

ผลกระทบของขนาดและมุมเอียงของเม้าส์ต่อสมรรถนะสำหรับงานชี้ตำแหน่ง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## THE EFFECTS OF MOUSE SIZE AND ITS ANGLE ON POINTING TASK PERFORMANCE



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของขนาดและมุมเอียงของเม้าส์ต่อสมรรถนะ สำหรับงานชี้ตำแหน่ง
โดย	น.ส.ศจีประภา รังแก้ว
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ฤดาวิจิตรกุล

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ฤดาวิจิตรกุล)	
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร)	



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

ศศิประภา รังแก้ว : ผลกระทบของขนาดและมุมเอียงของเมาส์ต่อสมรรถนะสำหรับงานชี้  
ตำแหน่ง. (

THE EFFECTS OF MOUSE SIZE AND ITS ANGLE ON POINTING TASK PERFOR  
MANCE) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

หนึ่งในปัญหาของการใช้เมาส์ที่ไม่เหมาะสมกับร่างกายของผู้ใช้งานคือ โรคเรื้อรังใน  
อุโมงค์ข้อมือ (Carpal tunnel syndrome) เนื่องจากเมาส์นั้นมิได้ออกแบบให้คำนึงถึงสรีระของ  
มือและข้อมือในกรณีที่ต้องจับเมาส์เป็นเวลานาน นอกจากนี้เมาส์การยศาสตร์ (Ergonomics  
mouse) ยังไม่เป็นที่นิยม เพราะทำให้การใช้นานช้าลง รวมถึงการขาดความรู้และเข้าใจถึง  
ผลกระทบจากการใช้เมาส์ที่ไม่เหมาะสม ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการใช้งานของเมาส์  
การยศาสตร์ได้แก่ ขนาดและองศาการวางมือ เปรียบเทียบขนาดเมาส์เมาส์ต่อมือและองศาการ  
วางมือของเมาส์ โดยสร้างเมาส์ต้นแบบจาก 3D Printer 6 ตัว โดยมีขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ที่ซึ่ง  
ทำมุมเอียง 0, 15, 25 องศา ทดสอบตาม ISO 9241-9 กับผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 10 คน มี  
ความยาวฝ่ามือในช่วง 13.5-19.2 ซม. ผลการศึกษาพบว่า ขนาดเมาส์ 7.9-10.9 ซม. และองศาการ  
วางมือในช่วง 0, 15, 25 องศา ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการใช้งานของเมาส์ที่ระดับ 0.05 แต่  
น้าสัดส่วนระหว่างเมาส์ต่อมือหาความสัมพันธ์กับสมรรถนะผู้ใช้งานมีความสัมพันธ์แบบพาราโบลา  
และค่าสัดส่วนเท่ากับ 0.57-0.60 มีสมรรถนะการใช้งานดีที่สุด ดังนั้นในการเลือกใช้เมาส์ควร  
คำนึงถึงขนาดมือของผู้ใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 5970961821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD:

Sajeeprapa Rungkeaw :  
 THE EFFECTS OF MOUSE SIZE AND ITS ANGLE ON POINTING TASK PERFOR  
 MANCE. Advisor: Phairoat Ladavichitkul

Using mouse which is unsuitable for hand, can cause Carpal Tunnel Syndrome. General mouse was not designed for hand and wrist when using mouse for a long time. Ergonomics mouse is not used widely because it might slow down using speed. Moreover, Most people do not know about the disadvantages of unsuitable mouse. Factors of Ergonomics mouse performance are hand size and using angle. We compared mouse and hand size, and using angle. We utilized six 3D printers to make a prototypical Ergonomics mouse with a big and small size, using angles of 0, 15, 25 degree. Our tests were based on ISO 9241-9 with 10 users. User's hand-size are around 13.5-19.2 cm. Test result are as followed; mouse size of 7.9-10.9 cm, and using angle of 0, 15, 25 degree do not affect performance of the mouse at 0.05 level. However, Ratio of mouse and hand are parabolically related. Moreover, Ratio 0.57-0.60 yielded the best performance. So we concluded that a mouse that is suitable for hand size should be used.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2018

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยคำปรึกษาด้านการวิจัยและการสนับสนุนตลอดมาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักของวิทยานิพนธ์นี้ และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์หลายท่าน อาทิ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสวงศ์ โอสถศิลป์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร รวมถึงขอขอบคุณอาสาสมัครผู้เข้าร่วมการทดลองทุกคนและครอบครัวของข้าพเจ้าที่ได้ให้ความร่วมมือและให้การสนับสนุนตลอดมา

ข้าพเจ้าขอถือโอกาสขอบพระคุณภาคศิษย์วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สำหรับความเอื้อเฟื้อในด้านสถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ รวมถึงผู้ที่มีส่วนร่วมสนับสนุนให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ทุกท่าน ทั้งที่ได้กล่าวถึงไปแล้วข้างต้นและไม่ได้กล่าวถึงไว้เป็นอย่างสูง ณ ที่นี้

ศจีประภา รังแก้ว



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....	5
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 เมาส์การยศาสตร์ (Ergonomic Mouse) .....	6
2.1.1 ความหมายของเมาส์การยศาสตร์.....	6
2.1.2 หลักการออกแบบของเมาส์การยศาสตร์ .....	6
2.1.3 แนวคิดการออกแบบเมาส์ต้นแบบในงานวิจัย .....	11
2.1.4 เมาส์การยศาสตร์ในปัจจุบัน .....	12
2.1.5 ประเภทเซ็นเซอร์ของเมาส์.....	16
2.2 การพิมพ์ 3D Printing.....	18



2.2.1 ประเภทของการพิมพ์ 3D Printing.....	18
2.2.2 กระบวนการขึ้นรูปแบบ Extrusion Deposition.....	22
2.2.3 พลาสติกสำหรับเครื่องพิมพ์ 3D Printing.....	23
2.3 มือ (Hand).....	25
2.3.1 โครงสร้างของมือ (Hand Anatomy).....	25
2.3.3 สัดส่วนของมือ.....	26
2.3.4 ขนาดของมือ (Hand Dimension).....	28
2.4 มาตรฐานองค์การระหว่างประเทศ 9241-9.....	29
2.5 การประเมินสมรรถนะการทำงานตามกฎของฟิตส์.....	30
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	33
3.1 การออกแบบและการสร้างชิ้นงานต้นแบบ.....	33
3.1.1 ขั้นตอนการคัดเลือกผู้ทดสอบความพึงพอใจ.....	34
3.1.2 ขั้นตอนการหาขนาดของชิ้นงานต้นแบบ.....	35
3.1.3 ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานจากโปรแกรม Solid Work.....	37
3.1.4 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วย 3D Printer.....	37
3.1.5 ขั้นตอนการเชื่อมวงจรไฟฟ้า.....	38
3.1.6 ขั้นตอนการทดสอบความไวของชิ้นงานต้นแบบ.....	39
3.2 ผู้เข้าร่วมการทดสอบสมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task).....	39
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการวิจัย.....	39
3.4 โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง.....	42
3.5 สถานที่ที่ใช้ในการทดลองและการออกแบบสถานีงาน.....	42
3.7 วิธีการดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล.....	43
3.8 ดัชนีความยากของงาน.....	45

3.9	ตัวแปรที่ศึกษา .....	46
3.10	การออกแบบการทดลอง.....	46
3.10.1	การหาความสัมพันธ์ขนาดมือ.....	47
3.10.1	การเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเม้าส์กับเพศของผู้ทดสอบ .....	47
3.10.2	การทดสอบปัจจัยร่วมของขนาดและองศาการวางมือ .....	47
3.10.3	การเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเม้าส์กับสัดส่วนเม้าส์ต่อมือของผู้ทดสอบ .....	48
บทที่ 4	ผลการวิจัย .....	49
4.1	ผลการสร้างชิ้นงานต้นแบบ .....	49
4.2	ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) .....	56
4.3	การวิเคราะห์ขนาดมือ การแจกแจงปกติ ความแปรปรวน และความเป็นอิสระของสัดส่วนเม้าส์ต่อมือของผู้ทดสอบสมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task).....	57
4.3.1	การวิเคราะห์ขนาดมือ .....	57
4.3.1	การแจกแจงปกติ ความแปรปรวน และความเป็นอิสระของสัดส่วนเม้าส์ต่อมือของผู้ทดสอบสมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) .....	57
4.4	การวิเคราะห์ผลการฝึกปฏิบัติการใช้โปรแกรมตามแนวคิดของ Fitt's Law ของผู้ทดสอบ .....	59
4.5	การวิเคราะห์ผลทางสถิติสมรรถนะการทำงานของเม้าส์กับเพศของผู้ทดสอบ .....	65
4.6	การวิเคราะห์ผลทางสถิติปัจจัยร่วมของขนาดและองศาการวางมือ .....	65
4.7	การวิเคราะห์ผลทางสถิติสมรรถนะการทำงานของเม้าส์กับสัดส่วนเม้าส์ต่อมือของผู้ทดสอบ .....	67
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม้าส์ต่อมือและสมรรถนะการทำงาน .....	68
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	72
5.1	การสร้างชิ้นงานต้นแบบ.....	72
5.2	การประเมินผลการทดลอง.....	72
5.2.1	เปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเม้าส์กับเพศของผู้ทดสอบ .....	72
5.2.2	ปัจจัยร่วมของขนาดและองศาการวางมือ.....	72

5.2.3 เปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเม้าส์กับสวิตช์ส่วนเม้าส์ต่อมือของผู้ทดสอบ.....	73
5.3 สรุปผลการวิจัย.....	73
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	74
บรรณานุกรม.....	76
ประวัติผู้เขียน.....	105



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## สารบัญตาราง

## หน้า

ตารางที่ 1.1	การคัดเลือกผู้เข้าร่วมทำแบบทดสอบเพื่อหาความพึงพอใจของขนาดเม้าส์ต้นแบบ .....	4
ตารางที่ 2.1	ค่าสัดส่วนมือที่ตำแหน่งต่างๆแยกตามเชื้อชาติและพันธุกรรม .....	27
ตารางที่ 2.2	ค่าเฉลี่ยขนาดความยาวและความกว้างฝ่ามือ เพศชายและหญิงไทย อายุ 17-49 ปี ..	29
ตารางที่ 3.1	การคัดเลือกผู้เข้าร่วมทำแบบทดสอบเพื่อหาความพึงพอใจของขนาดเม้าส์ต้นแบบ ...	34
ตารางที่ 3.2	ต้นแบบดินน้ำมันของเม้าส์ที่ใช้สำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งาน .....	35
ตารางที่ 3.3	ตัวอย่างตารางบันทึกความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมทดสอบหาขนาดเม้าส์ต้นแบบ .....	36
ตารางที่ 3.4	ตารางเวลาในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบ .....	45
ตารางที่ 3.5	ดัชนีความยากสำหรับงาน .....	45
ตารางที่ 4.1	ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมทำแบบสอบถามความถนัดในการใช้งานเม้าส์จากดินน้ำมัน .....	49
ตารางที่ 4.2	ความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมทดสอบหาขนาดเม้าส์ต้นแบบ .....	51
ตารางที่ 4.3	ขนาดของเม้าส์ต้นแบบ .....	52
ตารางที่ 4.4	ตัวอย่างชิ้นงานต้นแบบที่ขึ้นรูปด้วย ด้วยเครื่อง 3D Printer .....	54
ตารางที่ 4.5	เม้าส์ต้นแบบขนาดต่างๆ .....	55
ตารางที่ 4.6	ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดสอบสมรรถนะ .....	56
ตารางที่ 4.7	อัตราส่วนเม้าส์ต่อมือตามแนวความยาว .....	58
ตารางที่ 4.8	เวลาของผู้ทดสอบใช้ในงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของเม้าส์ S0 .....	61
ตารางที่ 4.9	เวลาของผู้ทดสอบใช้ในงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของเม้าส์ S15 .....	61
ตารางที่ 4.10	เวลาของผู้ทดสอบใช้ในงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของเม้าส์ S25 .....	62
ตารางที่ 4.11	เวลาของผู้ทดสอบใช้ในงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของเม้าส์ L0 .....	62
ตารางที่ 4.12	เวลาของผู้ทดสอบใช้ในงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของเม้าส์ L15 .....	63

ตารางที่ 4.13 เวลาของผู้ทดสอบใช้ในงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของเมาส์ L25..... 63

ตารางที่ 4.14 ค่า P-Value ของการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเมาส์ขนาดเล็กและใหญ่ ..... 67

ตารางที่ 4.15 สมการความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่งกับสัดส่วนเมาส์ต่อมือ .. 69



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	เส้นประสาทมีเดีย (Median nerve) กดทับที่ข้อมือ.....	2
รูปที่ 1.2	ความสัมพันธ์ระยะเวลาในการใช้คอมพิวเตอร์และอวัยวะที่เสี่ยงต่อการบาดเจ็บ.....	2
รูปที่ 1.3	ตำแหน่งการวัดระยะระหว่างเมาส์และมือ.....	5
รูปที่ 2.1	กล้ามเนื้อส่วนต่างๆที่ใช้ควบคุมเมาส์.....	7
รูปที่ 2.2	ลักษณะการวางมือตามหลักสรีรศาสตร์.....	7
รูปที่ 2.3	Extension.....	8
รูปที่ 2.4	Flexion.....	8
รูปที่ 2.5	Radial deviation.....	8
รูปที่ 2.6	Ulnar deviation.....	9
รูปที่ 2.7	Pronation.....	9
รูปที่ 2.8	Supination.....	9
รูปที่ 2.9	มุมของเมาส์การยศาสตร์กับองศาของมือที่เป็นธรรมชาติ.....	10
รูปที่ 2.10	ลักษณะของท่อนแขนส่วนปลายที่เป็นธรรมชาติ (ล่าง) และขัดต่อธรรมชาติ (บน).....	10
รูปที่ 2.11	แรงกระทำของเมาส์การยศาสตร์.....	11
รูปที่ 2.12	Finite Element Analysis.....	12
รูปที่ 2.13	3M Ergonomic Mouse.....	13
รูปที่ 2.14	Evoluent Vertical Mouse.....	13
รูปที่ 2.15	Pad N' Click Gel Pads.....	14
รูปที่ 2.16	Logitech Trackball mouse.....	14
รูปที่ 2.17	Microsoft Ergonomic Mouse 8022930.....	15
รูปที่ 2.18	Evoluent Vertical Mouse.....	15
รูปที่ 2.19	เมาส์ลูกกลิ้ง.....	16

รูปที่ 2.20	เม้าส์เลเซอร์.....	17
รูปที่ 2.21	ออปติคอลลเม้าส์.....	17
รูปที่ 2.22	กระบวนการพิมพ์ 3D Printing.....	18
รูปที่ 2.23	เครื่องพิมพ์แบบ Laminated Object Manufacturing.....	19
รูปที่ 2.24	เครื่องพิมพ์แบบ Photopolymerization.....	19
รูปที่ 2.25	เครื่องพิมพ์แบบ Mask-Image-Projection-Base Stereolithography.....	20
รูปที่ 2.26	เครื่องพิมพ์แบบ Extrusion Deposition.....	21
รูปที่ 2.27	เครื่องพิมพ์แบบ Granular Materials Binding.....	22
รูปที่ 2.28	กระบวนการขึ้นรูปสำหรับเครื่องอัดรีดพลาสติก.....	23
รูปที่ 2.29	โครงสร้างของมือ .....	25
รูปที่ 2.30	สัดส่วนมือของคนและลิง(Manning, Bundred et al. 2003).....	26
รูปที่ 2.31	ระยะสัดส่วนของมือ.....	27
รูปที่ 2.32	ระยะวัดขนาดความยาวของฝ่ามือ.....	29
รูปที่ 2.33	ลักษณะงานเคลื่อนไหวตำแหน่งตามแนวซ้าย-ขวา .....	30
รูปที่ 3.1	แผนภาพแสดงการออกแบบชิ้นงานต้นแบบ .....	34
รูปที่ 3.2	โปรแกรม SolidWork 2015.....	37
รูปที่ 3.3	3D-Print รุ่น Up Box .....	38
รูปที่ 3.4	เม้าส์ยี่ห้อ Genius รุ่น Traveler.....	38
รูปที่ 3.5	ปุ่มกด .....	38
รูปที่ 3.6	การตั้งค่าความไวของชิ้นงาน.....	39
รูปที่ 3.7	ภาพจำลองเม้าส์ต้นแบบ .....	40
รูปที่ 3.8	Samsung SyncMaster ขนาด 20 นิ้ว.....	40
รูปที่ 3.9	เก้าอี้นั่ง .....	41
รูปที่ 3.10	โต๊ะสำหรับวางแท็บเล็ต.....	41

รูปที่ 3.11	เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ .....	41
รูปที่ 3.12	เครื่องชั่งน้ำหนัก .....	42
รูปที่ 3.13	โปรแกรมทดสอบตามแนวทางของ Fitts' Law.....	42
รูปที่ 3.14	การทดสอบการใช้งานเมาส์ต้นแบบ .....	43
รูปที่ 3.15	ตัวอย่างเวลาในการเคลื่อนที่ (วินาที) ในการทดลอง 30 ครั้ง ของเมาส์ต้นแบบ L0 ของผู้ทดสอบคนที่ 8.....	44
รูปที่ 4.1	3D Model .....	54
รูปที่ 4.2	การเชื่อมต่อวงจรของเมาส์ต้นแบบ .....	55
รูปที่ 4.3	เมาส์ต้นแบบขนาดเล็ก.....	55
รูปที่ 4.4	เมาส์ต้นแบบขนาดใหญ่.....	55
รูปที่ 4.5	Residual Plot ของค่า Ratio.....	58
รูปที่ 4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่กับดัชนีความยากของงานในแนวแกน นอนของผู้ทดสอบคนที่ 8.....	60
รูปที่ 4.7	Residual Plot ของค่า R2 .....	64
รูปที่ 4.8	ผลการวิเคราะห์ One Factor ANOVA ของเพศ .....	65
รูปที่ 4.9	ผลการวิเคราะห์ RCBD Two Factors ANOVA ของปัจจัยร่วม .....	66
รูปที่ 4.10	แผนภาพกระจายของอัตราส่วนขนาดเมาส์ต่อมือและสมรรถนะการทำงาน .....	70
รูปที่ 4.11	เปรียบเทียบขนาดสัดส่วนเมาส์ที่ส่งผลให้สมรรถนะการทำงานสูงสุดและตำแหน่งของมือ .....	71

