



การออกแบบหน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบสำหรับทดสอบการชนรถจักรยานยนต์
DESIGN A PROTOTYPE OF MALE DUMMY CHEST FOR MOTORCYCLE CRASH TEST

มานัส แดงชาติ¹ สิงห์แก้ว ป็อกเท็ง² และ ประกอบ ชาติภักดิ์^{3*}

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

²อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

³อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*Corresponding author: prakorb.c@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบหน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบสำหรับทดสอบการชนรถจักรยานยนต์ภายใต้ข้อมูลสรีระของชายไทยในช่วงอายุที่มีการสำรวจว่ามีอัตราการเสียชีวิตสูงสุด ประกอบกับอัตราส่วนหุ่นทดสอบมาตรฐาน Hybrid III 50 percentile มาเป็นสมมติฐานเบื้องต้นสำหรับการออกแบบ สำหรับการทดสอบหาความสามารถของหุ่นทดสอบต้นแบบใช้ค่าแรงกดและระยะยุบบริเวณหน้าอกของศพเป็นเกณฑ์ในการทดสอบ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสามารถรองรับความแรงของการกระแทกได้สูงถึง 38.43 เท่าของแรงโน้มถ่วงโลก สามารถดูดซับพลังงานได้ 483.06 จูล และมีระยะยุบตัวสูงสุด 80 มิลลิเมตร ตามเกณฑ์การออกแบบการทดสอบที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ ทั้งนี้ ระดับความสามารถในการดูดซับพลังงานแปรผัน โดยตรงกับความเร็วยิ่งไปกว่านั้น ชีตความสามารถในการรองรับการชนกระแทกอยู่ในระดับ AIS 3+ หรือระดับรุนแรงแต่ไม่ถึงสาหัส ดังนั้น หน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบนี้สามารถใช้กับการประเมินการบาดเจ็บที่เกิดจากการชนของรถจักรยานยนต์อยู่ในระดับไม่เกินสาหัสเท่านี้

คำสำคัญ: หุ่นทดสอบต้นแบบ, เพศชาย, รถจักรยานยนต์

ABSTRACT

The aim of this research is to design a prototype of male dummy chest for motorcycle crash test. The unique features of Thai ergonomic body sizes with an age range of the highest fatal rate and the Hybrid III 50th percentile male crash test dummy is primarily used for the criterion design. A comprehensive experimental study of crush behavior of a prototype undergoing axial compressive loading is performed using a mutual procedure of cadaveric chest testing. For design criterion, at the largest chest deflection of 80 mm, the maximum acceleration of 38.43g and absorbed energy of 483.06 joules are considered in experimental results that show a good agreement with experimental data of other research. The capability of energy absorption depends on impact velocities. In addition, definite crush behavior of this prototype is able to accurately assess an injury level under AIS 3+.

Manus Dangchat¹ Singkaew Pokterng² and Prokorb Chartpuk^{3*}

¹Master Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

²Lecturer, Department of Mechatronics, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

³Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon | 119

For this reason, the first prototype of male chest dummy is particularly suitable for an assessment of a lower serious injury level in a motorcycle crash test.

KEYWORDS: prototype of dummy, male, motorcycle

1. บทนำ

1.1 สถิติอุบัติเหตุจากรถจักรยานยนต์ในประเทศไทย

การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุการจราจรทางถนนถือเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งของการเสียชีวิตทั่วโลก ประเทศไทยมีสถิติการบาดเจ็บและการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุบนท้องถนนสูงเป็นอันดับที่ 2 ของโลก ในปี 2556 ประเทศไทยมีสถิติการเสียชีวิตจากรถจักรยานยนต์สูงเป็นอันดับที่ 1 ของโลก [1] สอดคล้องกับผลการศึกษาของกลุ่มป้องกันการบาดเจ็บจากการจราจร สำนักโรคไม่ติดต่อ พ.ศ. 2557 [2] เปิดเผยให้เห็นถึงยานพาหนะที่เสี่ยงต่อการเสียชีวิตมากที่สุดของประชากรไทย คือ รถจักรยานยนต์ คิดเป็นร้อยละ 66 ของการเสียชีวิตทั้งหมดจากอุบัติเหตุทางถนน อีกทั้งยังพบว่าเพศชายที่มีอายุในช่วง 15-29 ปี มีอัตราการเสียชีวิตมากกว่าเพศหญิงสูงถึง 3 เท่าตัว [3] ยิ่งไปกว่านั้น พฤติกรรมเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุจากรถจักรยานยนต์ คือ การฝ่าฝืนสัญญาณจราจร การขับขี้นในลักษณะที่ประมาทและหวาดเสียว และการขับรถแซงในที่คับขัน [4] ในขณะที่งานวิจัยของ ปิยะพงศ์ ปัญญนรี [5] ศึกษาถึงความสูญเสียทางเศรษฐกิจและสุขภาพจากผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์โดยไม่สวมหมวกนิรภัย: กรณีศึกษาในอำเภอเมืองเชียงใหม่ แสดงให้เห็นว่าการบาดเจ็บบริเวณศีรษะมีอัตราสูงที่สุดในรถจักรยานยนต์ คิดเป็นร้อยละ 48.43 และสูญเสียทรัพย์สิน คิดเป็นร้อยละ 70 ผนวกกับรายงานของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร [6] และงานวิจัยของกาญจน์กรอง สุอังกะ [7] ที่รวบรวมข้อมูลด้านมูลเหตุสันนิษฐานในการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงและพฤติกรรมการขับขี่ของวัยรุ่นพบว่า มีพฤติกรรมไม่ปฏิบัติตามกฎจราจร ใช้ความเร็วสูงในการขับขี่ และขับขี่ด้วยความซัดเซอง มีผลต่อความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการใช้รถจักรยานยนต์ ทำให้ผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุบนทางหลวงชนบทมีอัตราเพิ่มขึ้นสูงถึงร้อยละ 47.7 เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า [6] โดยบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงชนบทมากที่สุด ได้แก่ ทางตรง ทางโค้ง และทางแยกรูปตัว Y และตัว T [2] ยิ่งไปกว่านั้น ข้อมูลสถิติอุบัติเหตุและรายงานการวิเคราะห์อุบัติเหตุจากสำนักงานตำรวจแห่งชาติ กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท รายงานอุบัติเหตุบนถนนของประเทศไทย (TRAMS) และกรมการขนส่งทางบก ถูกนำมาพิจารณาในการกำหนดแนวทางการจัดทำระเบียบมาตรการ และมาตรฐานความปลอดภัยทางท้องถนนและยานยนต์ [6] ดังนั้นหน่วยงานในทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องควรดำเนินการแก้ไขอย่างเร่งด่วน เพื่อลดปริมาณการเกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บ โดยมีความจำเป็นที่ต้องดำเนินการใน 3 องค์ประกอบหลัก คือ คน ถนน และรถ

1.2 สถิติการบาดเจ็บตามตำแหน่งของร่างกายและระดับความรุนแรง

รายงานผลของการจัดทำทะเบียนผู้บาดเจ็บจากอุบัติเหตุในปี พ.ศ. 2554 ของโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า จากการเก็บข้อมูลอุบัติเหตุจำนวนทั้งสิ้น 898 ราย พบว่าการบาดเจ็บจากการขับขี่รถจักรยานยนต์มีค่าสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 28.06 ยิ่งไปกว่านั้น รายงานดังกล่าวยังระบุให้ทราบถึงอัตราการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นกับบริเวณส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ประกอบด้วย ปลายแขน ปลายขา คิดเป็นร้อยละ 58.3 ศีรษะและคอ ร้อยละ 46.44 บริเวณหน้า ร้อยละ 27.51 บริเวณส่วนนอกของร่างกาย ร้อยละ 24.61 หน้าอก ร้อยละ 17.15 และบริเวณช่องท้อง ร้อยละ 12.69 อย่างไรก็ตาม การบาดเจ็บบริเวณภายนอกของร่างกายมีผลกระทบต่อการระดับขั้นการ

