วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 27 ฉบับที่ 1 ม.ค.–เม.ย. 2560
The Journal of KMUTNB., Vol. 27, No. 1, Jan.–Apr. 2017

บทความวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ของเครื่องจำลองการชนคนเดินเท้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เชิงเส้นแบบไร้แกน

อนันต์ เต็มเปี่ยม* ศุภชัย หลักคำ พิเชษฐ์ บุญญาลัย และ กุลยศ สุวันทโรจน์
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2913-2424 ต่อ 4138 อีเมล: anan.t@rmutp.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2016.10.001
รับเมื่อ 17 พฤศจิกายน 2558 ตอบรับเมื่อ 10 มิถุนายน 2559 เผยแพร่ออนไลน์ 25 ตุลาคม 2559
© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ตั้งแต่แผนการทดสอบการชนคนเดินเท้าของ EURO NCAP ถูกก่อตั้งในปี ค.ศ. 1996 เครื่องจำลองการชนคนเดินเท้าได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือทางวิศวกรรม ความเร็วในการทดสอบถูกกำหนดที่ 40 km/h ในขณะที่ระยะทางในการทำความเร็วถูกจำกัด ดังนั้นชุดผลักอวัยวะจำลองความเร็วสูงจำเป็นต้องถูกพัฒนาเพื่อตอบสนองการทดสอบ วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้มอเตอร์เชิงเส้นแบบไร้แกนเป็นตัวขับเคลื่อนชุดผลักอวัยวะจำลองความเร็วสูงถูกออกแบบให้สามารถติดตั้งมอเตอร์เชิงเส้นแบบไร้แกนได้มากถึง 4 ชุด สำหรับการศึกษาขั้นต้น มอเตอร์เชิงเส้นแบบไร้แกนถูกติดตั้งเพียง 1 ชุดและใช้ซอฟแวร์ CX-Drive ในการควบคุม ผลการทดสอบพบว่าชุดผลักอวัยวะจำลองความเร็วสูงสามารถทำความเร็วได้ตามที่กำหนด ทั้งในสภาวะไม่มีภาระและมีภาระ 5 kg (สูงสุดที่ 3,000 mm/s) ด้วยความยาวรางแม่เหล็ก 1.76 m สำหรับการพัฒนาขั้นต่อไป การเพิ่มจำนวนมอเตอร์เชิงเส้นแบบไร้แกนเป็น 4 ชุด และเปลี่ยนระบบควบคุมจากซอฟแวร์ CX-Drive เป็นเครือข่ายแบบ Ether Cat จะเพิ่มความเร่งและความเร็วสูงสุดเป็น 35.06 m/s^2 และมากกว่า 11.11 m/s (40 km/hr) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับแผนการทดสอบ Pedestrian Testing Protocol ของ EURO NCAP

คำสำคัญ: คนเดินเท้า, เครื่องจำลองการชน, มอเตอร์เชิงเส้นแบบไร้แกน

การอ้างอิงบทความ: อนันต์ เต็มเปี่ยม ศุภชัย หลักคำ พิเชษฐ์ บุญญาลัย และ กุลยศ สุวันทโรจน์, "การศึกษาความเป็นไปได้ของเครื่องจำลองการชนคนเดินเท้าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เชิงเส้นแบบไร้แกน," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 1, หน้า 79–88, ม.ค.–เม.ย. 2560

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 27 ฉบับที่ 1 ม.ค.–เม.ย. 2560
The Journal of KMUTNB., Vol. 27, No. 1, Jan.–Apr. 2017

Research Article

A Feasibility Study of a Pedestrian Crash Simulator Powered by Ironless Linear Motor

Anan Tempiem*, Supachai Lakkam, Pichest Boonyalai and Kullayot Suwantaroj
Department of Mechanical engineering, faculty of engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0-2913-2424 Ext. 4138, E-mail: anan.t@rmutp.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2016.10.001
Received 17 November 2015; Accepted 10 June 2016; Published online: 25 October 2016
© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Since the pedestrian testing protocol of EURO NCAP was established in 1996, pedestrian accident simulations using the simulation tool have been used as an engineering tool. The testing speed was determined at 40 km/h while the distance for acceleration was limited. Therefore, a set of high-speed driving model of modelled organs needs to be developed to respond to the test. The purpose of this research was to study the feasibility of ironless linear motors used in this simulator. The set of high-speed driving model of modelled organs was designed for the maximum installation of 4 ironless linear motor units. For a preliminary study, one unit was installed, controlled by CX-Drive software. As results, it was able to be generated the settled speed, be it with or without a 5 kg load (maximum 3,000 mm/s), with 1.76 m of the magnetic rail length. In the future work, the increase of ironless linear motor up to 4 units and control system alteration from CX-Drive software to Ether Cat network will enhance the acceleration ability up to 35.06 m/s^2 and over 11.11 m/s (40 km/hr) respectively. The outcomes demonstrate conformity to the pedestrian testing protocol of EURO NCAP.

