรรมกายภาพฯ ตามภาพที่ 1 และ 2 มุ่งเน้นไปที่การกายภาพแบบบริหารช่วงแขนที่อ่อนแรงแบบเรียนรู้ซ้ำ โดยให้ฝึกขยับแขนบนชุดสเก็ตบอร์ดกายภาพไปตามรางสไลด์เป็นรูปครึ่งวงกลม 0 -180 องศา มีตัวปรับแรงต้านการเคลื่อนที่ สามารถทำงานได้ทั้งแบบ Active (ผู้ป่วยขยับแขนไปตามรางสไลด์เอง) และ Passive (ฟังก์ชันที่สามารถช่วยในการขยับแขนของผู้ป่วยให้เคลื่อนที่ไปตามรางสไลด์) โดยมีการวัดและการแสดงผลการทำงานด้วยหน้าจอแสดงผล แสดงถึงเวลาและจำนวนครั้งของการทำการกายภาพ เมื่อเสร็จสิ้นการทำการกายภาพจะมีเสียงเตือนเพื่อความสะดวกและความปลอดภัย สามารถปรับองศาความชันของโต๊ะอุปกรณ์ได้ตั้งแต่ 0 – 70 องศา และสามารถเพิ่ม-ลดระดับความสูงของโต๊ะอุปกรณ์ได้ตั้งแต่ 0 – 10 เซนติเมตร โดยมีการวัดและการแสดงผลการทำงานด้วยชุดควบคุมและแสดงผลการทำงานที่ติดตั้งอยู่บนอุปกรณ์ แสดงถึงเวลาและจำนวนครั้งของการทำการกายภาพในระหว่างการใช้ อุปกรณ์ เมื่อเสร็จสิ้นการทำการกายภาพจะมีเสียงเตือนเพื่อความสะดวกและความปลอดภัยของผู้ป่วยและผู้ใช้งาน



ภาพที่ 1 แบบจำลองและส่วนประกอบสำคัญของนวัตกรรมกายภาพฯ



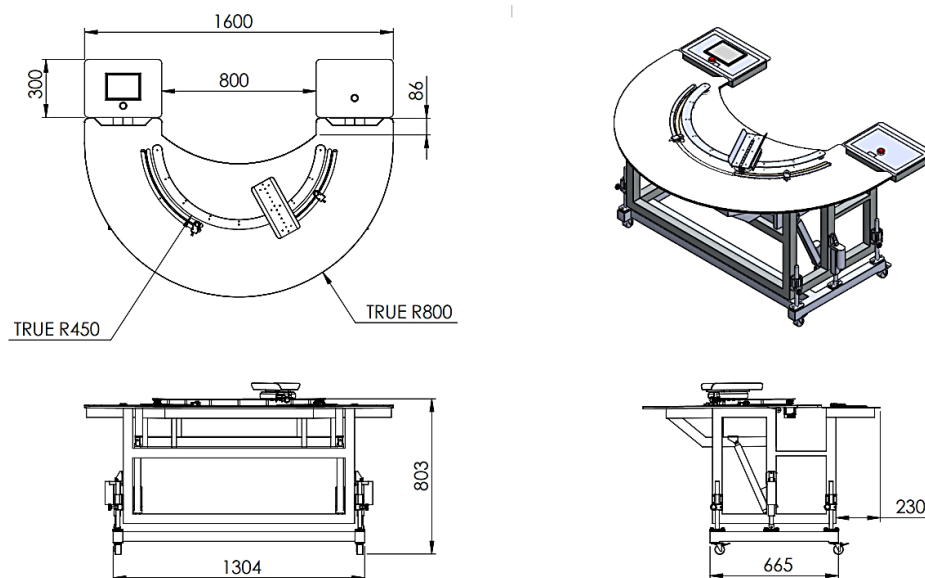
ภาพที่ 2 หลักการทำงานของนวัตกรรมกายภาพ

2. การคำนวณและออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของนวัตกรรมกายภาพบำบัด

นวัตกรรมกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง ถูกออกแบบเพื่อฟื้นฟูสมรรถภาพกล้ามเนื้อแขนของผู้ป่วยที่มีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงให้สามารถกลับมาใช้แขนได้ปกติหรือกลับมาใช้งานได้ใกล้เคียงเดิมมากที่สุด โดยกำหนดขอบเขตการออกแบบให้สอดคล้องกับวิธีการกายภาพบำบัดของผู้ป่วยดังนี้

