

การพัฒนาเครื่องออกกำลังกายหลักการความเสียดทาน

Development of an Exercise Machine with the Friction Principle

รจนา ประไพพ,^{1*} อรรถพล ชัยมนัสกุล,¹ กามินทร์ บุญศรี¹ และ ดลภา พศกชาติ²

Rotchana Prapainop,^{1} Attaphon Chaimanatsakun,^{1*} Kamin Bunsri¹ and Dollapha Pasokchat²*

Received 26 July 2024, Revised 27 November 2024, Accepted 27 November 2024

ABSTRACT

This study presents the development of an exercise machine based on the principle of friction, designed under product design patent number 86670. The machine, resembling a vehicle with wheels, features a smooth rear surface for pushing and ropes on both sides for pulling. The research focuses on the design, construction, and testing of the machine, without involving a human sample group. The machine's empty weight is 21 kg, with additional weighted bags ranging from 5 to 50 kg. The construction process includes building a steel frame, upholstering it, and attaching wheels. The experiment measures the forces required to push and pull the machine using force gauges. These measurements, including normal forces ranging from 206.0 N to 696.5 N, were conducted on two different floor surfaces: vinyl and carpeted. Results indicate that, on the vinyl floor, the average forces required to initiate movement at a normal force of 696.5 N were 32.04 N for pushing and 31.56 N for pulling. On the carpeted floor under the same normal force, the average forces required were 56.1 N and 45.0 N for pushing and pulling, respectively. These findings highlight the differences in force requirements across floor types and between pushing and pulling actions. Therefore, the proposed exercise machine is expected to be suitable for low-intensity exercise by utilizing normal forces and surfaces tailored to the user's needs.

Keywords: Exercise machine, Force, Wheel, Friction

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องออกกำลังกายโดยใช้หลักการแรงเสียดทานซึ่งออกแบบตามสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์เลขที่ 86670 เครื่องออกกำลังกายนี้มีลักษณะคล้ายรถที่มีล้อ โดยมีพื้นผิวเรียบที่ด้านหลัง

^{1*} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ต.ทุ่งสุขลา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20230

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Thung Sukhla, Sriracha 20230, Thailand.

² ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐานและพลศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ต.ทุ่งสุขลา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20230

Department of Fundamental Science and Physical Education, Faculty of Science at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Thung Sukhla, Sriracha 20230, Thailand.

* Corresponding author: Tel. 038-354-580, E-mail address: rotchana@eng.src.ku.ac.th

สำหรับผลึกและเชือกทั้งสองด้านสำหรับดึง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การออกแบบ การสร้าง และการทดสอบเครื่องโดยไม่ได้ใช้กลุ่มตัวอย่างมนุษย์ เครื่องมีน้ำหนักเปล่า 21 kg และสามารถเพิ่มน้ำหนักเพิ่มเติมได้โดยใช้ถ่วงน้ำหนักตั้งแต่ 5 ถึง 50 kg กระบวนการสร้างเครื่องได้แก่การสร้างโครงหลัก หุ้มวัสดุ และติดตั้งล้อ ในการทดลองได้ทำการวัดแรงที่ใช้ในการผลึกและดึงเครื่องออกกำลังกายโดยใช้เครื่องวัดแรง โดยแรงตั้งฉากที่ใช้ในการทดลองมีค่าระหว่าง 206.0 N ถึง 696.5 N และทดลองบนพื้นสองประเภท ได้แก่ พื้นกระเบื้องยางและพื้นปูพรม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าบนพื้นกระเบื้องยางที่แรงตั้งฉาก 696.5 N แรงที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่เครื่องออกกำลังกายคือแรงผลึกเฉลี่ย 32.04 N และแรงดึงเฉลี่ย 31.56 N ในขณะที่บนพื้นปูพรมภายใต้แรงตั้งฉากเดียวกัน แรงที่ต้องใช้คือ แรงผลึกเฉลี่ย 56.1 N และแรงดึงเฉลี่ย 45.0 N ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของแรงที่ต้องใช้ระหว่างพื้นผิวทั้งสองประเภทและระหว่างการกระทำของแรงผลึกและแรงดึง ดังนั้นเครื่องออกกำลังกายที่นำเสนอคาดว่าจะนำไปใช้ออกกำลังกายระดับความเข้มข้นต่ำได้ด้วยการเลือกใช้แรงตั้งฉากและพื้นผิวที่เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งาน

สำคัญ: เครื่องออกกำลังกาย แรง ล้อ ความเสียดทาน

คำนำ

ส่วนหนึ่งของการมีสุขภาพที่ดีคือการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ (Kramer, 2020) แต่จากสภาพสังคมในปัจจุบัน ผู้คนจำนวนมากได้มีการใช้ชีวิตอย่างเร่งรีบและขาดการออกกำลังกาย โดยเฉพาะกลุ่มคนที่เลี้ยงดูเด็กวัยเยาว์เพราะการเลี้ยงดูบุตรวัยเยาว์ต้องใช้เวลาอย่างมากเนื่องจากเด็กต้องการการดูแลอย่างใกล้ชิดเพื่อพัฒนาทั้งร่างกายและจิตใจส่งผลให้แม่หรือผู้ดูแลเด็กขาดการออกกำลังกาย (Groth & David, 2008)

อุปกรณ์ออกกำลังกายที่มีในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบ เครื่องกรรเชียงบก (rowing machine) เป็นเครื่องออกกำลังกายที่ช่วยบริหารกล้ามเนื้อหลายส่วน ได้แก่ กล้ามเนื้อหลัง ช่วยให้กล้ามเนื้อหลังแข็งแรง โดยเฉพาะกล้ามเนื้อหลังส่วนกลางและหลังส่วนล่าง กล้ามเนื้อแขนและไหล่ บริหารกล้ามเนื้อแขนทั้งด้านหน้าและด้านหลัง รวมถึงกล้ามเนื้อไหล่เพื่อเสริมความแข็งแรง กล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว (Core) ช่วยให้กล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวทำงาน เช่น หน้าท้อง เอว และหลังส่วนล่าง ทำให้สมดุลและเสถียรมากขึ้น กล้ามเนื้อขา บริหารกล้ามเนื้อต้นขา กล้ามเนื้อน่อง และสโพก ทำให้ขาแข็งแรงและกระชับขึ้น กล้ามเนื้อสโพกแข็งแรงมากขึ้น ดังที่ Perrey & Ferrari (2018) พบว่าการออกกำลังกายด้วยเครื่องกรรเชียงบกช่วยกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อส่วน

ต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อสโพกและหลังซึ่งสำคัญในการเพิ่มความทนทานและการพัฒนาความสมดุลของร่างกาย

