



การออกแบบและพัฒนาหุ่นทดสอบการชนรถจักรยานยนต์

A Design and Development of Motorcycle Anthropometric  
Test Dummy

สิงห์แก้ว

ทรงวุฒิ

สายประสิทธิ์

ป๋อเท็ง

มงคลเลิศมณี

เกิดนิยม

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาหุ่นทดสอบเพื่อใช้ในการทดสอบการชน (anthropometric test dummy) ของรถจักรยานยนต์ด้านหน้า โดยคุณลักษณะการออกแบบเป็นหุ่นทดสอบเพศชาย อายุในช่วง 25-55 ปี และมีกระดูกซี่โครง 6 ซี่น รองรับการยุบตัวสูงสุด 76.2 mm. สำหรับการทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบแบ่งเป็นการทดสอบแบบสถิตย์และพลวัต โดยการทดสอบแบบสถิตย์พิจารณาถึงพฤติกรรมการดูดซับพลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะยุบตัว หรือ (static curves) ส่วนกรณีการทดสอบแบบพลวัตพิจารณาถึงพฤติกรรม การดูดซับพลังงานจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วและแรงกระทำ หรือ (dynamic force-deformation curves) ความเร่งที่กระทำ แรงกระทำบริเวณสันอก และระดับการบาดเจ็บ จากผลของความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บในฟังก์ชันของความเร็ว

ผลการทดสอบแบบสถิตย์พบว่าพฤติกรรมการดูดซับพลังงานบริเวณหน้าอกมีระยะยุบตัวค่อนข้างต่ำในช่วงการเพิ่มแรงกดเริ่มต้น หลังจากนั้นระยะยุบตัวมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากแรงกระทำที่ต่ำเมื่อผ่านจุดวิกฤตของวัสดุ ทั้งนี้ พฤติกรรมดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับการดูดซับพลังงานของหน้าอกของคน ดังนั้นคุณลักษณะการออกแบบหุ่นทดสอบนี้สามารถสะท้อนพฤติกรรมที่มีความใกล้เคียงกับกายวิภาคของมนุษย์

ในกรณีของการทดสอบแบบพลวัตเปิดเผยให้เห็นถึงความสามารถของหุ่นทดสอบที่สามารถรองรับการดูดซับพลังงานได้ถึง 99.905 J ความเร่งที่กระทำ 38.43g แรงกระทำบริเวณสันอก 5.094 kN และความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บในฟังก์ชันของความเร็ว 0.825 m/s ที่เปรียบเทียบกับระดับการบาดเจ็บมีค่า AIS 3+ หรือสูงกว่าระดับรุนแรง (Serious) ตามลำดับ ดังนั้นการออกแบบหุ่นทดสอบในโครงการวิจัยนี้สอดคล้องกับการทดสอบการชนของรถจักรยานยนต์

**คำสำคัญ:** การออกแบบ การพัฒนา รถจักรยานยนต์ หุ่นทดสอบการชน

## Abstract

The purpose of this research is to design and develop dummy (anthropometric test dummy) for motorcycle frontal collision test. The conceptual design of dummy is male, aging between 25-55 years old, 6 pieces of rib and deformable 76.2 mm. In order to performance test, it was classified into 2 testing by static testing and dynamic testing. For static testing, the energy absorption behavior between force and deflection or “static curves” is determined. While dynamic testing is considered to the energy absorption behavior between forces and several velocities or dynamic force-deformation curves, impact acceleration, impact force on sternum and injury severity with the relationship of viscous in velocity function.

The results of the energy absorption behavior on chest of dummy from static testing, the tendency of chest deflection is relatively low during the initial force and suddenly increasing when rise to the critical point. This behavior is similar to the energy absorption of the human chest. Therefore, the design features of this test dummy can reflect behavior that is close to the human anatomy.

In case of dynamic testing, it is discovered the ability of the dummy testing to absorb up to 560 J, impact acceleration 38.43g, impact force on sternum 5.094 kN. The viscous in velocity function is 0.825 m/s which compared to injury severity at AIS3+ (or higher than serious injury). Therefore, the dummy design in this research project corresponds to the collision test of a motorcycle.

**Keywords:** Design Development Motorcycle Anthropometric test dummy

## กิติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนทุนงบประมาณวิจัยรายจ่ายประจำปีงบประมาณ 2560 รวมไปถึงสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่อำนวยความสะดวกในด้านพื้นที่ และเครื่องมือพื้นฐานในการทำวิจัย จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย นอกเหนือจากนี้ ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์เชิงวิชาการ

อนึ่ง องค์ความรู้หรือสิ่งหนึ่งสิ่งใดที่ก่อให้เกิดประโยชน์ อันใดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของงานวิจัยในนี้ขอมอบให้เป็นสาธารณะประโยชน์เพื่อการพัฒนาคน พัฒนาองค์กร และพัฒนาประเทศสืบต่อไป

คณะผู้วิจัย



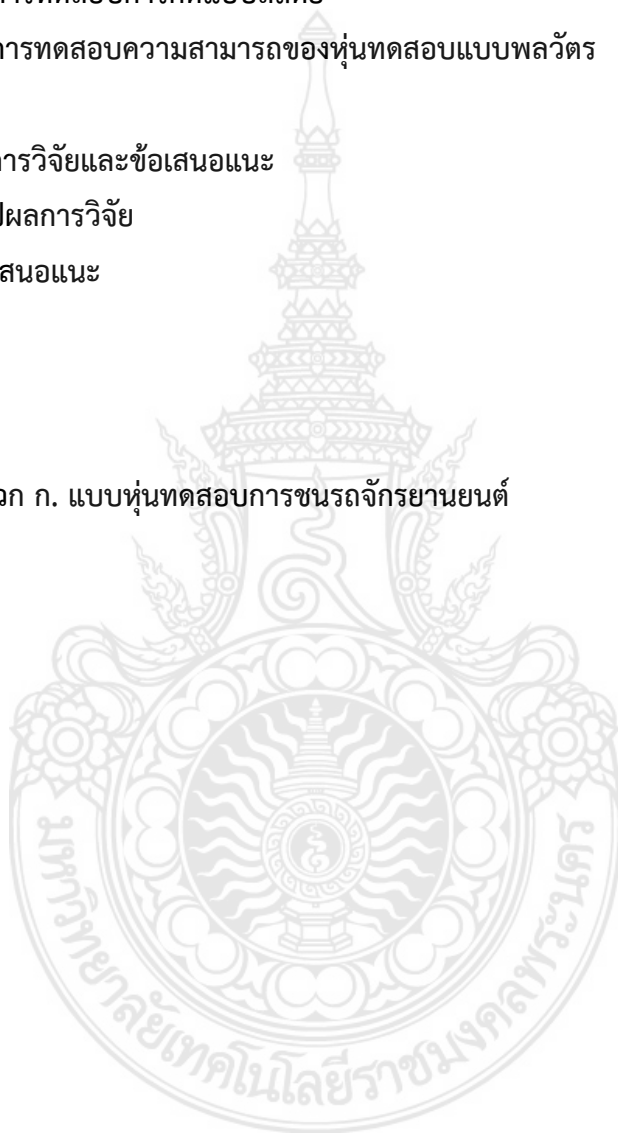


## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญรูป	vi
สารบัญตาราง	viii
คำอธิบายสัญลักษณ์และความหมาย	ix
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	8
บทที่ 3 สมมติฐานการวิจัยและแนวทางการทดสอบ	
3.1 สมมติฐานการวิจัย	12
3.2 สมมติฐานการออกแบบหุ่นทดสอบการชนรถจักรยานยนต์	13
3.3 แนวทางการทดสอบ	20

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ	
4.1 ผลการทดสอบสำหรับการออกแบบ	27
4.2 ผลการทดสอบการกดแบบสถิตย์	29
4.3 ผลการทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบแบบพลวัต	34
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
บรรณานุกรม	42
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. แบบหุ่นทดสอบการชนรถจักรยานยนต์	46



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	2
1.2	3
1.3	3
1.4	3
2.1	6
2.2	7
2.3	9
2.4	10
2.5	11
3.1	13
3.2	15
3.3	17
3.4	18
3.5	19
3.6	19
3.7	20
3.8	21
3.9	21
3.10	22
3.11	22
3.12	26
4.1	29
4.2	29
4.3	30
4.4	32
4.5	32

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานบริเวณหน้าอกสูงสุดของหุ่นทดสอบ	33
4.7 แผนภูมิพลังงาน Dynamic force-deformation curves for human chest	34
4.8 การเตรียมการทดสอบแบบพลวัต	36
4.9 การทดสอบและบันทึกผลการทดสอบแบบพลวัต	36
4.10 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานของการทดสอบแบบพลวัตความเร็ว 5.6 km/hr	37
4.11 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานการของทดสอบแบบพลวัตความเร็ว 19.694 km/hr	39



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สมมติฐานงานวิจัย	12
3.2 สมมติฐานการออกแบบกระดุกซีโครง	14
3.3 อัตราสัดส่วนน้ำหนักร่างกายของมนุษย์	15
3.4 ข้อมูลพิกัดสรีระของคนไทยที่ประกอบการออกแบบ	16
3.5 สรุปแนวทางการทดสอบสำหรับการออกแบบ	23
3.6 สรุปแนวทางการทดสอบเพื่อพิจารณาความสามารถของหุ่นทดสอบ	24
3.7 สรุปการออกแบบหุ่นทดสอบ	25
4.1 เงื่อนไขการทดสอบจริงสำหรับการออกแบบ	27
4.2 ผลการเปรียบเทียบทางทฤษฎีและการทดสอบจริงสำหรับการออกแบบ	28
4.3 ผลการทดสอบการกดแบบสถิตย์ภายใต้ความแตกต่างของภาระมวลก่อนกด ในสถานะที่ไม่มีกลไกการดูดซับพลังงาน	29
4.4 ผลการทดสอบการกดแบบสถิตย์ภายใต้ความแตกต่างของภาระมวลก่อนกด ในสถานะที่ไม่มีกลไกการดูดซับพลังงาน	31
4.5 ข้อกำหนดการออกแบบการทดสอบความสามารถการดูดซับพลังงานของหุ่นทดสอบ	35
4.6 ผลการทดสอบพฤติกรรมการดูดซับพลังงานแบบพลวัตความเร็ว 5.6 km/hr	37
4.7 ผลการทดสอบพฤติกรรมการดูดซับพลังงานแบบพลวัตความเร็ว 15.694 km/hr	38
4.8 สรุปผลความสามารถของหุ่นทดสอบที่ทดสอบแบบพลวัต	40
4.9 สรุปผลระดับการบาดเจ็บที่ทดสอบแบบพลวัต	40

## คำอธิบายสัญลักษณ์และความหมาย

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
b	ความกว้างของกระดูกซี่โครง	mm
g	ความเร่งโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81	m/s <sup>2</sup>
h	ระยะความสูงในการปล่อยตก	m
k	ค่านิจของสปริง	N/mm
m	มวลที่กระทำต่อกระดูกซี่โครง	kg
x	ระยะยุบตัวของกระดูกซี่โครง	mm
A	พื้นที่หน้าตัดของมวลที่กระแทก	m <sup>2</sup>
D	ความหนาของกระดูกซี่โครง	mm
E	Elastic of Modulus	N/mm <sup>2</sup>
F	แรงที่กระทำต่อกระดูกซี่โครง	N
L	ระยะความยาวของวัสดุกระดูกซี่โครง	mm
U	ความเร็วของมวลเริ่มต้น	m/s
V	ความเร็วของมวลก่อนการชนหุ่นทดสอบ	m/s
VC	ความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บในฟังก์ชันของความเร็ว	m/s
E <sub>a</sub>	การดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหน้าอกของหุ่นทดสอบ	J
P <sub>c</sub>	ความดันที่กระทำต่อหน้าอก	kPa
x(t)	ระยะยุบของกระดูกซี่โครงในฟังก์ชันของเวลา	mm
AIS	Abbreviated Injury Scale:	-
ISS	Injury Severity Score	-

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ในอุตสาหกรรมยานยนต์ การประเมินความปลอดภัยของผู้ใช้รถใช้ถนนจะกระทำโดยใช้หุ่นที่สามารถวัดระดับการกระแทก การยุบตัวของร่างกาย การตัด หรือ อัตราหนองที่เกิดขึ้นในร่างกายเพื่อสะท้อนความรุนแรงหรือการบาดเจ็บในการทดสอบความปลอดภัยเชิงรับ (Passive Safety) แทนผู้โดยสาร คนขับ หรือ คนเดินถนน หุ่นดังกล่าวจะถูกพัฒนาให้สามารถใช้งานซ้ำและมีเสถียรภาพได้ ซึ่งสอดคล้องกับ มิติของร่างกาย และ เพศ เป็นต้น [1] หุ่นทดสอบยานยนต์จะถูกผลิตเพื่อการจัดจำหน่ายไปทั่วโลกเพื่อการทดสอบความปลอดภัยยานยนต์เชิงรับดังแสดงในรูปที่ 1.1 [2] ในประเทศที่มีอุตสาหกรรมยานยนต์และผลิตสินค้าที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ใช้รถใช้ถนน การใช้หุ่นทดสอบยานยนต์ดังกล่าวจึงมีจำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นประเทศญี่ปุ่นที่มีอุตสาหกรรมยานยนต์เป็นของตนเองจำนวนมากจึงมีบริษัทที่ผลิตหุ่นทดสอบยานยนต์เพื่อใช้ในการประเมินและตรวจสอบความปลอดภัยยานยนต์ในเชิงรับ [3] เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศเยอรมัน ผู้ผลิตหุ่นทดสอบภายในประเทศก็สามารถจัดหาและผลิตให้กับอุตสาหกรรมยานยนต์เพื่อทำการทดสอบซึ่งมูลค่าของหุ่นทดสอบไม่ต่ำกว่า 10 ล้านบาท [4] การประยุกต์ใช้งานของหุ่นทดสอบในอุตสาหกรรมยานยนต์จะนำไปใช้ในการประเมินการบาดเจ็บของผู้โดยสารโดยใช้เครื่องมือวัดที่ติดตั้งในตัวหุ่นทดสอบจับปริมาณทางกายภาพเมื่อรับแรงกระแทก แล้วทำการเปรียบเทียบค่าขีดจำกัดของร่างกายมนุษย์ที่จะทนได้ ผลการวัดเมื่อเปรียบเทียบกับขีดจำกัดจะถูกเปลี่ยนมาเป็นคะแนนแล้วแปลผลเป็นระดับดาวของความปลอดภัยเพื่อให้ผู้ที่จะเลือกซื้อรถยนต์สามารถใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจได้ ซึ่งในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ASEAN NCAP (New Car Assessment Program) จะนำมาใช้ในการทดสอบคุณภาพความปลอดภัยของรถยนต์ในประเทศญี่ปุ่นตามรูปที่ 1.2 [5] การประเมินคุณภาพความปลอดภัยยานยนต์ได้มีการทำการทดสอบไว้โดยผู้ใช้รถใช้ถนนสามารถตรวจเช็คระดับดาวของความปลอดภัยก่อนทำการทดสอบได้เช่นกันโดยใช้หุ่นประกอบในการประเมินความเสี่ยงของการบาดเจ็บจากการใช้รถยนต์ [6] นอกเหนือจากนี้ การตรวจสอบความปลอดภัยตามมาตรฐาน UNECE Reg. 94 ว่าด้วยเรื่องการทดสอบการชนด้านหน้าเอียงศูนย์ก็ได้ระบุวิธีการทดสอบซึ่งจำเป็นต้องใช้หุ่นในการทำการทดสอบการชนเช่นเดียวกัน [7]

ในประเทศไทย แผนแม่บทอุตสาหกรรมยานยนต์ ปี พ.ศ. 2555 - 2559 จากสถาบันยานยนต์ ได้มีการระบุเรื่องการตรวจสอบคุณภาพความปลอดภัยว่าด้วยเรื่องการใช้หุ่นทดสอบมาเป็นเกณฑ์ในการกำหนดคุณภาพ [8] อีกทั้งจาก ประกาศกระทรวงการคลัง เล่ม 131 ตอนพิเศษ 211 ง หน้า 6 ราชกิจจานุเบกษา 22 ตุลาคม 2557 เรื่อง ลดอัตราภาษีสรรพสามิต (ฉบับที่ 127) ว่า รถยนต์ที่ผลิต

และมีคุณสมบัติในการป้องกันผู้โดยสาร กรณีที่เกิดอุบัติเหตุจากการชนด้านหน้าของตัวรถตามมาตรฐาน UNECE Reg.94 Rev.1 หรือระดับสูงกว่า และมีคุณสมบัติในการป้องกันผู้โดยสาร กรณีเกิดอุบัติเหตุการชนด้านข้างของตัวรถตามมาตรฐาน UNECE Reg.95 Rev. 1 หรือระดับสูงกว่า สามารถนำมาใช้ในการลดหย่อนภาษีได้ [9]

สำหรับการทดสอบจักรยานยนต์ หุ่นที่ใช้ในการทดสอบจะมีความแตกต่างจากหุ่นที่ทดสอบในอุตสาหกรรมยานยนต์รถนั่งเนื่องจากลักษณะการนั่งในการขับขี่ รวมทั้ง เครื่องมือวัดและการบันทึกที่ต้องสามารถบันทึกในหุ่นทดสอบ (Motorcycle Anthropometric Test Dummy, MATD) ดังแสดงตามตัวอย่างในรูปที่ 1.3 หุ่น MATD สามารถทำการบันทึกข้อมูลได้ทั้งหมด 48 ช่องสัญญาณซึ่งใช้ในการวัดค่าจาก อัตราหัวใจที่ศีรษะ แรงบิดที่หน้าแข้งส่วนบนและล่าง การยุบตัวของส่วนบนและล่าง ทั้งสองข้างของหน้าอก การบิดและแรงกระแทกตัวที่สะโพก และแรงกระแทกและแรงบิดที่คอส่วนบน มูลค่าของหุ่นทดสอบไม่ต่ำกว่า 20 ล้านบาท [10]

อย่างไรก็ตาม การใช้หุ่นทดสอบเป็นเครื่องมือทางวิศวกรรมที่สามารถใช้และศึกษาต่อยอดในเชิงวิชาการในการป้องกันอุบัติเหตุจากการใช้รถใช้ถนนในประเทศไทย โดยเฉพาะรถดัดแปลงที่ต่อเติมมาจากการผลิตรถจักรยานยนต์ในประเทศไทย เช่น การดัดแปลงรถกระบะมารับผู้โดยสารสองแถว รถโรงเรียน และรถจักรยานยนต์ที่ใช้ในการส่งรับเด็กนักเรียน เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 4

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาหุ่นทดสอบที่ใช้ในการชนจักรยานยนต์โดยคำนึงถึงกลไกการเคลื่อนที่ของร่างกาย เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลการกระแทกที่เกิดขึ้นกับหุ่นทดสอบในขณะทดสอบการชน อีกทั้งมุ่งเน้นไปถึงการเป็นจุดเริ่มต้นการออกแบบเพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศถึงแม้ว่าจะมีได้มาตรฐานครบถ้วนทั้งหมดก็ตาม หากแต่เป็นการออกแบบเพื่อใช้ในการทดสอบเฉพาะอย่างเท่านั้น ซึ่งความแม่นยำและเหมาะสมใช้วิธีการประเมินตามแนวโน้มผลการทดสอบเป็นหลัก



รูปที่ 1.1 หุ่นทดสอบต่างๆ ในอุตสาหกรรมยานยนต์ [2]





รูปที่ 1.2 การประยุกต์ใช้งานของหุ่นทดสอบยานยนต์ [5]



รูปที่ 1.3 หุ่นทดสอบการชนของจักรยานยนต์ [10-11]



รูปที่ 1.4 การนำรถมาดัดแปลงใช้เพื่อการโดยสาร

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาหุ่นทดสอบที่ใช้ในการชนจักรยานยนต์โดยคำนึงถึงกลไกการเคลื่อนที่ของร่างกาย

1.2.2 เพื่อเก็บข้อมูลการกระแทกที่เกิดขึ้นกับหุ่นทดสอบในขณะที่ทดสอบการชนได้

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

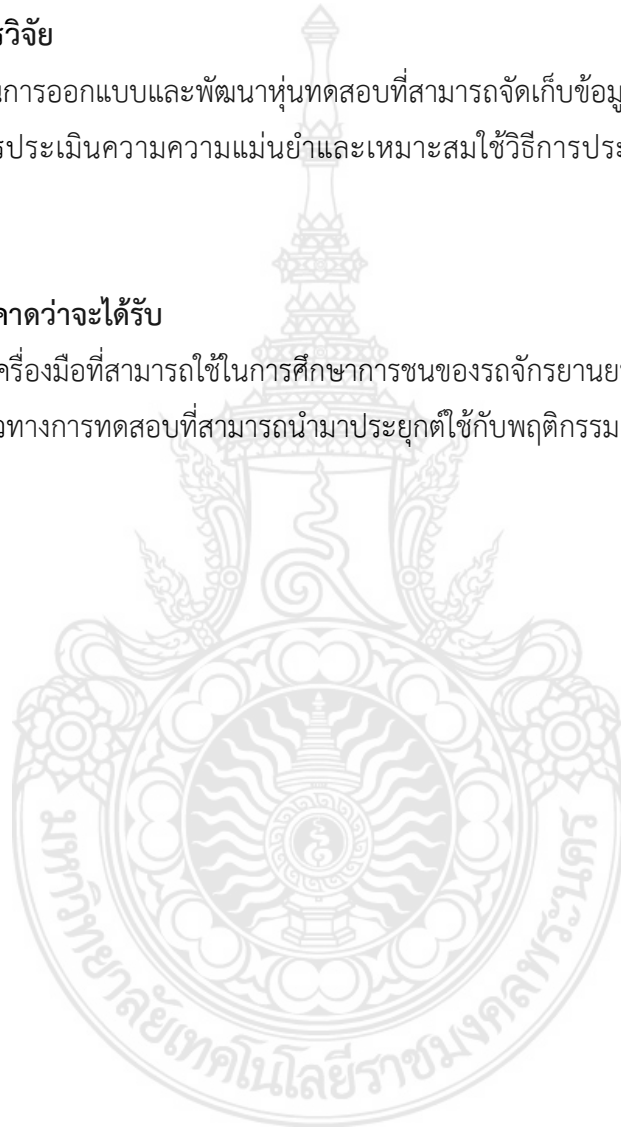
1.3.1 เป็นการออกแบบและพัฒนาหุ่นทดสอบที่สามารถจัดเก็บข้อมูลพฤติกรรมได้

1.3.2 การประเมินความความแม่นยำและเหมาะสมใช้วิธีการประเมินตามแนวโน้มจากการทดสอบ

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เครื่องมือที่สามารถใช้ในการศึกษาการชนของรถจักรยานยนต์

1.4.2 แนวทางการทดสอบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับพฤติกรรมการขับขี่ของประเทศไทย



## บทที่ 2

### การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การทบทวนวรรณกรรม

##### 2.1.1 วิวัฒนาการการสร้างหุ่นทดสอบการชน

การทดสอบขีดความสามารถของร่างกายต่อการเคลื่อนที่และการกระแทก ภายใต้แรงกดดันต่าง ๆ ได้มีเริ่มต้นในประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ทศวรรษปี 1950 เพื่อใช้ในการทางการแพทย์และยานพาหนะ ในปี ค.ศ. 1957 โดย John P. Stapp ได้ทำการวิจัยเพื่อหาขีดจำกัดในห้องปฏิบัติการโดยใช้รางเลื่อนทำความเร็วสูงถึง 88.6 ไมล์ต่อชั่วโมงและหยุดให้ได้ระยะทาง 18.25 ฟุต ดังแสดงในรูปที่ 2.1 รวมทั้งรูปแบบการทดสอบที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.2 จากงานศึกษาวิจัยขีดจำกัดของมนุษย์ของ Glaister พบว่า ขีดจำกัดของมนุษย์ขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วและช่วงเวลาที่เกิดอัตราเร่งเป็นสิ่งสำคัญ [12-14] อย่างไรก็ตามการศึกษาวิเคราะห์จากศพของผู้เสียชีวิตเพื่อมาทดสอบขีดจำกัดของร่างกายมนุษย์ เช่น ความต้านทานของกระดูกสันหลังซึ่งเป็นอวัยวะที่สำคัญ โดยทำการศึกษาจากศีรษะของศพ หรือศีรษะของลิง เพื่อศึกษาปัจจัยจากการกระแทกที่ทำให้เกิดอัตราเร่งแบบเชิงเส้น (Translational acceleration) และอัตราเร่งแบบเชิงมุม (Rotational acceleration) [15] นอกเหนือจากนี้ ส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย เช่น เข่า ต้นขา และสะโพก ถูกนำมาวิเคราะห์ถึงระดับการบาดเจ็บโดยใช้ศพมาทำการทดสอบ ผลของการศึกษาการบาดเจ็บถูกมาใช้ในการประเมินคุณภาพของรถยนต์จากการทดสอบการชนรถยนต์ ถึงแม้การบาดเจ็บของร่างกายส่วนล่างนี้ไม่ทำให้เกิดการเสียชีวิต แต่ก็มีส่วนสำคัญต่อการใช้ชีวิตของผู้ประสบภัยจากอุบัติเหตุและทำให้เกิดปัญหาสังคมในการใช้ชีวิตเช่นกัน [16]