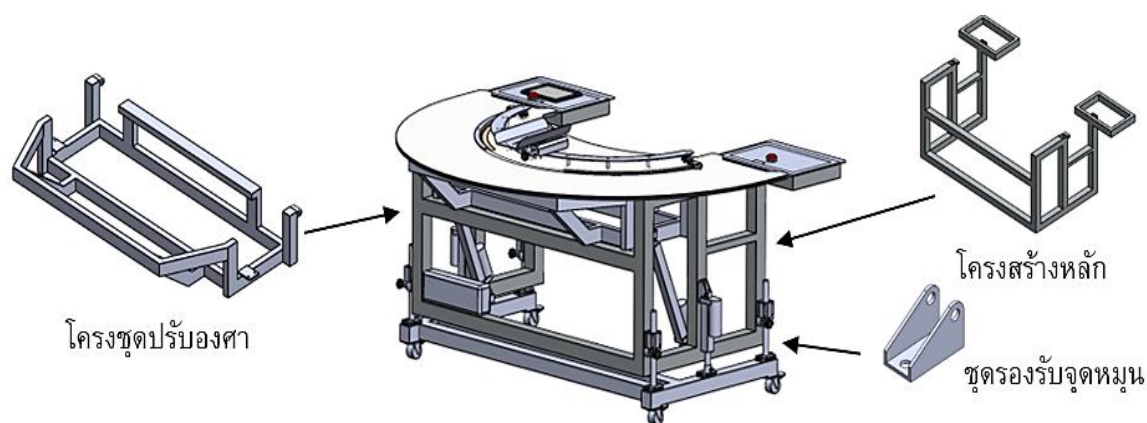
- สร้างอุปกรณ์ที่ควบคุมการเรียนรู้ซ้ำเพื่อใช้ฟื้นฟูสมรรถภาพของแขนในผู้ป่วยหลอดเลือดสมองที่มีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงในช่วงแขนและมือ
- แขนของผู้ใช้งานสามารถเคลื่อนที่ได้ 0 - 180 องศา ในแนวระดับ
- สามารถปรับองศาความชันของเครื่องกายภาพบำบัดได้ 0 - 70 องศา
- สามารถแสดงจำนวนครั้งและแสดงผลการทำกายภาพบำบัดได้
- กำหนดโหลดของผู้ใช้งานเป็น 120 กิโลกรัม

จากขอบเขตข้างต้น ได้ออกแบบแบบจำลองของนวัตกรรมให้มีโครงสร้างและส่วนประกอบดังภาพที่ 1 และขนาดโดยรวมดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขนาดโดยรวมของแบบจำลองนวัตกรรมกายภาพ (หน่วย มิลลิเมตร)

ในส่วนของการวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างของนวัตกรรม โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) มาช่วยในการวิเคราะห์แบบจำลองของโครงสร้างนวัตกรรมกายภาพบำบัด ที่ได้ออกแบบขึ้น เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) ระยะการเสียรูป (Displacement) ค่าความเครียดสูงสุด (Maximum Strain) และค่าความปลอดภัย (safety factor : SF) ที่ปลอดภัยกับการผลิตนวัตกรรม รวมถึงเป็นการช่วยลดระยะเวลาและลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบนวัตกรรม [12] โดยมีโครงสร้างและฟังก์ชันการทำงานของนวัตกรรมกายภาพฯ เป็นไปตามขอบเขตการออกแบบดังภาพที่ 3 ส่วนประกอบหลักของนวัตกรรมดังภาพที่ 4 โดยชิ้นส่วนหลักของนวัตกรรมที่นำมาวิเคราะห์ทำจากวัสดุ AISI 304 ทั้งหมดและมีรายละเอียดคุณสมบัติของวัสดุ เป็นไปตามตารางที่ 1



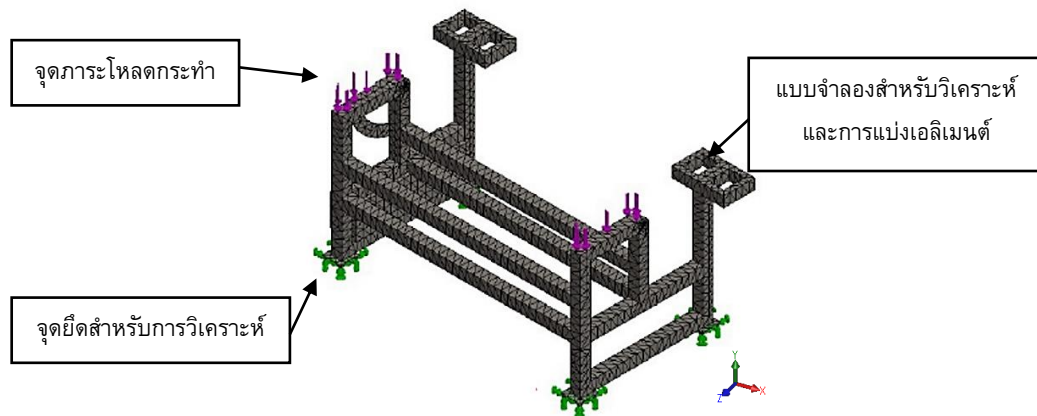
ภาพที่ 4 ชิ้นส่วนสำคัญของนวัตกรรมกายภาพฯ ที่นำมาวิเคราะห์

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ออกแบบ

วัสดุ	Elastic modulus (GPa)	Poisson ratio	Yield strength (MPa)
AISI 304	190	0.29	206

3. การวิเคราะห์ความแข็งแรงของนวัตกรรมกายภาพบำบัด

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของนวัตกรรมกายภาพบำบัดใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม SolidWorks Simulation [13] ในการออกแบบแบบจำลองของนวัตกรรมและวิเคราะห์หาความแข็งแรงของแต่ละชิ้นส่วน โดยผลการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 4 ปัจจัยหลักคือ ค่าความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) ระยะการเสียรูป (Displacement) ค่าความเครียดสูงสุด (Maximum Strain) และค่าความปลอดภัย (safety factor : SF) โดยกำหนดให้ค่าความปลอดภัย (SF) เทียบกับค่าความเค้นที่จุดคราก (Yield strength) ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.5 โดยในการออกแบบนี้ จะเป็นการวิเคราะห์การทำงานที่จุดวิกฤติ (มุม 0° และมุมเงย 70°) ของตัวอุปกรณ์ ภายใต้ภาระแรงวิกฤติที่เกิดจากน้ำหนักอุปกรณ์และน้ำหนักของผู้ใช้งานที่กระทำกับอุปกรณ์ โดยกำหนดโหลดของผู้ใช้งานเป็น 120 กิโลกรัม แรงโน้มถ่วง (g) = 9.81 m/s^2 และค่าความปลอดภัย (SF) = 2 ในภาพที่ 5 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ (Element) เป็นขั้นตอนสำคัญในการออกแบบและวิเคราะห์แรงโดยถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์ (Element) และคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