บาดเจ็บ (Injury Severity Score: ISS) น้อยกว่าการบาดเจ็บของอวัยวะภายใน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบาดเจ็บบริเวณหน้าอกถึงร้อยละ 36.61 [8]

1.3 ภาพรวมการใช้งานหุ่นทดสอบทางยานยนต์

ปัจจุบัน บริษัทผู้ผลิตรถยนต์มีการออกแบบและพัฒนาชิ้นส่วนยานยนต์ให้มีความปลอดภัยกับชีวิตของผู้ขับขี่และผู้โดยสารใช้ถนน ทั้งนี้รถยนต์มีความจำเป็นต้องได้รับการประเมินคุณภาพและระดับความปลอดภัยจากหน่วยงานมาตรฐาน เช่น New Car Assessment Program: NCAP [9] สำหรับกระบวนการประเมินคุณภาพรถยนต์ใช้หุ่นทดสอบยานยนต์ (Dummy) แทนตัวบุคคลเข้าไปติดตั้งในตัวรถ เพื่อวัดระดับค่าทางกายภาพ เช่น ความเร่ง ความเร็ว แรง และพลังงาน ที่กระทำต่อหุ่นทดสอบและสามารถสะท้อนถึงความรุนแรงของระดับการบาดเจ็บเมื่อเกิดการชน ในกรณีของศาสตร์ทางการแพทย์และวิศวกรรม (Medical Engineering) รวมไปถึงหน่วยงานด้านความปลอดภัยทางถนนของต่างประเทศ เช่น Nation Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) หุ่นทดสอบทางยานยนต์ถูกนำมาศึกษาคุณลักษณะของร่างกาย เช่น อัตราส่วน โครงสร้าง และอัตราส่วนมวลกายที่สัมพันธ์กับอายุ เพื่อพิจารณาอาการบาดเจ็บ (Types of injury) และกลไกการบาดเจ็บ (Injury mechanism) ของคนที่เกิดจากการชน นอกเหนือจากนี้ การใช้งานหุ่นทดสอบถูกประยุกต์ในการทดสอบขีดความสามารถของมนุษย์ในอุตสาหกรรมการบินและยานพาหนะของประเทศสหรัฐอเมริกาอีกด้วย [10]

จากตัวอย่างที่กล่าวมา หุ่นทดสอบสามารถเป็นตัวแทนพิจารณาระดับการบาดเจ็บบริเวณส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์ ได้แก่ ศีรษะ คอ หน้าอก ช่องท้อง สะโพก และขา ซึ่งวิวัฒนาการของสร้างและพัฒนาหุ่นทดสอบสำหรับการประเมินคุณภาพของรถยนต์ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องมากกว่า 70 ปี โดยในยุคเริ่มต้นนิยมใช้สัตว์ เช่น สุนัข เป็นตัวแทนของคน รวมไปถึงการนำศพเข้าร่วมในการทดสอบ ปัจจุบันหุ่นทดสอบการชนของรถยนต์และจักรยานยนต์รุ่น Hybrid III 50 percentile เพศชาย นิยมใช้งานเป็นอย่างมาก เนื่องจากหุ่นทดสอบรุ่นดังกล่าวมีสรีระและกลไกการเคลื่อนที่ที่สามารถสะท้อนการบาดเจ็บได้อย่างแม่นยำ ตลอดจนรองรับการทดสอบทางวิศวกรรมยานยนต์ เช่น การชนแบบเต็มหน้าและเยื้องศูนย์ (Full frontal and offset collision) และการชนด้านข้าง (Side impact test)

1.4 แรงจูงใจการทำวิจัย: การออกแบบหน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายสำหรับทดสอบการชนของรถจักรยานยนต์

จากที่กล่าวมาแล้วในเบื้องต้นถึงอุบัติเหตุบนท้องถนนที่เกิดขึ้นกับคนไทยส่วนใหญ่เกิดจากรถจักรยานยนต์ ซึ่งเป็นเพศชายที่มีช่วงอายุระหว่าง 15-29 ปี ประกอบกับหน้าอกเป็นบริเวณของร่างกายที่มีการบาดเจ็บมากที่สุด อย่างไรก็ตามหุ่นทดสอบยานยนต์รุ่น Hybrid III 50 percentile อาจมีความไม่เหมาะสมกับสรีระของคนไทย อีกทั้งยังมีราคาค่อนข้างสูงและทั้งหมดล้วนแล้วแต่ถูกผลิตอยู่ในต่างประเทศทั้งสิ้น จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบหุ่นทดสอบยานยนต์ต้นแบบ ภายใต้อัตราส่วน โครงสร้างของคนไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพศชาย เพื่อมาใช้เป็นแนวทางในการทดสอบการชนของรถจักรยานยนต์ ยังประโยชน์ครอบคลุมถึงการประยุกต์ใช้หุ่นทดสอบสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางด้านยานยนต์และอุปกรณ์ความปลอดภัย

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อนำมาออกแบบหุ่นทดสอบต้นแบบ เริ่มต้นจากการนำข้อมูลพิกัดและอัตราส่วนของหุ่นทดสอบมาตรฐาน (Hybrid III) สรีระของชายไทยภายใต้ช่วงอายุที่กำหนด และคุณสมบัติวัสดุมาเป็นสมมติฐานในการพิจารณาถึงจำนวนกระดูกและออกแบบความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอก ความยาวเส้นรอบวงรอบอก ระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่ ความกว้างและความหนาของกระดูกซี่โครงของหุ่นทดสอบต้นแบบ หลังจากนั้น ความสัมพันธ์ของแรงกดที่กระทำต่อสพภายใต้สภาวะสถิตย์และระยะการยุบตัวของหน้าอก ถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบกลไกการคืนตัวของหน้าอก เพื่อจำลองการเคลื่อนที่กลับของหน้าอกภายหลังจากการชน ภายใต้กระบวนการดังกล่าวทำให้สามารถกำหนดขนาดหน้าอกของหุ่นทดสอบต้นแบบได้ ลำดับถัดไป การทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบทั้งกรณีการทดสอบแบบสถิตย์ (Static test) และแบบพลวัต (Dynamic test) ถูกกระทำภายใต้สมมติฐานและเงื่อนไขการทดสอบ ในลำดับสุดท้าย ผลการทดสอบความสามารถของหุ่นถูกนำมาคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์ที่ร่างกายยอมรับได้สูงสุดจากการกระแทกสำหรับใช้ในการประเมินระดับการบาดเจ็บจากการกระแทกของหน้าอกของหุ่นทดสอบต้นแบบ

3. แนวทางการออกแบบหน้าอกหุ่นทดสอบและทฤษฎีการประเมินระดับการบาดเจ็บจากการชนกระแทกของหน้าอก

3.1 การออกแบบกระดูกซี่โครงหุ่นทดสอบต้นแบบ

สำหรับขั้นตอนและเกณฑ์การออกแบบกระดูกซี่โครงหุ่นทดสอบต้นแบบมีลำดับดังต่อไปนี้

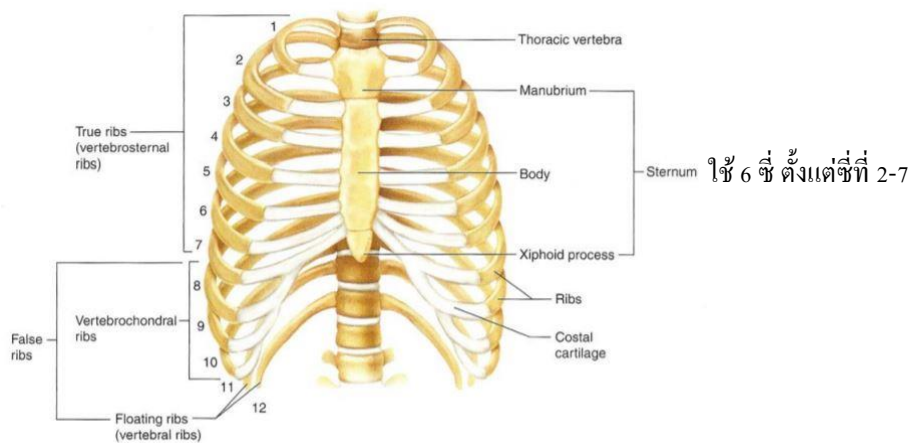
ขั้นตอนที่ 1 หาจำนวนกระดูกซี่โครงที่ใช้จริง เนื่องจากกระดูกซี่โครงของมนุษย์มีทั้งสิ้น 12 ซี่ หากแต่ในการออกแบบใช้เพียง 6 ซี่ ซึ่งเลือกเฉพาะส่วนของกระดูกซี่โครงที่ยึดติดกับกระดูกสันอก (Sternum) เท่านั้น โดยอยู่ที่ตำแหน่งกระดูกซี่ที่ 2-7 ตามรูปที่ 1 [11]

