



ออกแบบและสร้างหุ่นทดสอบการชนของรถจักรยานยนต์ภายใต้สัดส่วน
โครงสร้างของคนไทย
A Design and Build Motorcycle Dummy Crash Test Human Body
in Thailand

มานัส แดงชาติ
MANUS DANGCHAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2562



ออกแบบและสร้างหุ่นทดสอบการชนของรถจักรยานยนต์ภายใต้สัดส่วน
โครงสร้างของคนไทย
A Design and Build Motorcycle Dummy Crash Test Human Body
in Thailand

มานัส แดงชาติ
MANUS DANGCHAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์ ออกแบบและสร้างหุ่นทดสอบการชนของรถจักรยานยนต์ภายใต้สัดส่วน
โครงสร้างของคนไทย
ชื่อ นามสกุล มานัส แดงชาติ
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ประกอบ ชาติภักต์ ✓

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว



..... ประธานกรรมการ ✓
(รองศาสตราจารย์ ดร.สายประสิทธิ์ เกิดนิยม)



..... กรรมการ ✓
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน)



..... กรรมการ ✓
(ดร.ประกอบ ชาติภักต์)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)

วันที่ 28 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2563

ชื่อวิทยานิพนธ์ ออกแบบและสร้างหุ่นทดสอบการชนของรถจักรยานยนต์ภายใต้สัดส่วน
โครงสร้างของคนไทย
ชื่อ นามสกุล มานัส แดงชาติ
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา และคณะ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบหน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบสำหรับทดสอบการชนรถจักรยานยนต์ภายใต้ข้อมูลสรีระของชายไทยในช่วงอายุที่มีการสำรวจว่ามีอัตราการเสียชีวิตสูงสุด ประกอบกับอัตราส่วนหุ่นทดสอบมาตรฐาน Hybrid III 50th percentile มาเป็นสมมติฐานเบื้องต้นสำหรับการออกแบบ สำหรับการทดสอบหาความสามารถของหุ่นทดสอบต้นแบบใช้ค่าแรงกดและระยะยุบบริเวณหน้าอกของศพเป็นเกณฑ์ในการทดสอบ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสามารถรองรับความแรงของการกระแทกได้สูงถึง 38.47 เท่าของแรงโน้มถ่วงโลก สามารถดูดซับพลังงานได้ 178.369 จูล และมีระยะยุบตัวสูงสุด 80 มิลลิเมตร ตามเกณฑ์การออกแบบการทดสอบที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ ทั้งนี้ ระดับความสามารถในการดูดซับพลังงานแปรผันโดยตรงกับความเร็ว ยิ่งไปกว่านั้น ชีตความสามารถในการรองรับการชนกระแทกอยู่ในระดับ AIS 3+ หรือระดับรุนแรงแต่ไม่ถึงสาหัส ดังนั้น หน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบนี้สามารถใช้กับการประเมินการบาดเจ็บที่เกิดจากการชนของรถจักรยานยนต์อยู่ในระดับไม่เกินสาหัสเท่านั้น

คำสำคัญ : หุ่นทดสอบต้นแบบ, เพศชาย, รถจักรยานยนต์



Thesis title A Design and Build Motorcycle Dummy Crash Test Human Body in Thailand
Author Manus Dangchat
Degree Master of Mechanical Engineering
Major program Mechanical Engineering Faculty of Engineering
Academic Year 2019

ABSTRACT

The aim of this research is to design a prototype of a male dummy chest for motorcycle crash tests. The primary criteria discussed in this study are based on the unique features of Thai ergonomic body sizes with an age range of the highest fatal rate and the fundamental design of the Hybrid III 50th percentile male crash test dummy. A comprehensive experimental study of crash behavior of the prototype undergoing axial compressive loading is performed using the mutual procedure of cadaveric chest testing. For design criteria, the largest chest deflection of 80 mm, the maximum acceleration of 38.47g and the absorbed energy of 178.369 Joules are considered in the experiment. The obtained results show a good agreement with the experimental data of other researches, in which the capability of the energy absorption depends on impact velocities. In addition, the energy absorption capability of this prototype can accurately assess an injury level under AIS 3+. For this reason, the first prototype of a male chest dummy is particularly suitable for an assessment of a lower serious injury level in a motorcycle crash test.

Keywords : Prototype Dummy, Male, Motorcycle

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเมตตากรุณาและอนุเคราะห์จาก ดร.ประกอบ ชาตฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณามอบความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน รวมไปถึงการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนการตรวจสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชิวัน อย่างสูงที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังเป็นอาจารย์สอนที่ให้คำแนะนำ ความรู้และแนวความคิดในด้านต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้เขียน

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สายประสิทธิ์ เกิดนิยม อย่างสูงที่กรุณาร่วมเป็นประธานกรรมการจากภายนอก และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น รวมไปถึงให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ ร.ต. ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี อย่างสูงที่เป็นอาจารย์ผู้ให้ความรู้ ประสบการณ์ ข้อคิด รวมไปถึงให้คำแนะนำระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ นอกเหนือจากนี้ยังเป็นผู้ที่คอยให้การช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ โดยไม่หวังสิ่งใดตอบแทน

ขอกราบขอบพระคุณ เพื่อนร่วมงาน ที่เป็นทั้งกำลังใจในขณะที่ทำงานและทำวิทยานิพนธ์ ช่วยเป็นแรงบันดาลใจไม่ให้อ่อนท้อต่ออุปสรรค อีกทั้งยังให้ข้อคิดที่ดีสำหรับการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ เพื่อนร่วมรุ่น ที่เดินผ่านอุปสรรคมาด้วยกันจนถึงทุกวันนี้ นอกเหนือจากประสบการณ์ดี ๆ ยังคอยแบ่งปันความรู้ แนะนำสถานที่สำหรับการทดสอบเพื่อทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ ญาติ และพี่น้อง ที่คอยให้กำลังใจรวมทั้งสนับสนุนค่าใช้จ่ายระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังเป็นแรงผลักดันให้ก้าวผ่านอุปสรรคที่เจอ

มานัส แดงชาติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
ABSTRACT	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ข้อเสนอสำหรับการทำวิทยานิพนธ์	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 วิธีการวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การทบทวนวรรณกรรม	6
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย	17
3.1 สมมติฐานการวิจัย	17
3.2 ขั้นตอนการออกแบบหุ่นทดสอบการชนรถจักรยานยนต์	18
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	23
3.4 ผลการคำนวณออกแบบกระดุกซีโครงและผลการออกแบบการทดสอบ	28
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ	31
4.1 ผลการทดสอบการกดแบบสถิต	31
4.2 ผลการทดสอบแบบพลวัตของกระดุกซีโครง	34
4.3 การอภิปรายผล	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	42
5.1 สรุปผลการวิจัย	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการวัดระยะยุบบริเวณหน้าอกหุ่นทดสอบ	50
ภาคผนวก ข แบบโครงร่างหุ่นทดสอบ	52
ภาคผนวก ค แบบตอบรับการตีพิมพ์จากวารสาร	74

สารบัญ (ต่อ)

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

หน้า

94



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ตัวอย่างการคำนวณขนาดการบาดเจ็บเทียบกับคะแนนระดับการบาดเจ็บ	14
2.2 เกณฑ์ความสามารถที่ร่างกายมนุษย์รับได้จากการชนกระแทกของหน้าอกและท้อง	15
3.1 สมมติฐานงานวิจัย	17
3.2 ข้อมูลพิกัดสรีระของคนไทยที่ประกอบการออกแบบ	20
3.3 พิกัดขนาดของกระดูกซี่โครงจากหุ่นทดสอบมาตรฐาน รุ่น Dummy Hybrid III 50 th	21
3.4 เกณฑ์ประเมินระดับการบาดเจ็บจากการชนกระแทกของหน้าอก	26
3.5 คะแนนระดับขั้นการบาดเจ็บ	26
3.6 อัตราส่วนขนาดกระดูกซี่โครงจากหุ่นทดสอบมาตรฐาน (Dummy Hybrid III 50 th)	28
3.7 พิกัดการออกแบบกระดูกซี่โครงของหุ่นทดสอบต้นแบบ	29
3.8 ผลการคำนวณรายละเอียดกระดูกซี่โครงและการเลือกพิกัดที่ใช้ออกแบบ	29
3.9 สรุปภาพรวมการออกแบบหุ่นทดสอบ	30
4.1 ผลการทดสอบการกดแบบสถิตภายใต้ความเร็วในการกดต่าง ๆ	32
4.2 ผลการทดสอบแบบพลวัตที่ระยะความสูงการปล่อยตก 0.125 เมตร	35
4.3 ผลการทดสอบแบบพลวัตที่ระยะความสูงการปล่อยตก 1 เมตร	37
4.4 สรุปผลความสามารถของหุ่นทดสอบที่ทดสอบแบบพลวัต	39
4.5 สรุปผลระดับการบาดเจ็บที่ทดสอบแบบพลวัต	39



สารบัญญภาพ

ภาพ	หน้า	
1.1	แผนภาพขั้นตอนการวิจัย	5
2.1	หุ่นทดสอบต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมยานยนต์	7
2.2	การประยุกต์ใช้งานของหุ่นทดสอบยานยนต์	7
2.3	หุ่นทดสอบการชนของจักรยานยนต์	8
2.4	การทดสอบขีดความสามารถของมนุษย์ในอุตสาหกรรมการบินและยานพาหนะ	9
2.5	การทดสอบขีดจำกัดของร่างกายในขณะที่รับอัตราหมุนง	10
2.6	กระดุกทรงอกของร่างกายมนุษย์	11
2.7	แผนภาพจำลองการเสียรูปของกระดุกซี่โครงมนุษย์จากการยุบตัว	12
2.8	การพิจารณาการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหน้าอกของหุ่นทดสอบ	13
3.1	กระดุกซี่โครงแท่งซี่ที่ 2-7 ที่ยึดติดกับกระดุกสันอก	18
3.2	รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดระดับการบาดเจ็บบริเวณหน้าอกของหุ่นทดสอบ	19
3.3	อุปกรณ์รับแรงกระแทกภายในรถยนต์ (แหวน)	19
3.4	กระดุกซี่โครงที่ออกแบบเพื่อนำมาทดสอบ	21
3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะยุบตัวของหน้าอกมนุษย์ที่ถูกออกแบบ	22
3.6	การออกแบบจุดติดตั้งสปริงเพื่อการคืนตัวกลับตำแหน่งพร้อมใช้งาน	22
3.7	กลไกดูดซับพลังงานเมื่อเกิดการชน	23
3.8	หุ่นทดสอบการชนรถจักรยานยนต์ที่ออกแบบสมบูรณ์	23
3.9	ความกว้างช่วงบ่าหน้าและช่วงบ่าหลังที่นำมาเป็นเกณฑ์ในการคำนวณความกว้างของกระดุกซี่โครงช่วงอก	24
3.10	หน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบ	25
3.11	การทดสอบการกดแบบสถิต	27
3.12	การทดสอบแบบพลวัต	27
4.1	การติดตั้งหุ่นทดสอบบนเครื่องทดสอบแบบสถิต Universal Testing Machine (ก Pre-load (ข การจัดตำแหน่งทดสอบกดบริเวณหน้าอกหุ่นทดสอบ	31
4.2	การตั้งค่าการทำงานบนเครื่องทดสอบแบบสถิต	32
4.3	การทำงานของเครื่องทดสอบ (ก การกดหน้าอกหุ่นทดสอบ และ (ข การบันทึกผลการทดสอบ	32
4.4	พฤติกรรมกรการยุบตัวของหน้าอกของหุ่นทดสอบ	33
4.5	พฤติกรรมกรการดูดซับพลังงานบริเวณหน้าอกสูงสุดของหุ่นทดสอบ	34
4.6	การทดสอบแบบพลวัตของหุ่นทดสอบ (ก ก่อนกระแทก และ (ข หลังกระแทก	35
4.7	พฤติกรรมกรการดูดซับพลังงานที่ระยะความสูงการปล่อยตก 0.125 เมตร	36
4.8	พฤติกรรมกรการดูดซับพลังงานที่ระยะความสูงการปล่อยตก 1 เมตร	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.9 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานขณะเกิดการกระแทก (ก ตำแหน่งการดูดซับพลังงานจากศพ (ข ตำแหน่งดูดซับพลังงานจากหน้าอกหุ่นทดสอบ	41



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยถือเป็นประเทศที่มีสถิติการบาดเจ็บและการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุบนท้องถนนสูงเป็นอันดับที่ 2 ของโลก ในขณะที่สถิติการเสียชีวิตที่เกิดขึ้นกับรถจักรยานยนต์สูงเป็นอันดับที่ 1 ของโลกในปี 2556 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานเรื่อง “สถานการณ์โลกด้านความปลอดภัยทางถนน พ.ศ. 2558” ขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO ถึงอัตราการเสียชีวิตของประเทศที่มีรายได้ต่ำถึงปานกลางเปรียบเทียบกับประเทศที่มีรายได้สูง โดยมีอัตราการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุสูงกว่าถึง 2 เท่า ยิ่งไปกว่านั้น การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุการจราจรทางถนนถือเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งของการเสียชีวิตทั่วโลก โดยผู้มีอายุระหว่าง 15-29 ปี มีอัตราการเสียชีวิตมากที่สุด อีกทั้งอุบัติเหตุการจราจรทางถนนยังเป็นภาระหนักทางเศรษฐกิจของประเทศและครอบครัว [1]

นอกเหนือจากนี้ ผลของการเกิดอุบัติเหตุจากกลุ่มผู้ใช้รถจักรยานยนต์และผู้ขับขี่จักรยานยนต์ ทางองค์การสหประชาชาติภายใต้การนำเสนองานขององค์การอนามัยโลก ได้กำหนดให้ช่วงปี พ.ศ. 2554 ถึง 2563 เป็นทศวรรษแห่งความปลอดภัยทางถนน (Decade of Action for Road Safety สำหรับประเทศไทยในระดับนโยบายมีการกำหนดให้ศูนย์อำนวยการความปลอดภัยทางถนนจัดทำแผนปฏิบัติการ เพื่อให้ทุกภาคส่วนมีทิศทางดำเนินการแก้ไขปัญหาของอุบัติเหตุทางถนนประสบผลสำเร็จเป็นรูปธรรม [2] ทั้งนี้สาเหตุหลักของการเกิดอุบัติเหตุขึ้นอยู่กับการปัจจัยหลัก 3 ประการ ได้แก่ บุคคล ถนน และยานพาหนะ โดยผลรายงานสถิติคดีอุบัติเหตุการจราจรทางบก จำแนกตามสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุของสำนักงานตำรวจแห่งชาติ ในระหว่างปี 2549 ถึง 2558 พบว่าสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุจากบุคคล ร้อยละ 63.8 ถนน ร้อยละ 21.4 และยานพาหนะ ร้อยละ 14.8 และ ตามลำดับกรณีอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากตัวบุคคลมีสาเหตุจากขับรถเร็วเกินกว่ากฎหมายกำหนด ขับรถเปลี่ยนคิดเป็นร้อยละ 15.7 ช่องทางจราจรกระชั้นชิด คิดเป็นร้อยละ 13.2 และเมาแล้วขับ คิดเป็นร้อยละ 13.1 ตามลำดับ ส่วนในกรณีของถนนมีสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุจาก แสงสว่างไม่เพียงพอ ช่องทางการเดินรถแคบ และพื้นผิวถนนลื่น คิดเป็นร้อยละ 14.7 13.1 และ 10.5 ตามลำดับ [3] อีกทั้งยังมีความสอดคล้องกับรายงานของกรมทางหลวง [4] ถึงการแจ้งเตือนเส้นทางอันตราย 101 เส้นทาง สายทางที่ต้องใช้ความระมัดระวังในการเดินทางของรถโดยสารและรถบรรทุก สำหรับอุบัติเหตุที่เกิดจากยานพาหนะมีสาเหตุหลักได้แก่ ระบบห้ามล้อขัดข้อง ยางเสื่อมสภาพ และระบบบังคับเลี้ยวขัดข้อง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 17.5 3.5 และ 2.5 ตามลำดับ

ยิ่งไปกว่านั้นจากข้อมูลรายงานของสำนักงานตำรวจแห่งชาติและองค์การอนามัยโลก [5] พบว่าประเทศไทยเกิดอุบัติเหตุส่วนใหญ่จากรถจักรยานยนต์ ซึ่งส่งผลทำให้จำนวนผู้ขับขี่และผู้โดยสารได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิตสูงที่สุดเป็นอันดับที่ 1 ของโลก รวมไปถึงผลการศึกษาของกลุ่มป้องกันการบาดเจ็บจากการจราจร สำนักโรคไม่ติดต่อ พ.ศ. 2557 [6] เผยให้เห็นถึงยานพาหนะที่

เสี่ยงต่อการเสียชีวิตมากที่สุดของประชากรไทย คือ รถจักรยานยนต์ หรือ คิดเป็นร้อยละ 66 ของการเสียชีวิตทั้งหมดจากอุบัติเหตุทางถนน อีกทั้งยังพบว่าเพศชายที่มีอายุในช่วง 15-19 ปี มีอัตราการเสียชีวิตมากกว่าเพศหญิงสูงถึง 3 เท่าตัว หรือคิดเป็นร้อยละ 78 [7] ซึ่งหากพิจารณาถึงการใช้งานรถจักรยานยนต์ที่สอดคล้องกับการใช้ชีวิตประจำวันพบว่าพฤติกรรมเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุในรถจักรยานยนต์ คือ ฝ่าฝืนสัญญาณจราจร ขับขี่ประมาทและหวาดเสียว และการแข่งในที่คับขัน [8]

ในขณะที่งานวิจัยของ ปิยะพงศ์ ปัญญาบุรี [9] ที่ศึกษาถึงความสูญเสียทางเศรษฐกิจและสุขภาพจากผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์โดยไม่สวมหมวกนิรภัย: กรณีศึกษาในอำเภอเมืองเชียงใหม่ แสดงให้เห็นว่าการบาดเจ็บบริเวณศีรษะมีอัตราสูงที่สุดในรถจักรยานยนต์คิดเป็นร้อยละ 48.43 และสูญเสียทรัพย์สินคิดเป็นร้อยละ 70 ส่วนรายงานของกรมทางหลวงด้านมูลเหตุสันนิษฐานในการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวง [10] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกาญจน์กรรณ สุธังคะ [11] ที่ศึกษาพฤติกรรมการขับขี่ของวัยรุ่นที่มีผลต่อความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการใช้รถจักรยานยนต์ ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า พฤติกรรมไม่ปฏิบัติตามกฎจราจร ใช้ความเร็วสูงในการขับขี่ และขับขี่ด้วยความคึกคะนอง ตามลำดับ โดยส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุบนทางหลวงชนบทมีอัตราเพิ่มขึ้นสูงถึงร้อยละ 47.7 เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า [12] โดยลักษณะบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงชนบทมากที่สุด ได้แก่ ทางตรง ทางโค้ง และทางแยกรูปตัว Y และตัว T [13] และมีความสอดคล้องกับรายงานการวิเคราะห์อุบัติเหตุทางถนนที่รวบรวมข้อมูลสถิติจากสำนักงานตำรวจแห่งชาติ กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท รายงานอุบัติเหตุบนถนนของประเทศไทย (TRAMS และกรมการขนส่งทางบก เพื่อใช้ในการกำหนดแนวทางการจัดระเบียบ มาตรการ และมาตรฐานความปลอดภัย [14]

เพิ่มเติมจากนี้ด้วยข้อมูลสถิติการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินที่เกิดจากอุบัติเหตุทางการจราจรของรถจักรยานยนต์ ทำให้หน่วยงานในทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องจำต้องแก้ไขการลดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บที่พึงดำเนินการใน 3 องค์ประกอบหลักได้แก่ คน ถนน และรถ ในส่วนของการแก้ปัญหาด้านคน ยกตัวอย่างเช่น นโยบายของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ (สสส. และมูลนิธิไทยโรดส์ ได้ดำเนินการกิจกรรมในการพัฒนาและจัดการระบบข้อมูลและองค์ความรู้ทางวิชาการด้านความปลอดภัยทางถนน การประชาสัมพันธ์ และรณรงค์ด้านความปลอดภัย เช่น โครงการเมาไม่ขับ เป็นต้น [15], [16] กรณีการแก้ปัญหาด้านถนน พบว่าปัจจัยที่มีผลกับการเกิดอุบัติเหตุคือ จำนวนช่องเดินรถ ความกว้างของไหล่ทาง ระยะการมองเห็นรัศมีโค้ง ความลาดชัน และ แสงส่องสว่าง [17] อีกทั้งในต่างประเทศก็มีการออกแบบถนนเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ (Road Geometric Design เช่น การออกแบบอุโมงค์เดินรถ การสร้างโครงข่ายถนนที่มีความหนาแน่นของจำนวนรถ การสร้างแผนผังและการประเมินด้วยการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ การศึกษาผลกระทบพฤติกรรมของคนขับที่มีต่อลักษณะถนน และการบริหารความเร็วบนท้องถนน [18]–[24] ในกรณีของรถยนต์ทางบริษัทผู้ผลิตได้ออกแบบและพัฒนาชิ้นส่วนให้มีความปลอดภัย ถึงแม้ว่ารถยนต์จะมีอุปกรณ์และเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยก็ต้องผ่านการประเมินคุณภาพของตัวรถยนต์โดยหน่วยงานมาตรฐานด้านความปลอดภัยยานยนต์ ยกตัวอย่างเช่น New Car Assessment Program (NCAP [25] ซึ่งในการประเมินคุณภาพรถยนต์จำเป็นต้องนำหุ่นทดสอบ (Dummy เข้าไปติดตั้งในตัวรถ เพื่อให้สามารถวัดค่าความรุนแรงเมื่อเกิดขึ้นจากการชนมาปรับปรุงคุณภาพของรถยนต์รวมถึงเทคโนโลยีที่ใช้ ดังนั้น

หุ่นทดสอบทางยานยนต์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่ถือเป็นเครื่องมือหลักในการประเมินการบาดเจ็บ

กล่าวถึงการนำหุ่นทดสอบมาใช้ในการประเมินคุณภาพของรถยนต์ ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องมา มากกว่า 50 ปี การสร้างหุ่นทดสอบนิยมใช้สัตว์เป็นตัวแทนของคนในยุคเริ่มต้น โดยพิจารณาถึงค่า ความเร่ง ความเร็ว แรงที่กระทำพลังงาน และการยุบตัว ทั้ง 3 แนวแกน ยิ่งไปกว่านั้นศาสตร์ทาง การแพทย์และวิศวกรรม (Medical Engineering รวมไปถึงหน่วยงานด้านความปลอดภัยทางถนน ของต่างประเทศ เช่น Nation Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) ทำการศึกษาถึง คุณลักษณะของหุ่นทดสอบ เช่น สัดส่วนโครงสร้าง และสัดส่วนมวลกาย ที่สัมพันธ์กับอายุเพื่อนำมา ศึกษาอาการบาดเจ็บและกลไกการบาดเจ็บของคนที่เกิดจากการชน ซึ่งโดยปกติแล้วชิ้นส่วนที่สำคัญ ของร่างกายที่นำมาศึกษาและพิจารณาระดับการบาดเจ็บแบ่งได้เป็น ศีรษะ คอ หน้าอก ช่องท้อง สะโพก และขา ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนสำคัญของร่างกายที่นำมาจำลองการบาดเจ็บมีวิธีการทดสอบ หลากหลายรูปแบบ เช่น การชนแนวระนาบ (Sled Test) การปล่อยตก (Drop Test) และการ กระแทก (Pendulum Test) ซึ่งการออกแบบหุ่นทดสอบนี้มีความจำเป็นต้องทราบถึงสิ่งสำคัญหลัก 3 ประการ ได้แก่ สัดส่วนโครงสร้าง ชิ้นส่วนที่สำคัญของร่างกาย และวิธีการทดสอบ [26] ซึ่งหุ่น ทดสอบสำหรับรถจักรยานยนต์ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานวิเคราะห์การบาดเจ็บของคนไทยยังไม่ ปรากฏหรือมีการสร้างและพัฒนาเพื่อนำมาใช้ร่วมกับกลุ่มเป้าหมาย อย่างไรก็ตามหุ่นทดสอบ ยานยนต์ตามมาตรฐานมีเพียงขนาดที่เป็นสัดส่วนของคนต่างประเทศเท่านั้น อีกทั้งยังไม่มีขนาด สัดส่วนของคนไทยที่เป็นหุ่นทดสอบยานยนต์สำหรับการทดสอบเพื่อประเมินระดับการบาดเจ็บ

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาและออกแบบหุ่นทดสอบ การชนรถจักรยานยนต์ภายใต้สัดส่วนโครงสร้างของคนไทย เพื่อนำมาทำเป็นหุ่นทดสอบต้นแบบที่ใช้ ในการเก็บข้อมูลการกระแทกในการทดสอบการชนของรถจักรยานยนต์

1.2 ข้อเสนอสำหรับการทำวิทยานิพนธ์

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า หุ่นทดสอบที่ใช้ในการ ทดสอบยานยนต์ต้องมีองค์ประกอบของกลไกการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมของร่างกายมนุษย์ เช่น ขนาด รูปร่าง มวล ความยืดหยุ่นของร่างกาย เป็นต้น เพื่อสะท้อนการตอบสนองทางร่างกายจาก การเคลื่อนที่ ความเร็ว ความเร่ง การยุบตัว หรือ การเคลื่อนที่สัมพันธ์กันของชิ้นส่วนในร่างกายมนุษย์ เมื่อหุ่นทดสอบดังกล่าวรับแรงกระแทก หรือ อัตราความเร่งในการจำลองอุบัติเหตุ ยิ่งไปกว่านั้น หุ่นทดสอบต้องติดตั้งเครื่องมือวัดเพื่อตรวจวัดระดับของการบาดเจ็บจากปริมาณทางกายภาพ เทียบ กับขีดความสามารถของร่างกายมนุษย์ ซึ่งงานวิจัยนี้มีความสนใจในการศึกษาการออกแบบและ พัฒนาหุ่นทดสอบการชนของจักรยานยนต์เฉพาะส่วนหน้าอก เพื่อใช้ในการทดสอบคุณภาพ จักรยานยนต์ และสามารถใช้ในการวิเคราะห์กลไกการบาดเจ็บจากความแตกต่างทางกายภาพ รวมไปถึง เครื่องป้องกันบริเวณส่วนหน้าของผู้ขับขี่ได้

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

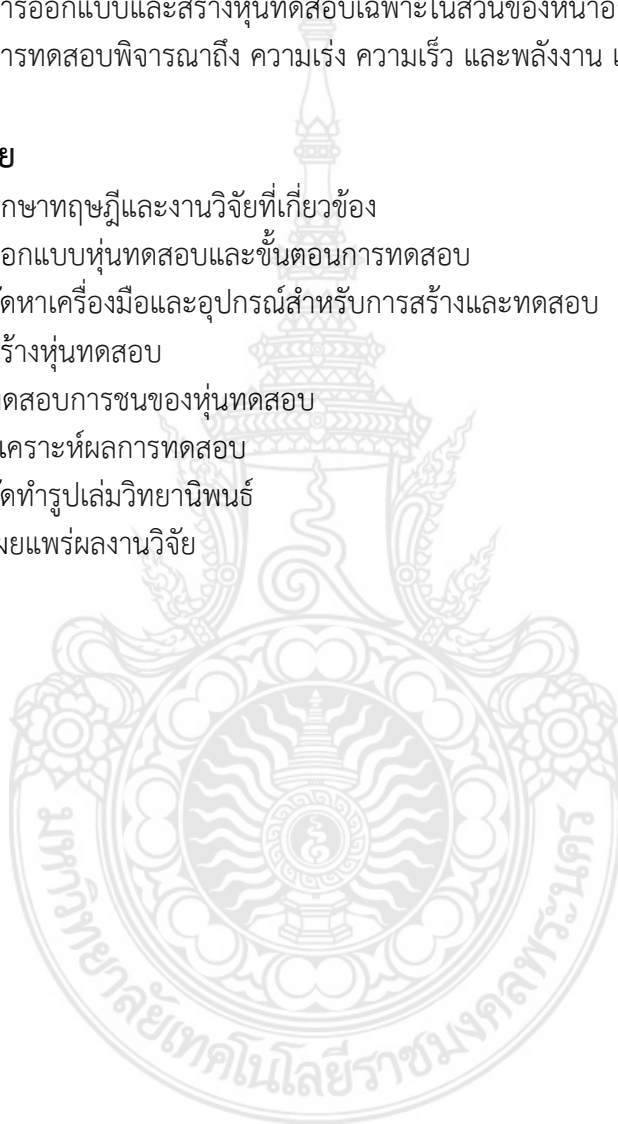
- 1.3.1 เพื่อออกแบบการจัดเก็บข้อมูลการกระแทกที่เกิดขึ้นกับหุ่นทดสอบ
- 1.3.2 เพื่อสร้างหุ่นทดสอบการชนรถจักรยานยนต์ (เฉพาะส่วนหน้าอก)

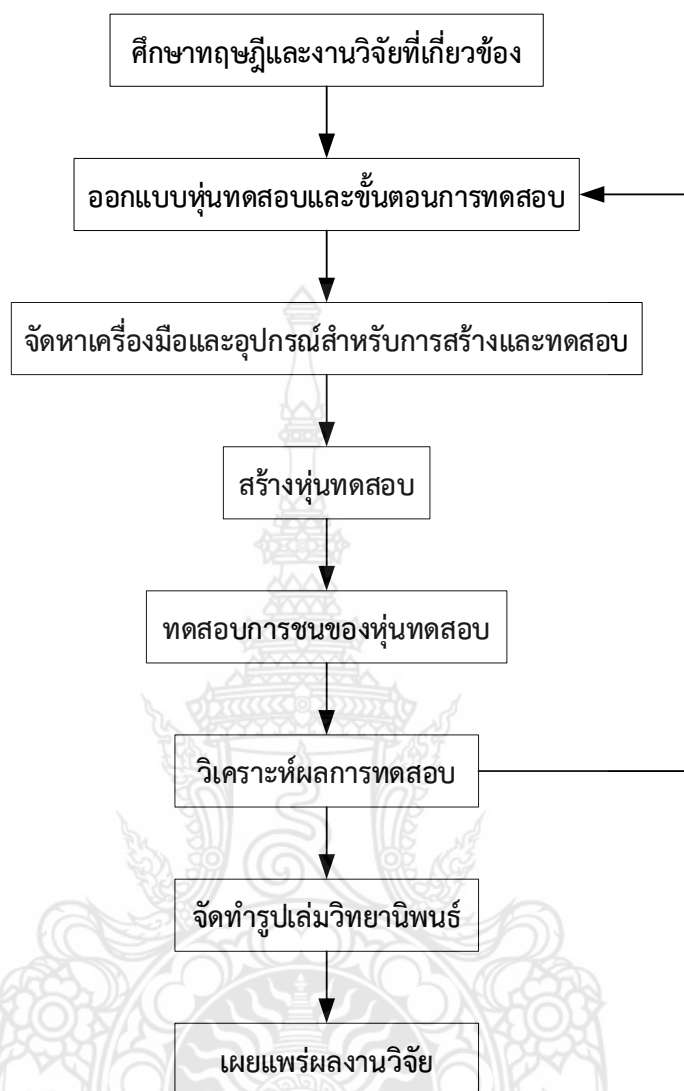
1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 การออกแบบและสร้างหุ่นทดสอบเฉพาะในส่วนของหน้าอก
- 1.4.2 การทดสอบพิจารณาถึง ความเร่ง ความเร็ว และพลังงาน เท่านั้น

1.5 วิธีการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 ออกแบบหุ่นทดสอบและขั้นตอนการทดสอบ
- 1.5.3 จัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการสร้างและทดสอบ
- 1.5.4 สร้างหุ่นทดสอบ
- 1.5.5 ทดสอบการชนของหุ่นทดสอบ
- 1.5.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบ
- 1.5.7 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์
- 1.5.8 เผยแพร่ผลงานวิจัย





ภาพ 1.1 แผนภาพขั้นตอนการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้หุ่นทดสอบการชนรถจักรยานยนต์ที่สามารถจัดเก็บข้อมูลการกระแทกที่เกิดขึ้นกับหุ่นทดสอบ

1.6.2 แนวทางการทดสอบหุ่นทดสอบการชนรถจักรยานยนต์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับพฤติกรรมการขับขี่ได้

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรม

2.1.1 หุ่นทดสอบในอุตสาหกรรมยานยนต์

ในอุตสาหกรรมยานยนต์ การประเมินความปลอดภัยของผู้ใช้รถใช้ถนนจะกระทำโดยใช้หุ่นที่สามารถวัดระดับการกระแทก การยุบตัวของร่างกาย การตัด หรือ อัตราหนองที่เกิดขึ้นในร่างกายเพื่อสะท้อนความรุนแรงหรือการบาดเจ็บในการทดสอบความปลอดภัยเชิงรับ (Passive Safety แทนผู้โดยสาร คนขับ หรือ คนเดินถนน หุ่นดังกล่าวจะถูกพัฒนาให้สามารถใช้งานซ้ำและมีเสถียรภาพได้ ซึ่งสอดคล้องกับ มิติของร่างกาย และเพศ เป็นต้น [27] หุ่นทดสอบยานยนต์จะถูกผลิตเพื่อการจัดจำหน่ายไปทั่วโลกเพื่อการทดสอบความปลอดภัยยานยนต์เชิงรับดังแสดงในภาพ 2.1 [28] ในประเทศที่มีอุตสาหกรรมยานยนต์และผลิตสินค้าที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ใช้รถใช้ถนน การใช้หุ่นทดสอบยานยนต์ดังกล่าวจึงมีจำเป็นอย่างยิ่ง ดังเช่นประเทศญี่ปุ่นที่มีอุตสาหกรรมยานยนต์เป็นของตนเองจำนวนมากจึงมีบริษัทที่ผลิตหุ่นทดสอบยานยนต์เพื่อใช้ในการประเมินและตรวจสอบความปลอดภัยยานยนต์ในเชิงรับ [29] เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศเยอรมัน ผู้ผลิตหุ่นทดสอบภายในประเทศก็สามารถจัดหาและผลิตให้กับอุตสาหกรรมยานยนต์เพื่อทำการทดสอบ ซึ่งหุ่นทดสอบมีมูลค่าไม่ต่ำกว่า 10 ล้านบาท [30] ในส่วนของการประยุกต์ใช้งานของหุ่นทดสอบในอุตสาหกรรมยานยนต์จะนำไปใช้ในการประเมินการบาดเจ็บของผู้โดยสาร โดยใช้เครื่องมือวัดที่ติดตั้งในตัวหุ่นทดสอบเพื่อจับปริมาณทางกายภาพเมื่อรับแรงกระแทก แล้วทำการเปรียบเทียบค่าขีดจำกัดของร่างกายมนุษย์ที่สามารถทนได้ ผลการวัดเมื่อเปรียบเทียบกับขีดจำกัดถูกเปลี่ยนมาเป็นคะแนนและแปรผลเป็นระดับโดยมีสัญลักษณ์เป็นรูปดาว ซึ่งการประเมินดังกล่าวอยู่ภายใต้หน่วยงานในภาคพื้นเอเชีย ASEAN NCAP (New Car Assessment Program จะนำมาใช้ในการ ทดสอบคุณภาพความปลอดภัยของรถยนต์เช่นในประเทศญี่ปุ่น [31], [32] ดังแสดงตามภาพ 2.2 นอกเหนือจากนี้ การตรวจสอบความปลอดภัยตามมาตรฐาน UNECE Regulation no. 94 ว่าด้วยเรื่องการทดสอบการชนด้านหน้าแบบเยื้องศูนย์ยังระบุถึงวิธีการทดสอบซึ่งจำเป็นต้องใช้หุ่นในการทดสอบเช่นเดียวกัน [33]

สำหรับประเทศไทย แผนแม่บทอุตสาหกรรมยานยนต์ ปี พ.ศ. 2555 - 2559 จากสถาบันยานยนต์มีการระบุเรื่องการตรวจสอบคุณภาพความปลอดภัยว่าด้วยเรื่องการใช้หุ่นทดสอบมาเป็นเกณฑ์ในการกำหนดคุณภาพ [34] อีกทั้งจากประกาศของกระทรวงการคลัง เล่ม 131 ตอนพิเศษ 211 ง หน้า 6 ราชกิจจานุเบกษา 22 ตุลาคม 2557 เรื่อง ลดอัตราภาษีสรรพสามิต (ฉบับที่ 127 ว่ารถยนต์ที่ผลิตและมีคุณสมบัติในการป้องกันผู้โดยสาร กรณีที่เกิดอุบัติเหตุจากการชนด้านหน้าของตัวรถตามมาตรฐาน UNECE Regulation no. 94 Rev.1 หรือระดับสูงกว่า และมีคุณสมบัติในการ