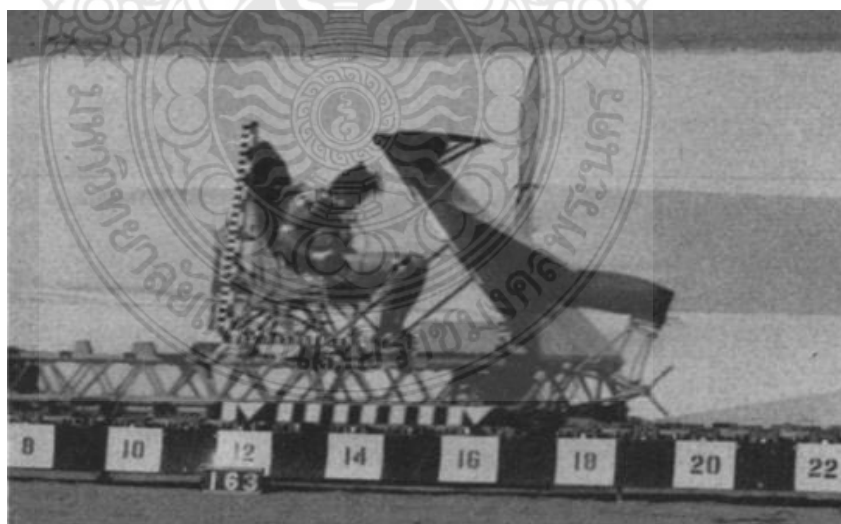
ในปี ค.ศ. 1981 Alderson ได้จดสิทธิบัตรในการทำหุ่นทดสอบสำหรับการทดสอบการชนของรถยนต์ โดยหุ่นทดสอบประกอบไปด้วย หน้าอก แขน และหัวไหล่ โดยทำการประกบยึดแขนกับหน้าอก ซึ่งหัวไหล่ทำมาจากวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง ส่วนแขนจะทำมาจากวัสดุที่ทำมาจากพลาสติกที่มีความแข็งแรงสูง หุ้มด้วยวัสดุที่รับพลังงาน อีกทั้งแขนและหัวไหล่ของหุ่นทดสอบสามารถรับแรงกระแทกที่มาทางด้านข้างได้ [17]

ต่อมาในปี ค.ศ. 1983 มหาวิทยาลัย Michigan ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ทำการพัฒนาออกแบบหุ่นสำหรับทดสอบในยานยนต์ โดยทำการวัดขนาดรูปร่างของอาสาสมัครเพื่อทำการเก็บข้อมูลรูปร่างของผู้ขับขี่ การนั่งในรถยนต์ และขนาดของที่นั่งในรถยนต์ โดยคำนึงถึงตำแหน่งท่าทางของคนที่นั่งในรถยนต์ รูปร่างหน้าสัมผัสระหว่างคนกับเบาะ ข้อมูลสถิติการเก็บจะถูกนำมาสังเคราะห์เพื่อจัดทำหุ่นทดสอบโดยใช้วัสดุผสม Epoxy/Fiberglass ในการทำผิวของหุ่นทดสอบ ในระหว่างช่วงทศวรรษ 70 ถึง 80 การพัฒนาหุ่นจะเน้นที่หาความสัมพันธ์ระหว่างขีดจำกัดของร่างกายมนุษย์กับ

การออกแบบหุ่นทดสอบ เช่น การวิเคราะห์จากข้อมูลปฐมภูมิเพื่อพัฒนาดัชนีตัวชี้วัดการบาดเจ็บที่สัมพันธ์กับค่าทางวิศวกรรมเพื่อใช้ในการออกแบบหุ่นทดสอบ [18-19]

ในปี ค.ศ. 1991 หุ่นทดสอบยานยนต์สำหรับจักรยานยนต์เริ่มมีผลิตให้ใช้จากการจดสิทธิบัตรในประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่อนำมาใช้ในการจำลองอุบัติเหตุทางยานยนต์ โดยมือของหุ่นทดสอบนี้จะมีคุณสมบัติยึดแกนควบคุมบังคับเลี้ยวจากจักรยานยนต์ได้ นอกเหนือการออกแบบคอสำหรับหุ่นทดสอบก็มีความสำคัญเพื่อสะท้อนกลไกการเคลื่อนที่ของคอเพื่อให้สอดคล้องกับมุมของลำตัวในลักษณะท่าทางของผู้ขับขี่ ซึ่งจะมีความแตกต่างกับหุ่นทดสอบที่ใช้ในรถยนต์ ดังนั้น หุ่นทดสอบจักรยานยนต์จึงถูกนำมาใช้เพื่อจำลองและวิเคราะห์การชนของจักรยานยนต์ต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์ลักษณะการบาดเจ็บของผู้ขับขี่จักรยานยนต์ในลักษณะการชนกับที่กั้นถนนเพื่อใช้ในการออกแบบที่กั้นและลดการบาดเจ็บของผู้ขับขี่ รวมทั้งการออกแบบถุงลมนิรภัยสำหรับใช้ในรถจักรยานยนต์ [20-23]

ยิ่งไปกว่านั้น หุ่นที่ใช้ในการทดสอบยานยนต์ต้องมียอดประกอบของกลไกการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมของร่างกายมนุษย์ เช่น ขนาด รูปร่าง มวล และความยืดหยุ่นของร่างกาย เพื่อสะท้อนการตอบสนองทางร่างกายจากการเคลื่อนที่ ความเร็ว ความเร่ง การยุบตัว หรือ การเคลื่อนที่สัมพันธ์กันของชิ้นส่วนในร่างกายมนุษย์ เมื่อหุ่นทดสอบดังกล่าวรับแรงกระแทก หรือ อัตราหน่วงในการจำลองอุบัติเหตุ หุ่นดังกล่าวจะต้องติดตั้งเครื่องมือวัดเพื่อตรวจจับระดับของการบาดเจ็บจากปริมาณทางกลศาสตร์วิศวกรรม โดยเทียบกับขีดความสามารถของร่างกายมนุษย์ [24]



รูปที่ 2.1 การทดสอบขีดความสามารถของมนุษย์ในอุตสาหกรรมการบินและยานพาหนะ [12]





รูปที่ 2.2 การทดสอบขีดจำกัดของร่างกายในขณะที่รับอัตราหว่ง [13]

### 2.1.2 สถานการณ์การเกิดอุบัติเหตุทางถนนของโลกและภูมิภาคเอเชีย

รายงานสถานการณ์โลกด้านความปลอดภัยทางถนนจากองค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) พ.ศ. 2558 ระบุถึงอัตราการเสียชีวิต (Fatal rate) ของประชากรในกลุ่มประเทศที่มีรายได้ต่ำถึงปานกลาง (Low-and middle-income countries) สูงกว่าถึง 2 เท่า เมื่อเทียบกับกลุ่มประเทศที่มีรายได้สูง (High-income countries) ยิ่งไปกว่านั้นการเสียชีวิตจากการจราจรทางถนนแบ่งตามภูมิภาค พบว่าเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีอัตราการเสียชีวิตจากการใช้รถจักรยานยนต์สูงสุด คิดเป็นร้อยละ 34 ซึ่งประเทศไทยมีอัตราการเสียชีวิตสูงถึงร้อยละ 73 เมื่อเทียบกับประเทศอื่นในภูมิภาคเดียวกันซึ่งสูงเป็นอันดับที่ 2 ของโลก [25] หากพิจารณาถึงสาเหตุหรือปัจจัยการบาดเจ็บจากรถจักรยานยนต์ที่มีการศึกษาและผลการวิจัยจากประเทศต่าง ๆ เช่น ประเทศอินโดนีเซีย พบว่าสาเหตุหลักเกิดขึ้นจาก ความเร็วเกินกำหนด เมาแล้วขับ และไม่สวมหมวกนิรภัย ซึ่งเกิดขึ้นกับนักขับที่มีอายุน้อยกว่า 60 ปี ที่เป็นเพศชาย [26] ในขณะที่การศึกษาของประเทศเกาหลีใต้สะท้อนให้เห็นว่าสาเหตุอุบัติเหตุในเมืองหลวงเกิดขึ้นจาก การขับซี้คร่อมช่องทางจราจร (crossing the centerline) ใช้ความเร็วเกินกำหนด (speeding) ฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจร (running a red light) ขับซี้ย้อนทิศทางจราจร (driving in the opposite direction) [27]

ส่วนในกรณีผลการศึกษาจากสถาบันวิจัยความปลอดภัยทางถนนมาเลเซีย (Malaysia Institute of Road Safety Research: MIROS) การชนจากด้านหลัง (rear-end impact) การไม่สวมหมวกนิรภัย และการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ขับซี้ที่เป็นวัยรุ่นคือสาเหตุหลัก [28] สำหรับสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุในประเทศจีนขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านไร้ประสบการณ์การขับซี้ (inexperience) ไม่มีใบอนุญาตขับซี้ (licensure ownership) พฤติกรรมเสี่ยงขณะขับซี้ (risk-taking behaviors) และไม่มีกรอบรมการขับซี้ (driver training) [29] ในทางกลับกัน ประเทศออสเตรเลีย กลับพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุมาจาก อายุของผู้ขับซี้ (rider age) ความหนาแน่นของการจราจร (traffic density) และการออกแบบถนน (road design) [30]

ในกรณีของประเทศไทยนั้นสาเหตุหลักของการเกิดอุบัติเหตุมาจากการขับรถเร็วเกินกำหนด การตัดหน้ากระชั้นชิด และเมาสุรา ลักษณะของบริเวณที่เกิดอุบัติเหตุพบมากที่สุด คือ ทางหลวงแผ่นดิน ทางหลวงชนบท และทางพิเศษแห่งประเทศไทย ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะเป็นถนนทางตรง ทางโค้ง และทางแยกรูปตัววาย (Y) หรือ ตัวที (T) ตามลำดับ [31]

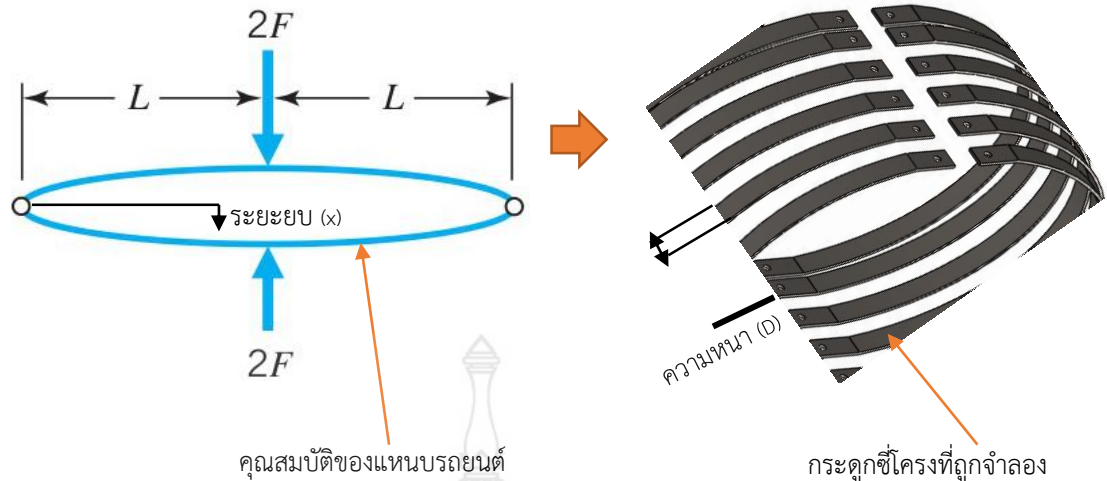
### 2.1.3 สถิติความรุนแรงของการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุในประเทศไทย

รายงานผลของการจัดทำทะเบียนผู้บาดเจ็บจากอุบัติเหตุในปี พ.ศ. 2554 ของโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า [32] จากการเก็บข้อมูลอุบัติเหตุจำนวนทั้งสิ้น 898 ราย พบว่าการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุบนท้องถนนมีอัตราสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 43.88 ในขณะที่การบาดเจ็บจากการขับซิ่งรถจักรยานยนต์มีค่าสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 28.06 รวมไปถึงการบาดเจ็บจากการโดยสารคิดเป็นร้อยละ 3.12 นอกเหนือจากนี้รายงานยังชี้ให้เห็นว่าการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุเกิดขึ้นบริเวณส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย คือ ปลายแขน ปลายขา คิดเป็น 58.35% ศรีษะและคอ คิดเป็น 46.44% บริเวณหน้า คิดเป็น 27.51% บริเวณส่วนนอกของร่างกาย 24.61% หน้าอก 17.15% และบริเวณช่องท้อง 12.69% อย่างไรก็ตามการบาดเจ็บบริเวณภายนอกของร่างกายที่มีผลกระทบต่อการระดับขั้นการบาดเจ็บ (Injury Severity Score: ISS) น้อยกว่าการบาดเจ็บของอวัยวะภายในโดยเฉพาะอย่างยิ่งการบาดเจ็บบริเวณทรวงอก (Chest) ซึ่งมีค่าการบาดเจ็บสูงสุดของอวัยวะภายในถึง 36.61%

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 ทฤษฎีคุณสมบัติของคานสปริง (Beam spring)

คานสปริง หรือที่เรียกว่า แหนบสปริงหลายชั้น (Multi leaf spring) ปกติถูกนำมาใช้งานที่ใช้ในการรับแรงทั้งแบบยึดติดกับจุดยึด และแบบปล่อยอิสระข้างเดียว (cantilever) ฎกคานสปริงที่ใช้งานมีทั้งแบบ กิ่งเดียว ครึ่ง และแบบเต็ม (มีลักษณะเป็นวงรี full-ellipse) ซึ่งส่วนใหญ่คานสปริงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (Flat plate) ในสภาวะปกติคานสปริงจะมีการโก่งงอแม้ไม่มีแรงมากระทำ ซึ่งระยะความยาวของคานสปริงสามารถเปลี่ยนแปลงตามแนวระนาบที่เกิดจากแรงที่กระทำ (F) ต่อคานสปริง ที่ต้องมีค่าไม่เกินค่าความต้านทานการเสียรูป (Elastic of Modulus หรือ Young's modulus E) ทั้งนี้แรงกระทำดังกล่าวมีความจำเป็นต่อการออกแบบเพื่อใช้งานซึ่งต้องพิจารณาถึงระยะยุบตัว (x) ความเค้น (stress) ที่กระทำต่อสปริง ทั้งนี้ความกว้าง (b) และความหนา (t) ของสปริง ดังนั้นการคำนวณขนาดพิกัดความกว้างและความหนาของกระดูกซี่โครงสามารถจำลองการคำนวณจากคุณสมบัติของคานสปริงแบบเต็มรูปวงรี ตามรูปที่ 2.3 [33] และสมการที่ 1 ส่วนการคำนวณนิจของสปริงที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวและแรงกระทำที่ โดยสามารถพิจารณาตามสมการที่ 2



รูปที่ 2.3 กระดุกซีโครงที่ถูกจำลองจากคุณสมบัติของคานสปริงรูปวงรีแบบเต็ม

$$x = \frac{12FL^3}{EbD^3}$$

สมการที่ 1

$$k = \frac{F}{x}$$

สมการที่ 2

เมื่อ

$E$  = Elastic of Modulus ( $N/mm^2$ )

$F$  = แรงที่กระทำต่อกระดุกซีโครง ( $N$ )

$L$  = ระยะความยาวของวัสดุกระดุกซีโครง ( $mm$ )

$b$  = ความกว้างของกระดุกซีโครง ( $mm$ )

$D$  = ความหนาของกระดุกซีโครง ( $mm$ )

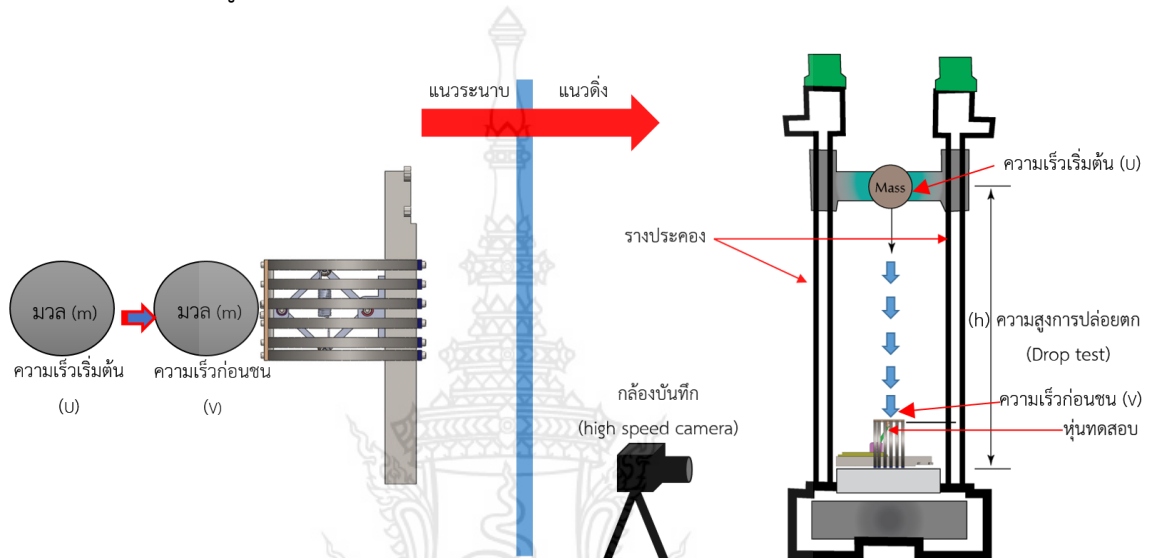
$k$  = ค่านิจของสปริง ( $N/mm$ )

$x$  = ระยะยุบตัวของกระดุกซีโครง ( $mm$ )

### 2.2.2 ทฤษฎีการหาพลังงานที่กระทำกับหุ่นทดสอบตามรูปแบบการทดสอบ

พลังงานที่กระทำต่อหุ่นทดสอบเป็นความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างแรงที่กระทำต่อกระดุกซีโครง ( $F$ ) บริเวณหน้าอก และระยะยุบตัวของกระดุกซีโครง ( $x$ ) ที่เกิดระหว่างการทดสอบทั้งในกรณีการทดสอบสำหรับการออกแบบและกรณีการทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบ ทั้งนี้ในการทดสอบสำหรับการออกแบบเป็นการพิจารณาพลังงานที่กระทำในสภาวะสถิตย์ (static) โดยพิจารณาเป็นการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหน้าอกของหุ่นทดสอบดังสมการที่ 3 ส่วนการทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบพิจารณาการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหน้าอกของหุ่นทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบสำหรับการออกแบบ โดยกำหนดจากเงื่อนไขการทดสอบในสภาวะเคลื่อนที่

(dynamic) จากรูปแบบการทดสอบแบบปล่อยตก (drop test) ในแนวตั้ง ทดแทนการทดสอบแบบ บังคับด้วยราง (crash test) ในแนวระนาบ เนื่องจากมีเครื่องมือทดสอบ (tower test) อยู่แล้ว ภายใต้ ความเร็วและมวลต่าง ๆ กัน โดยจะกล่าวเพิ่มเติมในบทที่ 3 เพื่ออำนวยความสะดวกในการกำหนดการ รูปแบบการทดสอบจากแนวระนาบเปลี่ยนเป็นแนวตั้งแสดงดังรูปที่ 2.4 และสมการที่ใช้ในการและ การคำนวณค่าความสูงของระยะการปล่อยตก แสดงตามสมการที่ 4 ถึง 5 ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 การพิจารณาการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหน้าอกของหุ่นทดสอบ

$$E_a = mgx$$

สมการที่ 3

ระยะความสูงในการปล่อยตก กรณีมีความเร็วเริ่มต้นก่อนการเข้าชน

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

สมการที่ 4

ระยะความสูงในการปล่อยตก กรณีไม่มีความเร็วเริ่มต้นก่อนการเข้าชน

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

สมการที่ 5



เมื่อ

$E_a$  = การดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหน้าอกของหุ่นทดสอบ (J)

$m$  = มวลที่กระทำต่อกระดูกซี่โครง (kg)

$g$  = ความเร่งโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81 (m/s<sup>2</sup>)

$h$  = ระยะความสูงในการปล่อยตก (m)

$V$  = ความเร็วของมวลก่อนการชนหุ่นทดสอบ (m/s)

$U$  = ความเร็วของมวลเริ่มต้น (m/s)

### 2.2.3 ทฤษฎีขนาดการบาดเจ็บ (Abbreviated Injury Scale: AIS) และคะแนนระดับการบาดเจ็บ (Injury Severity Score: ISS) [34]

ขนาดของการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นกับมนุษย์มีมากมายซึ่งนิยมจำแนกด้วย ประเภทการบาดเจ็บ (Type) บริเวณการบาดเจ็บ (Location) และระดับขั้นการบาดเจ็บ (Injury Severity) โดยกำหนดสัญลักษณ์เป็นตัวย่อ (Abbreviated Injury Scale: AIS) และเป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติทั้งในงานประเภทต่าง ๆ เช่น การบริหารจัดการสุขภาพสำหรับการจัดการกับการบาดเจ็บของคลินิก การประเมินการบาดเจ็บที่เกิดจากอุบัติเหตุโดยการระบุสาเหตุหรือสืบหาสาเหตุการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นจากยานยนต์และการพัฒนาการออกแบบผลิตภัณฑ์ทางยานยนต์ รวมไปถึงผลกระทบที่มีต่อนโยบายสาธารณะเพื่อกำหนดกฎหมายและข้อกำหนดต่าง ๆ อีกด้วย ทั้งนี้ขนาดการบาดเจ็บที่เป็นอักษรย่อถูกกำหนดให้มีค่า 6 ระดับ (1-6) ยิ่งไปกว่านั้น ค่าทั้ง 6 ระดับถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานของการคำนวณเพื่อกำหนดคะแนนระดับการบาดเจ็บ (Injury Severity Score: ISS) ตามรูปที่ 2.5

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

AIS Score	Injury	ISS
1	Minor	1-8 Minor
2	Moderate	9-15 Moderate
3	Serious	16-24 Serious
4	Severe	25-49 Severe
5	Critical	50-74 Critical
6	Survivable	75 Maximum

รูปที่ 2.5 ขนาดการบาดเจ็บและคะแนนระดับการบาดเจ็บ [35]

## 2.2.4 ทฤษฎีการประเมินความเสี่ยงการบาดเจ็บจากการชนกระทกของหน้าอกและท้อง (Chest and Abdomen Impact Injury Risk Assessment) [36]

ในปัจจุบันการประเมินความเสี่ยงการบาดเจ็บจากการชนกระทกของหน้าอกและท้องที่มีใช้ในปัจจุบันนิยมใช้ระดับทางกายภาพที่กระทำต่อหน้าอกและท้องโดยสามารถแบ่งการกระทกที่เกิดจากการชน 2 ลักษณะ คือ การชนด้านหน้า (Frontal Impact) และการชนด้านข้าง (Lateral Impact) ซึ่งค่าทางกายภาพที่บ่งบอกถึงเกณฑ์มาตรฐาน (Criteria) นิยมใช้เป็นค่าเกณฑ์ความสามารถที่ร่างกายมนุษย์ยอมรับได้สูงสุดจากการชนกระทกหรือค่าความอดทน (Human Tolerance for Chest and Abdomen Impact) โดยกำหนดจาก ความเร่งที่เกิดการบาดเจ็บ (Acceleration injury: ) ค่าดัชนีของหน้าอกและท้อง (Thoracic Trauma Index: TTI) ความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บ (Viscous Injury VC) แรงกระทำต่อกระดูกสันหลัง (Force on Sternum) แรงกระทำต่อหน้าอกรวมไหล่ (Force on Chest + Shoulder) ความดันที่กระทำต่อหน้าอก (Pressure on Chest) สำหรับค่าเกณฑ์ความสามารถที่ร่างกายมนุษย์ยอมรับได้สูงสุดจากการชนกระทก แสดงดังรูปที่ 2.6 และสมการที่ใช้พิจารณาค่าทางกายภาพต่าง ๆ แสดงดังสมการที่ 6 และ 7 ซึ่งพิจารณาเฉพาะการชนด้านหน้าและหน้าอก

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

$$P_c = \frac{F}{A}$$

เมื่อ

VC = ความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บในฟังก์ชันของความเร็ว (m/s)

x(t) = ระยะยุบของกระดูกซี่โครงในฟังก์ชันของเวลา (mm)

P<sub>c</sub> = ความดันที่กระทำต่อหน้าอก (kPa)

A = พื้นที่หน้าตัดของมวลที่กระทก (m<sup>2</sup>)

D = ความหนาของกระดูกซี่โครง (mm)

Criteria	Chest		Abdomen		Criteria
	Frontal	Lateral	Frontal	Lateral	
<b>Acceleration</b>					<b>Acceleration</b>
3 msec limit	60 g				
TTI		85–90 g			
ASA		30 g			
AIS 4+		45 g		39 g	AIS 4+
<b>Force</b>					<b>Force</b>
Sternum	3.3 kN				
Chest + shoulder	8.8 kN	10.2 kN			
AIS 3+			2.9kN	3.1kN	AIS 3+
AIS 4+		5.5kN	3.8kN	6.7kN	AIS 4+
<b>Pressure</b>					<b>Pressure</b>
	187 kPa		166 kPa		AIS 3+
				216 kPa	AIS 3+
<b>Compression</b>					<b>Compression</b>
Rib fracture	20%				
Stable ribcage	32%		38%		AIS 3+
Flail chest	40%	38%	48%	44%	AIS 4+
<b>Viscous</b>					<b>Viscous</b>
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+

รูปที่ 2.6 ค่าเกณฑ์ความสามารถที่ร่างกายมนุษย์ยอมรับได้สูงสุดจากการชนกระแทก

### บทที่ 3

#### สมมติฐานการวิจัยและแนวทางการทดสอบ

##### 3.1 สมมติฐานการวิจัย

เพื่อก่อให้เกิดคุณค่างานวิจัยอย่างมีคุณภาพ สามารถนำแนวคิด หรือสิ่งหนึ่งสิ่งใดอันเกิดจากงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ทั้งเชิงวิชาการ หรือเชิงสังคม หรือเชิงพาณิชย์ ดังนั้นการตั้งสมมติฐานการวิจัยจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อตอบสนองความต้องการ รวมไปถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจริงกับสถานการณ์อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจริงกับประเทศไทย สมมติฐานงานวิจัยแสดงดังตารางที่ 3.1