Keywords: Pedestrian, Crash Simulator, Ironless Linear Motor

Please cite this article as: A. Tempiem, S. Lakkam, P. Boonyalai, and K. Suwantaroj, "A feasibility study of a pedestrian crash simulator powered by ironless linear motor," *The Journal of KMUTNB.*, vol. 27, no. 1, pp. 79–88, Jan.–Apr. 2017 (in Thai).

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการเติบโตและเข้ามามีบทบาทอย่างมากต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจภายในประเทศไทย โดยข้อมูลจากกรมการขนส่งทางบกพบว่า ในปี พ.ศ. 2558 มีรถยนต์จดทะเบียนใหม่ทั้งสิ้น2.77 ล้านคัน[1] จากอัตราการใช้รถที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การเกิดอุบัติเหตุระหว่างรถยนต์กับคนเดินเท้ามีมากขึ้นตามลำดับ ข้อมูลจาก Lakkam และคณะ [2] ซึ่งได้ทำการสำรวจอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในเขตเมืองหลวงและชานเมืองของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2556 พบว่าเหยื่อร้อยละ 46 เป็นคนเดินเท้าและร้อยละ 30 ถูกค้นพบโดย Habibovic และคณะ [3] ว่าเป็นผู้ร่วมใช้ทางที่ไม่สามารถสังเกตเห็นยานพาหนะก่อนเกิดอุบัติเหตุ นอกจากนี้ผู้ร่วมใช้ทางมากถึงร้อยละ 70 เห็นยานพาหนะ แต่ไม่สามารถตีความหรือเข้าใจกับสัญญาณจราจรและนำไปสู่การเข้าใจผิดและเกิดอุบัติเหตุในที่สุด

สำหรับบริเวณการเกิดอุบัติเหตุ Fredriksson และคณะ[4] พบว่ากรณีการเกิดอุบัติเหตุกับผู้ใหญ่ศีรษะจะปะทะกับกระจกหรือฝากระโปรงรถยนต์ ในขณะที่กรณีการเกิดอุบัติเหตุกับเด็กศีรษะจะปะทะที่ฝากระโปรงรถยนต์เท่านั้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขชิ้นส่วนยานยนต์ เช่นกระจกหน้าและฝากระโปรงรถยนต์ เพื่อลดอัตราความรุนแรงจากการเกิดอุบัติเหตุ

ดังนั้นการออกแบบรถยนต์จำเป็นจะต้องมีระบบที่ได้มาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบความปลอดภัยสำหรับการใช้งานที่ต้องผ่านข้อกำหนดหรือกฎหมายท้องถิ่นในแต่ละประเทศ มากไปกว่านั้น การทดสอบภาคสมัครใจของ New Cars Assessment Programs (NCAP) ซึ่งเป็นองค์กรทดสอบและประเมินระดับความเสี่ยงของรถยนต์เข้ามามีอิทธิพลต่อการพัฒนาระบบความปลอดภัยของรถยนต์ในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในภูมิภาคเอเชียตระหนักและให้ความสำคัญต่อความปลอดภัยจากการใช้รถยนต์มากขึ้น ซึ่งเห็นได้จากการก่อตั้งองค์กรประเมินความปลอดภัยของยานยนต์ที่เกิดขึ้นมาใหม่ในภูมิภาคเอเชีย ASEAN New Car Assessment Programs (ASEAN NCAP) ณ ประเทศมาเลเซีย เพื่อใช้เป็นฐานการทดสอบและประเมินระดับความปลอดภัยของยานยนต์ที่มีจำหน่ายในภูมิภาคอาเซียน [5]

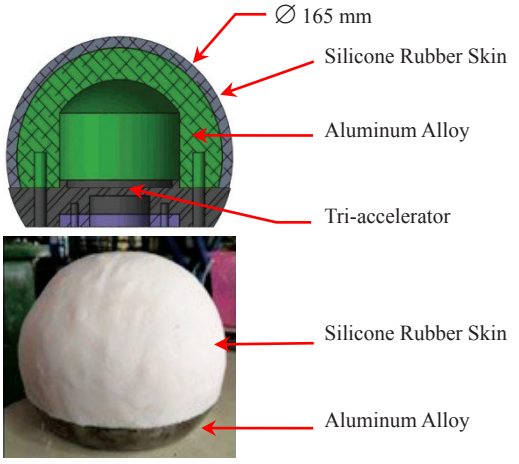
สำหรับการป้องกันและบรรเทาความรุนแรงจากอุบัติเหตุด้วยอุปกรณ์ความปลอดภัยในรถยนต์ Davoodi และคณะ [6] ได้พัฒนาอุปกรณ์ดูดซับแรงกระแทกที่ใช้ร่วมกับรถยนต์ทั่วไป โดยมีจุดประสงค์เพื่อบรรเทาการบาดเจ็บของคนเดินเท้าโดยอาศัยหลักการดูดซับพลังงานจลน์ในขณะเกิดการชนที่ความเร็วต่ำและใช้หลักการโก่งตัวของคานเมื่อปะทะที่ความเร็วสูง เทคนิคดังกล่าวช่วยคัดกรองข้อมูล เช่น ระยะและทิศทางการปล่อยอวัยวะจำลอง ซึ่งสามารถนำไปช่วยในขั้นตอนการออกแบบเครื่องทดสอบได้เร็วยิ่งขึ้น ในขณะที่การเกิดอุบัติเหตุระหว่างยานพาหนะประเภท Sport Utility Vehicles (SUV) และคนเดินเท้ามีลักษณะที่แตกต่างกันมิติความสูงของรถยนต์ประเภทนี้ส่งผลต่อทิศทางการปะทะที่แตกต่างออกไป การพัฒนาระบบป้องกันการชนด้านหน้าระว่างรถยนต์และคนเดินเท้า Frontal Protection Systems (FPS) ถูกศึกษาโดย Kopczyski และคณะ [7] ด้วยวิธีการจำลองสภาวะการชนด้วยเครื่องทดสอบ ระบบดังกล่าวสามารถรองรับสภาวะการใช้งานในความเร็วที่กฎหมายของสหภาพยุโรปกำหนด ซึ่งข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาใช้ประยุกต์ในการออกแบบชุดจับยึดขาจำลองของต้นแบบเครื่องทดสอบฯ อย่างไรก็ตามชุดจับยึดขาจำลองสำหรับรถยนต์ประเภทอื่นซึ่งมีความสูงแตกต่างกันยังคงต้องถูกออกแบบเพิ่มเติม