ป้องกันผู้โดยสาร กรณีเกิดอุบัติเหตุการชนด้านข้างของตัวรถตามมาตรฐาน UNECE Regulation no. 95 Rev. 1 หรือระดับสูงกว่า สามารถนำมาใช้ในการลดหย่อนภาษีได้ [35]

สำหรับการทดสอบจักรยานยนต์ รุ่นที่ใช้ในการทดสอบมีความแตกต่างจากหุ่นที่ทดสอบในอุตสาหกรรมยานยนต์รถนั่ง เนื่องจากลักษณะการนั่งในการขับขี่ รวมทั้งเครื่องมือวัดและการบันทึกที่ต้องสามารถบันทึกในหุ่นทดสอบ (Motorcycle Anthropometric Test Dummy, MATD ดังแสดงตามตัวอย่างในภาพ 2.3 หุ่น MATD สามารถทำการบันทึกข้อมูลได้ทั้งหมด 48 ช่องสัญญาณซึ่งใช้ในการวัดค่าจาก อัตราหมุนที่ศีรษะ แรงบิดที่หน้าแข้งส่วนบนและล่าง การยุบตัวของส่วนบนและล่าง ทั้งสองข้างของหน้าอก การบิดและแรงกระแทกตัวที่สะโพก และแรงกระแทกและแรงบิดที่คอส่วนบน ซึ่งมีมูลค่าของหุ่นทดสอบไม่ต่ำกว่า 20 ล้านบาท [36]

ดังนั้นการใช้หุ่นทดสอบเป็นเครื่องมือทางวิศวกรรมที่สามารถใช้และศึกษาต่อยอดในเชิงวิชาการในการป้องกันอุบัติเหตุจากการใช้รถใช้ถนนในประเทศไทย โดยเฉพาะรถดัดแปลงที่ต่อเติมมาจากการผลิตรถยนต์ในประเทศไทย เช่น การดัดแปลงรถกระบะมารับผู้โดยสารสองแถว รถโรงเรียน และรถจักรยานยนต์ที่ใช้ในการส่งรับเด็กนักเรียน เป็นต้น



ภาพ 2.1 หุ่นทดสอบต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมยานยนต์ [28]



ภาพ 2.2 การประยุกต์ใช้งานของหุ่นทดสอบยานยนต์ [25]



ภาพ 2.3 ทุ่นทดสอบการชนของจักรยานยนต์ [36], [37]

2.1.2 วิวัฒนาการการสร้างทุ่นทดสอบการชน

การทดสอบขีดความสามารถของร่างกายต่อการเคลื่อนที่และการกระแทก ภายใต้แรงกดดันต่าง ๆ ได้มีเริ่มต้นในประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ทศวรรษปี 1950 เพื่อใช้ในทางการบินและยานพาหนะ ในปี ค.ศ. 1957 โดย John P. Stapp ได้ทำการวิจัยเพื่อหาขีดจำกัดในห้องปฏิบัติการโดยใช้รถเลื่อนทำความเร็วสูงถึง 88.6 ไมล์ต่อชั่วโมงและหยุดให้ได้ระยะทาง 18.25 ฟุต ดังแสดงในภาพ 2.4 รวมทั้งรูปแบบการทดสอบที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพ 2.5 ในขณะที่งานวิจัยขีดจำกัดของมนุษย์จากการศึกษาของ Glaister พบว่าขีดจำกัดของมนุษย์ขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วและช่วงเวลาที่เกิดอัตราห้วงเป็นสำคัญ [38] นอกเหนือจากนี้ ยังมีการศึกษาวิเคราะห์จากศพของผู้เสียชีวิตเพื่อมาทดสอบขีดจำกัดของร่างกายมนุษย์ เช่น ความต้านทานของกะโหลกศีรษะซึ่งเป็นอวัยวะที่สำคัญ โดยทำการศึกษาจากศีรษะของศพ หรือศีรษะของลิง เพื่อศึกษาปัจจัยจากการกระแทกที่ทำให้เกิดอัตราห้วงแบบเชิงเส้น (Translational Acceleration และอัตราห้วงเชิงมุม (Rotational Acceleration [39] ในกรณีของอวัยวะส่วนอื่น ๆ ของร่างกายโดยเฉพาะอย่างยิ่งอวัยวะส่วนล่างของร่างกาย เช่น เข่า ต้นขา และสะโพก ถูกมานำวิเคราะห์ถึงระดับการบาดเจ็บเช่นกันด้วยการใช้ศพมาทดสอบ ผลของการศึกษาการบาดเจ็บถูกมาใช้ในการประเมินคุณภาพของรถยนต์จากการทดสอบการชนรถยนต์ ถึงแม้การบาดเจ็บของร่างกายส่วนล่างนี้ไม่ทำให้เกิดการเสียชีวิต แต่ก็มีส่วนสำคัญต่อการใช้ชีวิตของผู้ประสบภัยจากอุบัติเหตุและทำให้เกิดปัญหาสังคมในการใช้ชีวิตเช่นกัน [40]

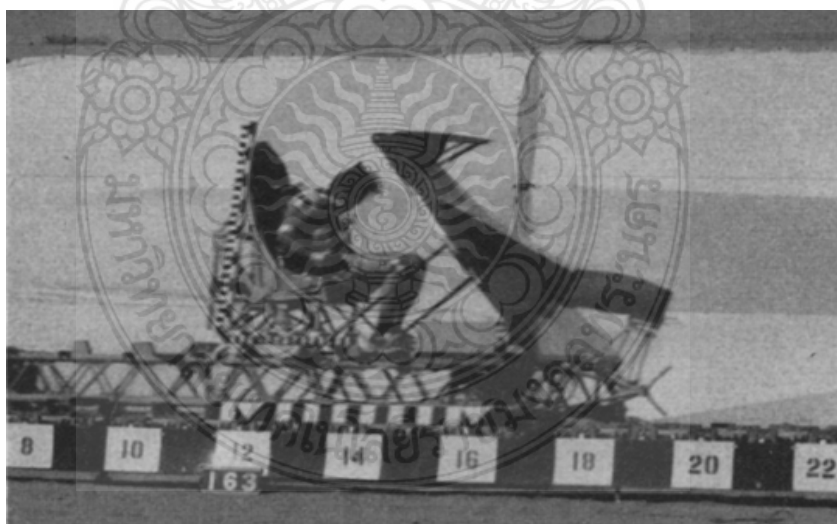
ในปี ค.ศ. 1981 Alderson ได้จัดสิทธิบัตรในการทำทุ่นทดสอบสำหรับการทดสอบการชนของรถยนต์ โดยทุ่นทดสอบประกอบไปด้วย หน้าอก แขน และหัวไหล่ โดยทำการประกอบยึดแขนกับหน้าอก ซึ่งหัวไหล่ทำมาจากวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง ส่วนแขนจะทำมาจากวัสดุที่ทำมาจากพลาสติกที่มีความแข็งแรงสูง หุ้มด้วยวัสดุที่รับพลังงาน อีกทั้งแขนและหัวไหล่ของทุ่นทดสอบสามารถรับแรงกระแทกที่มาจากด้านข้างได้ [41]

ต่อมาในปี ค.ศ. 1983 มหาวิทยาลัย Michigan ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ทำการพัฒนาออกแบบทุ่นสำหรับทดสอบในยานยนต์ โดยทำการวัดขนาดรูปร่างของอาสาสมัครเพื่อทำการเก็บข้อมูลรูปร่างของผู้ขับขี่ การนั่งในรถยนต์ และขนาดของที่นั่งในรถยนต์ โดยคำนึงถึงตำแหน่งท่าทางของคนที่นั่งในรถยนต์ รูปร่างหน้าสัมผัสระหว่างคนกับเบาะ ข้อมูลสถิติการเก็บจะถูกนำมาสังเคราะห์เพื่อจัดทำทุ่นทดสอบโดยใช้วัสดุผสม Epoxy/Fiberglass ในการทำผิวของทุ่นทดสอบ ในระหว่างช่วง

ทศวรรษ 70 ถึง 80 การพัฒนาหุ่นจะเน้นที่หาความสัมพันธ์ระหว่างขีดจำกัดของร่างกายมนุษย์กับการออกแบบหุ่นทดสอบ เช่น การวิเคราะห์จากข้อมูลปฐมภูมิเพื่อพัฒนาดัชนีตัวชี้วัดการบาดเจ็บที่สัมพันธ์กับค่าทางวิศวกรรมเพื่อใช้ในการออกแบบหุ่นทดสอบ [42]

ในปี ค.ศ. 1991 หุ่นทดสอบยานยนต์สำหรับจักรยานยนต์เริ่มมีผลผลิตให้ใช้จากการจดสิทธิบัตรในประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่อนำมาใช้ในการจำลองอุบัติเหตุทางยานยนต์ โดยมือของหุ่นทดสอบนี้จะมีความสามารถจับยึดแกนควบคุมบังคับเลี้ยวจากจักรยานยนต์ได้ นอกเหนือจากนี้ การออกแบบคอสำหรับหุ่นทดสอบก็มีความสำคัญต่ออาการสะทอนกลไกการเคลื่อนที่ของคอเพื่อให้สอดคล้องกับมุมของลำตัวในลักษณะท่าทางของผู้ขับขี่ ซึ่งจะมีความแตกต่างกับหุ่นทดสอบที่ใช้ในรถยนต์ ดังนั้นหุ่นทดสอบจักรยานยนต์จึงถูกนำมาใช้เพื่อจำลองและวิเคราะห์การชนของจักรยานยนต์หลายลักษณะ เช่น การวิเคราะห์ลักษณะการบาดเจ็บของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ในลักษณะการชนกับที่กั้นถนนเพื่อใช้ในการออกแบบที่กั้นและลดการบาดเจ็บของผู้ขับขี่ รวมทั้งการออกแบบถุงลมนิรภัยสำหรับใช้ในรถจักรยานยนต์ [43]

ยิ่งไปกว่านั้น หุ่นที่ใช้ในการทดสอบยานยนต์ต้องมียอดประกอบของกลไกการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมของร่างกายมนุษย์ เช่น ขนาด รูปร่าง มวล และความยืดหยุ่นของร่างกาย เพื่อสะท้อนการตอบสนองทางร่างกายจากการเคลื่อนที่ ความเร็ว ความเร่ง การยุบตัว หรือ การเคลื่อนที่สัมพันธ์กันของชิ้นส่วนในร่างกายมนุษย์ เมื่อหุ่นทดสอบดังกล่าวรับแรงกระแทก หรือ อัตราหมุนในการจำลองอุบัติเหตุ หุ่นดังกล่าวจะต้องติดตั้งเครื่องมือวัดเพื่อตรวจจกระดับของการบาดเจ็บจากปริมาณทางกลศาสตร์วิศวกรรม โดยเทียบกับขีดความสามารถของร่างกายมนุษย์ [29]



ภาพ 2.4 การทดสอบขีดความสามารถของมนุษย์ในอุตสาหกรรมการบินและยานพาหนะ [38]



ภาพ 2.5 การทดสอบขีดจำกัดของร่างกายในขณะที่รับอัตราเร่ง [39]

2.1.3 สถานการณ์การเกิดอุบัติเหตุทางถนนของโลกและประเทศไทย

รายงานสถานการณ์ด้านความปลอดภัยทางถนนจากองค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) พ.ศ.2558 กล่าวถึงอัตราการเสียชีวิตของประชากรของประเทศที่มีรายได้ต่ำถึงปานกลาง (Low-and Middle-Income Countries) โดยระบุว่ามียุทธการเสียชีวิตสูงกว่าถึง 2 เท่า เมื่อเทียบกับกลุ่มประเทศที่มีรายได้สูง (High-Income Countries) โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุบัติเหตุจากการจราจรทางบกเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้มีอัตราการเสียชีวิตมากที่สุด ยิ่งไปกว่านั้นประเทศไทยยังติดอันดับของประเทศที่เสียชีวิตจากอุบัติเหตุสูงสุดเป็นอันดับ 1 ของโลก โดยที่สัดส่วนการเกิดอุบัติเหตุจากรถยนต์ส่วนบุคคล รถจักรยานยนต์ 2-3 ล้อ คนปั่นจักรยาน คนเดินเท้า และอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 16 34 3 13 และ 34 ตามลำดับ หากเปรียบเทียบการเกิดอุบัติเหตุจากรถจักรยานยนต์กับรถยนต์ส่วนบุคคลแล้วพบว่าสัดส่วนการเกิดอุบัติเหตุจากรถจักรยานยนต์มีมากกว่ารถยนต์ส่วนบุคคลสูงถึง 2 เท่าตัว [44]

2.1.4 สถิติความรุนแรงของการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุในประเทศไทย

รายงานผลของการจัดทำทะเบียนผู้บาดเจ็บจากอุบัติเหตุในปี พ.ศ. 2554 ของโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า [45] จากการเก็บข้อมูลอุบัติเหตุจำนวนทั้งสิ้น 898 ราย พบว่าการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุบนท้องถนนมีอัตราสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 43.88 ในขณะที่การบาดเจ็บจากการขับขี่รถจักรยานยนต์มีค่าสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 28.06 รวมไปถึงการบาดเจ็บจากการโดยสารคิดเป็นร้อยละ 3.12 นอกเหนือจากนี้รายงานยังชี้ให้เห็นว่าการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุเกิดขึ้นบริเวณส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย คือ ปลายแขน ปลายขา คิดเป็นร้อยละ 58.35 ศีรษะและคอ คิดเป็นร้อยละ 46.44 บริเวณหน้า คิดเป็นร้อยละ 27.51 บริเวณส่วนนอกของร่างกาย คิดเป็นร้อยละ 24.61 หน้าอก คิดเป็นร้อยละ 17.15 และบริเวณช่องท้อง คิดเป็นร้อยละ 12.69 อย่างไรก็ตามการบาดเจ็บบริเวณภายนอกของร่างกายที่มีผลกระทบต่ออาการระดับขั้นการบาดเจ็บ (Injury Severity Score: ISS น้อยกว่าการบาดเจ็บของอวัยวะภายในโดยเฉพาะอย่างยิ่งการบาดเจ็บบริเวณทรวงอก (Chest ซึ่งมีค่าการบาดเจ็บของอวัยวะภายในร่างกายสูงถึงร้อยละ 36.61

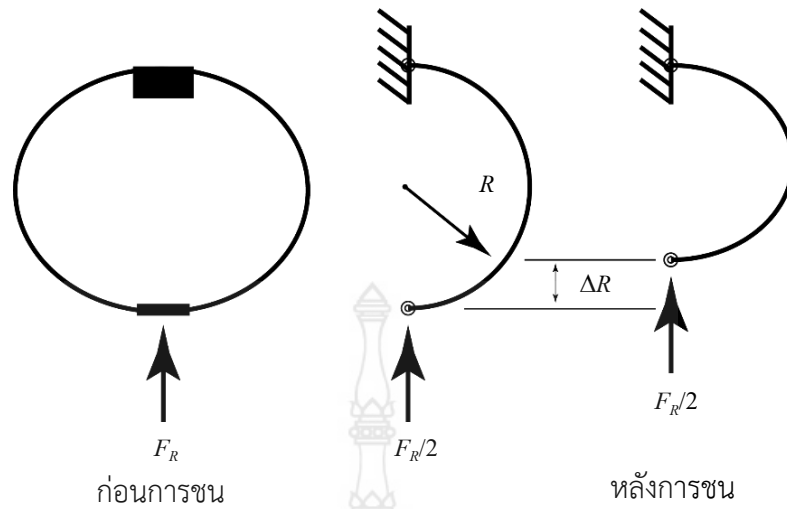
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ทฤษฎีและขั้นตอนการออกแบบการยุบตัวของกระดูกซี่โครง (Rib Bending [46])

การออกแบบการยุบตัวของกระดูกซี่โครงเพื่อจำลองลักษณะทางกายภาพของมนุษย์ เมื่อมีการชนปะทะบริเวณทรวงอกถูกออกแบบโดยการใช้วัสดุคานแผ่นแบนเรียบ (Flat Plate ด้ ดโค้ง ลักษณะวงรีตามรูปทรงกระดูกทรวงอกของร่างกายมนุษย์ตามภาพ 2.6 (ชายไทยอายุ 15-25 ปี ซึ่งการออกแบบลักษณะดังกล่าวแสดงดังภาพ 2.7 ด้วยการคำนวณหาความกว้างและความหนาของกระดูกซี่โครงหุ่นทดสอบต้นแบบจากทฤษฎีการเสียรูปของกระดูกซี่โครงมนุษย์จากการยุบตัว (Bending Deformation of The Human Thorax) โดยเริ่มต้นจากคำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (Area Moment of Inertia: I) ตามสมการ (2.1) จากค่าแรงกดที่กระทำต่อศพบริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบสถิต (F_R) ที่ 650 นิวตัน และระยะยุบที่กระทำต่อศพบริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบพลวัต (ΔR) ที่ 76.2 มิลลิเมตร [47] เป็นเกณฑ์สมมติฐานของการคำนวณ ในขณะที่ค่าความยาวเส้นรอบวงรอบอก (C_L) ของกระดูกแต่ละซี่ถูกพิจารณาเป็นรัศมีของกระดูกซี่โครง (R) สุดท้ายคำนวณหาความกว้างของกระดูกซี่โครง (H_R) ตามสมการ (2.2) และการคืนตัวกลับของชุดกลไกบริเวณหน้าอกหุ่นทดสอบด้วยสมการ (2.3) โดยที่การกำหนดค่าความหนาของกระดูก (T_R) คงที่ 2.5 มิลลิเมตร (เป็นขนาดความหนามาตรฐานของวัสดุ SS400 [48])



ภาพ 2.6 กระดูกทรวงอกของร่างกายมนุษย์ [49]



ภาพ 2.7 แผนภาพจำลองการเสียรูปของกระดุกซีโครงมนุษย์จากการยุบตัว [46]

$$I = \frac{\pi R^3}{2E \Delta R} F_R \quad (2.1)$$

$$H_R = \frac{12I}{T_R^3} \quad (2.2)$$

$$F_R = k(\Delta R) \quad (2.3)$$

เมื่อ

I คือ Area Moment of Inertia (mm^4)

E คือ Modulus of Elasticity ของวัสดุ SS400 ($190,000 \text{ N/mm}^2$)

R คือ รัศมีของกระดุกซีโครง (mm)

F_R คือ แรงกดที่กระทำต่อศพบริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบสถิต (650 N)

H_R คือ ความกว้างของกระดุกซีโครง (mm)

T_R คือ ความหนาของกระดุกซีโครง (mm)

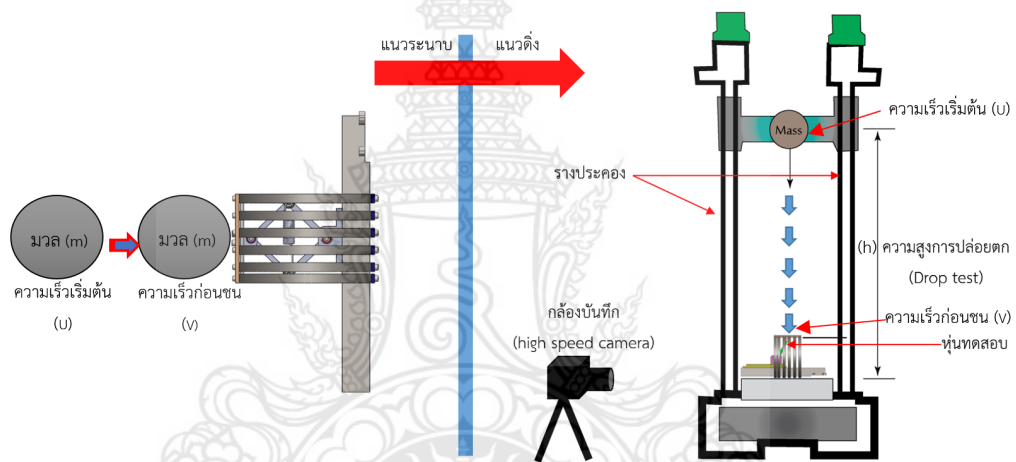
ΔR คือ ระยะยุบที่กระทำต่อศพบริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบพลวัต (76.2 mm)

k คือ ค่านิยของสปริง

2.2.2 ทฤษฎีการหาพลังงานที่กระทำกับหุ่นทดสอบตามรูปแบบการทดสอบ

พลังงานที่กระทำต่อหุ่นทดสอบเป็นความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างแรงที่กระทำต่อกระดุกซีโครง (F) บริเวณหน้าอก และระยะยุบตัวของกระดุกซีโครง (x) ที่เกิดระหว่างการทดสอบทั้งในกรณีการทดสอบสำหรับการออกแบบและกรณีการทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบ ทั้งนี้ในการ

ทดสอบสำหรับการออกแบบเป็นการพิจารณาพลังงานที่กระทำในสภาวะสถิต (Static) โดยพิจารณาเป็นการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหน้าออกของหุ่นทดสอบตั้งสมการ (2.4) ส่วนการทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบพิจารณาการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหน้าออกของหุ่นทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบสำหรับการออกแบบ โดยกำหนดจากเงื่อนไขการทดสอบในสภาวะเคลื่อนที่ (Dynamic) จากรูปแบบการทดสอบแบบปล่อยตก (Drop Test) ในแนวตั้ง ทดแทนการทดสอบแบบบังคับด้วยราง (Crash Test) ในแนวระนาบ เนื่องด้วยมีเครื่องมือทดสอบ Tower Test อยู่แล้วภายใต้ความเร็วและมวลต่าง ๆ กัน โดยจะกล่าวเพิ่มเติมในบทที่ 3 เพื่อถ่ายทอดความเข้าใจการกำหนดการรูปแบบการทดสอบจากแนวระนาบเปลี่ยนเป็นแนวตั้งแสดงดังภาพ 2.8 และสมการที่ใช้ในการและการคำนวณค่าความสูงของระยะการปล่อยตก แสดงตามสมการ (2.5) และ (2.6) ตามลำดับ



ภาพ 2.8 การพิจารณาการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหน้าออกของหุ่นทดสอบ

$$E_o = mgx \tag{2.4}$$

ระยะความสูงในการปล่อยตก กรณีมีความเร็วเริ่มต้นก่อนการเข้าชน

$$h = \frac{v^2 - u^2}{2g} \tag{2.5}$$

ระยะความสูงในการปล่อยตก กรณีไม่มีความเร็วเริ่มต้นก่อนการเข้าชน

$$h = \frac{v^2}{2g} \tag{2.6}$$

เมื่อ

E_a คือ การดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหน้าอกของหุ่นทดสอบ (J)

m คือ มวลที่กระทำต่อกระดูกซี่โครง (kg)

g คือ ความเร่งโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81 (m/s²)

h คือ ระยะความสูงในการปล่อยตก (m)

v คือ ความเร็วของมวลก่อนการชนหุ่นทดสอบ (m/s)

u คือ ความเร็วของมวลเริ่มต้น (m/s)

2.2.3 ทฤษฎีขนาดการบาดเจ็บ (Abbreviated Injury Scale: AIS) และคะแนนระดับการบาดเจ็บ (Injury Severity Score: ISS) [50]

ขนาดของการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นกับมนุษย์มีมากมายซึ่งนิยมจำแนกด้วย ประเภทการบาดเจ็บ (Type) บริเวณการบาดเจ็บ (Location) และระดับขั้นการบาดเจ็บ (Severity) โดยกำหนดสัญลักษณ์เป็นตัวย่อ (Abbreviated Injury Scale: AIS) และเป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติ ทั้งในงานประเภทต่าง ๆ เช่น การบริหารจัดการสุขภาพสำหรับการจัดการกับการบาดเจ็บของคลินิก การประเมินการบาดเจ็บที่เกิดจากอุบัติเหตุโดยการระบุสาเหตุหรือสืบหาสาเหตุการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นจากยานยนต์และการพัฒนาการออกแบบผลิตภัณฑ์ทางยานยนต์ รวมไปถึงผลกระทบที่มีต่อนโยบายสาธารณะเพื่อกำหนดกฎหมายและข้อกำหนดต่าง ๆ อีกด้วย ทั้งนี้ขนาดการบาดเจ็บที่เป็นอักษรย่อถูกกำหนดให้มีค่า 6 ระดับ (1-6 ยิ่งไปกว่านั้น ค่าทั้ง 6 ระดับนี้ถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานของการคำนวณเพื่อกำหนดคะแนนระดับการบาดเจ็บ (Injury Severity Score: ISS) โดยเลือกจากค่าสูงสุดของการบาดเจ็บ 3 ลำดับแรก ดังแสดงตามตัวอย่างในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ตัวอย่างการคำนวณขนาดการบาดเจ็บเทียบกับคะแนนระดับการบาดเจ็บ [50]

Injury Severity Score: ISS			
Region	Injury Description	AIS	Square Top Three
Head & Neck	Cerebral Contusion	3	9
Face	No Injury	0	
Chest	Fail Chest	4	16
Abdomen	Minor Contusion of Liver Complex	2	
	Rupture Spleen	5	25
Extremality	Fractured femur	3	
Extremal	No Injury	0	
Injury Severity Score			50

2.2.4 ทฤษฎีการประเมินความเสี่ยงการบาดเจ็บจากการชนกระทกของหน้าอกและท้อง (Chest and Abdomen Impact Injury Risk Assessment [51])

ในปัจจุบันการประเมินความเสี่ยงการบาดเจ็บจากการชนกระทกของหน้าอกและท้องที่มีใช้ในปัจจุบันนิยมใช้ระดับทางกายภาพที่กระทำต่อหน้าอกและท้อง โดยแบ่งการกระทกที่เกิดจากการชน 2 ลักษณะ คือ การชนด้านหน้า (Frontal Impact และการชนด้านข้าง (Lateral Impact ซึ่งค่าทางกายภาพที่บ่งบอกถึงเกณฑ์มาตรฐาน (Criteria นิยมใช้เป็นค่าเกณฑ์ความสามารถที่ร่างกายมนุษย์ยอมรับได้สูงสุดจากการชนกระทกหรือค่าความอดกลั้น (Human Tolerance for Chest and Abdomen Impact โดยกำหนดจาก ความเร่งที่เกิดการบาดเจ็บ (Acceleration Injury ค่าดัชนีของหน้าอกและท้อง (Thoracic Trauma Index: TTI ความหนืดแสดง ระดับการบาดเจ็บ (Viscous Injury VC แรงกระทำต่อกระดูกสันหลัง (Force on Sternum แรงกระทำต่อหน้าอกรวมไหล่ (Force on Chest and Shoulder ความดันที่กระทำต่อหน้าอก (Pressure on Chest สำหรับค่าเกณฑ์ความสามารถที่ร่างกายมนุษย์ยอมรับได้สูงสุดจากการชนกระทก แสดงดังตาราง 2.2 และสมการที่ใช้พิจารณาค่าทางกายภาพต่าง ๆ แสดงดังสมการ (2.7) และ (2.8) ซึ่งพิจารณาเฉพาะการชนด้านหน้าและหน้าอก

$$VC = \frac{d[x(t)]}{dt} \times \frac{x(t)}{D} \quad (2.7)$$

$$P_c = \frac{F}{A} \quad (2.8)$$

เมื่อ

VC คือ ความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บในฟังก์ชันของความเร็ว (m/s

x(t) คือ ระยะยุบของกระดูกซี่โครงในฟังก์ชันของเวลา (mm

P_c คือ ความดันที่กระทำต่อหน้าอก (kPa

A คือ พื้นที่หน้าตัดของมวลที่กระทก (m²

D คือ ความหนาของกระดูกซี่โครง (mm

ตาราง 2.2 เกณฑ์ความสามารถที่ร่างกายมนุษย์รับได้จากการชนกระทกของหน้าอกและท้อง

Criteria	Chest		Abdomen		Criteria
	Frontal	Lateral	Frontal	Lateral	
Acceleration					Acceleration
3 msec limit	60g				
TTI		85-90g			
ASA		30g			
AIS 4+		45g		39g	AIS 4+

ตาราง 2.2 (ต่อ)

Criteria	Chest		Abdomen		Criteria
	Frontal	Lateral	Frontal	Lateral	
Force					Force
Sternum	3.3 kN				
Chest + shoulder	8.8 kN	10.2 kN			
AIS 3+			2.9 kN	3.1 kN	AIS 3+
AIS 4+		5.5 kN	3.8 kN	6.7 kN	AIS 4+
Compression					Compression
Rib fracture	20%				
Stable ribcage	32%		38%		AIS 3+
Flail chest	40%	38%	48%	44%	AIS 4+
Viscous					Viscous
AIS 3+	1.0 m/sec				AIS 3+
AIS 4+	1.3 m/sec	1.47 m/sec	1.4 m/sec	1.98 m/sec	AIS 4+

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สมมติฐานการวิจัย

อันเนื่องมาจากการทำวิจัยที่จะก่อให้เกิดการกลั่นกรองข้อมูลทางความคิดต่อผู้วิจัย อีกทั้งยังเกิดประโยชน์ต่อส่วนรวมหรือสิ่งอื่นใดที่ได้นำงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ทั้งเชิงวิชาการ เชิงสังคม หรือเชิงพาณิชย์ รวมไปถึงการนำผลที่ได้จากการทำวิจัยไปแก้ปัญหาเกี่ยวกับอุบัติเหตุในประเทศไทยหรือช่วยลดความรุนแรงในขณะที่เกิดเหตุ ด้วยเหตุดังกล่าวนี้ การตั้งสมมติฐานการวิจัยจึงมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้อย่างมีคุณค่า รวมไปถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจริงกับสถานการณ์อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจริงในประเทศไทย ดังแสดงตามตาราง 3.1

ตาราง 3.1 สมมติฐานงานวิจัย

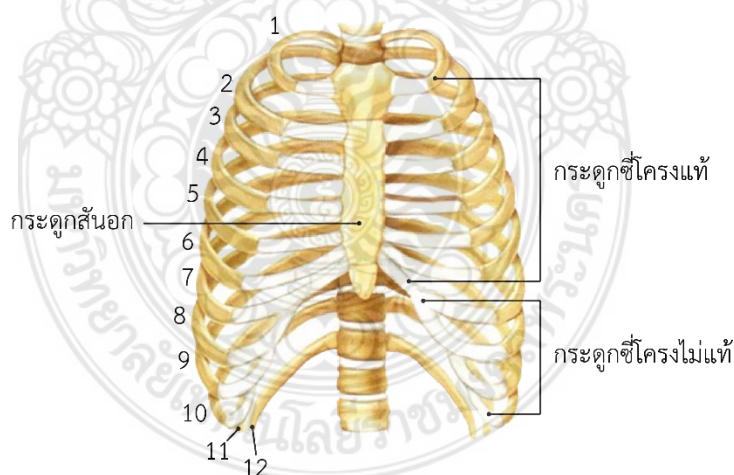
สมมติฐานการวิจัย	รายละเอียดและผลที่เกิดขึ้นจริงอย่างเป็นรูปธรรม
รถประเภทใดมีอัตราการเกิดอุบัติเหตุมากที่สุด	รถจักรยานยนต์มีอัตราการเกิดอุบัติเหตุมากกว่ารถประเภทอื่น และมีสถิติสูงเป็นอันดับที่ 1 ของโลก
ปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุคือสิ่งใด	คน คุณภาพรถ และสภาพถนน เป็นปัจจัยหลักการเกิดอุบัติเหตุ
การแก้ปัญหาที่เป็นอยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างไร	- ด้านคน ใช้เพียงการรณรงค์และประชาสัมพันธ์ เท่านั้น - ด้านคุณภาพรถ มีหน่วยงานเพียงเล็กน้อยที่ทำการประเมินคุณภาพของรถยนต์ - ด้านถนน มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการออกแบบถนนให้สอดคล้องกับความปลอดภัย
คุณภาพของรถจักรยานยนต์ที่ใช้อยู่ในประเทศไทยเป็นอย่างไร	ผู้ผลิตรถจักรยานยนต์ที่ไม่มีการแสดงผลการประเมินคุณภาพรถให้กับผู้บริโภค
มีเครื่องมือและการทดสอบใดที่แสดงให้เห็นระดับความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุ	มีเครื่องมือตรวจวัดแรงกระแทก อัตราเร่ง และอัตราหมุน ส่วนหุ่นทดสอบการชนมีเพียงสำหรับรถยนต์ และมีใช้เฉพาะสถานประกอบการรถยนต์ เท่านั้น
เหตุใดหุ่นทดสอบการชนจึงมีปรากฏให้เห็นสำหรับทดสอบไม่มากนัก	หุ่นทดสอบมีราคาสูงมาก ประกอบกับยังขาดบุคลากรที่มีองค์ความรู้ในการใช้หุ่นทดสอบเพื่อประเมินระดับคุณภาพของรถและระดับการบาดเจ็บ

3.2 ขั้นตอนการออกแบบหุ่นทดสอบการชนรถจักรยานยนต์

3.2.1 สมมติฐานการเลือกบริเวณของร่างกายเพื่อออกแบบ

อุบัติเหตุทำให้เกิดการสูญเสียทั้งทางด้านร่างกายและจิตใจ รวมไปถึงทรัพย์สิน สำหรับบริเวณที่ได้รับการบาดเจ็บที่มีระดับความรุนแรงต่อชีวิต ได้แก่ ศีรษะ และหน้าอก ซึ่งศีรษะเป็นส่วนประกอบที่นำมายึดติดกับกระดูกซี่โครงเท่าที่รวมไปถึงการออกแบบศีรษะเพื่อการทดสอบยังเป็นการออกแบบเฉพาะอีกด้วย ดังนั้นบริเวณหน้าอกโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระดูกซี่โครงจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ถูกนำมาพิจารณาเพื่อออกแบบหุ่นทดสอบรับแรงกระแทก ทั้งนี้ผู้วิจัยนำการออกแบบหุ่นทดสอบมาตรฐาน เช่น Hybrid II และ III มาใช้เป็นแนวทาง

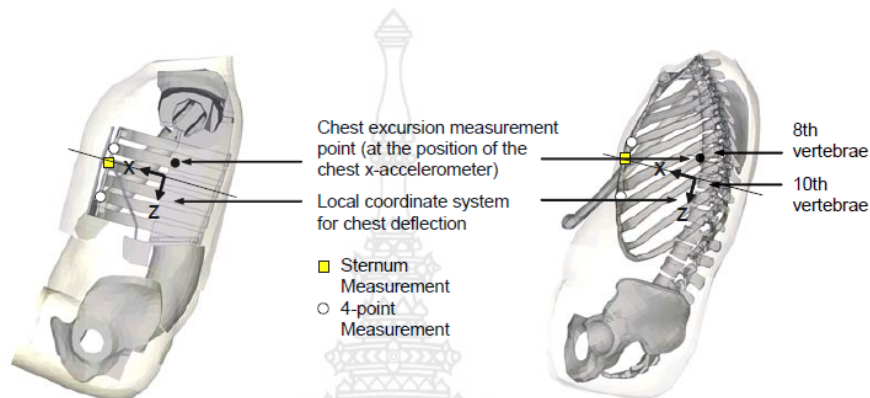
พิจารณาถึงกระดูกซี่โครงที่นำมาออกแบบควรเป็นขนาดกระดูกของคนไทยหรือคนเอเชียที่มีความใกล้เคียง เนื่องด้วยงานวิจัยนี้ต้องการสะท้อนความเป็นจริงของการชนที่เกิดกับคนไทย ซึ่งสามารถออกแบบโดยใช้อัตราสัดส่วนน้ำหนักร่างกายของมนุษย์ และสถิติศีรษะของคนไทย ที่เลือกจากเพศที่มีสถิติการเกิดอุบัติเหตุมากกว่า (เพศชาย โดยใช้ช่วงอายุระหว่าง 16-25 ปี มาเป็นเหตุผลสำคัญในการออกแบบ ทั้งนี้กระดูกซี่โครงของมนุษย์นั้นมีทั้งหมด 12 ชั้น ยึดติดกับกระดูกสันหลัง (Spinal) ส่วนด้านหน้ายึดติดกับกระดูกสันอก (Sternum วางเรียงกันเป็นชั้นจากบนลงล่างแต่ละซี่มีเส้นรอบวงไม่เท่ากันโดยทางการแพทย์เรียกกระดูกเหล่านี้ต่างออกไป เช่น กระดูกซี่โครงคู่ที่ 1-7 เรียกว่า กระดูกซี่โครงแท้ (True Ribs) กระดูกซี่โครงคู่ที่ 8-10 เรียกว่า กระดูกซี่โครงไม่แท้ (False Ribs) ส่วนกระดูกซี่โครงคู่ที่ 11 และ 12 เป็นซี่สั้น ๆ เรียกว่า ซี่โครงลอย (Floating Ribs) ดังภาพ 3.1