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาอัตราส่วนความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอกของหุ่นทดสอบมาตรฐาน รุ่น Hybrid III 50 percentile ด้วยการใช้นาครกระดูกซี่โครงช่วงอกที่กว้างที่สุด (กระดูกซี่ที่ 5) มาเป็นเกณฑ์เริ่มต้น และเปรียบเทียบเป็นอัตราส่วนกับกระดูกซี่อื่น ๆ ผลการหาอัตราส่วนความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอกแสดงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การหาอัตราส่วนขนาดกระดูกซี่โครงจากหุ่นทดสอบมาตรฐาน (Hybrid III) [12]

กระดูกซี่ที่	กระดูกซี่โครงช่วงอกของหุ่นมาตรฐาน (Hybrid III)	
	ความกว้าง (mm)	อัตราส่วนเทียบกับกระดูกซี่โครงช่วงอกที่กว้างที่สุด
2	254 (ซึ่งแคบสุด)	1:1.14
3	256.54	1:1.13
4	287.02	1:1.01
5	289.56 (ซึ่งที่กว้างที่สุด)	1:1
6	284.48	1:1.02
7	274.32 (ซึ่งต่ำสุด)	1:1.06

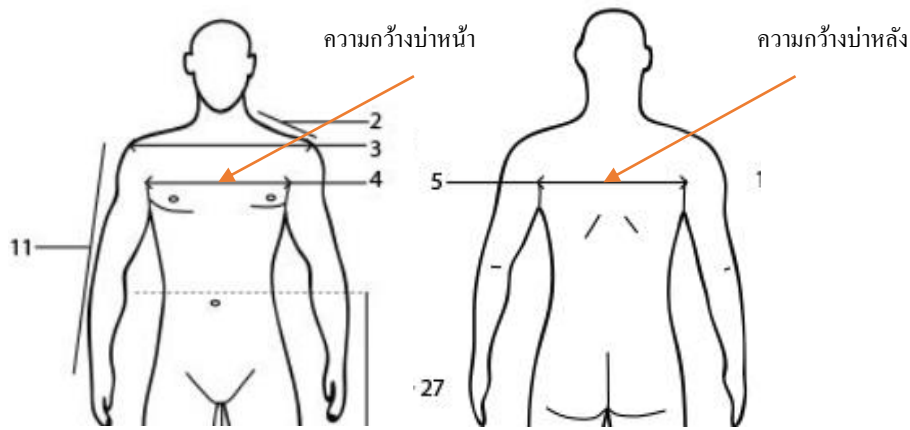
ขั้นตอนที่ 3 กำหนดหาขนาดความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอกของหุ่นทดสอบต้นแบบ จากการใช้ผลสำรวจรูปร่างชายไทยทั่วประเทศช่วงอายุ 16-25 ปี พบว่ามีขนาดหน้าอก 37.6 นิ้ว [13] อย่างไรก็ตาม ขนาดความกว้างกระดูกซี่โครงช่วงอกคนไทยไม่มีการระบุข้อมูลชัดเจน ดังนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างความกว้างช่วงบ่าหน้าและช่วงบ่าหลัง ตามรูปที่ 2 จากข้อมูลของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) เป็นเกณฑ์ทดแทน ซึ่งความกว้างบริเวณดังกล่าวมีความใกล้เคียงเปรียบเทียบกับความกว้างบริเวณช่วงอก โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 335 มิลลิเมตร และมีความยาวเส้นรอบวงรอบอกที่ 967 มิลลิเมตร ที่ขนาดหน้าอก 38 นิ้ว ตามลำดับ [14] จากนั้นใช้อัตราส่วนของหุ่นมาตรฐานตามตารางที่ 1 มาคำนวณหาความกว้างช่วงอกและความยาวเส้นรอบวงรอบอกของหุ่นทดสอบต้นแบบ ซึ่งผลการคำนวณแสดงตามตารางที่ 2



รูปที่ 1 กายวิภาคโครงสร้างกระดูกซี่โครงมนุษย์ [11]

ตารางที่ 1 การหาอัตราส่วนขนาดกระดูกซี่โครงจากหุ่นทดสอบมาตรฐาน (Hybrid III) [12]

กระดูกซี่ที่	กระดูกซี่โครงช่วงอกของหุ่นมาตรฐาน (Hybrid III)	
	ความกว้าง (mm)	อัตราส่วนเทียบกับกระดูกซี่โครงช่วงอกที่กว้างที่สุด
2	254 (ซี่บนสุด)	1:1.14
3	256.54	1:1.13
4	287.02	1:1.01
5	289.56 (ซี่ที่กว้างที่สุด)	1:1
6	284.48	1:1.02
7	274.32 (ซี่ล่างสุด)	1:1.06



รูปที่ 2 ความกว้างช่วงบ่าหน้าและช่วงบ่าหลัง ที่นำมาเป็นเกณฑ์ในการคำนวณความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอก [14]

ขั้นตอนที่ 4 หาระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่นับจากซี่ที่ 2-7 เนื่องจากไม่มีการระบุข้อมูลอย่างชัดเจนว่าระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่ของคนไทยมีค่าเท่าใด จึงไม่สามารถใช้อัตราส่วนของหุ่นมาตรฐานเช่นเดียวกับในขั้นตอนที่ 2 มาคำนวณได้ จากเหตุผลด้านความแตกต่างด้านบริเวณของร่างกายและแนวแกนของโครงสร้างของกระดูกซี่โครง ดังนั้นจึงนำค่าระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่ของหุ่นทดสอบมาตรฐานมาเป็นเกณฑ์ ซึ่งผลการออกแบบระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่นับจากซี่ที่ 2 ของหุ่นทดสอบต้นแบบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พิกัดการออกแบบกระดูกซี่โครงของหุ่นทดสอบต้นแบบ

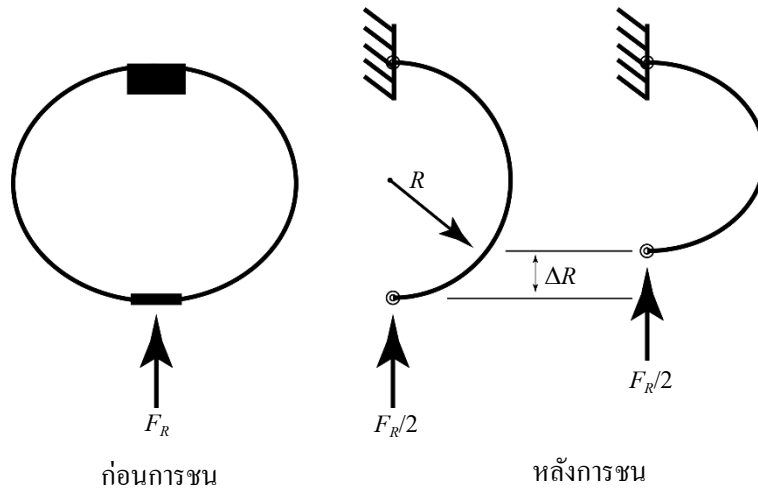
กระดูกซี่ที่	ความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอก (mm)*	ความยาวเส้นรอบวงรอบอก (mm)*	ระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่นับ จากซี่ที่ 2 (mm)**
2	293.86	848.25	0.00
3	296.80	856.73	28.45
4	332.06	958.52	56.90
5	335.00	967.00	85.60
6	329.12	950.04	114.30
7	317.37	916.11	142.75