นอกจากนี้การศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับตำแหน่งและท่าทางการเข้าปะทะที่บริเวณกันชนยังถูกศึกษาโดย Matsui และคณะ [8] ซึ่งพบว่าการปะทะบริเวณด้านข้างกันชนจะมีความเสี่ยงต่ออัตราการบาดเจ็บที่น้อยกว่าการปะทะบริเวณด้านหน้ากันชน ดังนั้นวัสดุที่ใช้ดูดซับแรงกระแทกที่มีประสิทธิภาพสูงควรถูกติดตั้งในตำแหน่งกลางกันชนและจะต้องมีลักษณะบางกว่าเพื่อรองรับการโก่งตัวได้มากกว่า รวมถึงการจำลองในการทดสอบที่ควรให้น้ำหนักการปะทะกรณีด้านหน้าตรงมากกว่าด้านข้าง นอกจากนี้

การคืนรูปของฝากระโปรงในขณะรับแรงกระแทกจากศีรษะจำลอง (Head Form) ถูกศึกษาโดย Huang และคณะ [9] ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เทคนิคการยกตัวของฝากระโปรง มุมการยกตัวและความเร็ว ถูกนำมาใช้เพื่อลดการบาดเจ็บของคนเดินเท้า ข้อมูลดังกล่าวถูกนำไปใช้ในการตั้งระยะความห่างที่เหมาะสมระหว่างต้นแบบเครื่องทดสอบฯ และรถยนต์ทดสอบ สำหรับการใช้หุ่นมนุษย์จำลอง Han และคณะ [10] ได้ทำการสอบเทียบระหว่างการจำลองโดยใช้หุ่นจากซอฟแวร์ THUMS Pedestrian (AM50th) และการจำลองด้วยการใช้ชิ้นส่วนอวัยวะบางส่วน (Head form and Leg form) ซึ่งทั้งสองวิธีใช้หลักการระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังนั้นข้อมูลเกี่ยวกับอวัยวะในซอฟแวร์ถูกนำมาใช้ประมาณขนาดและมวลของอวัยวะจำลองก่อนทำการผลิตจริง

สำหรับเทคโนโลยีที่ใช้ขับเคลื่อนชุดผลักอวัยวะจำลองของเครื่องจำลองการชนคนเดินเท้า ในยุคแรกระบบไฮดรอลิกถูกนำมาใช้เป็นต้นกำลังขับเคลื่อน แต่กลับพบปัญหาด้านการบำรุงรักษาและอายุการใช้งานที่สั้น อีกทั้งความเร็วในการตอบสนองมีขีดจำกัด เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาด้านการบำรุงรักษา ระบบนิวเมติกความดันสูงถูกนำมาใช้แทนที่ โดยอาศัยก๊าซไนโตรเจนเป็นสารตัวกลางในการส่งถ่ายกำลัง [11] อย่างไรก็ตามระบบนี้มีข้อจำกัดในการสร้างแรงผลักสูงสุด ดังนั้นการควบรวมระบบไฮดรอลิกและนิวเมติกความดันสูงเข้าด้วยกันถูกนำมาใช้ [12] แต่ต้องอาศัยความดันสูงถึง 16 Bar ระหว่างการใช้งานซึ่งมีความเสี่ยงต่อการรั่วไหล