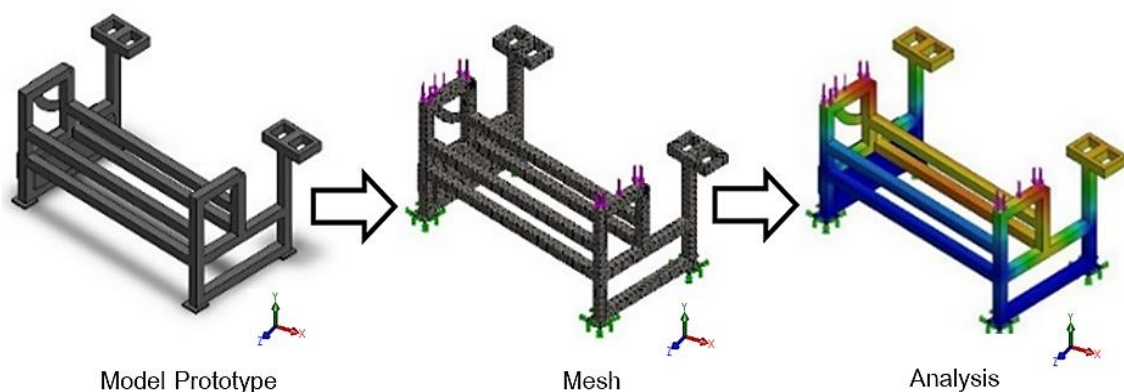
ภาพที่ 5 การแบ่งเอลิเมนต์ (Element) สำหรับการวิเคราะห์

4. ขอบเขตและเงื่อนไขการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

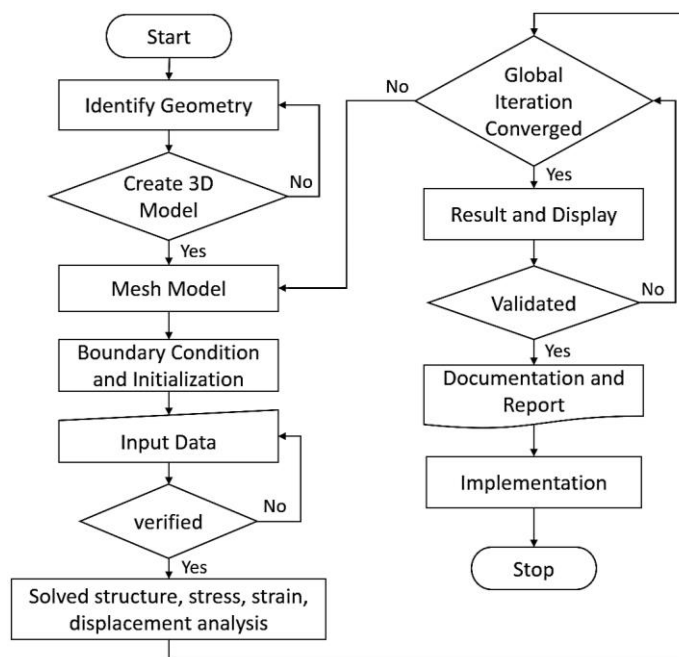
กำหนดขอบเขตการวิเคราะห์และสมมติฐานสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังนี้

- วัสดุของแบบจำลองโครงสร้างหลักเป็นเนื้อเดียวกันและมีคุณสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง
- การวิเคราะห์เป็นแบบสถิตศาสตร์
- ไม่คิดความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นหลังจากการผลิต
- กำหนดภาระโหลดตามขอบเขตและคุณสมบัติทางกลของวัสดุตามคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้

การออกแบบนวัตกรรมกายภาพ จะออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks สำหรับสร้างแบบจำลองของนวัตกรรมกายภาพ และวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม SolidWorks Simulation เพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับนวัตกรรมกายภาพ โดยกำหนดให้รูปแบบโครงตาข่ายของเอลิเมนต์ที่ใช้เป็นแบบ 3 มิติ (Solid Element) ชนิด quadratic tetrahedron element มีขนาดเล็กสุดประมาณ 5 มิลลิเมตร มีจำนวนเอลิเมนต์ตั้งแต่ 98,785 ถึง 1,205,453 เอลิเมนต์ และกำหนดให้การคำนวณเป็นแบบ approximate solution มีขั้นตอนในการออกแบบนวัตกรรมดังภาพที่ 6 และขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังภาพที่ 7