* คำนวณตามอัตราส่วนของหุ่นทดสอบมาตรฐานรุ่น Hybrid III โดยกระดูกซี่ที่ 5 เป็นขนาดจริงตามสัดส่วนของชายไทย

** ระยะอ้างอิงจากหุ่นทดสอบมาตรฐานรุ่น Hybrid III

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาความกว้างและความหนาของกระดูกซี่โครงหุ่นทดสอบต้นแบบจากทฤษฎีการเสียรูปของกระดูกซี่โครงมนุษย์จากการยุบตัว (Bending deformation of the human thorax) [15] ตามรูปที่ 3 โดยเริ่มต้นจากคำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (Area moment of inertia: I) ตามสมการที่ 1 จากค่าแรงกดที่กระทำต่อสพบริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบสถิตย์ (F_R) ที่ 650 นิวตัน และระยะยุบที่กระทำต่อสพบริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบพลวัต (ΔR) ที่ 76.2 มิลลิเมตร ตามงานวิจัยของ

C.K. Kroell และคณะที่ถูกรวบรวมโดย W.King [16] เป็นเกณฑ์สมมติฐานของการคำนวณ ในขณะที่ค่าความยาวเส้นรอบวงรอบอกของกระดูกแต่ละซี่ถูกพิจารณาเป็นรัศมีของกระดูกซี่โครง (R) สุดท้ายคำนวณหาความกว้างของกระดูกซี่โครง (H_R) ด้วยการกำหนดค่าความหนาของกระดูก (T_R) ลงที่ 2.5 มิลลิเมตร (เป็นขนาดมาตรฐานของวัสดุ SS400) [17] สำหรับผลการคำนวณความกว้าง ความหนา และการเลือกใช้พิกัดวัสดุของกระดูกซี่โครงหุ่นทดสอบต้นแบบ แสดงตามตารางที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพจำลองการเสียรูปของกระดูกซี่โครงมนุษย์จากการขยับตัว [15]

$$I = \frac{\pi R^3}{2E \Delta R} F_R \tag{1}$$

$$H_R = \frac{12I}{T_R^3} \tag{2}$$

เมื่อ

- I คือ Area moment of inertia (mm^4)
- E คือ Modulus of elasticity ของวัสดุ SS400 ($190,000 \text{ N/mm}^2$)
- R คือ รัศมีของกระดูกซี่โครง (mm)
- F_R คือ แรงกดที่กระทำต่อสฟบริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบสถิตย์ (650 N)
- H_R คือ ความกว้างของกระดูกซี่โครง (mm)
- T_R คือ ความหนาของกระดูกซี่โครง (mm)
- ΔR คือ ระยะขยับที่กระทำต่อสฟบริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบพลวัต (76.2 mm)

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณความกว้างและความหนากระดูกซี่โครงและการเลือกพิกัดที่ใช้ออกแบบ

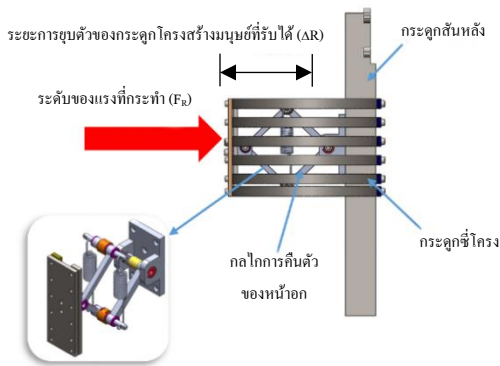
กระดูกซี่ที่	ความยาวเส้นรอบวงรอบอก (mm)	R (mm)	ΔR (mm)	F_R (N)	I (mm ⁴)	T_R (mm)	H_R (mm)	พิกัดความกว้างและหนาของวัสดุ SS400 ที่เลือกใช้ออกแบบ (mm) [17]
2	848.25	135.07	76.2	54.17	14.47	2.5	11.10	ความกว้าง 15 mm ความหนา 2.5 mm (15 mm x 2.5 mm)
3	856.73	136.42			14.91		11.45	
4	958.52	152.63			20.89		16.04	
5	967.00	153.98			21.44		16.47	
6	950.04	151.28			20.34		15.62	
7	916.11	145.88			18.23		14.00	
ค่าเฉลี่ย							14.12	

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า แรงกดที่กระทำต่อสพบริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบสถิตย์มีค่า 54.17 นิวตัน เนื่องจากกระดูกซี่โครงมีทั้งหมด 6 ซี่ และยึดติดกับกระดูกสันอก 2 ข้าง (ซ้ายและขวา) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องพิจารณาตามจำนวนของกระดูกซี่โครงและการยึดติดทางกายภาพตามรูปที่ 3 โดยกำหนดให้กระดูกซี่โครงทุกซี่มีค่าแรงกระทำที่เท่ากัน ส่วนกรณีของความกว้างของกระดูกซี่โครงที่คำนวณจากการคงที่ของความหนามีค่าเฉลี่ยที่ 14.12 มิลลิเมตร ทั้งนี้ ความกว้างและความหนามาตรฐานของวัสดุ SS400 ที่ 15 มิลลิเมตร x 2.5 มิลลิเมตร จึงเลือกนำพิกัดดังกล่าวมาใช้ในการสร้างหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบ

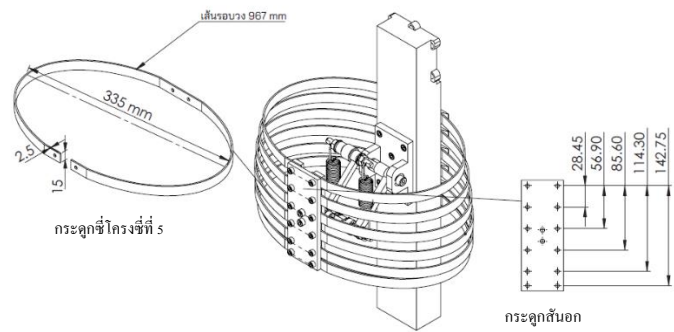
3.2 การออกแบบกลไกการคืนตัวของหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบ

ปกติหน้าอกของมนุษย์มีความสามารถในการรองรับพลังงานที่เกิดจากการชนกระแทก อันเนื่องมาจากการขยับตัว และคืนตัวกลับสู่สภาพปกติคล้ายกับการทำงานของสปริง ดังนั้น การออกแบบและสร้างหุ่นทดสอบต้นแบบมีความจำเป็นต้องออกแบบกลไกการคืนตัวของหน้าอก โดยมีปัจจัยสำคัญ คือ ระดับของแรงที่กระทำ (F_R) ระยะการขยับตัวของกระดูกโครงสร้างมนุษย์ที่รับได้ (ΔR) และค่านิจสปริง (k) ตามสมการที่ (3) ทั้งนี้ค่าแรงที่กระทำ และระยะขยับตัวใช้สมมติฐานเดียวกันการออกแบบกระดูกซี่โครง ที่ 650 นิวตัน และ 76.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยผลการคำนวณทางทฤษฎีปรากฏว่าค่านิจของสปริงมีค่า 8.53 นิวตันต่อมิลลิเมตร หากแต่ในกรณีการออกแบบสปริงที่ใช้ในกลไกการคืนตัวมีค่า 3.62 นิวตันต่อมิลลิเมตร ต่อเข้ากันแบบขนานจำนวน 2 ตัว ซึ่งทำให้ค่านิจของสปริงมีค่ารวมกัน 7.24 นิวตันต่อมิลลิเมตร อย่างไรก็ตามการออกแบบสปริงคืนตัวกลับนี้ไม่สามารถหาสปริงที่มีคุณสมบัติเชิงกลเทียบเท่าการออกแบบ หากแต่ผลดังกล่าวจะกระทบต่อเวลาการคืนตัวกลับเท่านั้น กลไกการคืนตัวกลับของหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบแสดงดังรูปที่ 4 และหน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบแสดงตามรูปที่ 5

$$F_R = k(\Delta R) \tag{3}$$



รูปที่ 4 การออกแบบกลไกการเคลื่อนตัวของหน้าอก



รูปที่ 5 หน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบ

3.4 ทฤษฎีการประเมินระดับการบาดเจ็บจากการชนกระแทกของหน้าอก [18]