ดังนั้นชุดผลักอวัยวะจำลองความเร็วสูงมีความจำเป็นต้องถูกพัฒนาเพื่อตอบสนองความต้องการด้านการทดสอบ มอเตอร์เชิงเส้นแบบไร้แกนเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจในการพัฒนาชุดผลักอวัยวะจำลองของเครื่องจำลองการชนคนเดิน เนื่องจากใช้ระยะทางในการสร้างอัตราเร่งน้อยและควบคุมการเคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำโดยไม่เสี่ยงต่อการรั่วไหลและระเบิด งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้มอเตอร์เชิงเส้นแบบไร้แกนเป็นตัวขับเคลื่อน



รูปที่ 1 ศีรษะจำลอง

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

2.1 วัสดุ และอุปกรณ์

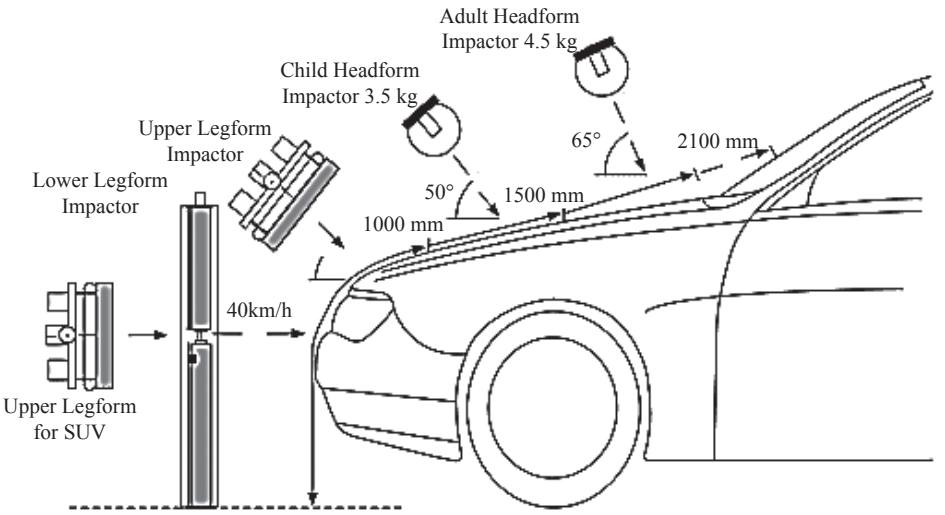
การศึกษาครั้งนี้แบ่งการออกแบบเป็น 3 ส่วนหลัก คือศีรษะจำลอง โครงสร้างเครื่องจำลองการชน และชุดผลักอวัยวะจำลองความเร็วสูง

2.1.1 ศีรษะจำลอง

ศีรษะจำลองสำหรับผู้ใหญ่ถูกออกแบบด้วยซอฟแวร์ Solidworks เพื่อหาขนาด มวลและวัสดุที่นำมาใช้สร้างอวัยวะจำลอง ซึ่งตามข้อกำหนดของ EURO NCAP (Pedestrian Testing Protocol) [13] กำหนดมวลศีรษะจำลองไว้ที่ 4.5 kg นอกจากนี้ ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลถูกออกแบบใกล้เคียงกับจุดเซนทรอยด์มากที่สุด เพื่อลดการโคจรรอบตัวเองระหว่างถูกปล่อยออกจากเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 1 อย่างไรก็ตามศีรษะจำลองกับอุปกรณ์ส่วนควบที่ต้องเคลื่อนที่บนชุดผลักอวัยวะจำลองรวมกันมีมวล 5 kg

2.1.2 เครื่องจำลองการชน

จากแผนการทดสอบของ EURO NCAP ดังแสดงในรูปที่ 2 เครื่องจำลองการชนคนเดินเท้าถูกออกแบบสำหรับทดสอบรถยนต์นั่งส่วนบุคคลขนาดไม่เกิน 2 ตัน และสามารถปรับตำแหน่งการทดสอบได้ 3 แนวแกน (x, y, z) โดยเลือกใช้เซอร์โวมอเตอร์เป็นต้นกำลัง



รูปที่ 2 ตำแหน่งองศาการทดสอบตามแผนการทดสอบ EURO NCAP [13]

ในการขับเคลื่อนและส่งแรงผ่านชุดบอลสกรู เพื่อให้เครื่องจำลองฯ สามารถเคลื่อนที่และปรับมุมการทดสอบได้ 0 ถึง 65 องศาอ้างอิงจากแนวระนาบดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4

2.1.3 ชุดผลักอวัยวะจำลองความเร็วสูง

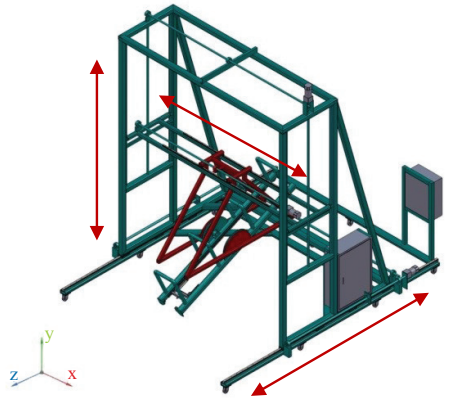
การออกแบบชุดขับเคลื่อนอวัยวะจำลองความเร็วสูงอาศัยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2) ในการออกแบบและคำนวณเพื่อหาขนาดแรงผลักที่ต้องการในสภาวะที่สอดคล้องกับแผนการทดสอบ EURO NCAP ซึ่งกำหนดความเร็วการผลักวัตถุไว้ที่ 40 km/h หรือ 11.11 m/s