ภาพ 3.1 กระดูกซี่โครงแท้ซี่ที่ 2-7 ที่ยึดติดกับกระดูกสันอก [52]

นอกเหนือจากกระดูกซี่โครงจะเป็นส่วนที่สำคัญในการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับอวัยวะภายในร่างกายแล้วยังมีหน้าที่ในการดูดซับแรงกระแทกที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงมาปะทะ ภายหลังจากการเกิดแรงปะทะกระดูกซี่โครงจะคืนตัวกลับสู่ตำแหน่งเดิม ดังนั้นการออกแบบกระดูกซี่โครง (เฉพาะหน้าอก) ได้ถูกนำมาพิจารณาลักษณะทางกายภาพในการออกแบบ เช่น แรงกระทำที่เกิดขึ้น ความเร็วในการยุบตัวของหน้าอก และระยะยุบที่เกิดขึ้นในขณะที่รับแรงกระแทกตามที่กล่าวมาแล้วในเบื้องต้น

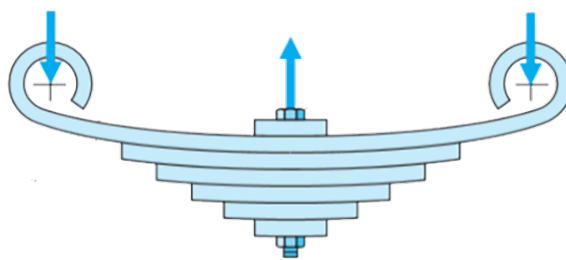
ข้อมูลนี้ถูกนำมาพิจารณาถึงกลไกการบาดเจ็บที่เกิดขึ้น (Injury Mechanism ที่สะท้อนจากพฤติกรรมที่เกิดจากการชนได้ ดังนั้นกระดุกซี่โครงคู่ที่ 1-7 ถูกใช้เป็นสมมติฐานในการออกแบบนี้ นอกเหนือจากนี้ในการทดสอบการรับแรงกระแทกของหุ่นทดสอบจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องมือวัดความเร่งและระยะยุบที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการทดสอบ เพื่อนำผลที่เกิดขึ้นมาประเมินระดับขั้นของการบาดเจ็บ โดยอ้างอิงตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดความเร่งตามหุ่นทดสอบมาตรฐาน ตามภาพ 3.2



ภาพ 3.2 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดระดับการบาดเจ็บบริเวณหน้าอกของหุ่นทดสอบ [53]

3.2.2 สมมติฐานการออกแบบกระดุกซี่โครง

ลักษณะทางกายภาพของกระดุกซี่โครงเป็นรูปวงรี (Ellipse มีความคล้ายคลึงกับอุปกรณ์รับแรงกระแทกของรถยนต์ก็คือแหนบ (Leaf Spring แสดงดังภาพ 3.3 โดยแหนบทำหน้าที่ในการดูดซับแรงกระแทกที่เกิดขึ้นจากการรับภาระน้ำหนักของตัวรถยนต์ อย่างไรก็ตามการออกแบบนี้ใช้กระดุกซี่โครง 6 ซี่ ที่เป็นกระดุกแท้ จากจำนวนทั้งหมด 12 ซี่ (เฉพาะที่ยึดติดกับกระดุกสันออก รวมไปถึงขนาดความหนาและความกว้างของชิ้นส่วนกระดุกแต่ละชิ้นจะมีค่าเท่ากัน เนื่องจากในขนาดจริงของมนุษย์มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับการออกแบบต้องคำนึงถึงระยะยุบตัวและคืนตัวเมื่อมีแรงมากระทำและดูดซับแรง โดยอาศัยทฤษฎีการออกแบบสปริงและอุปกรณ์หน่วงการเคลื่อนที่ ตลอดจนพลังงานที่เกิดขึ้น (ตามสมการ (2.1) ถึง (2.7) ยิ่งไปกว่านั้นควรพิจารณาขนาดวัสดุที่มีอยู่ในงานอุตสาหกรรมเพื่อความสะดวกในการจัดหาและสร้างหุ่นทดสอบ (เฉพาะส่วนหน้าอก อีกทั้งระยะห่างและเส้นรอบวงของกระดุกทั้ง 6 ซี่ ยังมีความจำเป็นต้องแตกต่างกัน เนื่องจากสัดส่วนระยะห่างและเส้นรอบวงของโครงกระดุกซี่โครงของมนุษย์ไม่เท่ากัน สามารถกำหนดระยะห่างและเส้นรอบวงด้วยการเทียบอัตราส่วนของหุ่นทดสอบมาตรฐานเป็นจุดอ้างอิงการออกแบบได้



ภาพ 3.3 อุปกรณ์รับแรงกระแทกภายในรถยนต์ (แหนบ) [54]

3.2.3 สมมติฐานการออกแบบสัดส่วนของกระดูกซี่โครง

การพิจารณาด้านขนาด ความกว้าง ความหนา ระยะห่างของกระดูกแต่ละชั้น และเส้นรอบวงของกระดูกซี่โครง รวมไปถึงการออกแบบสัดส่วนของหุ่นทดสอบให้มีความสอดคล้องกับอัตราสัดส่วนน้ำหนักร่างกายของมนุษย์ยังมีความสำคัญต่อการออกแบบสัดส่วนกระดูกซี่โครงของคนไทย เพื่อความแม่นยำในการทดสอบ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาข้อมูลสัดส่วนร่างกายของคนไทยเพื่อนำมาประกอบการตั้งสมมติฐานการออกแบบหุ่นทดสอบการชน (เฉพาะหน้าอก ดังแสดงใน ตาราง 3.2

ตาราง 3.2 ข้อมูลพิกัดสรีระของคนไทยที่ประกอบการออกแบบ [55]

ช่วงอายุ (year)	น้ำหนัก (kg)	ส่วนสูง (cm)	รอบอก		รอบเอว		รอบสะโพก	
			in	cm	in	cm	in	cm
เพศชาย								
16-25	64.24	171.36	37.6	95.03	30.6	77.16	36.4	92.08
26-35	70.22	170.98	39.3	99.82	33.0	83.75	37.6	95.51
36-45	71.01	169.49	39.8	100.90	34.1	86.46	37.8	96.0
46-59	71.07	168.49	39.8	101.10	35.0	88.89	37.9	96.17
60 ปีขึ้นไป	66.75	165.57	38.7	98.44	34.9	88.62	37.2	94.42
เพศหญิง								
16-25	52.70	159.32	33.6	84.89	28.6	72.67	36.3	92.22
26-35	56.26	158.28	35.0	88.42	30.4	76.99	37.6	95.32
36-45	59.79	157.27	36.3	91.80	31.7	80.34	38.4	97.18
46-59	60.05	155.56	37.4	94.82	33.1	84.03	38.8	98.49
60 ปีขึ้นไป	58.58	153.49	37.6	95.51	33.8	85.81	38.7	98.22
ค่าเฉลี่ย								
ชาย	68.83	169.46	39.10	99.20	33.5	84.79	37.4	95.0
หญิง	57.40	157.0	36.0	91.09	31.5	79.83	38.5	97.8

สำหรับการกำหนดความกว้างและระยะห่างของกระดูกแต่ละชั้น หุ่นทดสอบยานยนต์ตามมาตรฐาน Dummy Hybrid III 50th [56] ถูกนำมาเป็นต้นแบบเพื่อเทียบอัตราส่วนความกว้างและระยะห่างของชั้นกระดูก ดังนั้นพิกัดของกระดูกซี่โครงที่กว้างที่สุดถูกตั้งเป็นสมมติฐานเพื่อกำหนดกระดูกซี่โครงอื่น ๆ อีกทั้งยังใช้ระยะห่างของชั้นกระดูกจากภาพเขียนแบบ (Drawing) มาอ้างอิงเป็นข้อมูลเพื่อออกแบบหุ่นทดสอบการชน (เฉพาะหน้าอก ดังแสดงใน ตาราง 3.3 ในขณะที่การออกแบบกระดูกซี่โครงเพื่อนำมาทดสอบ แสดงดังภาพ 3.4

ตาราง 3.3 พิกัดขนาดของกระดุกซี่โครงจากหุ่นทดสอบมาตรฐานรุ่น Dummy Hybrid III 50th [56]

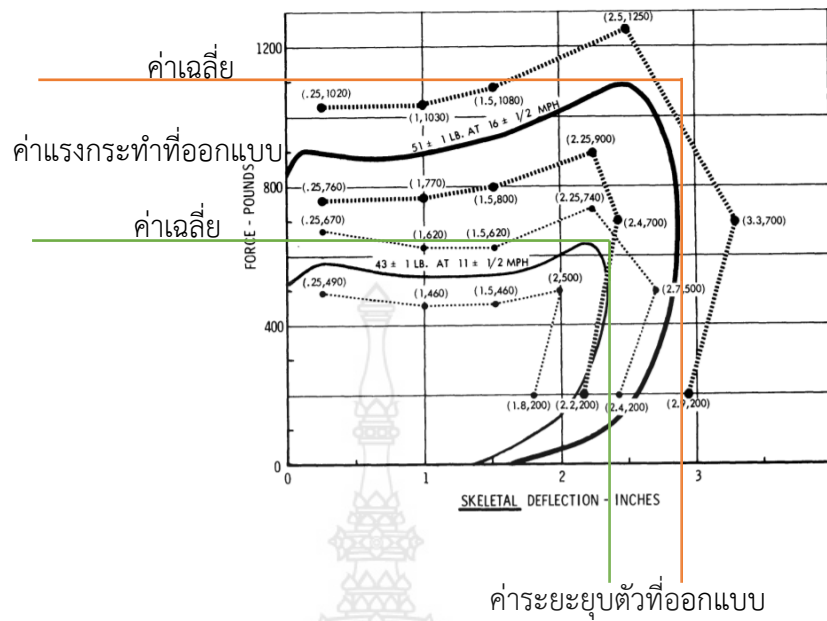
กระดุกซี่ที่	ความกว้างของกระดุกซี่โครงช่วงอกของหุ่นมาตรฐาน (mm)
2	254 (ซี่บนสุด)
3	256.54
4	287.02
5	289.56 (ซี่ที่กว้างที่สุด)
6	284.48
7	274.32 (ซี่ล่างสุด)



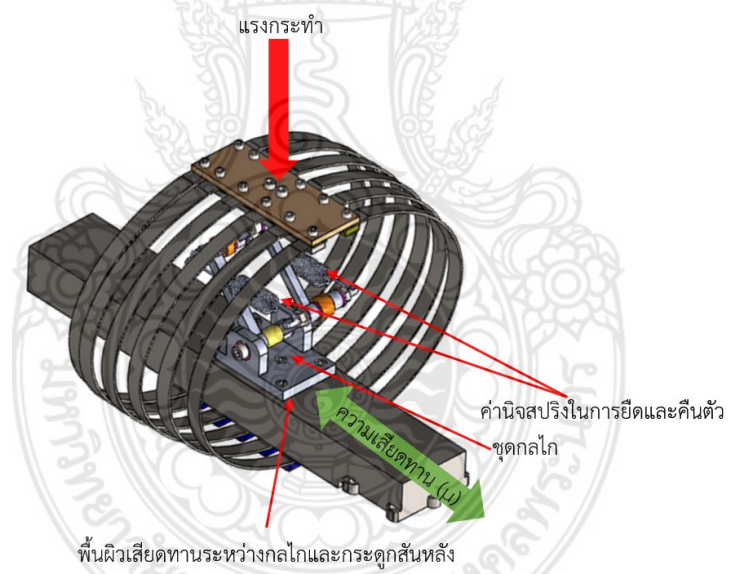
ภาพ 3.4 กระดุกซี่โครงที่ออกแบบเพื่อนำมาทดสอบ

3.2.4 ขั้นตอนการออกแบบการดูดซับพลังงานเมื่อเกิดการชน

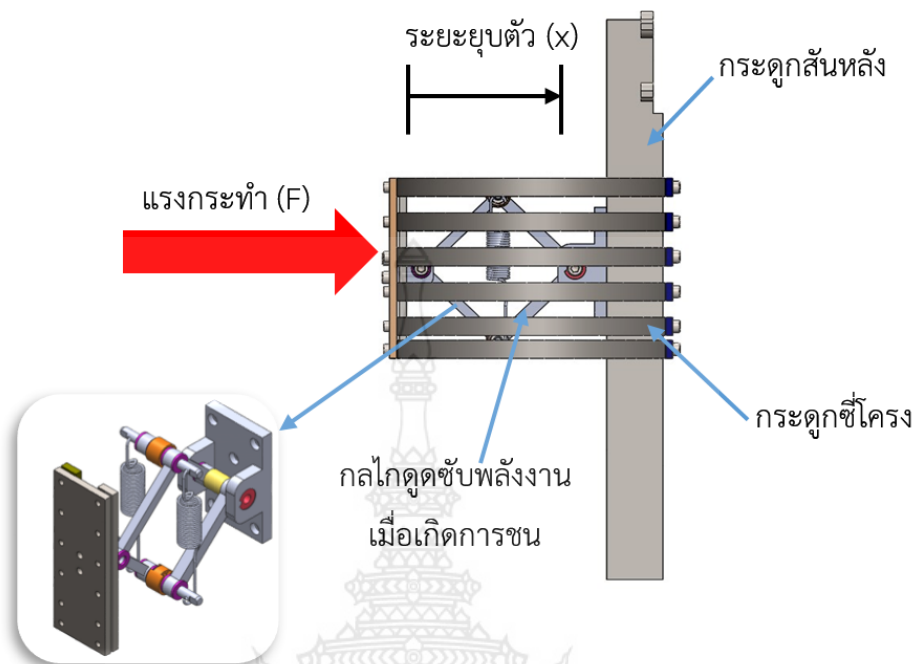
ในกรณีเกิดการชนกระดุกซี่โครงของมนุษย์มีความสามารถรองรับการยุบตัวได้ระดับหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นการออกแบบหุ่นทดสอบจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาการดูดซับพลังงานของกระดุกซี่โครงเพื่อใช้มาออกแบบกลไกการรองรับพลังงานที่มีปัจจัยสำคัญ คือ ระดับของแรงที่กระทำ (F ต่อกระดุกซี่โครงสัมพันธ์กับความเร่ง (g ระยะการยุบตัวของกระดุกโครงสร้างมนุษย์ที่รับได้ (x สำหรับแรงที่กระทำและระยะยุบตัวสามารถพิจารณาได้จากผลการศึกษาที่ได้ดำเนินการมาแล้วในอดีต โดยช่วงการออกแบบสามารถพิจารณาในช่วงค่าเฉลี่ยสูงสุด (เส้นสีส้ม และค่าเฉลี่ยต่ำสุด (เส้นสีเขียว ใน ภาพ 3.5 ซึ่งใช้เป็นสมมติฐานการออกแบบกลไก นอกเหนือจากการพิจารณาระยะยุบตัวแล้ว ยังต้องคำนึงถึงค่านิจของสปริง (k เนื่องจากค่านิจของสปริงมีผลต่อการยืดออกและคืนตัวกลับเพื่อให้กลับสู่สภาพปกติพร้อมใช้งานตามภาพ 3.6 โดยสามารถทำการทดสอบเชิงกลแบบสถิตได้ ดังนั้นจึงสามารถออกแบบชุดกลไกดูดซับพลังงานเมื่อเกิดการชนได้ตามภาพ 3.7 และหุ่นทดสอบการชนรถจักรยานยนต์สมบูรณ์แสดงดังภาพ 3.8 ตามลำดับ



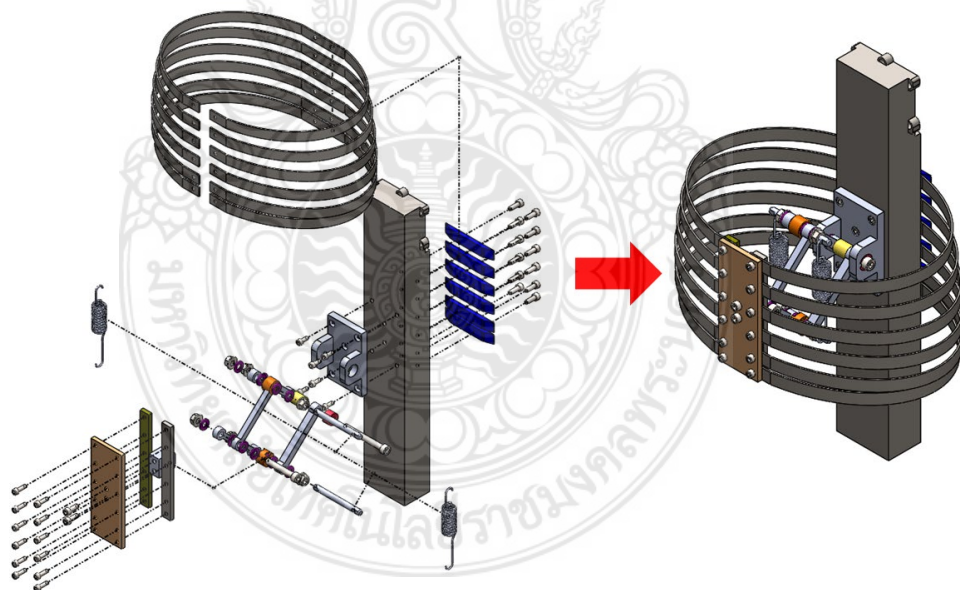
ภาพ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะยุบตัวของหน้าอกมนุษย์ที่ถูกออกแบบ [47]



ภาพ 3.6 การออกแบบจุดติดตั้งสปริงเพื่อการคืนตัวกลับตำแหน่งพร้อมใช้งาน



ภาพ 3.7 กลไกดูดซับพลังงานเมื่อเกิดการชน



ภาพ 3.8 ทุ่นทดสอบการชนรถจักรยานยนต์ที่ออกแบบสมบูรณ์

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

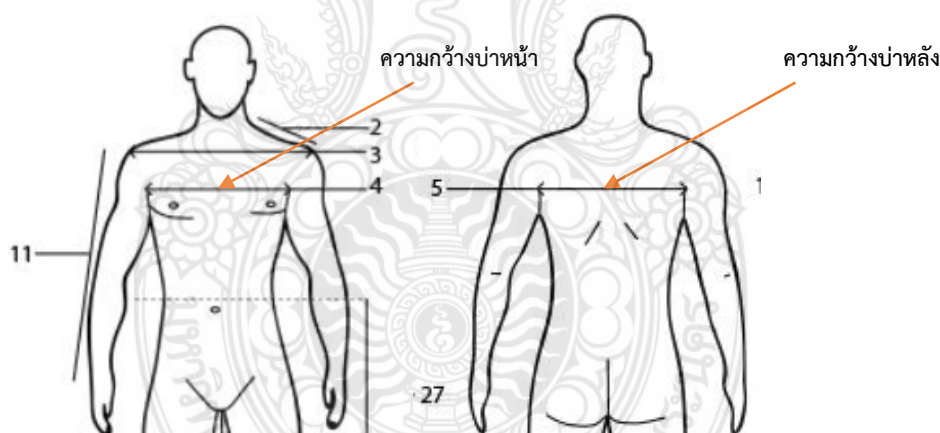
3.3.1 การออกแบบกระดุกซี่โครงทุ่นทดสอบต้นแบบ

สำหรับขั้นตอนและเกณฑ์การออกแบบกระดุกซี่โครงทุ่นทดสอบการชนต้นแบบ (เฉพาะหน้าอก มีลำดับดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาจำนวนกระดูกซี่โครงที่ใช้จริง เนื่องจากกระดูกซี่โครงของมนุษย์มีทั้งสิ้น 12 ซี่ หากแต่ในการออกแบบใช้เพียง 6 ซี่ ซึ่งเลือกเฉพาะส่วนของกระดูกซี่โครงที่ยึดติดกับกระดูกสันอก (Sternum) เท่านั้น โดยอยู่ที่ตำแหน่งกระดูกซี่ที่ 2-7 ตามภาพ 3.3

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาอัตราส่วนความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอกของหุ่นทดสอบมาตรฐาน รุ่น Dummy Hybrid III 50th ด้วยการใช้ขนาดกระดูกซี่โครงช่วงอกที่กว้างที่สุด (กระดูกซี่ที่ 5 มาเป็นเกณฑ์เริ่มต้น และเปรียบเทียบกับอัตราส่วนกับกระดูกซี่อื่น ๆ

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาขนาดความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอกของหุ่นทดสอบต้นแบบ จากการใช้ผลสำรวจรูปร่างชายไทยทั่วประเทศช่วงอายุ 16-25 ปี พบว่ามีขนาดหน้าอก 37.6 นิ้ว [57] อย่างไรก็ตาม ขนาดความกว้างกระดูกซี่โครงช่วงอกคนไทยไม่มีการระบุข้อมูลชัดเจน ดังนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างความกว้างช่วงบ่าหน้าและช่วงบ่าหลังตามภาพ 3.9 จากข้อมูลของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ. เป็น เกณฑ์ทดแทน ซึ่งความกว้างบริเวณดังกล่าวมีความใกล้เคียงเปรียบเทียบกับความกว้างบริเวณช่วงอก โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 335 มิลลิเมตร และมีความยาวเส้นรอบวงรอบอกที่ 967 มิลลิเมตร ที่ขนาดหน้าอก 38 นิ้ว ตามลำดับ [58] จากนั้นใช้อัตราส่วนของหุ่นมาตรฐานตามตาราง 3.3 มาคำนวณหาความกว้างช่วงอกและความยาวเส้นรอบวงรอบอกของหุ่นทดสอบต้นแบบต่อไป



ภาพ 3.9 ความกว้างช่วงบ่าหน้าและช่วงบ่าหลัง ที่นำมาเป็นเกณฑ์ในการคำนวณความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอก [58]

ขั้นตอนที่ 4 ทหาระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่นับจากซี่ที่ 2-7 เนื่องจากไม่มีการระบุข้อมูลอย่างชัดเจนว่าระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่ของคนไทยมีค่าเท่าใด จึงไม่สามารถใช้อัตราส่วนของหุ่นมาตรฐานเช่นเดียวกับในขั้นตอนที่ 2 มาคำนวณได้ จากเหตุผลด้านความแตกต่างด้านบริเวณของร่างกายและแนวแกนของโครงสร้างของกระดูกซี่โครง ดังนั้นจึงนำค่าระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่ของหุ่นทดสอบมาตรฐานมาเป็นเกณฑ์

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาความกว้างและความหนาของกระดูกซี่โครงหุ่นทดสอบต้นแบบจากทฤษฎีการเสียรูปของกระดูกซี่โครงมนุษย์จากการยุบตัว (Bending Deformation of the Human Thorax) [15] ตามภาพ 2.7 โดยเริ่มต้นจากคำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (Area Moment

of Inertia: I) ตามสมการ 2.1 และสมการ 2.2 ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 จากค่าแรงกดที่กระทำต่อศพบริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบสถิต (F_R) ที่ 650 นิวตัน และระยะยุบที่กระทำต่อศพบริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบพลวัต (ΔR) ที่ 76.2 มิลลิเมตร ตามงานวิจัยของ C.K. Kroell และคณะ ที่ถูกรวบรวมโดย W.King [47] เป็นเกณฑ์สมมติฐานของการคำนวณ ในขณะที่ค่าความยาวเส้นรอบวงรอบอกของกระดูกแต่ละซี่ถูกพิจารณาเป็นรัศมีของกระดูกซี่โครง (R) สุดท้ายคำนวณหาความกว้างของกระดูกซี่โครง (H_R) ด้วยการกำหนดค่าความหนาของกระดูก (T_R) คงที่ 2.5 มิลลิเมตร (เป็นขนาดมาตรฐานของวัสดุ SS400 [48] สำหรับผลการคำนวณความกว้าง ความหนา และการเลือกใช้พิกัดวัสดุของกระดูกซี่โครงหุ่นทดสอบต้นแบบ

3.3.2 การออกแบบกลไกการคืนตัวของหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบ

ปกติหน้าอกของมนุษย์มีความสามารถในการรองรับพลังงานที่เกิดจากการชนกระแทก อันเนื่องมาจากการยุบตัว และคืนตัวกลับสู่สภาพปกติคล้ายกับการทำงานของสปริง ดังนั้นการออกแบบและสร้างหุ่นทดสอบต้นแบบมีความจำเป็นต้องออกแบบกลไกการคืนตัวของหน้าอก โดยมีปัจจัยสำคัญ คือ ระดับของแรงที่กระทำ (F_R) ระยะการยุบตัวของกระดูกโครงสร้างมนุษย์ที่ได้รับ (ΔR และค่านิจสปริง (k) ตามสมการ (2.3) ทั้งนี้ค่าแรงที่กระทำ และระยะยุบตัวใช้สมมติฐานเดียวกันการออกแบบกระดูกซี่โครงที่ 650 นิวตัน และ 76.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยผลการคำนวณทางทฤษฎีปรากฏว่าค่านิจของสปริงมีค่า 8.53 นิวตันต่อมิลลิเมตร หากแต่ในกรณีการออกแบบสปริงที่ใช้ในกลไกการคืนตัวมีค่า 3.62 นิวตันต่อมิลลิเมตร ต่อเข้ากันแบบขนานจำนวน 2 ตัว ซึ่งทำให้ค่านิจของสปริงมีค่ารวมกัน 7.24 นิวตันต่อมิลลิเมตร อย่างไรก็ตามการออกแบบสปริงคืนตัวกลับนี้ไม่สามารถหาสปริงที่มีคุณสมบัติเชิงกลเทียบเท่าการออกแบบ หากแต่ผลดังกล่าวจะกระทบต่อเวลาการคืนตัวกลับเท่านั้น กลไกการคืนตัวกลับของหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบแสดงดังภาพ 3.7 และหน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบแสดงตามภาพ 3.10



ภาพ 3.10 หน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบ

3.3.3 เกณฑ์การประเมินระดับการบาดเจ็บจากการชนกระแทกของหน้าอก [51]

ในปัจจุบันการประเมินระดับการบาดเจ็บจากการชนกระแทกของหน้าอกใช้ระดับค่าทางกายภาพที่กระทำต่อหน้าอกโดยสามารถแบ่งการกระแทกที่เกิดจากการชน 2 ลักษณะ คือ การชนด้านหน้า (Frontal Impact และการชนด้านข้าง (Lateral Impact ซึ่งค่าทางกายภาพที่บ่งบอกถึงเกณฑ์มาตรฐาน (Criteria นิยมใช้เป็นค่าเกณฑ์ความสามารถที่ร่างกายมนุษย์ยอมรับได้สูงสุดจากการชนกระแทกหรือค่าความอดกลั้น (Human Tolerance for Chest Impact โดยกำหนดจากค่าการกระทำทางกายภาพดังต่อไปนี้ คือ ความเร่ง (Acceleration แรงกระทำต่อกระดูกสันหลัง (Force on Sternum แรงกระทำต่อหน้าอกรวมไหล่ (Force on Chest and Shoulder และความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บ (Viscous Injury: VC ดังแสดงตาม ตาราง 3.4 ในกรณีของความเร่งที่เกิดการบาดเจ็บ แรงกระทำต่อกระดูกสันหลัง (Force on Sternum และแรงกระทำต่อหน้าอกรวมไหล่สามารถประเมินผลจากเครื่องมือวัดทางกายภาพได้ (Sensors ส่วนกรณีความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บสามารถคำนวณได้ตามสมการ (2.7) ผลจากวัดและคำนวณถูกประเมินตามคะแนนระดับการบาดเจ็บ (AIS Score) ที่มีสัญลักษณ์เป็นตัวย่อ (Abbreviated Injury Scale: AIS แบ่งได้เป็น 6 ระดับ และให้ความหมายแต่ละระดับตามตาราง 3.5

ตาราง 3.4 เกณฑ์ประเมินระดับการบาดเจ็บจากการชนกระแทกของหน้าอก [51]

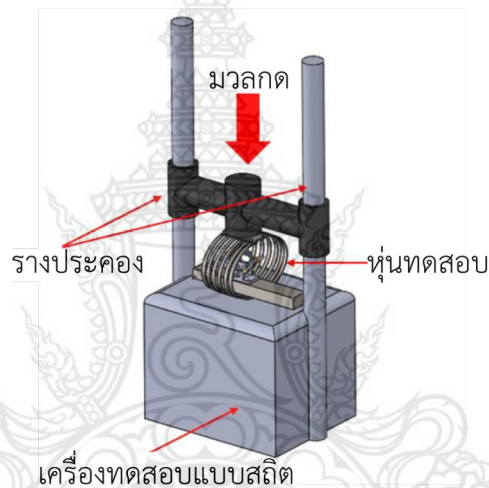
เกณฑ์มาตรฐาน (Criteria)	บริเวณการชนกระแทกของหน้าอก		
	ด้านหน้า (Frontal)	ด้านข้าง (Lateral)	
ความเร่ง (Acceleration)	60g	-	
แรงกระทำ (Force)	กระดูกสันหลัง (Sternum)	3.3 kN	
	หน้าอกรวมไหล่ (Chest and shoulder)	8.8 kN	10.2 kN
ความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บ (Viscous Injury)	AIS 3+	1.0 m/s	-
	AIS 4+	1.3 m/s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

ตาราง 3.5 คะแนนระดับขั้นการบาดเจ็บ [59]

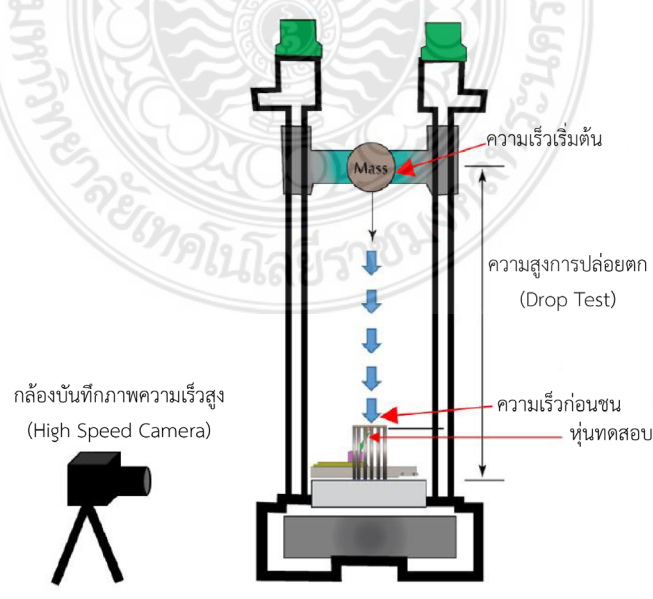
คะแนนระดับการบาดเจ็บ (AIS Score)	ความหมายของคะแนนระดับการบาดเจ็บ
1	เล็กน้อย (Minor)
2	ปานกลาง (Moderate)
3	รุนแรง (Serious)
4	สาหัส (Severe)
5	วิกฤต (Critical)
6	เสียชีวิต (Maximal)

3.3.4 การทดสอบความสามารถหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบ

การทดสอบความสามารถหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบแบ่งได้เป็น 2 การทดสอบ คือ 1 การทดสอบแบบสถิต (Static Test) โดยวิธีการวางมวลแนวดิ่งทับหุ่นทดสอบและพิจารณาระยะยุบตัวที่สัมพันธ์กับแรงกระทำ ดังแสดงในภาพ 3.11 และ 2 การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) โดยวิธีการแขวนมวลพิกัดความสูงต่าง ๆ และคำนวณพลังงานที่เกิดจากพิกัดความสูงของจุดปล่อยตก เพื่อทำการวัดค่าการยุบตัวของหุ่นทดสอบด้วยการใช้กล้องความเร็วสูง ตรวจสอบวัดค่าทางกายภาพ เช่น แรง และความเร่ง ที่วัดจากอุปกรณ์ตรวจวัดทางกายภาพที่ทำการติดตั้งภายในตัวหุ่นทดสอบ และทำการเปรียบเทียบพลังงานที่เกิดจากการออกแบบกับค่าการทดสอบที่กระทำต่อศพตามข้อมูลอ้างอิงจากการวิจัย [47] ดังแสดงในภาพ 3.12



ภาพ 3.11 การทดสอบการกดแบบสถิต



ภาพ 3.12 การทดสอบแบบพลวัต

3.4 ผลการคำนวณออกแบบกระดูกซี่โครงและผลการออกแบบการทดสอบ

จากที่กล่าวมาแล้วในส่วนของทฤษฎีการคำนวณในบทที่ 2 และขั้นตอนการดำเนินการวิจัยในข้างต้นของบทที่ 3 และทำให้สามารถสรุปผลการออกแบบประกอบด้วย อัตราส่วนขนาดกระดูกซี่โครงจากหุ่นทดสอบมาตรฐานและผลการคำนวณรายละเอียดกระดูกซี่โครงตามตาราง 3.6 และตาราง 3.7 ยิ่งไปกว่านั้น เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาผู้วิจัยจึงทำการสรุปภาพรวมการออกแบบโดยมีรายละเอียดแสดงดังตาราง 3.8

ตาราง 3.6 อัตราส่วนขนาดกระดูกซี่โครงจากหุ่นทดสอบมาตรฐาน (Dummy Hybrid III 50th) [56]

กระดูกซี่ที่	กระดูกซี่โครงช่วงอกของหุ่นมาตรฐาน (Hybrid III)		
	ความกว้าง (mm)	อัตราส่วนเทียบกับกระดูกซี่โครงช่วงอกที่กว้างที่สุด	ระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่นับจากซี่ที่ 2 (mm)*
2	254 (ซี่บนสุด)	1:1.14	0.00
3	256.54	1:1.13	28.45
4	287.02	1:1.01	56.90
5	289.56 (ซี่ที่กว้างที่สุด)	1:1	85.60
6	284.48	1:1.02	114.30
7	274.32 (ซี่ล่างสุด)	1:1.06	142.75

* ระยะอ้างอิงจากหุ่นทดสอบมาตรฐาน (Dummy Hybrid III 50th)

จากระยะอ้างอิงจากหุ่นทดสอบมาตรฐานหุ่น (Dummy Hybrid III 50th) ใน ตาราง 3.6 ทำให้สามารถสรุปความกว้างได้ ซึ่งในกรณีนี้กระดูกซี่ที่ 5 มีความกว้างสูงที่สุดที่ 289.56 มิลลิเมตร และมีระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่นับจากกระดูกซี่ที่ 2 ถึงซี่ที่ 7 เพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้จากข้อมูลดังกล่าวทำให้สามารถนำมาพิจารณาถึงอัตราส่วนเทียบกับกระดูกซี่โครงช่วงอกที่กว้างที่สุด (ซี่ที่ 5 โดยกระดูกซี่ที่ 2 มีอัตราส่วนสูงสุด ในขณะที่กระดูกซี่ที่ 4 มีอัตราส่วนน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามอัตราส่วนดังกล่าวนี้มีความสมเหตุสมผลเนื่องจากกายวิภาคของมนุษย์มีความกว้างช่วงอกของกระดูกซี่ที่ 2 ต่ำสุด ยิ่งไปกว่านั้นอัตราส่วนเทียบกับกระดูกซี่โครงช่วงอกที่กว้างที่สุดดังกล่าวนี้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณรายละเอียดกระดูกซี่โครงต่อไปตามตาราง 3.7

ตาราง 3.7 พิกัดการออกแบบกระดูกซี่โครงของหุ่นทดสอบต้นแบบ

กระดูกซี่ที่	ความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอก (mm)*	ความยาวเส้นรอบวงรอบอก (mm)*	ระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่นับจากซี่ที่ 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

พิกัดการออกแบบกระดูกซี่โครงของหุ่นทดสอบต้นแบบ โดยใช้กระดูกซี่ที่ 5 เป็นขนาดจริงตามสัดส่วนของชายไทย ที่ความกว้างช่วงบ่า 335 มิลลิเมตร ความยาวเส้นรอบวง 967 มิลลิเมตร ยิ่งไปกว่านั้น ยังใช้เป็นต้นแบบในการกำหนดขนาดของกระดูกซี่โครงซี่อื่น ๆ ได้ แสดงดังตาราง 3.7