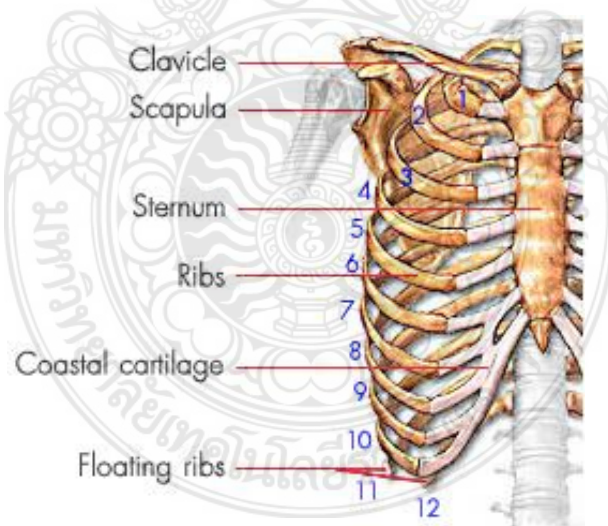
ตารางที่ 3.1 สมมติฐานงานวิจัย

สมมติฐานการวิจัย	รายละเอียดและผลที่เกิดขึ้นจริงอย่างเป็นรูปธรรม
รถประเภทใดมีอัตราการเกิดอุบัติเหตุมากที่สุด	รถจักรยานยนต์มีอัตราการเกิดอุบัติเหตุมากกว่ารถประเภทอื่น และมีสถิติสูงเป็นอันดับที่ 2 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 สมมติฐานการออกแบบหุ่นทดสอบการชนรถจักรยายนต์

#### 3.2.1 สมมติฐานการออกแบบกระดูกซี่โครง

กระดูกซี่โครงถือเป็นโครงสร้างหลักในการพิจารณาการเริ่มต้นการออกแบบหุ่นทดสอบการชน โดยกระดูกซี่โครงมีลักษณะโครงสร้างรูปวงรี (Ellipse) มี 12 ชั้น วางซ้อนกันหลายชั้น โดยมีเส้นรอบวงของกระดูกแต่ละชั้นไม่เท่ากัน และยึดติดกับโครงสร้างอื่น ๆ ของร่างกาย เช่น กระดูกสันอก (Sternum) เป็นต้น ตามรูปที่ 3.1 ที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกับอุปกรณ์รับแรงกระแทกและรับน้ำหนักประเภทหนึ่งของรถยนต์ คือ แหนบ ซึ่งแหนบทำจากเหล็กสปริง (leaf spring) ที่มีคุณสมบัติยุบตัวเมื่อมีแรงกระทำ และสามารถคืนตัว เมื่อแรงกระทำหมดไป โดยไม่เกิดการเสียรูปหากแรงที่มากระทำมีค่าไม่เกินค่าความต้านทานการเสียรูป (Elastic of Modulus) เมื่อกรณีที่มีแรงกระทำจากภายนอก เปรียบเสมือนการชนของรถเข้าไปปะทะกับกระดูกซี่โครงซี่โครงทำให้เกิดการยุบตัว ดังนั้นการออกแบบกระดูกซี่โครงของหุ่นทดสอบมีความจำเป็นต้องกำหนดสมมติฐานที่มีความครอบคลุมเพียงพอต่อการสร้างและไปใช้งานเพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการทดสอบ และสามารถใช้เป็นตัวแทนการทดสอบกลไกการบาดเจ็บ (Injury mechanism) ที่สะท้อนความเป็นจริงจากพฤติกรรมและรูปแบบการชนได้ สำหรับสมมติฐานการออกแบบกระดูกซี่โครงหุ่นทดสอบมีรายละเอียดดังแสดงตามตารางที่ 3.2

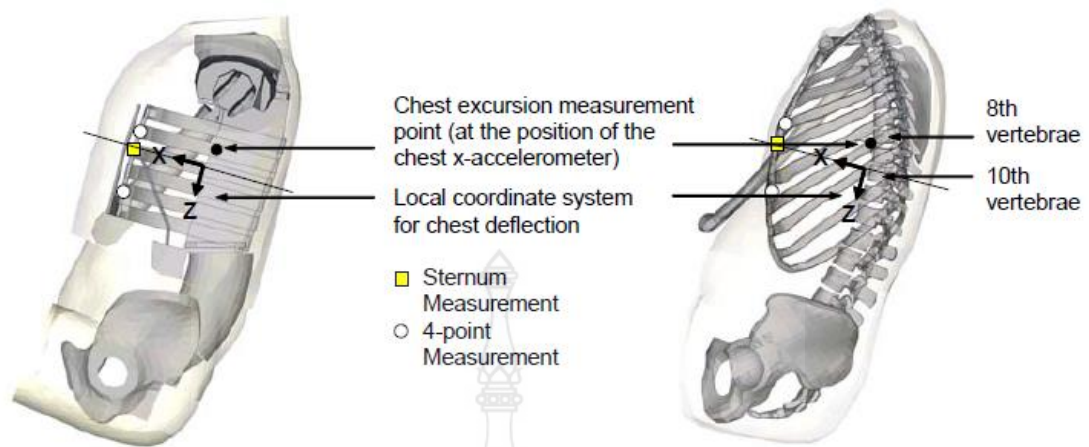


รูปที่ 3.1 กายวิภาคโครงสร้างกระดูกซี่โครงมนุษย์ [36]

ตารางที่ 3.2 สมมติฐานการออกแบบกระดูกซี่โครง

สมมติฐาน	เหตุผลและแนวทางการออกแบบ
บริเวณหรือชิ้นส่วนใดของหุ่นทดสอบมีความจำเป็นต้องออกแบบ	ระดับความรุนแรงของการชนที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บหนัก หรือเสียชีวิตเกิดขึ้นที่บริเวณ ศรีษะ และหน้าอก ซึ่งศรีษะเป็นส่วนประกอบที่นำมายึดติดกับกระดูกซี่โครงเท่านั้น ดังนั้นบริเวณกระดูกซี่โครงจึงมีความสำคัญมากกว่า ทั้งนี้สามารถนำการออกแบบหุ่นทดสอบมาตรฐาน เช่น Hybrid I, II และ III มาเป็นแนวทางได้
กระดูกซี่โครงขนาดเท่าใดที่ต้องออกแบบ	ต้องเป็นขนาดกระดูกซี่โครงของคนไทย หรือคนเอเชียที่มีความใกล้เคียง เนื่องด้วยงานวิจัยนี้ต้องการสะท้อนความเป็นจริงของการชนที่เกิดกับคนไทย ซึ่งสามารถออกแบบโดยใช้อัตราสัดส่วนน้ำหนักร่างกายของมนุษย์ และสถิติสรีระของคนไทย ที่เลือกจากเพศที่มีสถิติการเกิดอุบัติเหตุมากกว่า (เพศชาย) รายละเอียดเพิ่มเติมตามตารางที่ 3.3 และ 3.4
กระดูกซี่โครงควรมีจำนวนทั้งหมดเท่าใด	ใช้ 6 ซี่ ที่เป็นกระดูกแท้ จากจำนวนทั้งหมด 12 ซี่ (เฉพาะที่ยึดติดกับกระดูกสันอก) โดยพิจารณาออกแบบตามทฤษฎีกายวิภาคมนุษย์ ของกระดูกซี่โครงที่ 2-7 ตามรูปที่ 3.1
ขนาดความหนาและความกว้างของชิ้นส่วนกระดูกควรออกแบบอย่างไร	ขนาดความหนาและความกว้างของชิ้นส่วนกระดูกแต่ละชิ้นจะมีค่าเท่ากัน เนื่องจากในขนาดจริงของมนุษย์มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับการออกแบบต้องคำนึงถึงระยะยุบตัวและคืนตัวเมื่อมีแรงมากระทำและปลดปล่อยแรง โดยอาศัยทฤษฎีการออกแบบสปริงและอุปกรณ์หน่วงการเคลื่อนที่ รวมไปถึงพลังงานที่เกิดขึ้น (ตามสมการที่ 1 ถึง 3) อย่างไรก็ตามควรพิจารณาขนาดวัสดุที่มีใช้อยู่ในงานอุตสาหกรรมเพื่อความสะดวกในการจัดหาและสร้าง
ระยะห่างและเส้นรอบวงของกระดูกทั้ง 6 ชั้นมีความแตกต่างกันหรือไม่	มีความจำเป็นต้องแตกต่าง เนื่องจากสัดส่วนระยะห่างและเส้นรอบวงของโครงกระดูกซี่โครงของมนุษย์ไม่เท่ากัน สามารถกำหนดระยะห่างและเส้นรอบวงด้วยสัดส่วนของหุ่นทดสอบมาตรฐานเป็นจุดอ้างอิงการออกแบบได้
อุปกรณ์ใดที่สามารถตรวจวัดระดับการบาดเจ็บและติดตั้งอย่างไร	ใช้เซนเซอร์วัดความเร่งและความหน่วง (G force sensor) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดระดับการบาดเจ็บ โดยออกแบบให้ติดตั้งภายในหุ่นทดสอบที่พิจารณาการติดตั้งบริเวณจุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity: CG) ตามรูปที่ 3.2





รูปที่ 3.2 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดระดับการบิดเจ็บบริเวณหน้าอกของหุ่นทดสอบ [37]

### 3.2.2 สมมติฐานการออกแบบสัดส่วนของกระดูกซี่โครง

ข้อมูลพิสัยกระดูกซี่โครงของคนไทยและอัตราสัดส่วนน้ำหนักร่างกายของมนุษย์ ตามตารางที่ 3.3 และ 3.4 ถูกนำมาใช้เป็นสมมติฐานการออกแบบสัดส่วนกระดูกซี่โครง เนื่องจากการสร้างหุ่นนอกเหนือจากการพิจารณาด้านขนาด ความกว้าง ความหนา ความห่างของชั้นกระดูกแต่ละชั้น และเส้นรอบวงของโครงซี่โครงกระดูก ควรตระหนักถึงสัดส่วนมวลของบริเวณร่างกายร่วมกับสรีระจริงของคนไทยเพื่อประกอบการตัดสินใจออกแบบพิสัยกระดูกซี่โครงของหุ่นทดสอบ อีกทั้งยังส่งผลต่อความแม่นยำในการทดสอบอีกด้วย สำหรับการออกแบบกระดูกซี่โครงแสดงดังรูปที่ 3.3

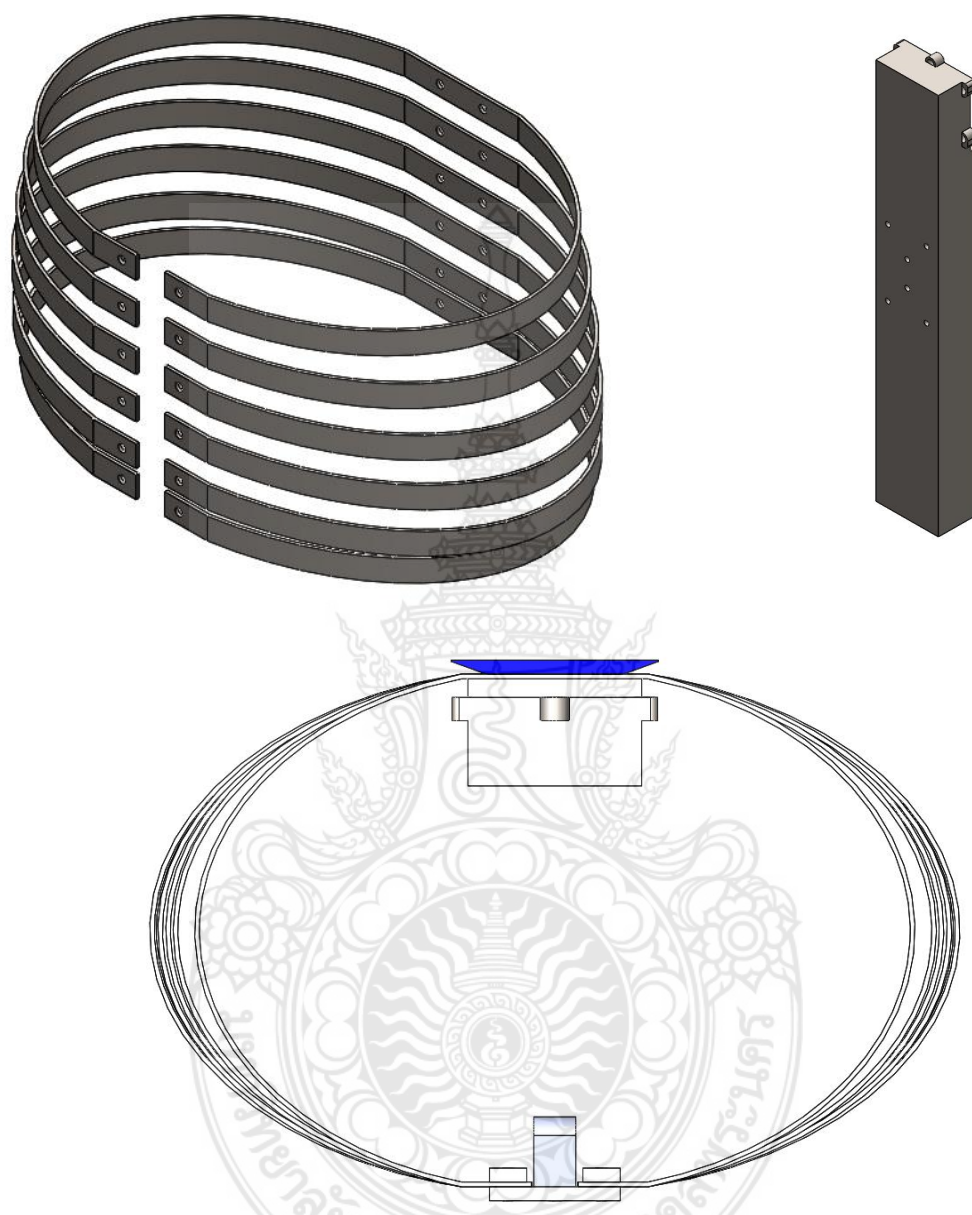
ตารางที่ 3.3 อัตราสัดส่วนน้ำหนักร่างกายของมนุษย์ [38]

บริเวณของร่างกาย (Segment)	อัตราส่วนน้ำหนัก (Weights ratio) %	
	เพศชาย (Males)	เพศหญิง (Females)
ศรีษะ (Head)	8.26	8.20
ลำตัว (Trunk)	46.84	45.0
ต้นแขน (Upper arm)	3.25	2.90
ปลายแขน (Forearm)	1.87	1.57
มือ (Hand)	0.65	0.50
ต้นขา (Thigh)	10.50	11.75
ท่อนขาล่าง (Lower leg)	4.75	5.35
เท้า (Foot)	1.43	1.33

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลพิกัดสรีระของคนไทยที่ประกอบการออกแบบ [39]

ช่วงอายุ (ปี)	น้ำหนัก (kg)	ส่วนสูง (cm)	รอบอก		รอบเอว		รอบสะโพก	
			นิ้ว	เซนติเมตร	นิ้ว	เซนติเมตร	นิ้ว	เซนติเมตร
<b>เพศชาย</b>								
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
<b>เพศหญิง</b>								
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
<b>ค่าเฉลี่ย</b>								
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

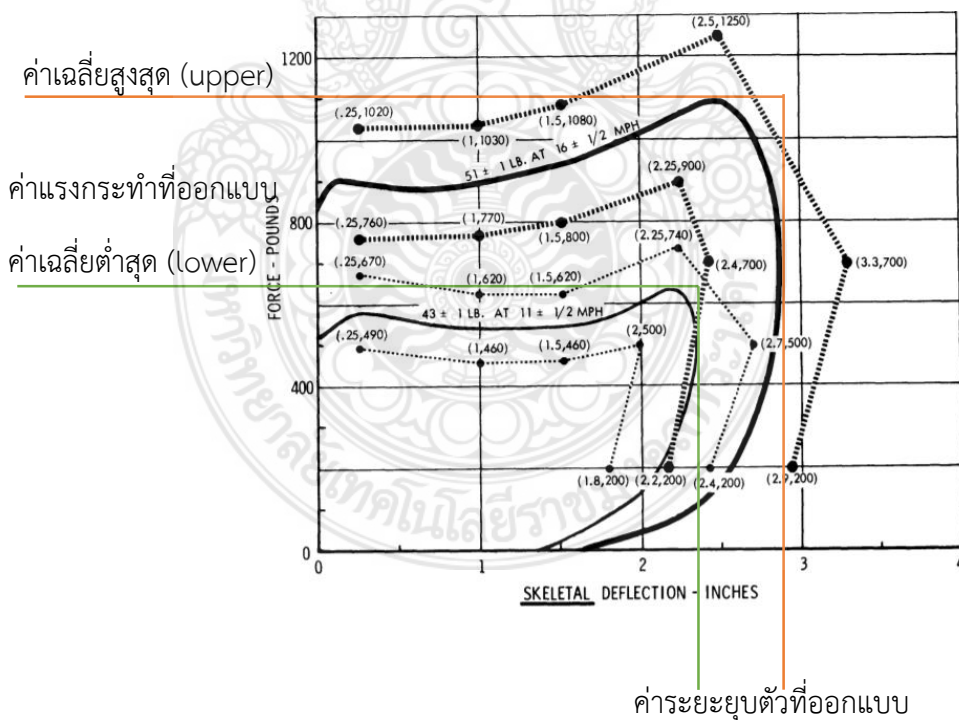




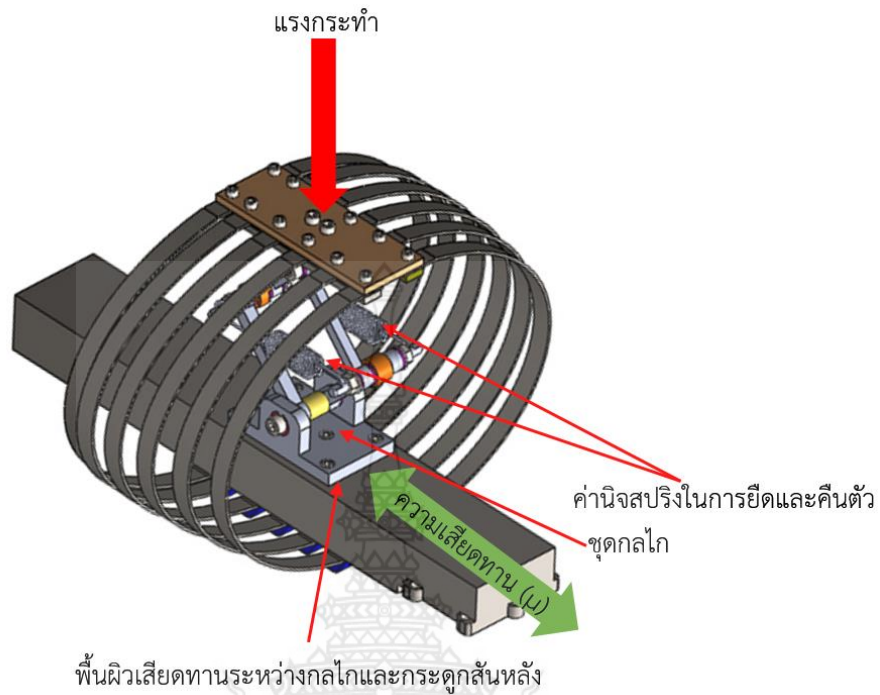
รูปที่ 3.3 การออกแบบกระดุกซีโครง

### 3.2.3 สมมติฐานการออกแบบการดูดซับพลังงานเมื่อเกิดการชน

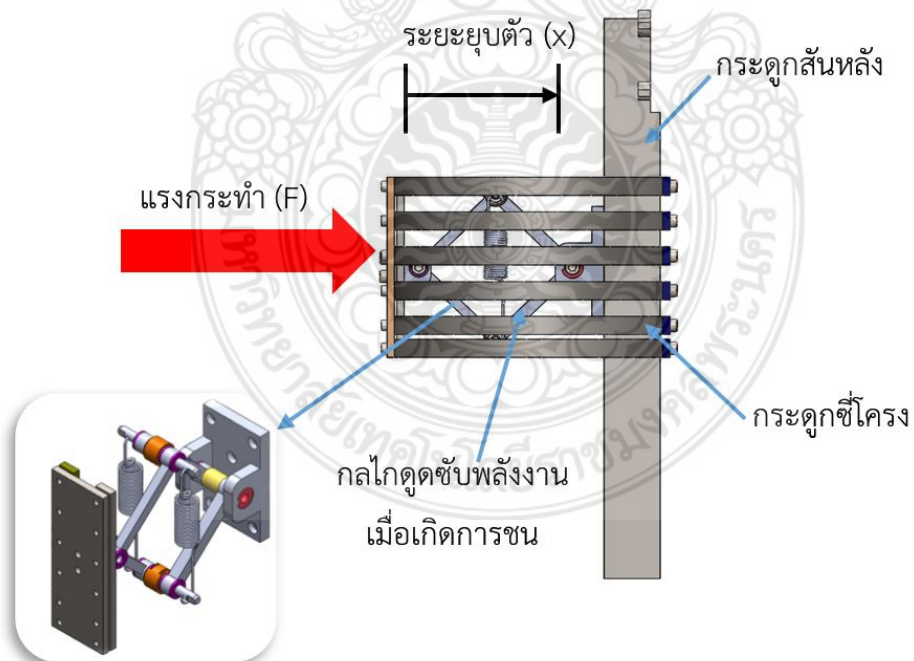
เมื่อหุ่นทดสอบเกิดการกระแทกส่งผลให้เกิดการยุบตัวของกระดุกซี่โครง ซึ่งร่างกายมนุษย์มีความสามารถรองรับการยุบตัวได้ระดับหนึ่งเท่านั้น จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาการดูดซับพลังงานเพื่อใช้มาออกแบบกลไกการรองรับพลังงานที่เกิดจากการกระแทกที่มีปัจจัยสำคัญ คือ ระดับของแรงที่กระทำ (F) ต่อกระดุกซี่โครงสัมพันธ์กับความเร่ง (g) ระยะการยุบตัวของกระดุกโครงสร้างมนุษย์ที่รับได้ (x) สำหรับแรงที่กระทำและระยะยุบตัวสามารถพิจารณาได้จากผลการศึกษาที่ได้ดำเนินการมาแล้วในอดีต โดยช่วงการออกแบบสามารถพิจารณาในช่วงค่าเฉลี่ยสูงสุด (เส้นสีส้ม) และค่าเฉลี่ยต่ำสุด (เส้นสีเขียว) ในรูปที่ 3.4 ซึ่งใช้เป็นสมมติฐานการออกแบบกลไก นอกเหนือจากการพิจารณาระยะยุบตัวแล้ว ยังต้องคำนึงถึงค่านิจของสปริง (k) รวมไปถึงวัสดุเสียดทานที่อยู่ระหว่างชุดกลไกและพื้นผิวของกระดุกสันหลัง เนื่องจากค่านิจของสปริงมีผลต่อการยืดออกและคืนตัวกลับเพื่อให้กลับสู่สภาพปกติพร้อมใช้งานต่อไป ส่วนกรณีวัสดุเสียดทานต้องพิจารณาถึงสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $\mu$ ) ของวัสดุที่นำมาใช้ ตามรูปที่ 3.5 โดยสามารถทำการทดสอบเชิงกลแบบสถิตย์ได้ ดังนั้นจึงสามารถออกแบบชุดกลไกดูดซับพลังงานเมื่อเกิดการชนได้ตามรูปที่ 3.6 และหุ่นทดสอบการชนรถจักรยานยนต์สมบูร์นแสดงดังรูปที่ 3.7 ตามลำดับ



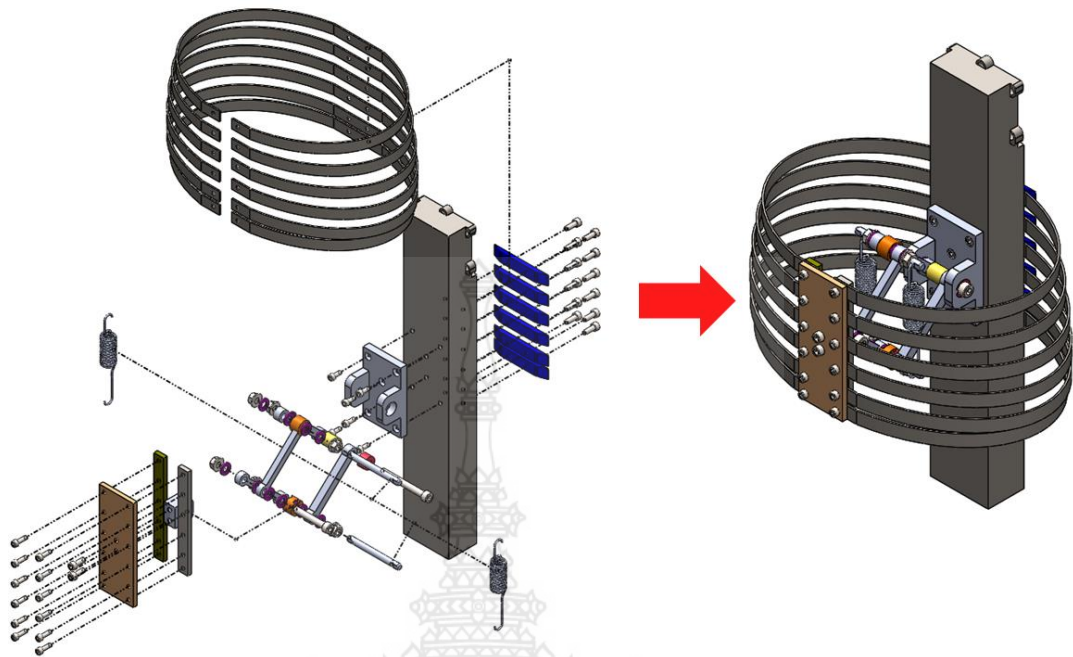
รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะยุบตัวของหน้าอกมนุษย์ที่ถูกออกแบบ [40]



รูปที่ 3.5 การออกแบบค่าแรงของสปริงและวัสดุเสียดทาน



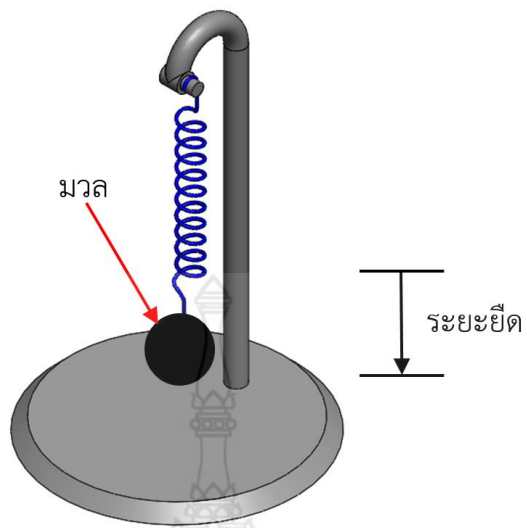
รูปที่ 3.6 กลไกดูดซับพลังงานเมื่อเกิดการชน