ในปัจจุบันการประเมินระดับการบาดเจ็บจากการชนกระแทกของหน้าอกใช้ระดับค่าทางกายภาพที่กระทำต่อหน้าอกโดยสามารถแบ่งการกระแทกที่เกิดจากการชน 2 ลักษณะ คือ การชนด้านหน้า (Frontal impact) และการชนด้านข้าง (Lateral impact) ซึ่งค่าทางกายภาพที่บ่งบอกถึงเกณฑ์มาตรฐาน (Criteria) นิยมใช้เป็นค่าเกณฑ์ความสามารถที่ร่างกายมนุษย์ยอมรับได้สูงสุดจากการชนกระแทกหรือค่าความอดทน (Human tolerance for chest impact) โดยกำหนดจากค่าการกระทำทางกายภาพดังต่อไปนี้ คือ ความเร่ง (Acceleration) แรงกระทำต่อกระดูกสันหลัง (Force on sternum) แรงกระทำต่อหน้าอกรวมไหล่ (Force on chest and shoulder) และความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บ (Viscous injury: VC) ดังแสดงตามตารางที่ 4 ในกรณีของความเร่งที่เกิดการบาดเจ็บ แรงกระทำต่อกระดูกสันหลัง (Force on sternum) และแรงกระทำต่อหน้าอกรวมไหล่ สามารถประเมินผลจากเครื่องมือวัดทางกายภาพได้ (Sensors) ส่วนกรณีความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (4) ผลจากวัดและคำนวณถูกประเมินตามคะแนนระดับการบาดเจ็บ (AIS Score) ที่มีสัญลักษณ์เป็นตัวย่อ (Abbreviated Injury Scale: AIS) แบ่งได้เป็น 6 ระดับและให้ความหมายแต่ละระดับตามตารางที่ 5

ตารางที่ 4 เกณฑ์ประเมินระดับการบาดเจ็บจากการชนกระแทกของหน้าอก [18]

เกณฑ์มาตรฐาน (Criteria)		บริเวณการชนกระแทกของหน้าอก	
		ด้านหน้า (Frontal)	ด้านข้าง (Lateral)
ความเร่ง (Acceleration)		60 g	-
แรงกระทำ (Force)	กระดูกสันหลัง (Sternum)	3.3 kN	-
	หน้าอกรวมไหล่ (Chest and shoulder)	8.8 kN	10.2 kN
ความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บ (Viscous injury)	AIS 3+	1.0 m/s	-
	AIS 4+	1.3 m/s	1.47 m/s

$$VC = \frac{d[\Delta R(t)]}{dt} \frac{\Delta R(t)}{2R} \quad (4)$$

ตารางที่ 5 คะแนนระดับขั้นการบาดเจ็บ [19]

คะแนนระดับการบาดเจ็บ (AIS Score)	ความหมายของคะแนนระดับการบาดเจ็บ
1	เล็กน้อย (Minor)
2	ปานกลาง (Moderate)
3	รุนแรง (Serious)
4	สาหัส (Severe)
5	วิกฤต (Critical)
6	เสียชีวิต (Maximal)

4 ผลการทดสอบความสามารถหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบและอภิปรายผล

การทดสอบความสามารถหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบแบ่งได้เป็น 2 การทดสอบ คือ การทดสอบแบบสถิตย์ (Static test) และการทดสอบแบบพลวัต (Dynamic test) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบแบบสถิตย์ (Static test)

การดูดซับพลังงาน Energy absorption (E) จากความสัมพันธ์ระหว่างระยะขูดตัวและแรงกระทำต่อหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบถูกนำมาพิจารณา ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบด้วยการเปลี่ยนแปลงความเร็วการกด 3 ระดับที่ 100, 200 และ 300 มิลลิเมตรต่อนาที บนเครื่องทดสอบมาตรฐาน Universal testing machine ตามรูปที่ 6 จนกระทั่งถึงแรงกระทำที่ 650 นิวตัน ซึ่งแรงกระทำดังกล่าวถือเป็นเกณฑ์เดียวกับการทดสอบกับศพแบบสถิตย์ตามงานวิจัยของของ W.King [16] ผลการทดสอบแบบสถิตย์แสดงตามตารางที่ 6 และรูปที่ 7 นอกเหนือจากนี้ พฤติกรรมการดูดซับพลังงานสูงสุดของหน้าอกอันเกิดจากการกดจนกระทั่งมีระยะขูดตัวสูงสุด 76.2 มิลลิเมตร ที่มนุษย์รองรับได้ ถูกนำมาพินิจในเชิงความสามารถการรับแรงกระทำสูงสุดภายใต้สภาวะสถิตย์อีกด้วยโดยพฤติกรรมดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 8



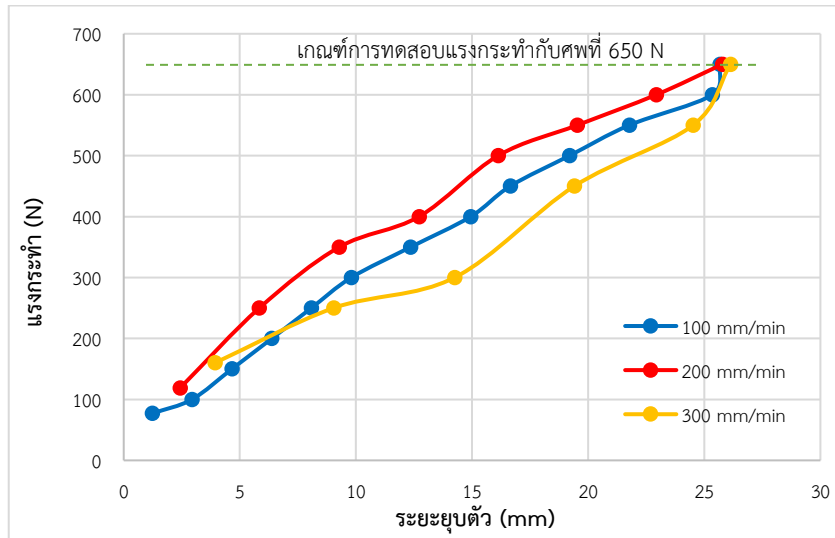
รูปที่ 6 การทดสอบแบบสถิตย์บนเครื่องทดสอบ Universal testing machine

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการกดแบบสถิตย์ภายใต้ความเร็วที่แตกต่างกัน

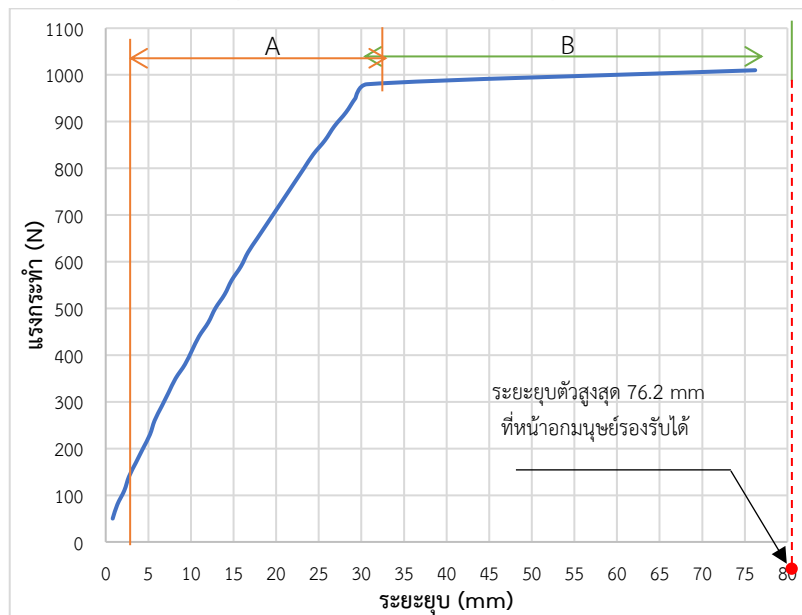
แรงกระทำ F_R (N) ภายใต้ความเร็ว			ระยะยุบตัว ΔR (mm) ภายใต้ความเร็ว			การดูดซับพลังงาน E (J) ภายใต้ความเร็ว		
100 mm/min	200 mm/min	300 mm/min	100 mm/min	200 mm/min	300 mm/min	100 mm/min	200 mm/min	300 mm/min
77	119	160	1.230	2.433	3.931	0.095	0.290	0.629
100	250	250	2.939	5.840	9.040	0.294	1.460	2.260
150	350	300	4.659	9.280	14.248	0.699	3.248	4.274
200	400	450	6.378	12.719	19.406	1.276	5.087	8.732
250	500	550	8.080	16.124	24.514	2.020	8.062	13.483
300	550	650	9.800	19.531	26.126	2.940	10.742	16.982
350	600		12.355	22.937		4.324	13.762	
400	650		14.942	25.787		5.977	16.762	
450			16.645			7.490		
500			19.200			9.600		
550			21.770			11.974		
600			25.348			15.209		
650			25.681			16.693		
ค่าเฉลี่ย (Mean)			25.865			16.812		
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)			0.190			0.123		