ตาราง 3.8 ผลการคำนวณรายละเอียดกระดูกซี่โครงและการเลือกพิกัดที่ใช้ออกแบบ

กระดูกซี่ที่	C_L (mm)	R (mm)	ΔR (mm)	F_R (N)	I (mm ⁴)	* T_R (mm)	H_R (mm)	ค่า ออกแบบ (mm)
2	848.25	135.07			14.47		11.10	
3	856.73	136.42			14.91		11.45	
4	958.52	152.63			20.89		16.04	
5	967.00	153.98	76.2	54.17	21.44	2.5	16.47	15 x 2.5
6	950.04	151.28			20.34		15.62	
7	916.11	145.88			18.23		14.00	
ค่าเฉลี่ยความกว้างจากการออกแบบ							14.12	

* ความหนามาตรฐานของวัสดุ SS400 [17]

อ้างอิงข้อมูลขนาดหน้าอก 38 นิ้วของชายไทยของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ทำให้ทราบถึงความยาวเส้นรอบวงรอบอกที่ 967 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นกระดูกซี่ที่ 5 และนำอัตราส่วนเทียบกับกระดูกซี่โครงช่วงอกที่กว้างที่สุดตามตาราง 3.6 มาคำนวณความยาวเส้นรอบวงรอบอกของกระดูกซี่อื่น ๆ ได้ ในกรณีของการคำนวณความกว้าง (H_R) ใช้เงื่อนไขการออกแบบระยะยุบ (ΔR แรงกระทำของหน้าอก (F_R ที่ 76.2 มิลลิเมตร และ 54.17 นิวตัน รวมไปถึงความหนามาตรฐานของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบ ทำให้สามารถคำนวณความกว้างเฉลี่ยของกระดูกซี่โครงมีค่า 14.12 มิลลิเมตร

แสดงตามตาราง 3.8 อย่างไรก็ตามค่าการออกแบบเลือกใช้เป็นพิสัยขนาดความกว้างและความหนาที่ 15x2.5 มิลลิเมตร นอกเหนือจากนี้ การออกแบบทั้งหมดถูกสรุปและนำเสนอเป็นภาพรวมดังแสดงในตาราง 3.9

ตาราง 3.9 สรุปภาพรวมการออกแบบหุ่นทดสอบ

รายการ	ค่าพิกัด/ประเภท
กระดุกซี่โครง	
ความกว้าง* ความหนา (mm)	15*2.5
จำนวนกระดุก (ชิ้น)	6
ความยาวกระดุกแต่ละชิ้นจากบน-ล่าง (mm)	848.25 (บน, 8 56.73, 958.52, 967.00 950.04, 916.11 (ล่าง
ความสูงแต่ละชิ้นนับจากบน-ล่าง (mm)	0 (บน, 28.45, 56.90, 85.860 114.30, 142.75 (ล่าง
ความโตของกระดุกแต่ละชิ้นนับจากบน-ล่าง (mm)	293.86 (บน, 296.80, 332.06, 335 329.12, 317.37 (ล่าง
วัสดุ (ประเภท)	ASTM 36, SS400
กระดุกสันหลัง	
ความกว้าง*ความยาว*ความหนา (mm)	74.42*460*46
จำนวนจุดยึดกระดุกซี่โครง (จุด)	12
วัสดุ (ประเภท)	ASTM 36, SS400
กลไก	
ระยะยุบสูงสุด (mm)	76.2
จำนวนสปริง (ชิ้น)	2
ค่านิจสปริง (N/mm)	7.24
วัสดุโครงสร้าง (ประเภท)	SUS304
วัสดุรองรับการสั่นสะเทือน (ประเภท)	Polyurethane

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบประกอบด้วยการทดสอบแบบสถิตและการทดสอบแบบพลวัตซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการประเมินระดับการบาดเจ็บ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบการกดแบบสถิต

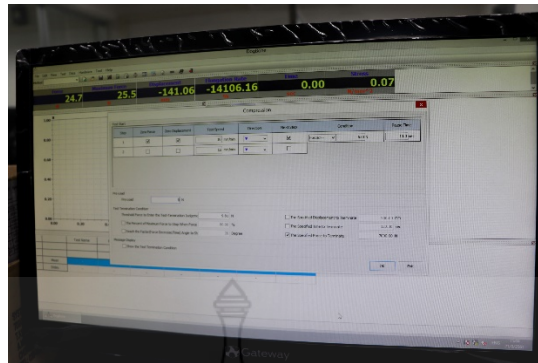
ก่อนทำการทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบ มีความจำเป็นต้องมีการทดสอบการกดแบบสถิตภายใต้การเปลี่ยนแปลงความเร็วกด เพื่อทำการศึกษาความแตกต่างของความสัมพันธ์ของระยะยุบตัวและแรงกระทำ (Static Curves ของหุ่นทดสอบ ทั้งนี้ตามงานวิจัยของ C.K. Kroell และคณะ [41] ที่ได้จำลองการทดสอบพลังงานการต้านการรับแรงบริเวณหน้าอกกับศพด้วยการกดแบบสถิต ที่เสียชีวิตมาแล้วในช่วง 2-10 วัน โดยมากใช้ในช่วงเวลา 4 วัน หลังเสียชีวิต สำหรับการทดสอบการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหุ่นทดสอบภายใต้ความเร็วของการกดที่ (100 200 และ 300 มิลลิเมตรต่ออนาที โดยวิธีการทดสอบแสดงดัง ภาพ 4.1 ถึง ภาพ 4.3 ตามลำดับ ส่วนผลของพฤติกรรม การยุบตัวของหน้าอกบริเวณหน้าอกภายใต้ความเร็วต่าง ๆ และพฤติกรรมดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหุ่นทดสอบสูงสุดภายใต้การออกแบบ แสดงดังภาพ 4.4 และภาพ 4.5



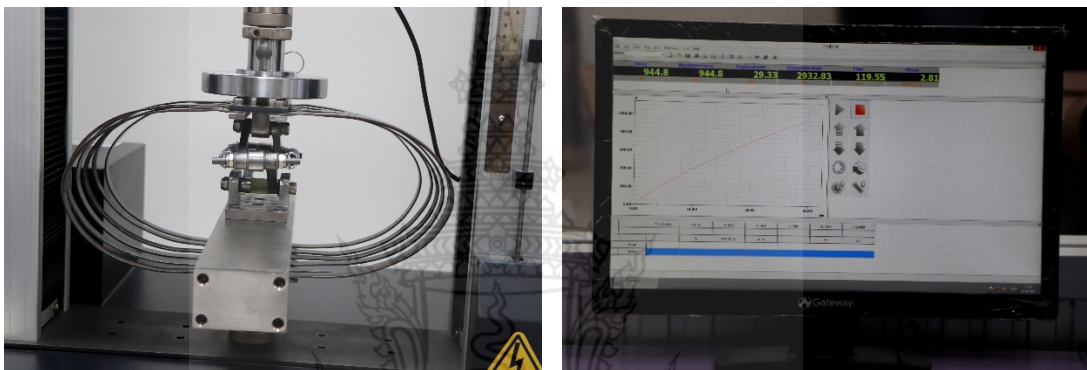
(ก)

(ข)

ภาพ 4.1 การติดตั้งหุ่นทดสอบบนเครื่องทดสอบแบบสถิต Universal Testing Machine (ก Pre-load (ข การจัดตำแหน่งทดสอบกดบริเวณหน้าอกหุ่นทดสอบ



ภาพ 4.2 การตั้งค่าการทำงานบนเครื่องทดสอบแบบสถิต



(ก)

(ข)

ภาพ 4.3 การทำงานของเครื่องทดสอบ (ก) การกดหน้าอกหุ่นทดสอบ และ (ข) การ บันทึกผลการทดสอบ

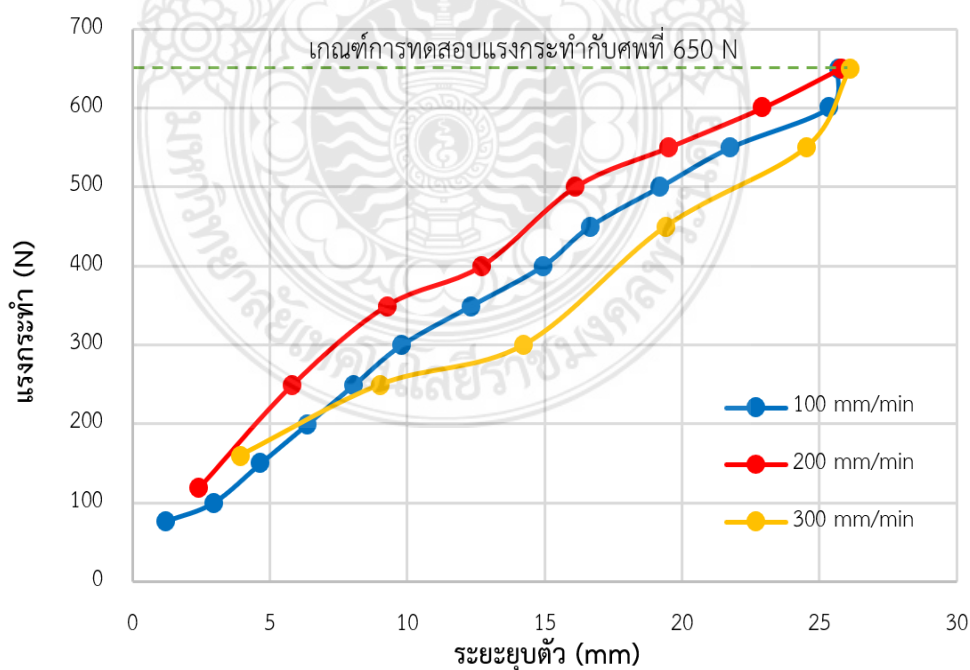
ตาราง 4.1 ผลการทดสอบการกดแบบสถิตภายใต้ความเร็วในการกดต่าง ๆ

แรงที่กระทำภายใต้ (N)			ระยะยุบตัว (mm)			การดูดซับพลังงาน (J)		
ความเร็ว (mm/min)			ความเร็ว (mm/min)			ความเร็ว (mm/min)		
100	200	300	100	200	300	100	200	300
77	119	160	1.23	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		

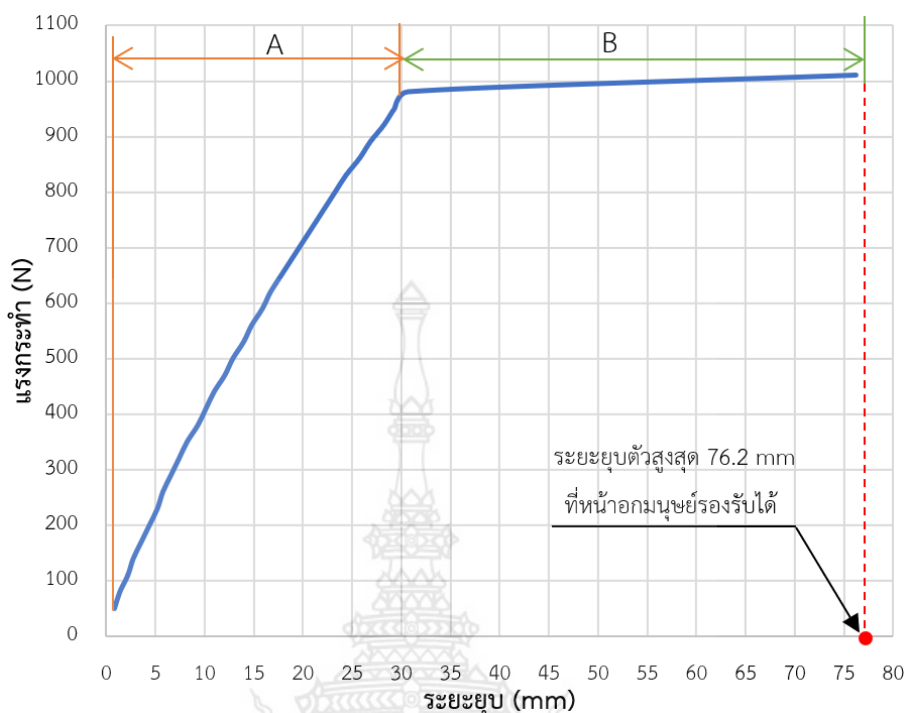
ตาราง 4.1 (ต่อ)

แรงที่กระทำภายใต้			ระยะยวบตัว			การดูดซับพลังงาน		
(N)			(mm)			(J)		
ความเร็ว (mm/min)			ความเร็ว (mm/min)			ความเร็ว (mm/min)		
100	200	300	100	200	300	100	200	300
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		

ผลการทดสอบการกดแบบสถิตภายใต้ความเร็วในการกดต่าง ๆ ตามตาราง 4.1 เปิดเผยให้เห็นว่า ภายใต้แรงกระทำสูงสุดที่กำหนดไว้ 650 นิวตัน ตามงานวิจัยของ C.K. Kroell นั้น ความเร็วในการกดไม่มีผลต่อระยะยวบตัวของหน้าอกหุ่นทดสอบ เนื่องจากระยะยวบตัวมีความใกล้เคียงกันมากโดยมีค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ความเร็วที่ 25.865 มิลลิเมตร อีกทั้งผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้านค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำมากที่สุดที่ 0.19 เท่านั้น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการพิจารณาการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหน้าอกที่มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 16.812 จูล และ 0.123 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การทดสอบแบบสถิตภายใต้ความเร็วที่แตกต่างกันนี้ที่แสดงความแตกต่างอย่างชัดเจน คือ ภาระแรงกระทำก่อนกด (Pre-load เท่านั้น) ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นตามความเร็วที่กด



ภาพ 4.4 พฤติกรรมการยวบตัวของหน้าอกของหุ่นทดสอบ



ภาพ 4.5 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานบริเวณหน้าอกสูงสุดของหุ่นทดสอบ

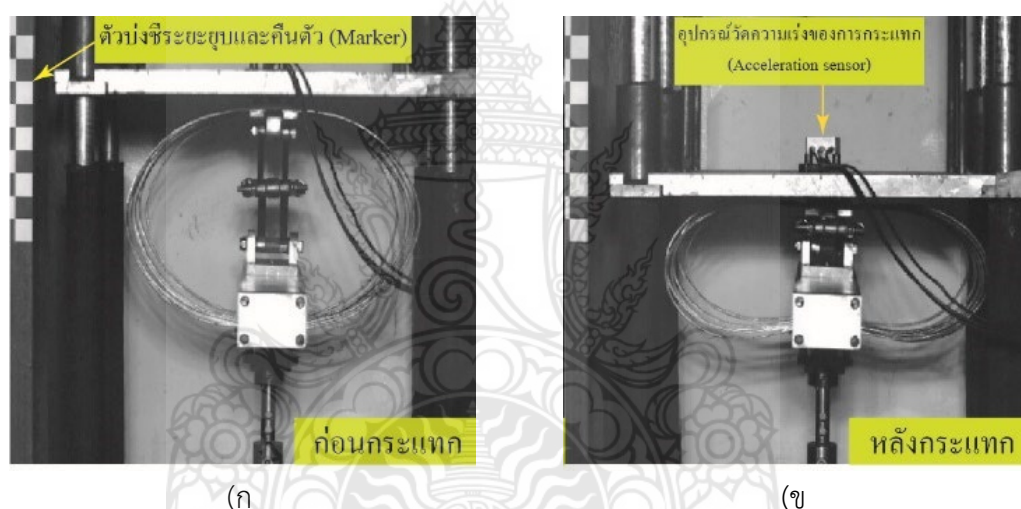
ผลการทดสอบพฤติกรรมการดูดซับพลังงานบริเวณหน้าอกสูงสุดจากในภาพ 4.5 แสดงให้เห็นว่าแรงกระทำสูงสุดในช่วง A และช่วง B มีค่า 982 นิวตัน และ 1,014 นิวตัน ตามลำดับ สำหรับความสัมพันธ์ของแรงกระทำและระยะยุบตัวในช่วงเริ่มต้น (ช่วง A มีแนวโน้มการยุบตัวค่อนข้างต่ำ อันเป็นผลของคุณสมบัติวัสดุที่ออกแรงต้านทานแรงกระทำได้สูงมาก หลังจากนั้นในช่วงที่วัสดุมีอาจต้านทานการยุบตัวได้จากแรงกระทำที่ค่อนข้างคงที่ (ช่วง B ทำให้ระยะยุบตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้พฤติกรรมดังกล่าวความคล้ายคลึงกับพฤติกรรมการดูดซับพลังงานของหน้าอกมนุษย์ที่มีความสามารถรองรับแรงกระทำที่ทำให้กระดูกซี่โครงยุบตัวลงถึงจุดหนึ่ง และหากแรงกระทำยังคงที่อย่างต่อเนื่อง กระดูกซี่โครงจะเกิดการยุบตัวถาวรหรือเกิดการแตกหัก ทำให้ระดับการบาดเจ็บมีผลถึงความตายก็เป็นได้ ดังนั้น การออกแบบหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบมีความสามารถในการรับแรงกระทำสูงสุดภายใต้สภาวะสถิตได้

4.2 ผลการทดสอบแบบพลวัตของกระดูกซี่โครง

อ้างอิงการทดสอบแบบพลวัตของ W.King [47] ที่กระทำต่อศพ สำหรับวิธีการทดสอบดังกล่าว มวลที่กระทำต่อหน้าอกและความเร็วในการเข้ากระแทกถูกกำหนด ด้วยเครื่องทดสอบการกระแทกแนวระนาบ (Blunt Impactor Machine โดยผลการทดสอบพิจารณาถึงขีดสุดของแรงกระแทก (Peak of Impact Force) และระยะยุบตัวของหน้าอก อย่างไรก็ตาม สำหรับงานวิจัยนี้ นำเครื่องทดสอบการปล่อยตก (Drop Test) ที่มีลักษณะการทดสอบตามภาพ 3.12 มาประยุกต์ใช้งาน โดยมีวัตถุประสงค์สำหรับเปลี่ยนทิศทางของแรงกระแทกจากแนวระนาบเป็นแนวตั้ง ทั้งนี้มวลที่ใช้ในการกระแทกเป็นแบบยึดติด (Fixed) ที่ขนาดพิกัด 16 กิโลกรัม ดังนั้น ความสูงจึงจำเป็นต้องทดลอง

เปลี่ยนแปลง (Trial) ระดับของความสูง โดยตั้งสมมติฐานการทดลองมุ่งเน้นไปที่การยุบตัวของหุ่นทดสอบให้มีค่าใกล้เคียงกับระยะยุบตัวของหน้าอกมนุษย์มากที่สุดที่ 76.2 มิลลิเมตร ซึ่งตามสมมติฐานนี้มีการกำหนดไว้ที่ความสูง 2 ระดับ คือ 0.125 และ 1 เมตร ตามลำดับ สำหรับการหาระยะยุบตัวและระยะคืนตัวในขณะทดสอบใช้กล้องบันทึกความเร็วสูง (High Speed Camera) ที่ระดับ 1,000 เฟรมต่อวินาที และตัวบ่งชี้ระยะการยุบและคืนตัว (Marker) ที่ติดตั้งบริเวณเครื่องทดสอบ ส่วนกรณีความเร่งของการกระแทกใช้อุปกรณ์วัดความเร่ง (Acceleration Sensor) ที่ติดตั้งบนมวลทดสอบเพื่อนำผลการวัดมาคำนวณหาค่าแรงกระแทกด้วยความถี่ 1,000 เฮิร์ตซ์

นอกเหนือจากนี้ ระยะยุบตัว ระยะคืนตัวสูงสุด ความเร่งของการกระแทก และแรงกระแทก อันเป็นผลจากการทดสอบถูกนำมาคำนวณหาความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บเพื่อใช้ในการชี้วัดขีดความสามารถในการรองรับการชนกระแทกที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าอก สำหรับลักษณะการทดสอบแบบพลวัตแสดงดังภาพ 4.6 และผลการทดสอบแสดงดังตาราง 4.2 และตาราง 4.3



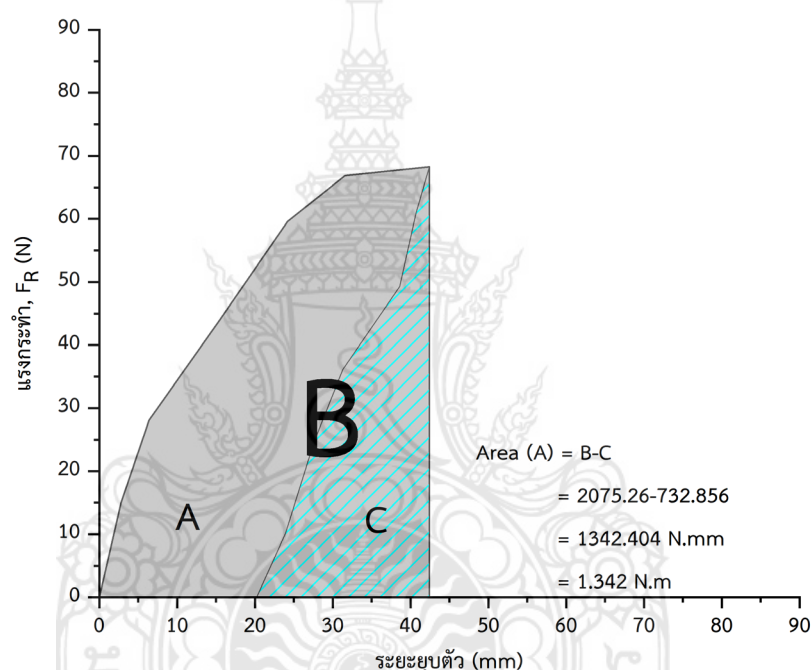
ภาพ 4.6 การทดสอบแบบพลวัตของหุ่นทดสอบ (ก) ก่อนกระแทก และ (ข) หลังกระแทก

ตาราง 4.2 ผลการทดสอบแบบพลวัตที่ระยะความสูงการปล่อยตก 0.125 เมตร

เวลา t (s)	ระยะยุบตัว x (mm)	ความเร่งที่กระแทก a (g)	แรงกระแทกบริเวณ หน้าอก F (N)	ช่วงพฤติกรรม
0	0	0	0.00	ก่อนกระแทก
0.001	2.8	1.110	14.99	จุดยอดของแรง
0.002	6.4	2.081	28.10	จุดขับพลังงาน
0.003	15.4	3.249	43.87	
0.004	24.2	4.415	59.60	
0.005	31.6	4.952	66.86	แรงกระทำสูงสุด
0.006	42.4	5.056	68.26	

ตาราง 4.2 (ต่อ)

เวลา t (s)	ระยะยุบตัว x (mm)	ความเร่งที่กระแทก a (g)	แรงกระแทกบริเวณ หน้าอก F (N)	ช่วงพฤติกรรม
0.007	40.7	4.516	60.98	
0.008	38.6	3.650	49.28	
0.009	31.3	2.677	36.15	ช่วงคืนตัวกลับ
0.01	27.6	1.827	24.67	
0.011	23.9	0.747	10.09	
0.012	20.2	0	0.00	หยุดการคืนตัว

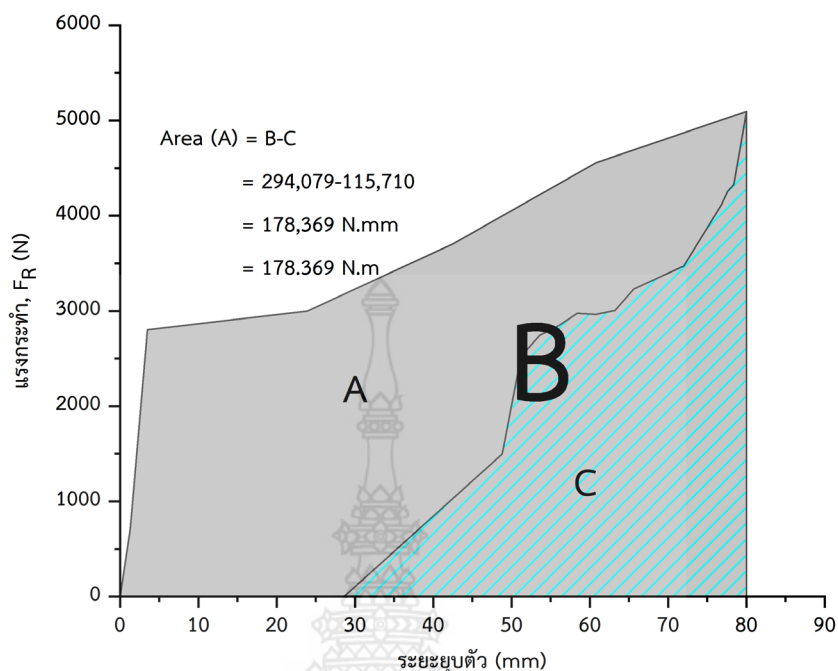


ภาพ 4.7 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานที่ระยะความสูงการปล่อยตก 0.125 เมตร

ผลการทดสอบตามตาราง 4.2 และภาพ 4.7 แสดงให้เห็นว่า ที่ความสูงในการปล่อยตก 0.125 เมตร ใช้เวลาการทดสอบเพียง 12 มิลลิวินาที เท่านั้น ซึ่งสามารถอธิบายพฤติกรรมทางกายภาพของหุ่นทดสอบได้โดยในช่วงเวลาตั้งแต่ 2 ถึง 5 มิลลิวินาที เป็นช่วงของดูดซับพลังงาน ในช่วงพฤติกรรมดังกล่าว ความเร่งของการกระแทกมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งมีค่าสูงสุด 5.056g ที่เวลา 6 มิลลิวินาที หลังจากนั้น ช่วงเวลาตั้งแต่ 7 ถึง 11 มิลลิวินาที เป็นช่วงการคืนตัวของหน้าอกโดยสังเกตได้จากความเร่งของการกระแทกและระยะยุบตัวมีแนวโน้มลดลง จนกระทั่งหยุดการคืนตัวที่เวลา 12 มิลลิวินาที ทั้งนี้ในเวลาดังกล่าว ระยะยุบตัวของหน้าอกยังคงมีค่า 20.2 มิลลิเมตร ทั้งที่ปราศจากแรงกระแทก เนื่องจากการโก่งตัวของโครงสร้างกระดูกซี่โครง (Deflection of the Rib Cages) ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการยุบตัวของหน้าอกมนุษย์จากการชนกระแทกที่มีแรงกระแทกระดับหนึ่งจนไม่สามารถคืนตัวกลับอยู่ในสภาพปกตินั่นเอง

ตาราง 4.3 ผลการทดสอบแบบพลวัตที่ระยะความสูงการปล่อยตก 1 เมตร

เวลา t (s)	ระยะยุบตัว x (mm)	ความเร่งที่กระแทก a (g)	แรงกระแทกบริเวณ หน้าอก F (N)	ช่วงพฤติกรรม
0	0	0	0.00	ก่อนกระแทก
0.001	1.3	5.367	710.75	จุดยอดของแรง
0.002	3.5	21.179	2804.83	
0.003	23.9	22.640	2998.35	จุดขับพลังงาน
0.004	42.5	27.967	3703.76	
0.005	60.8	34.403	4556.19	แรงกระทำสูงสุด
0.006	80	38.470	5094.79	
0.007	79.2	35.488	4699.84	ช่วงคืนตัวกลับ
0.008	78.4	32.692	4329.62	
0.009	77.6	32.150	4257.80	
0.010	76.8	31.083	4116.52	
0.011	72	26.219	3472.25	
0.012	65.6	24.379	3228.67	
0.013	63.2	22.679	3003.49	
0.014	60.8	22.391	2965.30	
0.015	58.4	22.453	2973.61	
0.016	56	21.470	2843.41	
0.017	53.6	20.737	2746.26	หยุดการคืนตัว
0.018	51.2	19.060	2524.25	
0.019	48.8	11.313	1498.28	
0.020	28.6	0	0.00	



ภาพ 4.8 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานที่ระยะความสูงการปล่อยตก 1 เมตร

ผลการทดสอบตามตาราง 4.3 และภาพ 4.8 แสดงให้เห็นว่า พฤติกรรมทางกายภาพในทุกช่วงของการทดสอบที่ความสูง 1 เมตร นั้นมีความคล้ายคลึงกับการทดสอบที่ความสูง 0.125 เมตร เพียงแต่มีช่วงระยะเวลาของการดูดซับพลังงานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความเร็วก่อนการกระแทกสูงถึง 15.94 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในขณะที่ความเร็วที่ความสูง 0.125 เมตร มีเพียง 5.64 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่านั้น นอกเหนือจากนี้ ระยะยุบตัวของหม้อทดสอบมีค่าสูงสุดที่ 80 มิลลิเมตร และความเร่งของการกระแทกสูงสุดที่ 38.47g รวมไปถึงแรงกระแทกสูงสุด 5094.79 นิวตัน ที่เป็นผลจากการคำนวณค่าความเร่งของการกระแทก

หากกล่าวถึงพฤติกรรมการดูดซับพลังงานของหม้อทดสอบ โดยทั่วไปแล้ววัสดุทุกประเภทจะเกิดความเครียดเมื่อมีแรงมากระทำ (Strain-rate) อย่างไรก็ตามก็ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของความเค้นความเครียดของวัสดุนั้นด้วย ซึ่งเมื่อมีความเร็วเข้ามากระทำกับวัสดุนั้นธรรมชาติจะทำการจัดเรียงอะตอมใหม่ ดังนั้นเมื่อเกิดอัตราความเครียดสูงและอัตราความเค้นสูง (Higher Strain Rate and Higher Stress) ด้วยคุณสมบัติทางกลของวัสดุจึงลดความสามารถในการยืดตัวต่อการเสียรูปของวัสดุ [60] ที่ความเร็วต่ำค่าอัตราความเครียด (Low Strain-rate) ก็จะต่ำไปด้วยซึ่งจากภาพ 4.7 พบว่าความเร็วในการปะทะ 5.64 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีความชันอยู่ที่ 74.64 องศา ในขณะที่ความเร็วในการปะทะ 15.94 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงดังภาพ 4.8 มีค่าความชันสูงถึง 89.95 องศา ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวมีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการดูดซับพลังงานโดยธรรมชาติของวัสดุ

อย่างไรก็ตาม ผลของระยะยุบตัวของหม้อทดสอบที่ออกแบบไว้ สามารถรองรับการยุบตัวที่มีค่าใกล้เคียงกับค่ายุบตัวของหม้อมนุษย์มากที่สุด 76.2 มิลลิเมตร ตามสมมติฐานการทดสอบที่กล่าวไว้ตอนต้น สำหรับผลความสามารถของหม้อทดสอบด้วยการทดสอบแบบพลวัตสรุปได้

ตามตาราง 4.4 รวมไปถึงการชี้วัดขีดความสามารถในการรองรับการชนกระแทกที่หน้าอกของหุ่นทดสอบต้นแบบแสดงตามตาราง 4.5

ตาราง 4.4 สรุปผลความสามารถของหุ่นทดสอบที่ทดสอบแบบพลวัต

ความสูง h (m)	การดูดซับ พลังงาน E_a (J)	ความแรงที่กระแทก a (g)	แรงกระแทกบริเวณ สันอก F (N)	ระยะยุบตัว สูงสุด (mm)
0.125	1.342	5.056	80.90	42.4
1	178.369	38.47	5094.79	80.0

ตาราง 4.5 สรุปผลระดับการบาดเจ็บที่ทดสอบแบบพลวัต

ความสูง h (m)	ระยะคืนตัว สูงสุด (mm)	*ช่วงเวลา การคืนตัว (ms)	ความหนืดแสดงระดับการ บาดเจ็บในฟังก์ชันของ ความเร็ว VC (m/s)	ระดับการ บาดเจ็บ (AIS)
0.125	22.2	5	0.32	AIS3+
1	51.4	13	0.66	AIS3+

* ช่วงเวลาการคืนตัวนำข้อมูลมาจากกล้องบันทึกภาพยนตร์ความเร็วสูง ที่ระดับ 1000 เฟรมต่อวินาที

จากตาราง 4.4 ความสามารถของหุ่นทดสอบด้วยการทดสอบแบบพลวัตสามารถรองรับความแรงของการกระแทกได้สูงถึง 38.47g ซึ่งสามารถดูดซับพลังงานได้ 178.369 จูล โดยมีระยะยุบตัวสูงสุดอยู่ในเกณฑ์การออกแบบที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ ยิ่งไปกว่านั้นผลการทดสอบแบบพลวัตทั้ง 2 ระยะความสูงปรากฏให้เห็นชัดเจนว่าความเร็วก่อนการกระแทกที่สูงขึ้นแปรผันตามความสูงที่เพิ่มขึ้น อันเป็นผลกระทบโดยตรงต่อการดูดซับพลังงานของหน้าอกหุ่นทดสอบอีกด้วย

ส่วนในกรณีการพิจารณาขีดความสามารถในการรองรับการชนกระแทกที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าอกของหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบตามตาราง 4.5 แม้ว่าระยะยุบตัวและช่วงเวลาการคืนตัวมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความสูงที่เพิ่มขึ้นก็ตาม หากแต่ภายหลังจากการคำนวณค่าความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บตามสมการ 2.7 และเปรียบเทียบกับเกณฑ์ประเมินระดับการบาดเจ็บตามตาราง 3.4 แล้วนั้นพบว่าทั้ง 2 ระดับความสูงมีระดับการบาดเจ็บเดียวกันที่ AIS3+ หรือมีความหมายว่าเป็นระดับรุนแรงแต่ไม่ถึงสาหัส

4.3 การอภิปรายผล

สำหรับการอภิปรายผลของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ประเด็นหลัก คือ การออกแบบหุ่นทดสอบด้วยวิธีอื่น ขีดความสามารถของหุ่นทดสอบภายใต้สัดส่วนโครงสร้างของคนไทย

4.3.1 การออกแบบหุ่นทดสอบด้วยวิธีอื่น ๆ

ถึงแม้ว่าการออกแบบหุ่นทดสอบทางยานยนต์สามารถออกแบบด้วยวิธีอื่น เช่น การจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) ซึ่งในขั้นตอนการออกแบบและจำลองการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผล จำเป็นต้องอาศัยองค์ประกอบของกลไกการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมของร่างกายมนุษย์ เช่น ขนาด รูปร่าง มวล และความยืดหยุ่นของร่างกาย [61] เพื่อสะท้อนการตอบสนองทางร่างกายจากการเคลื่อนที่ ความเร็ว ความเร่ง การยุบตัว ตามที่กล่าวมาแล้วในภาคการทบทวนวรรณกรรมในบทที่ 2 ในขณะที่งานวิจัยนี้ ใช้การออกแบบด้วยการคำนวณทางทฤษฎี (Analytical Method) ภายใต้สมมติฐาน (Assumption) ด้วยการกำหนดกลไกการบาดเจ็บของร่างกายและขีดจำกัดของร่างกายมนุษย์ รวมไปถึงคุณสมบัติวัสดุที่ใช้เป็นตัวแทนร่างกายมนุษย์ และใช้การทดสอบ (Experimental Method) เพื่อยืนยันผลการออกแบบทางทฤษฎี โดยจะเห็นได้ว่าวิธีการออกแบบดังกล่าวนี้มีความครอบคลุมเพียงพอ อย่างไรก็ตาม การออกแบบหุ่นทดสอบด้วยการคำนวณทางทฤษฎีมีจุดเด่นในด้านการสอบทานผลการทดสอบที่สามารถยืนยันได้จากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ได้ดำเนินการมาแล้ว ส่วนการออกแบบด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีจุดเด่นในด้านการลดค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้ประเมินผลการทดสอบ ทั้งนี้ เงื่อนไขการทดสอบถือเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากต่อการออกแบบหุ่นในทุกกรณี เนื่องจากส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบ

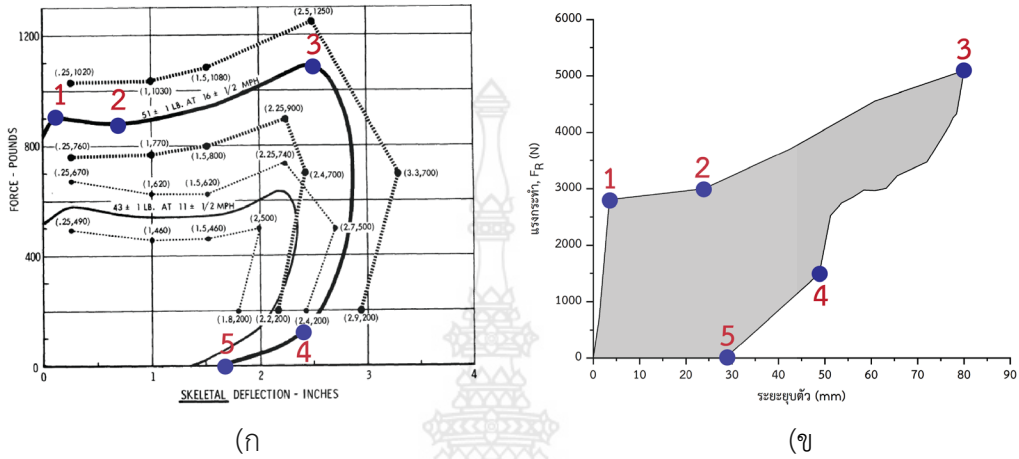
4.3.2 ขีดความสามารถของหุ่นทดสอบภายใต้สัดส่วนโครงสร้างของคนไทย