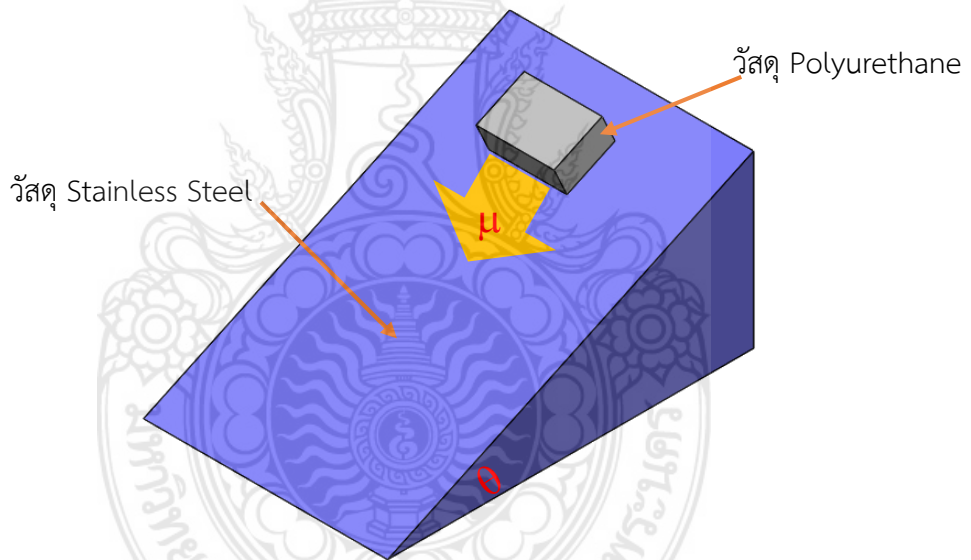
รูปที่ 3.7 หุ่นทดสอบการชนรถจักรยานยนต์ที่ออกแบบสมบูรณ์

### 3.3 แนวทางการทดสอบ

สำหรับแนวทางการทดสอบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนการทดสอบสำหรับการออกแบบ และส่วนการทดสอบเพื่อพิจารณาความสามารถของหุ่นทดสอบการชนรถจักรยานยนต์ตามรูปที่ 3.8 ถึง 3.11 ตามลำดับ ทั้งนี้แนวทางการทดสอบของทั้ง 2 ส่วน สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ ส่วนสรุปผลการออกแบบหุ่นทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.7

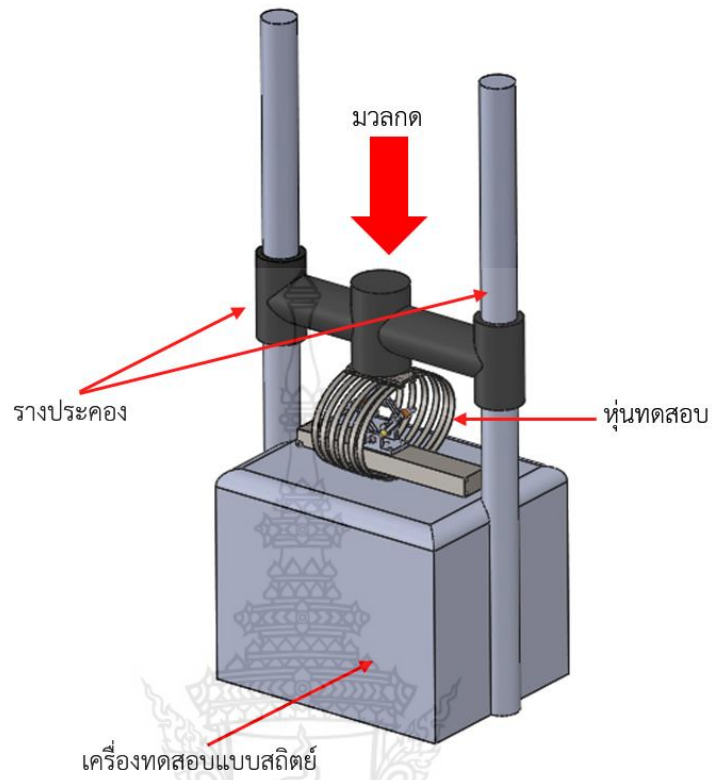


รูปที่ 3.8 การทดสอบค่าคงตัวของสปริง

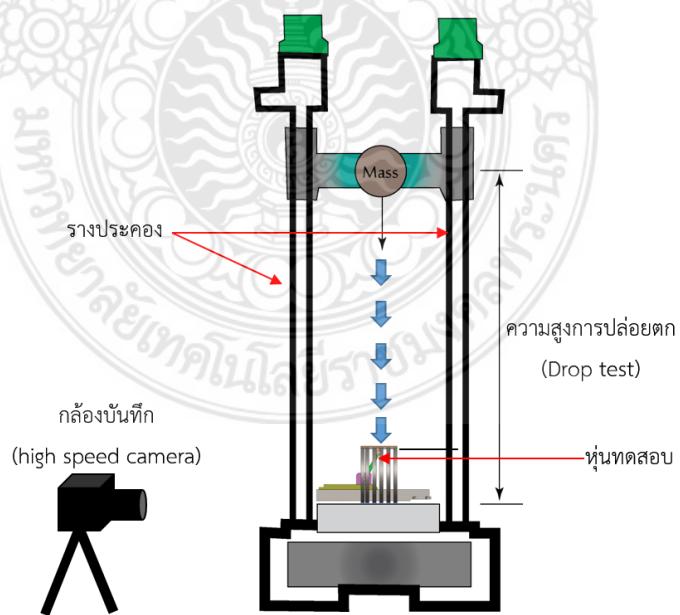


รูปที่ 3.9 การทดสอบวัสดุเสียดทาน





รูปที่ 3.10 การทดสอบการกดแบบสถิตย์



รูปที่ 3.11 การทดสอบความสามารถการดูดซับพลังงานของหุ่นแบบพลวัต (Dynamic)

ตารางที่ 3.5 สรุปแนวทางการทดสอบสำหรับการออกแบบ

การทดสอบ	แนวทางการทดสอบ และวิธีการทดสอบ	เหตุผลการเลือก	ข้อจำกัด
การทดสอบค่านิจของสปริง (ตามรูปที่ 3.8)	<u>ใช้การทดสอบแบบสถิตย์</u> โดยวิธีการแขวนมวลพิศัดต่างๆ เพื่อทำการวัดค่าระยะยืดตัวของสปริงเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่านิจของสปริง	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นวิธีที่ง่ายและปลอดภัยที่สุด</li> <li>- ค่าใช้จ่ายน้อย</li> <li>- ไม่ต้องการความแม่นยำสูงมาก</li> <li>- สามารถทดสอบซ้ำได้</li> <li>- มีสปริงหลายขนาดที่ใช้ในอุตสาหกรรมให้เลือก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ขนาดและค่านิจของสปริงอาจไม่ตรงตามที่ออกแบบไว้</li> <li>- ค่านิจสปริงที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้การยุบและคืนตัวกลับไม่ได้ตามต้องการ</li> </ul>
การทดสอบวัสดุเสียดทาน (ตามรูปที่ 3.9)	<u>ใช้การทดสอบแบบสถิตย์</u> โดยวิธีการวางวัสดุทั้งสองแบบที่ต้องการหาความเสียดทานระหว่างพื้นผิวเพื่อหาค่ามุมการเริ่มต้นเคลื่อนที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นวิธีที่ง่ายและปลอดภัยที่สุด</li> <li>- ค่าใช้จ่ายน้อย</li> <li>- สามารถทดสอบซ้ำได้</li> <li>- สามารถทดสอบกับวัสดุได้หลากหลายประเภท</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้องการความแม่นยำสูงระดับปานกลาง</li> </ul>
การทดสอบการกดแบบสถิตย์ (ตามรูปที่ 3.10)	<u>ใช้การทดสอบแบบสถิตย์</u> โดยวิธีการวางมวลแนวตั้งทับหุ่นทดสอบและพิจารณาระยะยุบตัวที่สัมพันธ์กับแรงกระทำ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นวิธีที่ง่ายและปลอดภัยที่สุด</li> <li>- ค่าใช้จ่ายน้อย</li> <li>- สามารถทดสอบซ้ำได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ตำแหน่งการวางมวลเพื่อป้องกันการลื่นไถลของหุ่น</li> </ul>

ตารางที่ 3.6 สรุปแนวทางการทดสอบเพื่อพิจารณาความสามารถของหุ่นทดสอบ

การทดสอบ	แนวทางการทดสอบและวิธีการทดสอบ	เหตุผลการเลือก	ข้อจำกัด
<p>การทดสอบความสามารถการดูดซับพลังงานของหุ่นแบบ Dynamic (ตามรูปที่ 3.11)</p>	<p><u>ใช้การทดสอบแบบปล่อยตก (Drop test)</u> โดยวิธีการแขวนมวลพิกัดต่างๆ และคำนวณพลังงานที่เกิดจากพิกัดความสูงของจุดปล่อยตก เพื่อ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ทำการวัดค่าการยุบตัวของหุ่นทดสอบด้วยการใช้กล้องความเร็วสูง</li> <li>- ตรวจวัดค่าทางกายภาพ เช่น แรงและความเร่ง ที่วัดจากเซนเซอร์ที่ทำการติดตั้งใน หุ่นทดสอบ</li> <li>- เปรียบเทียบพลังงานที่เกิดจากการออกแบบกับค่าการทดสอบที่กระทำต่อศพตามข้อมูลอ้างอิงจากการวิจัย [40]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นวิธีที่ง่ายและปลอดภัยที่สุด</li> <li>- ค่าใช้จ่ายน้อยเนื่องจากมีเครื่องทดสอบแบบปล่อยตกแล้ว</li> <li>- สามารถกระทำการทดสอบซ้ำได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ตำแหน่งของมวลที่ปล่อยตกต้องตรงกับจุดการชนหรือบริเวณกึ่งกลางของกระดูกซี่โครง (หน้าอก)</li> <li>- ค่าความสูงและมวลที่กระทำอาจมีผลต่อค่าชีวิตเนื่องจากความเสียหายของรางของเครื่องทดสอบ</li> </ul>



ตารางที่ 3.7 สรุปการออกแบบหุ่นทดสอบ

รายการ	ค่าพิกัด/ประเภท
<b>กระดุกซี่โครง</b>	
ความกว้าง* ความหนา (mm)	15*2
จำนวนกระดุก (ชั้น)	6
ความยาวกระดุกแต่ละชั้นจากบน-ล่าง (mm)	813.55 (บน), 843.64, 865.41, 877.07 874.39, 854.13 (ล่าง)
ความสูงแต่ละชั้นนับจากบน-ล่าง (mm)	0 (บน), 28.45, 57.15, 85.85 114.3, 133.1 (ล่าง)
ความโตของกระดุกแต่ละชั้นนับจากบน-ล่าง (mm)	308.48 (บน), 326.9, 340.02, 347.0 345.4, 333.24 (ล่าง)
วัสดุ (ประเภท)	ASTM 36, SS400
<b>กระดุกสันหลัง</b>	
ความกว้าง*ความยาว*ความหนา (mm)	74.42*460*46
จำนวนจุดยึดกระดุกซี่โครง (จุด)	12
วัสดุ (ประเภท)	ASTM 36, SS400
<b>กลไก</b>	
ระยะยุบสูงสุด (mm)	102
จำนวนสปริง (ชั้น)	2
ค่านิจสปริง (N/mm)	12.06
กลไกปรับตั้งแรงเสียดทานติดกระดุกสันหลัง (ประเภท)	Polyurethane, อัดด้วยแรงบิด
กลไกปรับตั้งแรงเสียดทานระหว่างกระดุกซี่โครงและ กระดุกสันหลัง (ประเภท)	Polyurethane, อัดด้วยแรงบิด
กลไกปรับตั้งแรงเสียดทานติดกระดุกซี่โครง (ประเภท)	Polyurethane, อัดด้วยแรงบิด
วัสดุเสียดทาน (ประเภท)	Polyurethane
วัสดุโครงสร้าง (ประเภท)	SUS304
วัสดุรองรับการสั่นสะเทือน (ประเภท)	Polyurethane

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ

#### 4.1 ผลการทดสอบสำหรับการออกแบบ

จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 หัวข้อ 3.3 แนวทางการทดสอบ ดังนั้นผลการทดสอบดังกล่าวถูกนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีการออกแบบในตัวชี้วัดต่างๆ ตามประเภทของการทดสอบที่มีความแตกต่างกันโดยสามารถสรุปเงื่อนไขการทดสอบตามตารางที่ 4.1 และผลการเปรียบเทียบการทดสอบระหว่างผลคำนวณทางทฤษฎีและการทดสอบจากการออกแบบแสดงดังตารางที่ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 เงื่อนไขการทดสอบจริงสำหรับการออกแบบ

การทดสอบ	เงื่อนไขการทดสอบ
ค่านิจของสปริง	<ul style="list-style-type: none"><li>- วัดการเปลี่ยนแปลงของความยาวสปริงภายใต้การเปลี่ยนแปลงมวล (แรงกระทำ)</li><li>- คำนวณหาค่านิจ</li><li>- หาสมการค่านิจของสปริงในช่วงที่พิจารณา (linear regression)</li></ul>
วัสดุเสียดทาน	<ul style="list-style-type: none"><li>- ใช้มวล (แรงกระทำ) คงที่ kg</li><li>- กัดด้วยความเร็วคงที่ m/s</li><li>- เปลี่ยนแปลงค่าแรงบิดด้วยการขันอัด</li><li>- บันทึกค่าแรงบิดสุดท้ายที่วัสดุเสียดทานเคลื่อนที่ได้</li></ul>
การกดแบบสถิตย์	<ul style="list-style-type: none"><li>- กำหนดค่าภาระมวลก่อนกด (pre-load) ที่</li><li>- กัดด้วยความเร็วคงที่ m/s</li><li>- วัดค่าระยะยุบตัวและแรงกระทำที่เปลี่ยนแปลง</li><li>- คำนวณหาค่าการดูดซับพลังงาน</li></ul>

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบทางทฤษฎีและการทดสอบจริงสำหรับการออกแบบ

ผลการทดสอบ	ตัวชี้วัด			
	การทดสอบค่านิจ ของสปริง		การทดสอบวัสดุ เสียดทาน	การทดสอบการกด แบบสถิตย์
	ระยะยึด (x) mm.	ค่านิจสปริง (k) N/mm	สัมประสิทธิ์ ความเสียดทาน ( $\mu$ ) -	การดูดซับพลังงานที่ กระทำต่อหุ่นสูงสุด (E) J
จากการคำนวณ ทางทฤษฎี	76.2	12.3	0.65	$0.96 \times 76.2 = 73.152$
จากการ ออกแบบจริง	63	6.22	0.77	$1.01 \times 76.2 = 76.982$
ความแตกต่าง (%)	17.322	49.43	10.3	4.975

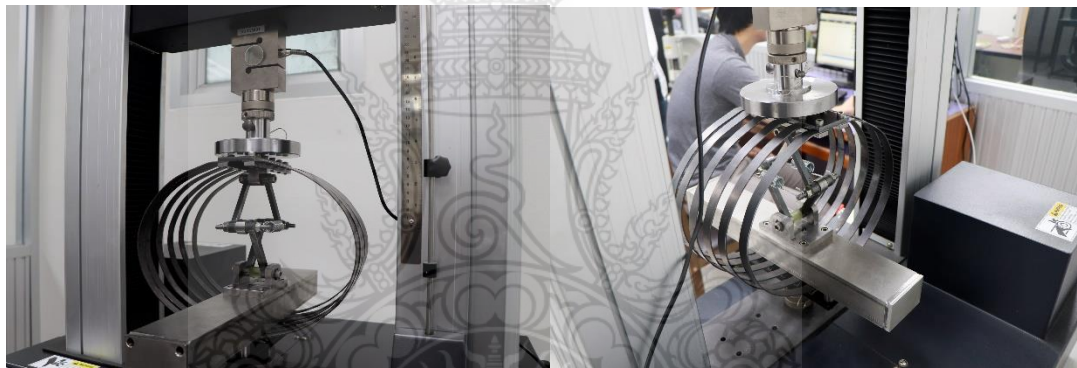
ผลการทดสอบสำหรับการออกแบบตามตารางที่ 4.1 พบว่า ผลการออกแบบทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับผลการออกแบบจริง ในกรณีของค่านิจสปริง พบว่ามีค่าความแตกต่างสูงถึง 49.43 % หรือเทียบเป็น 1.97 เท่า ซึ่งในกรณีนี้ เป็นการออกแบบในการทดสอบแบบสถิตย์ ซึ่งไม่อาจทำการหาค่าได้จากการทดสอบแบบพลวัต (Dynamic) ดังนั้นจึงทำการออกแบบค่าความปลอดภัยในช่วงใช้งานได้ตามทฤษฎีที่ 1.3-2.5 เท่า ซึ่งจากผลการทดสอบดังกล่าวสามารถนำมาใช้งานจริงได้

กรณีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่าความแตกต่างประมาณ 10.3% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงการทดสอบของค่าความเสียดทานแบบสถิตย์ที่กระทำต่อวัสดุ หากแต่ยังสามารถใช้งานได้

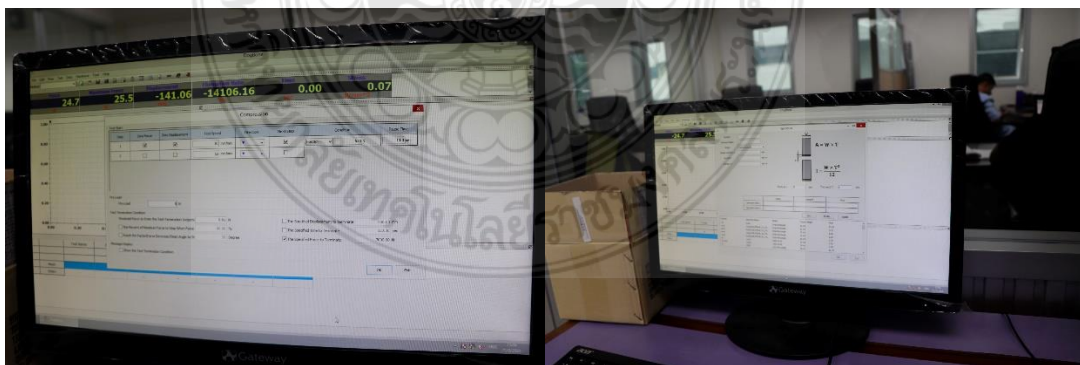
ในกรณีของการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหุ่นสูงสุดมีความแตกต่างเพียง 4.975 % โดยค่าที่ออกแบบในการยุบตัวสูงสุดที่นำมาออกแบบมีค่า 76.2 mm. ภายใต้การรับภาระแรงกระทำที่ 960 N ทั้งนี้เมื่อนำมาทดสอบจริงสามารถรับภาระแรงที่กระทำต่อหุ่นทดสอบสูงสุดที่ประมาณ 1010 N ดังนั้นสามารถนำมาใช้งานได้

## 4.2 ผลการทดสอบการกดแบบสถิตย์

ก่อนทำการทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบ มีความจำเป็นต้องมีการทดสอบการกดแบบสถิตย์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงความเร็วกด เพื่อทำการศึกษาความแตกต่างของความสัมพันธ์ของระยะยุบตัวและแรงกระทำ (static curves) ของหุ่นทดสอบ ทั้งนี้ตามงานวิจัยของ C.K. Kroell และคณะ [41] ที่ได้จำลองการทดสอบพลังงานการต้านการรับแรงบริเวณหน้าอกกับศพด้วยการกดแบบสถิตย์ที่เสียชีวิตมาแล้วในช่วง 2-10 วัน โดยมากใช้ในช่วงเวลา 4 วัน หลังเสียชีวิต สำหรับการทดสอบการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหุ่นทดสอบภายใต้ความเร็วของการกดที่ (100, 200 และ 300 mm/min) โดยวิธีการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.3 ตามลำดับ ส่วนผลของพฤติกรรมการยุบตัวของหน้าอกและคุณลักษณะของการดูดซับพลังงานบริเวณหน้าอกภายใต้ความเร็วต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ และพฤติกรรมการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหุ่นทดสอบสูงสุดภายใต้การออกแบบตามรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.1 การติดตั้งหุ่นทดสอบบนเครื่องทดสอบแบบสถิตย์ Universal testing machine



รูปที่ 4.2 การตั้งค่าการทำงานบนเครื่องทดสอบแบบสถิตย์



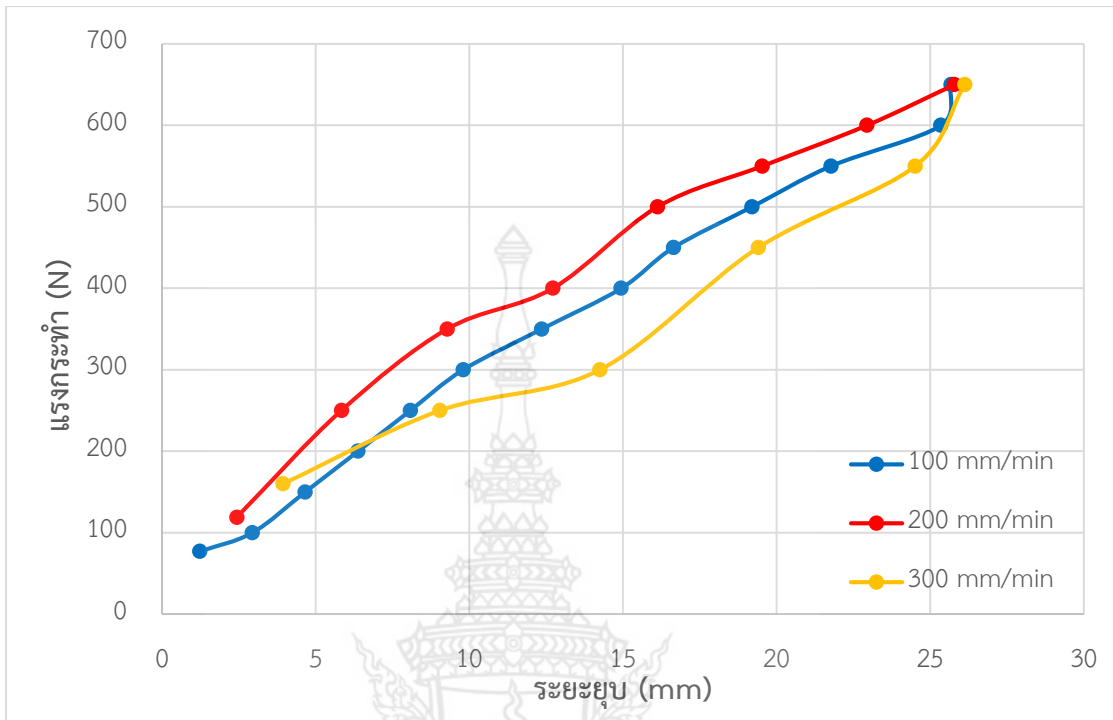
รูปที่ 4.3 การทดสอบและบันทึกผลการทดสอบแบบสถิตย์

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการกดแบบสถิตย์ภายใต้ความเร็วในการกดต่าง ๆ

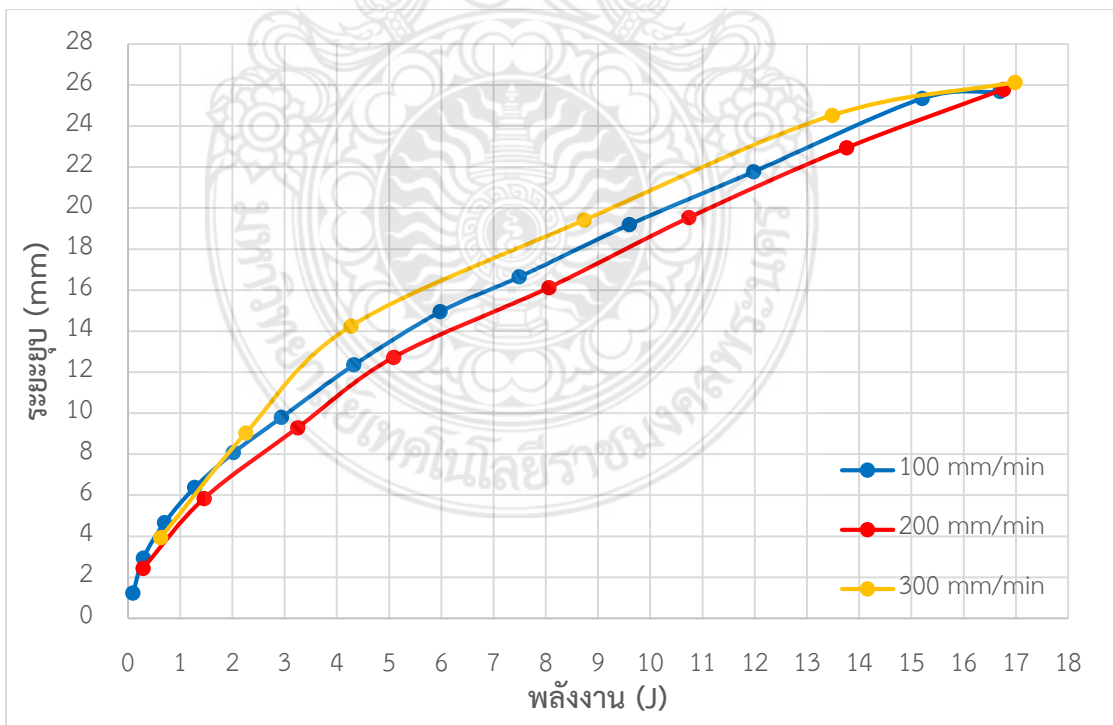
แรงที่กระทำภายใต้ (N)			ระยะยุบตัว (mm)			การดูดซับพลังงาน (J)		
ความเร็ว (mm/min)			ความเร็ว (mm/min)			ความเร็ว (mm/min)		
100	200	300	100	200	300	100	200	300
77	119	160	1.23	2.433	3.931	0.095	0.290	0.629
100	250	250	2.939	5.840	9.040	0.294	1.460	2.260
150	350	300	4.659	9.280	14.248	0.699	3.248	4.274
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		
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		