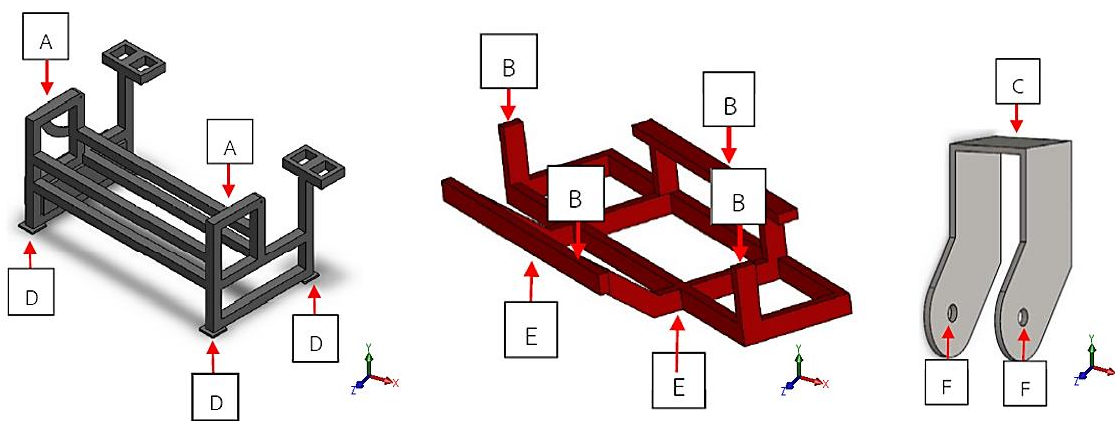


ภาพที่ 6 ขั้นตอนการออกแบบของโต๊ะกายภาพนำบัตร



ภาพที่ 7 ขั้นตอนในการวิเคราะห์และออกแบบนวัตกรรมกายภาพ

การกำหนดจุดยึดและภาระโหลดที่กระทำต่อโต๊ะกายภาพบำบัด จะพิจารณาจากน้ำหนักของโครงสร้าง น้ำหนักอุปกรณ์และน้ำหนักของผู้ใช้งาน (ตามขอบเขตที่กำหนด) โดยแสดงดังภาพที่ 8 และภาระโหลดที่กระทำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 8 แสดงตำแหน่งของภาระโหลดที่กระทำต่อชิ้นส่วนที่ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 2 ภาระโหลดที่กระทำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ (นิวตัน)

ตำแหน่ง	แกน X	แกน Y	แกน Z	รูปแบบจุดรองรับ
A	0	464.15	0	-
B	0	327.85	0	-
C	0	152.64	0	-
D	0	0	0	Fix point
E	0	0	0	Fix point
F	0	0	0	Fix point

โดยการคำนวณหาระยะการเสียรูปของโครงสร้าง เสาและคานของนวัตกรรมกายภาพบำบัด สามารถคำนวณหาได้ดังสมการที่ 1, 2 และ 3 [14] และการคำนวณหากำลังของมอเตอร์สำหรับการขับเคลื่อนของอุปกรณ์สามารถคำนวณหาได้ดังสมการที่ 4 [15]

$$Y_{max} = e \left[\sec \left(\sqrt{\frac{PL}{EI2}} \right) - 1 \right] \quad (1)$$

โดยค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (I) คำนวณได้จากสมการ

$$I = \frac{1}{12} (a_0^4 - a_1^4) \quad (2)$$

เมื่อ

Y_{max}	คือ	ระยะการโก่งงอของเสาสูงสุด, m
e	คือ	ระยะของด้านเสาราว 2, m
P	คือ	ภาระโหลดที่กระทำ, N
L	คือ	ความยาวของเสา, m
E	คือ	Elastic modulus, Pa
I	คือ	โมเมนต์ความเฉื่อย, m ⁴
a_0	คือ	ขนาดด้านเสาวางนอก, m
a_1	คือ	ขนาดด้านเสาวางใน, m

$$y = \frac{5WL^4}{384EI} \quad (3)$$

เมื่อ y คือ ความโก่งงอของคานโครงโต๊ะ, m

W คือ โหลดที่กระทำ, N

L คือ ระยะความยาวของคาน, m

E คือ Elastic modulus, Pa

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย, m⁴

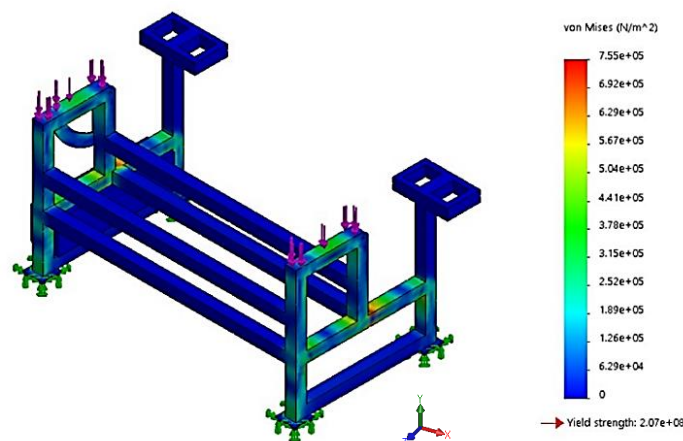
$$P = F \cdot V \cdot SF \quad (4)$$

เมื่อ P คือ กำลังของมอเตอร์, Watt
 F คือ น้ำหนักที่มากกระทำ, N
 V คือ ความเร็วเชิงเส้นในการขับเคลื่อน, m/s
 SF คือ ค่าความปลอดภัย (Safety Factor : SF)