ในการใช้งานเครื่องกรรเชียงบกผู้ใช้งานจะเริ่มต้นทำนั่งโดยให้หลังส่วนล่างผ่อนคลายเพื่อที่สามารถงอลำตัวได้ หัวเข่างอ ข้อเท้าอยู่ในท่าดอร์ซิฟลักซ์ (dorsiflexed) (หมายเหตุ ดอร์ซิฟลักซ์คือ การเคลื่อนไหวของข้อเท้าที่ทำให้ปลายเท้าชี้ขึ้นไปทางด้านหน้าข้าง ทำให้มุมระหว่างหลังเท้าและหน้าแข้งลดลง การเคลื่อนไหวนี้เกิดขึ้นเมื่อเรายกปลายเท้าขึ้น ขณะที่ส้นเท้ายังสัมผัสพื้น หรือเมื่อเราพยายามยกเท้าสูงขึ้นไปทางด้านหน้าข้าง) และแขนยื่นออกไปขณะเริ่มต้นการดึง โดยผู้ใช้งานจะจับด้ามด้วยมือทั้งสองข้างแล้วดึง ในระยะการดึงจะเริ่มต้นด้วยการเหยียดขาออกไปและกดข้อเท้าลงไปที่เบ้นวางเท้า พร้อมกับดึงด้ามจับเข้าหาลำตัวส่วนบน ขณะที่กล้ามเนื้อไหล่กำลังหดตัว เมื่อหัวเข่าเหยียดตรงเต็มที่ ข้อสโพกจะเริ่มเหยียดออกและเกิดการขยายของหลัง ส่วนบน แขนจะเริ่มงอข้อศอก หัวเข่ายืดเต็มที่ ข้อเท้ากดลง (plantar flexed) ขณะที่สโพกและหลังกำลังจะขยายออก ในช่วงเวลานี้กล้ามเนื้อเกือบทั้งหมดจะหดตัวแบบ concentric และมีการทำงานของกล้ามเนื้อส่วนบนอย่างสูงเพื่อจบการดึง (De las Casas et al., 2019)

Cerne *et al.* (2013) พบว่า เมื่อออกกำลังกายด้วยเครื่องกรรเชียงบกผู้ใช้งานทั่วไปจะใช้แรงประมาณ 50-300 N ทั้งนี้แรงที่ใช้จะขึ้นกับสมรรถนะทางกายของผู้ใช้ ความเร็วในการใช้งาน และระยะการดึง ผู้ใช้งานระดับนักกีฬากรรเชียงบกสมรรถนะสูง (elites) สามารถออกแรงสูงสุดในการใช้เครื่องกรรเชียงบกได้ถึง 1123 – 1432 N อย่างไรก็ตามหากเป็นผู้ใช้ที่ไม่ใช่นักกีฬากรรเชียงบกจะออกแรงสูงสุดได้ประมาณไม่เกิน 600 N จึงเป็นที่เข้าใจกันดีว่าเครื่องกรรเชียงบกเป็นอุปกรณ์ออกกำลังกายที่ส่งเสริมให้ผู้ใช้งานได้ออกกำลังกายกล้ามเนื้อได้ดีพอสมควร

อย่างไรก็ตาม เครื่องกรรเชียงบกใช้พื้นที่ในการติดตั้งพอสมควร ทำให้เป็นอุปสรรคในการติดตั้งในบ้านเรือนหรือสถานเลี้ยงดูเด็กทั่วไป จึงเป็นที่มาของการพัฒนาเครื่องออกกำลังกายที่คล้ายรถเด็กเล่นหรือรถเข็นเด็กที่จะทำให้แม่หรือผู้ดูแลเด็กได้นำมาใช้เป็นเครื่องออกกำลังกายได้ในขณะที่เด็กไม่ได้ใช้งาน เนื่องจากลักษณะการเคลื่อนที่ของรถเด็กเล่นหรือรถเข็นเด็กมีการเคลื่อนที่ได้ในทิศทางเดียวคล้ายกับเครื่องกรรเชียงบก เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการออกกำลังกายอาจจะสามารถพัฒนาสมรรถภาพทางกายโดยรวมได้เช่นเดียวกัน เช่น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ความยืดหยุ่น ความสมดุล การประสานงานของการเคลื่อนไหว และระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด รวมไปถึงด้านจิตใจ เช่น ความเครียด ความวิตกกังวล และด้านอารมณ์

Ji *et al.* (2022) พบว่าการออกกำลังกายส่งผลดีต่อการลดความวิตกกังวล และช่วยปรับปรุงคุณภาพการนอนหลับ และ Gao *et al.* (2024) พบว่าการออกกำลังกายเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการชะลอความเสื่อมของร่างกายและสมองผ่าน myokines (ไมโอไคน์) การหลั่ง ไมโอไคน์ขึ้นกับลักษณะของการออกกำลังกาย เช่น ความเข้มข้น, ประเภท และระยะเวลาของการออกกำลังกาย รวมถึงคุณลักษณะเฉพาะบุคคลด้วย ดังนั้นการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นต่ำอาจเป็นประโยชน์

มากกว่าในกลุ่มผู้สูงอายุที่เสี่ยงต่อการบาดเจ็บ (หมายเหตุ ไมโอไคน์เป็นโปรตีนหรือโมเลกุลที่หลั่งออกมาจากกล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle) ในระหว่างการออกกำลังกายหรือการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Severinsen & Pedersen, 2020) อย่างไรก็ตาม รถเด็กเล่นหรือรถเข็นเด็กที่มีอยู่ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานเพื่อเป็นเครื่องออกกำลังกาย ลักษณะด้านหลังรถไม่ราบเรียบพอที่จะใช้ทำถีบหรือผลักออกไปขณะผู้ใช้งานอยู่ในท่านั่ง ความยาวเชือก (ถ้ามี) ก็อาจไม่สอดคล้องกับระยะของการนำมาใช้เป็นเครื่องออกกำลังกาย รचना และอรรถพล (2565) จึงได้นำเสนอการออกแบบผลิตภัณฑ์เครื่องออกกำลังกายด้วยหลักการความเสียดทานของล้อ โดยแผ่นหลังของเครื่องออกกำลังกายจะเป็นแบบราบเรียบและมีเชือกดึงสำหรับนำมาใช้เพื่อการออกกำลังกาย อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังขาดต้นแบบและการทดลองวัดแรงกระทำด้วยเครื่องมือวัด บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบและทดลองวัดแรงกระทำด้วยเครื่องมือวัดในเบื้องต้นเพื่อนำผลที่ได้ไปประเมินศักยภาพของระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกายที่เป็นไปได้ หรือนำผลการศึกษาไปปรับปรุงต้นแบบ ยังไม่ได้ศึกษากับกลุ่มเป้าหมายโดยตรง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ความเสียดทาน (friction) เป็นความต้านที่กระทำอยู่บนวัตถุซึ่งจะป้องกันไม่ให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ โดยแรงเสียดทานเกิดขึ้นในแนวสัมผัส (tangent) กับพื้นที่ผิวที่พิจารณาและมีทิศตรงกันข้ามกับทิศทางที่วัตถุกำลังจะเคลื่อนที่ แรงเสียดทานสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อก่อนวัตถุกำลังจะเคลื่อนที่ ซึ่งหาได้จากแรงเสียดทานสถิต (static friction) ซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงตั้งฉาก (normal force) กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (coefficient of static friction) เมื่อก่อนวัตถุเคลื่อนที่แล้วแรงเสียดทานจะมีค่าลดลงอย่างทันทีทันใดและหาได้จากผลคูณของแรงตั้งฉากและสัมประสิทธิ์