อ้างอิงเกณฑ์ประเมินระดับการบาดเจ็บจากการชนกระแทกของหน้าอกของการชนด้านหน้าตามตาราง 3.4 โดยตัวแปรที่ใช้ชี้วัดคือ ความหนักแสดงระดับการบาดเจ็บ (Viscous Injury สูงสุดที่ความหนัก 1.3 เมตรต่อวินาที หรือ AIS4+ ในขณะที่การออกแบบหุ่นทดสอบต้นแบบด้วยวิธีการคำนวณทางทฤษฎี (Analytical Method) ภายใต้สรีระของชายไทยในเกณฑ์อายุที่อัตราการเสียชีวิตสูงสุด ผนวกกับวิธีการทดสอบแบบพลวัต ขีดความสามารถของหุ่นทดสอบต้นแบบนี้ทำได้เพียงความหนัก 0.66 เมตรต่อวินาที หรือ AIS3+ (รุนแรงแต่ไม่สาหัส อย่างไรก็ตาม ระดับขั้นของการบาดเจ็บตามเกณฑ์การออกแบบหุ่นทดสอบ AIS4+ (สาหัสแต่ไม่วิกฤต เป็นของหุ่นทดสอบแบบ Hybrid III ที่จำลองจากสรีระของประชากรอื่นที่ไม่ใช่คนไทย ดังนั้น เกณฑ์ดังกล่าวอาจไม่สามารถชี้บ่งได้ชัดเจนว่าระดับการบาดเจ็บ AIS3+ ของหุ่นทดสอบต้นแบบนี้อยู่ในระดับรุนแรงแต่ไม่สาหัสสำหรับชายไทย ซึ่งพิกัดการออกแบบและวัสดุที่ใช้แตกต่างจากพิกัดของ Hybrid III เป็นสิ่งที่สะท้อนให้เห็นชัดเจนว่าหุ่นทดสอบต้นแบบดังกล่าวนี้คือตัวแทนหน้าอกของชายไทยที่ใช้ทดสอบกับรถจักรยานยนต์นั่นเอง

4.3.3 พฤติกรรมของการดูดซับพลังงานระหว่างศพและหน้าอกหุ่นทดสอบ

พฤติกรรมการดูดซับพลังงานในขณะรับแรงกระแทกระหว่างศพและหน้าอกหุ่นทดสอบแสดงดังภาพ 4.9 การรับแรงเริ่มต้นในตำแหน่งที่ 1 หลังจากการกระแทก พบว่ามีแรงกระทำกับหน้าอกศพและหุ่นทดสอบอยู่ที่ 3558.56 นิวตัน และ 2998.34 นิวตัน ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่าตำแหน่งที่ 2 ของพฤติกรรมมีความใกล้เคียงกัน ขณะที่จุดสูงสุดของแรงกระทำของศพที่ตำแหน่ง 3 มีค่า 4781.83 นิวตัน และหน้าอกหุ่นทดสอบอยู่ที่ 5094.79 นิวตัน อย่างไรก็ตามหลังจากตำแหน่งที่ 3 ไปยังตำแหน่งที่ 4 กลับพบว่ารูปแบบของพฤติกรรมไม่มีความคล้ายกันอันเนื่องมาจากพฤติกรรมทางกลของวัสดุที่

ออกแบบกลไกการคืนตัวกลับ แต่ทว่าตำแหน่งที่ 4 ไปยังตำแหน่งที่ 5 มีความคล้ายคลึงก่อนสิ้นสุดแรงกระทำโดยตำแหน่งของการคืนตัวกลับของหน้าอกศพและหน้าอกหุ่นทดสอบ มีค่า 38 มิลลิเมตร และ 28.6 มิลลิเมตร



ภาพ 4.9 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานขณะเกิดการกระแทก (ก ตำแหน่งการดูดซับพลังงานจากศพ (ข ตำแหน่งดูดซับพลังงานจากหน้าอกหุ่นทดสอบ)



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การออกแบบทางทฤษฎี

สำหรับการออกแบบทดสอบที่ใช้กับการทดสอบการชนของรถจักรยานยนต์ตามทฤษฎี โดยคุณลักษณะเฉพาะที่ถูกเลือกมาออกแบบนี้ ได้แก่ หุ่นทดสอบเพศชาย ที่มีอายุในช่วง 16-25 ปี ภายใต้อุปกรณ์โครงแท่งจำนวน 6 ชิ้น ที่สามารถรองรับการยุบตัวได้สูงสุด 76.2 มิลลิเมตร ผนวกกับอัตราส่วนการออกแบบหุ่นทดสอบมาตรฐาน Hybrid III 50th percentile สำหรับการทดสอบอ้างอิงวิธีการทดสอบกับศพมาใช้เป็นเกณฑ์พิจารณา ทั้งนี้จากการวิจัยพบว่าสามารถนำมาใช้ในการทดสอบที่แสดงถึงระดับการบาดเจ็บบริเวณหน้าอกทั้งกรณีแบบสถิตและพลวัต

5.1.2 การทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบแบบสถิต

พฤติกรรมการดูดซับพลังงานบริเวณหน้าอกมีระดับต่ำกว่าในช่วงการเพิ่มแรงกดดันเริ่มต้น หลังจากนั้นระดับดูดซับพลังงานมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากแรงกระทำที่ต่ำ ทั้งนี้ พฤติกรรมดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับพฤติกรรมการดูดซับพลังงานของหน้าอกของคนซึ่งหากมีแรงกระทำมากเกินไปอาจขัดจำกัดหรือความสามารถในการดูดซับพลังงานนี้ กระตุกซี่โครงจะเกิดการยุบตัวถาวรหรือเกิดการแตกหัก ดังนั้นคุณลักษณะการออกแบบหุ่นที่ทดสอบแบบสถิตสามารถสะท้อนพฤติกรรมที่มีความใกล้เคียงกับมนุษย์

5.1.3 การทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบแบบพลวัต

การทดสอบแบบพลวัตเปิดเผยให้เห็นถึงความสามารถของหุ่นทดสอบที่สามารถรองรับการดูดซับพลังงานได้ถึง 178.369 จูล ความเร่งที่กระแทก 38.47g แรงกระแทกบริเวณสันอก 5094.79 นิวตัน และความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บในฟังก์ชันของความเร็ว 0.66 เมตรต่อวินาที ภายใต้อัตราความสูงทดสอบ 1 เมตร ซึ่งสามารถเปรียบเทียบระดับการบาดเจ็บมีค่า AIS3+ หรือระดับมากกว่าระดับรุนแรง (Serious) ทั้งนี้สามารถแสดงให้เห็นว่า ความเร็วคือปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่แสดงถึงระดับการบาดเจ็บ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำการทดสอบ

การทดสอบแบบพลวัตมีความเสี่ยงค่อนข้างสูงเนื่องจากปริมาณของพลังงานจากเป็นปัจจัยของความสูง จึงควรตรวจสอบอย่างละเอียดถี่ถ้วนก่อนการทดสอบ อีกทั้งการออกแบบหุ่นหรือการ

พัฒนาการออกแบบหุ่นควรมีความหลากหลายมากขึ้น เช่น เพศ อายุ และการประยุกต์ใช้งานกับรถประเภทอื่น ๆ อีกด้วย

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบหุ่นทดสอบ

การออกแบบหุ่นทดสอบต้นแบบสำหรับรับแรงกระแทกที่เกิดขึ้นจากการทดสอบการชน หากต้องการให้หุ่นทดสอบต้นแบบนี้เปรียบเสมือนตัวแทนคนไทย โดยค่าระดับชั้นของการบาดเจ็บที่วัดออกมาได้นั้นแม่นยำมากที่สุด ควรทำการทดสอบเปรียบเทียบกับศพของคนไทยก่อนเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าแรงที่กระทำ ระยะเวลาและความเร่ง เมื่อได้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบศพแล้วจึงค่อยทำการออกแบบหุ่นทดสอบต้นแบบ ทั้งนี้ข้อมูลที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือสรีระของคนไทยเนื่องจากกระดูกซี่โครงของคนไทยนั้นมีอยู่เฉพาะในโรงพยาบาลเท่านั้นหากต้องการควรทำการวิจัยร่วมกับแพทย์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านสรีระโดยตรงเพื่อให้ได้ข้อมูลกระดูกซี่โครงอย่างแม่นยำ ต่อไปพิจารณาที่วัสดุที่นำมาออกแบบควรเป็นวัสดุที่มีค่าความต้านทานการเสียรูปได้มากกว่า 250 เมกกะนิวตันต่อตารางเมตร เนื่องจากแรงจากการกระแทกอาจทำให้ซี่โครงเสียหายเกินค่าความต้านทานการเสียรูปของวัสดุ หลังจากนั้นเลือกเครื่องมือวัดที่เหมาะสมกับการออกแบบ โดยเลือกที่ค่าความเร่งของเครื่องมือวัดที่สามารถวัดได้มากกว่า 950 เท่าของแรงโน้มถ่วงโลก รวมไปถึงเครื่องมือสำหรับวัดระยะเวลาบริเวณหน้าอกควรตอบสนององความเร็วในการยุบตัวมากกว่า 1000 มิลลิวินาที ซึ่งผลของข้อมูลที่วัดออกมา นั้นสอดคล้องกับสมการสำหรับคำนวณการบาดเจ็บอีกด้วย



เอกสารอ้างอิง

- [1] World Health Organization, "Global status report on road safety 2015," WHO, bangkok, 2015.
- [2] กรมการขนส่งทางบก (ขบ. , "โครงการว่าจ้างที่ปรึกษาเพื่อจัดทำแผนความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนน ของกรมการขนส่งทางบก (ขบ. ," กรมการขนส่งทางบก, กรุงเทพมหานคร, 2560.
- [3] สำนักงานตำรวจแห่งชาติ, "สถิติคดีอุบัติเหตุจราจรทางบก จำแนกตามสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุทั่วราชอาณาจักร พ.ศ. 2549-2558," 2558.
- [4] กรมทางหลวง, "สายทางที่ต้องใช้ความระมัดระวังในการเดินทางของรถโดยสารและรถบรรทุก พ.ศ. 2558," กรุงเทพมหานคร, 2558.
- [5] สำนักงานตำรวจแห่งชาติ, "สถิติประเภทยานพาหนะที่เกิดอุบัติเหตุของประเทศไทย ปี 2551 - 2555," กรุงเทพมหานคร, 2555.
- [6] กลุ่มป้องกันการบาดเจ็บจากการจราจร สำนักโรคไม่ติดต่อ พ.ศ. 2557, "สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนน ปี พ.ศ. 2557," กรุงเทพมหานคร, 2557.
- [7] กระทรวงสาธารณสุข, "ข้อมูลมรณบัตรและหนังสือรับรองการตายสำนักนโยบายและยุทธศาสตร์สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข," กรุงเทพมหานคร, 2557.
- [8] พันธุ์สว่าง, วรธนา, *พฤติกรรมของคนขับรถจักรยานยนต์รับจ้างกับปัญหาจราจรในกรุงเทพมหานคร*. 2019.
- [9] ปิยะพงศ์ ปัญจบุรี, "ความสูญเสียทางเศรษฐกิจและสุขภาพจากผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์โดยไม่สวมหมวกนิรภัย : กรณีศึกษาในอำเภอเมืองเชียงใหม่ (Loss of economics and health from motorcycle riders without helmets : a case study in Mueang Chiang Mai District)," *เชียงใหม่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่* 2550, no. 2550.
- [10] กรมทางหลวง, "มูลเหตุสันนิษฐานในการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวง," กรุงเทพมหานคร, 2555.
- [11] กาญจน์กรอง ส่องคะ, "การศึกษาพฤติกรรมรถจักรยานยนต์รับจ้างที่มีผลต่อความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการใช้รถจักรยานยนต์," 2559.
- [12] กรมทางหลวงชนบท, "สถิติอุบัติเหตุบนทางหลวงชนบท ปี 2551 - 2555 สำนักอำนวยความปลอดภัยของกรมทางหลวงชนบท," กรุงเทพมหานคร, 2555.
- [13] Thailand Road Accident Management Systems (TRAMS), "จำนวนอุบัติเหตุจำแนกลักษณะบริเวณที่เกิดอุบัติเหตุบนถนนทางหลวงชนบท ปี 2555," กรุงเทพมหานคร, 2555.
- [14] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร สำนักแผนความปลอดภัย กลุ่มพัฒนาความปลอดภัย, "รายงานการวิเคราะห์อุบัติเหตุทางถนน ประจำปี 2555," ประเทศไทย, 2556.
- [15] สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส. , "โครงการเมาไม่ขับ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ." [Online]. Available: <https://www.thaihealth.or.th/tag/มูลนิธิเมาไม่ขับ/>. [Accessed: 06-Nov-2019].

- [16] มูลนิธิไทยโรดส์ (ThaiRoads Foundation), “พันธกิจ | มูลนิธิไทยโรดส์ (ThaiRoads Foundation).” [Online]. Available: <http://www.thairoads.org/about/mission>. [Accessed: 06-Nov-2019].
- [17] วินิจฉัย พินิจศักดิ์, “ปัญหาและอุปสรรคของเจ้าหน้าที่ตำรวจในการปฏิบัติตามนโยบายการป้องกันอุบัติเหตุจราจรในจังหวัดเชียงใหม่ ช่วงเทศกาลปีใหม่ พ.ศ.2556,” กรุงเทพมหานคร, 2556.
- [18] M. Yu, J. Luo, K. You, and Y. Fan, “Challenges to Design of the North Bypass Road of Shanghai and Innovative Technology,” *Procedia Eng.*, vol. 165, pp. 78–87, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.738.
- [19] J. Weekley, J. Barrell, and T. McCarthy, “Developing a Road Safety Review Tool to Identify Design Standard and Safety Deficits on High Risk Road Sections,” *Transp. Res. Procedia*, vol. 14, pp. 4130–4139, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.384.
- [20] S. Ershova and E. Smirnov, “Conceptual Justification of Town-Planning Design Standards for Streets and Roads in Large Cities for Ensuring Traffic Safety,” *Transp. Res. Procedia*, vol. 20, pp. 180–184, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.trpro.2017.01.047.
- [21] F. Alonso, “Improvements in road geometry measurement using inertial measurement systems in datalog vehicles,” *Measurement*, vol. 44, pp. 102–112, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.measurement.2010.09.029.
- [22] M. Čičković, “Influence of Human Behaviour on Geometric Road Design,” *Transp. Res. Procedia*, vol. 14, pp. 4364–4373, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.358.
- [23] S. H. Hamdar, L. Qin, and A. Talebpour, “Weather and road geometry impact on longitudinal driving behavior: Exploratory analysis using an empirically supported acceleration modeling framework,” *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 67, pp. 193–213, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.trc.2016.01.017.
- [24] Global Road Safety Partnership, World Health Organization, FIA Foundation for the Automobile and Society, and World Bank, *Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners*. Geneva: Global Road Safety Partnership, 2008.
- [25] Global NCAP 2017, “<http://www.globalncap.org/results/>.” [Online]. Available: <http://www.globalncap.org/>. [Accessed: 04-Jan-2017].
- [26] M. Reed, M. Sochor, J. Rupp, K. Klinich, and M. Manary, “Anthropometric specification of child crash dummy pelvis through statistical analysis of skeletal

- geometry,” *J. Biomech.*, vol. 42, pp. 1143–5, May 2009, doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.02.019.
- [27] U. Seiffert and L. Wech, *Automotive safety handbook*, 2nd ed. Warrendale, Pa: SAE International, 2007.
- [28] “Home | Humanetics ATD.” [Online]. Available: <https://www.humaneticsatd.com/>. [Accessed: 25-Sep-2019].
- [29] JASTI CO., LTD, “Anthropomorphic Test Device.” [Online]. Available: <http://www.jasti.co.jp/en/about.html>. [Accessed: 25-Sep-2019].
- [30] “BGS - Böhme & Gehring GmbH.” [Online]. Available: <https://boehme-gehring.de/>. [Accessed: 25-Sep-2019].
- [31] “Home,” *Aseancap*. [Online]. Available: <http://www.aseancap.org/v2>. [Accessed: 25-Sep-2019].
- [32] “JNCAP National agency for Automotive Safety & Victim’s Aid.” [Online]. Available: <http://www.nasva.go.jp/mamoru/en/>. [Accessed: 25-Sep-2019].
- [33] The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), “Regulation No. 94 Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the protection of the occupants in the event of a frontal collision.” [Online]. Available: <http://www.unece.org/trans/welcome.html>. [Accessed: 25-Sep-2019].
- [34] สถาบันยานยนต์ กระทรวงอุตสาหกรรม, “แผนแม่บทอุตสาหกรรมยานยนต์ ปี พ.ศ. 2555 – 2559.” [Online]. Available: http://www.thaiauto.or.th/2012/th/about-us/download/Master_Plan_Final_2555-2559.pdf. [Accessed: 25-Sep-2562].
- [35] กระทรวงการคลัง, “ประกาศกระทรวงการคลัง เรื่อง ลดอัตราภาษีสรรพสามิต (ฉบับที่ 127).” [Online]. Available: <https://www.excise.go.th/cs/groups/public/documents/document/mjaw/mdkx/~edisp/webportal16200091891.pdf>. [Accessed: 25-Sep-2562].
- [36] Dynamic Research Inc., “Special Purpose Experimental Devices in Support of Services.” [Online]. Available: http://dynres.com/prod_crashtestdummy.html. [Accessed: 25-Sep-2562].
- [37] T. Smith, J. Zellner, and N. M. Rogers, “A THREE DIMENSIONAL ANALYSIS OF RIDING POSTURE ON THREE DIFFERENT STYLES OF MOTORCYCLE,” p. 18.
- [38] J. P. Stapp, “Human tolerance to deceleration,” *Am. J. Surg.*, vol. 93, no. 4, pp. 734–740, Apr. 1957, doi: 10.1016/0002-9610(57)90540-8.
- [39] Ono, A. Kikuchi, M. Nakamura, H. Kobayashi, and N. Nakamura, “Human Head Tolerance to Sagittal Impact Reliable Estimation Deduced from Experimental Head Injury Using Subhuman Primates and Human Cadaver Skulls,” *SAE Int. Warrendale PA SAE Tech. Pap. 801303 Sep 1980*.

- [40] P. Atkinson *et al.*, “Development of Injury Criteria for Human Surrogates to Address Current Trends in Knee-to-Instrument Panel Injuries,” presented at the Stapp Car Crash Conference, 1998, doi: 10.4271/983146.
- [41] Samuel W. Alderson, Marina Del Rey, Calif, “Anthropomorphic dummy for use in vehicle crash testing,” vol. 4,261,113, Apr. 1981.
- [42] R. H. Eppinger, J. H. Marcus, and R. M. Morgan, “Development of Dummy and Injury index for NHTSA’s Thoracic Side Impact Protection Research Program,” presented at the SAE Government Industry Meeting and Exposition, 1984, doi: 10.4271/840885.
- [43] Kenneth D., “Motorcycle Accident Simulating Test Dummy,” *Dyn. Res. Inc Torrance Calif*, vol. 5,018,977, May 1991.
- [44] World Health Organization, “รายงานสถานการณ์โลกด้านความปลอดภัยทางถนน พ.ศ. 2558.”
- [45] ศูนย์อุบัติเหตุ รพ.รร.๖, “PMK Trauma Registry Major Data 2011,” กองอุบัติเหตุและเวชกรรมฉุกเฉิน โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าฯ, 2011.
- [46] W.King, *Human impact response: measurement and simulation. “Analysis of slanted-rib model of the human thorax.”* New York: Springer Science and Business Media New York, 1973.
- [47] W.King, *Human impact response: measurement and simulation. “Human Torso Response to Blunt Trauma”.* New York: Springer Science and Business Media New York, 1973.
- [48] “จำหน่ายเหล็กแผ่นดำ เกรดSS400 SM400A ราคาและขนาด มาตรฐาน มอก.,” VCSASIA จำหน่ายเหล็ก อุปกรณ์ช่าง และวัสดุก่อสร้าง Online Store. [Online]. Available: <https://www.vcsasia.co.th/product/เหล็กแผ่นดำ-steel-plate/>. [Accessed: 30-Apr-2019].
- [49] spirituality, “กายวิภาคทรวงอกมนุษย์.” [Online]. Available: <https://spirituality.ru/th/medicina/anatomiya-grudnoi-kletki-cheloveka-kakie-kosti-obrazuyut-grudnuyu.html>. [Accessed: 25-Sep-2019].
- [50] N. M. of H. ACI - Agency for Clinical Innovation, “Abbreviated Injury Scale (AIS) | Agency for Clinical Innovation.” [Online]. Available: https://www.aci.health.nsw.gov.au/get-involved/institute-of-trauma-and-injury-management/Data/injury-scoring/abbreviated_injury_scale. [Accessed: 30-Apr-2019].
- [51] Sturdivan LM, Viano DC, and Champion HR, “Analysis of injury criteria to assess chest and abdominal injury risks in blunt and ballistic impacts.,” *J Trauma* 2004, vol. 56, no. 3, pp. 651–63.

- [52] กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของมนุษย์, “ระบบโครงร่างของร่างกาย.” กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของมนุษย์.
- [53] K. Mroz, O. Bostrom, B. Pipkorn, J. Wismans, and K. Brodin, “COMPARISON OF HYBRID III AND HUMAN BODY MODELS IN EVALUATING THORACIC RESPONSE FOR VARIOUS SEAT BELT AND AIRBAG LOADING CONDITIONS,” p. 16, 2010.
- [54] R. C. Juvinall and K. M. Marshek, *Fundamentals of machine component design*, 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2012.
- [55] “SizeThailand.” [Online]. Available: <http://www.sizethailand.org/sizechart.html>. [Accessed: 08-Sep-2018].
- [56] Office of crash worthiness standards and vehicle research and test center, “Parts List and Drawings Subpart E (HYBRID III 50th PERCENTILE MALE),” Technical, Apr. 1997.
- [57] “SizeThailand.” [Online]. Available: http://www.sizethailand.org/region_all.html. [Accessed: 10-Apr-2019].
- [58] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, “ร่าง ‘มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ขนาดรูปร่างคนไทย เล่ม 2 ชาย,’” ประเทศไทย, ฉบับร่าง 2, 2560.
- [59] Dr.Sami, “Injury severity score,” *OrthoTips*, 29-Oct-2015. [Online]. Available: <http://orthotips.com/16-injury-severity-score>. [Accessed: 07-May-2019].
- [60] Karin Ekström, “Experimental investigation of the strain rate dependence of SS2506 gear steel,” Department of Material Science Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm, Sweden, 2013.
- [61] Audrey Petitjean Pascal Baudrit, “Thoracic Injury Criterion for Frontal Crash Applicable to All Restraint Systems,” *Stapp Car Crash J.*, vol. 47, pp. 323–348, Oct. 2003.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ขั้นตอนการวัดระยะยุบบริเวณหน้าอกหุ่นทดสอบ

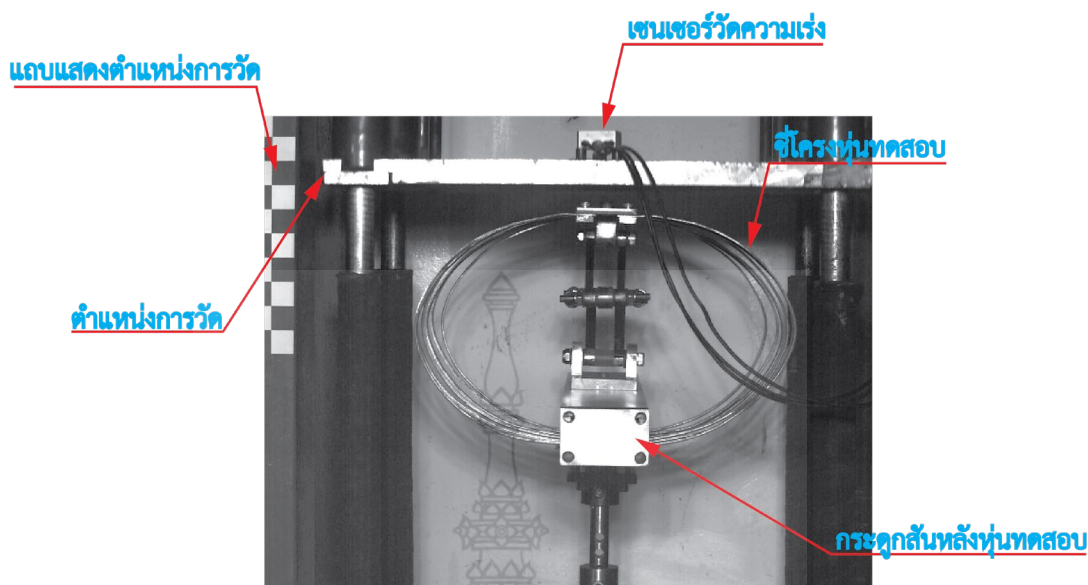
ภาคผนวก ข แบบโครงสร้างหุ่นทดสอบ

ภาคผนวก ค แบบตอบรับการตีพิมพ์จากวารสาร

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการวัดระยะยุบบริเวณหน้าอกหุ่นทดสอบ





ภาพ ก.1 ตำแหน่งการวัดระยะยุบบริเวณหน้าอกหุ่นทดสอบ

เริ่มต้นการทดสอบโดยการปล่อยตำแหน่งการวัดให้ตกจากความสูง 1 เมตร โดยใช้จุดที่ปลายลูกศรเป็นจุดอ้างอิงเทียบกับแถบแสดงตำแหน่งการวัด ซึ่งแถบแสดงตำแหน่งการวัดมีลักษณะเป็นแถบช่องสีขาวสลับกับสีดำโดยมีขนาดของแต่ละช่องเท่ากับ 20 มิลลิเมตร ต่อไปเมื่อตำแหน่งการวัดตกลงมาสัมผัสกับซีโครงุ่นทดสอบให้ใช้ตำแหน่งดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้น 0 มิลลิเมตร ถูกวัดด้วยกล้องบันทึกภาพความเร็วสูงที่ 1000 ภาพต่อวินาที ร่วมกับเซนเซอร์วัดความเร็วจะบันทึกผลของแรงกระทำที่เกิดขึ้นไปพร้อมกับตำแหน่งการยุบตัวของซีโครงุ่นทดสอบ หลังจากนั้นชุดกลไกการคืนตัวกลับจะเริ่มทำงานเพื่อดันทานการยุบตัวของหน้าเมื่อไม่มีแรงกระทำ

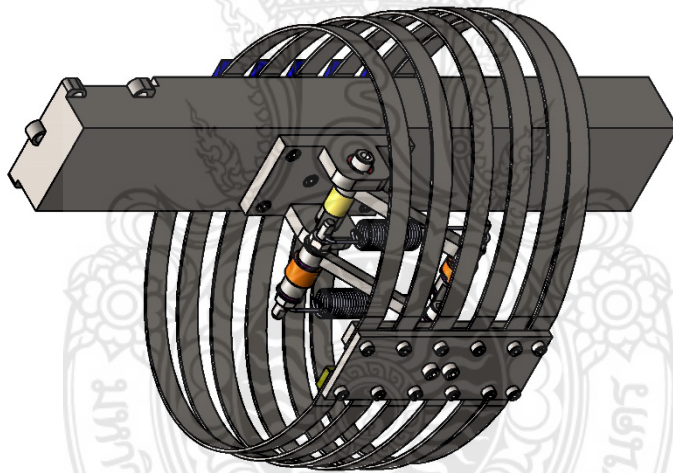
รูปแบบข้างต้นที่กล่าวมานี้ถูกใช้เป็นเครื่องมือวัดระยะยุบของหน้าอกหุ่นทดสอบแทนเครื่องมือวัดระยะยุบแบบ Potentiometer เนื่องจากเครื่องมือวัดระยะยุบชนิดนี้มีราคาค่อนข้างสูง อีกทั้งยังใช้ชุดประมวลผลข้อมูลซับซ้อนมากกว่าการวัดแบบใช้กล้องบันทึกภาพความเร็วสูงอีกด้วย อย่างไรก็ตาม การวัดโดยใช้แถบแสดงการวัดร่วมกับกล้องบันทึกภาพความเร็วสูงนั้น มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าการใช้เครื่องมือวัดระยะยุบแบบ Potentiometer ดังนั้นหากต้องการค่าที่แม่นยำมากขึ้นควรใช้เครื่องมือดังที่กล่าวมา



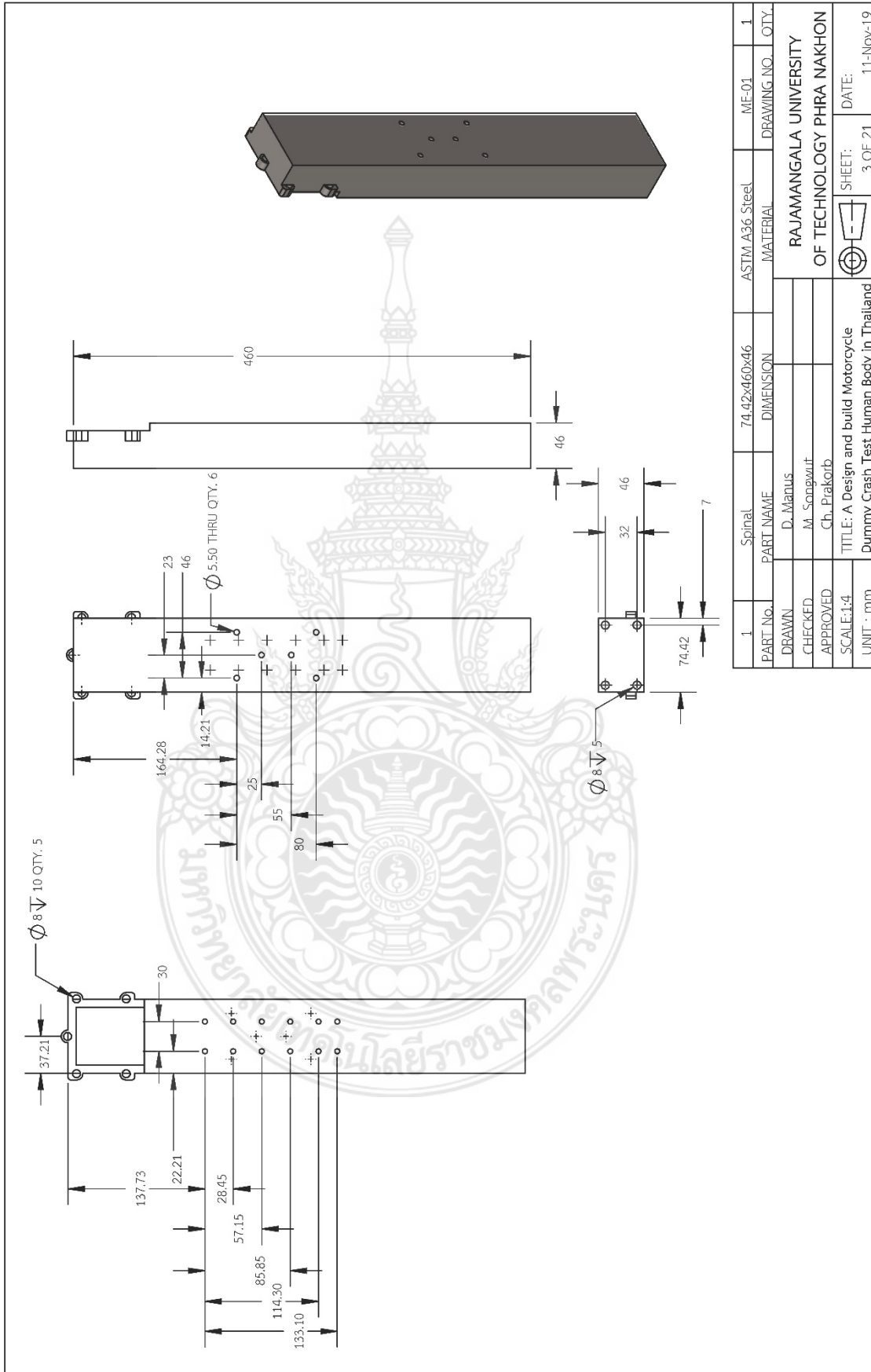
The diagram shows an exploded view of a human body dummy. The components are numbered 1 through 26. Callouts 1-15 point to the torso and ribcage assembly, including the spine, chest, ribs, and internal linkages. Callouts 16-26 point to the lower body and pelvic region, including the lower polyurethane, guide slots, washers, springs, and various nuts and hex bolts.