ผลการวิจัย

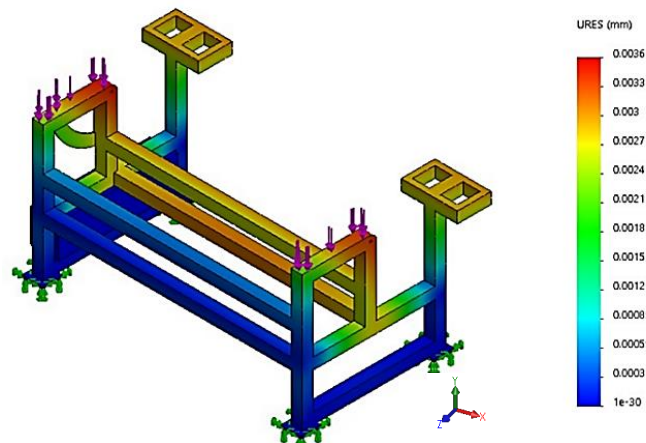
1. ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของอุปกรณ์

ผลการวิเคราะห์จะแสดงในส่วนของการสร้างนวัตกรรมและชุดปรับปรุงความปลอดภัย ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญของนวัตกรรมกายภาพบำบัด ภาพที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ในส่วนของการสร้างนวัตกรรม พบว่าการกระจายของความเค้น (Stress Distribution) ภายในมีการกระจายตัวของความเค้นที่มีค่ามากบริเวณคาน ซึ่งเป็นบริเวณที่ภาระโหลดกระทำต่อโครงสร้าง โดยบริเวณดังกล่าวนี้มีค่าของความเค้นมากที่สุดเท่ากับ $7.55 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ และค่าต่ำสุดคือ $6.29 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ พบว่าค่าความเค้นสูงสุดมีค่าน้อยกว่าค่าความเค้นที่จุดคราก (Yield strength) ของวัสดุสำหรับในส่วนบริเวณอื่น ๆ จะมีการกระจายของความเค้นค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าโครงสร้างของนวัตกรรมสามารถรับภาระโหลดที่กระทำได้ดี มีความปลอดภัยในการออกแบบ



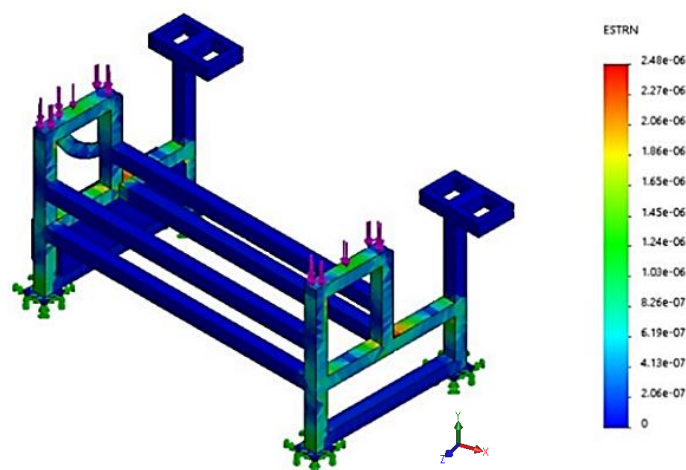
ภาพที่ 9 ค่าความเค้นของโครงสร้างหลัก

ภาพที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ระยะการเสียรูป (Displacement) ของโครงสร้าง พบว่ามีระยะการเสียรูปสูงสุดตรงบริเวณช่วงกลางคานของโครงสร้าง โดยมีระยะการเสียรูปสูงสุดอยู่ที่ 0.0036 มิลลิเมตร ถือได้ว่ามีค่าค่อนข้างน้อยมาก ซึ่งเป็นผลดีต่อการออกแบบโครงสร้าง เพราะเมื่อระยะการเสียรูปค่อนข้างที่จะมีการเคลื่อนตัวน้อย แสดงให้เห็นว่าการออกแบบโครงสร้างดังกล่าวมีความแข็งแรงและปลอดภัย



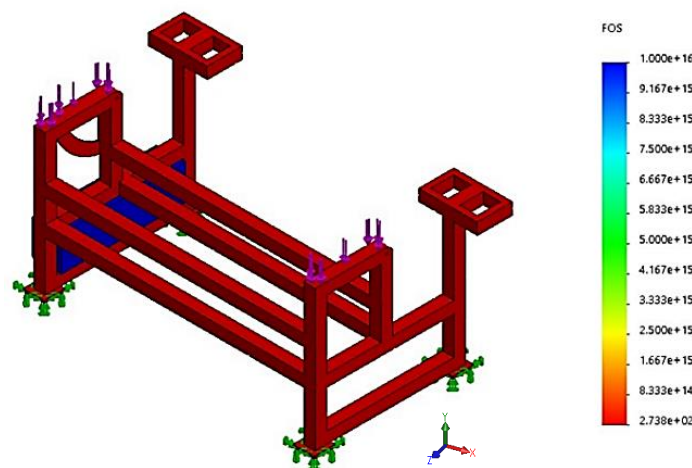
ภาพที่ 10 ค่าการกระจัดของโครงสร้างหลัก

ภาพที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเครียด (Strain) พบว่าค่าความเครียดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.48×10^{-6} และต่ำสุดคือ 2.06×10^{-7} ซึ่งค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณกลางคานโครงสร้างหลักเช่นเดียวกับความเค้น



ภาพที่ 11 ค่าความเครียดของโครงสร้างหลัก

ภาพที่ 12 แสดงค่าความปลอดภัย (SF) ในการออกแบบของโครงสร้างของนวัตกรรม พบว่ามีค่าความปลอดภัย (SF) น้อยที่สุดที่เกิดขึ้นจตุรรองรับ (Fixtures) รวมถึงโครงสร้างของนวัตกรรม มีค่าเท่ากับ 2.738×10^2 ซึ่งมีค่าความปลอดภัย (SF) มากกว่าขั้นต่ำที่กำหนดไว้ในขอบเขตการออกแบบเท่ากับ 2 แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของนวัตกรรมที่ออกแบบมีค่าความปลอดภัย (SF) เกินกว่าขอบเขตที่ตั้งไว้