ความเสียดทานจลน์ (coefficient of kinetic friction) หรืออาจกล่าวได้อีกแบบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์มีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (สิทธิชัย, 2555; Blau, 2001)

โดยทั่วไปอาจแบ่งประเภทของแรงเสียดทานเป็นแรงเสียดทานเลื่อน (sliding friction) ที่เกิดจากการไหลของวัตถุชนิดหนึ่งบนวัตถุอีกชนิดหนึ่ง และแรงเสียดทานต่อการกลิ้ง (rolling friction) ที่เกิดจากการกลิ้งของวัตถุชนิดหนึ่งบนวัตถุอีกชนิดหนึ่ง ไม่ว่าแรงเสียดทานแบบเลื่อนหรือแบบกลิ้งจะมีหลักการคล้ายกันที่ว่า แรงเสียดทานขึ้นกับภาระ แรงเสียดทานบนพื้นผิวขรุขระจะมีค่ามากกว่าบนพื้นผิวเรียบ แรงเสียดทานสถิตมีค่ามากกว่าแรงเสียดทานจลน์ เป็นต้น (Abdelbary & Chang, 2023)

หลักการของความเสียดทานต่อการกลิ้ง (rolling friction) ดัง Figure 1 เมื่อมีลูกบอลหรือแท่งทรงกระบอกรัศมี R หมุนบนแผ่นเรียบที่เสียดรูปได้ภายใต้แรงตั้งฉาก (normal load, P) และแรงขนาน (horizontal force, F) เนื่องจากการเสียดรูปได้ของผิวสัมผัสระหว่างวัตถุหมุนกับแผ่น แรงปฏิกิริยา N จะประกอบด้วย N_x , N_y ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงขนานและแรงตั้งฉากตามลำดับ โดยสมการที่หาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่อการกลิ้ง (rolling

friction coefficient, μ) มีหลายรูปแบบ และแบบที่นิยมเพราะสะดวกในการคำนวณได้แก่ การหาอัตราส่วนระหว่างแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสต่อแรงตั้งฉาก โดยประมาณให้แรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสเท่ากับแรงกระทำแนวขนานและแรงตั้งฉากเท่ากับน้ำหนัก จะได้สมการดังนี้ (Li *et al.*, 2024)

$$\mu = \frac{F}{P} \quad (1)$$

โดย F คือ แรงกระทำแนวขนาน หน่วย นิวตัน (N), P คือ แรงตั้งฉาก หน่วย นิวตัน (N)

เมื่อแรงกระทำในสมการที่ (1) เป็นแรงที่ทำให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่คำนวณได้จะเรียกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต Li *et al.* (2024) ให้คำนิยามค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตต่อการกลิ้ง (Static rolling friction coefficient, SRFC) ไว้ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงเสียดทานสัมผัสในแนวเส้นสัมผัสที่กระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนที่ของพื้นผิวที่สัมผัสกันกับแรงตั้งฉาก อย่างไรก็ตาม ในบทความนี้ต่อไปจะเรียกแค่สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตเพื่อความกะทัดรัดของถ้อยคำในการสื่อถึงค่าที่คำนวณได้จากจากแรงสูงสุดที่ทำให้วัตถุที่กลิ้งได้เริ่มเคลื่อนที่ โดยหลังจากเคลื่อนที่แล้วเครื่องออกกำลังกายนี้จะมีารกลิ้งไปตามพื้นเพราะเป็นลักษณะถมีล้อ

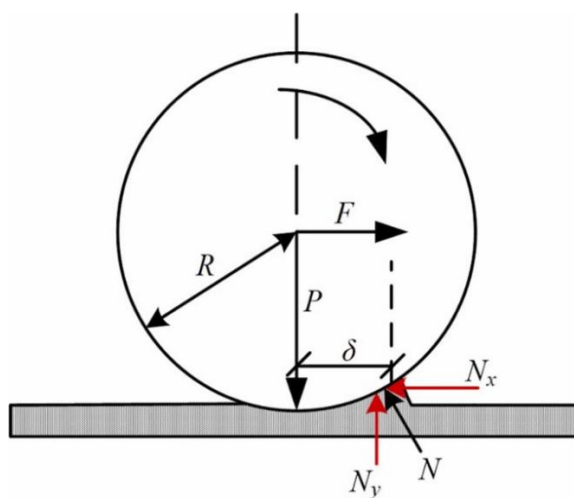
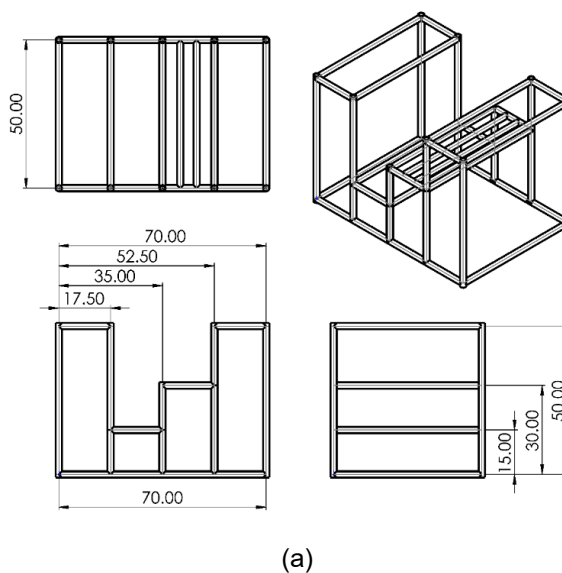


Figure 1 Rolling friction (Li *et al.*, 2024)