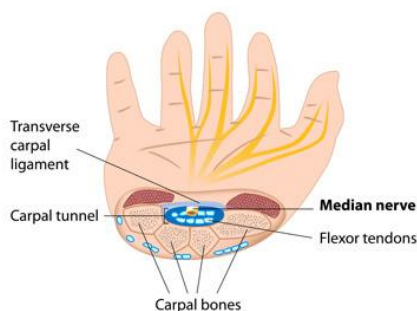


# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

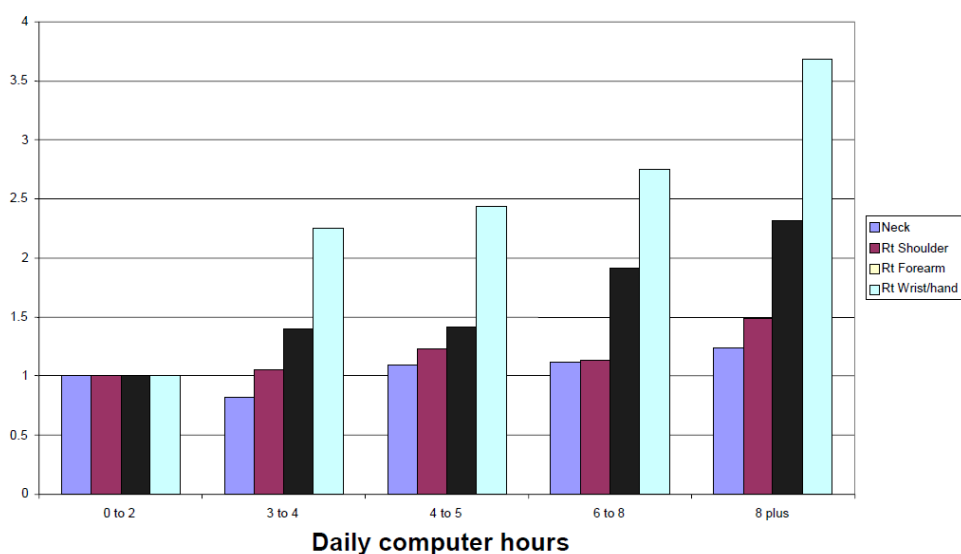
ปัจจุบันเทคโนโลยีและการสื่อสารได้เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็วในการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์อุปกรณ์สื่อสารและคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการดำเนินกิจกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษา ค้นคว้า และการทำธุรกิจด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ทำให้องค์กรต่างๆ นำเทคโนโลยีเหล่านี้เข้ามาช่วยในการดำเนินงานขององค์กรให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการรับ-ส่งข้อมูลข่าวสารอิเล็กทรอนิกส์ การทำธุรกิจและให้บริการบนอินเทอร์เน็ต ตลอดจนการใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการทำงานไม่เพียงแต่ในองค์กรต่างๆ เท่านั้นที่นำคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้งาน ผู้ใช้ตามบ้านโดยทั่วไปก็ได้จัดหาคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ส่วนตัวกันมากขึ้นและสิ่งที่ไม่ได้ในการใช้งานคอมพิวเตอร์คือ อุปกรณ์เสริมอำนวยความสะดวกต่างๆ เช่น แป้นพิมพ์หรือคีย์บอร์ด และอุปกรณ์การควบคุมตัวชี้บนจอคอมพิวเตอร์ (Pointing Device) หรือเมาส์ จากข้อมูลกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขกล่าวว่าคนวัยทำงานร้อยละ 60 มีภาวะโรคคอพอกพิคซินโดรม หนึ่งในสาเหตุของการเกิดโรคดังกล่าวเกิดจากการใช้คอมพิวเตอร์ต่อเนื่องเป็นเวลานานด้วยอิริยาบถและสภาพแวดล้อมในที่ทำงานที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดอาการกล้ามเนื้ออักเสบและปวดเมื่อยตามอวัยวะต่างๆ ได้แก่ หลัง ไหล่ บ่า แขน ข้อมือ โดยเฉพาะการกระดกข้อมือขึ้นลงซ้ำๆ จากแป้นคีย์บอร์ดและการจับเมาส์ในท่าเดิมทำให้กล้ามเนื้อกดทับเส้นประสาทและเส้นเอ็นจนอักเสบหรือโรคเรื้อรังในอุโมงค์ข้อมือ (Carpel Tunnel Syndrome) กลุ่มอาการประสาทมือชา เป็นภาวะที่เส้นประสาทมีเดียน (Median Nerve) ซึ่งเป็นเส้นประสาทหลักของมือถูกบีบอัดหรือกดทับภายในข้อมือ เกิดจากความผิดปกติของโครงสร้างมือ หรือการใช้งานมืออย่างไม่เหมาะสม ทำให้รู้สึกเจ็บ ชา และเป็นเหน็บบริเวณมือกับแขน มักต้องรักษาด้วยการใส่เฝือก การใช้ยา หรือหลีกเลี่ยงกิจกรรมบางประเภทที่ทำให้เส้นประสาทมือเสียหาย และอาจต้องรับการผ่าตัดหากมีอาการรุนแรง



รูปที่ 1.1 เส้นประสาทมีเดียน (Median nerve) กดทับที่ข้อมือ

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการใช้งานคอมพิวเตอร์ ตั้งแต่ 1 ถึง 8 ชั่วโมงต่อวันและความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บจากการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 1.2 พบว่า ข้อมือ มีแนวโน้มที่จะเกิดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บมากขึ้นหากใช้งานเมาส์ติดต่อกันเป็นระยะเวลานานาน (Woods, Hastings et al. 2003)

Relative risk



รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระยะเวลาในการใช้คอมพิวเตอร์และอวัยวะที่เสี่ยงต่อการบาดเจ็บ

การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เกิดความสอดคล้องระหว่างสรีระและลักษณะงานของผู้ใช้งาน ประกอบกับการนำหลักการยศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างความปลอดภัยและสมรรถนะจึงเริ่มพบมากขึ้นกับงานที่อาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เมาส์ที่ออกแบบตามหลักการยศาสตร์มานานกว่า 20 ปี แต่ก็ไม่ใช่ที่แพร่หลาย อันเนื่องมาจากปัญหาในการผลิตและจำหน่าย นอกจากนี้ยังได้สร้างปัญหาอื่นกับผู้ใช้งาน เช่น ความไม่เคยชิน หรือขนาดที่ใหญ่ไม่เหมาะกับผู้ใช้ที่มีมือขนาดเล็กเช่น ผู้หญิงและเด็ก จึงทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานเมาส์นั้นต่ำกว่าเมาส์ทั่วไป เนื่องจากเมาส์ที่ขายอยู่ในปัจจุบันนั้นไม่ได้ถูกออกแบบมาให้มีขนาดและรูปร่างหลากหลาย

เพียงพอที่จะรองรับความหลากหลายของผู้ใช้งาน รวมทั้งความรู้และเข้าใจถึงผลกระทบจากการใช้งานเม้าส์ที่ไม่เหมาะสมนั้นไม่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ทั้งสองปัจจัยจึงเป็นสาเหตุที่ส่งเสริมให้เกิดอาการบาดเจ็บจากการใช้งานคอมพิวเตอร์ที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน

เม้าส์การยศาสตร์ที่จำหน่ายในท้องตลาดไม่ได้มีการกำหนดขนาดของมูมที่ชัดเจน มีเพียงแต่ขนาดความกว้าง ความยาว และความสูง ทำให้เกิดความลำบากในหาอุปกรณ์การทดลองประกอบงานวิจัยที่จะกำหนดตัวแปรต่างๆที่จะศึกษา การสร้างเม้าส์ด้วยเครื่อง 3D printer จึงเป็นช่องทางหนึ่งในการสร้างเม้าส์ต้นแบบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม้าส์ต่อมือและมูมเอียงที่เหมาะสมกับบุคคลได้ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกสร้างเม้าส์ที่มีขนาดเหมาะสมกับขนาดมือของตน หรือกับผู้ที่ถนัดใช้มือซ้าย รวมทั้งเหมาะกับลักษณะงานของคนที่ใช้อยู่ เช่น ใช้เขียนแบบบนคอมพิวเตอร์ ใช้งานเอกสาร ท่องเวปไซด์หาข้อมูล หรือ การเล่นเกมส์ เป็นต้น

เครื่องพิมพ์เทคโนโลยีสามมิติ หรือ 3D printer ถูกประดิษฐ์คิดค้นเป็นครั้งแรกในปี 1986 โดย Charles W. Hull หรือ Chuck Hull ชาวอเมริกัน เทคโนโลยีดังกล่าวก็ได้รับการพัฒนาขีดความสามารถจนก้าวเข้ามามีบทบาทสำคัญในหลากหลายวงการ อาทิ การผลิตอวัยวะเทียมทางการแพทย์ การผลิตอะไหล่ทดแทนในงานอุตสาหกรรม ตลอดจนการผลิตข้าวของเครื่องใช้ในชีวิตประจำวันและกำลังขยายการใช้งานเข้าสู่ผู้ใช้ระดับครัวเรือนมากขึ้นในราคาที่ต่ำลงเรื่อยๆ สำหรับเทคนิคพื้นฐานในการสร้างชิ้นงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ จะเริ่มจากการนำวัสดุมาขึ้นรูปทีละชั้นตามแบบที่กำหนดในไฟล์คอมพิวเตอร์ เพื่อให้ปรับเปลี่ยนรายละเอียดและสิ่งพิมพ์ในปริมาณที่ต้องการได้ทันที ทำให้มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมแบบเดิมซึ่งต้องสร้างเข้าหล่อ (mold) ก่อนแล้วจึงฉีดวัสดุลงไป นอกจากนี้ เทคนิคการสร้างชิ้นงานด้วยการเติมวัสดุ (additive manufacturing) ของเครื่องพิมพ์สามมิตียังทำให้สูญเสียวัตถุดิบน้อยกว่าการผลิตแบบทั่วไปซึ่งมักเริ่มด้วยวัสดุที่เป็นบล็อกใหญ่และตัดส่วนที่ไม่ต้องการออก

เม้าส์การยศาสตร์ไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานแย่ลงแต่ยังช่วยเพิ่มระดับความปลอดภัยในการทำงาน (ภัทพร, 2555) พบว่า มูมเอียงของเม้าส์ที่เปลี่ยนไปไม่ส่งผลต่อสมรรถนะการทำงานทำให้เกิดแนวความคิดที่ศึกษาการออกแบบและวิจัยปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการใช้งานของเม้าส์เพิ่มเติมคือ ขนาดของเม้าส์กับขนาดของมือและลักษณะงานของผู้ใช้งานเพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการ Re-Design เม้าส์การยศาสตร์ให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน โดยการขึ้นชิ้นงานต้นแบบจากเครื่อง 3D printer เพื่อนำไปวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ และในอนาคตหากเครื่อง 3D printer มีความละเอียดที่สูงขึ้น เม้าส์สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการของลูกค้าแต่ละราย

(Built to order) ได้เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจส่งผลในระยะยาวกับกลุ่มผู้ที่ทำงานออฟฟิศเป็นเวลานาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

หาความสัมพันธ์ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการใช้เมาส์การยศาสตร์ได้แก่ ขนาดเมาส์ต่อมือ และมุมเอียงที่  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $25^\circ$

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษา คือ เพศชายและหญิงมีอายุ 17-35 ปี ที่ไม่มีอาการบาดเจ็บทางมือ เพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานโดยใช้แนวทางการวัดสมรรถนะการทำงานหลักการของ Fitts' law โดยการทดสอบกับเมาส์ต้นแบบ 2 ขนาด โดยที่ระยะความกว้างและความยาวของเมาส์ต้นแบบมาจากแบบสอบถามความพึงพอใจจากผู้ทดสอบ 30 คน ที่ซึ่งมีระยะความกว้าง ความยาวมืองดต่อไปนี

ตารางที่ 1.1 การคัดเลือกผู้เข้าร่วมทำแบบทดสอบเพื่อหาความพึงพอใจของขนาดเมาส์ต้นแบบ

กลุ่มที่	ความกว้าง (เซนติเมตร)	ความยาว (เซนติเมตร)	จำนวน (คน)	ประสบการณ์ใช้เมาส์ (ปี)
1	5.5-6.5	13.0-14.5	10	10-15
2	6.5-7.5	14.6-16.5	10	10-15
3	7.7-8.6	16.6-17.6	10	10-15

โดยระยะต่างๆอ้างอิงจากผลสำรวจและวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย ระยะที่ 4 พ.ศ. 2543-2544 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

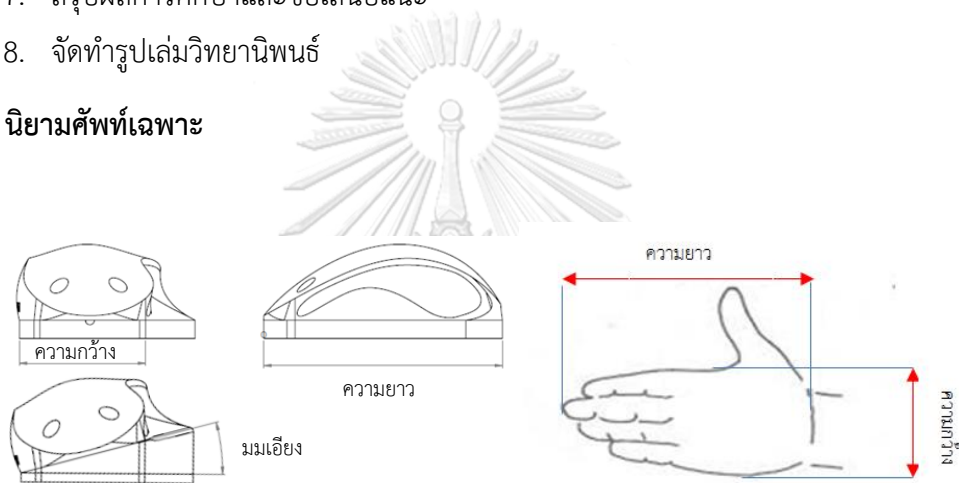
## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการตัดสินใจลงทุนซื้ออุปกรณ์ เพื่อให้เกิดสมรรถนะในการใช้งานและความคุ้มค่าสูงสุด
2. เป็นแนวทางในการออกแบบเมาส์ที่เหมาะสมกับบุคคลและการใช้งาน โดยคำนึงถึงความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และความแม่นยำ

## 1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะการใช้งานของอุปกรณ์
2. กำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
3. เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น
4. ออกแบบและกำหนดเงื่อนไขในการทดลอง
5. ดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้
6. วิเคราะห์และประเมินผลที่ได้จากการทดลอง
7. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

## 1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ



รูปที่ 1.3 ตำแหน่งการวัดระยะระหว่างม้านั่งและมือ

ม้านั่งขนาดเล็ก	หมายถึง ม้านั่งที่มีขนาดความกว้าง 4.2 เซนติเมตรและความยาว 7.9 เซนติเมตร
ม้านั่งขนาดใหญ่	หมายถึง ม้านั่งที่มีขนาดความกว้าง 5.6 เซนติเมตรและความยาว 10.5 เซนติเมตร
มุมเอียง	หมายถึง มุมระหว่างระนาบแกน x และผิวสัมผัสปุ่มหลักขวา
ขนาดม้านั่งต่อมือ	หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความยาวม้านั่งต่อความยาวมือ โดยมีการกำหนดตำแหน่งในการวัด ดังรูปที่ 1.3

$$\text{ขนาดม้านั่งต่อมือ} = \frac{\text{ความยาวม้านั่ง}}{\text{ความยาวมือ}}$$

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้มีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยแบ่งออกเป็นกลุ่มหลัก 6 กลุ่ม ดังนี้

1. เม้าส์การยศาสตร์ (Ergonomic Mouse)
2. การพิมพ์ 3D Printing
3. มือ (Hand)
4. มาตรฐานองค์ระหว่างประเทศ 9241 ส่วนที่ 9
5. การประเมินสมรรถนะการทำงานตามกฎของฟิตส์
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เม้าส์การยศาสตร์ (Ergonomic Mouse)

##### 2.1.1 ความหมายของเม้าส์การยศาสตร์

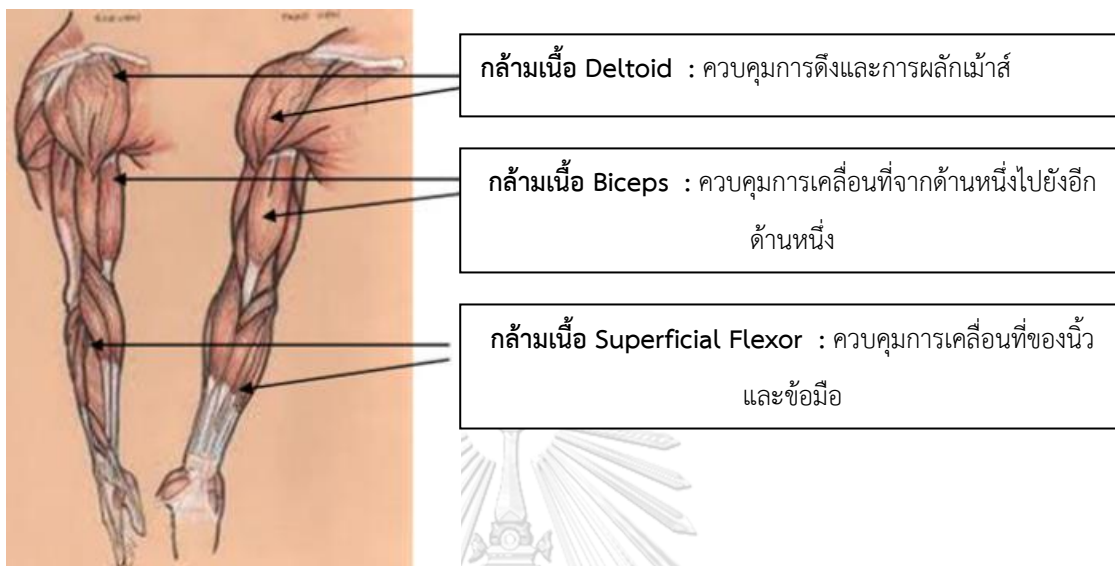
การยศาสตร์ (Ergonomics) เป็นองค์ความรู้ที่ว่าด้วยการปรับเปลี่ยนสภาพงานให้เหมาะสมกับ ผู้ปฏิบัติงาน หรือเป็นการปรับปรุงสภาพการทำงานโดยอาศัยองค์ความรู้ในหลายสาขาวิชา ประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อปรับปรุงคุณภาพการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพ ความสะดวกสบายและความปลอดภัยสูงสุด โดยจะให้ความสำคัญกับคนทำงานเป็นอันดับแรก ประกอบด้วย การออกแบบเครื่องมือ เครื่องจักร การศึกษาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมในการทำงาน การกำหนดวิธีการทำงานหรือท่าทางใน การทำงานที่เหมาะสม เพื่อจะได้ใช้พลังงานในการทำงานน้อยที่สุด

เม้าส์การยศาสตร์ (Ergonomic Mouse) คือ เม้าส์ที่ออกแบบโดยคำนึงถึงตำแหน่งมือที่เป็น ธรรมชาติเมื่อใช้งาน เพื่อช่วยบรรเทาอาการปวดข้อมือและข้อแขนอันเนื่องมาจากการจัดวางมือที่ไม่ ถูกต้องจากการใช้เม้าส์ปกติที่มีลักษณะแบนราบ (Sheehan, Loughnane et al. 2003)

##### 2.1.2 หลักการออกแบบของเม้าส์การยศาสตร์

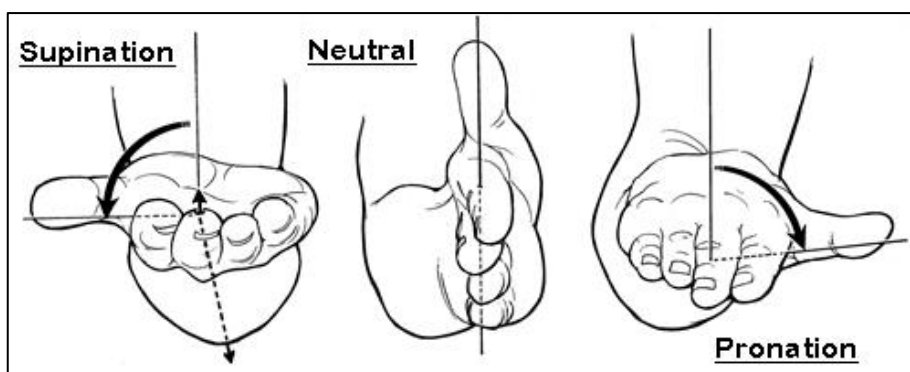
การออกแบบเม้าส์การยศาสตร์ได้พิจารณาถึงโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อแขนเพื่อให้มือ ของผู้ใช้สามารถจับเม้าส์ให้อยู่ในท่าที่ผ่อนคลาย ไม่เกร็งหรือจอนจนเกินไป ซึ่งการเคลื่อนที่ของเม้าส์จะ อาศัยกล้ามเนื้อ 3 ส่วน คือ กล้ามเนื้อบริเวณหัวไหล่และข้อศอกใช้สำหรับผลักดันตัวเม้าส์ กล้ามเนื้อ เหนือท่อนแขนใช้ในการควบคุมนิ้วมือและข้อมือ