$$v^2 = u^2 + 2as \qquad (1)$$

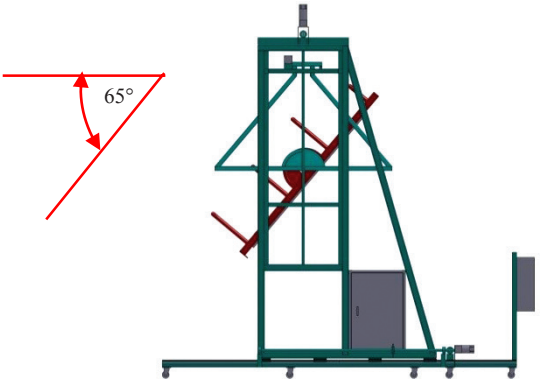
โดยที่

v คือความเร็ว ณ จุดสุดท้าย (m/s)
u คือความเร็ว ณ จุดเริ่มต้น (m/s)
a คือความเร่ง (m/s^2)
s คือระยะขจัด (m)

$$F = ma \qquad (2)$$



รูปที่ 3 การปรับตำแหน่งทดสอบ 3 แนวแกน



รูปที่ 4 การปรับมุมเอียงสำหรับการทดสอบ

รูปที่ 5 Ironless Linear Motor [14]

โดยที่

F คือแรงผลักอวัยวะจำลองและส่วนควบ (N)

m คือมวลอวัยวะจำลองและส่วนควบ (kg)

การผลักศีรษะจำลองมวล 5 kg ภายในระยะขจัดไม่เกิน 1.7 m ซึ่งเป็นขนาดมิติของเครื่องทดสอบให้ได้ความเร็วเป้าหมาย 11 m/s ต้องการแรงผลักไม่ต่ำกว่า 181 N ดังนั้นเซอร์โวมอเตอร์เชิงเส้นแบบไร้แกน (Ironless Linear Motor) ดังแสดงในรูปที่ 5 ถูกเลือกเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนอวัยวะจำลองความเร็วสูง เนื่องจากสามารถรองรับการเคลื่อนที่ ณ ความเร็วสูงสุดได้ 16 m/s ที่แรงผลักต่อเนื่อง 87 N และแรงผลักสูงสุดที่ 300 N ตามคุณสมบัติที่ผู้ผลิตกำหนด

จากผลการคำนวณชุดผลักอวัยวะจำลองความเร็วสูงต้องการแรงผลักจากมอเตอร์เชิงเส้นแบบไร้แกนจำนวน 4 ชุด อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาขั้นต้นเพื่อหาความเป็นไปได้ในการนำ Ironless Linear Motor มาใช้เป็นต้นกำลังในการผลักอวัยวะจำลอง ดังนั้น Ironless Linear Motor เพียงชุดเดียวจึงถูกนำมาติดตั้งและใช้ซอฟแวร์ CX-Drive ในการควบคุมเพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้งาน

2.2 การทดสอบ

เพื่อทำการทดสอบความสามารถการผลักอวัยวะจำลองของต้นแบบเครื่องจำลองการชนคนเดินเท้า ศีรษะจำลองถูกติดตั้งเข้ากับชุดกลไกขับเคลื่อนอวัยวะจำลอง

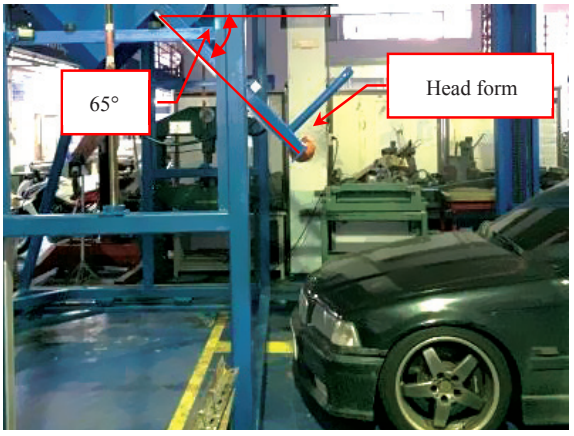
รูปที่ 6 การติดตั้งศีรษะจำลอง

ความเร็วสูงดังแสดงในรูปที่ 6 โดยมีสภาวะการทดสอบซึ่งสอดคล้องกับแผนการทดสอบ EURO NCAP ดังตารางที่ 1