การออกแบบเครื่องออกกำลังกาย

เครื่องออกกำลังกายในบทความนี้สร้างขึ้นตามสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์เลขที่ 86670 (รจนา และอรุณพล, 2565) โดยมีแนวคิดการออกกำลังกายด้วยแรงเสียดทาน รูปร่างคล้ายรถเด็กเล่นหรือรถเข็นเด็ก เมื่อนำมาใช้เพื่อการออกกำลังกายลักษณะท่าทางการใช้งานเพื่อออกกำลังกายจะคล้ายการใช้เครื่องกรรเชียงบกอยู่บ้างเล็กน้อยในแง่มุมที่ว่าผู้ใช้งานอยู่ในท่าหนึ่งแต่ลักษณะการทำงานแตกต่างกัน เครื่องออกกำลังกายในบทความนี้เป็นรถขนาดรถเด็กเล่นหรือรถเข็นเด็กที่มีด้านหลังของรถเป็นพื้นผิวเรียบเพื่อรองรับการใช้ปลายเท้าผลักหรือถีบให้รถเคลื่อนที่ไปใน

ระยะทางที่ต้องการ และมีเชือกผูกไว้ที่ด้านข้างทั้งสองข้างของตัวรถที่มีความยาวเชือกที่เพียงพอให้รถเคลื่อนที่ไปได้ในระยะที่ต้องการและผู้ใช้งานสามารถดึงรถกลับมาที่จุดเริ่มต้นได้ Figure 2 (a) แสดงแบบของโครงเหล็กก่อนหุ้มเบาะโดยขนาดที่ระบุหน่วย cm ส่วน Figure 2 (b) แสดงโครงเหล็กที่หุ้มเบาะ ติดตั้งล้อ และเชือกดึงแล้วหรือเรียกว่าเครื่องออกกำลังกายหรือรถสำหรับบทความนี้ โดยล้อที่ยึดกับโครงเหล็กในบทความนี้เป็นการเชื่อมนอตของฐานล้อแต่ละล้อเข้ากับโครงเหล็กที่ฐานล่างโดยไม่ได้ใช้เพลากับลูกปืนเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย (หากใช้เพลากับลูกปืนจะรับน้ำหนักได้มากขึ้นอีก)



(a)



(b)

Figure 2 (a) Drawing of the steel frame before upholstery (b) After upholstery the steel frame and attaching wheels

ลักษณะการใช้งานของเครื่องออกกำลังกายที่ออกแบบไว้ในเบื้องต้นแต่ยังไม่ได้ทดลองกับกลุ่มเป้าหมายแสดงดัง Figure 3 การใช้งานประกอบด้วย 2 จังหวะหลัก ได้แก่ จังหวะดึง และจังหวะผลัก สำหรับจังหวะดึง (Figure 3 (a)) จะเป็นการใช้มือดึงเชือกในขณะที่นั่งงอหัวเข่าอยู่บนเก้าอี้ชนิดนั่งกับพื้นหรือเบาะที่นั่งกับพื้นที่มีแผ่นรองรับแผ่นหลังของผู้ใช้งาน (หมายเหตุ อุปกรณ์เสริมเช่นแผ่นรองส้นเท้าและเบาะนั่งใน Figure 3 ไม่ได้ถูกแสดงใน Figure 2) และสำหรับจังหวะผลัก (Figure 3 (b)) ผู้ใช้งานจะใช้เท้าถีบเครื่องออกกำลังกายออกไปใน

ระยะไม่เกินความยาวเชือกที่ผูกไว้กับเครื่องออกกำลังกาย ลักษณะท่าทางการใช้งานคล้ายการใช้งานเครื่องกรรเชียงบกในแง่มุมที่ใช้งานในท่านี้มีการยืดขาและหดขาตามจังหวะการใช้งาน แต่เครื่องออกกำลังกายในบทความนี้จังหวะดึงที่แขน ส่วนของขาจะต้องมีการเปลี่ยนท่าจากขาเหยียดตรงเป็นขาอ (งอเข่า) ส่วนเครื่องกรรเชียงบก จังหวะดึงที่แขน ส่วนของขาจะเหยียดตรง ซึ่งหากต้นแบบสมบูรณ์แล้วจะต้องศึกษาผลต่อกล้ามเนื้อส่วนต่างๆของผู้ใช้งานแต่ในบทความนี้ยังไม่ได้ทำการศึกษาด้านผลของลักษณะท่าทางการใช้งานดังกล่าว

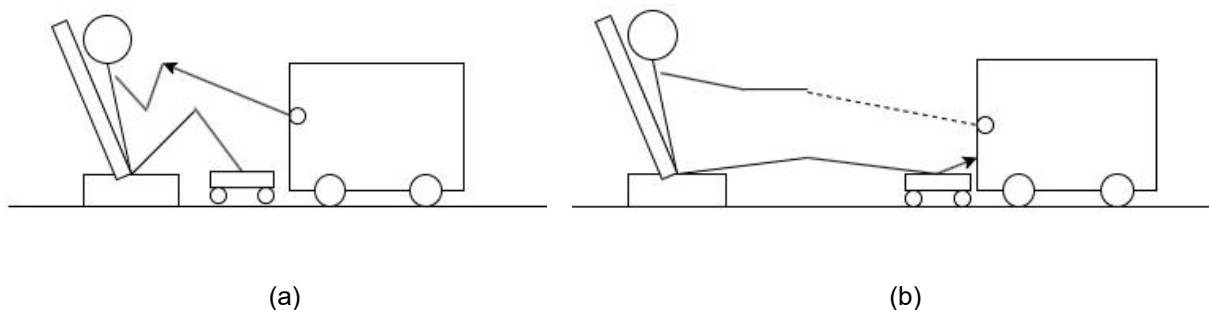


Figure 3 (a) Pulling posture: The user sits with knees bent, using both hands to pull the string.