ซึ่งเม้าส์ที่ออกแบบมาเพื่อรองรับความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆจะสามารถใช้กล้ามเนื้อแขนและกล้ามเนื้อมือร่วมกันได้เป็นอย่างดี โดยกล้ามเนื้อแขนและข้อมือจะใช้สำหรับเคลื่อนไหวในระยะทางมาก ใช้นิ้วมือสำหรับการควบคุมการเคลื่อนไหวของเม้าส์



รูปที่ 2.1 กล้ามเนื้อส่วนต่างๆที่ใช้ควบคุมเม้าส์

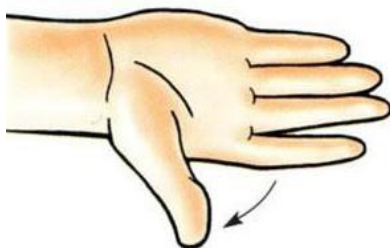
ตามหลักสรีรศาสตร์ (Neutral Hand Posture) โดยฝ่ามือและกระดูกของนิ้วมือ (Phalanx) จะทำมุม 35-75 องศากับแนวระนาบ (Horizontal Plane) ของข้อมือเพื่อลดการบิดของข้อมือ (Pronation) ซึ่งช่วยลดการกดทับของเส้นประสาทบริเวณมือและข้อมือทำให้ผู้ใช้ไม่เกิดการเมื่อยล้าจากการใช้งานติดต่อกัน บริเวณกระดูกท่อนแขนส่วนปลาย (Forearm) จะเบนออก 45 องศาจากแนวระนาบของข้อมือ มุมข้อมือมีขนาด 20-30 องศา และบริเวณท่อนแขนด้านในจะมีมุม 10-15 องศา เป็นต้น (Segalle, 2003) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะการวางมือตามหลักสรีรศาสตร์

ลักษณะท่าทางของข้อมือที่ผิดไปจากหลักสรีรศาสตร์ (Neutral Hand Posture) แบ่งได้เป็น 6 ลักษณะหลักๆ ดังต่อไปนี้

**ลักษณะที่ 1** Extension คือการพับข้อมือขึ้นมาทางด้านหลังของมือ



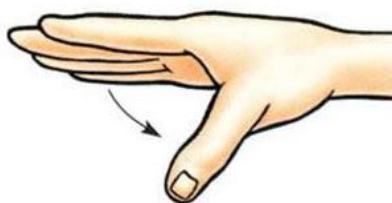
รูปที่ 2.3 Extension

**ลักษณะที่ 2** Flexion คือการงอข้อมือ และพับลงด้านหน้าของฝ่ามือ



รูปที่ 2.4 Flexion

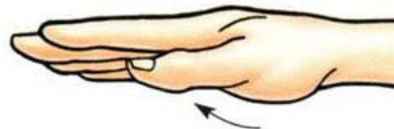
**ลักษณะที่ 3** Radial deviation คือการหักข้อไปด้านข้างในทิศทางเข้าหาตัว



รูปที่ 2.5 Radial deviation

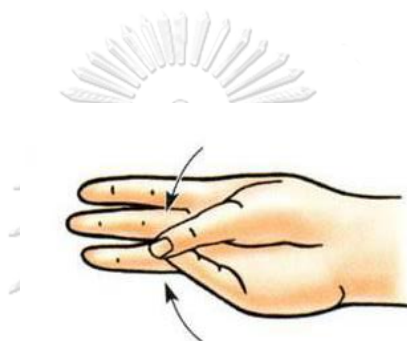


**ลักษณะที่ 4** Ulnar deviation คือหักข้อมือไปทางด้านข้างในทิศทางออกจากตัว



รูปที่ 2.6 Ulnar deviation

**ลักษณะที่ 5** Pronation คือการหมุนข้อมือรวมถึงแขนท่อนล่างในทิศทางเข้าหาตัว



รูปที่ 2.7 Pronation

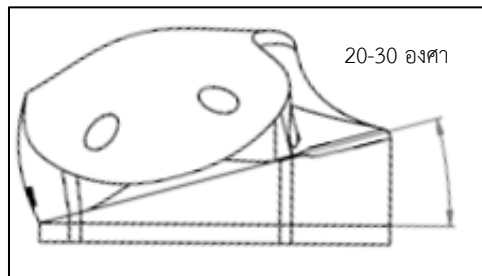
**ลักษณะที่ 6** Supination คือการหมุนข้อมือรวมถึงแขนท่อนล่างในทิศทางออกจากตัว



รูปที่ 2.8 Supination

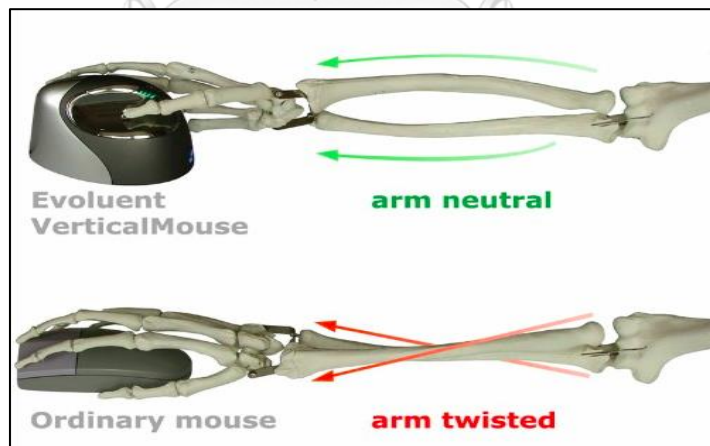
โดยพบว่าหากฝ่ามือและส่วนของกระดูกนิ้วมือมีองศาการวางมือ 50-70 องศาเมื่อเปรียบเทียบกับแนวระนาบของข้อมือจะเป็นองศาการวางมือที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้หากองศาการวางมืออยู่ระหว่าง 70-90 องศา ผู้ใช้จะไม่เกิดความล้าจากการใช้งานแต่ไม่เหมาะสมกับองศาการวางมือข้างต้น (Crisco, Pike et al. 2003) และมุมประมาณ 20-30 องศา ทำให้ผู้ใช้งานเม้าส์เกิดความรู้สึกสบายและเป็นธรรมชาติมากที่สุด (Osborne, 1987) ดังรูปที่ 2.9 โดยพบว่าช่วงองศาการ

วางมือดังกล่าวจะมีการใช้มือและข้อมือที่ออกห่างจากตำแหน่งที่เป็นธรรมชาติ และหากมีการเคลื่อนไหวติดต่อกันเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดความล้าบริเวณข้อมือ และอาจเป็นสาเหตุของกลุ่มโรคการกดทับเส้นประสาทบริเวณข้อมือ (Carpel Tunnel Syndrome)



รูปที่ 2.9 มุมของเมาส์การยศาสตร์กับองศาของมือที่เป็นธรรมชาติ

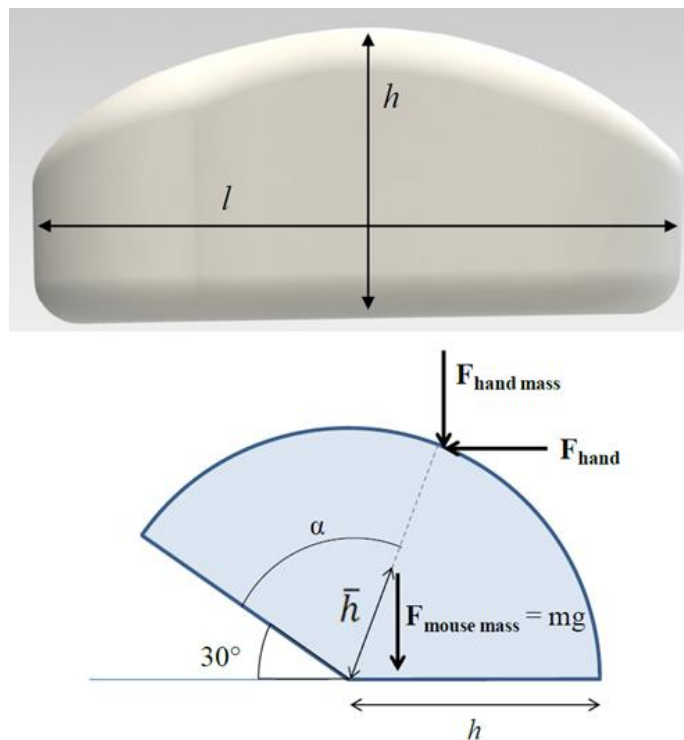
กลุ่มอาการนี้เกิดขึ้นมากในกลุ่มคนทำงานที่ใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งการทำงานในปัจจุบันนี้คอมพิวเตอร์ถือเป็นอุปกรณ์ออฟฟิศที่ทุกคนมีความจำเป็นต้องใช้งานและมีการใช้งานต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ และรวมถึงการใช้อุปกรณ์เสริมของเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น เมาส์ เป็นเวลานานด้วยเช่นกัน โดยการใช้เมาส์จะทำให้เราอยู่ในท่ากระดูกข้อมือขึ้นเป็นเวลานาน ซึ่งนำไปสู่การกดทับของเส้นประสาทบริเวณข้อมือได้



รูปที่ 2.10 ลักษณะของท่อนแขนส่วนปลายที่เป็นธรรมชาติ (ล่าง) และขัดต่อธรรมชาติ (บน)

### 2.1.3 แนวคิดการออกแบบเมาส์ต้นแบบในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบโดยอาศัยหลักการตามหลักการยศาสตร์ที่กล่าวมาข้างต้นโดยความยาวของเมาส์ตั้งแต่ 7.9-10.5 เซนติเมตร และความกว้าง 4.0-5.6 เซนติเมตร ที่ทำมุมระหว่าง 0-30° น้ำหนักมีอยู่ที่ 50 กรัม ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.5 และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีค่าเท่ากับ 0.25 เมื่อพิจารณาแรงกระทำของเมาส์การยศาสตร์ แรงที่กระทำกับเมาส์เมื่ออยู่ในตำแหน่งแนวตั้งจะได้ดังรูปที่ 2.11 (Bevier, Mehendale et al.)

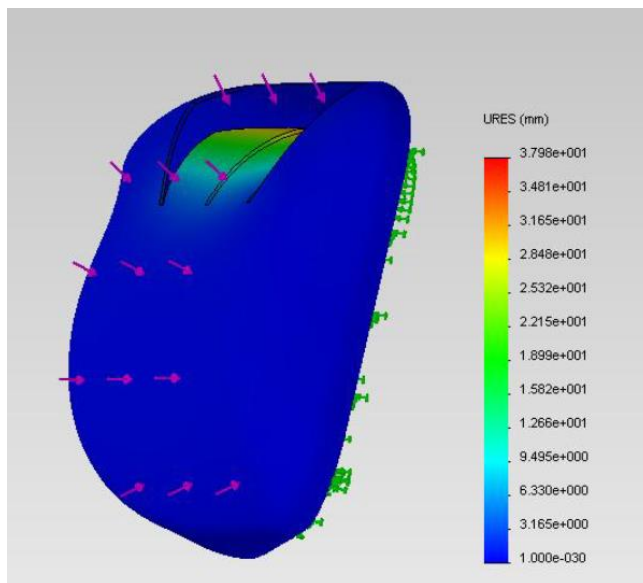


รูปที่ 2.11 แรงกระทำของเมาส์การยศาสตร์

โดยได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความสูง ( $h$ ) และความยาว ( $l$ ) ดังนี้

$$\frac{h}{l} \leq 0.45$$

จากการพิจารณาแรงกระทำบริเวณเมาส์ขณะใช้งาน เพื่อวิเคราะห์ความเค้นและการเคลื่อนตัวภายใต้แรงสถิตยโดยวิธีการ FEA (Finite Element Analysis) การวิเคราะห์นี้ดำเนินการทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง มีการกระจายแรงกระจายอย่างสม่ำเสมอ 50 นิวตันบนพื้นผิวด้านบน แรงกดต้นนี้คือแรงเฉลี่ยที่ใช้โดยมือในขณะกดบนเมาส์ขณะใช้งาน พบว่าความเครียดสูงสุด (Maximum stress) กระทำสูงสุดบริเวณปุ่มของเมาส์และผู้ออกแบบจะให้ความสำคัญเกี่ยวกับระยะตามแนวยาวเป็นตัวกำหนดขนาดขององค์ประกอบอื่นๆในการออกแบบเมาส์ (Bevier, Mehendale et al.)



รูปที่ 2.12 Finite Element Analysis

งานวิจัยจึงใช้หลักการและแนวคิดนี้ในการกำหนดขนาดของดินน้ำมันเพื่อใช้สำรวจพึงพอใจของผู้ใช้งานทั้งหมด 4 ขนาด แบ่งเป็นขนาดเล็ก 2 แบบและขนาดใหญ่ 2 แบบ โดยพิจารณาขนาดตามแนวยาวเท่านั้นเพราะมีผลต่อการใช้งานมากที่สุด

#### 2.1.4 เม้าส์การยศาสตร์ในปัจจุบัน

มีผู้ผลิตจำนวนน้อยในตลาดที่พยายามแก้ไขปัญหาลักษณะการนำหลักการยศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อลดอาการบาดเจ็บจากการทำงานเป็นเวลานาน แต่ไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควรอาจเพราะมีราคาสูงเกินไปทำให้ผู้ใช้ส่วนใหญ่ไม่เลือกที่จะใช้งาน จากการทำการศึกษารวบรวมข้อมูลเม้าส์การยศาสตร์ที่มีอยู่ท้องตลาด มีดังต่อไปนี้

### 3M Ergonomic Mouse



รูปที่ 2.13 3M Ergonomic Mouse

เมาส์นี้มีการออกแบบจอยสติ๊กแบบเครื่องเขียน และมีปุ่มคลิกขวาและปุ่มคลิกซ้ายที่ด้านบนของจอยสติ๊ก เนื่องจากผู้ใช้งานวางตำแหน่งมือในแนวตั้งเมาส์จึงสะดวกสบายในการทำงานเป็นระยะเวลานานเพราะจะช่วยลดอาการบาดเจ็บที่ข้อมือจากการใช้งานเมาส์เป็นเวลานานได้ มีราคาประมาณ 1,600 บาทเป็นราคาที่ดีสำหรับผู้ที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานาน แต่อาจสูงเกินไปสำหรับผู้ใช้ทั่วไป

### Evoluent Vertical Mouse



รูปที่ 2.14 Evoluent Vertical Mouse

เมาส์ Evoluent มีปุ่มและล้อเลื่อนอยู่ทางด้านขวาของเมาส์ เหตุผลที่เมาส์รุ่นนี้เหมาะกับการใช้งานมากกว่าเมาส์ปกติเพราะมีการออกแบบให้แขนของผู้ใช้ไม่บิดเพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากการ

ใช้งานในเวลานาน เพราะแขนของผู้ใช้อยู่ในตำแหน่งที่สะดวกสบายไม่ขัดกับท่าทางที่เป็นธรรมชาติ ราคาปัจจุบันของเมาส์แนวตั้ง Evluent ประมาณ 3,000 บาท ซึ่งมีราคาแพง จึงไม่ได้รับความนิยมในท้องตลาดมากนัก

### Pad N' Click Gel Pads



รูปที่ 2.15 Pad N' Click Gel Pads

Pad N 'Click ประกอบไปด้วยชุดแผ่นซิลิโคนเจลวางบนฝ่ามือและปุ่มเมาส์ธรรมดาเพื่อให้เกิดการคลิกปุ่มสะดวกสบายขึ้น รูปร่างของแผ่นเจลบนปลายนิ้วทำให้นิ้วงอเมื่อคลิกเมาส์นั้นแทนที่จะถูกขยายเหมือนเมาส์ปกติ เมาส์นี้ได้รับความนิยมเพราะตำแหน่งงอเล็กน้อยของนิ้วมือมีความสะดวกสบายมากขึ้น ข้อดีอีกประการของแผ่นเจลคือค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแผ่นเจลประมาณ 150 บาท ซึ่งมีราคาถูกเมื่อเทียบกับเมาส์ประเภทอื่นๆ

### Logitech Trackball mouse

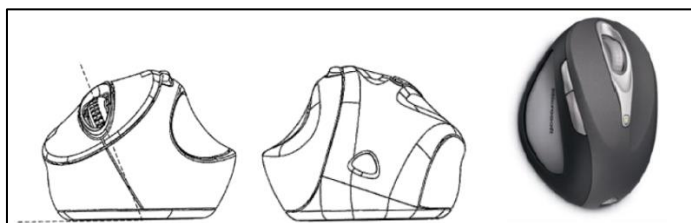


รูปที่ 2.16 Logitech Trackball mouse

Logitech เมาส์แทร็คบอลจะมีแทร็คบอลที่หัวแม่มือของผู้ใช้เลื่อนไปควบคุมเคอร์เซอร์ ข้อดีหลักของเมาส์นี้คือผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องย้ายแขนของตัวเองเพื่อเลื่อนเคอร์เซอร์และเมาส์สามารถใช้กับ

พื้นผิวที่ไม่ราบเรียบ ปัญหาหลักของเมาส์คือการใช้แท่งบอลเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดความล้า บริเวณนิ้วหัวแม่มือของผู้ใช้งาน ราคาประมาณ 1,500 บาท

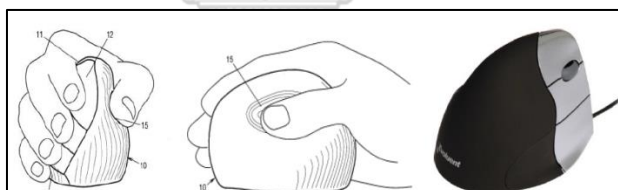
**United States Patent: 8022930**



รูปที่ 2.17 Microsoft Ergonomic Mouse 8022930

Microsoft Ergonomic Mouse 8022930 เป็น เมาส์ตามแนวนอนทั่วไปมีลักษณะเป็นไปจดสิทธิบัตรโดย Microsoft Inc. สิทธิบัตรนี้เป็นก้าวสำคัญสำหรับผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุดในการสร้างรูปแบบของผลิตภัณฑ์ของเมาส์การยศาสตร์รุ่นต่อมา ราคาประมาณ 2,100 บาท

**United States Patent: 5576733**



รูปที่ 2.18 Evoluent Vertical Mouse

Evoluent Vertical Mouse จดสิทธิบัตรโดย Jack Lo หลักการออกแบบคือ ตำแหน่งแนวตั้งให้เป็นสถานะนามธรรมตำแหน่งเป็นธรรมชาติและจะช่วยมือและข้อมือ ราคาประมาณ 7,200 บาท

การออกแบบเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของเราในการรวมแนวคิดนี้ไว้ในแนวคิดของงานวิจัยในแง่การออกแบบตามหลักสรีรศาสตร์ที่เหมือนกัน เมาส์การยศาสตร์แต่ละรุ่นมีขนาดแต่มีแตกต่างกันไป ไม่สามารถกำหนดขนาดที่ชัดเจนเพื่อนำมาเปรียบเทียบกันได้ ผู้วิจัยจึงนำหลักการเหล่านี้มาออกแบบเมาส์ต้นแบบที่กำหนดขนาดและมุมที่คงที่และนำมาศึกษาความสัมพันธ์ของการใช้งานเมาส์เปรียบเทียบกับสัดส่วนมือและเมาส์ ซึ่งในปัจจุบัน เครื่อง 3D Printer สามารถเข้าถึงได้ง่าย

และมีราคาไม่แพง เมื่อเทียบกับเมาส์การยศาสตร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด จึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการทำชิ้นงานต้นแบบเพื่องานวิจัย