ผลการทดสอบการกดแบบสถิตย์ภายใต้ความเร็วในการกดต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.3 เปิดเผยให้เห็นว่า ภายใต้แรงกระทำสูงสุดที่กำหนดไว้ 650 N ตามงานวิจัยของ C.K. Kroell นั้น ความเร็วในการกดไม่มีผลต่อระยะยุบตัวของหน้าอกหุ่นทดสอบ เนื่องจากระยะยุบตัวมีความใกล้เคียงกันมากโดยมีค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ความเร็วที่ 25.865 mm. อีกทั้งผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้านค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำมากที่สุดที่ 0.19 เท่านั้น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการพิจารณาการดูดซับพลังงานที่กระทำต่อหน้าอกที่มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ 16.812 J และ 0.123 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการทดสอบแบบสถิตย์ภายใต้ความเร็วที่แตกต่างกันนี้มีที่แสดงถึงความแตกต่างอย่างชัดเจน คือ ภาระแรงกระทำก่อนกด (Pre-load) เท่านั้น ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นตามความเร็วที่กด



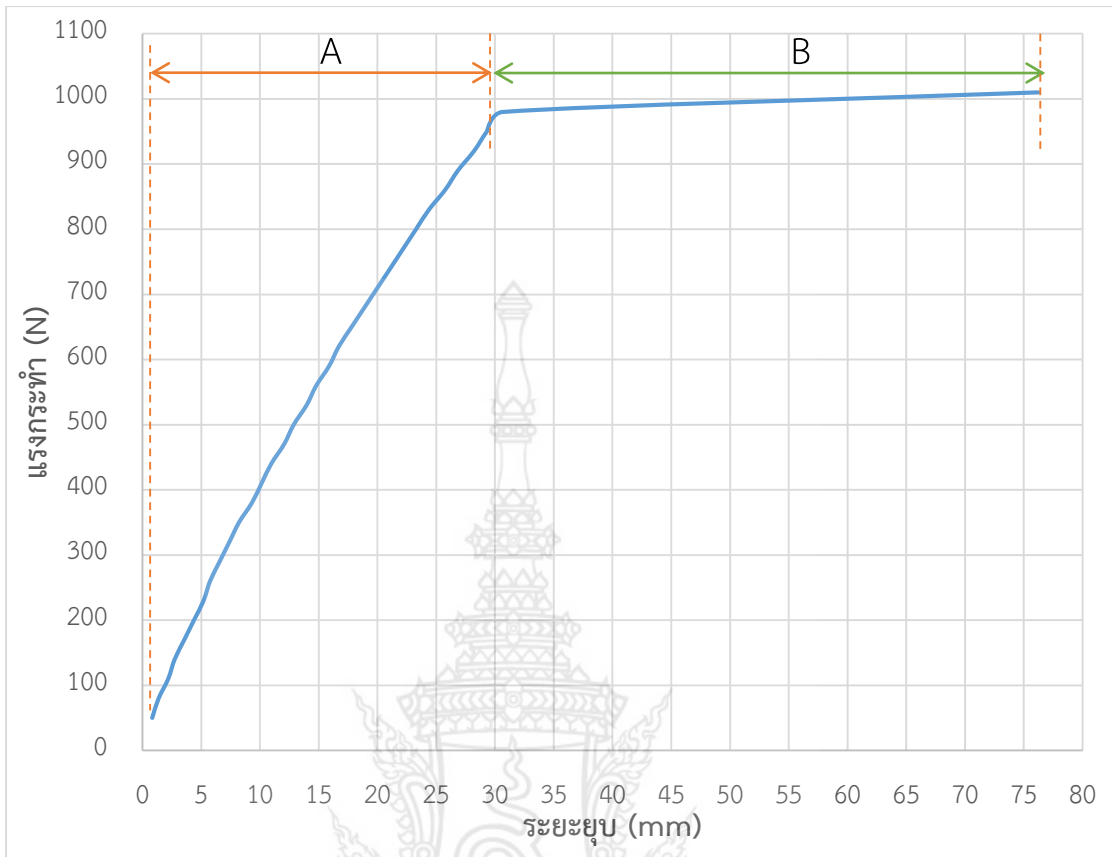


รูปที่ 4.4 พฤติกรรมการยุบตัวของหน้าอกของหุ่นทดสอบ



รูปที่ 4.5 คุณลักษณะของการดูดซับพลังงานบริเวณหน้าอกภายใต้ความเร็วต่าง ๆ



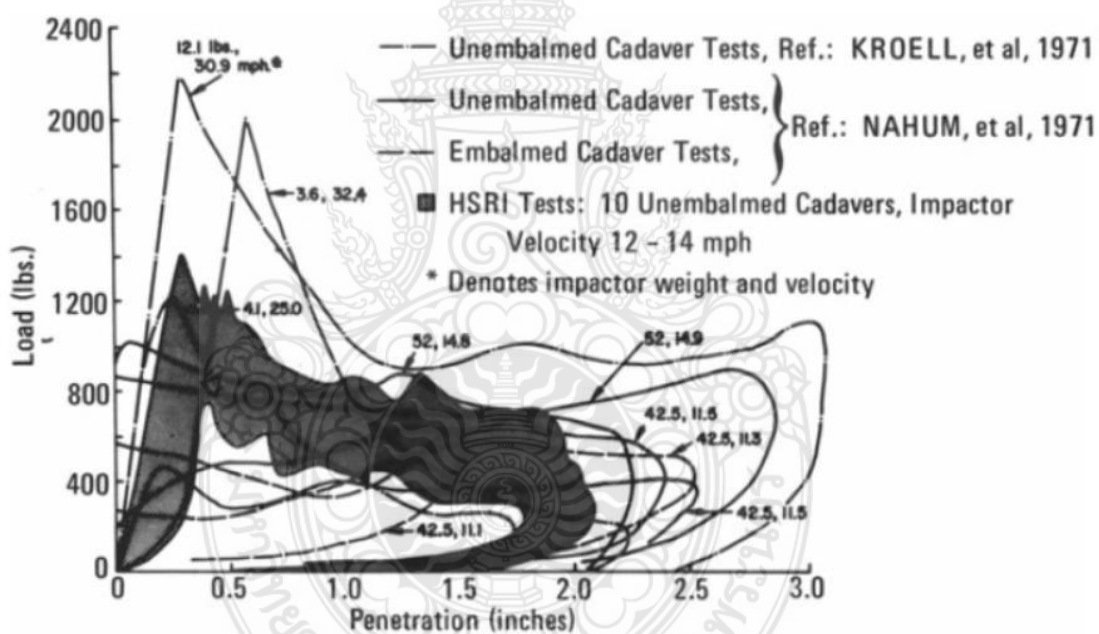


รูปที่ 4.6 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานบริเวณหน้าอกสูงสุดของหุ่นทดสอบ

ผลการทดสอบพฤติกรรมการดูดซับพลังงานบริเวณหน้าอกสูงสุดจากในรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ของแรงกระทำและระยะยุบตัวในช่วงเริ่มต้น (ช่วง A) มีแนวโน้มการยุบตัวค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการยุบตัวในช่วงรับแรงสูงสุด (ช่วง B) ซึ่งผลดังกล่าวเป็นผลของพฤติกรรมวัสดุที่ออกแรงต้านทานแรงกระทำไปถึงจุดหนึ่ง และไม่สามารถต้านแรงเกินจากจุดดังกล่าว จึงยอมให้แรงกระทำทำให้ระยะยุบตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ พฤติกรรมดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับพฤติกรรมการดูดซับพลังงานของหน้าอกของคนที่มีความสามารถรองรับแรงกระทำที่ทำให้กระดูกซี่โครงยุบตัวลงถึงจุดหนึ่งเช่นเดียวกับพฤติกรรมวัสดุ ซึ่งหากมีแรงกระทำมากไปกว่าขีดจำกัดหรือความสามารถในการดูดซับพลังงานนี้กระดูกซี่โครงจะเกิดการยุบตัวถาวรหรือเกิดการแตกหัก ทำให้ระดับการบาดเจ็บมีผลถึงความตายก็เป็นได้

### 4.3 ผลการทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบแบบพลวัตร

สำหรับการทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบแบบพลวัตร ถูกกำหนดเงื่อนไขการทดสอบตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต้น 2 ตัวแปร ได้แก่ มวลหรือแรงที่กระทำ และความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ โดยการทดสอบตามเงื่อนไขนี้ถูกจำลองจากการทดสอบในงานวิจัยของ C.K. Kroell และคณะ [41] เช่นเดียวกับกรณีการทดสอบการกดแบบสถิตย์ การทดสอบแบบพลวัตรนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาคุณลักษณะของแผนภูมิพลังงานที่แสดงระหว่างความสัมพันธ์ของแรงกระทำและระยะยุบตัวของหน้าอกมนุษย์ตามรูปที่ 4.7 หากแต่มีความแตกต่างด้านความเร็วที่เข้ามาเกี่ยวข้องที่ใช้กำหนดการทดสอบซึ่งมีแนวทางการทดสอบแสดงตามตารางที่ 4.4 สำหรับการทดสอบดังกล่าวเป็นแบบ Dynamic ด้วยการปล่อยตก (Drop test) ตามเงื่อนไขที่กล่าวมาแล้วในตารางที่ 3.6



รูปที่ 4.7 แผนภูมิพลังงาน Dynamic force-deformation curves for human chest [40]

ตารางที่ 4.4 รูปแบบการทดสอบความสามารถการดูดซับพลังงานของหุ่นทดสอบที่จำลองจากการทดสอบของศพตามคุณลักษณะของแผนภูมิพลังงาน [40]

ครั้งที่	มวล (Lb, kg)	ความเร็ว (mi/hr, km/hr, m/s)	หมายเหตุ
1	42.5, 19.28	11.1, 17.86, 4.96	lower
2	42.5, 19.28	11.5, 18.51, 5.14	lower
3	52, 23.59	14.8, 23.82, 6.624.96	lower
4	4.1, 1.86	25, 40.23, 11.18	lower
5	3.6, 1.63	32.4, 52.14, 14.48	Upper
6	11.21, 5.49	30.9, 49.73, 13.81	Upper

อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยมีข้อจำกัดด้านความสูงของเครื่องทดสอบ (drop test) ที่มีค่าสูงสุดที่กระทำได้เพียง 7 เมตร เท่านั้น อีกทั้งมวลที่ใช้ในการทดสอบมีการติดตั้งแบบยึดติดไม่สามารถเปลี่ยนแปลงมวลทดสอบได้ ซึ่งมวลดังกล่าวมีค่า 13.5 kg ดังนั้นการทดสอบตามตารางที่ 4.4 จึงไม่สามารถดำเนินการได้ จึงได้ทำการออกแบบการทดสอบใหม่ โดยกำหนดให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมวล และใช้การเปลี่ยนแปลงความเร็วจากการเปลี่ยนแปลงความสูงทดแทนตามสมการที่ 5 ซึ่งข้อกำหนดการออกแบบการทดสอบความสามารถการดูดซับพลังงานของหุ่นทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.5 โดยผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 4.6 ถึง 4.9 ตามลำดับ สำหรับการทดสอบแบบพลวัตรแสดงดังรูปที่ 4.8 ถึง 4.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ข้อกำหนดการออกแบบการทดสอบความสามารถการดูดซับพลังงานของหุ่นทดสอบ

การทดสอบที่	มวล (kg)	ระดับความสูง การปล่อยตก (m)	ความเร็ว (km /hr)	การดูดซับพลังงานที่ กระทำต่อหุ่น (J)
1	13.5	0.125	5.6	xx
2		1	15.946	xx

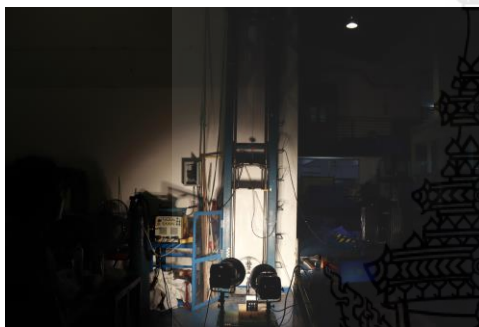
\* ระดับความสูงของการปล่อยตกถูกคำนวณจากสมการที่ 5 (กรณีไม่มีความเร็วเริ่มต้น,  $U = 0$ ) ซึ่งระดับความสูงที่กำหนดนี้ เป็นความสูงที่แสดงความต่างความเร็วให้เห็น 2 ระดับ ที่มีความแตกต่างกันแบบก้าวกระโดดเพื่อพิจารณาการดูดซับพลังงานที่เกิดกับหุ่นทดสอบ



(ก)



(ข)

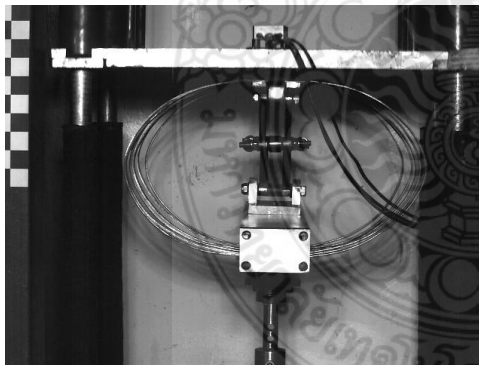


(ค)

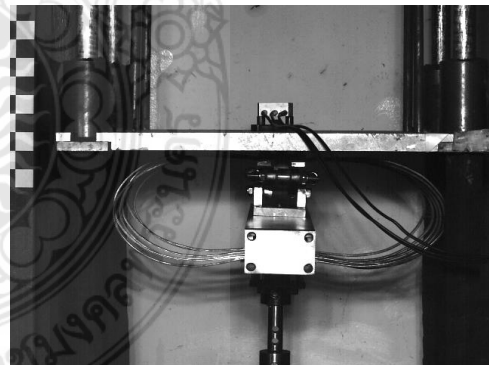


(ง)

รูปที่ 4.8 การเตรียมการทดสอบแบบพลวัต (ก) ติดตั้งเครื่องมือวัด (ข) เชื่อมต่อเครื่องมือวัดกับอุปกรณ์เก็บข้อมูล (ค) ติดตั้งกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง (ง) ติดตั้งหน้าอกหุ่นทดสอบ



(ก)

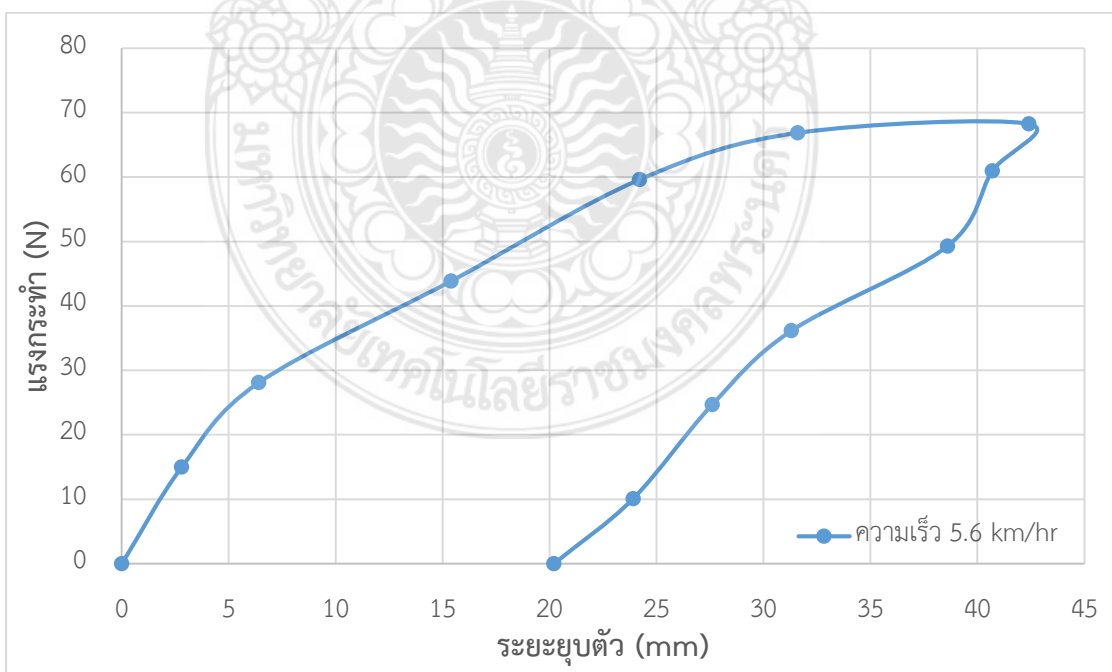


(ข)

รูปที่ 4.9 การทดสอบและบันทึกผลการทดสอบแบบพลวัต (ก) เริ่มต้นทดสอบ (ข) การยุบตัว

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบพฤติกรรมการดูดซับพลังงานแบบพลวัตความเร็ว 5.6 km/hr

เวลา t (s)	ระยะยุบตัว x (mm)	ความเร่งที่กระแทก a (g)	แรงกระแทกบริเวณ หน้าอก F (N)	ช่วงพฤติกรรม
0	0	0	0	ก่อนกระแทก
0.001	2.8	1.110	14.986	จุดยอดของแรง
0.002	6.4	2.081	28.097	ดูดซับพลังงาน
0.003	15.4	3.249	43.870	
0.004	24.2	4.415	59.603	
0.005	31.6	4.952	66.864	
0.006	42.4	5.056	68.256	แรงกระทำสูงสุด
0.007	40.7	4.516	60.975	ช่วงคืนตัวกลับ
0.008	38.6	3.650	49.276	
0.009	31.3	2.677	36.145	
0.01	27.6	1.827	24.668	
0.011	23.9	0.747	10.085	
0.012	20.2	0	0	หยุดการคืนตัว

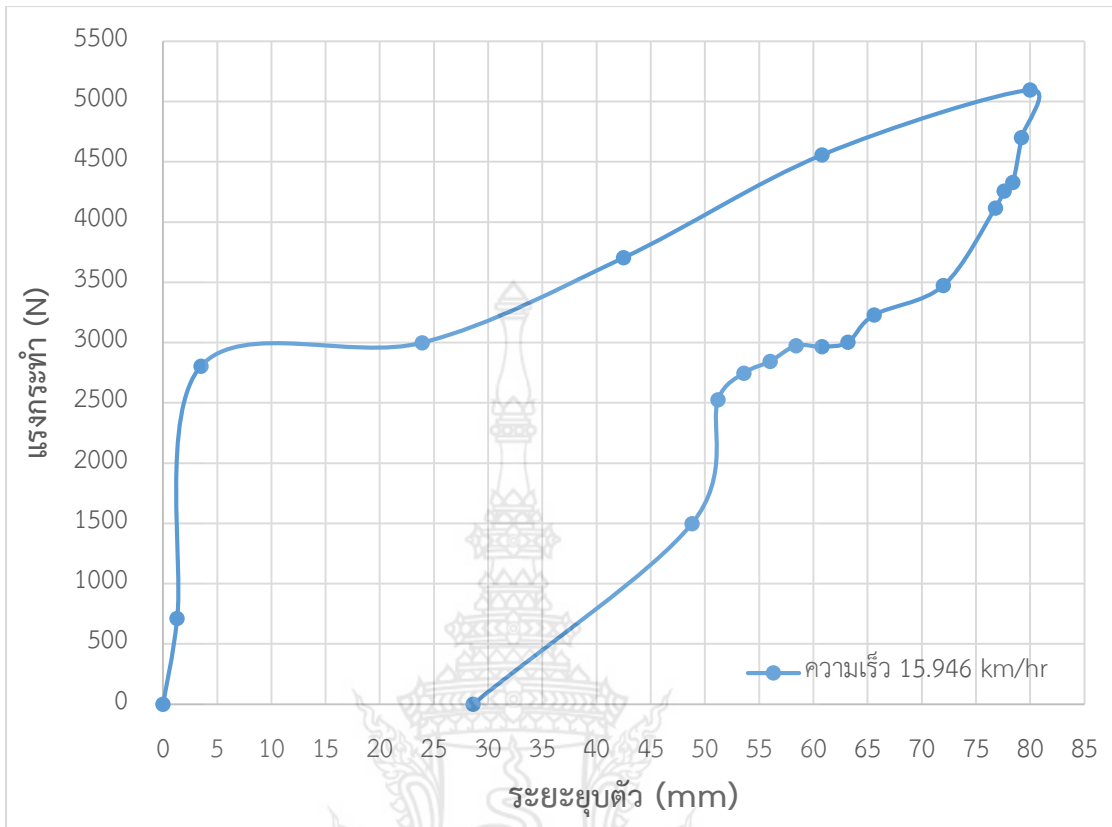


รูปที่ 4.10 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานของการทดสอบแบบพลวัตความเร็ว 5.6 km/hr

ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า การทดสอบแบบพลวัตใช้เวลาในการทดสอบเพียง 12 ms เท่านั้น ในขณะที่มีแรงกระทำหุ่นทดสอบมีการดูดซับพลังงานก่อนที่จะปล่อยให้แรงกระทำทำให้ระยะยุบตัวเพิ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นเป็นพฤติกรรมในช่วงการรับพลังงานสูงสุดซึ่งมีระยะยุบตัวของหุ่นทดสอบสูงสุด อัตราเร่งที่กระแทกสูงสุด และแรงกระทำสูงสุด ที่ 42.4 mm 5.056 m/s<sup>2</sup> และ 68.256 N ที่เวลา 6 ms หลังจากนั้นระยะยุบตัว แรงกระทำ และอัตราเร่ง เริ่มลดลงโดยเกิดในช่วงของพฤติกรรมการคืนตัว จนกระทั่งหยุดการคืนตัวในที่สุด ทั้งนี้ภายใต้ความเร็วที่กระทำต่อหุ่นทดสอบส่งผลให้มีการดูดซับพลังงานจากการชนกระแทก 2.894 J

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบพฤติกรรมดูดซับพลังงานแบบพลวัตความเร็ว 5.6 km/hr

เวลา t (s)	ระยะยุบตัว x (mm)	ความเร่งที่กระแทก a (g)	แรงกระแทกบริเวณ หน้าอก F (N)	ช่วงพฤติกรรม
0	0	0	0	ก่อนกระแทก
0.001	1.3	5.367	710.754	จุดยอดของแรง
0.002	3.5	21.179	2804.828	ดูดซับพลังงาน
0.003	23.9	22.640	2998.346	
0.004	42.5	27.967	3703.757	
0.005	60.8	34.403	4556.188	
0.006	80	38.470	5094.794	แรงกระทำสูงสุด
0.007	79.2	35.488	4699.842	ช่วงคืนตัวกลับ
0.008	78.4	32.692	4329.625	
0.009	77.6	32.150	4257.797	
0.010	76.8	31.083	4116.517	
0.011	72	26.219	3472.248	
0.012	65.6	24.379	3228.668	
0.013	63.2	22.679	3003.490	
0.014	60.8	22.391	2965.301	
0.015	58.4	22.453	2973.612	
0.016	56	21.470	2843.412	
0.017	53.6	20.737	2746.258	
0.018	51.2	19.060	2524.246	
0.019	48.8	11.313	1498.282	
0.020	28.6	0	0	หยุดการคืนตัว



รูปที่ 4.11 พฤติกรรมการดูดซับพลังงานของการทดสอบแบบพลวัตความเร็ว 15.964 km/hr

ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า พฤติกรรมในทุกๆช่วงของการมีความคล้ายคลึงกับการทดสอบที่ความเร็ว 5.6 km/hr โดยช่วงการคืนตัวกลับมีใช้เวลานานที่สุด เนื่องจากในช่วงดังกล่าวนี้มีแรงกระทำที่เกิดจากมวลทดสอบติดตามการเคลื่อนที่กลับของหุ่น ซึ่งพฤติกรรมนี้อาจมีความแตกต่างจากการทดสอบแบบอื่น เช่นการทดสอบการชนกระแทกแบบวิถีโค้ง (Pendulum test) ที่มวลหลังการกระแทกจะไม่มีเคลื่อนที่ตาม ทำให้หน้าอกของหุ่นทดสอบมีการคืนตัวแบบอิสระ ทั้งนี้ การทดสอบด้วยวิธีการใช้ความสูง (Drop test) เสมือนการจำลองการชนของรถจริงที่มีมวลวิ่งเข้าหาหน้าอกและเกิดแรงต้านจากกระดูกนั่นเอง และจากการทดสอบทั้ง 2 ความเร็วภายใต้มวลคงที่ วัสดุที่ใช้ทำหุ่นทดสอบเหมือนกัน และวิธีการทดสอบแบบเดียวกัน พบว่าความเร็วเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดต่อระดับการบาดเจ็บ



ตารางที่ 4.8 สรุปผลความสามารถของหุ่นทดสอบที่ทดสอบแบบพลวัต

ความสูง h (m)	ความเร็ว V (km/hr)	การดูดซับ พลังงาน $E_a$ (J)	ความเร่งที่ กระแทก a (g)	แรงกระแทก บริเวณสันอก F (N)	ระยะยุบตัว สูงสุด (mm)
0.125	5.6	2.894	5.056	68.25	42.4
1	15.694	99.905	38.43	5094.8	80.0

ตารางที่ 4.9 สรุปผลระดับการบาดเจ็บที่ทดสอบแบบพลวัต

ความสูง h (m)	ความเร็ว V (km/hr)	ระยะคืนตัว สูงสุด (mm)	*ช่วงเวลา การคืนตัว (ms)	ความหนืดแสดงระดับ การบาดเจ็บในฟังก์ชัน ของความเร็ว VC (m/s)	ระดับการ บาดเจ็บ (AIS)
0.125	5.6	22.2	41	0.541	AIS3+
1	15.694	51.4	62.3	0.825	AIS3+