ภาพที่ 12 ค่าความปลอดภัย (SF) ของโครงสร้างหลัก

การวิเคราะห์ในชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ ของนวัตกรรมทั้งหมดได้แก่ โครงสร้างหลัก โครงชุดปรับองศา และชุดรองรับจุดหมุน จะพบการกระจายตัวของค่าต่าง ๆ และผลการวิเคราะห์ของการแจกแจงต่าง ๆ ในส่วนความเค้นสูงสุด การกระจัดสูงสุดและปัจจัยด้านความปลอดภัยขั้นต่ำของแบบจำลองนวัตกรรม สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Component	Material	Yield strength (MPa)	Maximum Stress (MPa)	Maximum Displacement (mm)	Maximum Strain (μ)	Minimum Safety Factor
โครงสร้างหลัก	AISI 304	206	0.75	0.04240	2.480	273.8
ที่ยึดจุดหมุน	AISI 304	206	11.3	0.00524	0.415	14.20
ตัวปรับองศา, 0 องศา	AISI 304	206	8.15	0.06360	0.311	25.38
ตัวปรับองศา, 70 องศา	AISI 304	206	12.2	0.10000	0.470	17.00

2. ผลการสร้างต้นแบบนวัตกรรมกายภาพจากการออกแบบและวิเคราะห์

เมื่อนำผลจากการออกแบบและวิเคราะห์ในรายละเอียดส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้ในการผลิตต้นแบบสำหรับการทดสอบและได้จัดสร้างต้นแบบนวัตกรรม เพื่อได้ต้นแบบของนวัตกรรมมาใช้งานและทดสอบความแข็งแรง ฟังก์ชันการทำงาน ระบบควบคุมและกลไกการทำงานต่าง ๆ ในทางวิศวกรรม พบว่านวัตกรรมกายภาพที่ออกแบบและสร้างโครงสร้างทั้งหมดมีความแข็งแรง ไม่เกิดความเสียหายขณะใช้งาน มีความเหมาะสมในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพภายใต้ขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ และระบบควบคุมการสามารถควบคุมการทำงานตามฟังก์ชันการทำงานตามที่ออกแบบไว้ แสดงดังในภาพที่ 13 โดยรายละเอียดส่วนประกอบต่าง ๆ ของนวัตกรรมกายภาพบำบัดแขนผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองและผู้สูงอายุแสดงดังภาพที่ 14 และรายละเอียดส่วนประกอบต่าง ๆ ของนวัตกรรมดังตารางที่ 4



ภาพที่ 13 แสดงรายละเอียดโดยรวมของนวัตกรรมกายภาพบำบัดแขนผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองและผู้สูงอายุ



ภาพที่ 14 แสดงรายละเอียดโดยรวมและรายละเอียดของนวัตกรรมกายภาพที่พัฒนา

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบของนวัตกรรมกายภาพบำบัดแขนผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองและผู้สูงอายุ

ลำดับ	รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
1	โครงสร้างหลัก	1	ชุด
2	โครงตัวรับองศา	1	ชุด
3	ขารองรับอุปกรณ์	4	ชุด
4	แผ่นรองรับการทำกิจกรรมกายภาพ	1	ชุด
5	รางสไลด์เซนเซอร์วัดองศาการเคลื่อนไหว	1	ชุด
6	เซนเซอร์วัดองศาการเคลื่อนไหว	2	ตัว
7	มอเตอร์สำหรับชุดสายพานขับเคลื่อน ขนาด 450 วัตต์	1	ตัว
8	ชุดรองรับแขนสไลด์	1	ชุด
9	รางสำหรับชุดรองรับแขนสไลด์	1	ชุด
10	มอเตอร์ปรับระดับองศาความชัน ขนาด 100 วัตต์	2	ตัว
11	มอเตอร์ปรับความสูง ขนาด 100 วัตต์	2	ตัว
12	ชุดล้อสำหรับเคลื่อนย้ายอุปกรณ์	4	ชุด
13	สวิตช์ฉุกเฉิน (emergency stop)	2	ตัว
14	หน้าจอแสดงผลการทำงานแบบ LCD	1	ชุด
15	ตำแหน่งแสดงองศาการเคลื่อนที่	1	ชุด

ในส่วนการทดสอบการใช้งาน พบว่าผู้ทดสอบสามารถฝึกขยับแขนบนชุดสเก็ตบอร์ดกายภาพไปตามรางสไลด์เป็นรูปครึ่งวงกลม สามารถทำงานได้ทั้งแบบ Active (ผู้ป่วยขยับแขนไปตามรางสไลด์เอง) และ Passive (อุปกรณ์ช่วยในการขยับแขนของผู้ป่วยไปตามรางสไลด์) มีการวัดและแสดงผลการทำงาน แสดงเวลาและจำนวนครั้งของการทำการกายภาพ เมื่อเสร็จสิ้นการทำกิจกรรมจะมีเสียงเตือนเพื่อความสะดวกและความปลอดภัย ดังแสดงในภาพที่ 15 และแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างนวัตกรรมหรือเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันกับนวัตกรรมกายภาพฯ ที่ได้พัฒนาขึ้นใหม่ดังตารางที่ 5