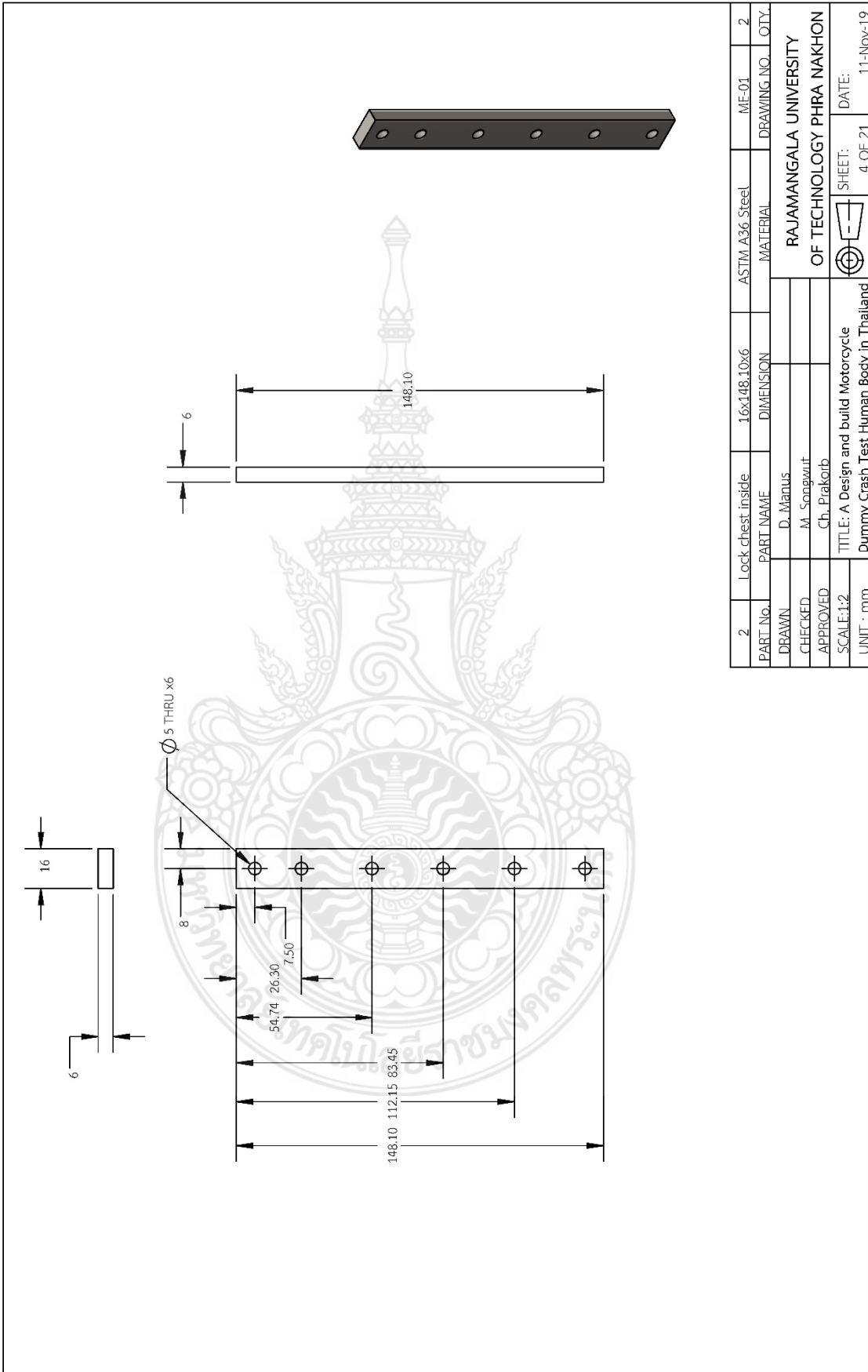
BOM Table		BOM Table	
ITEM NO.	PART NUMBER	ITEM NO.	PART NUMBER
1	Spinal	16	Lock lower polyurethane
2	Lock chest inside	17	Polyurethane guide slot
3	Lock chest outside	18	Washer polyurethane 2 mm
4	Rib stiffness	19	Stud lock-spring
5	RIB1-NEW	20	B18.2.24M - Hex flange nut, M8 x 1.25 --N
6	RIB2-NEW	21	B18.3.1M - 8 x 1.25 x 50 Hex SHCS -- 28NHX
7	RIB3-NEW	22	B18.3.1M - 8 x 1.25 x 70 Hex SHCS -- 28NHX
8	RIB4-NEW	23	B18.3.1M - 5 x 0.8 x 12 Hex SHCS -- 12NHX
9	RIB5-NEW	24	B18.3.1M - 5 x 0.8 x 16 Hex SHCS -- 16NHX
10	RIB6-NEW	25	B18.3.1M - 6 x 1.0 x 16 Hex SHCS -- 16NHX
11	Base	26	Spring
12	Link support X-lift-Upper		
13	Lock spring		
14	Base 2		
15	Link support X-lift-Lower		

Explore View	199x263x322	Non-Material	ME-01
PART No.	PART NAME	DIMENSION	DRAWING NO. LQTY.
DRAWN	D. Manius		
CHECKED	M. Songwut		
APPROVED	Ch. Prakorb		
SCALE:1:10	TITLE: A Design and build Motorcycle Dummy Crash Test Human Body in Thailand		DATE: 11-Nov-19
UNIT : mm		SHEET: 1 OF 21	

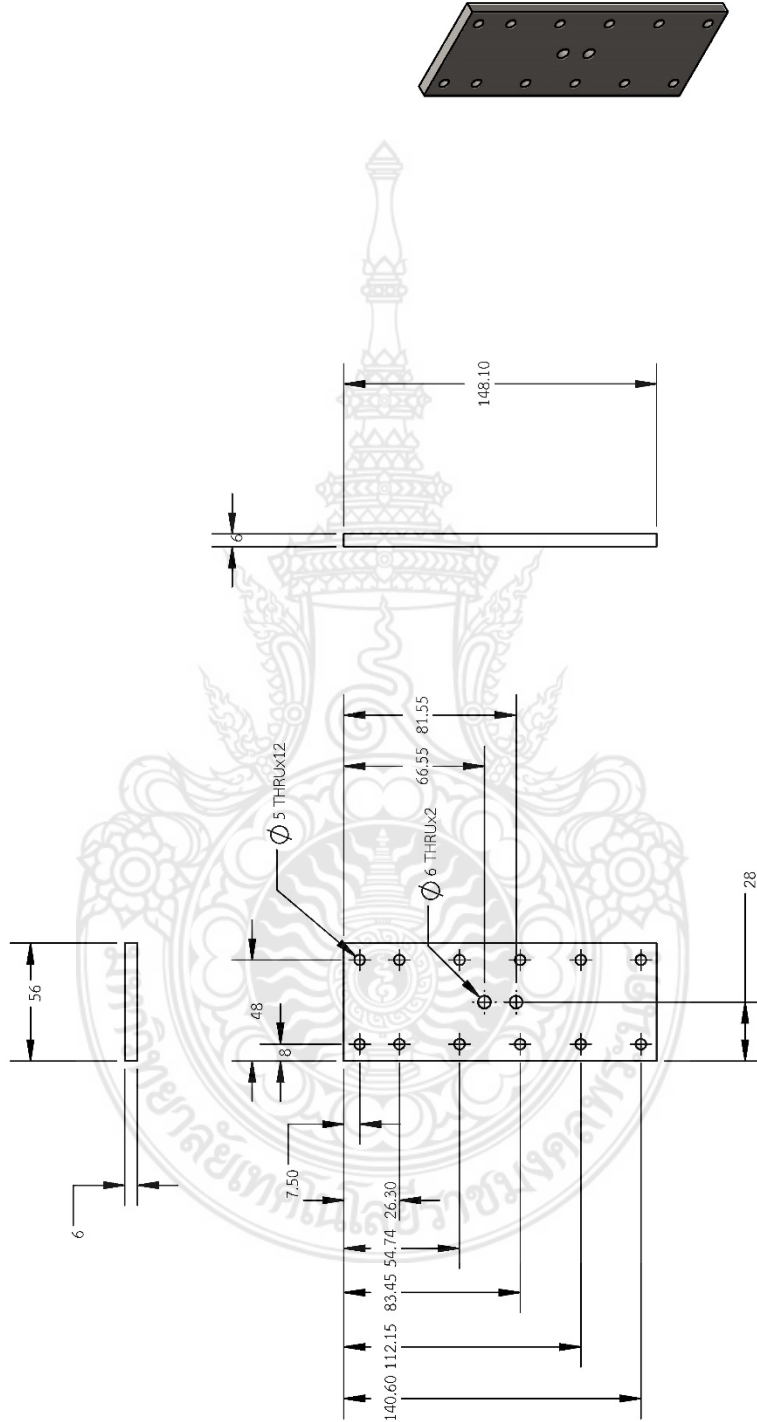


-	Assembly View	199x263x322	Non-Material	ME-01	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	D. Manus		RAJAMANGALA UNIVERSITY		
CHECKED	M. Songwut		OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON		
APPROVED	Ch. Prakorb				
SCALE:1:4	TITLE: A Design and build Motorcycle			SHEET:	DATE:
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand			2 OF 21	11-Nov-19



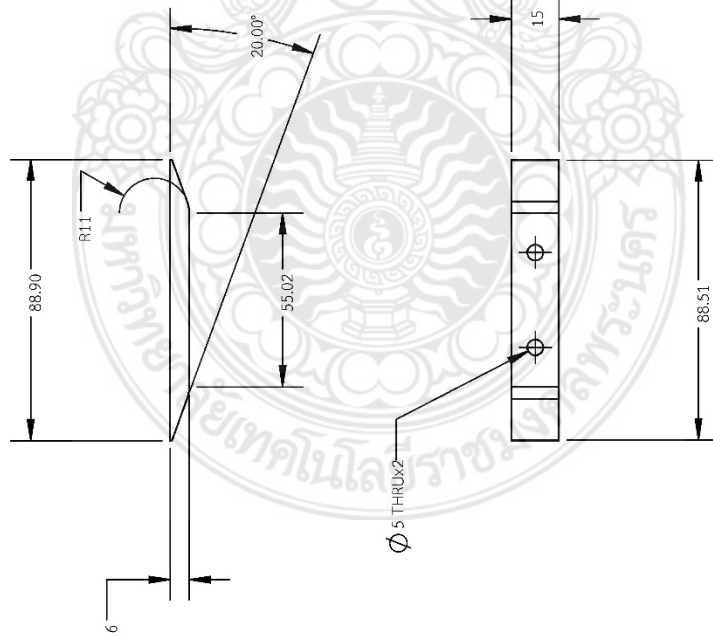


2	Lock chest inside	16x148.10x6	ASTM A36 Steel	ME-01	2
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY
DRAWN	D. Manus				
CHECKED	M. Songwut				
APPROVED	Ch. Prakorb				
SCALE:1:2	TITLE: A Design and build Motorcycle				
UNIT :mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand				
				SHEET: 4 OF 21	DATE: 11-Nov-19

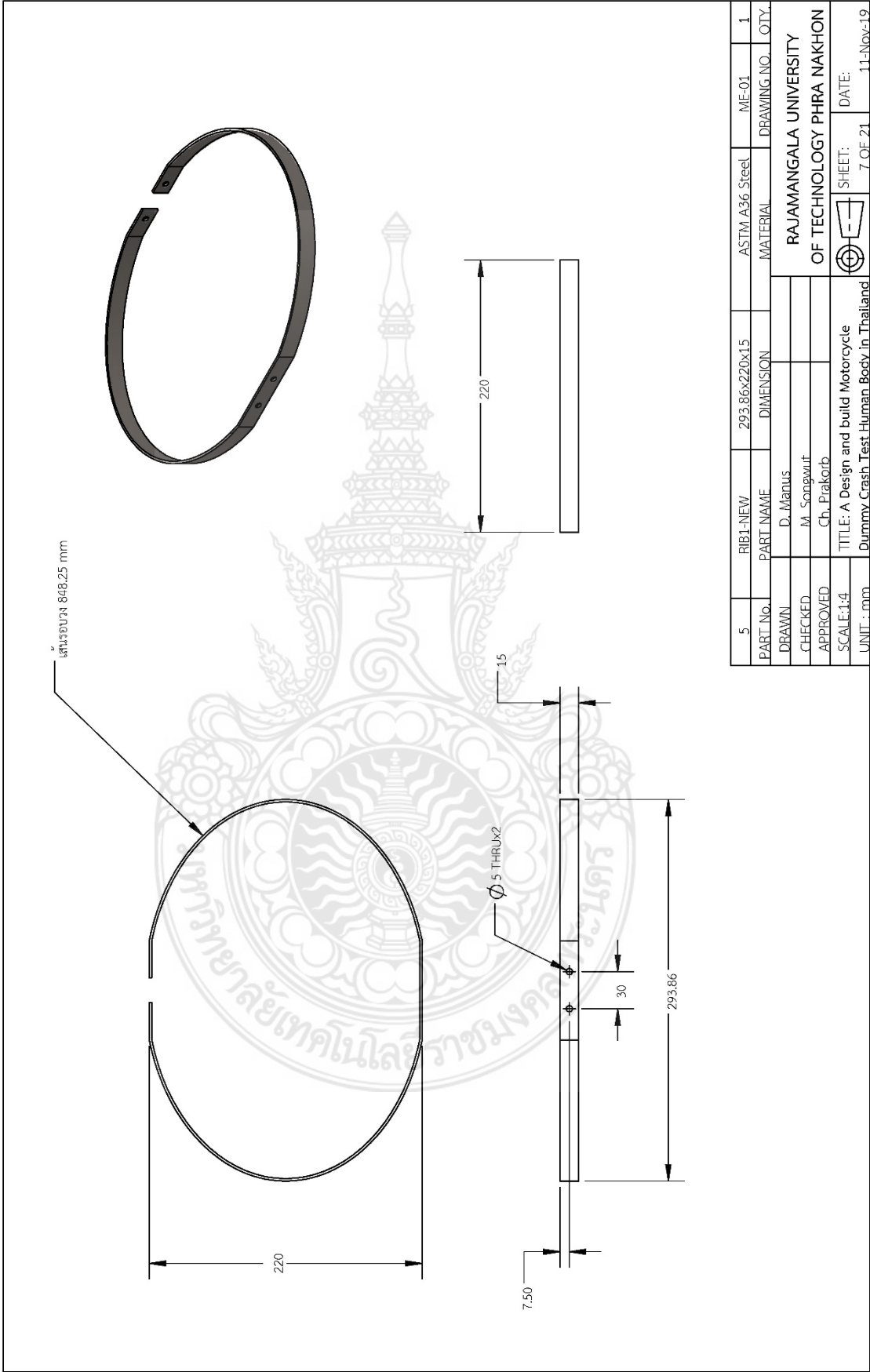


3	Lock chest outside	56x148.10x6	ASTM A36 Steel	ME-01	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	D. Manus				
CHECKED	M. Songwut				
APPROVED	Ch. Piatkorb				
SCALE:1:3	TITLE: A Design and build Motorcycle		SHEET: 5 OF 21		DATE: 11-Nov-19
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand				


RAJAMANGALA UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON

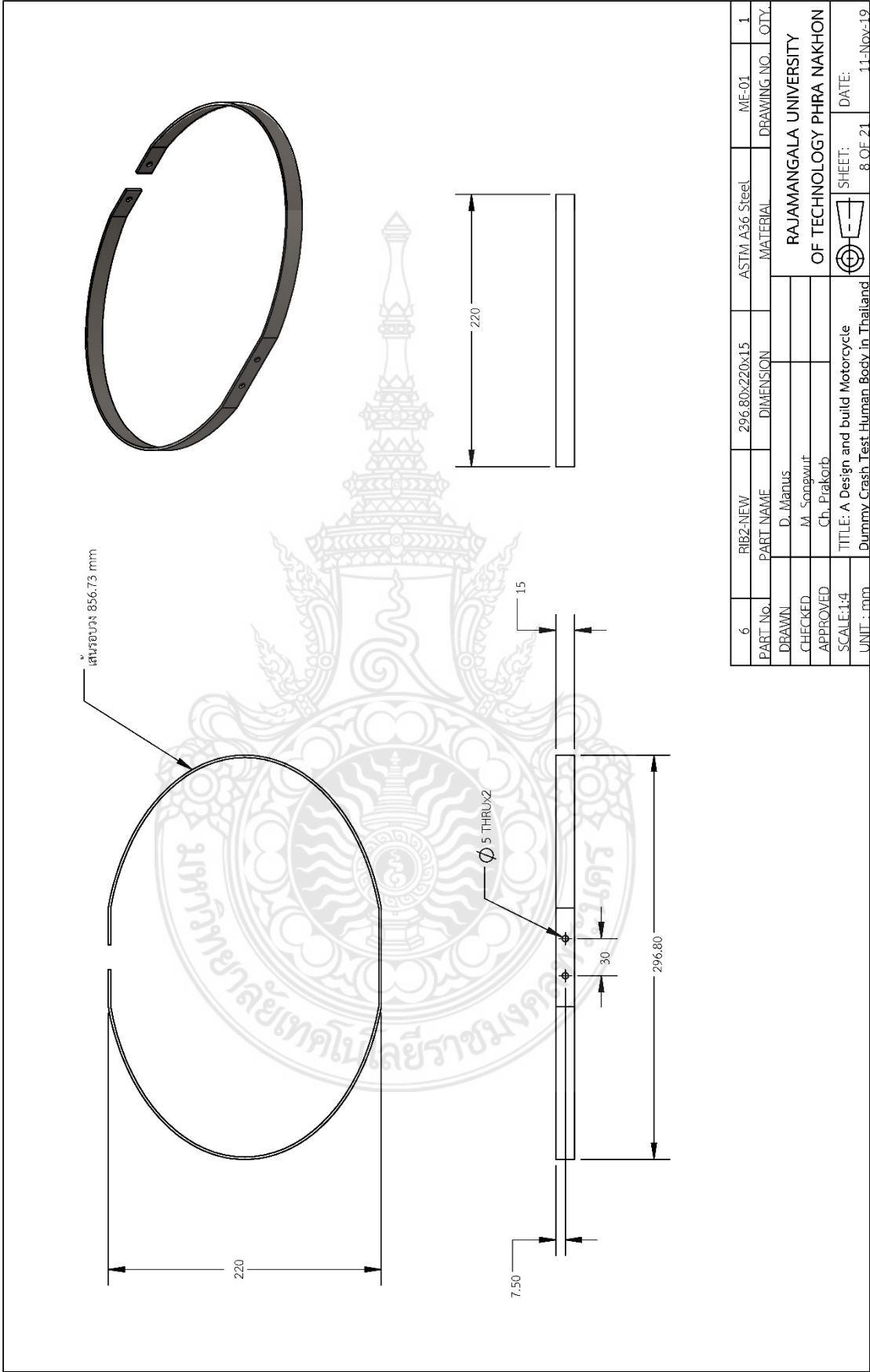


4	Rib stiffness	6x88.51x15	ASTM A36 Steel	ME-01	6
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO. QTY.	
DRAWN	D. Manus			RAJAMANGALA UNIVERSITY	
CHECKED	M. Songwut			OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON	
APPROVED	Ch. Pitakorb			SHEET: DATE:	
SCALE:1:2	TITLE: A Design and build Motorcycle		SHEET: 6 OF 21		DATE: 11-Nov-19
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand				

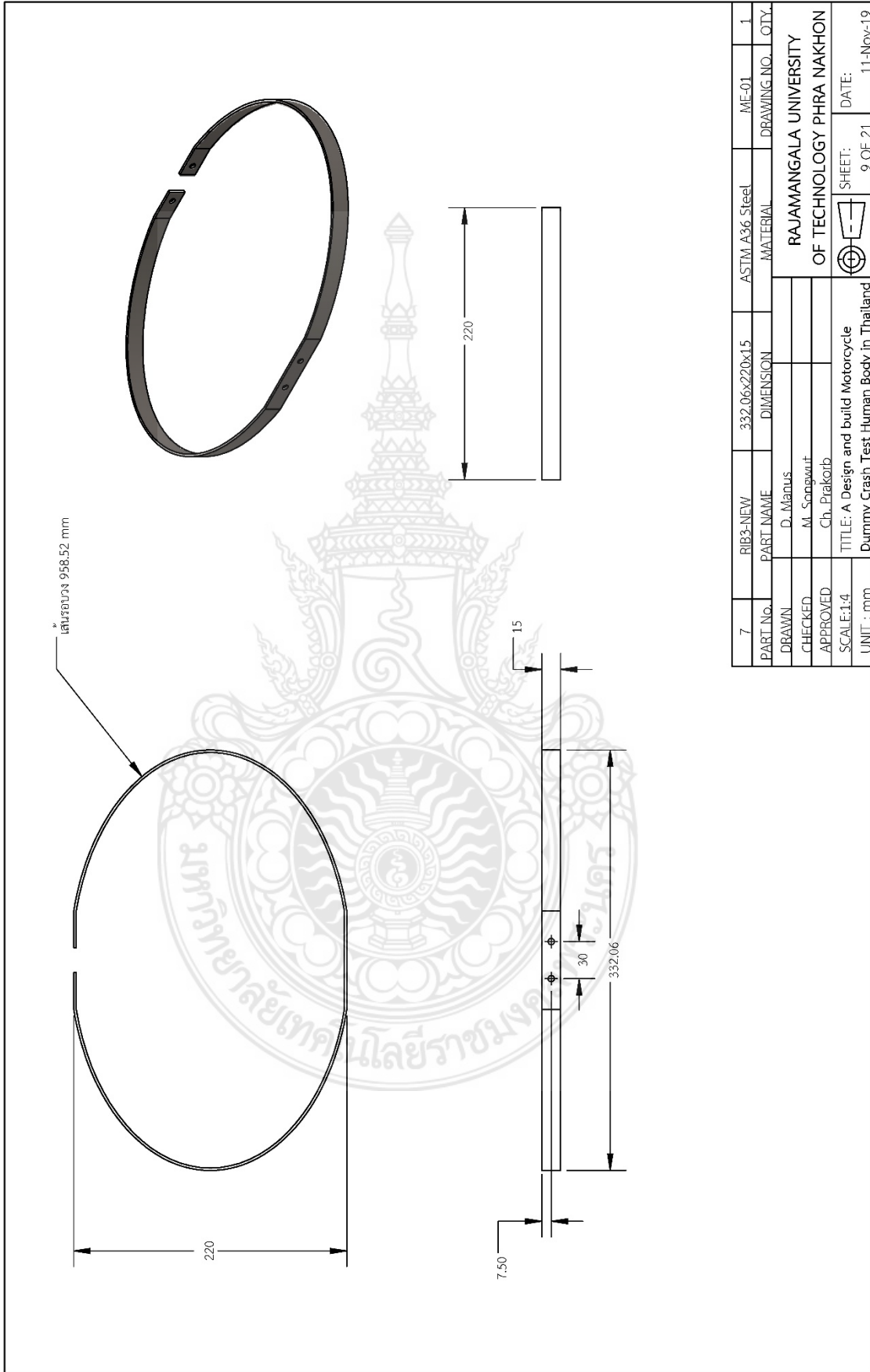


5	RIB1-NEW	293.86x220x15	ASTM A36 Steel	ME-01	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	D. Manus				
CHECKED	M. Songwut				
APPROVED	Ch. Prakorb				
SCALE:1:4	TITLE: A Design and build Motorcycle		SHEET: 7 OF 21		DATE: 11-Nov-19
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand				

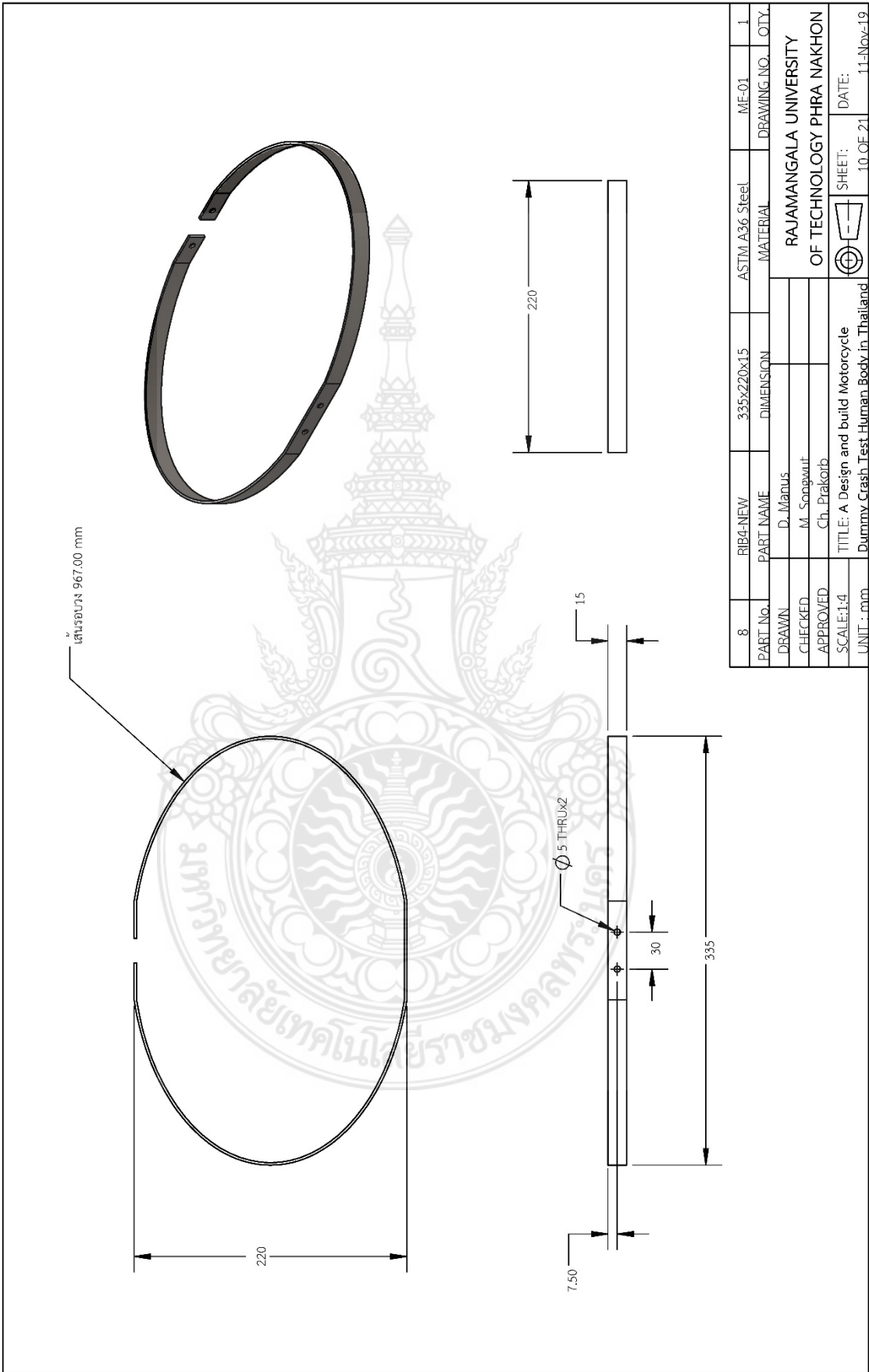
RAJAMANGALA UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON



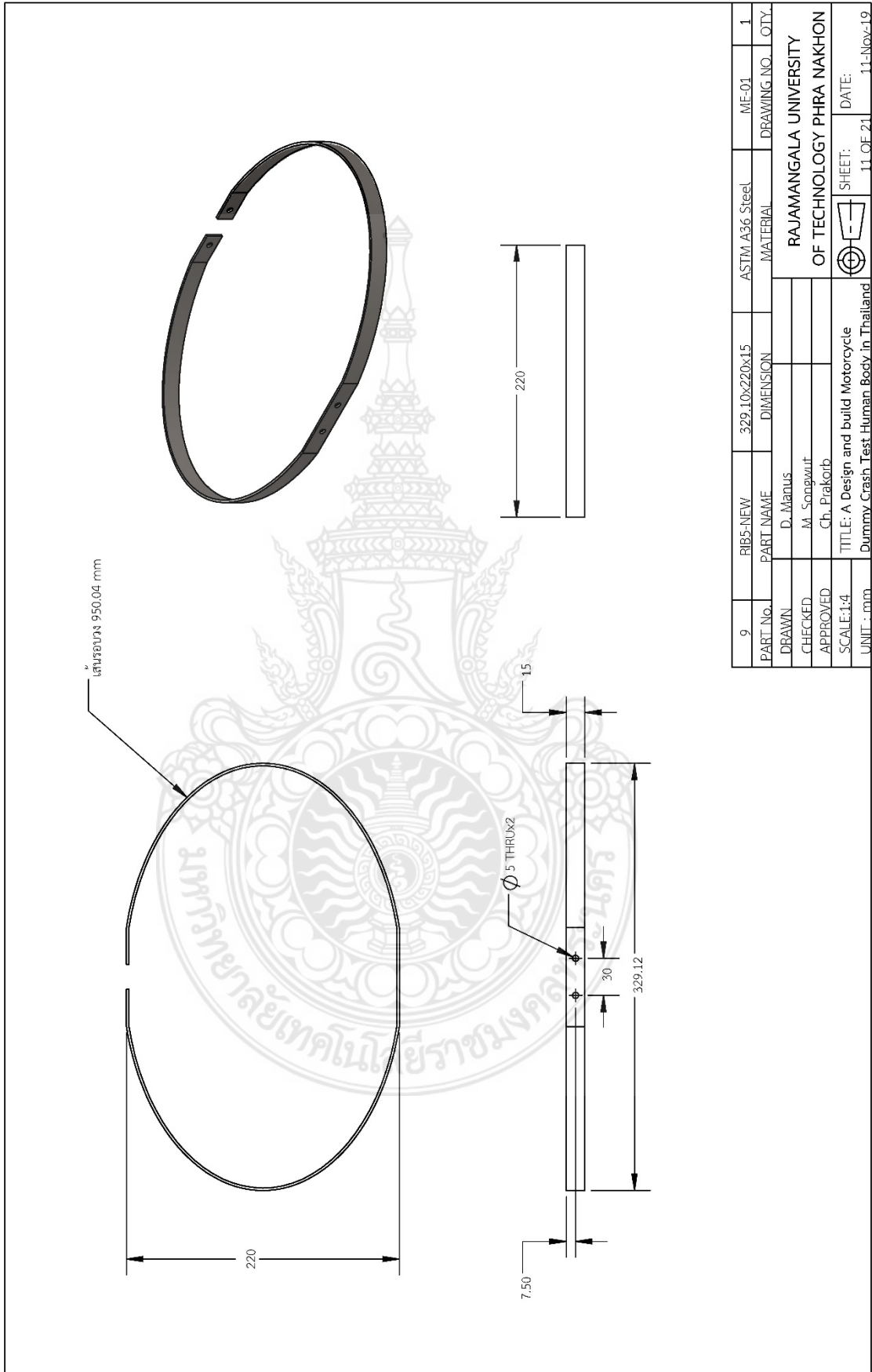
6	RIB2-NEW	296.80x220x15	ASTM A36 Steel	ME-01	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO. QTY.	
DRAWN	D. Manus			RAJAMANGALA UNIVERSITY	
CHECKED	M. Songwut			OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON	
APPROVED	Ch. Prakorb			TITLE: A Design and build Motorcycle	
SCALE:1:4	TITLE: A Design and build Motorcycle			SHEET: 8 OF 21	DATE: 11-Nov-19
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand				



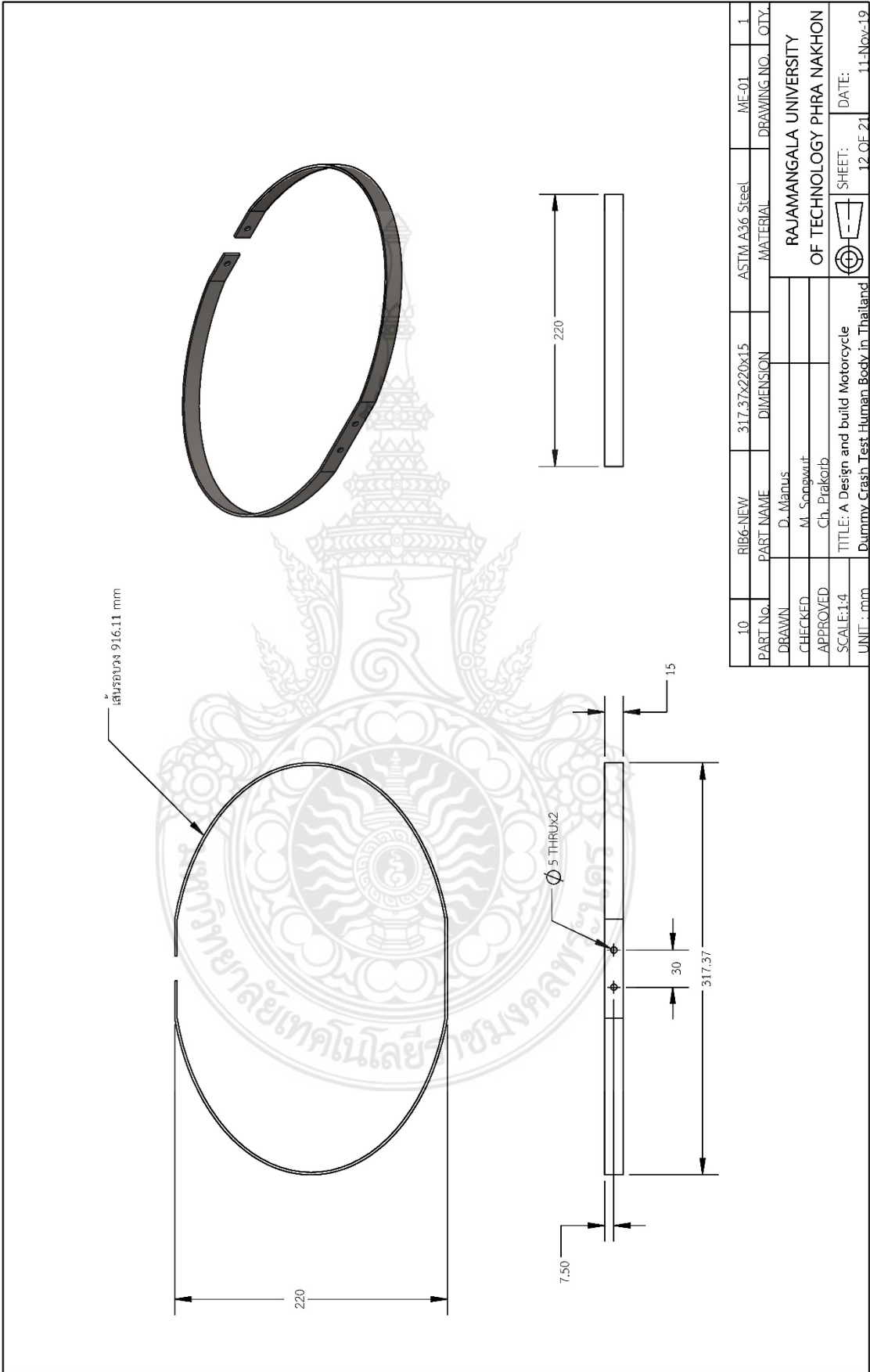
7	RIB3-NEW	332.06x220x15	ASTM A36 Steel	ME-01	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO. QTY.	
DRAWN	D. Manus			RAJAMANGALA UNIVERSITY	
CHECKED	M. Songwut			OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON	
APPROVED	Ch. Piatkorb			TITLE: A Design and build Motorcycle	
SCALE:1:4	TITLE: A Design and build Motorcycle			SHEET: 9 OF 21	DATE: 11-Nov-19
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand				



8	RIB4-NEW	335x220x15	ASTM A36 Steel	ME-01	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	D. Manus			RAJAMANGALA UNIVERSITY	
CHECKED	M. Songwut			OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON	
APPROVED	Ch. Prakorb				
SCALE:1:4	TITLE: A Design and build Motorcycle		SHEET: 10 OF 21		DATE: 11-Nov-19
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand				

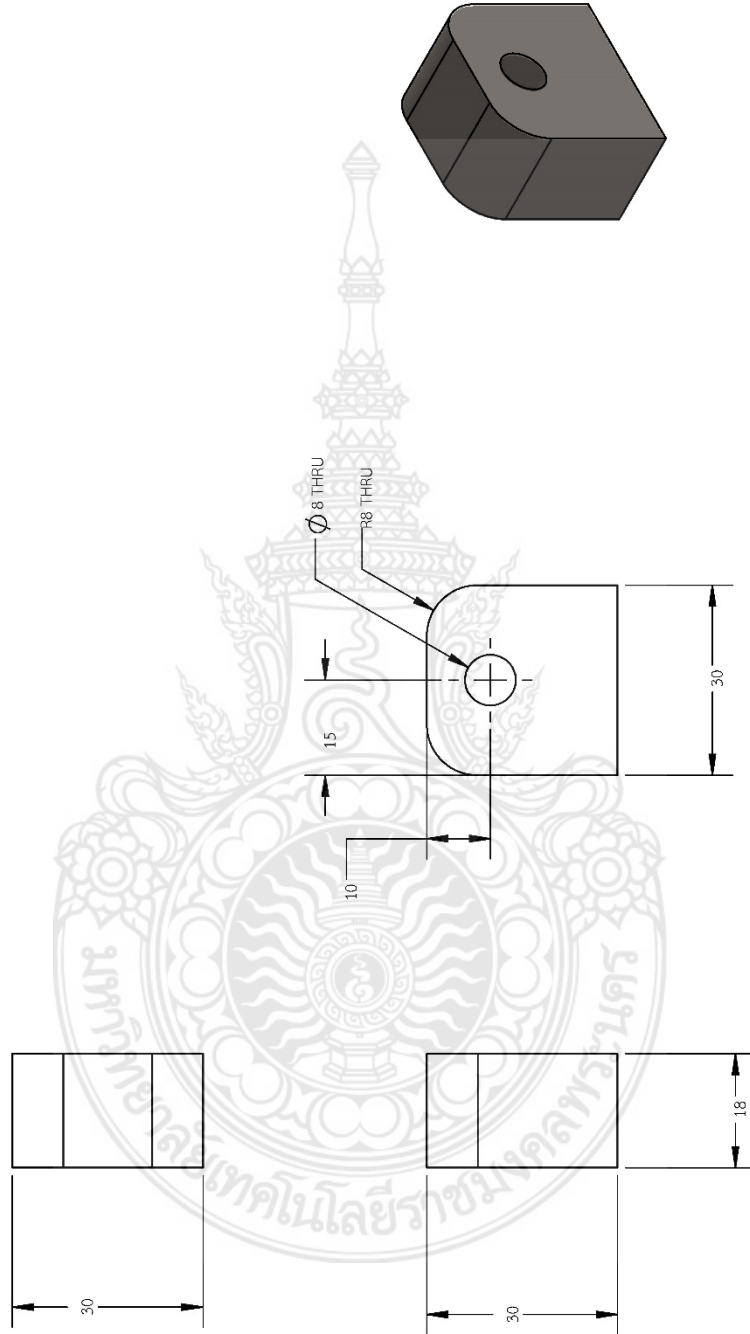


9	RIB5-NEW	329.10x220x15	ASTM A36 Steel	ME-01	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY
DRAWN	D. Manus				
CHECKED	M. Songwut				
APPROVED	Ch. Prakorb				
SCALE:1:4	TITLE: A Design and build Motorcycle		SHEET: 11 OF 21		
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand		DATE: 11-Nov-19		