\* ช่วงเวลาการคืนตัวนำข้อมูลมาจากกล้องบันทึกภาพยนตร์ความเร็วสูง ที่ระดับ 1000เฟรม/วินาที

สรุปผลความสามารถและระดับการบาดเจ็บของหุ่นทดสอบตามตารางที่ 4.8 และ 4.9 แสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการดูดซับพลังงานมีค่าสูงสุดที่ 99.905 J รองรับแรงกระทำสูงสุดที่หน้าอกได้ 5.094 kN โดยมีความเร่งที่กระแทกและระยะยุบตัวสูงสุดที่ 38.43g และ 80 mm ตามลำดับ ซึ่งผลจากการทดสอบแบบพลวัตที่ได้จากการออกแบบหุ่นทดสอบทั้งหมดนี้ ถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความสามารถที่ร่างกายมนุษย์ยอมรับได้สูงสุดจากการชนกระแทกในรูปที่ 2.6 มีเพียงเฉพาะการรับแรงกระแทกเท่านั้นที่ยังไม่เข้าข่ายเกณฑ์ดังกล่าว นอกจากนี้การออกแบบนี้ยังรองรับการทดสอบที่ระดับการบาดเจ็บ AIS 3+ หรือระดับมากกว่าระดับรุนแรง Serious อีกด้วย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 การออกแบบทางทฤษฎี

สำหรับการออกแบบทดสอบที่ใช้กับการทดสอบการชนของรถจักรยานยนต์ตามทฤษฎี โดยคุณลักษณะเฉพาะที่ถูกเลือกมาออกแบบนี้ ได้แก่ หุ่นทดสอบเพศชาย ที่มีอายุในช่วง 25-55 ปี มีจำนวนกระดูกซี่โครง 6 ซี่น รองรับการยุบตัวได้สูงสุด 76.2 mm. ทั้งนี้จากการวิจัยพบว่าสามารถนำมาใช้ในการทดสอบที่แสดงถึงระดับการบาดเจ็บบริเวณหน้าอกทั้งกรณีแบบสถิตย์และพลวัต

##### 5.1.2 การทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบแบบสถิตย์

พฤติกรรมการดูดซับพลังงานบริเวณหน้าอกมีระยะยุบตัวค่อนข้างต่ำในช่วงการเพิ่มแรงกดเริ่มต้น หลังจากนั้นระยะยุบตัวมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากแรงกระทำที่ต่ำ ทั้งนี้ พฤติกรรมดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับพฤติกรรมการดูดซับพลังงานของหน้าอกของคนซึ่งหากมีแรงกระทำมากไปกว่าขีดจำกัดหรือความสามารถในการดูดซับพลังงานนี้กระดูกซี่โครงจะเกิดการยุบตัวถาวรหรือเกิดการแตกหัก ดังนั้นคุณลักษณะการออกแบบหุ่นที่ทดสอบแบบสถิตย์สามารถสะท้อนพฤติกรรมที่มีความใกล้เคียงกับมนุษย์

##### 5.1.3 การทดสอบความสามารถของหุ่นทดสอบแบบพลวัต

การทดสอบแบบพลวัตเปิดเผยให้เห็นถึงความสามารถของหุ่นทดสอบที่สามารถรองรับการดูดซับพลังงานได้ถึง 99.905 J ความเร่งที่กระแทก 38.43g แรงกระแทกบริเวณสันอก 5.094 kN และความหนืดแสดงระดับการบาดเจ็บในฟังก์ชันของความเร็ว 0.825 m/s ที่เปรียบเทียบกับระดับการบาดเจ็บมีค่า AIS 3+ หรือระดับมากกว่าระดับรุนแรง (Serious) ทั้งนี้สามารถแสดงให้เห็นว่าความเร็วคือปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่แสดงถึงระดับการบาดเจ็บ

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดสอบแบบพลวัตมีความเสี่ยงค่อนข้างสูงเนื่องจากปริมาณของพลังงานจากเป็นปัจจัยของความสูง จึงควรตรวจสอบอย่างละเอียดถี่ถ้วนก่อนการทดสอบ อีกทั้งการออกแบบหุ่นหรือการพัฒนาการออกแบบหุ่นควรมีความหลากหลายมากขึ้น เช่น เพศ อายุ และการประยุกต์ใช้งานกับรถประเภทอื่น ๆ อีกด้วย

## บรรณานุกรม

- [1] U. W. Seiffert and L. Wech, **Automotive safety handbook**, 2007.
- [2] **Humanetics ATD: Anthropomorphic Test Device**, [Online]. Available: <http://www.humaneticsatd.com/>, [Accessed: 24-Jul-2015], 2015.
- [3] **JASTI CO., LTD. Anthropomorphic Test Device**, [Online]. Available: <http://www.jasti.co.jp/en/about.html>. [Accessed: 24-Jul-2015], 2015.
- [4] **BGS - Böhme & Gehring GmbH**, [Online]. Available: <http://www.boehme-gehring.de/>, [Accessed: 24-Jul-2015], 2015.
- [5] **ASEAN NCAP (New Car Assessment Program)**, [Online]. Available: <http://www.aseancap.org/>, [Accessed: 09-Sep-2015], 2015
- [6] **JNCAP National agency for Automotive Safety & Victim's Aid**, [Online]. Available: <http://www.nasva.go.jp/mamoru/en/>, [Accessed: 09-Sep-2015], 2015.
- [7] *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/main/wp29/wp29regs81-100.html>, [Accessed: 09-Sep-2015], 2015.
- [8] 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](http://www.thaiauto.or.th/2012/th/about-us/download/Master_Plan_Final_2555-2559.pdf), [Accessed: 09-Sep-2015], 2015.
- [9] กระทรวงการคลัง, “**ประกาศกระทรวงการคลัง เรื่อง ลดอัตราภาษีสรรพสามิต (ฉบับที่ 127),**” [Online]. Available: <http://www.mof.go.th/projectM/accmaster/doc4/01/1.7/02.pdf>, [Accessed: 09-Sep-2015], 2015.
- [10] Dynamic Research Inc., “**Special Purpose Experimental Devices in Support of Services,**” [Online]. Available: [http://dynres.com/prod\\_crashtestdummy.html](http://dynres.com/prod_crashtestdummy.html). [Accessed: 09-Sep-2015], 2015.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] T. Smith, J. Zellner, and N. M. Rogers, “**A three dimensional analysis of riding posture on three different styles of motorcycle,**” in International Motorcycle Safety Conference, March, 2006.
- [12] J. P. Stapp, “**Human tolerance to deceleration,**” *Am. J. Surg.*, vol. 93, no. 4, pp. 734–740, Apr., 1957.
- [13] Steve Packard and Col John Stapp, **Takes a Lot of G’s. 2009**, [Online]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=s4tuvOer\\_GI](https://www.youtube.com/watch?v=s4tuvOer_GI). [Accessed: 09-Sep-2015], 2015.
- [14] D. H. Glaister, “**Human tolerance to impact acceleration,**” *Journal of Injury*, vol. 9, no. 3, pp. 191–198, Feb., 1978.
- [15] K. 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 International, Warrendale, PA, SAE Technical Paper 801303, Sep., 1980.
- [16] P. Atkinson, T. Atkinson, R. Haut, C. Eusebi, V. Maripudi, T. Hill, and K. Sambatur, “**Development of Injury Criteria for Human Surrogates to Address Current Trends in Knee-to-Instrument Panel Injuries,**” SAE International, Warrendale, PA, SAE Technical Paper 983146, Nov., 1998.
- [17] S. W. Alderson, “**Anthropomorphic dummy for use in vehicle crash testing. Google Patents,**” 1981.
- [18] L. W. Schneider, “**Development of anthropometrically based design specifications for an advanced adult anthropomorphic dummy family, volume 1. final report,**” 1983.
- [19] 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,**” SAE Technical Paper, 1984.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

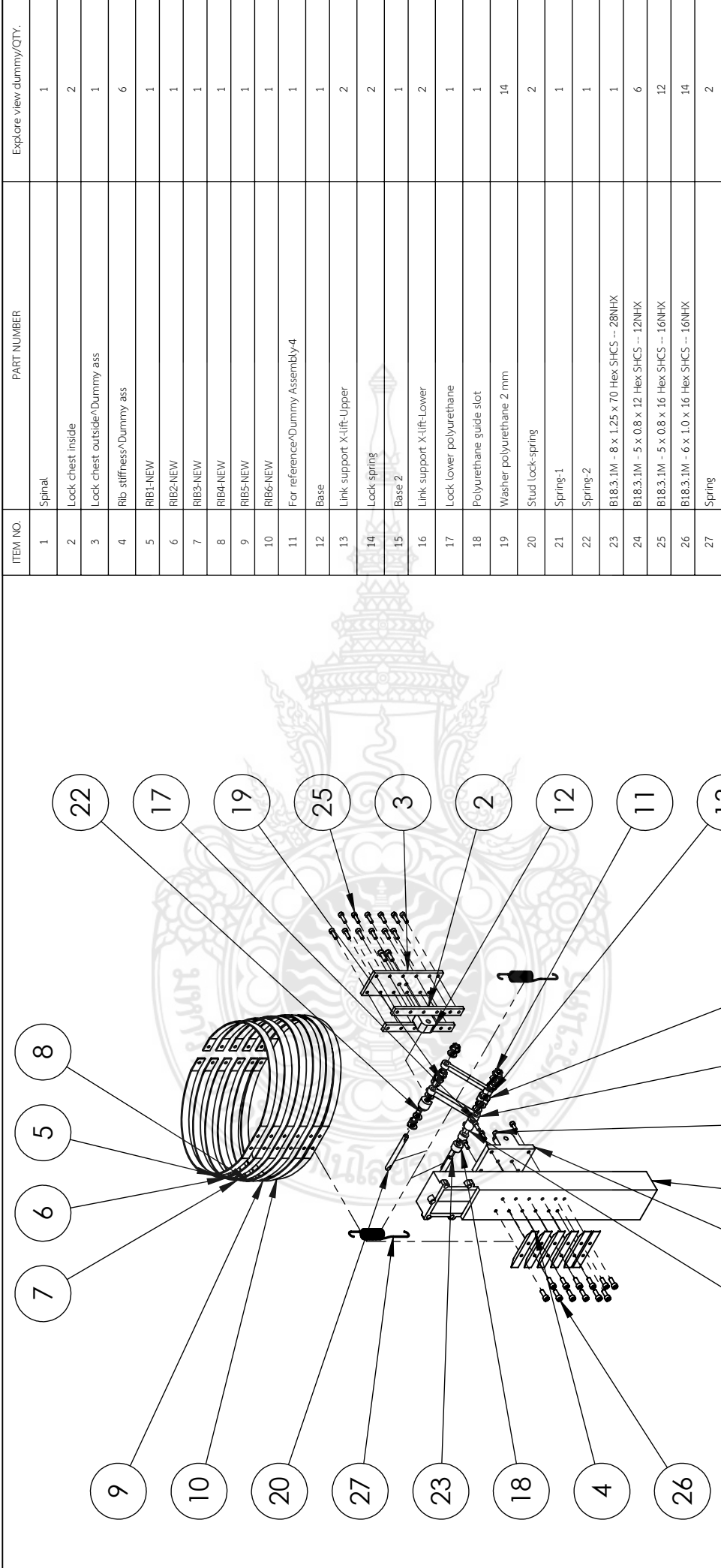
- [20] K. D. Wiley, J. W. Zellner, A. S. Laurent, J. A. Newman, T. J. Szabo, and N. Shewchenko, **“Motorcycle accident simulating test dummy,”** Google Patents, 1991.
- [21] C. Withnall, N. Shewchenko, K. D. Wiley, and N. Rogers, **“An improved dummy neck for the ISO 13232 Motorcycle anthropometric test dummy,”** in proceedings of the 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Nagoya, Japan, National Highway Traffic Safety Administration, Washington DC, 2003.
- [22] R. Quincy, D. Vulin, and B. Mounier, **“Motorcycle impacts with guardrails,”** *Transp. Res. Circ.*, no. 341, 1988.
- [23] B. P. Chinn, J. A. Okello, P. J. McDonough, and G. Grose, **“Development and testing of a purpose built motorcycle airbag restraint system,”** in International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 15th, 1996, Melbourne, Victoria, Australia, 1996.
- [24] H. J. Mertz, **“Anthropomorphic test devices,”** in *Accidental Injury*, Springer, 1993, pp. 66–84, 2011.
- [25] World Health Organization, **“Global Status Report on Road Safety 2015,”** World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, 2015.
- [26] A. Faried and et. Al., **“Characteristics of moderate and severe traumatic brain injury of motorcycle crashes in Bandung, Indonesia,”** *World Neurosurgery*, vol. 100, pp. 195-200, 2017.
- [27] Y. Chung, T.-J. Song and B.-J. Yoon, **“Injury severity in delivery-motorcycle to vehicle crashes in the Seoul metropolitan area,”** *Accid. Anal. Prev.*, pp. 79-86, Jan., 2014.
- [28] Z. H. Zulkipli, A. M. Abdul Rahmat, S. A. Mohd Faudzi, N. F. Paiman, S. V. Wong and A. Hassan, **“Motorcycle-related spinal injury: Crash characteristics,”** *Accid. Anal. Prev.*, pp. 237–244, Nov., 2012.
- [29] Z. Hui and et. al., **“Analysis of 86 fatal motorcycle frontal crashes in Chongqing, China,”** *Chin. J Traumatol.*, vol.15, no.3, pp.170–174, June, 2012.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [30] T. Allen and et.al., “Contributing factors to motorcycle injury crashes in Victoria, Australia,” *Transport. Res. Part F, Traffic Psychol. Behav.*, vol.45, pp. 157-168, Feb., 2017.
- [31] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร สำนักแผนความปลอดภัย กลุ่มพัฒนาความปลอดภัย, “รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนน พ.ศ. 2557,” 2015.
- [32] โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า, “PMK Trauma Registry Major Data 2008 – 2010 - PMK-Trauma-Registry-Major-Data-2008-2010,” 2010.
- [33] R. C. Juvinall and K. M. Marshek, *Fundamentals of machine component design*, 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2012.
- [34] K. Salottolo *et al.*, “The impact of the AIS 2005 revision on injury severity scores and clinical outcome measures,” *Injury*, vol. 40, no. 9, pp. 999–1003, Sep. 2009.
- [35] Dr.Sami, “Injury severity score,” *OrthoTips*, 29-Oct-2015. .
- [36] “บทเรียน::เรื่องการเคลื่อนที่ของคน::” [Online]. Available: [http://www.wangchan.ac.th/teacher\\_issue/t712/unit41.html](http://www.wangchan.ac.th/teacher_issue/t712/unit41.html). [Accessed: 08-Sep-2018].
- [37] 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.
- [38] S. J. Hall, *Basic biomechanics*, 6th ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2012.
- [39] “SizeThailand.” [Online]. Available: <http://www.sizethailand.org/sizechart.html>. [Accessed: 08-Sep-2018].
- [40] R. L. Stalnaker, J. H. McElhaney, V. L. Roberts, and M. L. Trollope, “Human Torso Response to Blunt Trauma,” in *Human Impact Response*, W. F. King and H. J. Mertz, Eds. Boston, MA: Springer US, 1973, pp. 181–199.
- [41] W. F. King and H. J. Mertz, Eds., *Human Impact Response*. Boston, MA: Springer US, 1973.





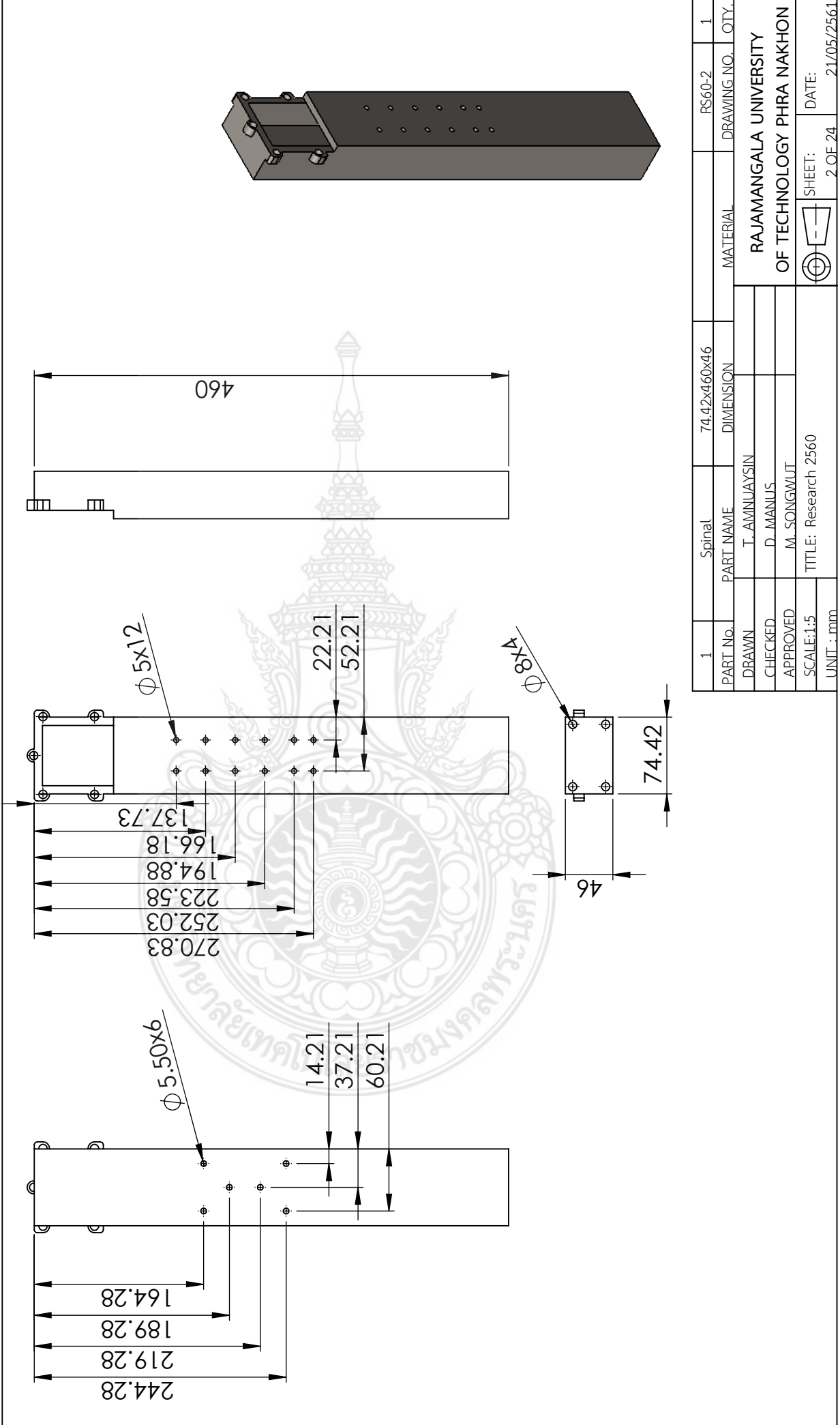


ITEM NO.	PART NUMBER	Explore view dummy/QT.
1	Spinal	1
2	Lock chest inside	2
3	Lock chest outside^Dummy ass	1
4	Rib stiffness^Dummy ass	6
5	RIB1-NEW	1
6	RIB2-NEW	1
7	RIB3-NEW	1
8	RIB4-NEW	1
9	RIB5-NEW	1
10	RIB6-NEW	1
11	For reference^Dummy Assembly-4	1
12	Base	1
13	Link support X-lift-Upper	2
14	Lock spring	2
15	Base 2	1
16	Link support X-lift-Lower	2
17	Lock lower polyurethane	1
18	Polyurethane guide slot	1
19	Washer polyurethane 2 mm	14
20	Stud lock-spring	2
21	Spring-1	1
22	Spring-2	1
23	B18.3.1M - 8 x 1.25 x 70 Hex SHCS -- 28NHX	1
24	B18.3.1M - 5 x 0.8 x 12 Hex SHCS -- 12NHX	6
25	B18.3.1M - 5 x 0.8 x 16 Hex SHCS -- 16NHX	12
26	B18.3.1M - 6 x 1.0 x 16 Hex SHCS -- 16NHX	14
27	Spring	2

Explose View	DUMMY	340x460x280	STEEL	RS60-01	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING No.	QT.
DRAWN	T. AMNUAYASIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:10	TITLE: Research 2560				
UNIT: mm					

**RAJAMANGALA UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON**

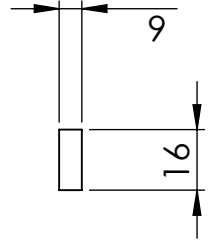
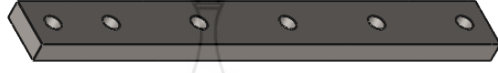
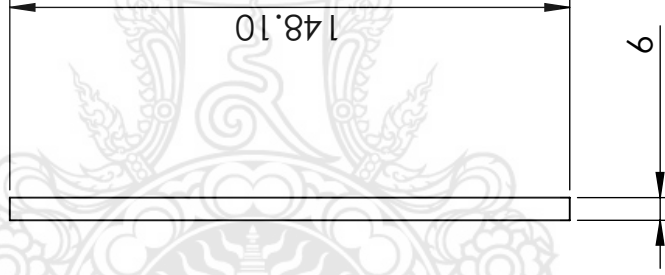
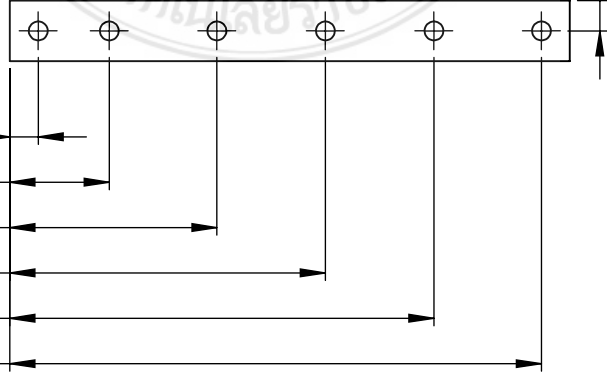
SHEET:  1 OF 24 DATE: 21/5/2561



1	Spinal	74.42x460x46	RS60-2	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO. CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN			
CHECKED	D. MANUS			
APPROVED	M. SONGWUT			
SCALE:1:5	TITLE: Research 2560			
UNIT : mm				
				DATE: 21/05/2561
				SHEET: 2 OF 24

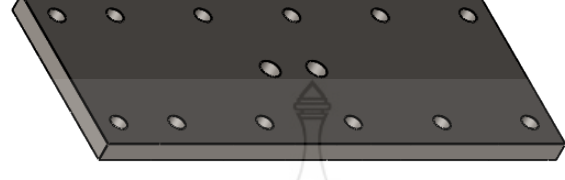
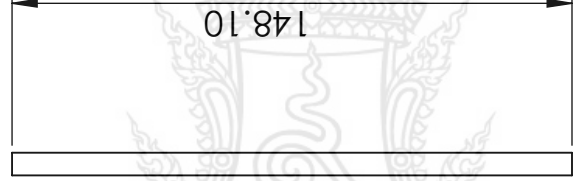
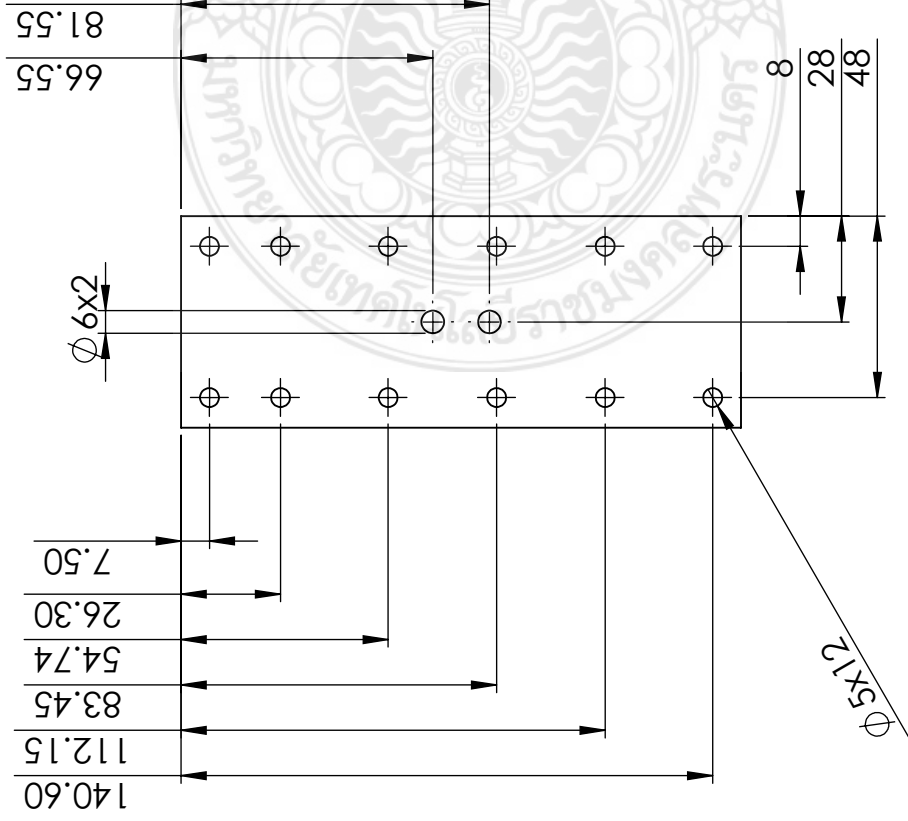
RAJAMANGALA UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON

140.60  
112.15  
83.45  
54.74  
26.30  
7.50

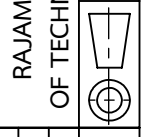


2	Lock chest inside	6x16x148.1	STEEL ASTM A36	RS60-3	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:2	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					