(b) Pushing posture: The user sits with legs extended, using both feet to push the exercise machine

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการศึกษาเป็นการสร้างต้นแบบ (ดัง Figure 2) และทดลองวัดแรงกระทำด้วยเครื่องมือวัด โดยพื้นผิวที่ทดลองเป็นพื้นผิวกระเบื้องยาง และ พื้นผิวปูพรม เครื่องวัดแรงดึงและแรงผลักแสดงใน Figure 4 (a) ยี่ห้อ SHAHE ประเทศผู้ผลิต ประเทศจีน รุ่น AMF-500 ที่มีช่วงการวัดแรงดึงและแรงผลัก 0 ถึง 500 N ความละเอียด 0.1 N ความแม่นยำ $\pm 1\%$ ประเภทเซนเซอร์ Inner sensor การออกแบบการทดลองมีวัตถุประสงค์ของการทดลองเพื่อเปรียบเทียบแรงดึงและแรงผลักที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนวัตถุจากหยุดนิ่ง และเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน โดยมีตัวแปรในการทดลองดังนี้ ตัวแปรต้น ได้แก่ ประเภทของพื้นผิว น้ำหนักของวัตถุ ลักษณะการกระทำ

ของแรง (ดึงหรือผลัก) ตัวแปรตาม ได้แก่ แรงที่วัดได้ (แรงดึง, แรงผลัก) ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ขนาดของวัตถุ ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ แผนการทดลอง ได้แก่ 1.เตรียมอุปกรณ์และพื้นผิว สำหรับพรมที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นพรมจำนวน 2 ผืนแต่ละผืนมีขนาดกว้าง 50 cm ยาว 110 cmหนา 1.5 cm ลักษณะการวางแบบชิดกันตามแนวความกว้าง ส่วนพื้นห้องที่ทำการทดลองเป็นพื้นกระเบื้องยางตามการใช้งานปกติอยู่แล้ว 2. ทำซ้ำหลายครั้งเพื่อเก็บข้อมูลเชิงสถิติ ในการศึกษาครั้งนี้ทำซ้ำ 5 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยซึ่งถือว่าเพียงพอสำหรับการประเมินเบื้องต้น และ 3.บันทึกข้อมูล

ขั้นตอนการทดลอง

1. วัดแรงผลัก (push force) ที่ผลักรถเปล่า (น้ำหนัก 21 กก หรือ แรงดึงจาก 206 N) ให้เริ่มเคลื่อนที่ โดย

รถอยู่บนพื้นผิวกระเบื้องยาง ตำแหน่งที่ผลักรถอยู่ตรงกึ่งกลางของด้านหลังของรถ (ดัง Figure 4 (b))

2. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 อีก 4 ครั้ง (จำนวนการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง)

3. นำค่าสูงสุดของแรงผลักระหว่างแต่ละครั้งมาหาค่าเฉลี่ย

4. ทำการทดลองวัดแรงผลักระหว่างแรงตั้งฉากอื่นๆ ด้วยการวางถุงถ่วงน้ำหนักบนรถคราวละ 5 กก. ที่บริเวณที่นั่งบนตัวรถ แล้วทดสอบแรงผลักระหว่างที่ผลักให้รถเริ่มเคลื่อนที่ และทำซ้ำให้ครบการทดลอง 5 ครั้งต่อน้ำหนักตั้งฉาก 1 ค่า แล้วนำค่าสูงสุดของแต่ละการทดลองมาหาค่าเฉลี่ย การถ่วงน้ำหนักจะทำตั้งแต่ 5 กก. ไปจนถึง 50 กก.

5. วัดแรงดึง (pull force) ที่ใช้ดึงรถเปล่าให้เริ่มเคลื่อนที่ ตำแหน่งที่ตั้งอยู่ที่กึ่งกลางของขอบฐานด้านล่างของรถ (ดัง Figure 4 (c)) สาเหตุที่ตำแหน่งวัดแรงดึงไม่ตรงกับตำแหน่งที่วัดแรงผลักระหว่างด้านหลังรถเป็นแบบราบเรียบไม่มีจุดเกี่ยวตะขอสำหรับวัดแรงดึงจึงทำการเกี่ยวตะขอวัดแรงดึงที่ขอบฐานด้านล่างของรถ) ทำซ้ำให้ครบ 5 ครั้งแล้วนำค่าสูงสุดของแรงดึงแต่ละครั้งมาหาค่าเฉลี่ย แล้ววางถุงถ่วงน้ำหนักบนรถคราวละ 5 กก. แล้วทดสอบหาแรงดึงที่ทำให้รถเริ่มเคลื่อนที่ และทำซ้ำให้ครบการทดลอง 5 ครั้งต่อน้ำหนักตั้งฉาก 1 ค่า แล้วนำค่าสูงสุดของแต่ละการทดลองมาหาค่าเฉลี่ย การถ่วงน้ำหนักจะทำตั้งแต่ 5 กก. ไปจนถึง 50 กก. เช่นกัน

6. ทำขั้นตอนที่ 1 -5 ใหม่แต่เพิ่มการวางพรมที่พื้นและให้รถอยู่บนพรมขณะทำการทดลอง โดย Table 1 แสดงแรงตั้งฉากต่างๆที่ทำการทดลอง

ผลการทดลอง

ในการทดลองพบว่า เมื่อเริ่มใส่แรงกระทำต่อเครื่องออกกำลังกายในช่วงแรก เครื่องออกกำลังกายยังคงอยู่หนึ่งและไม่เคลื่อนที่ หากค่อย ๆ เพิ่มแรงกระทำอย่างช้าๆ พบว่าแรงกระทำ (ไม่ว่าจะเป็นแรงผลักระหว่าง

แรงดึง) จะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 1-2 วินาที (ขึ้นอยู่กับแรงตั้งฉาก) ก่อนที่รถจะเริ่มเคลื่อนที่ เมื่อรถเริ่มเคลื่อนที่แล้วแรงกระทำที่ใช้จะลดลง ในระหว่างการทดลอง รถถูกกระทำด้วยแรงอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เคลื่อนที่ไปได้ระยะทางรวม 54 ซม. โดยจับเวลาตั้งแต่เริ่มใส่แรงกระทำตอนที่รถยังอยู่หนึ่ง และคำนวณความเร็วเฉลี่ยได้ประมาณ 0.1-0.2 m/s อย่างไรก็ตาม ในช่วงที่ต้องใช้แรงเอาชนะ

แรงเสียดทานสถิต ความเร็วมีค่าต่ำกว่าค่าความเร็วเฉลี่ยมาก ผลการทดลองในบทความนี้แสดงเฉพาะค่าแรงกระทำสูงสุดที่ทำให้รถเริ่มเคลื่อนที่ โดยไม่ได้แสดงแรงกระทำในขณะที่รถเคลื่อนที่แล้วเนื่องจากต้องการประเมินศักยภาพในการใช้งานเป็นเครื่องออกกำลังกายจึงต้องการแรงที่เอาชนะความเสียดทานสถิตซึ่งมีค่ามากกว่าแรงที่เอาชนะความเสียดทานจลน์ อย่างไรก็ตาม หากใช้งานเครื่องออกกำลังกายนี้ตามลักษณะการใช้งานที่นำเสนอใน Figure 3 ผู้ใช้งานจะออกแรงเพื่อเอาชนะทั้งความเสียดทานสถิตและความเสียดทานจลน์ในแต่ละจังหวะทั้งจังหวะดึงและจังหวะผลักซึ่งคาดว่าจะส่งผลดีในแง่ของการให้กล้ามเนื้อได้ใช้แรงกระทำที่ต่างกันในแต่ละจังหวะ (กล่าวคือ ใช้แรงมากช่วงต้นก่อนรถเคลื่อนที่ และ ใช้แรงน้อยลงหลังจากรถเคลื่อนที่แล้ว)