## 2.1.5 ประเภทเซ็นเซอร์ของเมาส์

### ลูกกลิ้ง (Roller Mouse)

คิดค้นโดย Dr. Englebart ซึ่งจะมีล้อติดอยู่ที่ถูกรอบไว้ถูกแทนที่ด้วยลูกยางเล็กๆ โดยเมื่อเมาส์ขยับเคลื่อนที่บนพื้นผิวของแผ่นยาง ตัวลูกยางจะขยับลูกล้อที่อยู่ข้างใน และส่งข้อมูลการเคลื่อนไหวสู่คอมพิวเตอร์ เมาส์ประเภทนี้ยังมีผลติดอยู่จนถึงปัจจุบันแต่หาได้ยาก เมาส์ลูกกลิ้งนี้มักจะมีปัญหาหลักอยู่ตรงที่มันจะสามารถติดคราบได้ง่าย ไม่ว่าจะเป็นเศษฝุ่น เศษอาหาร และอื่นๆที่ร่วงใส่แผ่นยาง



รูปที่ 2.19 เมาส์ลูกกลิ้ง

### เลเซอร์เมาส์ (Laser Mouse)

ใช้หลักการนำแสงเลเซอร์ในหลอดไฟ LED มาเป็นที่ยิงแสงของออปติคอลเมาส์ (Optical Mouse) โดยถูกเรียกว่า เลเซอร์เมาส์ ซึ่งเป็นเมาส์รูปแบบที่เป็นอุปกรณ์การเข้าถึงข้อมูลที่มีความละเอียดดวงไวมากที่สุดเท่าที่มีวางจำหน่าย เลเซอร์เมาส์นั้นใช้พลังงานน้อย และยังสามารถจับความเคลื่อนไหวของการใช้งานที่เล็กที่สุดจากมือผู้ใช้ได้ บริษัทอย่าง Logitech และ Microsoft ในขณะนี้ ได้ผลิต mouse ประเภทนี้ขึ้นมาโดยเจาะกลุ่มผู้ใช้ที่เป็น gamer และ visual artist เป็นหลัก ซึ่งความละเอียดดวงไวที่ดีกว่าย่อมมาพร้อมกับราคาที่สูง โดยบ่อยครั้งที่ราคาดังกล่าวจะแพงกว่า Optical mouse แบบมาตรฐานถึง 2 เท่า และมากกว่าเมาส์กลแบบลูกกลิ้งถึง 4 เท่า





รูปที่ 2.20 เมาส์เลเซอร์

### ออปติคอลเมาส์ (Optical Mouse)

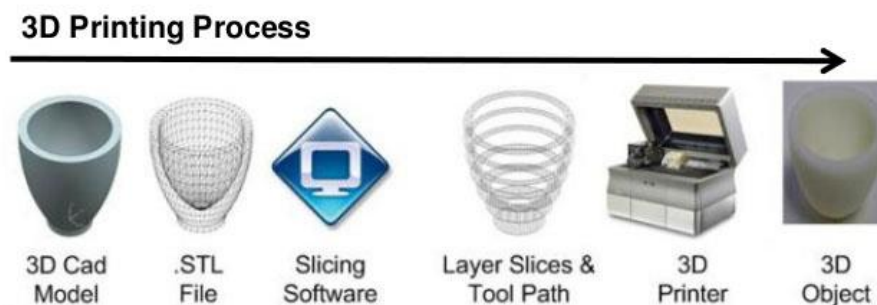
คิดค้นขึ้นมาในช่วงยุค 80 โดยนำลูกกลิ้งมาแทนที่ด้วยแสง ที่ส่งกระทบลงไปบนแผ่น mouse pad และตัว sensor ใน mouse จะทำหน้าที่ในการคำนวณทิศทางและความเร็วเมื่อผู้ใช้งานขยับ ซึ่ง Optical mouse นั้นสามารถทำความสะอาดได้ง่ายขึ้น และมีความแม่นยำที่มากกว่าเมาส์แบบลูกกลิ้ง แต่ก็ยังมีอาการขัดข้องอยู่บ้างเล็กน้อยเมื่อ Optical mouse นั้นไม่สามารถใช้งานร่วมกับแผ่น mouse pad หรือ mouse surface ได้ทุกประเภทอย่างสิ้นเชิง ซึ่งพื้นผิวที่มีความสว่าง หรือสะท้อนแสงมาก ๆ นั้นจะทำให้ sensor มีอาการสับสนได้ ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอเซ็นเซอร์แบบ Optical Mouse เชื่อมต่อกับเมาส์ต้นแบบ เพราะแผงวงจรมีราคาถูกลงและการทำงานมีความแม่นยำ



รูปที่ 2.21 ออปติคอลเมาส์

## 2.2 การพิมพ์ 3D Printing

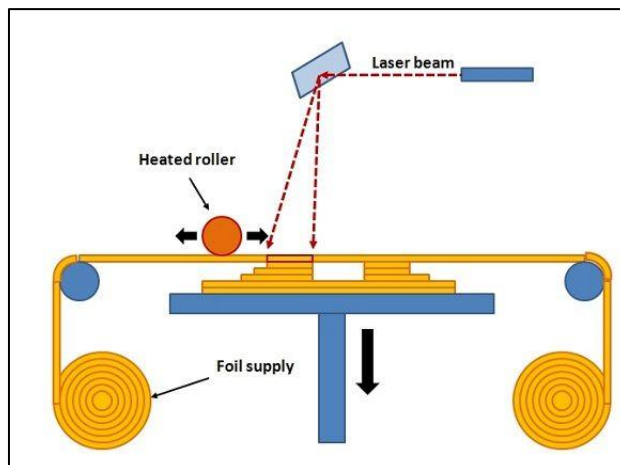
### 2.2.1 ประเภทของการพิมพ์ 3D Printing



รูปที่ 2.22 กระบวนการพิมพ์ 3D Printing

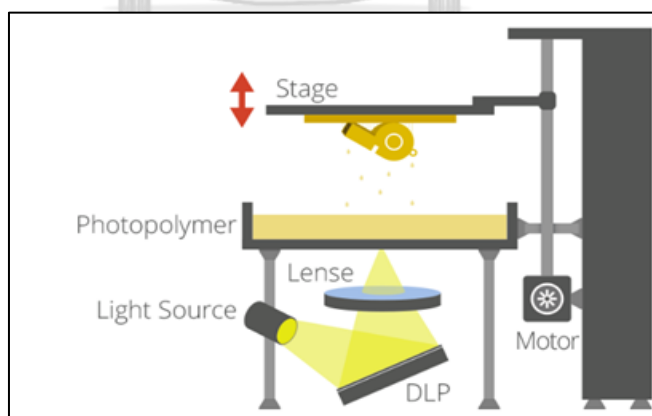
3D Printing คือเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ ที่สามารถขึ้นรูปสิ่งของหรือชิ้นงานต่างๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ให้เห็นเป็นรูปเป็นร่างเป็นชิ้นเป็นอันขึ้นมาให้เราได้สัมผัสจับต้องมองเห็นได้ทุกมุม ระบบการพิมพ์แบบนี้จะเป็นลักษณะของการแบ่งระนาบเป็นชั้นๆ ด้วยวัสดุและเทคนิคการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน ซึ่งมี 5 ระบบ ดังนี้

1. Laminated Object Manufacturing (LOM) เป็นระบบการพิมพ์ที่คล้ายกับการตัดวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่น เช่น กระดาษ แผ่นโลหะ แผ่นพลาสติก เป็นต้น การทำงานของระบบจะเริ่มต้นด้วยการตัดแผ่นวัสดุแต่ละแผ่นหรือแต่ละชั้น โดยเริ่มจากส่วนที่เป็นชั้นฐานก่อน จากนั้นตัวรองรับชิ้นงานจะเลื่อนลงมาให้ตัดแผ่นวัสดุชั้นถัดไป พร้อมทั้ง กับการวางซ้อนทับกันไปเรื่อยๆ วัสดุแต่ละแผ่นจะถูกยึดติดกันอย่างแน่นหนาด้วยกาวหรือเคมีที่ใช้เฉพาะวัสดุนั้นๆ จนเสร็จสมบูรณ์เป็นชิ้นงาน 3 มิติตามต้องการ ซึ่งลักษณะการพิมพ์แบบนี้จะให้พื้นผิวที่ไม่เรียบ มองเห็นแต่ละชั้นของแผ่นวัสดุ จึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความละเอียดเรียบเนียนมากนัก แต่มีข้อดีคือเป็นเทคโนโลยีการพิมพ์ที่มีต้นทุนไม่สูง



รูปที่ 2.23 เครื่องพิมพ์แบบ Laminated Object Manufacturing

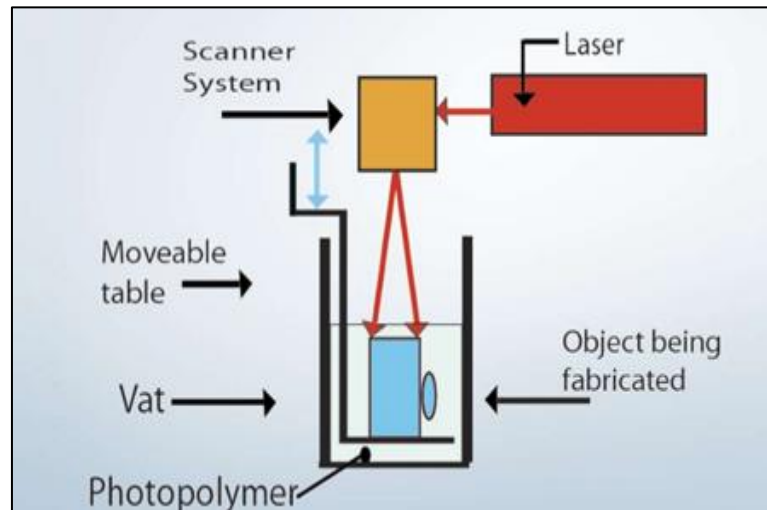
2. Photopolymerization เป็นระบบการพิมพ์ที่แปรเปลี่ยนชั้นฟิล์มของโพลีเมอร์เหลวให้แข็งตัวด้วยแสงจากเครื่องโปรเจคเตอร์ (Digital Light Processing หรือ DLP) ที่ถูกโปรแกรมไว้จากแบบ 3D โดยลำแสงที่ได้จากเครื่องจะมีขนาดเล็กและเข้มข้นจึงให้ความคมชัดที่ดี สามารถสร้างงานที่มีความละเอียดสูงได้ เมื่อชั้นฟิล์มดังกล่าวแข็งตัวตามตำแหน่งที่ถูกยิงลำแสง ระบบจะสั่งให้ปาดฟิล์มเหลวของโพลีเมอร์ในชั้นถัดไปมาสัมผัสลำแสง จนครบรูปแบบที่สั่งพิมพ์ไว้ เมื่อกระบวนการพิมพ์เสร็จสิ้นแล้วจึงแยกโพลีเมอร์เหลวออกจากส่วนของชิ้นงานที่แข็ง แต่การพิมพ์ดังกล่าวมีข้อจำกัดอยู่ตรงที่จำเป็นต้องใช้โพลีเมอร์ชนิดที่มีปฏิกิริยาเฉพาะกับคลื่นแสงที่กำหนดเท่านั้น



รูปที่ 2.24 เครื่องพิมพ์แบบ Photopolymerization

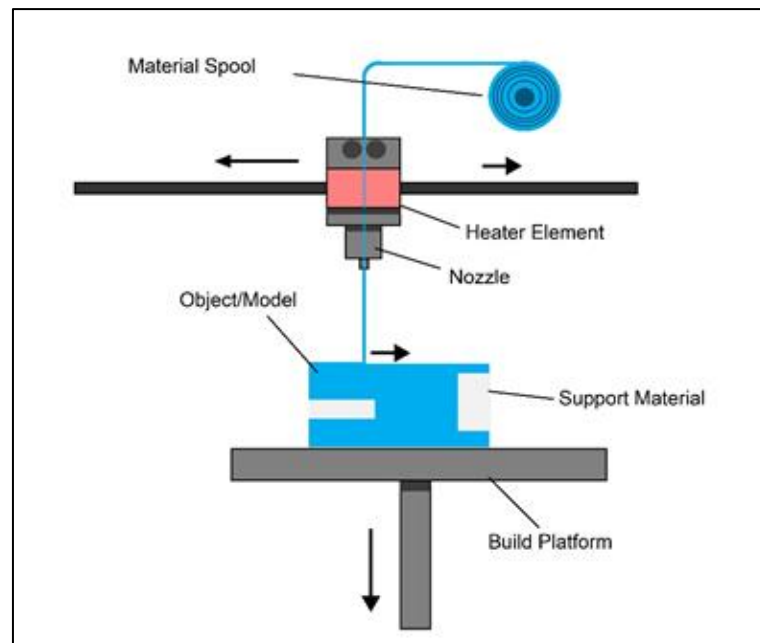
3. Mask-Image-Projection-Base Stereolithography ระบบนี้คล้ายกับระบบที่แล้ว โดยการนำโพลีเมอร์ที่มีลักษณะเป็นของเหลว ไหลเป็นชั้นฟิล์มมาสัมผัสกับแสง โดยส่องผ่านแผ่นหน้ากาก

ที่มีส่วนทึบ และส่วนโปร่งที่ให้แสงผ่าน (Stereolithography หรือ SLA) โพลีเมอร์ในส่วนที่ทำปฏิกิริยากับช่วงแสงดังกล่าวจะเกิดการแข็งตัว โดยอาศัยระยะเวลาในการสลัดชั้นไปเรื่อยจนครบรูป 3 มิติ การอาศัยแสงในการขึ้นรูปโพลีเมอร์ในลักษณะนี้ต้องใช้เวลานาน และมีความละเอียดต่ำจึงอยู่ในขั้นพัฒนาเพื่อให้เกิดความรวดเร็วและมีความละเอียดที่สูงขึ้น



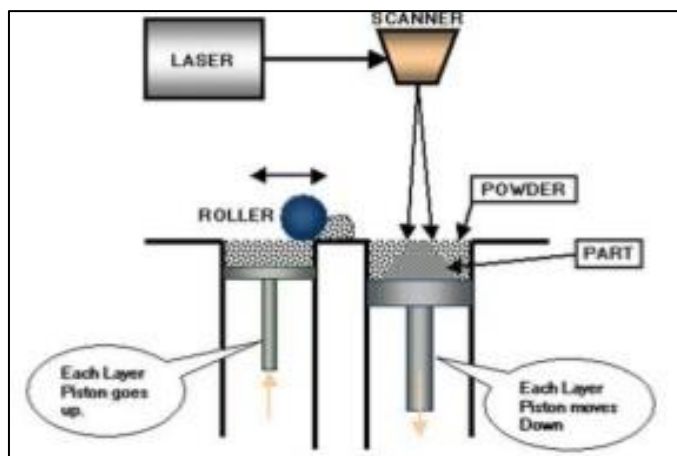
รูปที่ 2.25 เครื่องพิมพ์แบบ Mask-Image-Projection-Base Stereolithography

4. Extrusion Deposition วิธีการพิมพ์โดยใช้หัวพิมพ์รีดหมึกที่มีลักษณะเป็นวัสดุครีมหลวงที่สามารถเซ็ทตัวได้ขณะพิมพ์ออกมาที่แท่นพิมพ์หรือที่หน้างานจริง การขึ้นรูปเป็น 3 มิติวิธีนี้อาศัยการซ้อนทับของวัสดุพิมพ์ทีละชั้น ตามไฟล์แบบที่สั่งพิมพ์โดยระบบคอมพิวเตอร์ ขนาดของเครื่องพิมพ์มีความหลากหลาย สามารถพิมพ์ได้ตั้งแต่ชิ้นงานขนาดเล็ก หรืออาคารขนาดใหญ่ แต่ลักษณะคุณภาพของพื้นผิวที่พิมพ์ขึ้นรูปจะมีความละเอียดไม่มากนัก ลวดลายจะเป็นลักษณะขั้นๆ ซ้อนกัน จึงไม่เหมาะกับชิ้นงานที่ต้องการความละเอียด ทั้งนี้ วัสดุที่สามารถนำมาใช้พิมพ์ขึ้นรูปด้วยวิธีการพิมพ์นี้ เช่น โพลีเมอร์ คอนกรีต เป็นต้น



รูปที่ 2.26 เครื่องพิมพ์แบบ Extrusion Deposition

5. Granular Materials Binding หรือ Powder Bed and Inkjet Head เป็นการนำผงวัสดุ มาปาดเรียบเป็นชั้นบางๆบนถาดหรือแท่นพิมพ์ที่เปรียบเสมือนกระดาษสำหรับการพิมพ์ทั่วไป หัวพิมพ์จะถูกสั่งให้พิมพ์ตามโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยพ่นหมึก สารเคมี ความร้อน หรือแม้กระทั่ง เลเซอร์ ที่สามารถทำปฏิกิริยากับผงวัสดุให้เกิดการแข็งตัวตามแนวที่กำหนดไว้ในแต่ละชั้น จากนั้น ระบบการพิมพ์จะย้อนกลับไปเกลี่ยผงวัสดุใหม่อีกครั้งแล้วเริ่มกระบวนการทำงานในชั้นถัดไปจน ชิ้นงานสำเร็จตามแบบ 3 มิติที่ได้ออกแบบไว้ การสร้างสรรค์รูปแบบและลวดลายของแต่ละชิ้นงานให้ มีความละเอียดมากน้อยเพียงใดนั้น จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของหัวพิมพ์ ตัวอย่างผงวัสดุที่มัก นำมาใช้ เช่น ผงโลหะไทเทเนียม เมทัลอัลลอยด์ ผงพลาสติก ผงเซรามิก และผงซีเมนต์ เป็นต้น



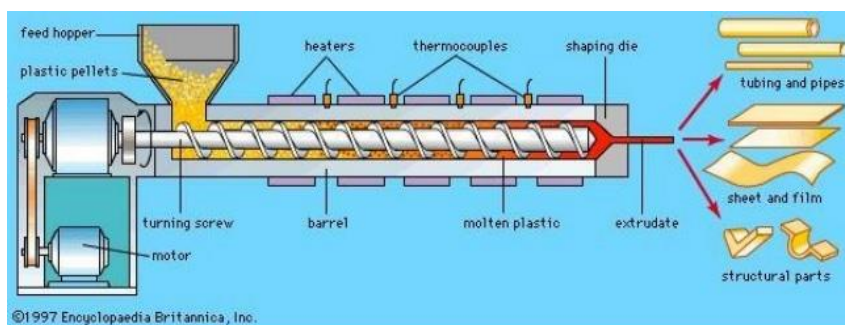
รูปที่ 2.27 เครื่องพิมพ์แบบ Granular Materials Binding

จะเห็นว่าระบบการพิมพ์ 3D มีอยู่หลายรูปแบบซึ่งมีความเหมาะสมที่แตกต่างกันตามจุดประสงค์ของชิ้นงานพิมพ์ หรือ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่น เรื่องของความละเอียดของงาน ความแข็งแรง เวลาในการผลิตชิ้นงาน พื้นผิวธรรมชาติ หรือประเภทของวัสดุ ความทนทานของการนำชิ้นงาน และการนำไปใช้งาน ระบบการพิมพ์ และวัสดุที่ใช้ขึ้นรูป เนื่องจากความสามารถในการขึ้นรูปได้หลากหลายระบบ การพิมพ์สามมิติจึงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในทุกวงการ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานและอุตสาหกรรมต่างๆ และสามารถช่วยให้นักออกแบบ สามารถสร้างสรรค์ผลงานได้จริงโดยไม่ถูกจำกัดรูปแบบการผลิต

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกเครื่องพิมพ์แบบ Extrusion Deposition ในการผลิตต้นงานขึ้นแบบ เนื่องจากราคาถูกและวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปคือ พลาสติกจำพวก Thermal Plastic เช่น ABS Nylon PLA PET ที่มีความเหมาะสมกับการผลิตมากที่สุด