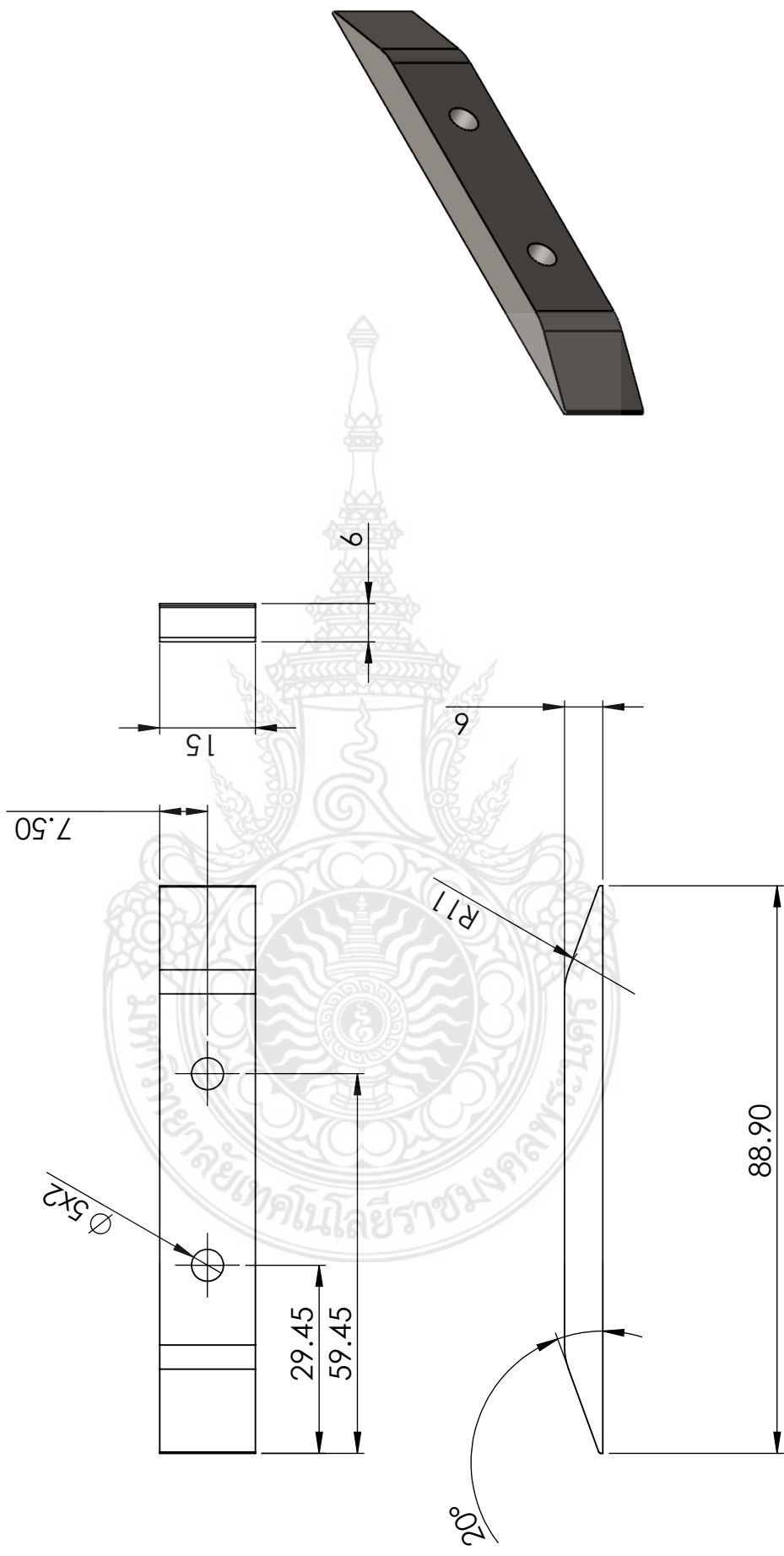
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON	DATE: 21/05/2561
	SHEET: 3 OF 24



3	Lock chest Outside	6x56x148.1	STEEL ASTM A36	RS60-4	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:2	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					
				SHEET: 4 OF 24	DATE: 21/05/2561



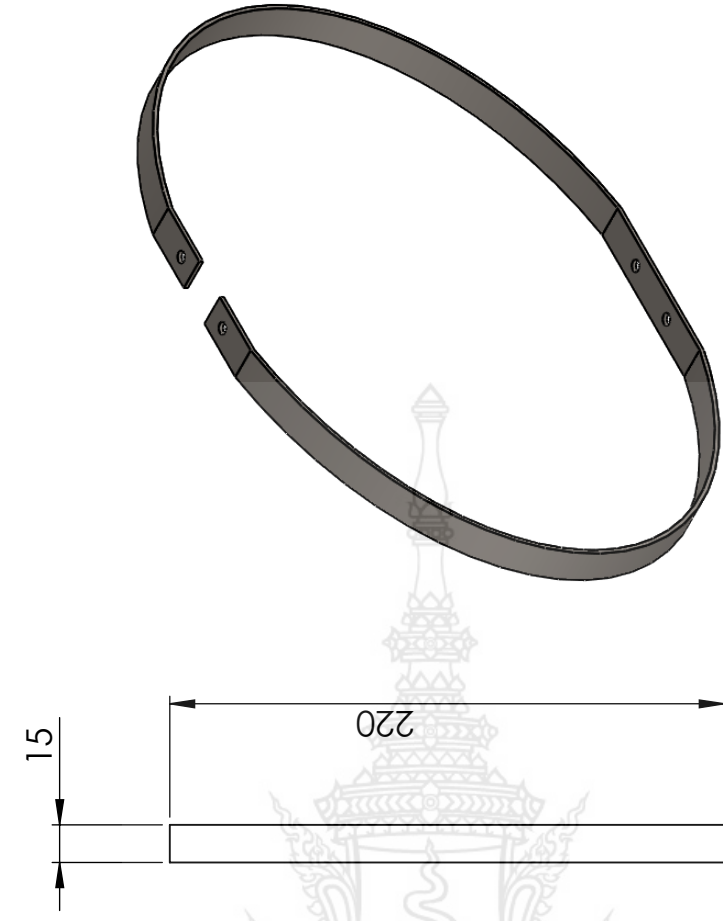
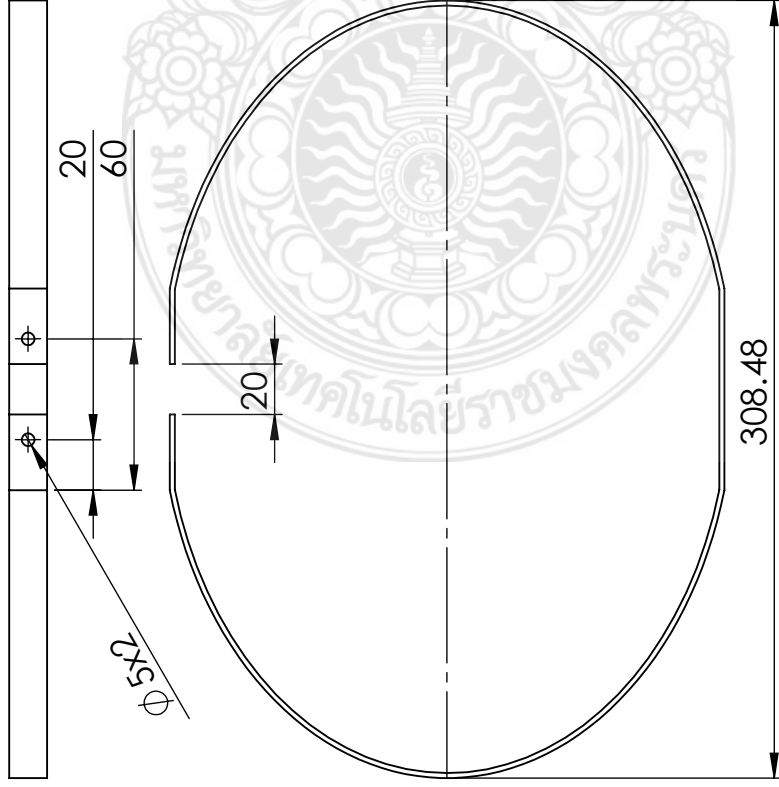
RAJAMANGALA UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON



4	Rib Stiffness	6x15x88.90	STEEL ASTM A36	RS60-5	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:2	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					

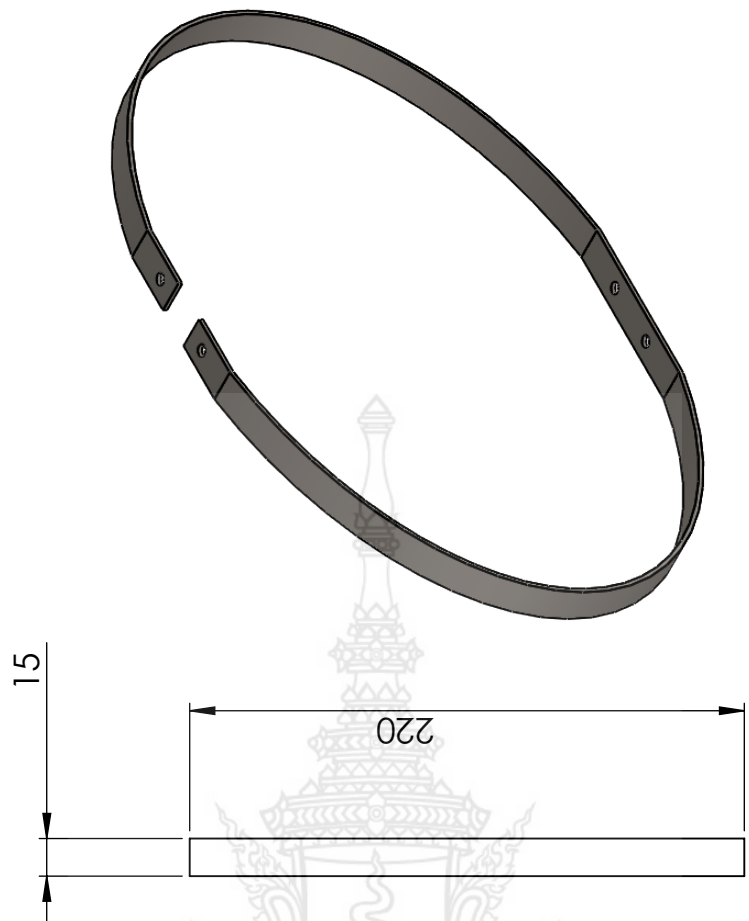
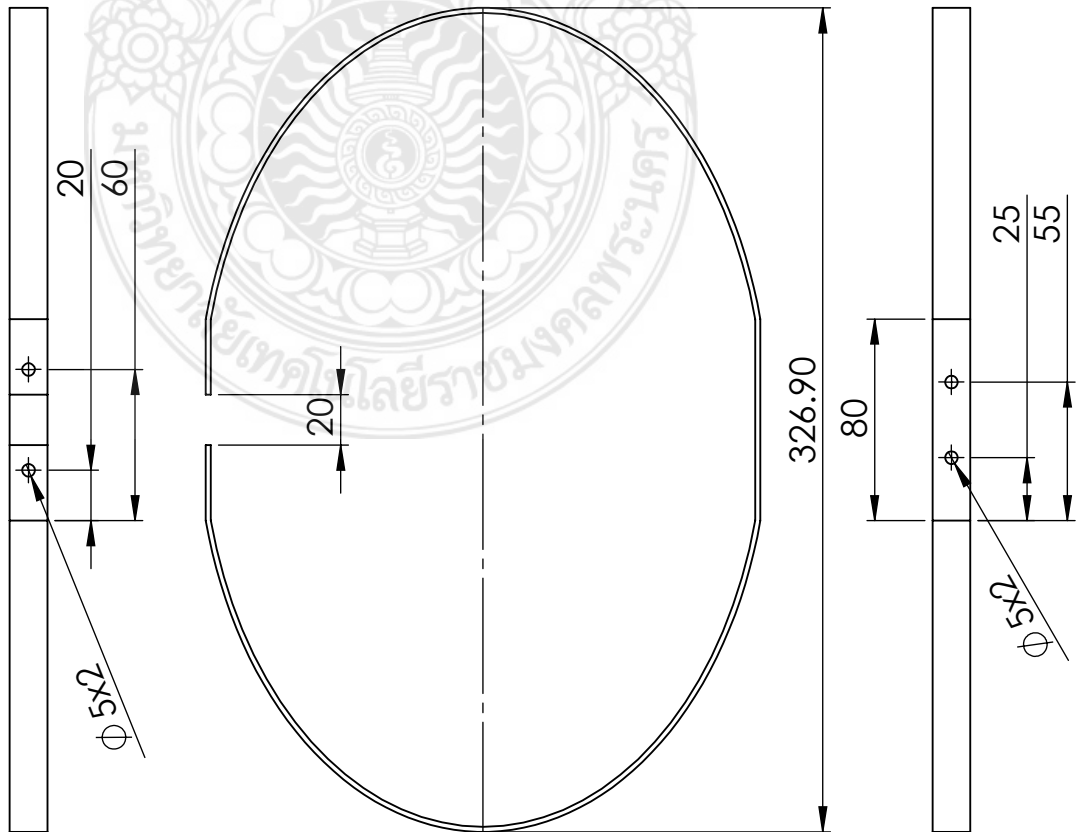
	SHEET:	DATE:
	5 OF 24	21/05/2561

**RAJAMANGALA UNIVERSITY**  
**OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON**



5	RIB-1	300x220x15	STEEL ASTM A36	RS60-6	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:2	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					

<b>RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON</b>	
	SHEET: 6 OF 24
	DATE: 21/05/2561

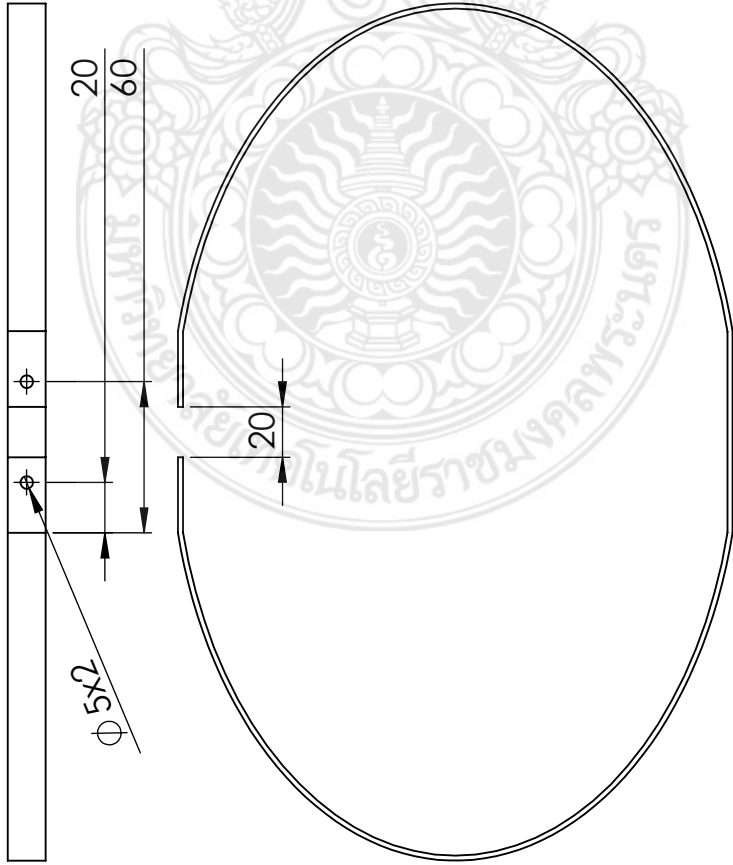


6	RIB-2	300x220x15	STEEL ASTM A36	RS60-7	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:2	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					

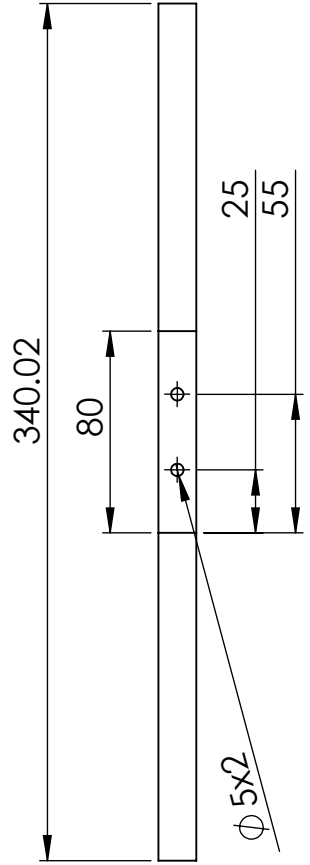
RAJAMANGALA UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON

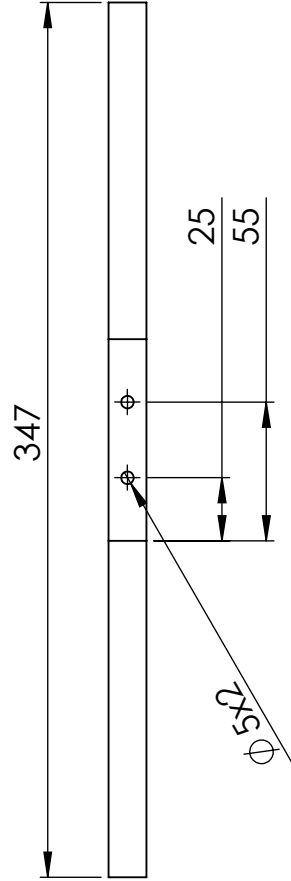
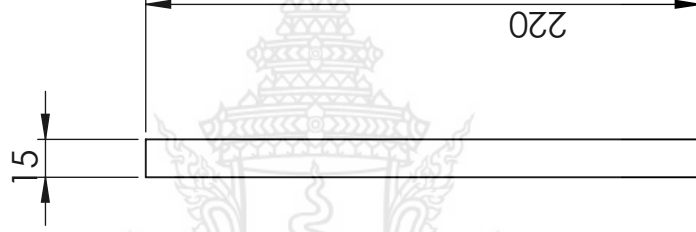
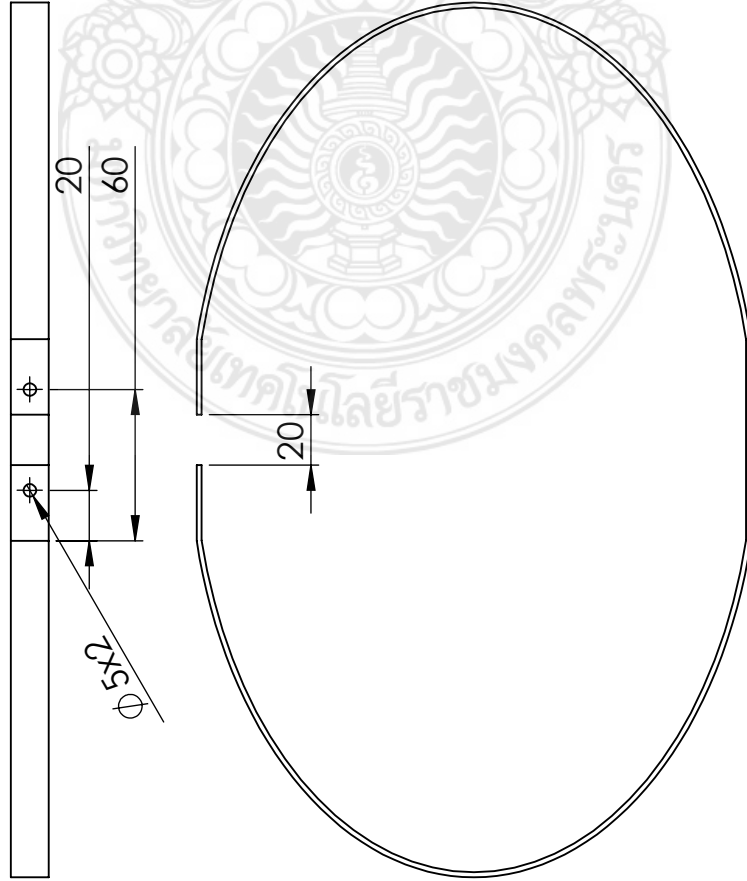
SHEET: 7 OF 24  
DATE: 21/05/2561





7	RIB-3	300x220x15	STEEL ASTM A36	RS60-8
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO. CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN			
CHECKED	D. MANUS			
APPROVED	M. SONGWUT			
SCALE:1:3	TITLE: Research 2560			
UNIT : mm				
				DATE: 21/05/2561
				SHEET: 8 OF 24



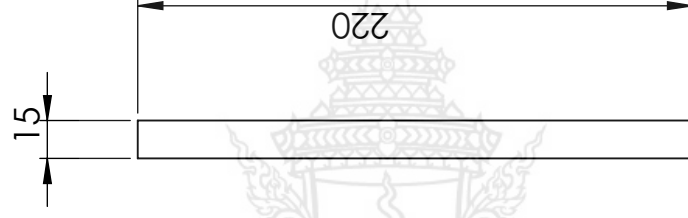
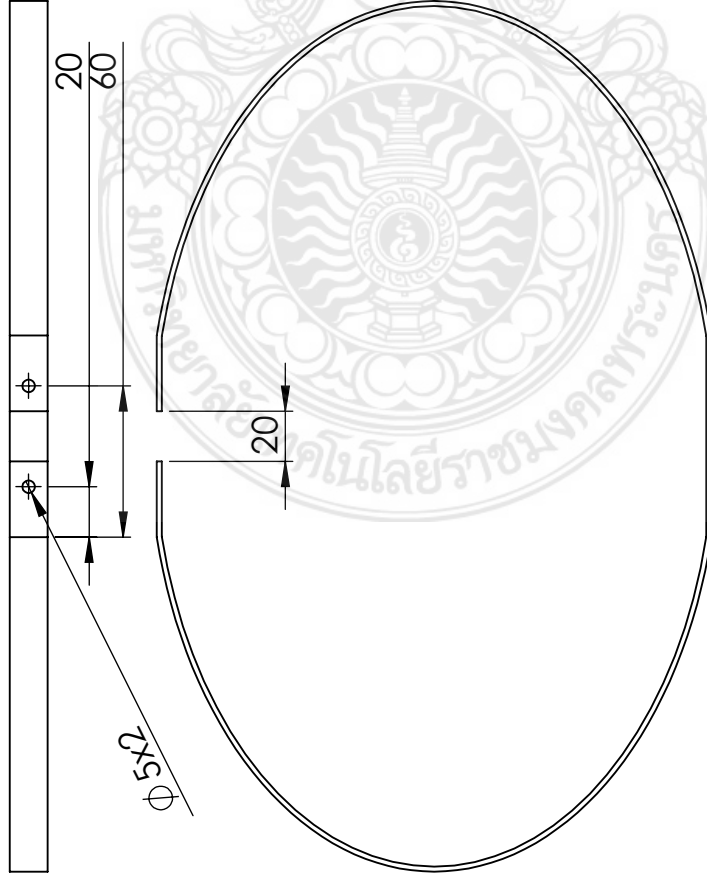


347

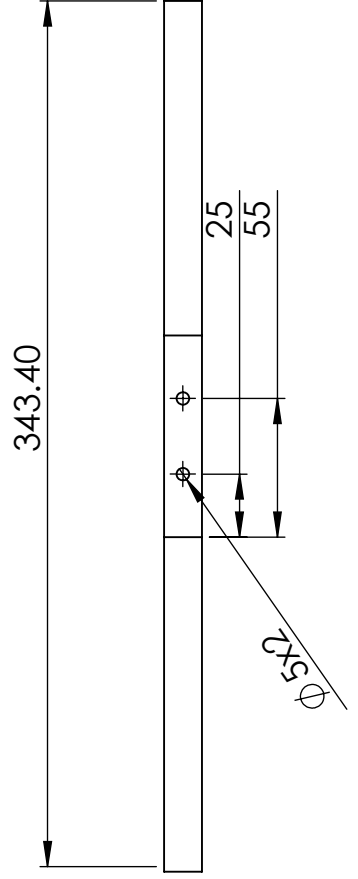
8	RIB-4	300x220x15	STEEL ASTM A36	RS60-9	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:3	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					
				SHEET: 9 OF 24	DATE: 21/05/2561

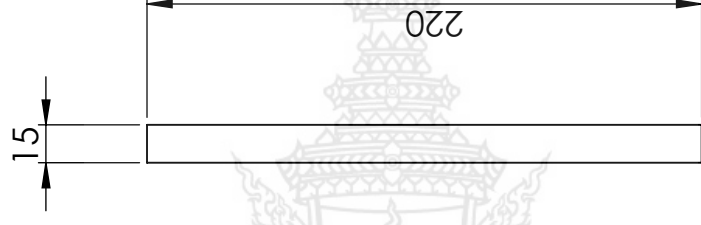
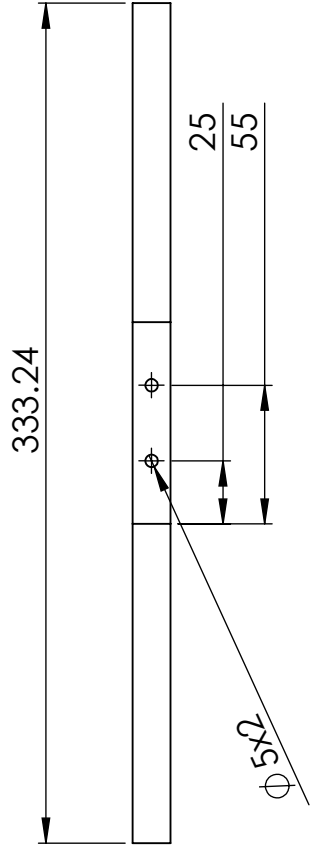
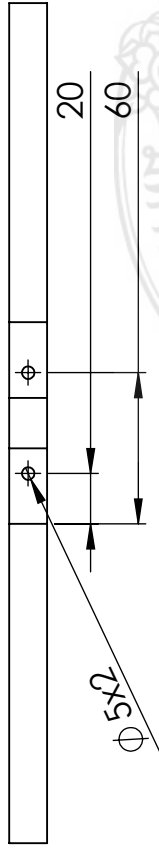
25  
55