Figure 5 แสดงแรงผลักระหว่างที่ใช้ในการผลักรถให้เริ่มเคลื่อนที่ที่แรงตั้งฉากต่างๆกัน (น้ำหนักรถ 21 กก. และ ถ่วงถ่วงน้ำหนัก 0-50 กก. เพิ่มขึ้นคราวละ 5 กก.) บนพื้นผิวพรม (Carpeted floor) กับพื้นกระเบื้องยาง (Vinyl floor) ส่วน Figure 6 แสดงแรงดึงที่แรงตั้งฉากต่างๆกัน

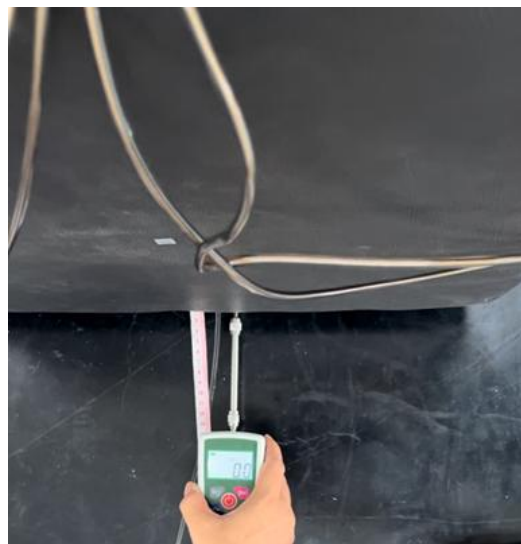
Table 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตบนพื้นทั้งสองและเนื่องจากแรงผลักระหว่างและแรงดึงที่วัดค่าได้มีค่าแตกต่างกันอยู่บ้างจึงแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้มาจากแรงผลักระหว่างและแรงดึงแยกคอลัมน์กัน



(a)



(b)



(c)

Figure 4 (a) The force gauge used for measuring force (b) The position of the force gauge during pushing measurement
(c) The position of the force gauge during pulling measurement

Table 1 Normal force

Weighted bags (kg)	Normal force (N)
0	206.01
5	255.06
10	304.11
15	353.16
20	402.21
25	451.26
30	500.31
35	549.36
40	598.41
45	647.46
50	696.51

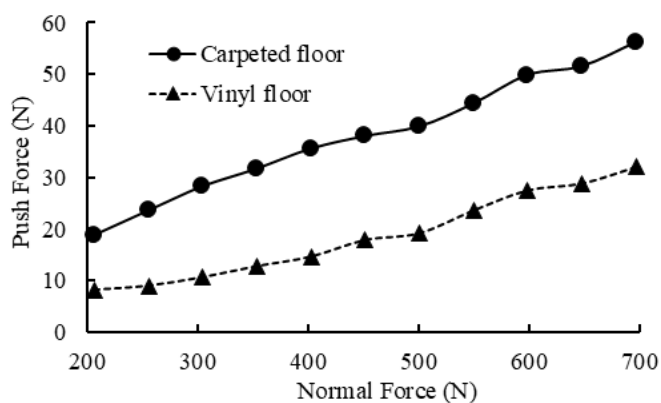


Figure 5 Push force acting on the exercise machine to start moving

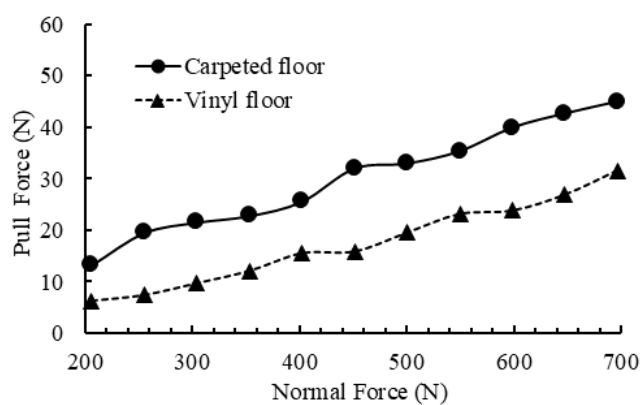


Figure 6 Pull force acting on the exercise machine to start moving

Table 2 Coefficient of static friction

Normal Force (N)	Coefficient of static friction			
	on the vinyl floor		on the carpeted floor	
	from push force	from pull force	from push force	from pull force
206.01	0.04	0.03	0.09	0.06
255.06	0.04	0.03	0.09	0.08
304.11	0.03	0.03	0.09	0.07
353.16	0.04	0.03	0.09	0.06
402.21	0.04	0.04	0.09	0.06
451.26	0.04	0.04	0.08	0.07
500.31	0.04	0.04	0.08	0.07
549.36	0.04	0.04	0.08	0.06
598.41	0.05	0.04	0.08	0.07
647.46	0.04	0.04	0.08	0.07
696.51	0.05	0.05	0.08	0.06

วิจารณ์

จาก Figure 5 แรงผลักรที่ใช้ในการผลักรถให้เริ่มเคลื่อนที่ที่แรงตั้งฉากต่างๆกัน บนพื้นผิวปูพรมกับพื้นกระเบื้องยาง และ Figure 6 แรงดึงที่แรงตั้งฉากต่างๆกัน ได้ผลการทดลองสอดคล้องตามทฤษฎี (Abdelbary & Chang, 2023) เพราะพบว่าแรงผลักรที่ทำให้รถหรือเครื่องออกกำลังกายเริ่มเคลื่อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อแรงตั้งฉากเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการทดลองที่พื้นผิวต่างกันก็เป็นไปตามทฤษฎี (Abdelbary & Chang, 2023) ที่ว่าพื้นผิวขรุขระอย่างเช่นพื้นที่ปูด้วยพรม (the carpeted floor) ในการทดลองนี้แรงเสียดทานจะมากกว่าพื้นผิวกระเบื้องยาง (the vinyl floor)