## 2.2.2 กระบวนการขึ้นรูปแบบ Extrusion Deposition

กระบวนการขึ้นรูปสำหรับ เครื่องอัดรีดพลาสติก หรือ เครื่องรีดพลาสติก โดยเม็ดพลาสติกจะเข้าสู่เครื่องทาง Hopper จากนั้นจะถูกหลอมภายในเครื่องอัดรีด (Extruder) โดยอาศัยทั้งความร้อน แรงเฉือน และความดัน พลาสติกหลอมจะถูกดันออกสู่แม่พิมพ์ (Mold) ที่บริเวณปลายเปิด (Die) เพื่อขึ้นรูปตามต้องการ พลาสติกหลอมที่ออกจากหน้า Die เรียกว่า Extrude ในบางกระบวนการจะมีการให้ความเย็น (Cooling) หลังจากพลาสติกออกจากหน้า Die แล้วเพื่อให้คงรูปตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.28 กระบวนการขึ้นรูปสำหรับเครื่องอัดรีดพลาสติก

ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องอัดรีด ได้แก่

1. บาเรล (barrel) เป็นทรงกระบอกกลวงที่วางตัวตามแนวนอน
2. เกลียว (screw) ภายในบาเรลมีสกรู ซึ่งจะถูกหมุนด้วยมอเตอร์ที่ปรับความเร็วรอบได้ อาจเป็นสกรูเดี่ยว (single screw extruder) หรือเกลียวคู่ (twin screw extruder) ครีบกวาดของสกรู (flight) อาจถูกออกแบบให้มีความสูงลดลงตามแนวยาวของสกรู อยู่ภายในกระบอกที่มีรัศมีลดลง ทำให้เกิดหน้าที่แตกต่างกันช่วงต้นของสกรูที่มีความสูงของครีบกวาดมากจะทำหน้าที่ลำเลียงวัตถุดิบป้อนเข้าสู่ภายใน และจะถูกคลุกเคล้าให้ผสมกันในช่องว่างระหว่างครีบกวาดกับกระบอก เมื่ออาหารลำเลียงมาถึงช่วงที่ระยะครีบกวาดสั้นลงจะถูกบีบให้เคลื่อนที่อยู่ในที่ว่างลดลง ความดันเพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดแรงเฉือน (shear force) ระหว่างวัตถุดิบเองและระหว่างวัตถุดิบกับพื้นผิวของกระบอกและสกรู เกิดการนวดให้ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน และอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นจากแรง และความดันที่เพิ่มมากขึ้น
3. ไต (die)
4. ใบมีดตัด (face cutter)

### 2.2.3 พลาสติกสำหรับเครื่องพิมพ์ 3D Printing

การเลือกพลาสติกสำหรับพิมพ์ชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์ 3D Printer นั้น ถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะคุณสมบัติของพลาสติกมีความหลากหลาย สรุปได้ดังต่อไปนี้

**พลาสติก PLA** มีความแข็งแรงมากแต่ก็มีความเปราะมากเหมือนกัน แต่ก็พิมพ์ง่ายไม่มีกลิ่น เหมาะสำหรับผู้ที่เริ่มใช้เครื่องพิมพ์ 3D Printer และเหมาะกับงานพิมพ์ประเภทที่ไม่ต้องโดนแดด โดนฝน หรือของที่ใช้จับเพื่อดูขนาด ดูแบบ เป็นต้น

**พลาสติก ABS** จะใช้กับงานพิมพ์ที่ต้องเอาไปตากแดด และต้องการความเหนียว หรือชิ้นงานที่ต้องมีการถอดเข้า ถอดออกเป็นบางครั้งคราว หรืองานพิมพ์จำพวก จุดเชื่อมหรือ Joint ที่ต้องมีการกดเพื่อ ล็อค เป็นต้น

**พลาสติก PET** เหมาะสำหรับงานพิมพ์ที่ต้องการ ความแข็งแรงปานกลาง รวมถึงต้องเอาชิ้นงานไปอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีสารเคมี

**พลาสติก Nylon** เหมาะสำหรับงานที่ประกอบในชิ้นส่วนเครื่องจักร เพราะสามารถทนแรงกระแทก แบบฉับพลันได้เป็นอย่างดี เหมาะสำหรับงานพิมพ์ชิ้นส่วนที่มีความยืดหยุ่นปานกลาง แต่ข้อเสียของ Nylon คือสามารถดูดความชื้นได้เร็ว ทำให้ต้องเก็บรักษาเป็นอย่างดี

**พลาสติก TPU** เหมาะสำหรับพิมพ์ชิ้นงานที่ต้องการความยืดหยุ่นสูง และต้องการรับแรงกระแทก แต่ต้องใช้กับหัวฉีดที่ทำมาจากเส้นพลาสติก TPU โดยเฉพาะ รวมถึงความเร็วในการพิมพ์งานนั้น ต้องเดินช้ามากๆ ถึงจะพิมพ์เส้นพลาสติก TPU ได้

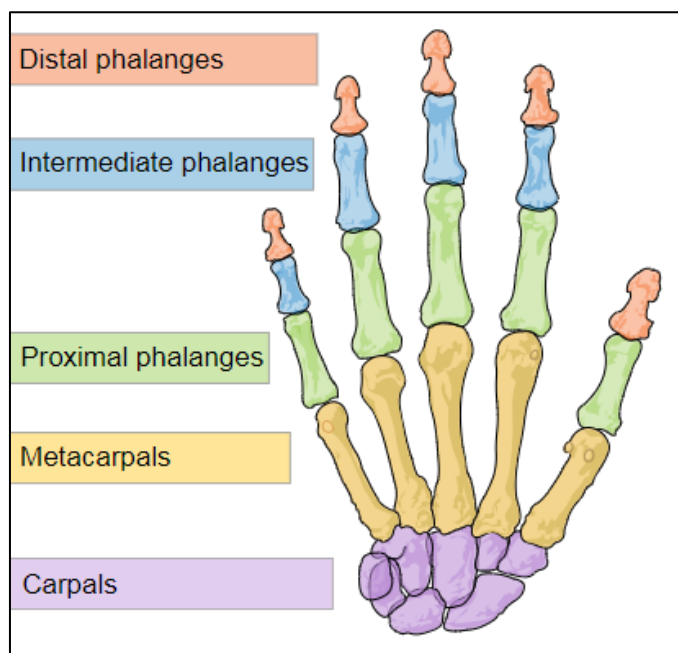
**พลาสติก PC** ถือว่าเป็นพลาสติกที่มีความแข็งแรงมากที่สุด และสามารถยืดหยุ่นได้เล็กน้อย สามารถใช้แทนพลาสติก ABS ได้เป็นอย่างดี ข้อเสียตอนนี้คือราคาที่สูง

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกพลาสติก PET เพราะการเชื่อมเกาะติดระหว่างชิ้นนั้นดีเมื่อเทียบกับ ABS ซึ่งมีราคาที่สูงกว่า ความแข็งแรงพอประมาณ และมีจุดเด่นที่ทนต่อแรงขีดสีและเสียดทานได้ สามารถเชื่อมติดกันด้วยกาวได้



## 2.3 มือ (Hand)

### 2.3.1 โครงสร้างของมือ (Hand Anatomy)



รูปที่ 2.29 โครงสร้างของมือ

กระดูกนิ้วมือ (Phalanges of hand; Finger bones) เป็นกลุ่มของกระดูกที่ประกอบขึ้นเป็นแกนของนิ้วมือทั้งห้านิ้วของมนุษย์ โดยแต่ละนิ้วจะมีกระดูกนิ้วมือ 3 ท่อน (Drake, Vogl et al. 2009) คือ

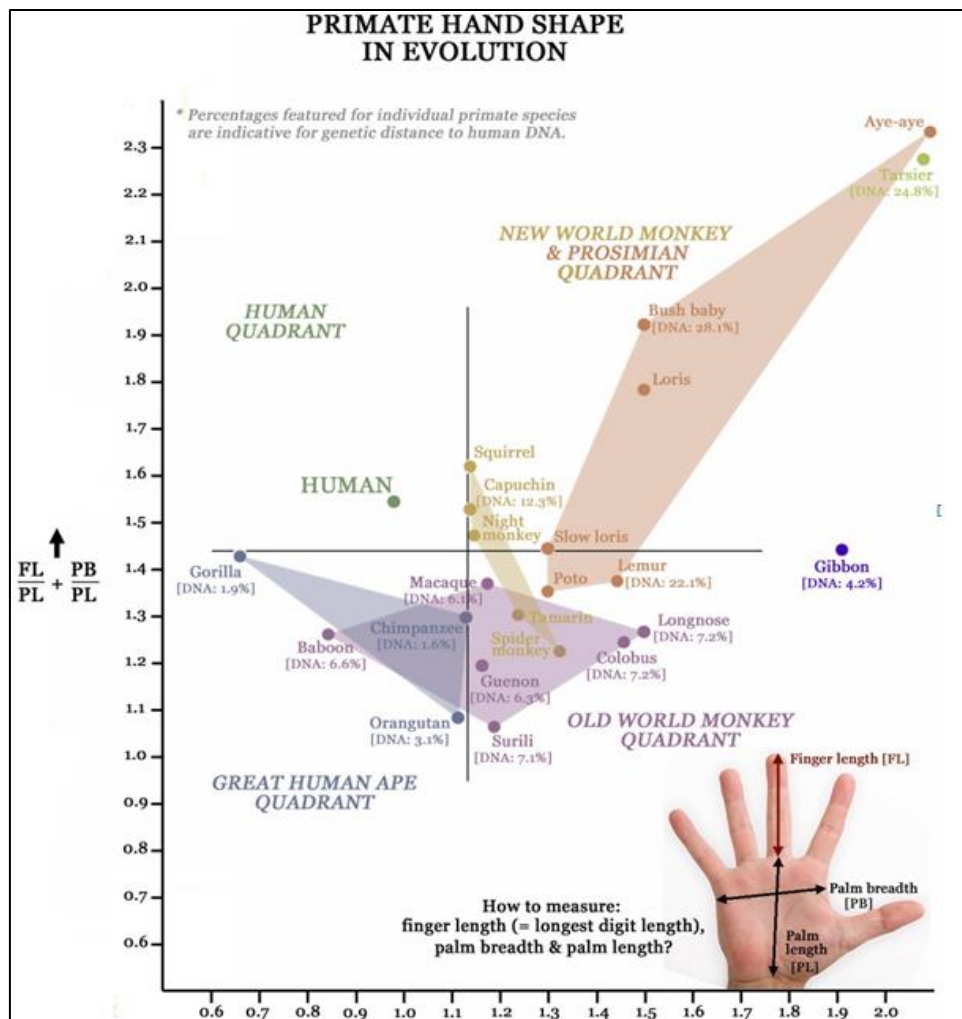
- กระดูกนิ้วมือท่อนต้น (Proximal phalanges)
- กระดูกนิ้วมือท่อนกลาง (Middle phalanges)
- กระดูกนิ้วมือท่อนปลาย (Distal phalanges)

ทั้งนี้ ยกเว้นนิ้วหัวแม่มือ (thumb) เท่านั้นที่จะมีเพียงกระดูกนิ้วมือท่อนต้นและท่อนปลาย ดังนั้นกระดูกนิ้วมือในมนุษย์จึงมีทั้งหมดข้างละ 14 ชิ้นกระดูกของมือซ้าย มุมมองจากทางด้านหลังมือกระดูกนิ้วมือแต่ละชิ้น จะประกอบไปด้วยสามส่วน ได้แก่

1. ส่วนโคนกระดูก (Proximal extremities) สำหรับกระดูกนิ้วมือท่อนต้นจะมีลักษณะเว้าเป็นรูปรีเพื่อรับกับปลายของกระดูกฝ่ามือ ขณะที่โคนของกระดูกนิ้วมือท่อนกลางและท่อนปลายจะมีรอยบุ๋มลงไปสองจุดที่คั่นด้วยแนวสันกลางเล็กๆ

2. ส่วนกลางกระดูก (Body) มีลักษณะโค้งงอไปทางหลังมือเล็กน้อย และทางด้านข้างจะมีรอยที่เป็นที่เกาะของเอ็นและปลอกหุ้มเอ็นจากกล้ามเนื้อมัดต่างๆที่มาควบคุมการเคลื่อนไหวของนิ้วมือ
3. ส่วนปลายกระดูก (Distal extremities) มีขนาดเล็กกว่าทางด้านโคนกระดูก และมีลักษณะเป็นปุ่มเล็กๆสองปุ่มที่คั่นด้วยร่องแคบๆในแนวกลาง พื้นผิวด้านฝ่ามือของส่วนปลายสุดของกระดูกนิ้วมือที่ตอนปลายจะมีลักษณะแบนออกเล็กน้อยเพื่อรองรับผิวหนังที่ใช้ในการรับสัมผัสจากปลายนิ้ว

### 2.3.3 สัดส่วนของมือ



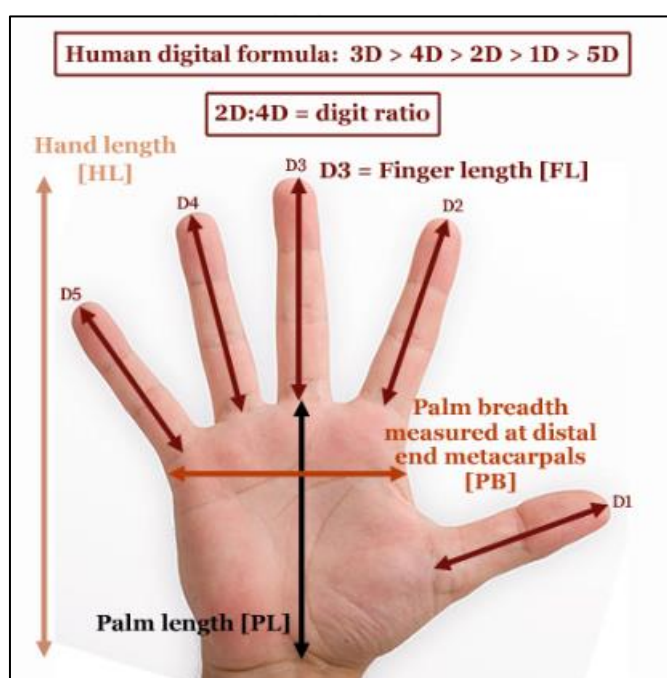
รูปที่ 2.30 สัดส่วนมือของคนและลิง(Manning, Bundred et al. 2003)

ความสัมพันธ์ของสัดส่วนมือกับการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของคนและลิง 23 สายพันธุ์ พบว่ารูปร่างมือและสัดส่วนความยาวของนิ้วมือของคนมีความเชื่อมโยงกับลักษณะทางพันธุกรรม

(Chromosomal characteristics) (Manning, Bundred et al. 2003) การประเมินรูปร่างของมือ ต้องใช้การวัดสามส่วน ได้แก่

- ความยาวของนิ้วกลาง (Finger Length, FL)
- ความกว้างของปาล์ม (Palm breadth, PB)
- ความยาวปาล์ม (Palm Length, PL)

อัตราส่วนทั้งสามด้านนี้เป็นส่วนสำคัญของรูปทรงมือ โดยตำแหน่งดังแสดงในงานวิจัยนี้ได้นำ ข้อมูลบางส่วนมาพิจารณาดังแสดงในรูปที่ 2.31 และตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.31 ระยะสัดส่วนของมือ

ตารางที่ 2.1 ค่าสัดส่วนมือที่ตำแหน่งต่างๆแยกตามเชื้อชาติและพันธุกรรม

สายพันธุ์	PB/HL	PB/PL	PB/FL	FL/HL	FL/PL
คนโดยเฉลี่ย	0.453	0.797	1.046	0.433	0.762
<b>เชื้อชาติ</b>					
มาเลเซีย	0.515	0.875	1.258	0.410	0.615
เกาหลี	0.466	0.811	1.076	0.433	0.754
อินเดีย	0.460	0.814	1.055	0.436	0.772
ออสเตรเลีย	0.456	0.799	1.060	0.430	0.752

สายพันธุ์	PB/HL	PB/PL	PB/FL	FL/HL	FL/PL
เนเธอร์แลนด์	0.455	0.797	1.058	0.430	0.753
สหรัฐอเมริกา	0.454	0.805	1.037	0.437	0.776
ตุรกี	0.444	0.781	1.031	0.431	0.757
จีน	0.438	0.773	1.004	0.436	0.769
ญี่ปุ่น	0.428	0.758	0.982	0.436	0.772
ลิง					
Gorillas	0.567	0.879	1.511	0.354	0.549
Bonobos	0.392	0.67	0.952	0.415	0.71
Chimpanzees	0.361	0.610	0.887	0.408	0.688
Orangutans	0.326	0.512	0.896	0.363	0.571
Gibbons	0.254	0.493	0.524	0.485	0.940

ในงานวิจัยนี้ใช้สัดส่วนมือของคนเชื้อชาติมาเลเซียพิจารณาเนื่องจากสัดส่วนของกลุ่มประชากรประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด (Rahman, Dawal et al. 2018) จากงานวิจัยการวัดความเท่าเทียมระหว่างสี่ประเทศในเอเชียในการออกแบบการทำงานนั่งและยืน ความยาวปาล์มต่อความยาวมือเป็นสัดส่วนความยาวปาล์ม (Palm Length, PL) มีค่าเท่ากับ 0.615

#### 2.3.4 ขนาดของมือ (Hand Dimension)

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้ทำการสำรวจและวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย ระยะที่ 4 พ.ศ.2543-2544 ได้วัดขนาดสัดส่วนร่างกายหญิงไทย อายุ 17-49 ปี 142 สัดส่วน จำนวน 4,525 คน และชายไทยอายุ 17-49 ปี 144 สัดส่วน จำนวน 4,301 คน เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับร่างกาย เพื่อให้ได้ขนาดมาตรฐานที่สอดคล้องกับสรีระร่างกายของคนไทย นอกจากนี้มีการปรับปรุงตำแหน่งที่วัดและวิธีการวัดบางส่วนให้สอดคล้องกับมาตรฐานระหว่างประเทศ ISO 7250-1996 (Basic human body measurements for technological design) ในการวัดขนาดสัดส่วนของร่างกาย โดยเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50,75,90 และ 95 แยกแต่ละช่วงอายุเป็น 4 ช่วง คือ 17-19, 20-29, 30-39 และ 40-49 ปี ในหญิงไทยและชายไทย โดยงานวิจัยนี้ได้้นำข้อมูล ค่าเฉลี่ยความยาวฝ่ามือและความกว้างฝ่ามือ เพศ

ชายและหญิงไทย อายุ 17-39 ปี เป็นข้อมูลเพื่อนำมาออกแบบชิ้นงานต้นแบบ ดังแสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.32 ระยะวัดขนาดความยาวของฝ่ามือ

ตารางที่ 2.2 ค่าเฉลี่ยขนาดความยาวและความกว้างฝ่ามือ เพศชายและหญิงไทย อายุ 17-49 ปี

ข้อมูลมือ	เพศหญิง				เพศชาย			
	17-19 ปี	20-29 ปี	30-39 ปี	39-49 ปี	17-19 ปี	20-29 ปี	30-39 ปี	39-49 ปี
ความยาว (เซนติเมตร)	18.0	18.0	18.0	17.9	19.5	19.5	19.5	19.5

#### 2.4 มาตรฐานองค์ระหว่างประเทศ 9241-9

มาตรฐาน ISO 9241 เป็นมาตรฐานจากองค์การระหว่างประเทศเพื่อการมาตรฐาน International Organization for Standardization (ISO) โดยในตอนที่ 9 : (2000) กล่าวถึงอุปกรณ์ป้อนข้อมูลสำหรับผู้ใช้งานที่ไม่ใช่แป้นพิมพ์ โดยระบุถึงข้อกำหนดซึ่งอาจจะใช้ร่วมกับตัวแสดงภาพ (Visual Display Terminal) มีข้อเสนอแนะสำหรับการทดสอบสมรรถนะการทำงานของ ผู้ใช้งาน เพื่อเป็นทางเลือกในการแสดงความสอดคล้องกับมาตรฐานซึ่งช่วยให้เราสามารถเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ชี้ตำแหน่งและสมรรถนะการทำงานที่แตกต่างกันได้ โดยใช้วิธีสอดคล้องกัน มาตรฐานนี้ได้นำไปใช้กับอุปกรณ์ชี้ตำแหน่งที่ใช่มือเป็นตัวดำเนินการ ได้แก่ เมาส์ แท็บเล็ต ปากกานำแสง สไตรัส จอยสติ๊ก ทัชแพด เป็นต้น ซึ่งการประเมินสมรรถนะการทำงานได้แบ่งงานออกเป็นงานย่อยคือ