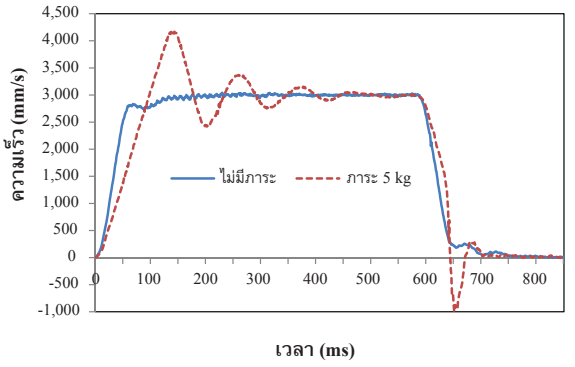
ตารางที่ 1 สภาวะการทดสอบ

ลำดับ	รายการ	มุมปล่อยวัตถุ (°)
1	ไม่มีภาระ	0
2	ภาระ 5 kg	0
3	ภาระ 5 kg	65

รูปที่ 7 แสดงการทดสอบความสามารถการผลักศีรษะจำลองในเบื้องต้น โดยใช้ซอฟต์แวร์มาตรฐาน (CX-Drive) [15] ของบริษัทผู้ผลิต Ironless Linear Motor เชื่อมต่อผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC Computer) การควบคุมด้วยวิธีดังกล่าวมีข้อจำกัดคือสามารถกำหนดความเร็วได้สูงสุด 3 m/s และอัตราเร่งสูงสุดจากความเร็ว 0 ถึง 3,000 mm/s ภายในเวลา 1 ms ซึ่งต่ำกว่าแผนการทดสอบ EURO NCAP กำหนดไว้ที่ 11.11 m/s อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการศึกษาขั้นต้นครั้งนี้ เพื่อเป็นคำสั่งในการผลักศีรษะจำลองที่แนวการเคลื่อนที่ 0° และ 65° จากแนวระนาบ ทั้งแบบไม่มีภาระและมีภาระ 5 kg โดยเครื่องทดสอบมีระยะทางเพื่อผลักอวัยวะจำลองทั้งหมด 1.76 m



รูปที่ 7 การทดสอบที่มุมเอียง 65°



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลา แนวการเคลื่อนที่ 0°

3. ผลการทดสอบ

3.1 ผลการผลักวัตถุที่แนวการเคลื่อนที่ 0°

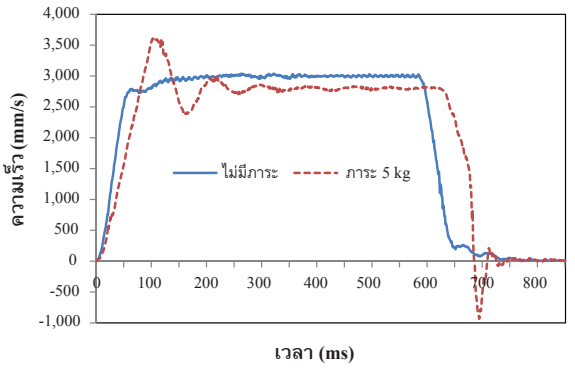
ผลการทดสอบการผลักวัตถุที่แนวการเคลื่อนที่ 0° แสดงความสามารถในการสร้างอัตราเร่งในแนวการเคลื่อนที่ 0° จากแนวระนาบ โดยในสภาวะไร้ภาระชุดกลไกขับเคลื่อนอวัยวะจำลองความเร็วสูงสามารถสร้างความเร็วจากจุดหยุดนิ่งไปถึงความเร็วเป้าหมาย (3,000 mm/s) อย่างมีเสถียรภาพได้ภายในเวลา 165 ms ซึ่งช้ากว่าคำสั่งที่กำหนดไว้ ก่อนเริ่มลดความเร็วอย่างทันทีทันใดที่เวลา 590 ms และลดความเร็วเหลือ 0 mm/s ที่เวลา 690 ms ทั้งนี้สามารถคำนวณหาอัตราเร่งและอัตราหน่วงสูงสุดในสภาวะดังกล่าว คือ 97 m/s^2 และ 146 m/s^2 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 8

การทดสอบที่ภาระ 5 kg ชุดกลไกขับเคลื่อนอวัยวะจำลองความเร็วสูง สามารถเร่งความเร็วจากจุดหยุดนิ่งผ่านความเร็วเป้าหมาย (3,000 mm/s) ที่เวลา 97 ms และเกินค่าเป้าหมาย (Overshoot) ก่อนเริ่มเข้าสู่เสถียรภาพที่เวลา 450 ms จากนั้นเริ่มลดความเร็วอย่างทันทีทันใดที่เวลา 673 ms และความเร็วเหลือ 0 m/s ที่เวลา 644 ms ทั้งนี้สามารถคำนวณหาอัตราเร่งและอัตราหน่วงสูงสุดในสภาวะดังกล่าว คือ 87 m/s^2 และ 546 m/s^2 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าชุดกลไกขับเคลื่อนอวัยวะจำลองความเร็วสูงได้ปะทะกับตัวหยุดการเคลื่อนที่ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ย้อนกลับอย่างทันทีทันใดที่เวลา 644 ms ถึง 671 ms