ภาพที่ 15 การทดสอบการใช้งานของนวัตกรรมกายภาพแขนที่พัฒนา

ตารางที่ 5 ความแตกต่างนวัตกรรมกายภาพฯ ระหว่างสิ่งที่มีอยู่ในปัจจุบันกับเทคโนโลยีใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้น

ลำดับ	อุปกรณ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน	นวัตกรรมหรือเทคโนโลยีใหม่ที่พัฒนา
1	ใช้กับผู้สูงอายุหรือผู้ป่วยที่มีอาการอ่อนแรงที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้จนถึงสามารถต้านแรงโน้มถ่วงได้เล็กน้อย แต่ไม่สามารถต้านแรงของผู้ตรวจได้	ใช้กับผู้สูงอายุหรือผู้ป่วยที่มีอาการอ่อนแรงที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้จนถึงสามารถต้านแรงโน้มถ่วงได้ แต่ไม่สามารถต้านแรงของผู้ตรวจได้
2	ทำงานได้ทั้งแบบ Active (ผู้ป่วยฝึกขยับแขนไปตามรางสไลด์เอง) ได้อย่างเดียว	สามารถทำงานได้ทั้งแบบ Active (ผู้ป่วยฝึกขยับแขนไปตามรางสไลด์เอง) และ Passive สำหรับกรณีแขนของผู้ป่วยยังไม่มีแรงมากพอ
3	สามารถกวาดแขนได้ 0 – 180 องศา แต่ไม่มีการแสดงผลการทำงาน	สามารถกวาดแขนได้ 0 – 180 องศา และสามารถปรับมุมการทำงานของอุปกรณ์ได้ และแสดงผลการทำงานได้
4	ไม่สามารถปรับองศาความชันของอุปกรณ์ได้ (ใช้ในแนวระนาบเท่านั้น)	สามารถปรับองศาความชันของอุปกรณ์ได้ 0 - 70 องศา
5	ไม่สามารถปรับแรงต้านการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ได้	สามารถปรับแรงต้านการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ได้
6	ไม่สามารถปรับระดับความสูงได้	สามารถปรับระดับความสูงของอุปกรณ์ได้ 0 - 10 เซนติเมตร
7	ไม่มีการแสดงผลการทำงานของการกายภาพบำบัดได้	มีหน่วยการแสดงผลการทำงานของการกายภาพบำบัดได้
8	เป็นอุปกรณ์กายภาพบำบัดแบบสเก็ตบอร์ด	เป็นชุดโต๊ะกายภาพ ที่สามารถปรับความสูงของโต๊ะให้เข้ากับผู้ใช้งานได้

3. การนำนวัตกรรมกายภาพ ที่พัฒนาขึ้นไปใช้ประโยชน์

นวัตกรรมกายภาพ นี้ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ โดยมอบให้กับภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพ.วรพล อร่ามรัศมีกุล และทีมเวชศาสตร์ฟื้นฟู เป็นตัวแทนในการรับมอบ เพื่อนำไปใช้ในการสนับสนุนทางการแพทย์ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 การมอบนวัตกรรมกายภาพ ที่พัฒนาเพื่อใช้ในการสนับสนุนทางการแพทย์

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยและพัฒนานวัตกรรมแบบการเรียนรู้ข้ามขั้นตอนนี้มีจุดมุ่งหมายการออกแบบกลไกและวิเคราะห์โครงสร้างของนวัตกรรมกายภาพเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพช่วงแขนที่มีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงในผู้ป่วยหลอดเลือดสมอง เพื่อใช้ฝึกทักษะการขยับแขนในผู้ป่วยหลอดเลือดสมองหรือผู้ที่มีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง โดยมุ่งหวังให้ผู้สูงอายุและผู้ป่วยหลอดเลือดสมองที่มีอาการกล้ามเนื้อช่วงแขนและนิ้วมือที่อ่อนแรงมีพัฒนาทางด้านการเคลื่อนไหวดีขึ้น กลายเป็นปกติหรือใกล้เคียงอย่างแต่ก่อน เพื่อช่วยเหลือตัวเองได้ รวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องมือแพทย์ที่เหมาะสมขึ้นในใช้เองในประเทศไทยและลดการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ การออกแบบและวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างนวัตกรรมกายภาพบำบัดฯ ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เพื่อหาผลการออกแบบและผลวิเคราะห์ภายใต้ขอบเขตการใช้งานตามกำหนด โดยมีชิ้นส่วนหลักที่นำมาวิเคราะห์ คือ โครงสร้างหลัก โครงชุดปรับองศา ชุดรองรับจุดหมุนและมอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ โดยผลการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็นหัวข้อหลัก ๆ คือ ค่าความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) ระยะการเสียรูป (Displacement) ค่าความเครียดสูงสุด (Maximum Strain) และค่าความปลอดภัย (SF) ผลการวิเคราะห์พบว่านวัตกรรมกายภาพ ที่ได้ออกแบบมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะสามารถรับภาระโหลดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นที่กระทำกับตัวโครงสร้างของนวัตกรรมได้เป็นอย่างดี โครงสร้างทั้งหมดมีความแข็งแรง ไม่เกิดความเสียหายขณะใช้งาน และนำผลจากการออกแบบและวิเคราะห์มาสร้างต้นแบบนวัตกรรมกายภาพเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพช่วงแขนที่มีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงในผู้ป่วยหลอดเลือดสมองและใช้งานได้จริง มีความเหมาะสมในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ได้ อีกทั้งนวัตกรรมกายภาพ ที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ได้มอบให้กับภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อนำไปใช้ในการสนับสนุนและเป็นประโยชน์ทางการแพทย์ต่อไป สำหรับงานวิจัยในอนาคต ทางทีมวิจัยมีแผนและแนวทางการพัฒนาต่อยอดผลงานดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สรุปแนวทางการพัฒนาต่อยอดผลงานเกี่ยวกับการวิจัยในขั้นต่อไป