ผลการทดสอบแบบสถิตย์ภายใต้ความเร็วในการกดแตกต่างกันตามตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ความเร็วในการกดไม่มีผลต่อระยะยุบตัวของหน้าอกหุ่นทดสอบ เนื่องจากระยะยุบตัวมีความใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้มีค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ความเร็วที่ 25.865 มิลลิเมตร อีกทั้งผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้านค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำมากที่สุดที่ 0.19 เท่านั้น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการพิจารณาการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหน้าอกที่มีค่าเฉลี่ย 16.812 จูล และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.123 ตามลำดับ

ผลการทดสอบพฤติกรรมของการดูดซับพลังงานในเชิงความสามารถรับแรงกระทำสูงสุดภายใต้สภาวะสถิตย์ตามรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าแรงกระทำสูงสุดในช่วง A และช่วง B มีค่า 982 นิวตัน และ 1,014 นิวตัน ตามลำดับ สำหรับความสัมพันธ์ของแรงกระทำและระยะยุบตัวในช่วงเริ่มต้น (ช่วง A) มีแนวโน้มการยุบตัวค่อนข้างต่ำ อันเป็นผลของคุณสมบัติวัสดุที่ออกแรงต้านทานแรงกระทำได้สูงมาก หลังจากนั้นในช่วงที่วัสดุมีอาจต้านทานการยุบตัวได้จากแรงกระทำที่ค่อนข้างคงที่ (ช่วง B) ทำให้ระยะยุบตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ พฤติกรรมดังกล่าวความคล้ายคลึงกับพฤติกรรมของการดูดซับพลังงานของหน้าอกมนุษย์ที่มีความสามารถรองรับแรงกระทำที่ทำให้กระดูกซี่โครงยุบตัวลงถึงจุดหนึ่ง และหากแรงกระทำยังคงที่อย่างต่อเนื่อง กระดูกซี่โครงจะเกิดการยุบตัวถาวรหรือเกิดการแตกหัก ทำให้ระดับการบาดเจ็บมีผลถึงความตายก็เป็นได้ ดังนั้น การออกแบบหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบมีความสามารถในเชิงรับแรงกระทำสูงสุดภายใต้สภาวะสถิตย์ได้



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะขยับตัวและแรงกระทำต่อหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบที่ความเร็วแตกต่างกัน



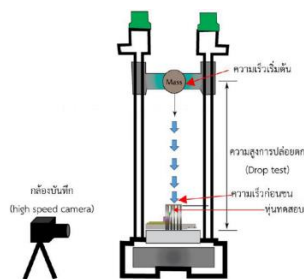
รูปที่ 8 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานในเชิงความสามารถการรับแรงกระทำสูงสุดภายใต้สภาวะสถิตย์

4.4 ผลการทดสอบแบบพลวัต (Dynamic test)

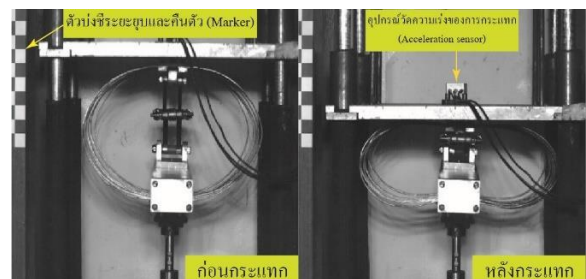
อ้างอิงการทดสอบแบบพลวัตของ W.King [16] ที่กระทำต่อศพ สำหรับวิธีการทดสอบดังกล่าว มวลที่กระทำต่อหน้าอกและความเร็วในการเข้ากระแทกถูกกำหนด ด้วยเครื่องทดสอบการกระแทกแนวระนาบ (Blunt impactor machine) โดยผลการทดสอบพิจารณาถึงขีดสุดของแรงกระแทก (Peak of impact force) และระยะขยับตัวของหน้าอก อย่างไรก็ตาม สำหรับงานวิจัยนี้นำเครื่องทดสอบการปล่อยตก (Drop test) ที่มีลักษณะการทดสอบตามรูปที่ 9 มาประยุกต์ใช้งาน โดยมีวัตถุประสงค์สำหรับสร้างแรงกระแทกจากแนวระนาบเป็นแนวตั้งแทน ทั้งนี้ มวลที่ใช้ในการกระแทกเป็นแบบยึดติด (Fixed) ที่ขนาดพิกัด 16 กิโลกรัม ดังนั้น ความสูงจึงจำเป็นต้องทดลองเปลี่ยนแปลง (Trail) ระดับของความสูง โดยตั้งสมมติฐานการทดลองมุ่งเน้นไปที่การขยับตัวของหุ่น

ทดสอบให้มีค่าใกล้เคียงกับระยะขยุตัวของหน้าอกมนุษย์มากที่สุดที่ 76.2 มิลลิเมตร ซึ่งตามสมมติฐานนี้มีการกำหนดไว้ที่ความสูง 2 ระดับ คือ 0.125 และ 1 เมตร ตามลำดับ สำหรับการหาระยะขยุตัวและระยะคืนตัวในขณะทดสอบใช้กล้องบันทึกความเร็วสูง (High speed camera) ที่ระดับ 1000 เฟรมต่อวินาที และตัวบ่งชี้ระยะการขยุและคืนตัว (Marker) ที่ติดตั้งบริเวณเครื่องทดสอบ ส่วนกรณีความเร่งของการกระแทกใช้อุปกรณ์วัดความเร่ง (Acceleration sensor) ที่ติดตั้งบนมวลทดสอบเพื่อนำผลการวัดมาคำนวณหาค่าแรงกระแทกด้วยความถี่ 1,000 เฮิรตซ์

นอกเหนือจากนี้ ระยะขยุตัว ระยะคืนตัวสูงสุด ความเร่งของการกระแทก แรงกระแทกอันเป็นผลจากการทดสอบถูกนำมาคำนวณหาค่าความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บเพื่อใช้ในการชี้วัดขีดความสามารถในการรองรับการชนกระแทกที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าอก สำหรับลักษณะการทดสอบแบบพลวัตแสดงดังรูปที่ 10 และผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 7 ถึง 10



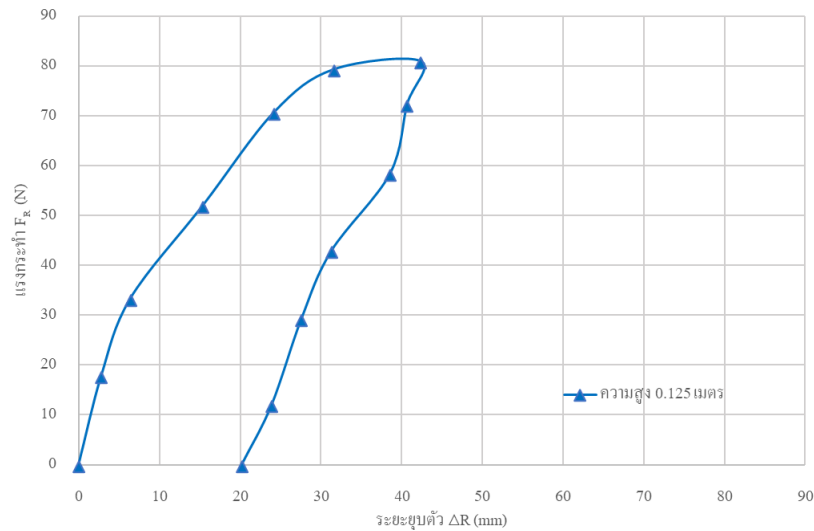
รูปที่ 9 เครื่องทดสอบแบบการปล่อยตก



รูปที่ 10 การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic test)