- 1) งานเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวตามแนวนอน(Horizontal)
- 2) งานเคลื่อนที่หลายทิศทาง (Multidirectional)
- 3) งานในการลาก การวาด (Drawing)

4) งานในการเขียนภาพหรือตัวอักษร (Hand-written characters or pictures)

5) งานการจับหรือยัด (Homing device switching)

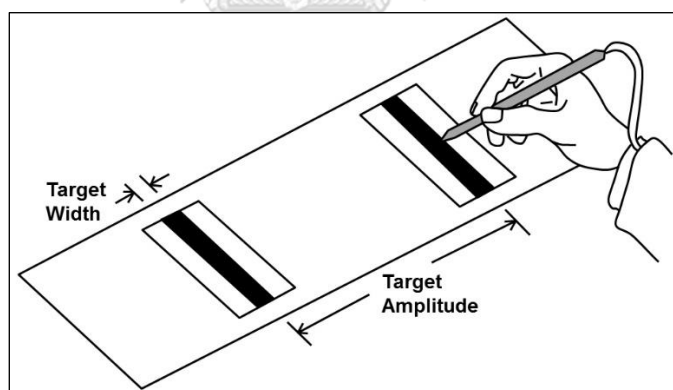
สำหรับการทดสอบจะขึ้นกับลักษณะของอุปกรณ์และจุดประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ โดยในงานวิจัยนี้ได้มุ่งตามมาตรฐานของ ISO 9241-9 ในเรื่องของวิธีการทดลองและการวิเคราะห์สมรรถนะการทำงาน สำหรับการประเมินผลอุปกรณ์ชี้ตำแหน่ง คือ

1) การทดสอบเป็นแบบทิศทางเดียว ตามแนวนอน (Horizontal)

2) การคำนวณสมรรถนะการทำงาน สำหรับงานในการจุดหรือลาก ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้สมการดัชนีความยากของ Shannon ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานของ ISO 9241-9

## 2.5 การประเมินสมรรถนะการทำงานตามกฎของฟิตส์

กฎของฟิตส์ (Fitts' law) ได้ทดสอบการเคลื่อนที่ของปากกาติดจอตอลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายในพื้นที่เป้าหมายที่กำหนดระหว่างนั้นได้จับเวลาของการเคลื่อนที่ไป-กลับซ้ำๆ (MacKenzie 1992) ซึ่งเป็นการจำลองพฤติกรรมกรรมการตอบสนองของมนุษย์ (Human Psychomotor Behaviour)



รูปที่ 2.33 ลักษณะงานเคลื่อนตำแหน่งตามแนวซ้าย-ขวา

โดยเป็นการทดลองเคลื่อนที่ 1 มิติ เนื่องจากในงานศึกษาการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ (Human Computer Interaction, HCI) มีการสร้างสมการในการพยากรณ์เวลาในการเคลื่อนที่ (Movement time, MT) ของอุปกรณ์ชี้ตำแหน่งทั้งสี่ (MacKenzie, 1992) ดังสมการที่ 2.6.1

$$MT = a + b \times ID \quad \dots 2.6.1$$

เมื่อ  $a =$  จุดตัด  
 $b =$  ความชัน  
 $IP =$  ดัชนีวัดสมรรถนะ (Index of performance, IP)

โดยได้กำหนดความกว้างของเป้าหมายและระยะทางในการเคลื่อนที่ นั่นก็คือข้อจำกัดของงานหรือความยากของงาน (Index of difficulty, ID) ดังสมการที่ 2.6.2 ก็ได้นำกฎของฟิตส์เข้ามาใช้ (Card, English et al. 1978) ซึ่งเป็นนักวิจัยกลุ่มแรกที่ศึกษาหาดัชนีวัดสมรรถนะการทำงาน (Index of performance, IP) เพื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงาน (Performance)

$$ID = \log_2 \frac{2D}{W} \quad \dots 2.6.2$$

เมื่อ  $ID =$  ดัชนีความยากของงาน (Index of difficulty, ID)  
 $D =$  ระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดศูนย์กลางเป้าหมายมีหน่วยเป็นพิกเซล  
 $W =$  ขนาดความกว้างของเป้าหมายในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่มีหน่วยพิกเซล

ในการทดสอบของงานวิจัยนี้ผู้ทดลองจะใช้เมาส์ต้นแบบคลิกจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยดัชนีความยากเป็นฟังก์ชันลอการิทึมที่สามารถกำหนดความกว้างของเป้าหมาย (Width) และระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมาย (Distance) ดังสมการที่ 2.6.3 ตามมาตรฐาน ISO 9241-9 ที่ปรับจากกฎของฟิตส์เพื่อให้เป็นมาตรฐานในการประเมินสมรรถนะการทำงาน

$$ID = \log_2 \frac{D+W}{W} \quad \dots 2.6.3$$

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้มีผู้วิจัยสนใจที่จะนำทฤษฎีเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ ดังนี้

เมาส์ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเพื่อลดผลกระทบต่อการบิดเอียงข้อมือและเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้น จึงมีการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเมาส์การยศาสตร์และเมาส์ธรรมดา โดยใช้กฎของสตีริง (Steering Law) โดยศึกษาเมาส์ 3 ระดับ คือ ที่มีผลต่อการบิดเอียงข้อมือที่องศาต่างกัน จากปัจจัยทิศทางการลากเมาส์ทวนเข็มและตามเข็มนาฬิกา และปัจจัยการใช้งานเมาส์ คือการลากเมาส์โดยไม่คลิกและการลากเมาส์โดยการคลิกพบว่า ปัจจัยการเอียงมุมของเมาส์มีสมรรถนะในการใช้งานไม่แตกต่างกัน (วรารณ, 2557) สำหรับกฎของฟิตส์ได้มีการศึกษา

เปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเมาส์ทั่วไปที่ใช้ในสำนักงานกับเมาส์การยศาสตร์ ทั้ง 3 ลักษณะ คือ น้ำหนัก ขนาด และองศาการวางมือ โดยอาศัยกฎในการทดลองของฟิตส์ และมาตรฐาน ISO 9241-9 เป็นแนวทางในการศึกษา กำหนดให้ผู้ทดสอบทำงานแบบ Pointing Task จากการทดสอบพบว่า เมื่อพิจารณาถึงระดับความยากกับการทำงานพบว่า ดัชนีความยากของงานมีผลกับเวลาการทำงานในลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง กล่าวคือ เมื่อดัชนีความยากเพิ่มมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการทำงานจะเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปตามหลักแนวคิดของ Fitts' law โดยมีค่า R-square เท่ากับ 0.74-0.85 และจากผลการ ทดลองพบว่าผู้ทดสอบต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และปรับตัวโดยเฉลี่ย 12 ครั้งการทดสอบหรือ 6 ชั่วโมงการทำงานเพื่อให้มีสมรรถนะการทำงานคงที่และไม่แตกต่างกันที่  $\alpha=0.05$  ทั้งในแนวการทดสอบแกนนอนและแกนตั้ง เมื่อเปรียบเทียบพิจารณาสมรรถนะการทำงานในช่วงการเรียนรู้คงที่พบว่าแนวการทดสอบแกนนอน ผู้ทดสอบ 3 คนมีสมรรถนะการทำงานจากการใช้เมาส์การยศาสตร์ มากกว่าการใช้เมาส์ทั่วไปโดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่  $\alpha=0.05$  และในแนวการทดสอบแกนตั้งพบว่า ผู้ทดสอบมีสมรรถนะการทำงานโดยเฉลี่ยจากการใช้เมาส์การยศาสตร์ และเมาส์ทั่วไปเท่ากัน ดังนั้นจากการทดสอบซึ่งเป็นด้านสมรรถนะการทำงานจึงแสดงให้เห็นว่าหากผู้ใช้มีการเรียนรู้และปรับตัว เมื่อใช้เมาส์การยศาสตร์ ผู้ใช้สามารถมีสมรรถนะการทำงานไม่แตกต่างจากการใช้เมาส์ทั่วไป และในด้านความปลอดภัยยังบ่งชี้ว่าการใช้เมาส์การยศาสตร์มีผลดี กับสรีระการวางมือที่ถูกต้อง คือช่วยลดความล้าของกล้ามเนื้อ และลดความเสี่ยงกับอาการบาดเจ็บของข้อมือและนิ้วมือ จึงอาจสรุปได้ว่าการใช้เมาส์การยศาสตร์ นอกจากจะไม่ได้ทำให้ผลของการทำงานแย่งแต่กลับช่วยเพิ่มระดับความปลอดภัยในการทำงาน (ภัทรพร, 2555)



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

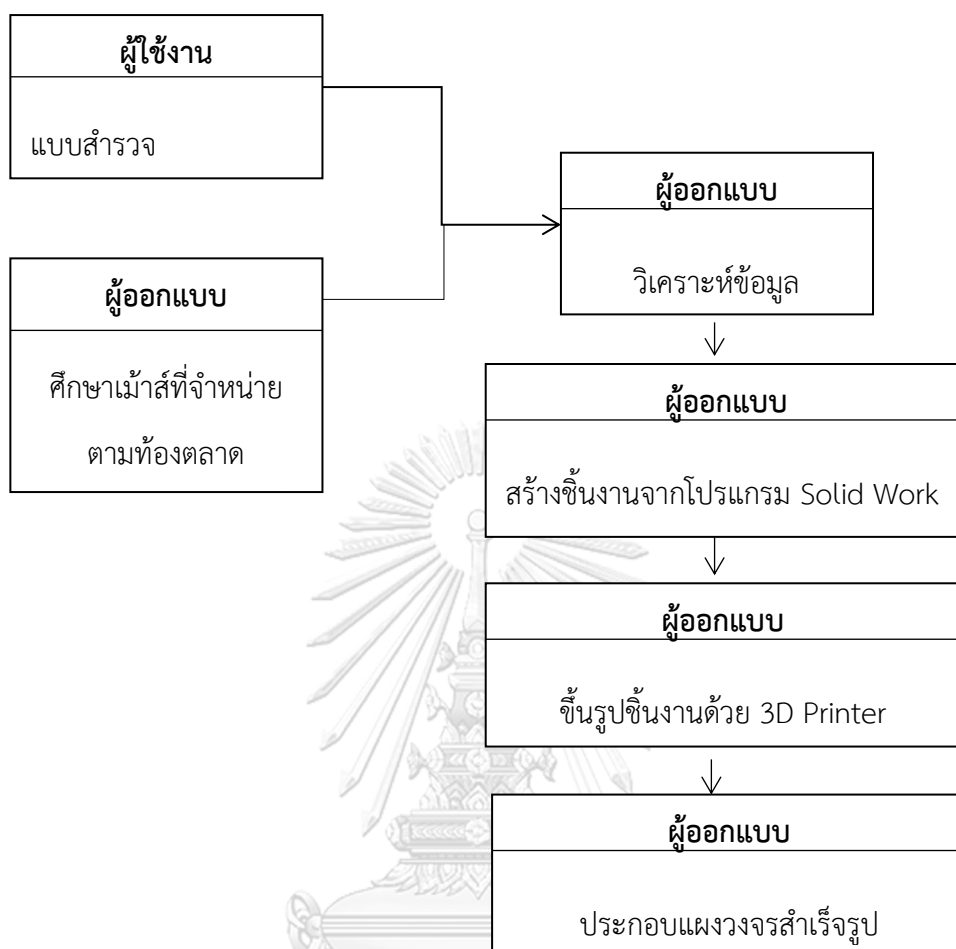
การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การสร้างชิ้นงานต้นแบบและการทดสอบสมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ในส่วนของการสร้างชิ้นงานต้นแบบจะทำการขึ้นรูปชิ้นงาน 6 ขนาด เนื่องจากงบประมาณมีจำกัด แบ่งออกเป็น ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ จากแบบทดสอบความพึงพอใจขนาดชิ้นงานต้นแบบจำลองจากดินน้ำมัน ที่ทำมุมเอียง 0°, 15°, 25° ทำให้ผู้ใช้งานเมาส์เกิดความรู้สึกสบายและเป็นธรรมชาติมากที่สุด (Segalle 2003) โดยชิ้นงานต้นแบบทำการขึ้นรูปด้วยเครื่อง 3D printer าทดสอบสมรรถนะการทำงาน (Performance) ของการใช้เมาส์ต้นแบบ 8 ระดับความยากของงาน ในงานวิจัยนี้ใช้สมการตามมาตรฐาน ISO 9241-9 โดยอ้างอิงจากกฎของฟิตส์ (Fitts' law) ในด้านงานชี้ตำแหน่ง เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของการใช้เมาส์ขนาดและมุมต่างๆ กับขนาดมือของผู้ใช้งาน

#### 3.1 การออกแบบและการสร้างชิ้นงานต้นแบบ

จากการศึกษาหลักการทางกายศาสตร์ข้างต้นและศึกษาเมาส์การยศาสตร์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดในปัจจุบัน มาเป็นแนวทางในการออกแบบชิ้นงานต้นแบบของงานวิจัย และใช้เทคโนโลยีการขึ้นรูปชิ้นงานด้วย 3D-Printer เข้ามาช่วยขึ้นรูปชิ้นงาน โดยแบ่งขั้นตอนในการขึ้นออกแบบตลอดจนการขึ้นรูปชิ้นงานได้ดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการคัดเลือกผู้ทดสอบความพึงพอใจ
2. ขั้นตอนการหาขนาดของชิ้นงานต้นแบบ
3. ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานจากโปรแกรม Solid Work
4. ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วย 3D Printer
5. ขั้นตอนการเชื่อมวงจรไฟฟ้า
6. ขั้นตอนการทดสอบความไวของชิ้นงานต้นแบบ

สามารถสรุปเป็นแผนภาพได้ดัง รูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการออกแบบชิ้นงานต้นแบบ

### 3.1.1 ขั้นตอนการคัดเลือกผู้ทดสอบความพึงพอใจ

คนไทย 30 คน ทั้งเพศชายและหญิง ที่มีอายุระหว่าง 17-35 ปี ไม่มีอาการบาดเจ็บที่มือ ข้อมือ และแขน มีประสบการณ์ในการใช้เมาส์คอมพิวเตอร์ ร่วมทำแบบสอบถามความพึงพอใจขนาดเมาส์จำลองที่ขึ้นรูปโดยการปั้นจากดินน้ำมัน โดยกลุ่มของผู้เข้าร่วมการทดลองแบ่งเป็น 3 กลุ่มดังนี้

ตารางที่ 3.1 การคัดเลือกผู้เข้าร่วมทำแบบทดสอบเพื่อหาความพึงพอใจของขนาดเมาส์ต้นแบบ

กลุ่มที่	ความยาว (เซนติเมตร)	จำนวน (คน)	ประสบการณ์ใช้เมาส์ (ปี)
1	13.0-14.5	10	10-12
2	14.6-16.5	10	10-12
3	16.6-17.6	10	10-12

จากข้อกำหนดของงานวิจัยนี้ กำหนดของเขตคือแป้งจะใช้ได้กับผู้ที่มีความยาวฝ่ามือของประชากรคนไทยอายุระหว่าง 17-49 ปี ระหว่าง 13.0 - 17.6 เซนติเมตร จึงออกแบบขนาดของแป้งตามความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมงานวิจัยทั้ง 30 คน ที่ซึ่งกำหนดช่วงขนาดความยาวมือแบ่งเป็น 3 กลุ่ม และผู้ทดสอบในแต่ละกลุ่มในจำนวนที่เท่ากันคือ กลุ่มละ 10 คน

### 3.1.2 ขั้นตอนการหาขนาดของชิ้นงานต้นแบบ

เพื่อให้ผู้เข้าทดสอบเกิดความรู้สึกที่เหมือนจริงกับขนาดของแป้ง จึงทำการปั้นดินน้ำมัน 4 ขนาดโดยอาศัยหลักการและแนวคิดการออกแบบดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยกำหนดขอบเขตอัตราส่วนระหว่าง  $h/l$  มีค่าเท่ากับ 0.45 (Bevier, Mehendale et al.) ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 ต้นแบบดินน้ำมันของแป้งที่ใช้สำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

รายการ		ความยาว; l (เซนติเมตร)	ความสูง; h (เซนติเมตร)	$\frac{h}{l}$	รูปประกอบ
ขนาด เล็ก	แบบที่ 1	7.9	3.6	0.45	
	แบบที่ 2	8.3	3.8	0.45	
ขนาด ใหญ่	แบบที่ 3	9.5	4.3	0.45	
	แบบที่ 4	10.5	4.7	0.45	

สำหรับแบบสอบถามความถนัดในการใช้เมาส์ จะแบ่งออกเป็น 4 ตอนดังต่อไปนี้ คือ

**ตอนที่ 1** เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบ ลักษณะเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check-List) และแบบให้เลือกตอบระหว่าง 2 คำตอบ (Dichotomous Questions) มีจำนวน 7 ข้อ

**ตอนที่ 2** เป็นแบบสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับความรู้สึกหลังจากได้ทดสอบสมรรถนะการใช้เมาส์ในรูปแบบต่างๆ ลักษณะเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check-List) มีจำนวน 3 ข้อ

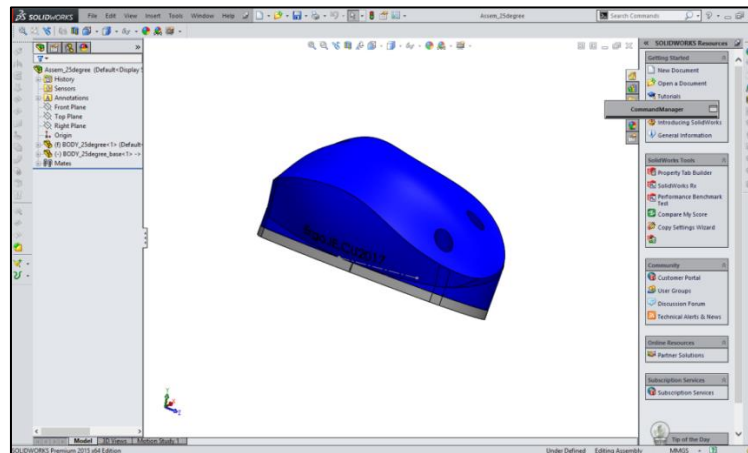
**ตอนที่ 3** เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจการเลือกซื้อเมาส์ ลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า (Rating Scale) มีจำนวน 7 ข้อ

โดยที่การเลือกขนาดต้นแบบเล็ก สามารถเลือกได้จากแบบที่ 1, 2 และขนาดใหญ่สามารถเลือกได้จากแบบที่ 3,4 อันใดอันหนึ่งเท่านั้นต่อการสำรวจ โดยแบบสอบถามสามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก จากนั้นนำขนาดที่ได้รับความนิยมมากที่สุดไปออกแบบด้วยโปรแกรม Solid Work ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างตารางบันทึกความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมทดสอบหาขนาดเมาส์ต้นแบบ

ผู้ทดสอบ	ความยาวมือ (เซนติเมตร)	ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
		แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4
1					
2					
.					
.					
.					
30					
ผลความนิยม					

### 3.1.3 ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานจากโปรแกรม Solid Work



รูปที่ 3.2 โปรแกรม SolidWork 2015

นำขนาดที่ได้จากแบบสอบถามข้างต้นขึ้นรูป ด้วยโปรแกรม SolidWork 2015 โดยชิ้นงานทั้งหมดแบ่งออกเป็นสองขนาดคือ ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่ทำมุม  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  เพราะให้ความรู้สึกสบายและเป็นธรรมชาติที่สุด (Segalle 2003) และระยะความสูง ส่วนโค้งต่างๆ ยึดหลักการตามแนวคิดการออกแบบเม้าส์การยาศาสตร์ (Bevier, Mehendale et al.)