จากผลการทดลองที่ได้แรงผลักรมีค่ามากกว่าแรงดึงโดยสำหรับพื้นกระเบื้องยางค่าที่ได้จะต่างกันเล็กน้อย แต่สำหรับพื้นปูพรมค่าแรงผลักรและแรงดึงจะมีค่าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ตามทฤษฎีแรงดึงและแรงผลักรที่แรงตั้งฉากค่าใดค่าหนึ่งควรมีค่าเท่ากันแต่ผลการทดลองวัดค่าได้ต่างกันอาจเป็นไปได้จากตำแหน่งที่ทำการวัดแรงต่างกัน หรือความคลาดเคลื่อนในการรักษาระดับความขนานกับพื้นของหัววัดแรงขณะทำการวัด หรือความลาดเอียงของพื้นอาจทำให้พื้นไม่อยู่ในระดับที่เท่ากันเป็นต้น

Table 2 แสดงสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่คำนวณได้จากแรงผลักรและแรงดึง จะเห็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากแรงผลักรและแรงดึงชัดเจนสำหรับพื้นปูพรม สำหรับพื้นกระเบื้องยางมีค่าความแตกต่างบ้างเล็กน้อย เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงตั้งฉาก (Normal Force) และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตบนพื้นผิวทั้งสองพบว่าค่าของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตบนพื้นพรม (carpeted floor): มีค่าที่สูงกว่า คือมีค่าระหว่าง 0.06 - 0.09 และพบว่าที่แรงตั้งฉากเท่ากันค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตที่คำนวณได้จากแรงผลักรและแรงดึงบนพื้นปู

พรมมีความแตกต่างกันมากกว่าเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นกระเบื้องยาง

เมื่อพิจารณาผลกระทบของพื้นผิวต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตพื้นพรมให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตที่สูงกว่าพื้นกระเบื้องยางอย่างชัดเจนซึ่งสอดคล้องกับความคาดหมาย

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาค้นคว้าของ Chua *et al.* (2010) ทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่อการกลิ้งของรถเข็นคนพิการ (wheelchair) ความเร็วระหว่าง 0-4 m/s เขาพบว่าสำหรับพื้นปูพรมค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่อการกลิ้งขึ้นกับความเร็วแต่ลักษณะความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นตรง และในการทดลองของเขาพบว่าพื้นผิวพรมมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่อการกลิ้งเฉลี่ยประมาณ 0.014 ทั้งนี้ล้อที่ใช้ในการทดลองของเขามีขนาดใหญ่กว่าล้อที่ใช้ในการทดลองในบทความนี้มาก ส่วน Gao *et al.* (2021) ศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่อการกลิ้งของล้อรถยนต์ โดยสารที่ความเร็วระหว่าง 40 km/h (หรือ 11.11 m/s) ถึง 60 km/h (16.67 m/s) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่อการกลิ้งของล้อรถยนต์เท่ากับ 0-0.2 อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถเปรียบเทียบผลค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตที่ได้ในบทความนี้กับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่อการกลิ้งจากผลจากงานวิจัยอื่นที่แสดงเนื่องเป็นความเสียดทานคนละประเภท ล้อต่างประเภท ขนาด และใช้ความเร็วต่างกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการใช้เครื่องมือวัดเพื่อวัดแรงดึงและแรงผลักรที่ตัวรถออกกำลังกายโดยทดสอบบนพื้นผิวต่างกัน 2 ชนิด กล่าวคือ พื้นกระเบื้องยาง และพื้นปูพรม ได้ผลสรุปออกมาตามทฤษฎีที่ว่าแรงที่ใช้กระทำกับรถออกกำลังกายขึ้นอยู่กับน้ำหนักและพื้นผิวที่ใช้ในการทดสอบโดยหากใช้อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนักมากผู้ใช้งานยังต้องออกแรงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อทำให้

กล้ามเนื้อต้องทำงานหนักขึ้นเพื่อเคลื่อนย้ายน้ำหนักนั้นเป็นไปตามหลักการพื้นฐานของการออกกำลังกายที่กล่าวว่า การเพิ่มน้ำหนักที่ใช้จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้มากขึ้น อีกทั้งถ้าใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมและเหมาะสมกับวัยแล้วทำให้สามารถออกกำลังกายได้อย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการพัฒนาระบบหัวใจและหลอดเลือดและไม่เกิดการบาดเจ็บอีกด้วย เป็นไปตามที่กรมพลศึกษา (2539) แนะนำไว้ว่าการออกกำลังกายนั้นถ้าจะให้ได้ประโยชน์กับร่างกายอย่างแท้จริงแล้วควรปฏิบัติให้ถูกต้องตามหลักเช่น ควรเริ่มออกกำลังกายช้าๆ สม่่าเสมอพยายามเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายทีละน้อยไม่หักโหมในช่วงแรก และเลือกกิจกรรมที่เหมาะสมกับอายุ และสมรรถภาพของแต่ละคน เป็นต้น

เมื่อทดลองผลึกและตั้งรถออกกำลังกายที่อยู่นิ่งให้เริ่มเคลื่อนที่พบว่าจะใช้แรงผลึกเฉลี่ยและแรงดึงเฉลี่ยในการทำให้รถออกกำลังกายเคลื่อนที่แตกต่างกันตามชนิดของพื้นผิว ที่แรงตั้งฉากเท่ากับ 696.5 N สำหรับพื้นปูพรมใช้แรงมากกว่าพื้นกระเบื้องยาง โดยสำหรับพื้นปูพรมใช้แรงผลึกเฉลี่ย 56.1 นิวตัน และแรงดึงเฉลี่ยที่ 45 นิวตัน และ สำหรับพื้นกระเบื้องยางใช้แรงผลึกเฉลี่ย 32.044 นิวตัน และแรงดึงเฉลี่ยที่ 31.56 นิวตัน ถือว่าเป็นการออกกำลังกายแบบเบาๆ เนื่องจากพื้นพรมมีความขรุขระมากกว่า ทำให้แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวและวัตถุเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อต้องการใช้เครื่องออกกำลังกายชนิดนี้ควรเลือกใช้ใช้งานบนพื้นปูพรมเพื่อให้มีความเสียดทานมากเพียงพอต่อการออกกำลังกายด้วยหลักการความเสียดทาน

ข้อเสนอแนะคือควรประเมินเรื่องความปลอดภัยของต้นแบบก่อนที่จะยื่นขอประเมินจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ก่อนที่จะดำเนินการทดลองในกลุ่มเป้าหมาย

สำหรับเครื่องออกกำลังกายที่พัฒนาขึ้นนอกจากตัวรถ ยังต้องมีการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เสริมที่ใช้ด้วยกันอาทิที่นั่งกับพื้นเพื่อรองรับ