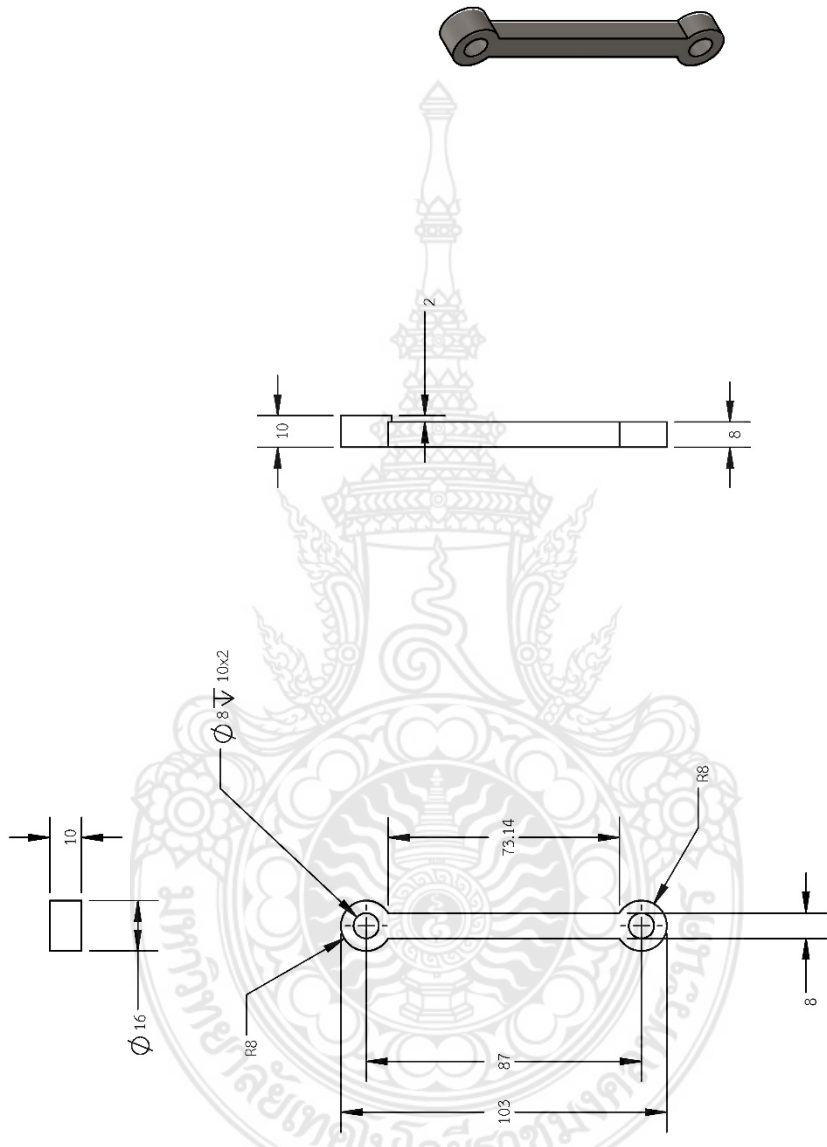


10	RIB6-NEW	317.37x220x15	ASTM A36 Steel	ME-01	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	D. Manus				
CHECKED	M. Songwut				
APPROVED	Ch. Piatorb				
SCALE:1:4	TITLE: A Design and build Motorcycle		SHEET: 12 OF 21		
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand		DATE: 11-Nov-19		

RAJAMANGALA UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON

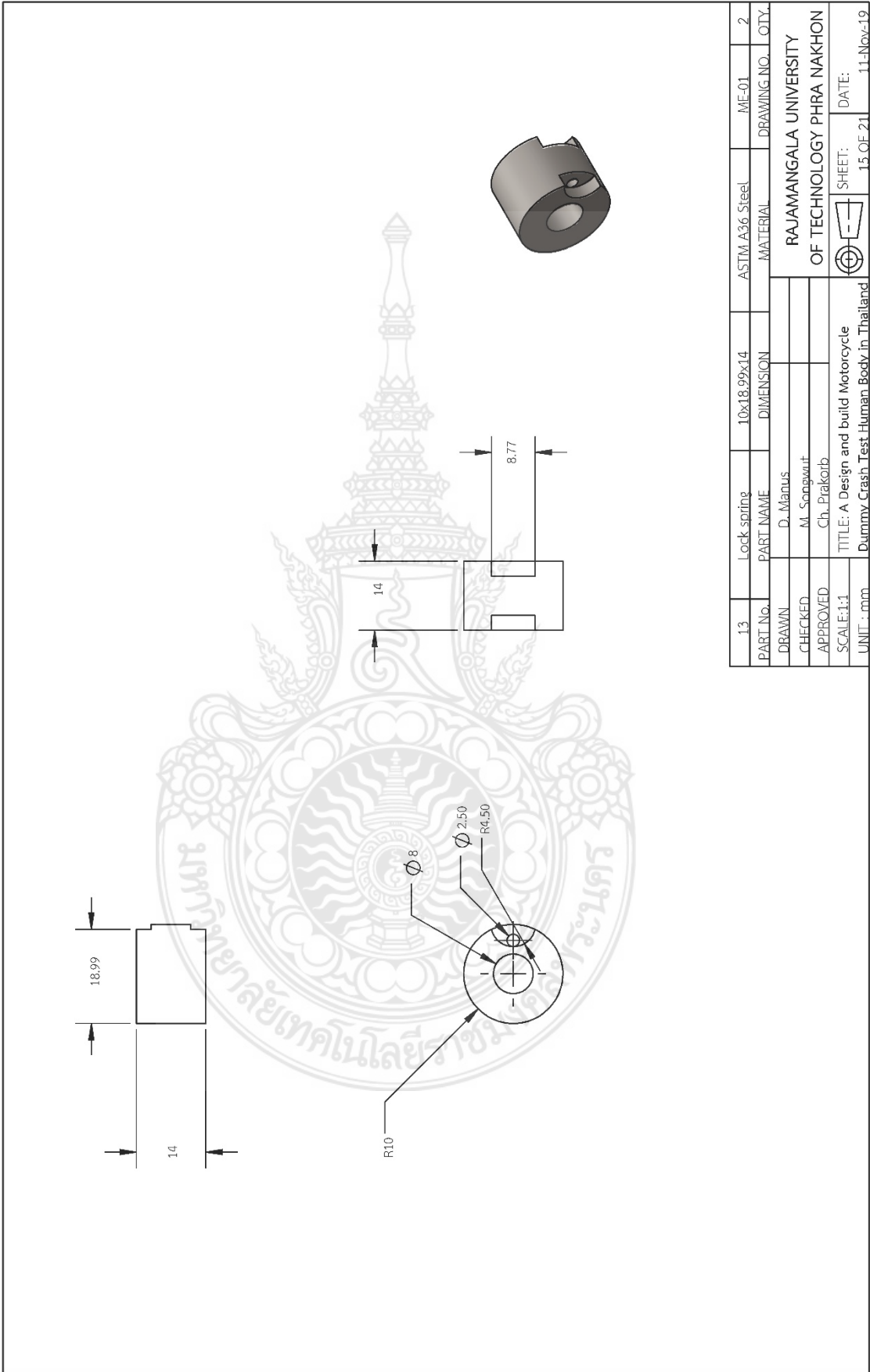


11	Base	30x18x30	ASTM A36 Steel	ME-01	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	D. Manus				
CHECKED	M. Songwut				
APPROVED	Ch. Prakorb				
SCALE:1:1	TITLE: A Design and build Motorcycle Dummy Crash Test Human Body in Thailand				
UNIT : mm				SHEET: 13 OF 21	DATE: 11-Nov-19

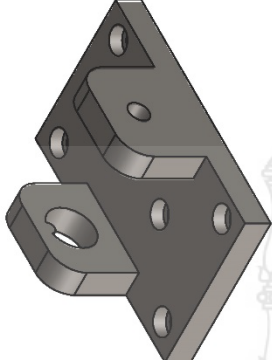
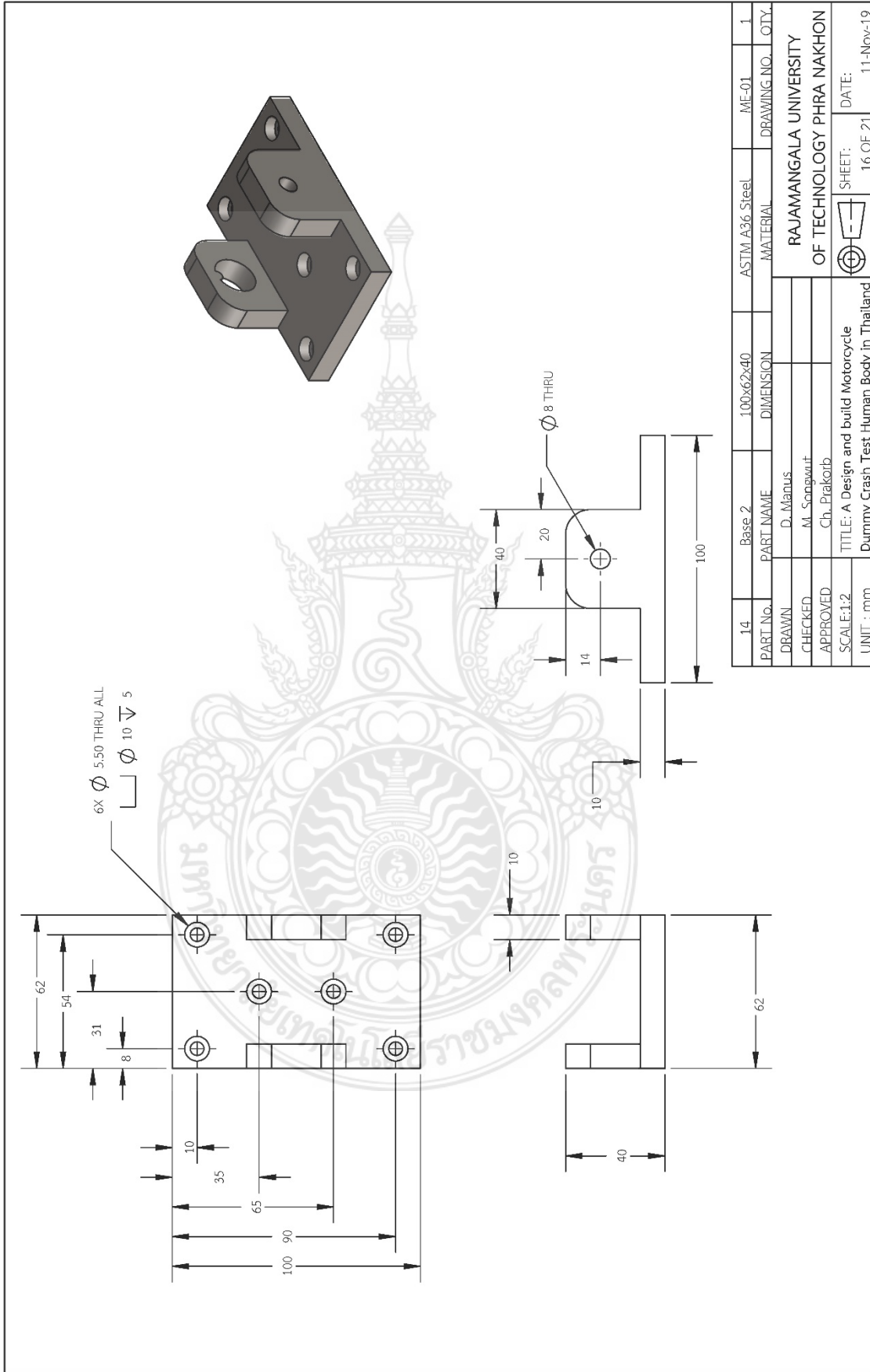


12	Link support X lift Upper	103x10x8	ASTM A36 Steel	ME-01	2
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY
DRAWN	D. Manus				
CHECKED	M. Songwut				
APPROVED	Ch. Prakorb				
SCALE:1:2	TITLE: A Design and build Motorcycle		SHEET: 14 OF 21		
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand		DATE: 11-Nov-19		

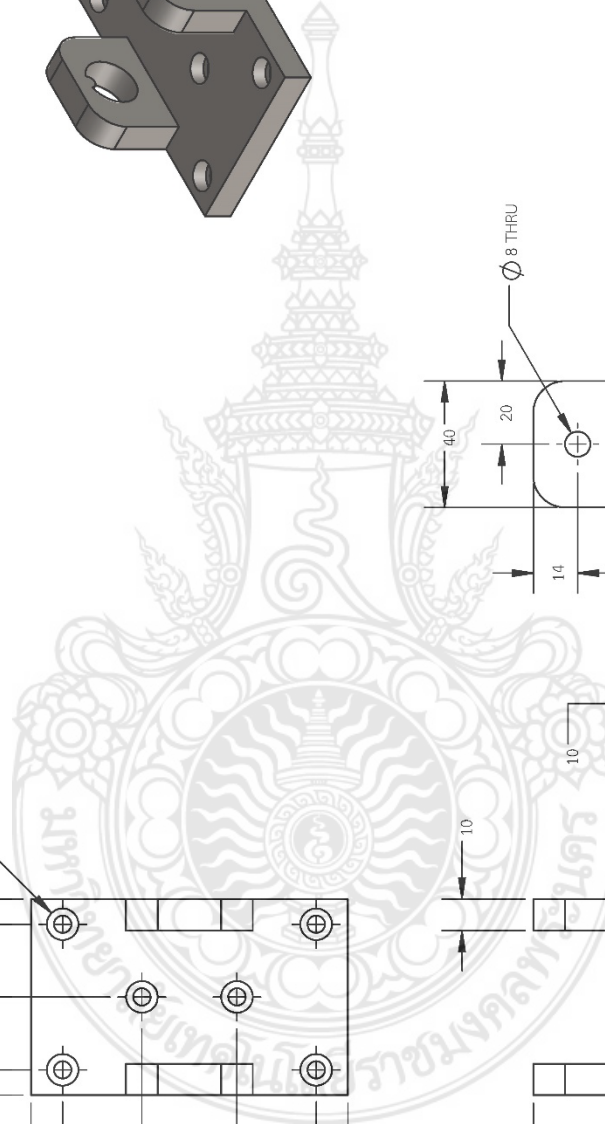
RAJAMANGALA UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON

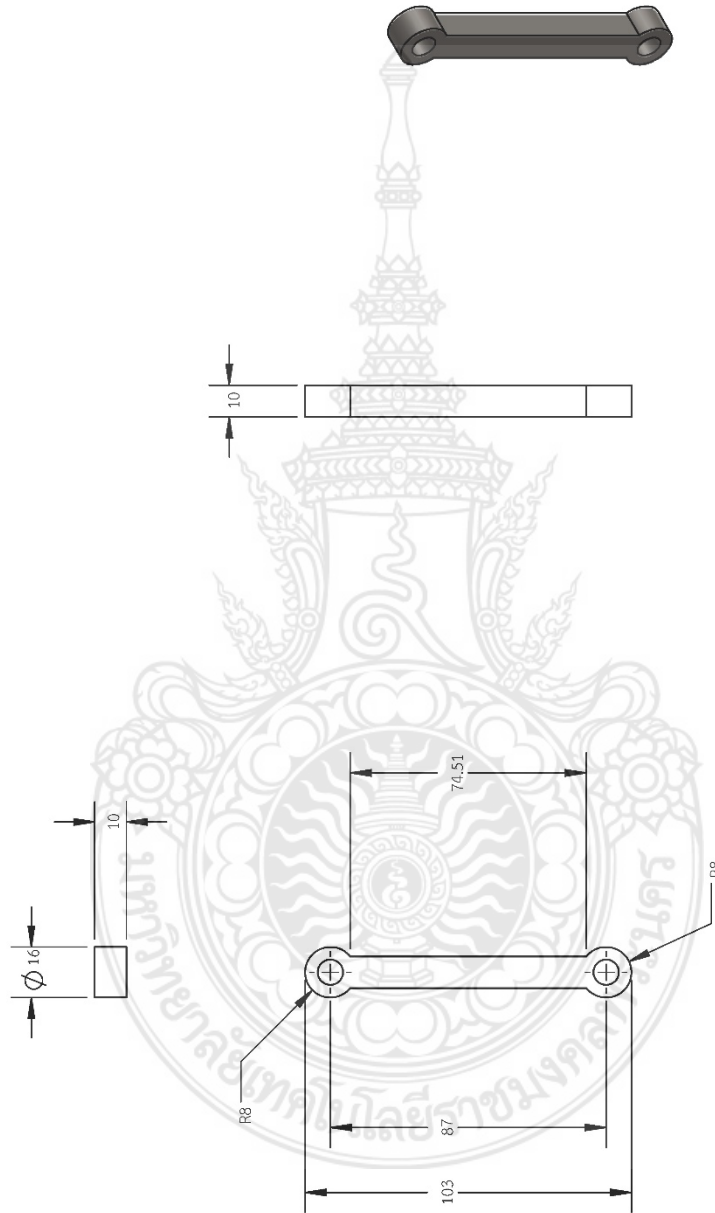


13	Lock spring	10x18.99x14	ASTM A36 Steel	ME-01	2
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO. QTY.	
DRAWN	D. Manus			RAJAMANGALA UNIVERSITY	
CHECKED	M. Songwut			OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON	
APPROVED	Ch. Pitakorb			TITLE: A Design and build Motorcycle	
SCALE:1:1	Dummy Crash Test Human Body in Thailand			SHEET: 15 OF 21	DATE: 11-Nov-19
UNIT : mm					

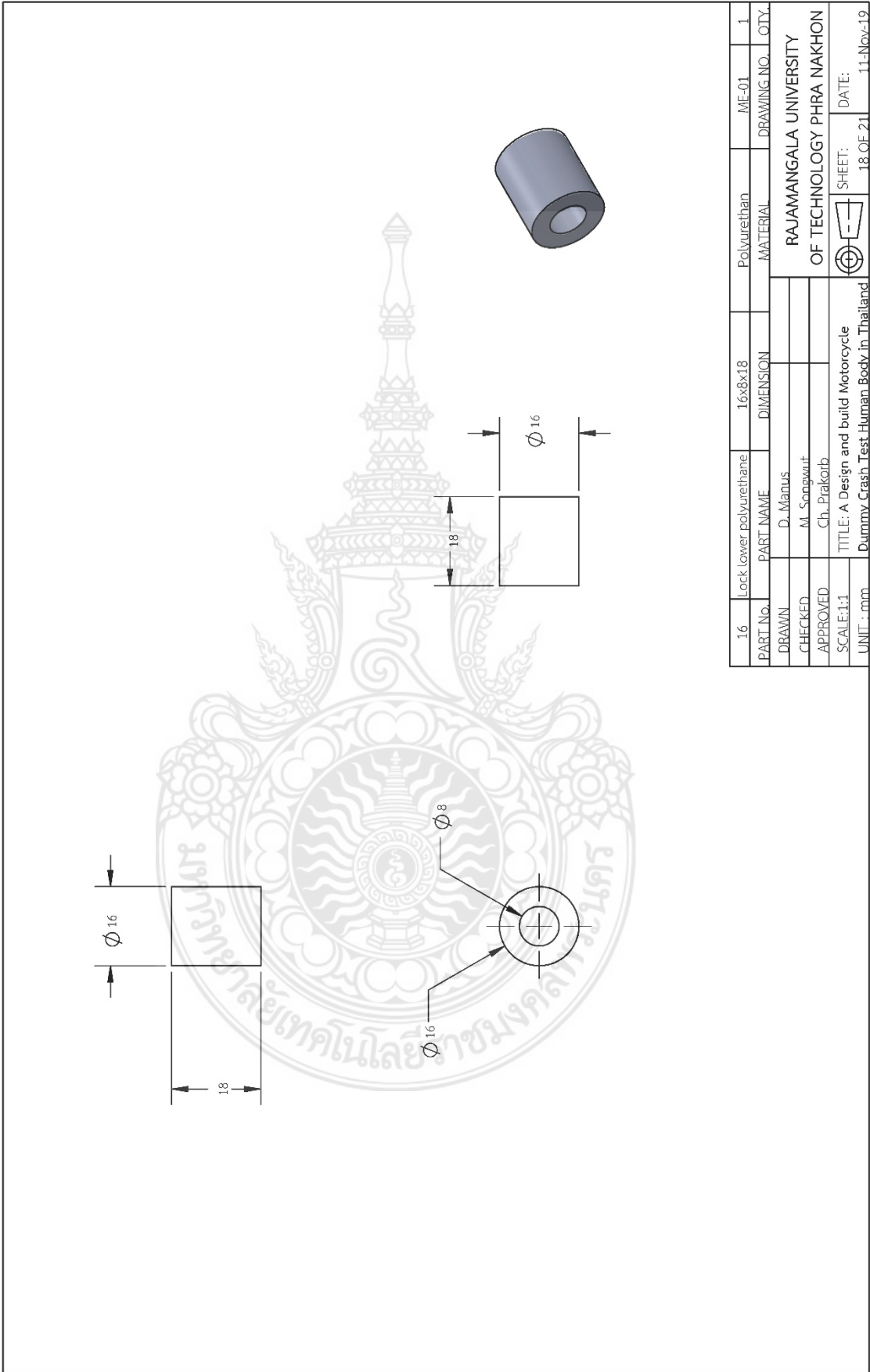


14	Base 2	100x62x40	ASTM A36 Steel	ME-01	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	D. Manus				
CHECKED	M. Songwut				
APPROVED	Ch. Piatkoib				
SCALE:1:2	TITLE: A Design and build Motorcycle		SHEET: 16 OF 21		DATE: 11-Nov-19
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand				

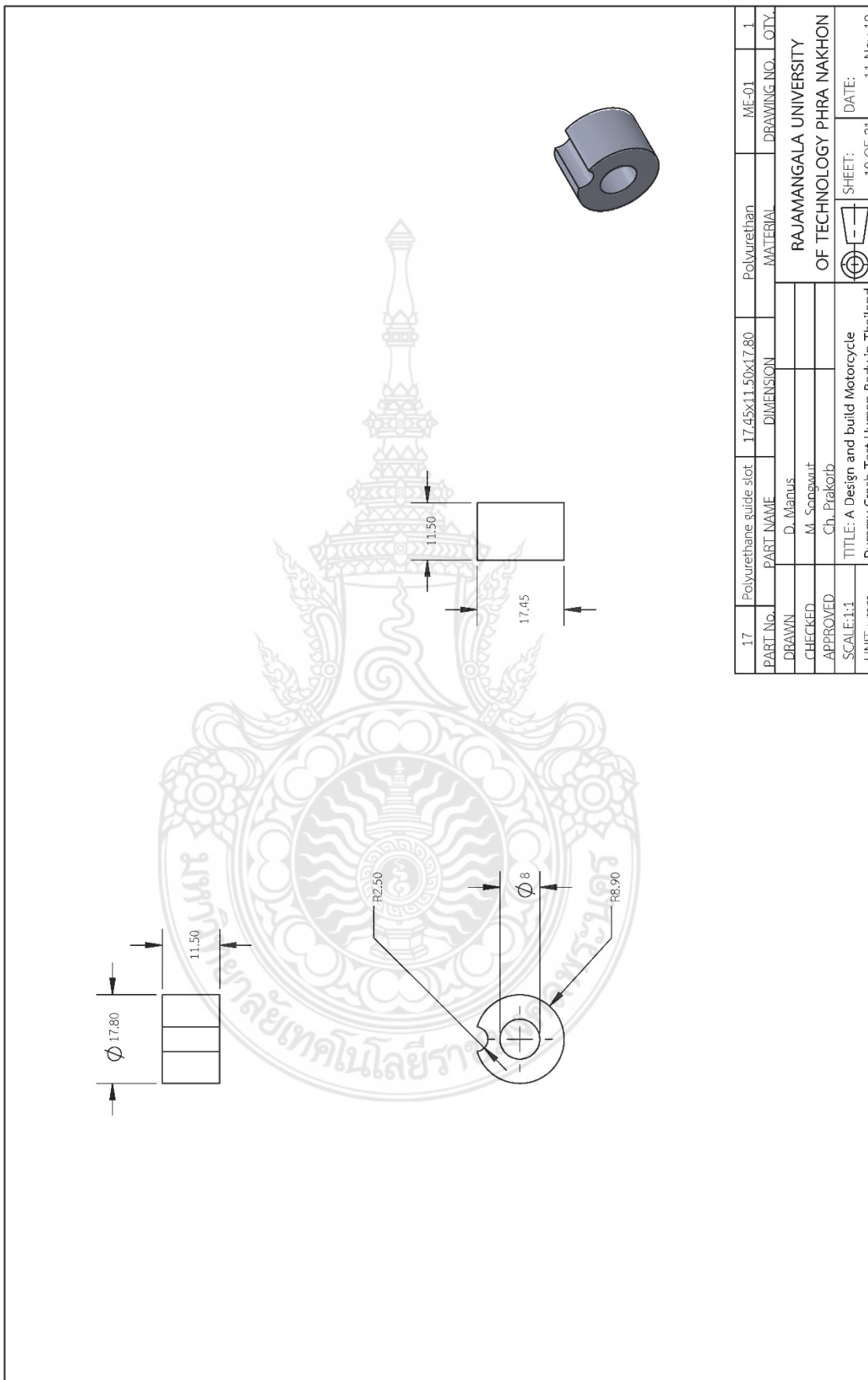




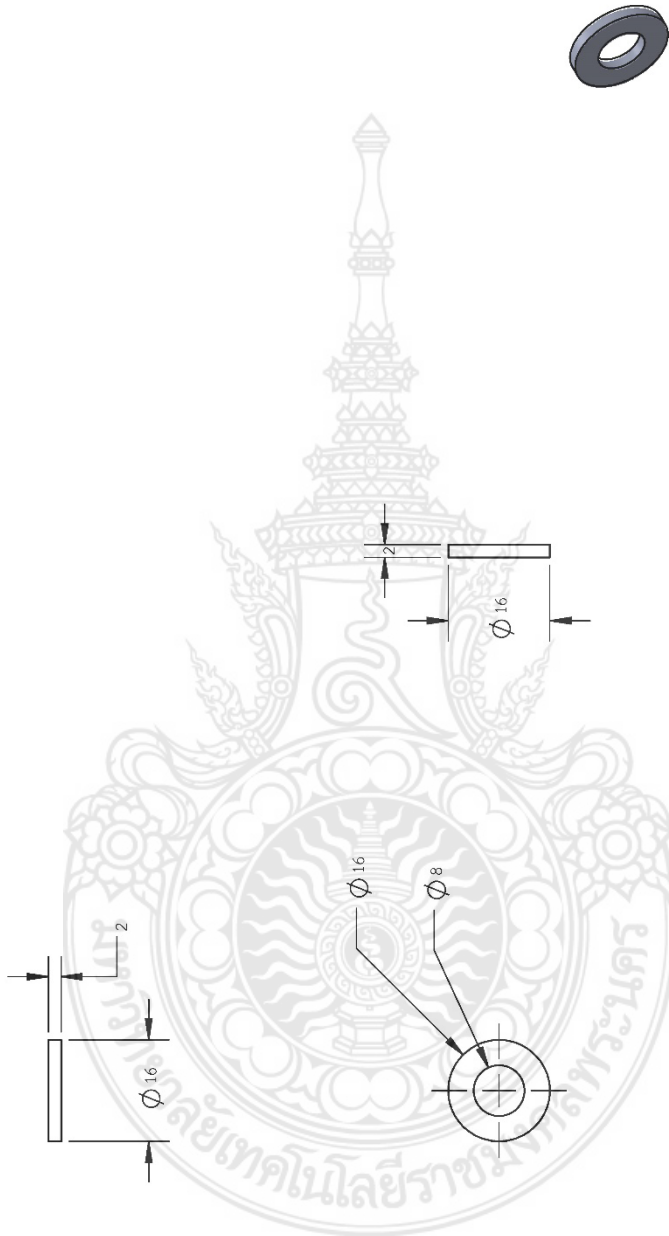
15	Link support X-lift-Lower	103x10x16	ASTM A36 Steel	ME-01	2
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO. QTY.	
DRAWN	D. Manus			RAJAMANGALA UNIVERSITY	
CHECKED	M. Songwut			OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON	
APPROVED	Ch. Prakorb			TITLE: A Design and build Motorcycle	
SCALE:1:2	TITLE: A Design and build Motorcycle		SHEET: 17 OF 21		DATE: 11-Nov-19
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand				



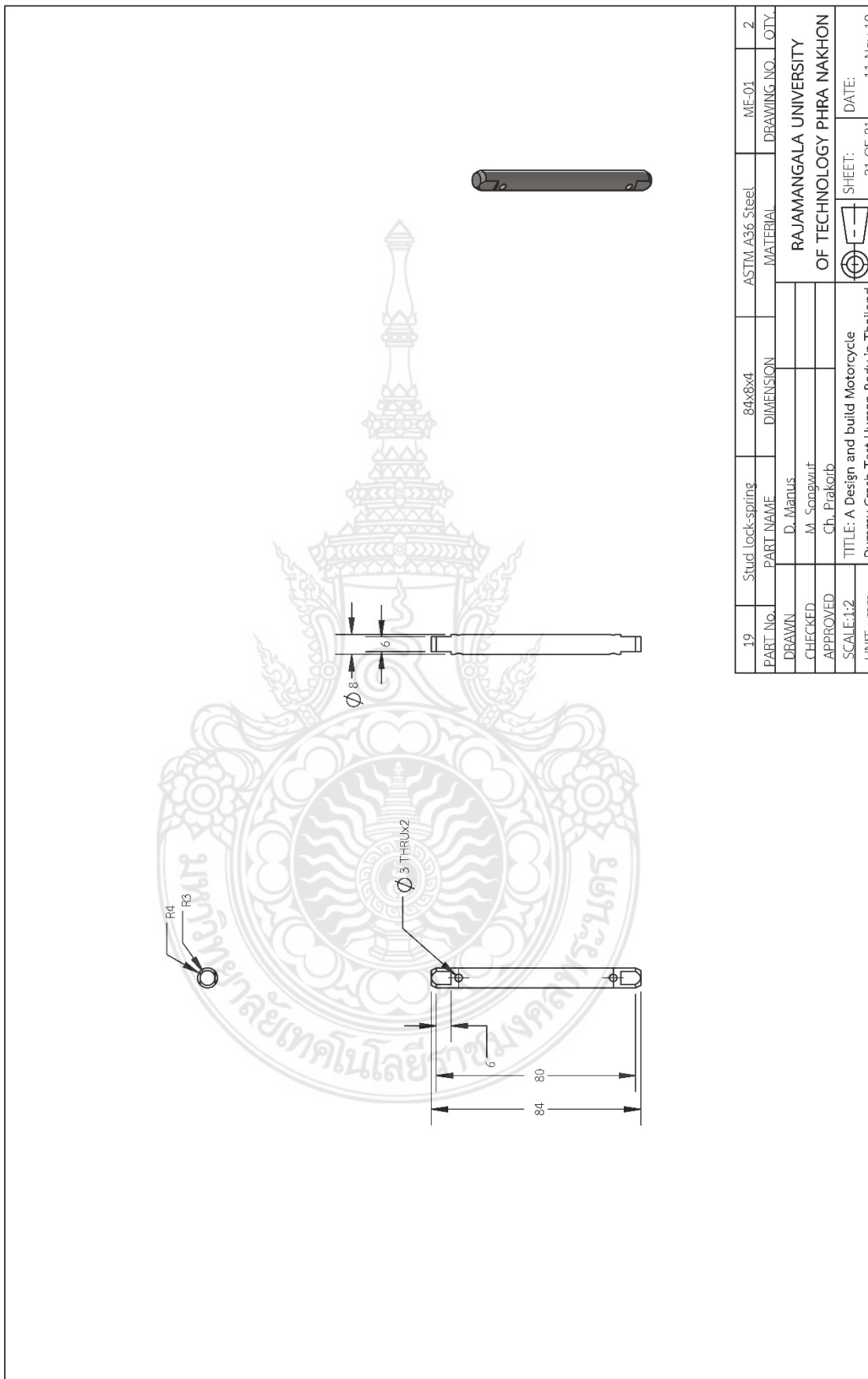
16	Lock lower polyurethane	16x18x18	Polyurethane	ME-01	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	D. Manus				
CHECKED	M. Songwut				
APPROVED	Ch. Pitakorb				
SCALE:1:1	TITLE: A Design and build Motorcycle		SHEET: 18 OF 21		DATE: 11-Nov-19
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand				



17	Polyurethane guide slot	17.45x11.50x17.80	Polyurethan	ME-01	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	D. Manus				
CHECKED	M. Songwut				
APPROVED	Ch. Prakorb				
SCALE:1:1	TITLE: A Design and build Motorcycle		SHEET: 19 OF 21		DATE: 11-Nov-19
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand				



18	Washer polyurethane 2 mm	16x2	Polyurethan	ME-01	14
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO. QTY.	
DRAWN	D. Manus		RAJAMANGALA UNIVERSITY		
CHECKED	M. Songwut		OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON		
APPROVED	Ch. Prakitob				
SCALE:1:1	TITLE: A Design and build Motorcycle		SHEET:	DATE:	
UNIT : mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand		20.0E.21	11-Nov-19	



19	Stud lock-spring	84x8x4	ASTM A36 Steel	ME-01	2
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO. QTY	
DRAWN	D. Manus			RAJAMANGALA UNIVERSITY	
CHECKED	M. Songwut			OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON	
APPROVED	Ch. Prakorb				
SCALE:1:2	TITLE: A Design and build Motorcycle		DATE: 11-Nov-19		
UNIT :mm	Dummy Crash Test Human Body in Thailand		SHEET: 21 OF 21		





ที่ R&D 406/2562

4 ตุลาคม 2562

เรื่อง ผลการพิจารณาตอบรับบทความลงตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

เรียน นายมานัส แดงชาติ

ตามที่ท่านได้จัดส่งบทความเรื่อง “การออกแบบหน้ากากหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบสำหรับทดสอบการชนรถจักรยานยนต์” เพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา นั้น

กองบรรณาธิการวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ขอแจ้งให้ทราบว่าบทความที่เสนอมารับการพิจารณาประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้วโดยไม่มีกรณีแก้ไข และให้ลงตีพิมพ์ได้ในวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ถาวร อมตกิตต์ดี)

ประธานคณะกรรมการวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา



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

มานัส แดงชาติ¹ สิงห์แก้ว ปิอกเที่ยง² และ ประกอบ ชาดิภักดิ์^{3*}

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

²อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

³อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*E-mail: prakorb.c@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบหน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบสำหรับทดสอบการชนรถจักรยานยนต์ภายใต้ข้อมูลสรีระของชายไทยในช่วงอายุที่มีการสำรวจว่ามีอัตราการเสียชีวิตสูงสุด ประกอบกับอัตราส่วนหุ่นทดสอบมาตรฐาน Hybrid III 50 percentile มาเป็นสมมติฐานเบื้องต้นสำหรับการออกแบบ สำหรับการทดสอบหาความสามารถของหุ่นทดสอบต้นแบบใช้ค่าแรงกดและระยะยุบบริเวณหน้าอกของศพเป็นเกณฑ์ในการทดสอบ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสามารถรองรับความเร่งของการกระแทกได้สูงถึง 38.43 เท่าของความโน้มถ่วงโลก สามารถดูดซับพลังงานได้ 483.06 จูล และมีระยะยุบตัวสูงสุด 80 มิลลิเมตร ตามเกณฑ์การออกแบบการทดสอบที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ ทั้งนี้ ระดับความสามารถในการดูดซับพลังงานแปรผันโดยตรงกับความเร็ว ยิ่งไปกว่านั้น ชีตความสามารถในการรองรับการชนกระแทกอยู่ในระดับ AIS 3+ หรือระดับรุนแรงแต่ไม่ถึงสาหัส ดังนั้น หน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบนี้สามารถใช้ในการประเมินการบาดเจ็บที่เกิดจากการชนของรถจักรยานยนต์อยู่ในระดับไม่เกินสาหัสเท่านั้น