### 3.1.4 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วย 3D Printer

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการกำหนดค่าความยาวเม้าส์ ที่มุม 3 ระดับ การหาเม้าส์สำเร็จรูปในท้องตลาดเพื่อนำมาทดสอบนั้น ไม่สามารถกำหนดขนาดที่แน่ชัดได้ เครื่อง 3D-Print จึงเป็นช่องทางหนึ่งในการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบได้ในราคาที่ถูกลงและรวดเร็ว เครื่อง 3D-Print ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ยี่ห้อ Up Box โครงสร้างของฐานพิมพ์เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม พิมพ์งานได้ขนาด  $255 \times 205 \times 205$  มิลลิเมตร ฐานพิมพ์สามารถถอดออกจากตัวเครื่องได้ สะดวกในการแกะชิ้นงานและทำความสะอาด หัวฉีดเดี่ยวขนาด 0.35 มิลลิเมตร สามารถใช้พิมพ์งานได้ด้วยวัสดุหลายชนิด เนื่องจากใช้หัวฉีดแบบ All-metal Hot-end ทำอุณหภูมิได้สูงถึง 300 องศา สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกพลาสติก PET เพราะการเชื่อมเกาะติดระหว่างชั้นนั้นดีเมื่อเทียบกับ ABS ซึ่งมีราคาที่สูงกว่า ความแข็งแรงพอประมาณ และมีจุดเด่นที่ทนต่อแรงขีดสีและเสียดทานได้ สามารถเชื่อมติดกันด้วยกาวได้



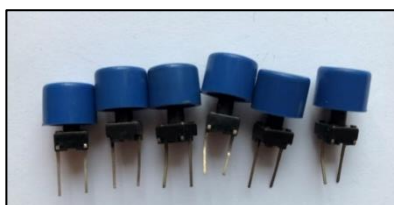
รูปที่ 3.3 3D-Print รุ่น Up Box

### 3.1.5 ขั้นตอนการเชื่อมวงจรไฟฟ้า

แผงวงจรในเมาส์ต้นแบบจะใช้แผงวงจรสำเร็จรูปของเมาส์ยี่ห้อ Genius รุ่น Traveler ประเภท Optical Mouse ความถี่ 2.4 Ghz มีขนาดเล็ก สามารถประกอบกับเมาส์ต้นแบบได้ทั้งสองแบบ โดยทำการย้ายปุ่มวงจรกดโดยใช้สายไฟขนาด 0.5 มิลลิเมตร เชื่อมต่อไปยังปุ่มกดใหม่และบัดกรีเข้ากับแผงวงจรเดิม



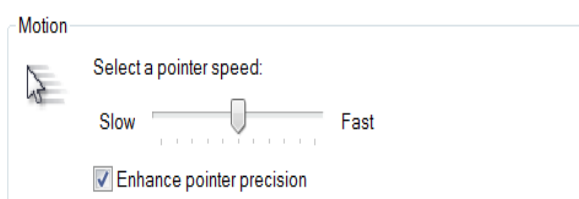
รูปที่ 3.4 เมาส์ยี่ห้อ Genius รุ่น Traveler



รูปที่ 3.5 ปุ่มกด

### 3.16 ขั้นตอนการทดสอบความไวของชิ้นงานต้นแบบ

แม้ว่าเมาส์จะมีความไวสูงและตอบสนองต่อการเคลื่อนไหวแม้เพียงเล็กน้อยได้ดี แต่เมาส์ก็เป็นเซ็นเซอร์ตัวหนึ่งที่ต้องมีความผิดพลาดเกิดขึ้นบ้าง ดังนั้นหลังจากทำการประกอบวงจรเสร็จ จึงจำเป็นต้องทดสอบและกำหนดค่าความเร็วให้ทุกชิ้นงาน เมาส์ทั่วไปในปัจจุบันจะมีความละเอียดที่ 800 DPI (Dots Per Inch) (Beckmann 1993) งานวิจัยนี้จะใช้ค่านี้ในการกำหนดความไวของเมาส์ต้นแบบทั้ง 6 แบบ



รูปที่ 3.6 การตั้งค่าความไวของชิ้นงาน

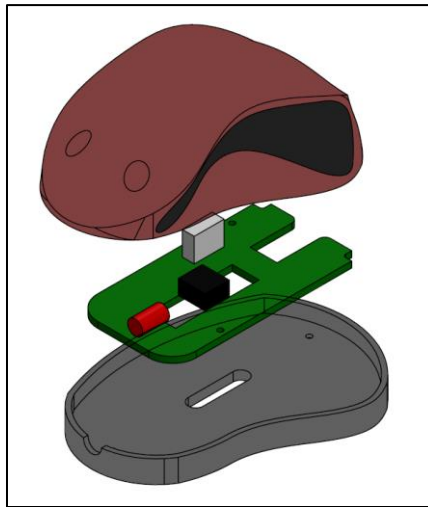
### 3.2 ผู้เข้าร่วมการทดสอบสมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task)

คนไทย 10 คนมีอายุระหว่าง 17-35 ปี ทั้งชายและหญิง ไม่มีอาการบาดเจ็บที่มือ ข้อมือและแขน มีประสบการณ์ในการใช้เมาส์คอมพิวเตอร์ โดยการทดสอบได้ควบคุมปัจจัยที่ส่งผลกับสมรรถนะการทำงานในการทดสอบตามทฤษฎีปัจจัยมนุษย์ (Human Factor Theory) ดังนี้คือ

1. การควบคุมลักษณะของผู้ทดสอบ (Characteristic) ด้านความถนัด อายุ ประสบการณ์ การใช้อุปกรณ์
2. การควบคุมสภาพแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ (Work Station) ได้แก่ ความส่องสว่างบริเวณสถานีการทำงาน
3. การกำหนดแบบงานการทดสอบ ระยะเวลาขณะทำการทดลองและระยะเวลาพักก่อนและระหว่างทดลอง ตามมาตรฐาน ISO 9241-9 เพื่อลดความล้าและความเครียดของผู้ทดสอบ
4. อธิบายการใช้โปรแกรม ข้อกำหนดในการทดสอบ หลักการทำงานและการเก็บข้อมูล เพื่อให้ผู้ทดสอบเข้าใจการทำงานและสามารถทำการทดสอบได้อย่างถูกต้อง

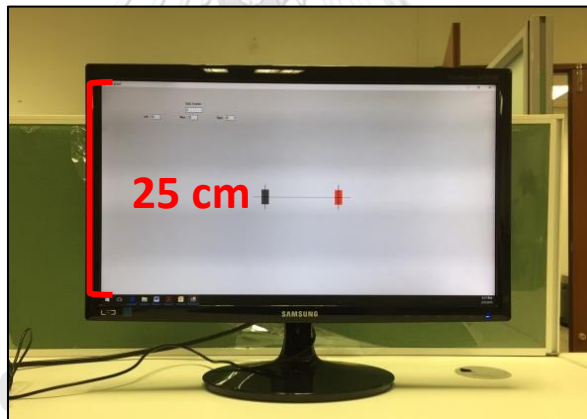
### 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการวิจัย

1. เมาส์ต้นแบบ 6 ขนาด ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่อง 3D printer แบบมีสายเชื่อมต่อกับวงจรเมาส์ยี่ห้อ Ggenius รุ่น Micro Traveller ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ภาพจำลองแม่พิมพ์ต้นแบบ

2. จอแสดงผล Samsung SyncMaster S20B300 ขนาด 20 นิ้ว ความละเอียด 3840 × 2160 พิกเซล



รูปที่ 3.8 Samsung SyncMaster ขนาด 20 นิ้ว



3. เก้าอี้ที่นั่งที่สามารถปรับระดับได้



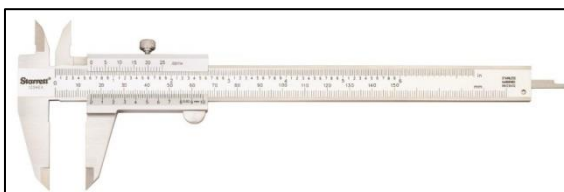
รูปที่ 3.9 เก้าอี้ที่นั่ง

4. โต๊ะสำหรับวางแท็บเล็ตมีความสูงจากพื้นโต๊ะ 60 เซนติเมตร กว้าง 75 เซนติเมตร



รูปที่ 3.10 โต๊ะสำหรับวางแท็บเล็ต

5. เวอร์เนียคาลิปเปอร์



รูปที่ 3.11 เวอร์เนียคาลิปเปอร์

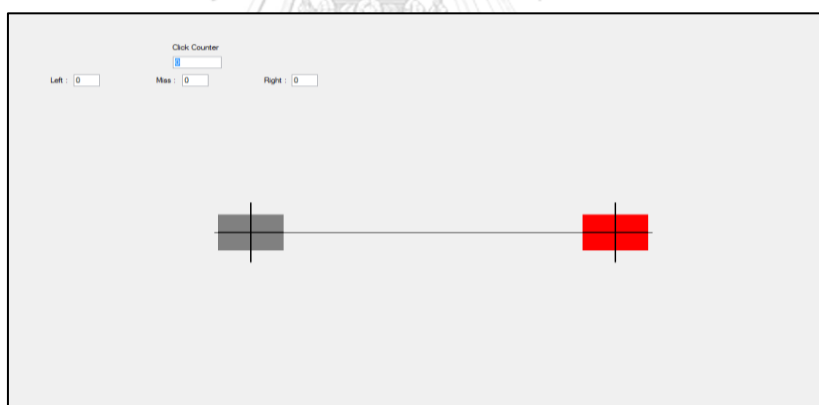
## 6. เครื่องชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3.12 เครื่องชั่งน้ำหนัก

## 3.4 โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

โปรแกรมทดสอบตามแนวทางของ Fitts' Law

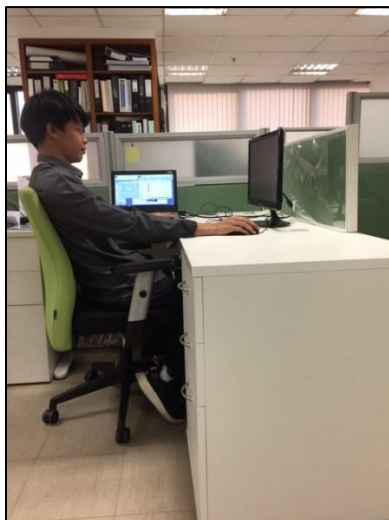


รูปที่ 3.13 โปรแกรมทดสอบตามแนวทางของ Fitts' Law

ทางภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการได้ออกแบบโปรแกรม In-house program ขึ้นมาสำหรับการทดสอบงานเคลื่อนตำแหน่งตามแนวซ้าย ขวา โดยจะจับเวลาจากการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งสามารถกำหนดเงื่อนไขต่างๆ เช่น ความกว้างและความสูงของเป้าหมาย ระยะห่างระหว่างเป้าหมาย โดยมีหน่วยเป็นพิกเซล

## 3.5 สถานที่ที่ใช้ในการทดลองและการออกแบบสถานีงาน

บริษัท อาร์เอ็นบี จำกัด 444 อาคารโอลิมเปียไทย ทาวเวอร์ ชั้น 22 ถนน รัชดาภิเษก สามเสนนอก ห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร



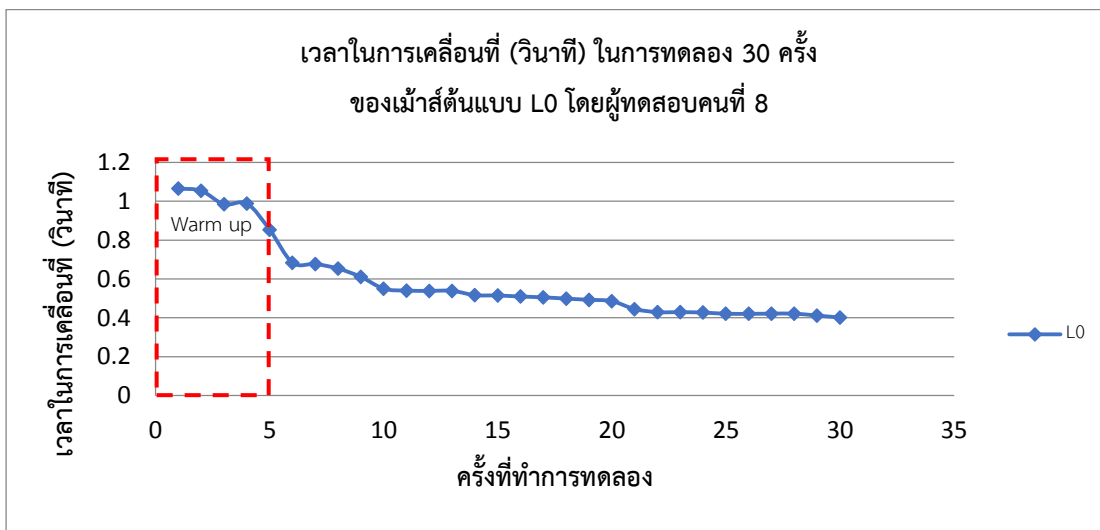
รูปที่ 3.14 การทดสอบการใช้งานเมาส์ต้นแบบ

### 3.7 วิธีการดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล

- 1) ผู้ทดสอบเข้าสู่สถานีนงาน มีการกำหนดสถานีนงานตามหลักการยศาสตร์ มีอุณหภูมิห้องเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียส มีความส่องสว่าง 600 ลักซ์ โต๊ะทำงานสูงจากพื้น 60 เซนติเมตร กว้าง 75 เซนติเมตร
- 2) อธิบายการใช้โปรแกรม ข้อกำหนดในการทดสอบ หลักการทำงานและการเก็บข้อมูล เพื่อให้ผู้ทดสอบเข้าใจการทำงานและสามารถทำการทดสอบได้อย่างถูกต้อง
- 3) กำหนดให้ผู้ทดสอบ ทดลองฝึกปฏิบัติ เพื่อให้เกิดความคุ้นชินกับโปรแกรมและสามารถใช้โปรแกรมการทดลองได้อย่างคล่องแคล่ว เป็นเวลา 10 นาที และพัก 1 นาที ก่อนเริ่มทำการเก็บข้อมูลจริง
- 4) กำหนดให้ผู้ทดสอบทำการลากเมาส์ตามเงื่อนไขที่กำหนด 8 เงื่อนไข และ 6 ชั้นงานต้นแบบ ต่อผู้เข้าร่วมการทดลอง 1 คน เพื่อเก็บข้อมูลจริง
- 5) กำหนดให้ผู้ทดลอง ทำการพักระหว่างเงื่อนไขอย่างน้อย 1 นาที และระยะเวลาพักอย่างน้อย 5 นาที ต่อเมาส์ 1 ระดับ และทำการพักอย่างน้อย 15 นาที ต่อ 1 ชั่วโมงการทำงานและกำหนดให้ทำการทดลองไม่เกิน 4 ชั่วโมงต่อคนใน 1 วัน

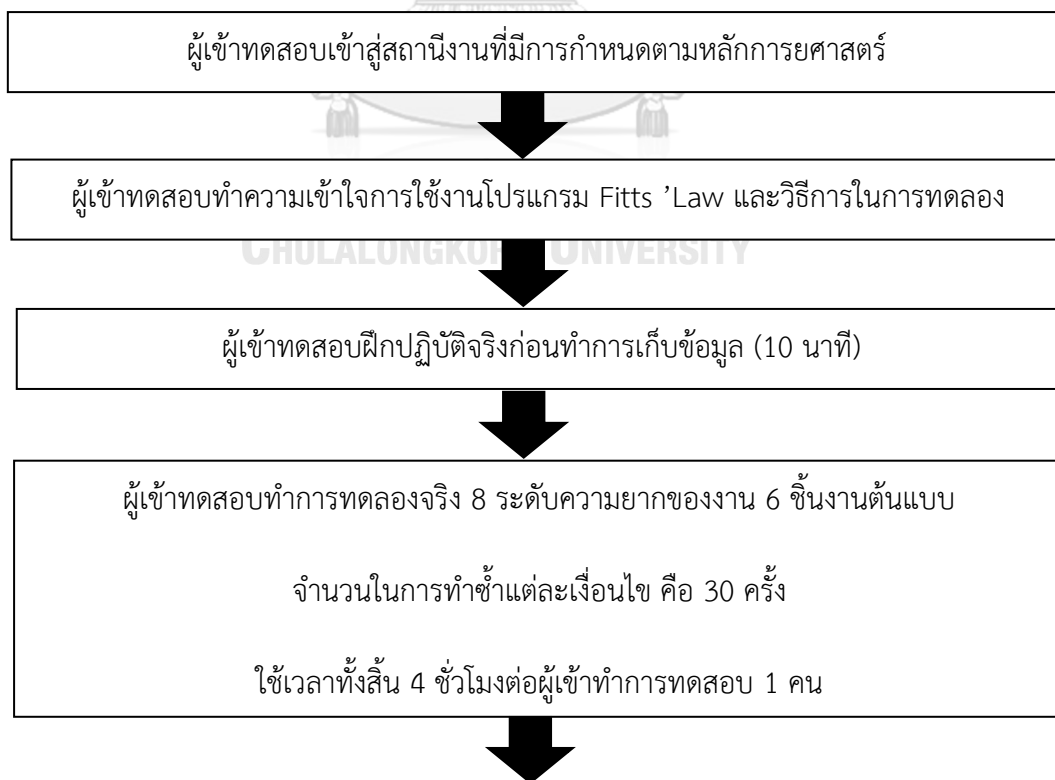
การวิเคราะห์ความเคยชินหรือเส้นโค้งการเรียนรู้ของผู้ทดสอบจากการเมาส์ต้นแบบ 3 มุม 2 ขนาด เพื่อให้ทราบถึงระยะเวลาในการปรับตัวของผู้ทดสอบจากการใช้เมาส์ที่แตกต่างกันออกไป ระยะเวลาในการชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) จากผู้ร่วมทำการทดสอบคนที่ 8 ทำการทดลองซ้ำ 30

ครั้ง โดยข้อมูลในการนำมาวิเคราะห์ได้ทำการตัดข้อมูลช่วงที่ 1-5 ออกเพราะอยู่ในการวอร์มอัพ (Warm up)



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างเวลาในการเคลื่อนที่ ครั้งที่ 30 ในการทดลอง (วินาที) ของเม้าส์ต้นแบบ L ของผู้ 0 8 ทดสอบคนที่

#### แผนผังขั้นตอนการทดลอง





ผู้ทดสอบพักอย่างน้อย 15 นาที ระหว่างชั่วโมงการทำงาน  
โดยกำหนดให้ทำการทดลองไม่เกิน 4 ชั่วโมงต่อคนใน 1 วันและเก็บข้อมูล

ตารางที่ 3.4 ตารางเวลาในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบ

ID	L0	L15	L25	S0	S15	S25
ID <sub>1</sub>						
ID <sub>2</sub>						
ID <sub>3</sub>						
ID <sub>4</sub>						
ID <sub>5</sub>						
ID <sub>6</sub>						
ID <sub>6</sub>						
ID <sub>8</sub>						

### 3.8 ดัชนีความยากของงาน

ดัชนีความยากจะขึ้นกับความกว้างของเป้าหมาย (W) และระยะห่างระหว่างเป้าหมาย (D) ดังนี้

ตารางที่ 3.5 ดัชนีความยากสำหรับงาน

ความกว้างของเป้าหมาย (W)	ระยะห่างระหว่างเป้าหมาย (D)	ดัชนีความยาก (ID)
70 พิกเซล	100 พิกเซล	1.51
55 พิกเซล	150 พิกเซล	2.45
50 พิกเซล	300 พิกเซล	3.00
35 พิกเซล	350 พิกเซล	4.32
20 พิกเซล	400 พิกเซล	5.32
15 พิกเซล	450 พิกเซล	5.91
10 พิกเซล	500 พิกเซล	6.64