RAJAMANGALA UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON




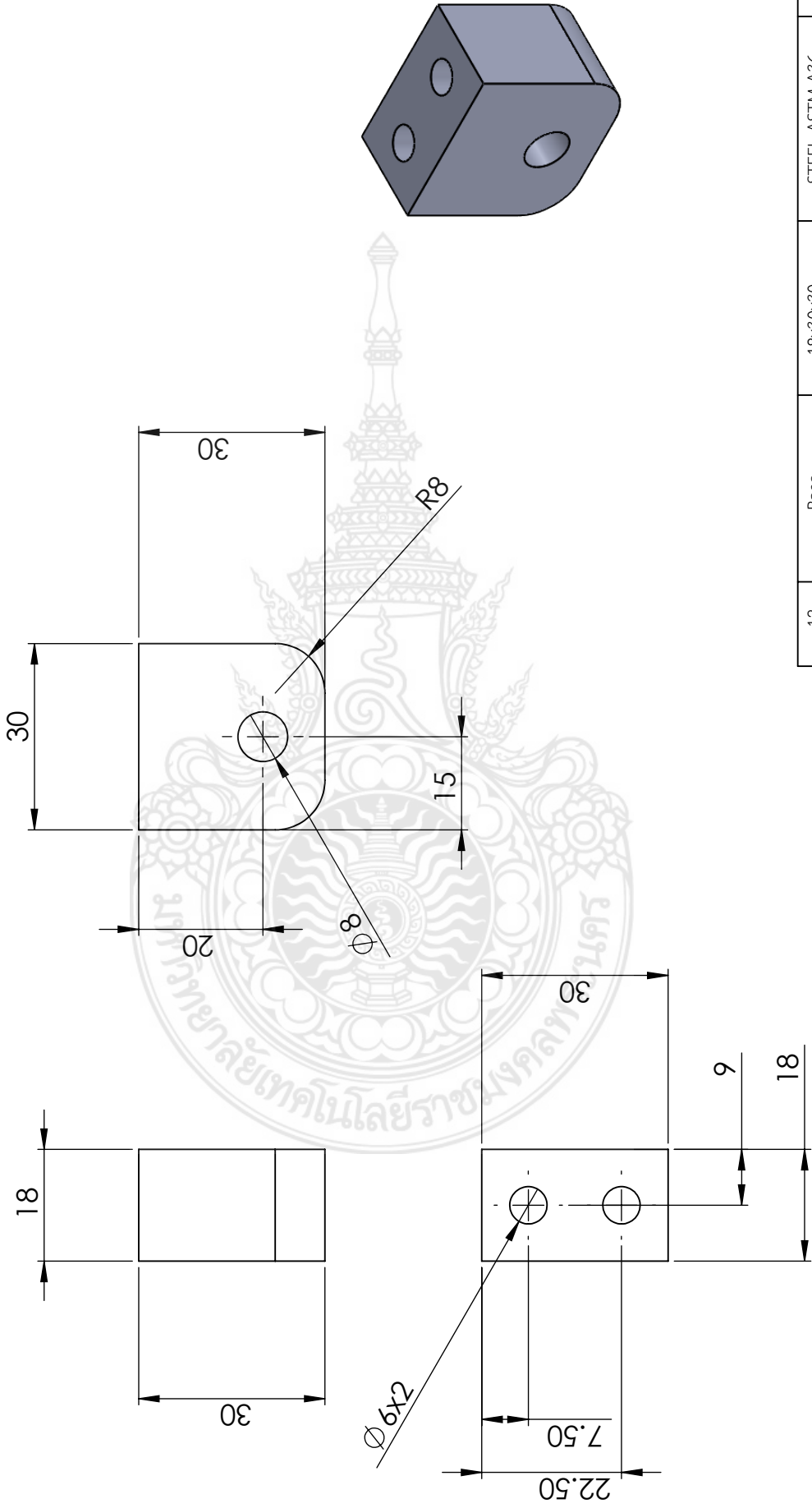
9	RIB-5	300x220x15	STEEL ASTM A36	RS60-10	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:3	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					
				SHEET: 10 OF 24	DATE: 21/05/2561





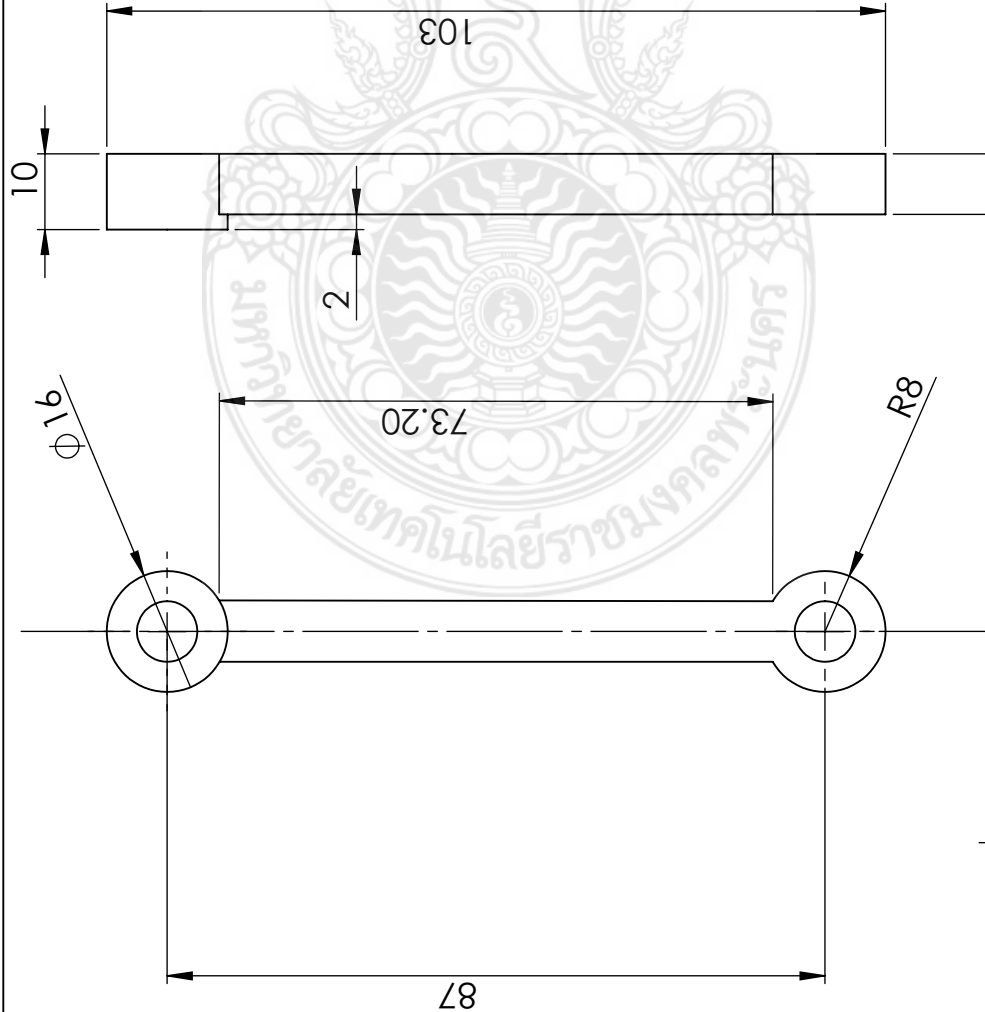
10	RIB-6	300x220x15	STEEL ASTM A36	RS60-11	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:3	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					

 SHEET: 11 OF 24 DATE: 21/05/2561  
**RAJAMANGALA UNIVERSITY**  
**OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON**



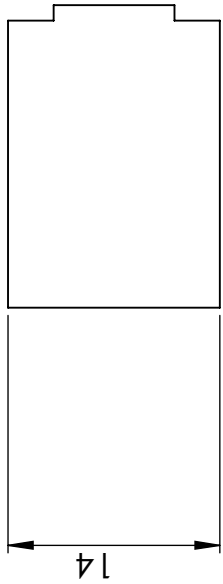
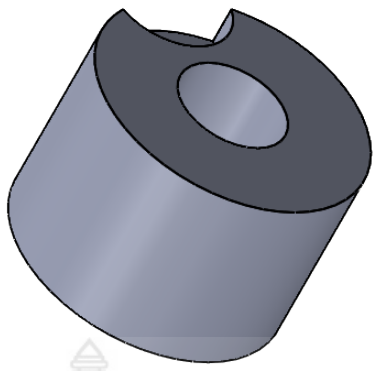
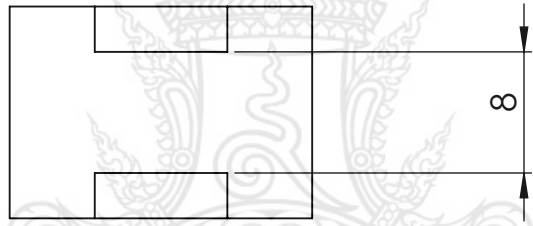
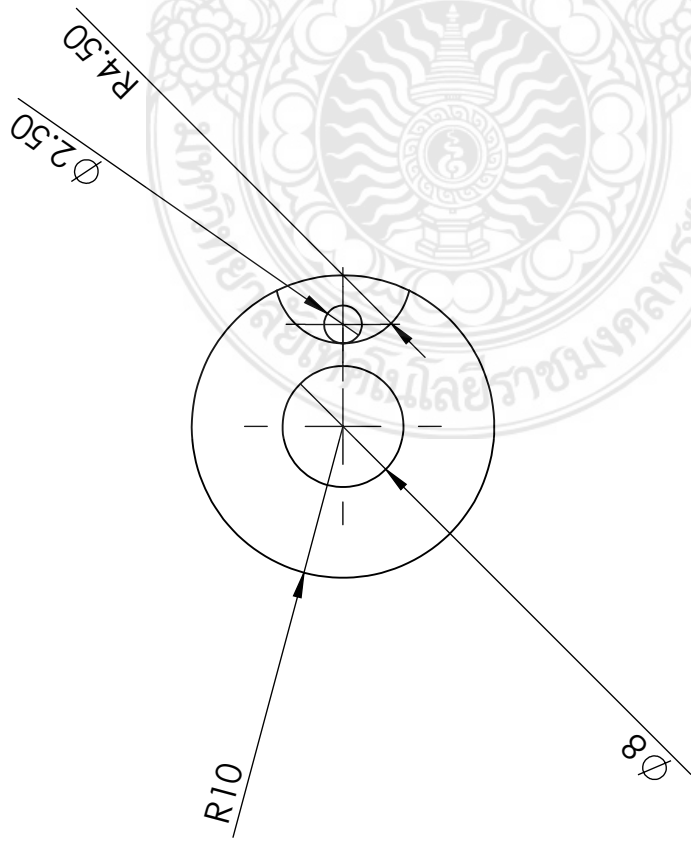
12	Base	18x30x30	STEEL ASTM A36	RS60-13	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:1	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON	DATE: 21/05/2561
	SHEET: 13 OF 24



13	Link support X-lift-Upper	10x103x16	STEEL ASTM A36	RS60-14	2
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:1	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					
				SHEET: 14 OF 24	DATE: 21/05/2561

RAJAMANGALA UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON

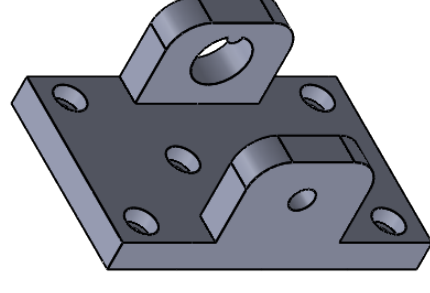
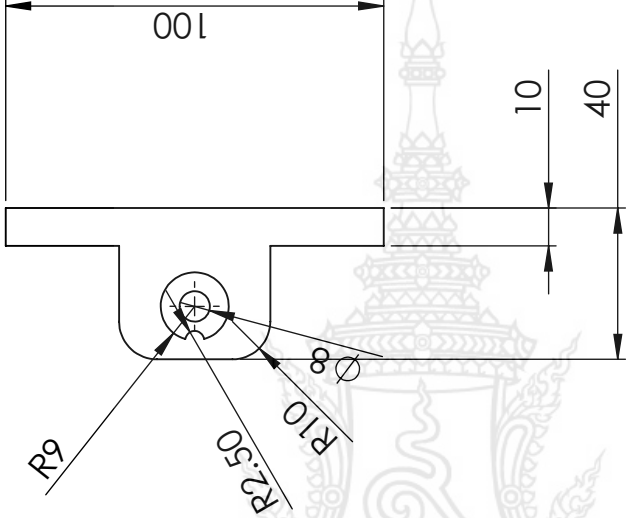
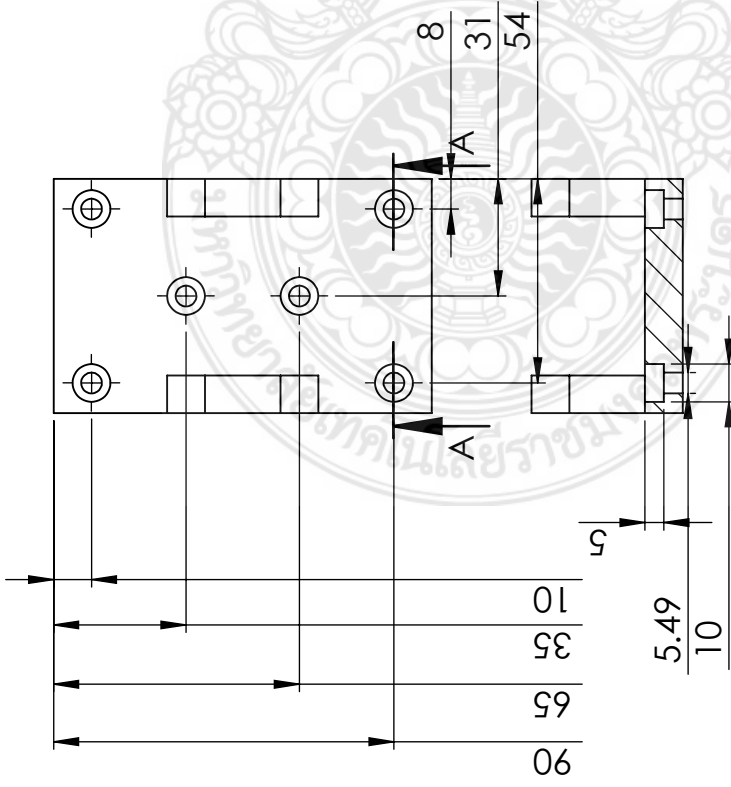


14	Lock Spring	Diameter 16mm	STEEL ASTM A36	RS60-15	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:0.5	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					

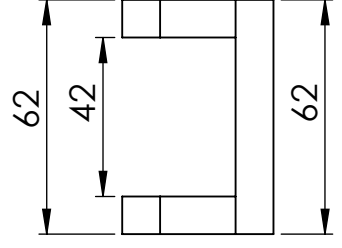
	SHEET:	DATE:
	15 OF 24	21/05/2561

RAJAMANGALA UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON



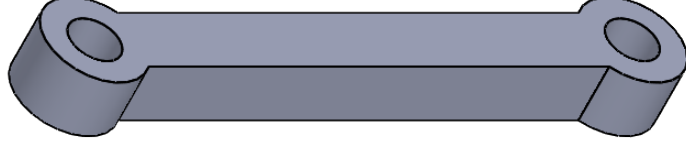
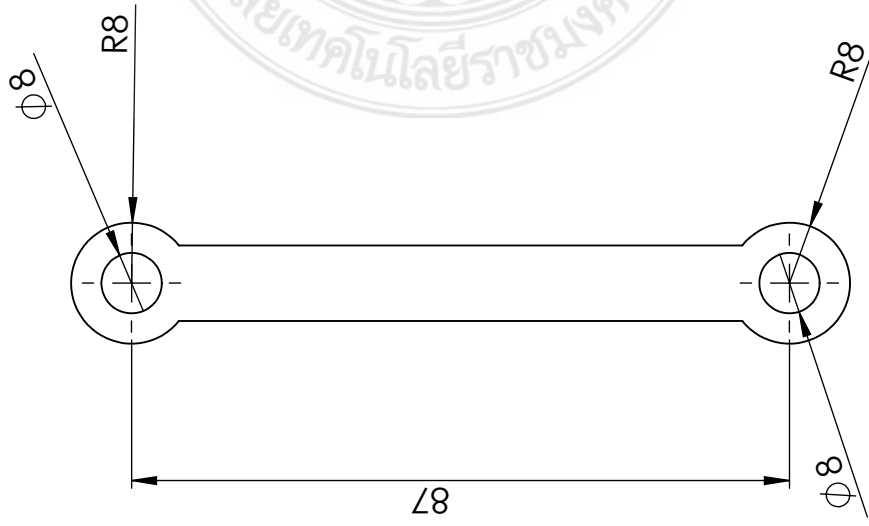


SECTION A-A  
SCALE 1 : 2

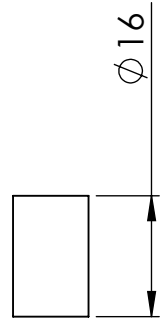


15	Base 2	40x100x10	STEEL ASTM A36	RS60-16	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:2	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					
				SHEET: 16 OF 24	DATE: 21/05/2561

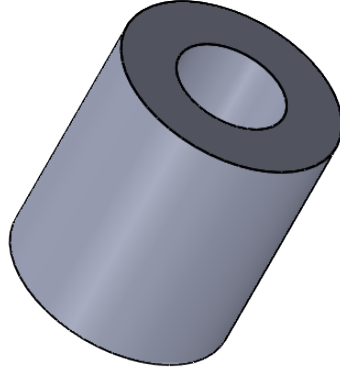
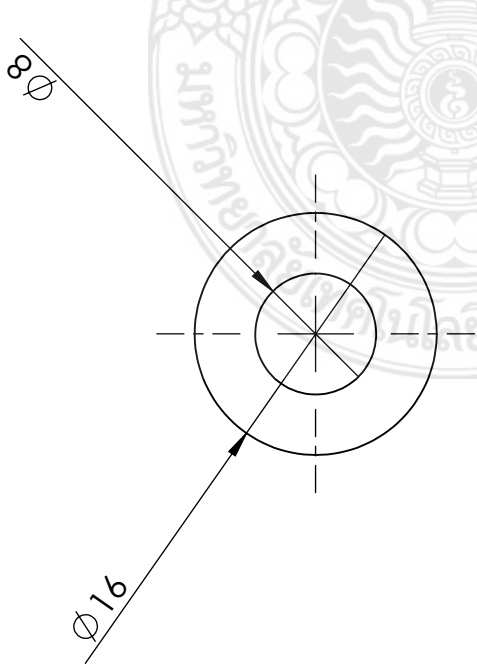
RAJAMANGALA UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON



16	Link support X-lift-Lower	16x10x103	STEEL ASTM A36	RS60-17	2
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:1	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					

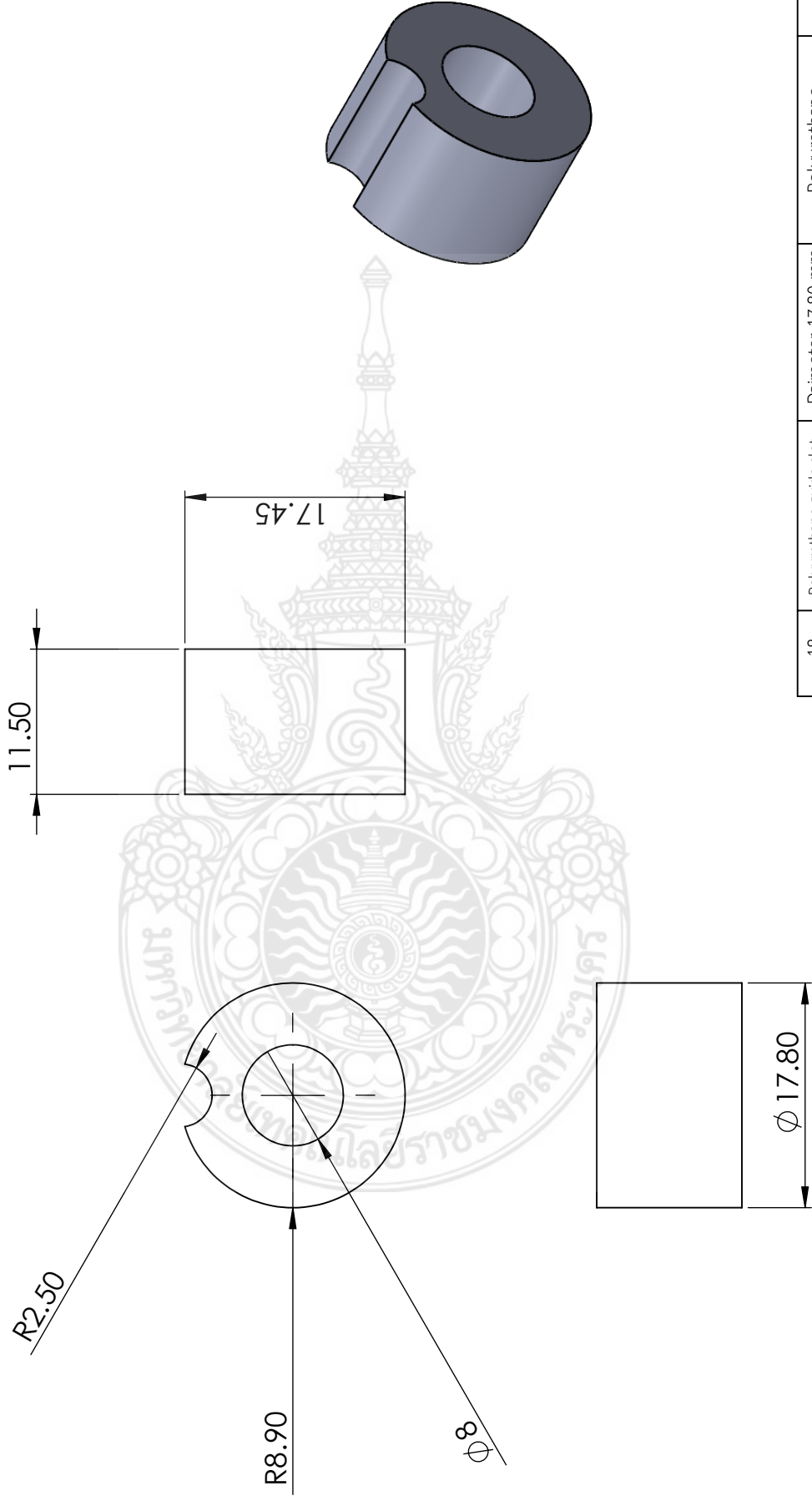


RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON	SHEET: 17 OF 24	DATE: 21/05/2561
---	-----------------	------------------




17	Lock lower polyurethane	Diameter 16 mm	Polyurethane	RS60-18	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:0.5	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					
				SHEET:	DATE:
				18 OF 24	21/05/2561

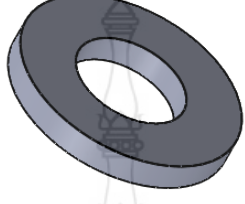
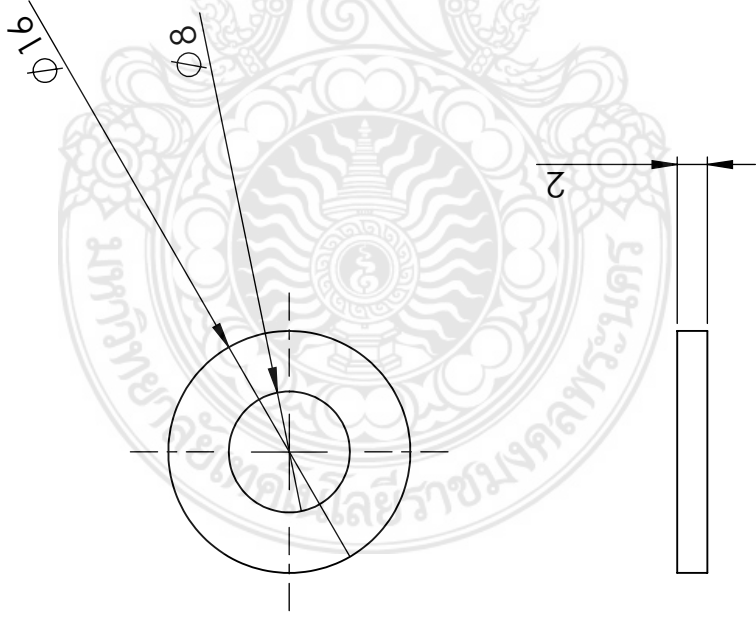
RAJAMANGALA UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON



18	Polyurethane guide slot	Diameter: 17.80 mm	Polyurethane	RS60-19	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:0.5	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					

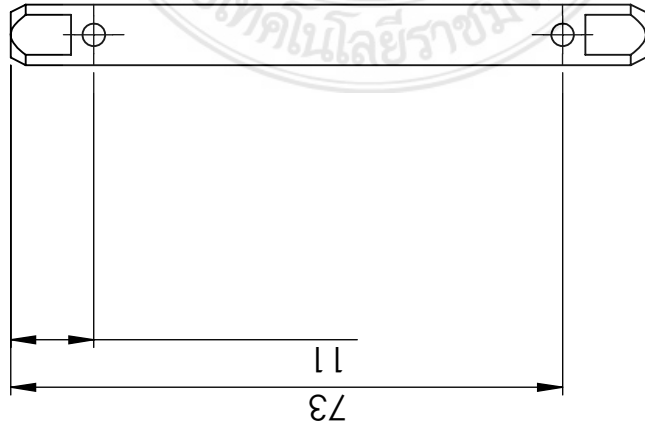
19 OF 24	DATE:	21/05/2561
SHEET:		

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON		
		



19	Washer polyurethane	Diameter 16 mm	Polyurethane	RS60-20	14
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:0.5	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					
			SHEET:	20 OF 24	DATE:
					21/05/2561

RAJAMANGALA UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON



20	Stud lock-spring	Diameter 8 mm	STEEL ASTM A36	RS60-21	2
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	CITY.
DRAWN	T. AMNUAISIN				
CHECKED	D. MANUS				
APPROVED	M. SONGWUT				
SCALE:1:1	TITLE: Research 2560				
UNIT : mm					

RAJAMANGALA UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON

SHEET: 21 OF 24  
DATE: 21/05/2561