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบแบบพลวัตที่ระยะความสูงการปล่อยตก 0.125 เมตร

เวลา t (s)	ระยะขยุตัว ΔR (mm)	ความเร่งของการกระแทก a (g)	แรงกระแทก F_R (N)	ช่วงพฤติกรรมทางกายภาพ
0	0.0	0.000	0.00	ก่อนกระแทก
0.001	2.8	1.110	17.76	จุดยอดของแรงกระแทก
0.002	6.4	2.081	33.30	
0.003	15.4	3.249	51.99	
0.004	24.2	4.415	70.64	
0.005	31.6	4.952	79.25	
0.006	42.4	5.056	80.90	แรงกระแทกสูงสุด
0.007	40.7	4.516	72.27	ช่วงคืนตัวกลับ
0.008	38.6	3.650	58.40	
0.009	31.3	2.677	42.84	
0.01	27.6	1.827	29.24	
0.011	23.9	0.747	11.95	
0.012	20.2	0.000	0.00	หยุดการคืนตัว



รูปที่ 11 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานที่ระยะความสูงการปล่อยตก 0.125 เมตร

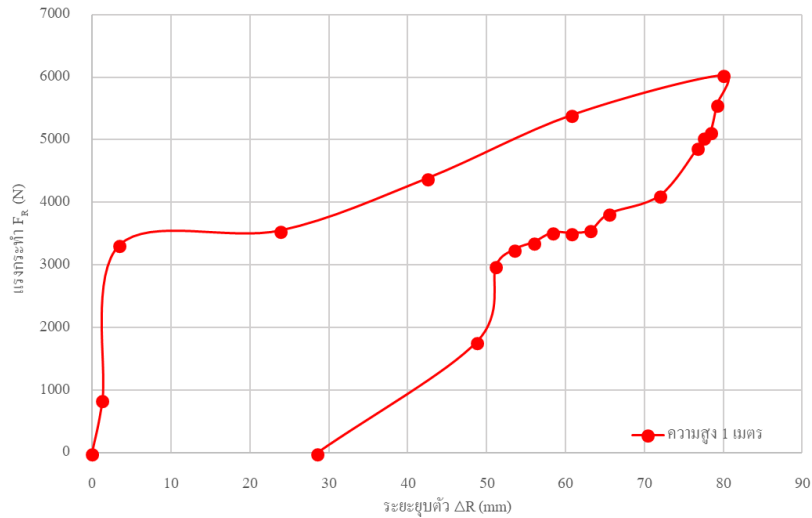
ผลการทดสอบตามตารางที่ 7 และรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า ที่ความสูงในการปล่อยตก 0.125 เมตร ใช้เวลาการทดสอบเพียง 12 มิลลิวินาที เท่านั้น ซึ่งสามารถอธิบายพฤติกรรมทางกายภาพของหุ่นทดสอบได้โดยในช่วงเวลาตั้งแต่ 2 ถึง 5 มิลลิวินาที เป็นช่วงของดูดซับพลังงาน ในช่วงพฤติกรรมดังกล่าว ความแรงของการกระแทกมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งมีค่าสูงสุด 5.096g ที่เวลา 6 มิลลิวินาที หลังจากนั้น ช่วงเวลาตั้งแต่ 7 ถึง 11 มิลลิวินาที เป็นช่วงการคืนตัวของหน้าอกโดยสังเกตได้จากความแรงของการกระแทกและระยะยุบตัวมีแนวโน้มลดลง จนกระทั่งหยุดการคืนตัวที่เวลา 12 มิลลิวินาที ทั้งนี้ในเวลาดังกล่าว ระยะยุบตัวของหน้าอกยังคงมีค่า 20.2 มิลลิเมตร ทั้งนี้ปราศจากแรงกระแทก เนื่องจากการโค้งตัวของโครงสร้างกระดูกซี่โครง (Deflection of the rib cages) ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการยุบตัวของหน้าอกมนุษย์จากการชนกระแทกที่มีแรงกระแทกระดับหนึ่งจนไม่สามารถคืนตัวกลับอยู่ในสภาพปกติตนเอง

ผลการทดสอบตามตารางที่ 7 และรูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่า พฤติกรรมทางกายภาพในทุกช่วงของการทดสอบที่ความสูง 1 เมตร นั้นมีความคล้ายคลึงกับการทดสอบที่ความสูง 0.125 เมตร เพียงแต่มีช่วงระยะเวลาของการดูดซับพลังงานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความเร็วก่อนการกระแทกสูงถึง 15.94 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในขณะที่ความเร็วที่ความสูง 0.125 เมตร มีเพียง 5.64 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่านั้น นอกจากนี้ ระยะยุบตัวของหน้าอกหุ่นทดสอบมีค่าสูงสุดที่ 80 มิลลิเมตร และความแรงของการกระแทกสูงสุดที่ 38.47g รวมไปถึงแรงกระแทกสูงสุด 6038.27 นิวตัน ที่เป็นผลจากการคำนวณค่าความแรงของการกระแทก

อย่างไรก็ตาม ผลของระยะยุบตัวของหน้าอกหุ่นทดสอบที่ออกแบบไว้ สามารถรองรับการยุบตัวที่มีค่าใกล้เคียงกับค่ายุบตัวของหน้าอกมนุษย์มากที่สุด 76.2 มิลลิเมตร ตามสมมติฐานการทดสอบที่กล่าวไว้ตอนต้น สำหรับผลความสามารถของหุ่นทดสอบด้วยการทดสอบแบบพลวัตสรุปได้ตามตารางที่ 9 รวมไปถึงการชี้วัดขีดความสามารถในการรองรับการชนกระแทกที่หน้าอกของหุ่นทดสอบต้นแบบแสดงตามตารางที่ 10

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบแบบพลวัตที่ระยะความสูงการปล่อยตก 1 เมตร

เวลา t (s)	ระยะยุบตัว ΔR (mm)	ความเร่งของการกระแทก a (g)	แรงกระแทก F_R (N)	ช่วงพฤติกรรมทางกายภาพ
0.000	0.0	0.000	0.00	ก่อนกระแทก
0.001	1.3	5.367	842.38	จุดยอดของแรง
0.002	3.5	21.179	3,324.24	จุดชันพลังงาน
0.003	23.9	22.640	3,553.59	
0.004	42.5	27.967	4,389.64	
0.005	60.8	34.403	5,399.93	
0.006	80	38.470	6,038.27	
0.007	79.2	35.488	5,570.18	ช่วงคืนตัวกลับ
0.008	78.4	32.692	5,131.41	
0.009	77.6	32.150	5,046.28	
0.010	76.8	31.083	4,878.84	
0.011	72	26.219	4,115.26	
0.012	65.6	24.379	3,826.57	
0.013	63.2	22.679	3,559.69	
0.014	60.8	22.391	3,514.43	
0.015	58.4	22.453	3,524.28	
0.016	56	21.470	3,369.97	
0.017	53.6	20.737	3,254.82	
0.018	51.2	19.060	2,991.70	
0.019	48.8	11.313	1,775.74	
0.020	28.6	0.000	0.00	หยุดการคืนตัว



รูปที่ 12 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานที่ระยะความสูงการปล่อยตก 1 เมตร