ลำดับ	แนวทางการพัฒนาต่อยอดผลงาน
1	พัฒนาระบบรายงานและประเมินผลการใช้งานด้วยระบบ ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) เพื่อให้การรักษาที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2	เพิ่มระบบความปลอดภัย เพื่อป้องกันกลไกการทำงานจากผู้คนภายนอกเช่น เสียงเตือนขณะอุปกรณ์กำลังทำงาน เช่น เซอร์จิบัการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ เป็นต้น
3	เพิ่มการทดสอบเชิงทดลองในกลุ่มเป้าหมายที่ทำศึกษาเป็นผู้สูงอายุและผู้ป่วยหลอดเลือดสมองที่มีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง รวมถึงบุคคลทั่วไปหรือนักกีฬาที่มีภาวะของข้อต่อบริเวณไหล่ติดขัดให้มากขึ้น เพื่อประเมินและตรวจประสิทธิภาพการเคลื่อนไหวและสมรรถภาพความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle Strengths)
4	พัฒนาตัวอุปกรณ์ให้มีความสวยงาม ให้น่าใช้งานมากขึ้น ลดน้ำหนักและวัสดุลงพร้อมการทดสอบเชิงกลเพื่อหาความแข็งแรงของอุปกรณ์
5	การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ รูปแบบธุรกิจของนวัตกรรม รวมถึงความเป็นไปได้ในการลงทุนเพื่อผลิตนวัตกรรมเชิงพาณิชย์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัยและนวัตกรรม สัญญาเลขที่ วช.อ.ว.(อ)(กบง)/88/2563 ประจำปีงบประมาณ 2563 และสัญญาเลขที่ N34A650712 ประจำปีงบประมาณ 2565

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jaewchantuek, N. (2016). *Type of Stroke*. Retrieved from <http://mccormickhospital.blogspot.com>
- [2] Thaihealthlife. (2009). *Rupture of blood vessels in the brain*. Retrieved from <http://thaihealthlife.com>
- [3] Choi, S., Kim, K., Cha, M., and Lee, B. H. (2019). Glial regulation in the insular cortex alleviates neuropathic pain caused by nerve injury. *IBRO Reports*, 6, S290.
- [4] Sanguantrakul, J., Soontreekulpong, N., Trakoolwilaiwan, T., and Wongsawat, Y. (2019). Analysis of body movement using EEG for the limb activity of paralysis patients. *IBRO Reports*, 6(Supplement), S290.
- [5] Bamrungthai, P. (2015). *Restoring arm control for stroke patients using a depth-sensing device combined with a game*. Retrieved from <http://www.sci.rmutt.ac.th>
- [6] Coote, S., Murphy, B., Harwin, W., and Stokes, E. (2008). The effect of the GENTLE/s robot-mediated therapy system on arm function after stroke. *Clinical rehabilitation*, 22(5), 395-405.
- [7] Lum, P. S., Burgar, C. G., Van der Loos, M., Shor, P. C., Majmundar, M., and Yap, R. (2006). MIME robotic device for upper-limb neurorehabilitation in subacute stroke subjects: A follow-up study. *Journal of rehabilitation research and development*, 43(5), 631-642.
- [8] Mohamaddan, S., Jamali, A., Abidin, A. S. Z., Jamaludin, M. S., Abd Majid, N. A., Ashari, M. F., and Hazmi, H. (2015). Development of upper limb rehabilitation robot device for home setting. *Procedia Computer Science*, 76, 376-380.

- [9] Rudhe, C., Albisser, U., Starkey, M. L., Curt, A., and Bolliger, M. (2012). Reliability of movement workspace measurements in a passive arm orthosis used in spinal cord injury rehabilitation. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 9, 1-8.
- [10] Zhao, Y., Liang, C., Gu, Z., Zheng, Y., and Wu, Q. (2020). A new design scheme for intelligent upper limb rehabilitation training robot. *International journal of environmental research and public health*, 17(8), Article number 2948.
- [11] Zimmerli, L., Krewer, C., Gassert, R., Müller, F., Riener, R., and Lünenburger, L. (2012). Validation of a mechanism to balance exercise difficulty in robot-assisted upper-extremity rehabilitation after stroke. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 9(1), 1-13.
- [12] Gopsill, J. A., Shindler, J., and Hicks, B. J. (2018). Using finite element analysis to influence the infill design of fused deposition modelled parts. *Progress in Additive Manufacturing*, 3(3), 145-163.
- [13] Dechaampai, P. (2009). *Application of finite elements with SolidWorks Simulation*. Bangkok: SE-ED Publisher.
- [14] Ungphakorn, W., and Thanatngan, C. (2013). *Mechanical Design*. Bangkok: SE-ED Publisher.
- [15] Hinkerd, C. (2016). *Basic electromechanical*. Bangkok: TPA publishing.