การเปรียบเทียบการรักษาสภาวะการเคลื่อนที่ของทั้งสองสภาวะพบว่าสภาวะรับภาระ 5 kg มีความสามารถในการรักษาความเร็วเป้าหมายลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งเห็นได้จากการเกิดสภาวะเกินค่าเป้าหมายทั้งที่เวลา 97 ms และ 657 ms โดยมีสาเหตุจากขนาดโมเมนตัมที่มากขึ้น ดังนั้น Ironless Linear Motor ต้องสร้างทั้งแรงผลักและดึงวัตถุเพื่อรักษาสภาวะการเคลื่อนที่แบบบังคับให้เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถผลักวัตถุได้ตามที่ตั้งเป้าหมายไว้ (3,000 mm/s)

3.2 ผลการผลักวัตถุที่แนวการเคลื่อนที่ 65°

ผลการทดสอบการผลักวัตถุที่แนวการเคลื่อนที่ 65° แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการสร้างอัตราเร่งในแนวการเคลื่อนที่ 65° จากแนวระนาบ โดยในสภาวะไร้ภาระชุดกลไกขับเคลื่อนอวัยวะจำลองความเร็วสูง สามารถสร้างความเร็วจากจุดหยุดนิ่งไปถึงความเร็วเป้าหมาย (3,000 mm/s) อย่างมีเสถียรภาพได้ภายในเวลา 198 ms ซึ่งช้ากว่าคำสั่งที่กำหนดไว้ ก่อนเริ่มลดความเร็วอย่าง



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลาแนวการเคลื่อนที่ 65°

ทันทีทันใดที่เวลา 586 ms และลดความเร็วเหลือ 0 mm/s ที่เวลา 771 ms ทั้งนี้สามารถคำนวณหาอัตราเร่งและอัตราหน่วงสูงสุดในสภาวะดังกล่าวได้ 112 m/s^2 และ 214 m/s^2 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 9

การทดสอบที่ภาระ 5 kg ที่แนวการเคลื่อนที่ 65° ไม่ประสบความสำเร็จในการตั้งความเร็วเป้าหมายที่ 3,000 mm/s เนื่องจากเกิดโมเมนตัมมากเกินความสามารถของ Ironless Linear Motor ควบคุมได้ในช่วงลดความเร็วเพื่อหยุดการเคลื่อนที่ (650 ถึง 750 ms) ดังนั้นจึงลดความเร็วเป้าหมายในการทดสอบลงเหลือ 2,800 mm/s ชุดกลไกขับเคลื่อนอวัยวะจำลองความเร็วสูง สามารถเร่งความเร็วจากจุดหยุดนิ่งผ่านความเร็วเป้าหมาย (2,800 mm/s) ที่เวลา 81 ms และเกินค่าเป้าหมาย ก่อนเริ่มเข้าสู่เสถียรภาพที่เวลา 365 ms จากนั้นเริ่มลดความเร็วอย่างทันทีทันใดที่เวลา 624 ms และความเร็วเหลือ 0 m/s ที่เวลา 684 ms ทั้งนี้สามารถคำนวณหาอัตราเร่งและอัตราหน่วงสูงสุดในสภาวะดังกล่าว คือ 99 m/s^2 และ 510 m/s^2 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าชุดกลไกขับเคลื่อนอวัยวะจำลองความเร็วสูงได้ปะทะกับตัวหยุดการเคลื่อนที่ ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ย้อนกลับอย่างทันทีทันใดที่เวลา 685 ms ถึง 709 ms

การเปรียบเทียบการรักษาสภาวะการเคลื่อนที่ของทั้งสองสภาวะพบว่าสภาวะรับภาระ 5 kg ซึ่งมีโมเมนตัมมากกว่าทั้งจากภาระที่มากขึ้นและพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ลงเป็นมุมเอียง ส่งผลต่อการตอบสนองการลดความเร็วที่ช้าลง อย่างไรก็ตาม หากต้องการตั้งค่าความเร็วเป้าหมายที่ 3,000 mm/s จำเป็นจะต้องปรับตั้งตำแหน่งเริ่มลดความเร็วของชุดผลักอวัยวะจำลองล่วงหน้าเพื่อชดเชยระยะการตอบสนองที่ช้าลงของ Ironless Linear Motor

4. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการนำ Ironless Linear Motor มาใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนชุดผลักอวัยวะจำลองของเครื่องจำลองการชนคนเดินเท้า ซึ่งจะเป็นทางเลือกในการผลักวัตถุความเร็งสูงด้วยระยะทางสั้นและตอบสนองความต้องการด้านการทดสอบความปลอดภัยของรถยนต์ตามเกณฑ์ EURO NCAP

ผลการทดสอบพบว่าเครื่องจำลองการชนคนเดินเท้าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบ โดยสามารถเคลื่อนตำแหน่งตามแนวแกนทั้ง 3 แกน (x, y และ z) อีกทั้งสามารถปรับมุมการปะทะระหว่าง 0° ถึง 65° จากแนวระนาบ ในขณะที่ชุดผลักอวัยวะจำลองความเร็วสูงสามารถทำความเร็วได้ตามความสามารถของอุปกรณ์ที่ผู้ผลิตกำหนด ทั้งในสภาวะไม่มีภาระและมีภาระ 5 kg (สูงสุดที่ 3,000 mm/s) ด้วยความยาวของรางแม่เหล็ก 1.76 m ซึ่งเป็นที่พอใจสำหรับการศึกษาในขั้นต้น