แผ่นหลังของผู้ใช้งาน และ แผ่นรองส้นเท้าที่มีล้อเพื่อให้บริเวณส้นเท้าของผู้ใช้งานไม่ต้องเสียดสีกับพื้นสำหรับการรับรองความปลอดภัยของต้นแบบก่อนนำไปใช้ศึกษากับกลุ่มตัวอย่างจะต้องทำการศึกษาด้านความปลอดภัยในกรณีต่างๆ อาทิ กรณีใช้งานปกติว่ามีจุดอันตรายตรงจุดไหนที่ต้องระวังและออกแบบอุปกรณ์ป้องกันอันตรายเพิ่ม หรือ กรณีอุบัติเหตุ หากเชือกหลุดจากมือระหว่างใช้งานโดยบังเอิญ รถออกกำลังกายจะกระแทกกับผนังห้องหรือไม่ ด้วยแรงกระแทกอย่างไร ต้องมีวัสดุกันกระแทกลักษณะใดเพิ่มเติม เป็นต้น

ระหว่างศึกษาด้านความปลอดภัยของต้นแบบควรมีผู้เชี่ยวชาญสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬาหรือวิทยาศาสตร์สุขภาพร่วมออกแบบและประเมินท่าทางการใช้เครื่องออกกำลังกายให้ถูกวิธีอีกด้วย การจัดทำที่ถูกต้องในการออกกำลังกายจะมีมุมมองจากลำตัวผู้ออกกำลังกายกับเครื่องออกกำลังกายให้เป็นไปตามหลักการพลศาสตร์ (kinematics) ที่มีตัวแปรสำคัญคือการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นและเชิงมุมในที่นี้หมายถึง มุมของร่างกายที่เปลี่ยนองศาเพื่อทำกิจกรรมนั้นๆและยังสัมพันธ์กับหลักจลนศาสตร์ (kinetics) ที่เป็นการวิเคราะห์เกี่ยวกับแรงและโมเมนต์ที่เกิดจากแรงภายนอกและภายใน (Schultz *et al.*, 1982) ในที่นี้หมายถึง แรงภายนอกจากการออกแรงผลึกและแรงดึงเครื่องออกกำลังกาย และแรงภายในที่เกิดจากการทำงานของร่างกายส่วนต่างๆ เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหว หรือรักษาสภาพสมดุล เช่น แรงของกล้ามเนื้อ หัวไหล่ และสันหลัง เป็นต้น

ดังนั้นสรุปว่าเครื่องออกกำลังกายที่นำเสนอคาดว่าจะนำไปใช้ออกกำลังกายระดับความเข้มข้นต่ำได้ถึงแม้หลักการความเสียดทานตามทฤษฎีเป็นที่ทราบอย่างแพร่หลายมาช้านานแต่เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของเครื่องออกกำลังกายยังอยู่ในขั้นเริ่มต้นยังต้องประเมินอีกหลายแง่มุมที่เกี่ยวข้องต่อไป

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนในการสร้างต้นแบบ และทดลองด้วยเครื่องมือวัดจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา ม.เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

เอกสารอ้างอิง

กรมพลศึกษา (2539). *เอกสารงานทดสอบสมรรถภาพทางกาย*. ต้นอ้อ.

รจนา ประไพพ และ อรรถพล ชัยมนัสกุล (2565). *สิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์เลขที่ 86670 เครื่องออกกำลังกาย*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิทธิชัย แสงอาทิตย์ (2555). *เอกสารประกอบการสอนสถิตยศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Statics)*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Abdelbary, A., & Chang, L. (2023). 4 - Friction and wear. In A. Abdelbary & L. Chang (Eds.), *Principles of Engineering Tribology* (pp. 127- 206. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99115-5.00011-6>

Blau, P. J. (2001). The significance and use of the friction coefficient. *Tribology International*, 34 (9), 585-591. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0301-679X\(01\)00050-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0301-679X(01)00050-0)

Černe, T., Kamnik, R., Vesnicher, B., Žganec Gros, J., & Munih, M. (2013) . Differences between elite, junior and non-rowers in kinematic and kinetic parameters during ergometer rowing. *Human Movement Science*, 32(4) , 691-707. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.11.006>

Chua, J. J. C., Fuss, F. K., & Subic, A. (2010) . Rolling friction of a rugby wheelchair. *Procedia Engineering*, 2(2) , 3071-3076. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.113>

De las Casas, H., Kleis, K., Richter, H., Sparks, K., & van den Bogert, A. (2019). Eccentric training with a powered rowing machine. *Medicine in Novel Technology and Devices*,2,100008. <https://doi.org/10.1016/j.medntd.2019.100008>

Gao, X., Chen, Y., & Cheng, P. (2024). Unlocking the potential of exercise: harnessing myokines to delay musculoskeletal aging and improve cognitive health. *Frontiers in physiology*, 15, 1338875. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1338875>

Gao, X., Zhuang, Y., & Liu, S. (2021). High-speed 3D digital image correlation for measuring tire rolling resistance coefficient. *Measurement*, 171, 108830. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108830>

- Groth, S. W., & David, T. (2008). New mothers' views of weight and exercise. *MCN: The American Journal of Maternal/Child Nursing*, 33(6) , 364- 370. <https://doi.org/10.1097/01.Nmc.0000341257.26169.30>
- Ji, C. , Yang, J., Lin, L., & Chen, S. (2022) . Physical Exercise Ameliorates Anxiety, Depression and Sleep Quality in College Students: Experimental Evidence from Exercise Intensity and Frequency. *Behavioral Science*, 12(3), 61. <https://doi.org/10.3390/bs12030061>
- Kramer, A. (2020). An Overview of the Beneficial Effects of Exercise on Health and Performance. In J. Xiao (Ed.), *Physical Exercise for Human Health* (pp. 3- 22) . Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1792-1_1
- Li, J., Zhang, Y., Shang, Q., & Wang, T. (2024) . Experimental study on the static rolling friction coefficient of a flat-roller-flat configuration considering surface roughness. *Structures*, 65, 106711. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106711>
- Perrey, S., & Ferrari, M. (2018). Muscle Oximetry in Sports Science: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 48(3) , 597- 616. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0820-1>
- Schultz, A. B., Andersson, G. B. J., Ortengren, R., Haderspeck, K. A., & Nachemson, A. L. (1982) . Loads on the lumbar spine. Validation of a biomechanical analysis by measurements of intradiscal pressures and myoelectric signals. *The Journal of bone and joint surgery*, 64(5), 713-720.
- Severinsen, M. C. K., & Pedersen, B. K. (2020) . Muscle–Organ Crosstalk: The Emerging Roles of Myokines. *Endocrine Reviews*, 41(4), 594- 609. <https://doi.org/10.1210/endrev/bnaa016>