ตารางที่ 9 สรุปผลความสามารถของหุ่นทดสอบด้วยการทดสอบแบบพลวัต

ความสูง h (m)	ความเร่งของการกระแทกสูงสุด a (g)	แรงกระแทกสูงสุด F_R (N)	ระยะขยับตัวสูงสุด ΔR (mm)	การดูดซับพลังงานสูงสุด E (J)
0.125	5.056	80.90	42.4	3.43
1.000	38.43	6,038.27	80.0	483.06

ตารางที่ 10 ชีตความสามารถในการรองรับการชนกระแทกที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าอกของหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบ

ความสูง h (m)	ระยะคลื่นตัว ΔR (mm)	*ช่วงเวลาการคลื่นตัว dt (ms)	ค่าความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บ VC (m/s)	ระดับการบาดเจ็บ (AIS)
0.125	22.2	5	0.32	AIS 3+
1.000	51.4	13	0.66	AIS 3+

* ช่วงเวลาการคลื่นตัวนำข้อมูลมาจากกล้องบันทึกภาพนตร์ความเร็วสูง ที่ระดับ 1,000 เฟรมต่อวินาที

จากตารางที่ 9 ความสามารถของหุ่นทดสอบด้วยการทดสอบแบบพลวัตสามารถรองรับความเร่งของการกระแทกได้สูงถึง 38.43g ซึ่งสามารถดูดซับพลังงานได้ 483.06 จูล โดยมีระยะขยับตัวสูงสุดอยู่ในเกณฑ์การออกแบบที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ ยิ่งไปกว่านั้นผลการทดสอบแบบพลวัตทั้ง 2 ระยะความสูงปรากฏให้เห็นชัดเจนว่าความเร็วก่อนการกระแทกที่สูงขึ้นแปรผันตามความสูงที่เพิ่มขึ้น อันเป็นผลกระทบโดยตรงต่อการดูดซับพลังงานของหน้าอกหุ่นทดสอบอีกด้วย

ส่วนในกรณีการพิจารณาขีดความสามารถในการรองรับการชนกระแทกที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าอกของหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบตามตารางที่ 10 แม้ว่าระยะขยับตัวและช่วงเวลาการคลื่นตัวมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความสูงที่เพิ่มขึ้นก็ตาม หากแต่ภายหลังจากการคำนวณค่าความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บตามสมการที่ (4) และเปรียบเทียบกับเกณฑ์ประเมินระดับการบาดเจ็บตามตารางที่ 4 แล้วนั้นพบว่าทั้ง 2 ระดับความสูงมีระดับการบาดเจ็บเดียวกันที่ AIS 3+ หรือมีความหมายว่าเป็นระดับรุนแรงแต่ไม่ถึงสาหัส

5. สรุปผล

หน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบนี้ถูกออกแบบภายใต้สมมติฐานสตรีระชายไทยในช่วงอายุที่มีเกณฑ์การเสียชีวิตสูงสุดจากรถจักรยานยนต์ ผูกกับอัตราส่วนการออกแบบหุ่นทดสอบมาตรฐาน Hybrid III 50 percentile สำหรับการทดสอบอ้างอิงวิธีการทดสอบกับศพมาใช้เป็นเกณฑ์พิจารณา ซึ่งผลการทดสอบมุ่งเน้นไปที่การพิสูจน์ความสามารถการรองรับการชนกระแทกที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าอก ปรากฏว่าหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบดังกล่าวสามารถรองรับการทดสอบที่ประเมินระดับการบาดเจ็บในระดับรุนแรงแต่ไม่ถึงสาหัส (AIS 3+) เท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุและการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] World Health Organization. *Global status report on road safety 2015*. Bangkok: WHO, 2015. Available from: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. *รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนน พ.ศ. 2558*. กรุงเทพมหานคร: สำนักแผนความปลอดภัย กลุ่มพัฒนาความปลอดภัย, 2559. Available from: <http://www.otp.go.th/uploads/files/1471501633-dgyrs-3z11i.pdf>
- [3] สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล. *สุขภาพคนไทย 2560: เสริมพลังกลุ่มเปราะบาง สร้างสังคมที่ไม่ทอดทิ้งกัน*, พิมพ์ครั้งที่ 1. นครปฐม: บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), 2560.
- [4] พันธุ์สว่าง, ว. *พฤติกรรมของคนขับรถจักรยานยนต์รับจ้างกับปัญหาจราจรในกรุงเทพมหานคร*. วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [5] บัญญัติ, ป. *ความสูญเสียทางเศรษฐกิจและสุขภาพจากผู้ใช้รถจักรยานยนต์โดยไม่สวมหมวกนิรภัย: กรณีศึกษาในอำเภอเมืองเชียงใหม่ (Loss of economics and health from motorcycle riders without helmets: a case study in Mueang Chiang Mai District)*. วิทยานิพนธ์, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.
- [6] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. *รายงานการวิเคราะห์อุบัติเหตุทางถนน ประจำปี 2555*. กรุงเทพมหานคร: สำนักแผนความปลอดภัย กลุ่มพัฒนาความปลอดภัย, 2556. Available from: <http://trsl.thairoads.org/FileUpload/1230/131208001230.pdf>
- [7] สุอังคะ, ก. *การศึกษากฎการขับขี่ของวัยรุ่นที่มีผลต่อความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการใช้รถจักรยานยนต์*. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2559. Available from: <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/5898/2/Fulltext.pdf>
- [8] ศูนย์อุบัติเหตุ รพ.ร.๖. *PMK Trauma Registry Major Data 2011*. กรุงเทพมหานคร: กองอุบัติเหตุและเวชกรรมฉุกเฉิน โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าฯ, 2554. Available from: <http://www.dtepmk.com/wp-content/uploads/2013/02/PMK-Trauma-Registry-Major-Data-2008-20101new.pdf>
- [9] Global NCAP 2017. *Global New Car Assessment Programme*, 2017. Available from: <http://www.globalncap.org/> [Accessed 4 January 2017]
- [10] Stapp, J.P. Human tolerance to deceleration. *The American Journal of Surgery*, 1957, 93 (4), pp. 734–740.
- [11] *กายวิภาคทรวงอกมนุษย์*. 2019. Available from: <https://spirituality.ru/th/medicina/anatomiya-grudnoi-kletki-cheloveka-kakie-kosti-obrazuyut-grudnyu.html> [Accessed 25 September 2019]

- [12] Office of crash worthiness standards and vehicle research and test center. *Parts List and Drawings Subpart E (HYBRID III 50th PERCENTILE MALE)*. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 1997. Available from: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2009/wp29/HIII_50th_Male_Drawings.pdf
- [13] ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. *Size Thailand*, 2551. Available from: http://www.sizethailand.org/region_all.html [Accessed 10 April 2019]
- [14] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. ร่าง 'มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ขนาดรูปร่างคนไทย เล่ม 2 ชาย'. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม, 2560. Available from: <http://www.nectec.or.th/standard/wp-content/uploads/2017/10/NT4001.2-CDV-6010.pdf>
- [15] Foster, K. Analysis of a Slanted-Rib Model of the Human Thorax. In: King, W. F. et al. (eds.) *Human Impact Response: Measurement and Simulation*. Boston, MA: Springer US, 1973, pp. 165–177.
- [16] Stalnaker, R.L. et al. Human Torso Response to Blunt Trauma. In: King, W. F. et al. (eds.) *Human Impact Response: Measurement and Simulation*. Boston, MA: Springer US, 1973, pp. 181–199.
- [17] บริษัท วีซีเอสเอเชีย จำกัด. *เหล็กแผ่นดำ – Steel Plate*, 2562. Available from: <https://www.vcsasia.co.th/product/เหล็กแผ่นดำ-steel-plate/> [Accessed 30 April 2019]
- [18] Sturdivan, L.M. et al. Analysis of Injury Criteria to Assess Chest and Abdominal Injury Risks in Blunt and Ballistic Impacts. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 2004, 56 (3), pp. 651–663.
- [19] Agency for Clinical Innovation. *Abbreviated Injury Scale (AIS)*, 2019. Available from: https://www.aci.health.nsw.gov.au/get-involved/institute-of-trauma-and-injury-management/Data/injury-scoring/abbreviated_injury_scale [Accessed 30 April 2019]