สำหรับแนวทางการพัฒนา การเพิ่มจำนวน Ironless Linear Motor แบบขนานเป็น 4 ชุด ตามที่ได้ออกแบบจะทำให้ชุดผลักอวัยวะจำลองมีแรงควบคุมมากขึ้นและชนะโมเมนตัมที่เกิดขึ้นได้ในทุกสภาวะการทดสอบ นอกจากนี้การควบคุมด้วยซอฟแวร์ CX-Drive [15] ที่ติดตั้งในปัจจุบันสามารถกำหนดความเร็วสูงสุดได้เพียง 3 m/s ในขณะที่ Ironless Linear Motor สามารถรองรับความเร็วได้สูงถึง 16 m/s ดังนั้นการเปลี่ยนซอฟแวร์ควบคุมอุปกรณ์เป็นระบบ Machine Network ซึ่งส่งสัญญาณแบบ Ether Cat [16] จะสามารถกำหนดความเร็วสูงสุดได้เท่ากับความสามารถของ Ironless Linear Motor (16 m/s)

แนวทางการพัฒนาดังกล่าวจะทำให้อัตราเร่งของชุดผลักอวัยวะจำลองเพิ่มสูงขึ้นเป็นไม่น้อยกว่า 35.06 m/s^2 และมีความเร็วสูงสุดเกิน 11.11 m/s หรือ 40 km/hr ตามแผนการทดสอบ Pedestrian Testing Protocol ของ EURO NCAP กำหนดไว้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยมีความยินดีที่จะกล่าวขอบคุณต่อ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Transport Statistics Group. (2015, Jan.). Department of Land Transport [Online]. Available: http://apps.dlt.go.th/statistics_web/newcar.html

[2] S. Lakkam and S. Koetniyom, "Investigation of accident scenarios between pedestrians and city buses in Thailand," *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 12, pp. 3076–3088, 2015.

[3] A. Habibovic and J. Davidsson, "Causation mechanisms in car-to-vulnerable road user crashes: Implications for active safety systems," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 49, pp. 493–500, 2012.

[4] R. Fredriksson, E. Rosen, and A. Kullgren, "Priorities of pedestrian protection—A real-life study of severe injuries and car sources," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 42, no. 6, pp. 1672–1681, 2010.

[5] ASEAN New Car Assessment Programs [Online]. Available: http://www.aseancap.org/about/about-us/

[6] M. M. Davoodi, S. M. Sapuan, A. Aidy, N. A. Abu Osman, A. A. Oshkour, and W. A. B. Wan Abas, "Development process of new bumper beam for passenger car: A review," *Materials and Design*, vol. 40, pp. 304–313, 2012.

[7] A. Kopczyski, M. Ptak, and P. Harnatkiewicz, "The influence of frontal protection system design on pedestrian passive safety," *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol 11, no. 2, pp. 345–364, 2011.

[8] Y. Matsui, M. Hitosugi, and K. Mizuno, "Severity of vehicle bumper location in vehicle-to-pedestrian impact accidents," *Forensic Science International*, vol. 212, no. 1–3, pp. 205–209, 2011.

[9] S. Huang and J. Yang, "Optimization of a reversible hood for protecting a pedestrian's head during car collisions," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 42, no. 4, pp. 1136–1143, 2010.

[10] Y. Han, J. Yang, K. Mizuno, and Y. Matsui, "A study on chest injury mechanism and the effectiveness of a headform impact test for pedestrian chest protection from vehicle collisions," *Safety Science*, vol. 50, no. 5, pp. 1304–1312, 2012.

[11] Microsys. (2016, Jan.). Part of the Altran Group [Online]. Available: http://www.concept-tech.com/output/?e=291&d=en&page=index&a=Impactor_Testequipment&b=Universal+Impact+Test+System+%28UPA%29&c=pa

[12] Press release finder. (2016, Jan.). GE Group [Online]. Available: http://www.pressreleasefinder.com/pr/GEAMPR191AU/en

[13] Pedestrian testing protocol. (2016, Jan.). EURO New Car Assessment Programs [Online]. Available: http://www.euroncap.com/en/for-engineers/protocols/pedestrian-protection/

[14] Omron Industry Automation. (2016, Jan.). Omron Corporation [Online]. Available: https://industrial.

omron.eu/en/products/catalogue/motion_and_drives/servo_systems/linear_servo_motors/accurax_gw/default.html

[15] Omron Industry Automation. (2016, Jan.). Omron Corporation [Online]. Available: https://industrial.omron.eu/en/products/catalogue/automation_systems/software/configuration/cx-drive/default.html

[16] Omron Industry Automation. (2016, Jan.). Omron Corporation [Online]. Available: https://industrial.omron.eu/en/news/product-news/one-machine-network