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+. 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] สอดคล้องกับผลการศึกษากลุ่มป้องกันการบาดเจ็บจากการจราจร สำนักโรคไม่ติดต่อ พ.ศ. 2557 [2] เปิดเผยให้เห็นถึงยานพาหนะที่เสี่ยงต่อการเสียชีวิตมากที่สุดของประชากรไทย คือ รถจักรยานยนต์ คิดเป็นร้อยละ 66 ของการเสียชีวิตทั้งหมดจากอุบัติเหตุทางถนน อีกทั้งยังพบว่าเพศชายที่มีอายุในช่วง 15-29 ปี มีอัตราการเสียชีวิตมากกว่าเพศหญิงสูงถึง 3 เท่าตัว [3] ยิ่งไปกว่านั้น พฤติกรรมเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุจากรถจักรยานยนต์ คือ การฝ่าฝืนสัญญาณจราจร การขับขี้นในลักษณะที่ประมาทและหวาดเสียว และการขับรถแข่งในที่ลับขั้ว [4] ในขณะที่งานวิจัยของ ปิยะพงศ์ ปัญญบุรี [5] ศึกษาถึงความสูญเสียทางเศรษฐกิจและสุขภาพจากผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์โดยไม่สวมหมวกนิรภัย: กรณีศึกษาในอำเภอเมืองเชียงใหม่ แสดงให้เห็นว่าการบาดเจ็บบริเวณศีรษะมีอัตราสูงที่สุดในรถจักรยานยนต์ คิดเป็นร้อยละ 48.43 และสูญเสียทรัพย์สิน คิดเป็นร้อยละ 70 ผนวกกับรายงานของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร [6] และงานวิจัยของกาญจน์กรอง สุอังคะ [7] ที่รวบรวมข้อมูลด้านมูลเหตุสันนิษฐานในการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงและพฤติกรรมกรขับขี่ของวัยรุ่นพบว่า มีพฤติกรรมไม่ปฏิบัติตามกฎจราจร ใช้ความเร็วสูงในการขับขี่ และขับขี่ด้วยความลึกลับละนอง มีผลต่อความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการใช้รถจักรยานยนต์ ทำให้ผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุบนทางหลวงชนบทมีอัตราเพิ่มขึ้นสูงถึงร้อยละ 47.7 เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า [6] โดยบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงชนบทมากที่สุด ได้แก่ ทางตรง ทางโค้ง และทางแยกรูปตัว Y และตัว T [2] ยิ่งไปกว่านั้น ข้อมูลสถิติอุบัติเหตุและรายงานการวิเคราะห์อุบัติเหตุจากสำนักงานตำรวจแห่งชาติ กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท รายงานอุบัติเหตุบนถนนของประเทศไทย (TRAMS) และกรมการขนส่งทางบก ถูกนำมาพิจารณาในการกำหนดแนวทางการจัดหาระเบียบ มาตรการ 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 รายงานดังกล่าวยังระบุให้ทราบถึงอัตราการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นกับบริเวณส่วนต่างๆ 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 การบาดเจ็บบริเวณภายนอกของร่างกายมีผลกระทบต่อระดับขั้นการบาดเจ็บ (Injury Severity Score: ISS) น้อยกว่าการบาดเจ็บของอวัยวะภายใน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบาดเจ็บบริเวณหน้าอกถึงร้อยละ 36.61 [8]

1.3 ภาพรวมการใช้งานหุ่นทดสอบทางยานยนต์

ปัจจุบัน บริษัทผู้ผลิตรถยนต์มีการออกแบบและพัฒนาชิ้นส่วนยานยนต์ให้มีความปลอดภัยกับชีวิตของผู้ขับขี่และผู้โดยสารในรถ ทั้งนี้รถยนต์มีความจำเป็นที่ต้องได้รับการประเมินคุณภาพและระดับความปลอดภัยจากหน่วยงานมาตรฐาน 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 ปัจจุบันหุ่นทดสอบการชนของรถยนต์และจกัรยานยนต์รุ่น Hybrid III 50 percentile เพศชาย นิยมใช้งานเป็นอย่างมาก เนื่องจากหุ่นทดสอบรุ่นดังกล่าวมีสรีระและกลไกการเคลื่อนที่ที่สามารถสะท้อนการบาดเจ็บได้อย่างแม่นยำ ตลอดจนรองรับการทดสอบทางวิศวกรรมยานยนต์ เช่น การชนแบบเต็มหน้าและเอียงศูนย์ (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 อีกทั้งยังมีราคาค่อนข้างสูงและทั้งหมดแล้วแต่ถูกผลิตอยู่ในต่างประเทศทั้งสิ้น จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบหุ่นทดสอบยานยนต์ต้นแบบ ภายใต้อัตราส่วน โครงสร้างของคนไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งเพศชาย เพื่อมาใช้เป็นแนวทางในการทดสอบการชนของรถจักรยานยนต์ ยังประโยชน์ครอบคลุมถึงการประยุกต์ใช้หุ่นทดสอบสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางด้านยานยนต์และอุปกรณ์ความปลอดภัย

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อนำมาออกแบบหุ่นทดสอบต้นแบบ เริ่มต้นจากการนำข้อมูลทึ่เกิดและอัตราส่วนของหุ่นทดสอบมาตรฐาน (Hybrid III) สรีระของชายไทยภายใต้ช่วงอายุที่กำหนด และคุณสมบัติวัสดุมาเป็นสมมติฐานในการพิจารณาถึงจำนวนกระดูกและออกแบบความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอก ความยาวเส้นรอบวงรอบอก ระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่ ความกว้างและความหนาของ

กระดูกซี่โครงของหุ่นทดสอบต้นแบบ หลังจากนั้น ความสัมพันธ์ของแรงกดที่กระทำต่อสฟภายในได้สภาวะสถิตย์และระยะการยุบตัวของหน้าอก ถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบกลไกการคืนตัวของหน้าอก เพื่อจำลองการเคลื่อนที่กลับของหน้าอกภายหลังเกิดการชน ภายใต้กระบวนการดังกล่าวทำให้สามารถกำหนดขนาดหน้าอกของหุ่นทดสอบต้นแบบได้ ลำดับถัดไป การทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบทั้งกรณีการทดสอบแบบสถิตย์ (Static test) และแบบพลวัต (Dynamic test) ถูกกระทำภายใต้สมมติฐานและเงื่อนไขการทดสอบ ในลำดับสุดท้าย ผลการทดสอบความสามารถของหุ่นถูกนำมาคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์ที่ร่างกายยอมรับได้สูงสุด จากการศึกษาสำหรับการประเมินระดับการบาดเจ็บจากการกระแทกของหน้าอกของหุ่นทดสอบต้นแบบ

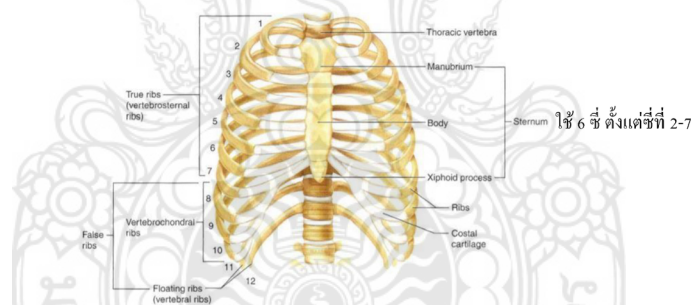
3. แนวทางการออกแบบหน้าอกหุ่นทดสอบและทฤษฎีการประเมินระดับการบาดเจ็บจากการชนกระแทกของหน้าอก

3.1 การออกแบบกระดูกซี่โครงหุ่นทดสอบต้นแบบ

สำหรับขั้นตอนและเกณฑ์การออกแบบกระดูกซี่โครงหุ่นทดสอบต้นแบบมีลำดับดังต่อไปนี้

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

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาอัตราส่วนความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอกของหุ่นทดสอบมาตรฐาน รุ่น Hybrid III 50 percentile ด้วยการใช้ขนาดกระดูกซี่โครงช่วงอกที่กว้างที่สุด (กระดูกซี่โครงที่ 5) มาเป็นเกณฑ์เริ่มต้น และเปรียบเทียบเป็นอัตราส่วนกับกระดูกซี่โครงอื่น ๆ ผลการหาอัตราส่วนความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอกแสดงตามตารางที่ 1

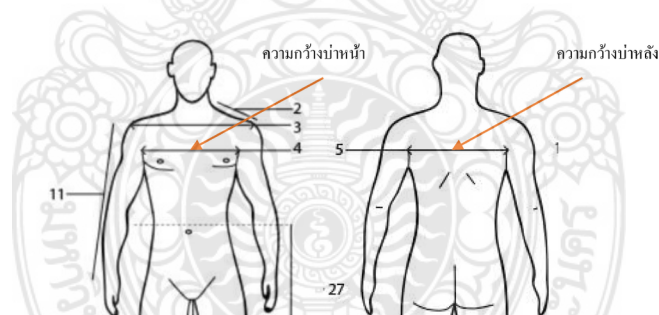


รูปที่ 1 กายวิภาคโครงสร้างกระดูกซี่โครงมนุษย์ [11]

ตารางที่ 1 การหาอัตราส่วนขนาดกระดูกซี่โครงจากหุ่นทดสอบมาตรฐาน (Hybrid III) [12]

กระดูกซี่ที่	กระดูกซี่โครงช่วงอกของหุ่นมาตรฐาน (Hybrid III)	
	ความกว้าง (mm)	อัตราส่วนเทียบกับกระดูกซี่โครงช่วงอกที่กว้างที่สุด
2	254 (เข็บนสุด)	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 (ซี่ที่แคบสุด)	1:1.06

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



รูปที่ 2 ความกว้างช่วงบ่าหน้าและช่วงบ่าหลัง ที่นำมาเป็นเกณฑ์ในการคำนวณความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอก [14]

ขั้นตอนที่ 4 หาระยะห่างของกระดูกแต่ละชิ้นนับจากซี่ที่ 2-7 เนื่องจากไม่มีการระบุข้อมูลอย่างชัดเจนว่าระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่ของคนไทยมีค่าเท่าใด จึงไม่สามารถใช้อัตราส่วนของหุ่นมาตรฐานเช่นเดียวกับในขั้นตอนที่ 2 มากำหนดได้ จากเหตุผลด้านความแตกต่างด้านบริเวณของร่างกายและแนวแกนของโครงสร้างของกระดูกซี่โครง ดังนั้นจึงนำค่าระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่ของหุ่นทดสอบมาตรฐานมาเป็นเกณฑ์ ซึ่งผลการออกแบบระยะห่างของกระดูกแต่ละชิ้นนับจากซี่ที่ 2 ของหุ่นทดสอบต้นแบบแสดงดังตารางที่ 2

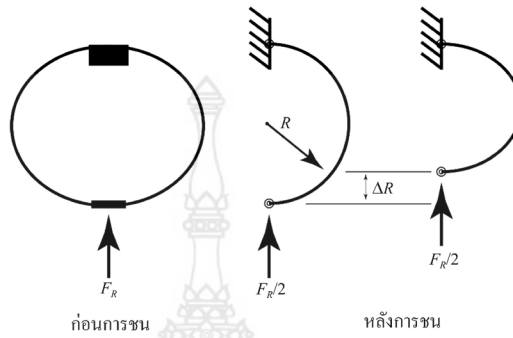
ตารางที่ 2 พิกัดการออกแบบกระดูกซี่โครงของหุ่นทดสอบต้นแบบ

กระดูกซี่ที่	ความกว้างของกระดูกซี่โครงช่วงอก (mm)*	ความยาวเส้นรอบวงรอบอก (mm)*	ระยะห่างของกระดูกแต่ละซี่นับจาก ซี่ที่ 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

* ค่าขนาดตามอัตราส่วนของหุ่นทดสอบมาตรฐานรุ่น Hybrid III โดยกระดูกซี่ที่ 5 เป็นขนาดจริงตามสัดส่วนของชายไทย

** ระยะอ้างอิงจากหุ่นทดสอบมาตรฐานรุ่น Hybrid III

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดหาความกว้างและความหนาของกระดูกซี่โครงหุ่นทดสอบต้นแบบจากทฤษฎีการเสียรูปของกระดูกซี่โครงมนุษย์จากการยุบตัว (Bending deformation of the human thorax) [15] ตามรูปที่ 3 โดยเริ่มต้นจากคำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (Area moment of inertia: I) ตามสมการที่ 1 จากค่าแรงกดที่กระทำต่อสฟบริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบสถิตย์ (F_R) ที่ 650 นิวตัน และระยะขยับที่กระทำต่อสฟบริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบพลวัต (ΔR) ที่ 76.2 มิลลิเมตร ตามงานวิจัยของ C.K. Kroell และคณะที่ถูกรวบรวมโดย W.King [16] เป็นเกณฑ์สมมติฐานของการคำนวณ ในขณะที่ค่าความยาวเส้นรอบวงรอบอกของกระดูกแต่ละซี่ถูกพิจารณาเป็นรัศมีของกระดูกซี่โครง (R) สุดท้ายคำนวณหาความกว้างของกระดูกซี่โครง (H_R) ด้วยการกำหนดค่าความหนาของกระดูก (T_R) คงที่ 2.5 มิลลิเมตร (เป็นขนาดมาตรฐานของวัสดุ SS400) [17] สำหรับผลการคำนวณความกว้าง ความหนา และการเลือกใช้พิกัดวัสดุของกระดูกซี่โครงหุ่นทดสอบต้นแบบ แสดงตามตารางที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพจำลองการเสียรูปของกระดูกซี่โครงมนุษย์จากการขูดตัว [15]

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

$$H_R = \frac{12I}{T_R^3} \quad (2)$$

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 แรงกดที่กระทำต่อสฟริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบสถิตย์ (650 N)
- H_R คือ ความกว้างของกระดูกซี่โครง (mm)
- T_R คือ ความหนาของกระดูกซี่โครง (mm)
- ΔR คือ ระยะขูดที่กระทำต่อสฟริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบพลวัต (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 ที่เลือกใช้ ออกแบบ (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	

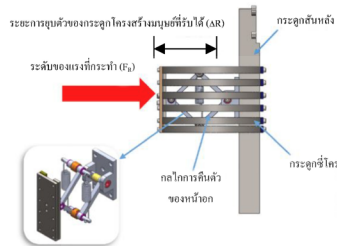
จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า แรงกดที่กระทำต่อศพบริเวณหน้าอกด้วยการทดสอบแบบสถิตย์มีค่า 54.17 นิวตัน เนื่องจากกระดูกซี่โครงมีทั้งหมด 6 ซี่ และยึดติดกับกระดูกสันอก 2 ซี่ข้าง (ซ้ายและขวา) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องพิจารณาค่าจำนวนของกระดูกซี่โครงและการยึดติดทางกายภาพตามรูปที่ 3 โดยกำหนดให้กระดูกซี่โครงทุกซี่มีค่าแรงกระทำที่เท่ากัน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

3.2 การออกแบบกลไกการคืนตัวของหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบ

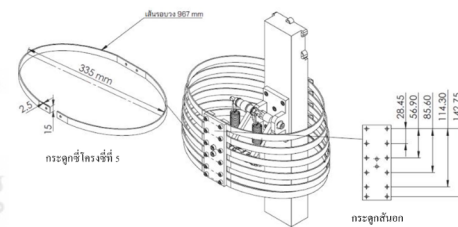
ปกติหน้าอกของมนุษย์มีความสามารถในการรองรับพลังงานที่เกิดจากการชนกระแทก อันเนื่องมาจากการขูด และคืนตัวกลับสู่สภาพปกติคล้ายกับการทำงานของสปริง ดังนั้น การออกแบบและสร้างหุ่นทดสอบต้นแบบมีความจำเป็นต้องออกแบบกลไกการคืนตัวของหน้าอก โดยมีปัจจัยสำคัญคือ ระดับของแรงที่กระทำ (F_R) ระยะการยุบตัวของกระดูกโครงสร้างมนุษย์ที่รับได้ (ΔR) และค่าคงสปริง (k) ตามสมการที่ (3) ทั้งนี้ค่าแรงที่กระทำ และระยะยุบตัวใช้สมมติฐานเดียวกันการออกแบบกระดูกซี่โครงที่ 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 และหน้าอกหุ่นทดสอบพิเศษต้นแบบแสดงตามรูปที่ 5

$$F_R = k(\Delta R)$$

(3)



รูปที่ 4 การออกแบบกลไกการคืนตัวของหน้าอก



รูปที่ 5 หน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบ

3.4 ทฤษฎีการประเมินระดับการบาดเจ็บจากการชนกระแทกของหน้าอก [18]

ในปัจจุบันการประเมินระดับการบาดเจ็บจากการชนกระแทกของหน้าอกใช้ระดับค่าทางกายภาพที่กระทำต่อหน้าอกโดยสามารถแบ่งการกระแทกที่เกิดจากการชน 2 ลักษณะ คือ การชนด้านหน้า (Frontal impact) และการชนด้านข้าง (Lateral impact) ซึ่งค่าทางกายภาพที่บ่งบอกถึงเกณฑ์มาตรฐาน (Criteria) นิยมใช้เป็นตัวเกณฑ์ความสามารถที่ร่างกายมนุษย์ยอมรับได้สูงสุดจากการชนกระแทกหรือค่าความอดกลั้น (Human tolerance for chest impact) โดยกำหนดจากค่าการกระทำทางกายภาพดังต่อไปนี้ คือ ความเร่ง (Acceleration) แรงกระทำต่อกระดูกสันหลัง (Force on sternum) แรงกระทำต่อหน้าอกกรวมไหล่ (Force on chest and shoulder) และความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บ (Viscous injury: VC) ดังแสดงตามตารางที่ 4 ในกรณีของความเร่งที่เกิดการบาดเจ็บ แรงกระทำต่อกระดูกสันหลัง (Force on sternum) และแรงกระทำต่อหน้าอกกรวมไหล่ สามารถประเมินผลจากเครื่องมือวัดทางกายภาพได้ (Sensors) ส่วนกรณีความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (4) ผลจากวัดและคำนวณถูกประเมินคะแนนระดับการบาดเจ็บ (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	-
	หน้าอกกรวมไหล่ (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]

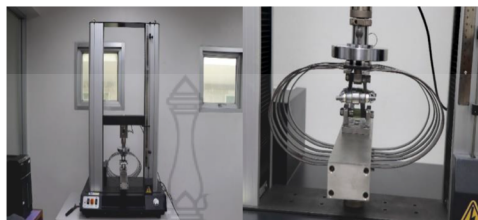
คะแนนระดับการบาดเจ็บ (AIS Score)	ความหมายของคะแนนระดับการบาดเจ็บ
1	เล็กน้อย (Minor)
2	ปานกลาง (Moderate)
3	รุนแรง (Serious)
4	สาหัส (Severe)
5	วิกฤต (Critical)
6	เสียชีวิต (Maximal)

4 ผลการทดสอบความสามารถหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบและอภิปรายผล

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

4.1 ผลการทดสอบแบบสถิตย์ (Static test)

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



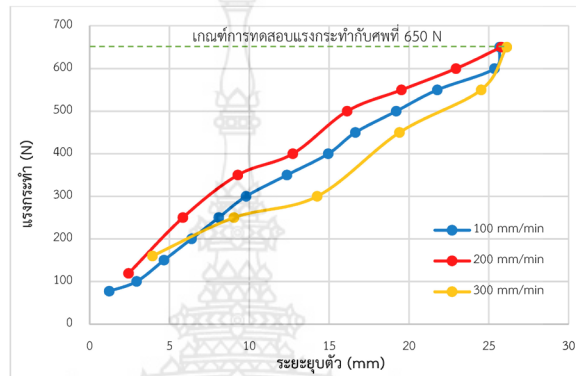
รูปที่ 6 การทดสอบแบบสถิตขั้นบนเครื่องทดสอบ Universal testing machine

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการกีดแบบสถิตขั้นภายใต้ความเร็วที่แตกต่างกัน

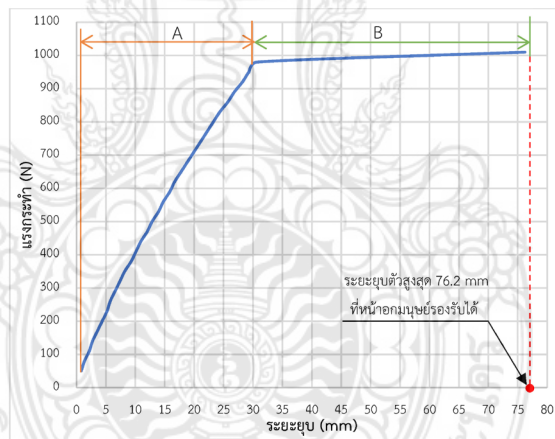
แรงกระทำ F_R (N) ภายใต้ความเร็ว			ระยะยวบตัว ΔR (mm) ภายใต้ความเร็ว			การดูดซับพลังงาน E (J) ภายใต้ความเร็ว		
100 mm/min	200 mm/min	300 mm/min	100 mm/min	200 mm/min	300 mm/min	100 mm/min	200 mm/min	300 mm/min
77	119	160	1.230	2.433	3.931	0.095	0.290	0.629
100	250	250	2.939	5.840	9.040	0.294	1.460	2.260
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		
ค่านิยมมาตรฐาน (SD)			0.190			0.123		

ผลการทดสอบแบบสถิตขั้นภายใต้ความเร็วในการกดแตกต่างกันตามตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ความเร็วในการกดไม่มีผลต่อระยะยวบตัวของหน้าอกหุ่นทดสอบ เนื่องจากระยะยวบตัวมีความใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้มีค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ความเร็วที่ 25.865 มิลลิเมตร อีกทั้ง

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้านค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำมากที่สุดที่ 0.19 เท่านั้น ซึ่งเป็นไปได้ทางเดียวกับการพิจารณาการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหน้าอกที่มีค่าเฉลี่ย 16.812 จูล และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.123 ตามลำดับ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวและแรงกระทำต่อหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบที่ความเร็วแตกต่างกัน



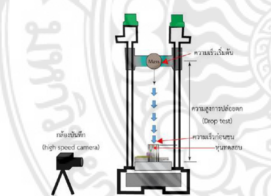
รูปที่ 8 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานในเชิงความสามารถการรับแรงกระทำสูงสุดภายใต้สภาวะสถิตย์

ผลการทดสอบพฤติกรรมการดูดซับพลังงานในเชิงความสามารถรับแรงกระทำสูงสุดภายใต้สภาวะสถิตย์ตามรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าแรงกระทำสูงสุดในช่วง A และช่วง B มีค่า 982 นิวตัน และ 1,014 นิวตัน ตามลำดับ สำหรับความสัมพันธ์ของแรงกระทำและระยะขยุบตัวในช่วงเริ่มต้น (ช่วง A) มีแนวโน้มการขยุบตัวค่อนข้างต่ำ อันเป็นผลของคุณสมบัติวัสดุที่ออกแรงต้านทานแรงกระทำที่สูงมาก หลังจากนั้นในช่วงที่วัสดุมีอาจต้านทานการขยุบตัวได้จากแรงกระทำที่ค่อนข้างคงที่ (ช่วง B) ทำให้ระยะขยุบตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ พฤติกรรมดังกล่าวคล้ายคลึงกับพฤติกรรมการดูดซับพลังงานของหน้าอกมนุษย์ที่มีความสามารถรองรับแรงกระทำที่ทำให้กระดูกซี่โครงขยุบตัวลงถึงจุดหนึ่ง และหากแรงกระทำยังคงที่อย่างต่อเนื่อง กระดูกซี่โครงจะเกิดการขยุบตัวถาวรหรือเกิดการแตกหัก ทำให้ระดับการบาดเจ็บมีผลถึงความตายก็เป็นได้ ดังนั้น การออกแบบหน้าอกหุ่นทดสอบต้นแบบมีความสามารถในการรับแรงกระทำสูงสุดภายใต้สภาวะสถิตย์ได้

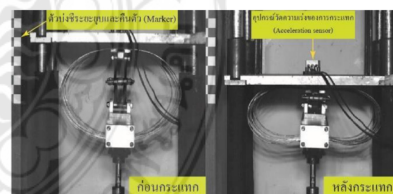
4.4 ผลการทดสอบแบบพลวัต (Dynamic test)

อ้างอิงการทดสอบแบบพลวัตของ W.King [16] ที่กระทำต่อศพ สำหรับวิธีการทดสอบดังกล่าว มวลที่กระทำต่อหน้าอกและความเร็วในการเข้ากระแทกถูกกำหนด ด้วยเครื่องทดสอบการกระแทกแนวระนาบ (Blunt impactor machine) โดยผลการทดสอบพิจารณาถึงขีดสุดของแรงกระแทก (Peak of impact force) และระยะขยุบตัวของหน้าอก อย่างไรก็ตาม สำหรับงานวิจัยนี้ นำเครื่องทดสอบการปล่อยตก (Drop test) ที่มีลักษณะการทดสอบตามรูปที่ 9 มาประยุกต์ใช้งาน โดยมีวัตถุประสงค์สำหรับสร้างแรงกระแทกจากแนวระนาบเป็นแนวตั้งแทน ทั้งนี้ มวลที่ใช้ในการกระแทกเป็นแบบยึดติด (Fixed) ที่ขนาดพิคค 16 กิโลกรัม ดังนั้น ความสูงจึงจำเป็นต้องทดลองเปลี่ยนแปลง (Trail) ระดับของความสูง โดยตั้งสมมติฐานการทดลองมุ่งเน้นไปที่การขยุบตัวของหุ่นทดสอบให้มีค่าใกล้เคียงกับระยะขยุบตัวของหน้าอกมนุษย์มากที่สุดที่ 76.2 มิลลิเมตร ซึ่งตามสมมติฐานนี้มีการกำหนดไว้ที่ความสูง 2 ระดับ คือ 0.125 และ 1 เมตร ตามลำดับ สำหรับการหาระยะขยุบตัวและระยะคืนตัวในขณะทดสอบใช้กล้องบันทึกความเร็วสูง (High speed camera) ที่ระดับ 1000 เฟรมต่อวินาที และตัวบ่งชี้ระยะการขยุบและคืนตัว (Marker) ที่ติดตั้งบริเวณเครื่องทดสอบ ส่วนกรณีความเร่งของการกระแทกใช้อุปกรณ์วัดความเร่ง (Acceleration sensor) ที่ติดตั้งบนมวลทดสอบเพื่อนำผลการวัดมาคำนวณหาค่าแรงกระแทกด้วยความถี่ 1,000 เฮิรตซ์

นอกเหนือจากนี้ ระยะขยุบตัว ระยะคืนตัวสูงสุด ความเร่งของการกระแทก แรงกระแทกอันเป็นผลจากการทดสอบถูกนำมาคำนวณหาค่าความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บเพื่อใช้ในการชี้วัดขีดความสามารถในการรองรับการชนกระแทกที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าอก สำหรับลักษณะการทดสอบแบบพลวัตแสดงดังรูปที่ 10 และผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 7 ถึง 10



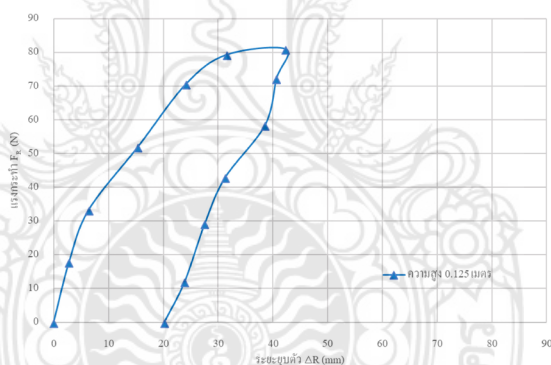
รูปที่ 9 เครื่องทดสอบแบบการปล่อยตก



รูปที่ 10 การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic test)

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบแบบพลวัตที่ระยะความสูงการปล่อยตก 0.125 เมตร

เวลา t (s)	ระยะยุบตัว 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	จุดชันพลังงาน
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



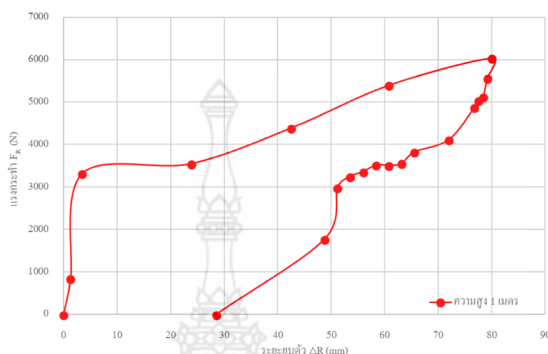
รูปที่ 11 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานที่ระยะความสูงการปล่อยตก 0.125 เมตร

ผลการทดสอบตามตารางที่ 7 และรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า ที่ความสูงในการปล่อยตก 0.125 เมตร ใช้เวลาการทดสอบเพียง 12 มิลลิวินาที เท่านั้น ซึ่งสามารถอธิบายพฤติกรรมทางกายภาพของหุ่นทดสอบได้โดยในช่วงเวลาดังกล่าว ตั้งแต่ 2 ถึง 5 มิลลิวินาที เป็นช่วงของจุดชันพลังงาน ในช่วงพฤติกรรมดังกล่าว ความเร่งของการกระแทกมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งมีค่าสูงสุด 5.096g ที่เวลา 6

มิลลิวินาที หลังจากนั้น ช่วงเวลาดังแต่ 7 ถึง 11 มิลลิวินาที เป็นช่วงการคืนตัวของหน้าอกโดยสังเกตได้จากความเร่งของการกระแทก และระยะยุบตัวมีแนวโน้มลดลง จนกระทั่งหยุดการคืนตัวที่เวลา 12 มิลลิวินาที ทั้งนี้ในเวลาดังกล่าว ระยะยุบตัวของหน้าอกยังคงมีค่า 20.2 มิลลิเมตร ทั้งนี้ปราศจากแรงกระแทก เนื่องจากการโก่งตัวของโครงสร้างกระดูกซี่โครง (Deflection of the rib cages) ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการยุบตัวของหน้าอกมนุษย์จากการชนกระแทกที่มีแรงกระแทกระดับหนึ่งจนไม่สามารถคืนตัวกลับอยู่ในสภาพปกติ นั่นเอง

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	
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	แรงกระทำสูงสุด
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 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานที่ระะความสูงการปล่อยตก 1 เมตร

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 และความเร่งของการกระแทกสูงสุดที่ 38.47g รวมไปถึงแรงกระแทกสูงสุด 6038.27 นิวตัน ที่เป็นผลจากการคำนวณค่าความเร่งของการกระแทก

อย่างไรก็ตาม ผลของระยะยุบตัวของหน้าอกหุ่นทดสอบที่ออกแบบไว้ สามารถรองรับการยุบตัวที่มีค่าใกล้เคียงกับค่ายุบตัวของหน้าอกมนุษย์มากที่สุด 76.2 มิลลิเมตร ตามสมมติฐานการทดสอบที่กล่าวไว้ตอนต้น สำหรับผลความสามารถของหุ่นทดสอบด้วยการทดสอบแบบพลวัตสรุปได้ตามตารางที่ 9 รวมไปถึงการชี้วัดขีดความสามารถในการรองรับการชนกระแทกที่หน้าอกของหุ่นทดสอบต้นแบบแสดงตามตารางที่ 10

ตารางที่ 9 สรุปผลความสามารถของหุ่นทดสอบด้วยการทดสอบแบบพลวัต

ความสูง h (m)	ความเร่งของการกระแทกสูงสุด a (g)	แรงกระแทกสูงสุด F_R (N)	ระยะยุบตัวสูงสุด 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 พิจารณาความสามารถในการรองรับการชนกระแทกที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าอกของหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบ

ความสูง h (m)	ระยะคืนตัว ΔR (mm)	*ช่วงเวลาการคืนตัว 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+

* ช่วงเวลาการคืนตัวนำข้อมูลมาจากกล้องบันทึกภาพยนตร์ความเร็วสูง ที่ระดับ 1,000 เฟรมต่อวินาที

จากตารางที่ 9 ความสามารถของหุ่นทดสอบด้วยการทดสอบแบบพลวัตสามารถรองรับความเร่งของการกระแทกได้สูงถึง 38.43g ซึ่งสามารถดูดซับพลังงานได้ 483.06 จูล โดยมีระยะยุบตัวสูงสุดในเกณฑ์การออกแบบที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ ยิ่งไปกว่านั้นผลการทดสอบแบบพลวัตทั้ง 2 ระดับความสูงปรากฏให้เห็นชัดเจนว่าความเร็วก่อนการกระแทกที่สูงขึ้นแปรผันตามความสูงที่เพิ่มขึ้น อันเป็นผลกระทบโดยตรงต่อการดูดซับพลังงานของหน้าอกหุ่นทดสอบอีกด้วย

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

5. สรุปผล

หน้าอกหุ่นทดสอบเพศชายต้นแบบนี้ถูกออกแบบภายใต้สมมติฐานสรีระชายไทยในช่วงอายุที่มีเกณฑ์การเสียชีวิตสูงสุดจากรดจกัรยานยนต์ ผนวกกับอัตราส่วนการออกแบบหุ่นทดสอบมาตรฐาน 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," 2015.
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร สำนักแผนความปลอดภัย กลุ่มพัฒนาความปลอดภัย, "รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนน พ.ศ. 2558," 2559.
- [3] สุขภาพคนไทย 2560, "อุบัติเหตุทางจราจร," 2560.
- [4] พันธุ์สว่าง, วรธนา, พฤติกรรมของคนขี่รถจักรยานยนต์รับจ้างกับปัญหาจราจรในกรุงเทพมหานคร. 2019.
- [5] ปิยะพงศ์ ปัญจบุรี, "ความสูญเสียทางเศรษฐกิจและสุขภาพจากผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์โดยไม่สวมหมวกนิรภัย: กรณีศึกษาในอำเภอเมืองเชียงใหม่ (Loss of economics and health from motorcycle riders without helmets : a case study in Mueang Chiang Mai District)," *เชียงใหม่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2550*, no. 2550.
- [6] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร สำนักแผนความปลอดภัย กลุ่มพัฒนาความปลอดภัย, "รายงานการวิเคราะห์อุบัติเหตุทางถนน ประจำปี 2555," ประเทศไทย, 2556.
- [7] กาญจน์กรอง สุอังคะ, "การศึกษาพฤติกรรมการขับขี่ของวัยรุ่นที่มีผลต่อความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการใช้รถจักรยานยนต์," 2559.
- [8] ศูนย์อุบัติเหตุ รพ.ร.๖, "PMK Trauma Registry Major Data 2011," กองอุบัติเหตุและเวชกรรมฉุกเฉิน โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าฯ, 2011.
- [9] Global NCAP 2017, "http://www.globalncap.org/results/," [Online]. Available: <http://www.globalncap.org/>. [Accessed: 04-Jan-2017].
- [10] J. P. Stapp, "Human tolerance to deceleration," *Am. J. Surg.*, vol. 93, no. 4, pp. 734–740, Apr. 1957.
- [11] ภาควิทยาศาสตร์และสรีรวิทยาของมนุษย์, "ระบบโครงร่างของร่างกาย," ภาควิทยาศาสตร์และสรีรวิทยาของมนุษย์.
- [12] Office of crash worthiness standards and vehicle research and test center, "Parts List and Drawings Subpart E (HYBRID III 50th PERCENTILE MALE)," Technical, Apr. 1997.
- [13] "SizeThailand." [Online]. Available: http://www.sizethailand.org/region_all.html. [Accessed: 10-Apr-2019].
- [14] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, "ร่าง มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ขนาดรูปร่างคนไทย เล่ม 2 ชาย," ประเทศไทย, ฉบับร่าง 2, 2560.
- [15] W.King, *Human impact response: measurement and simulation. "Analysis of slanted-rib model of the human thorax."* New York: Springer Science and Business Media New York, 1973.
- [16] W.King, *Human impact response: measurement and simulation."Human Torso Response to Blunt Trauma"*. New York: Springer Science and Business Media New York, 1973.
- [17] "จำหน่ายเหล็กแผ่นดำ เกรดSS400 SM400A ราคาและขนาด มาตรฐาน มอก.," *VCSASIA จำหน่ายเหล็ก อุปกรณ์ช่าง และวัสดุก่อสร้าง Online Store...*
- [18] Sturdivan LM, Viano DC, and Champion HR, "Analysis of injury criteria to assess chest and abdominal injury risks in blunt and ballistic impacts.," *J Trauma 2004*, vol. 56, no. 3, pp. 651–63.
- [19] Dr.Sami, "Injury severity score," *OrthoTips*, 29-Oct-2015. .

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นามสกุล นายมานัส แดงชาติ
วัน เดือน ปีเกิด 28 ตุลาคม 2530
ภูมิลำเนา 160/34 หมู่บ้านพฤษภาวิไล ตำบลบางสีทอง อำเภอบางกรวย
จังหวัดนนทบุรี 11130

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ปวช. (ช่างยนต์)	วิทยาลัยการอาชีพนางรอง	พ.ศ. 2547
ปวส. (ช่างยนต์)	โรงเรียนเทคโนโลยียานยนต์	พ.ศ. 2553
วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	พ.ศ. 2556
วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	พ.ศ. 2562

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

วิศวกร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชากรราษฎร์ 1 เขตวงศ์สว่าง แขวงบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ (ถ้ามี)

- Koetniyom, S., Dangchat, M., Mongkonlerdmanee, S., Carmai, J., & Chanta, S. (2018). Identification of Handbrake Patterns of Young Motorcycle Riders in Thailand Using a Newly Invented Force Measuring Device. *Engineering Journal*, 22(5), 185-197.

ทุนการศึกษา (ถ้ามี)

-