ความกว้างของเป้าหมาย (W)	ระยะห่างระหว่างเป้าหมาย (D)	ดัชนีความยาก (ID)
5 พิกเซล	550 พิกเซล	7.78

### 3.9 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น

- ขนาดและมุมของชิ้นงานต้นแบบ
- ขนาดของมือผู้ทดสอบ

ตัวแปรตาม คือ

- ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ (MT)
- สมรรถนะในการใช้งาน (IP)

ตัวแปรควบคุม คือ

- จัดสถานีงานและอุปกรณ์ต่างๆให้อยู่ในสภาพที่กำหนด

ตัวแปรอื่นๆ คือ

- ระยะเวลาในการพัก ดังนี้คือ ทำการพักระหว่างเงื่อนไขอย่างน้อย 1 นาที และระยะเวลาพักอย่างน้อย 5 นาที ต่อเมาส์ 1 ระดับ และทำการพักอย่างน้อย 15 นาที ต่อ 1 ชั่วโมง การทำงานและกำหนดให้ทำการทดลองไม่เกิน 4 ชั่วโมงต่อคนใน 1 วัน

### 3.10 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการใช้งานของเมาส์การยศาสตร์ได้แก่ ขนาดและมุมเอียง โดยการสร้างชิ้นงานต้นแบบจาก 3D Printer ใน 6 ลักษณะคือ ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ที่ซึ่งทำมุมเอียง 0, 15, 25 องศาในแนวระดับ การทดสอบได้ประยุกต์ใช้กฎของฟิตส์ (Fitts' Law) ว่าด้วยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการคลิกเลือกวัตถุเป้าหมายกับระยะทางจากวัตถุและขนาดของวัตถุเป้าหมาย ภายใต้ ISO 9241-9 กำหนดลักษณะของงาน โดยมีดัชนีความยากของงานระหว่าง 1.51-7.78 โดยการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก ดังนี้

1. การวิเคราะห์ขนาดมือ
2. การเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเมาส์กับเพศของผู้ทดสอบ
3. การทดสอบปัจจัยร่วมของขนาดและองศาการวางมือ
4. การเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเมาส์กับสัดส่วนเมาส์ต่อมือของผู้ทดสอบ

### 3.10.1 การหาความสัมพันธ์ขนาดมือ

เนื่องจากการทดลองต้องการลดปัจจัยในการศึกษาให้น้อยลง จึงทำการหาสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างความยาวมือและความกว้างมือของผู้เข้าทดสอบทั้ง 10 คน เพราะตามหลักการยศาสตร์ (Ergonomics) การวัดขนาดเพื่อออกแบบอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับผู้ใช้งานนั้น ควรพิจารณาทั้ง 2 มิติ คือความกว้างและความยาว แต่ถ้าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันก็สามารถเลือกเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งในการออกแบบก็ได้ ประกอบกับมีงานวิจัยที่อ้างอิงความยาวเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบเม้าส์การศาสตร์ {Bevier, #7}

### 3.10.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเม้าส์กับเพศของผู้ทดสอบ

ค่าความแข็งแรงสูงสุด (Maximum Strength) คือ การที่กล้ามเนื้อและประสาทสามารถออกแรงได้สูงสุด ซึ่งโดยปกติเพศชายจะมีค่าสูงกว่าเพศหญิง งานวิจัยจึงทำการทดสอบโดยนำสมรรถนะการทำงาน (IP) ของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน เพื่อหาว่าเพศส่งผลต่อสมรรถนะการทำงานจากเม้าส์ต้นแบบ 2 ขนาด ที่ทำมุม 3 ระดับ (0°, 15°, 25°) ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดสอบ One Factor ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยข้อมูลในแต่ละชุดจะต้องมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) มีสมมติฐานในการวิเคราะห์ ดังนี้

$H_0$ : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเม้าส์ทั้งเพศหญิงและเพศชาย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

$H_a$ : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเม้าส์ทั้งเพศหญิงและเพศชาย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

### 3.10.2 การทดสอบปัจจัยร่วมของขนาดและองศาการวางมือ

นำสมรรถนะการทำงาน (IP) ของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน เพื่อหาว่าปัจจัยใดที่ส่งผลต่อสมรรถนะการทำงานจากเม้าส์ต้นแบบ 2 ขนาด ที่ทำมุม 3 ระดับ (0°, 15°, 25°) ทดสอบปัจจัยร่วมของขนาดและองศาการวางมือ ทั้งนี้การทดลองสำหรับการชี้ตำแหน่งมีจำนวนทั้งสิ้น 6 ทริตเมนต์คอมพิวเตอร์ ผลการทดลองที่ได้จากผู้เข้าร่วมทดลองจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางหรือแบบมีสองปัจจัยโดยการวางแผนแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design Two-way ANOVA or Two Factors ANOVA : RCBD Two-way or Two Factors ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยข้อมูลในแต่ละชุดจะต้องมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) และทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab 2017

การกำหนดสมมติฐานของงานวิจัยสมรรถนะการทำงาน (IP) ในการชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของผู้เข้าร่วมทดลองกับเม้าส์ต้นแบบทั้ง 6 ขนาด ดังนี้

### สมมติฐานปัจจัยมุมเอียง

$H_0$ : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ที่ค่ามุมเอียง 3 ระดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

$H_1$ : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ที่ค่ามุมเอียง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

### สมมติฐานปัจจัยขนาด

$H_0$ : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ 2 ขนาด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

$H_1$ : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ 2 ขนาด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

### สมมติฐานปัจจัยร่วม

$H_0$ : มุมเอียงและขนาดที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์

$H_1$ : มุมเอียงและขนาดที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อสมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์

### 3.10.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเมาส์กับสัดส่วนเมาส์ต่อมือของผู้ทดสอบ

สัดส่วนมือของผู้ทดลองเมื่อใช้งานเมาส์ต้นแบบ 2 ขนาดจะแตกต่างกันไป งานวิจัยจึงนำสมรรถนะการทำงานจากเมาส์ต้นแบบ 2 ขนาด ที่ทำมุม 3 ระดับ ( $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $25^\circ$ ) เปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเมาส์กับสัดส่วนเมาส์ต่อมือของผู้ทดสอบ เนื่องจากข้อมูลสัดส่วนแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ สัดส่วนต่อเมาส์ขนาดเล็ก และ สัดส่วนต่อเมาส์ขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นอิสระต่อกัน และขนาดของข้อมูลแต่ละชุดน้อยกว่า 30 ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดสอบที (T Test Two-Sample Independent) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยข้อมูลในแต่ละชุดจะต้องมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution)

$H_0$ :  $\mu_1 = \mu_2$  (สมรรถนะการทำงานของสัดส่วนเมาส์ต่อมือขนาดเล็กและสัดส่วนเมาส์ต่อมือขนาดใหญ่ไม่แตกต่างกัน)

$H_1$ :  $\mu_1 \neq \mu_2$  (สมรรถนะการทำงานของสัดส่วนเมาส์ต่อมือขนาดเล็กและสัดส่วนเมาส์ต่อมือขนาดใหญ่แตกต่างกัน)



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการสร้างชิ้นงานต้นแบบ

เม้าส์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดมีความหลากหลายทั้งรูปทรงและองศาการวางมือ ซึ่งยากต่อการนำมาทดสอบหาความสัมพันธ์ที่ต้องการกำหนดข้อจำกัดเหล่านี้ (Constraint) ซึ่งเป็นเรื่องที่ยากมากในการจะหาเม้าส์ที่มีขนาดเดียวกันแต่ทำมุมแตกต่างกันออกไป เครื่อง 3D-Printer เป็นทางออกหนึ่งที่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ในระยะเวลาจำกัดและราคาถูกกว่าการขึ้นรูปจากเครื่องฉีดพลาสติก งานวิจัยนี้จึงทำการเลือกขนาดมือของผู้ทดสอบให้มีการกระจายตัวในทุกสัดส่วนระหว่าง 0.41-0.78 ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายกว่าเพื่อศึกษาความสัมพันธ์จากอุปกรณ์ที่มีขนาดหลากหลายในท้องตลาด แต่ด้วยงบประมาณที่มีจำกัดจึงทำการขึ้นรูปงานต้นแบบเพียง 2 ขนาด ที่ทำมุม 3 ระดับ

ขนาดของเม้าส์ต้นแบบได้จากการทำแบบสอบถามความถนัดในการใช้งานโดยปั่นขนาดจากดินน้ำมัน มีผู้เข้าร่วมทำแบบทดสอบจำนวน 30 คน ที่มีอายุระหว่าง 17-35 ปี ทั้งเพศชายและหญิง มีประสบการณ์ใช้เม้าส์ในการทำงาน 10-15 ปี และปัจจุบันใช้เม้าส์ในการทำงาน ถนัดมือขวา ซึ่งปัจจัยที่นำมาออกแบบชิ้นงานต้นแบบคือ เม้าส์ขนาดเล็ก มี 2 ขนาดให้เลือกคือแบบที่ 1 และ 2 ส่วนเม้าส์ขนาดใหญ่ คือ แบบที่ 3 และ 4 ประเมินจากความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 30 คน โดยเลือกได้เพียงขนาดเดียวเท่านั้นในแต่ละขนาด ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมทำแบบสอบถามความถนัดในการใช้งานเม้าส์จากดินน้ำมัน

ผู้เข้าทดสอบ	เพศ	อายุ (ปี)	ความกว้างมือ (เซนติเมตร)	ความยาวมือ (เซนติเมตร)	ประสบการณ์การใช้เม้าส์ (ปี)
1	ชาย	20	5.5	13.0	12
2	หญิง	17	5.6	13.5	10
3	ชาย	29	5.9	13.3	10
4	ชาย	28	6.4	14.4	13
5	ชาย	32	6.2	14.0	15
6	หญิง	30	6.5	14.5	15

ผู้เข้าทดสอบ	เพศ	อายุ (ปี)	ความกว้างมือ (เซนติเมตร)	ความยาวมือ (เซนติเมตร)	ประสบการณ์การใช้เมาส์ (ปี)
7	ชาย	18	6.0	14.5	10
8	หญิง	29	5.8	13.8	12
9	ชาย	18	5.7	13.5	11
10	ชาย	24	6.2	14.3	12
11	หญิง	35	6.5	14.6	15
12	ชาย	29	6.6	14.8	10
13	ชาย	33	7.4	15.0	14
14	หญิง	30	6.9	15.5	15
15	ชาย	32	6.7	15.5	13
16	หญิง	33	6.8	15.7	15
17	ชาย	29	7.3	16.3	14
18	หญิง	34	7.4	16.3	15
19	ชาย	28	6.6	15.3	15
20	หญิง	22	7.0	16.0	15
21	ชาย	28	7.7	16.6	14
22	ชาย	18	7.8	16.0	11
23	ชาย	17	7.9	16.5	11
24	ชาย	17	8.5	16.4	10
25	หญิง	19	8.0	17.3	10
26	หญิง	34	7.7	16.7	14
27	ชาย	35	7.8	17.4	15
28	หญิง	33	8.4	16.7	14
29	ชาย	21	8.5	17.5	10
30	หญิง	25	8.0	16.4	13

**ขนาด**

การหาขนาดความกว้างและความยาวของแม่สัตันแบบนั้น นำข้อมูลความพึงพอใจของผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยขนาดที่นำมาขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบคือ ขนาดที่ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด ผลที่ได้คือ ดินน้ำมันขนาดเล็กแบบที่ 1 ขนาด 4.2 x7.9 (กว้าง xยาว , ซม) และดินน้ำมันขนาดใหญ่แบบที่ 2 ขนาด 5.6 x10.5 (กว้าง xยาว , ซม) ได้รับความนิยมสูงสุดดังที่แสดงในตารางที่ 4.2 และนำขนาดที่ได้ขึ้นรูปชิ้นงานในโปรแกรม Solid Work ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมทดสอบหาขนาดแม่สัตันแบบ

ผู้ทดสอบ	ความกว้างมือ (เซนติเมตร)	ความยาวมือ (เซนติเมตร)	ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
			แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4
1	5.5	13.0	/			/
2	5.6	13.5	/			/
3	5.9	13.3		/		/
4	6.4	14.4	/			/
5	6.2	14.0		/	/	
6	6.5	14.5	/			/
7	6.0	14.5	/			/
8	5.8	13.8	/			/
9	5.7	13.5		/		/
10	6.2	14.3	/			/
11	6.5	14.6	/			/
12	6.6	14.8	/		/	
13	7.4	15.0	/			/
14	6.9	15.5	/			/
15	6.7	15.5	/		/	
16	6.8	15.7	/			/
17	7.3	16.3		/		/
18	7.4	16.3	/		/	
19	6.6	15.3	/			/
20	7.0	16.0	/			/

ผู้ทดสอบ	ความกว้างมือ (เซนติเมตร)	ความยาวมือ (เซนติเมตร)	ขนาดเล็ก		ขนาดใหญ่	
			แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4
21	7.7	16.6	/		/	
22	7.8	16.0		/		/
23	7.9	16.5	/			/
24	8.5	16.4	/			/
25	8.0	17.3		/	/	
26	7.7	16.7	/		/	
27	7.8	17.4	/			/
28	8.4	16.7	/			/
29	8.5	17.5	/			/
30	8.0	16.4	/		/	
ผลรวมความนิยม			24	6	8	22

จากตารางที่ 4.2 เป็นผลสรุปความนิยมของผู้เข้าร่วมทดสอบทั้ง 30 คน ที่ซึ่งทำแบบทดสอบความพึงพอใจโดยมีหลักการสอบถามเกี่ยวกับทั่วไปของผู้ทดสอบ ข้อมูลเกี่ยวกับความรู้สึกหลังจากได้ทดสอบสมรรถนะการใช้เมาส์ในรูปแบบต่างๆ ดังแนบไว้ในภาคผนวกท้ายเล่ม

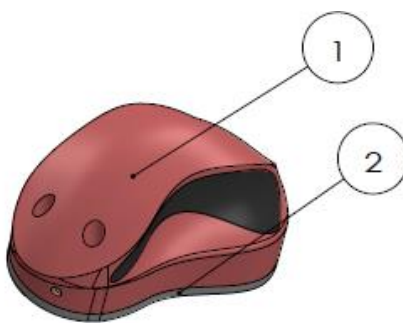
ตารางที่ 4.3 ขนาดของเมาส์ต้นแบบ

รายการ	ความกว้าง (เซนติเมตร)	ความยาว (เซนติเมตร)	มุม (องศา)	รูปประกอบ
ขนาดเล็ก	4.2	7.9	0°	
			15°	

รายการ	ความกว้าง (เซนติเมตร)	ความยาว (เซนติเมตร)	มุม (องศา)	รูปประกอบ
			25°	
ขนาดใหญ่	5.6	10.5	0°	
			15°	
			25°	



### การขึ้นรูปชิ้นงาน

หลังจากทำการหาขนาดและออกแบบชิ้นงานต้นแบบเรียบร้อยแล้ว นำ 3D Model ที่ได้ไปขึ้นรูปด้วยเครื่อง 3D Printer โดยจะแบ่งออกเป็นสองส่วนก่อนทำการประกอบคือ ฝาบนและฐาน



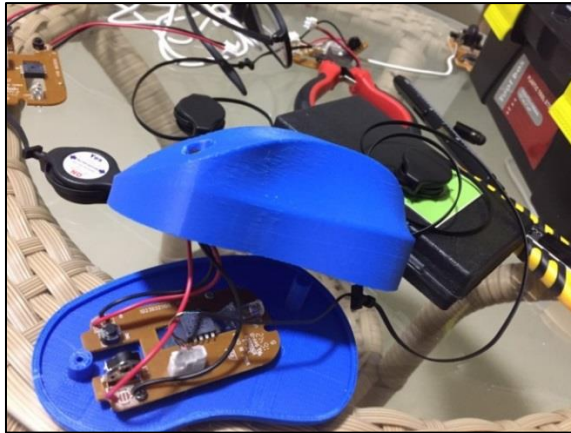
รูปที่ 4.1 3D Model

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างชิ้นงานต้นแบบที่ขึ้นรูปด้วย ด้วยเครื่อง 3D Printer

รายการ	ส่วนประกอบ	เวลาในการขึ้นรูปต่อชิ้น	ชิ้นงาน
1	ฝาบน	6 ชั่วโมง	
2	ฐาน	2 ชั่วโมง	

โดยระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงานทั้ง 6 แบบ รวมทั้งสิ้นประมาณ 48 ชั่วโมงและหลังจากนั้นคือทำการประกอบแผงวงจรเข้ากับชิ้นงานต้นแบบ

เม้าส์ต้นแบบ 6 ขนาด ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่อง 3D Printer เชื่อมต่อกับวงจรเม้าส์ยี่ห้อ Genius รุ่น Micro Traveller ดังแสดงในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.2 การเชื่อมต่อวงจรของเมาส์ต้นแบบ



รูปที่ 4.3 เมาส์ต้นแบบขนาดเล็ก



รูปที่ 4.4 เมาส์ต้นแบบขนาดใหญ่

ตารางที่ 4.5 เมาส์ต้นแบบขนาดต่างๆ

รายการ	ความกว้าง (เซนติเมตร)	ความยาว (เซนติเมตร)	มุม (องศา)	น้ำหนัก (กรัม)
ขนาดเล็ก	4.2	7.9	0°	45
			15°	46
			25°	48
ขนาดใหญ่	5.6	10.5	0°	54
			15°	56

รายการ	ความกว้าง (เซนติเมตร)	ความยาว (เซนติเมตร)	มุม (องศา)	น้ำหนัก (กรัม)
			25°	62

#### 4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task)

ในการทดสอบสมรรถนะการทำงานนี้มีอาสาสมัครเข้าร่วมการทดลองจำนวน 10 คน เป็นแบบ Volunteer จึงมีผู้ร่วมทดสอบบางส่วนยินดีเข้าร่วมการทดสอบสมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่ง ต่อจากการหาขนาดต้นแบบจำนวน 5 คน และผู้ที่ไม่เคยเข้าร่วมการทดสอบใดเลยจำนวน 5 คน โดยมีอายุระหว่าง 17-35 ปี ทั้งเพศชายและหญิง มีประสบการณ์ใช้เมาส์ในการทำงาน 10-15 ปี และปัจจุบันใช้เมาส์ในการทำงาน หนัมือขวา มีขนาดความยาวมือ 13.5-19.2 เซนติเมตร ความกว้างมือ 5.8-9.2 เซนติเมตร สถาปนาขึ้นสำหรับการทดสอบได้ออกแบบโดยคำนึงถึงหลักการวิทยาศาสตร์โดยควบคุมอุณหภูมิ ความส่องสว่าง ความสูงของโต๊ะทำงานและคอมพิวเตอร์ ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดสอบสมรรถนะ

ผู้เข้า ทดสอบ	เพศ	อายุ (ปี)	ความกว้างมือ (เซนติเมตร)	ความยาวมือ (เซนติเมตร)	ประสบการณ์การใช้ เมาส์ (ปี)
1	ชาย	29	9.2	19.2	12
2	ชาย	29	8.7	18.5	10
3	หญิง	35	7.5	17.5	12
4	ชาย	32	7.4	17	11
5	หญิง	30	7.3	15.5	15
6	ชาย	25	6.9	15.1	10
7	หญิง	27	6.8	15	11
8	ชาย	18	6.5	14.7	12
9	หญิง	20	5.9	14.5	13
10	หญิง	17	5.8	13.5	10



การประเมินเวลาการตอบสนองใช้งานเมาส์และสมรรถนะการใช้งานเมาส์ จากปัจจัยมุมเอียงของเมาส์ 3 ระดับและเมาส์ต้นแบบ 2 ขนาด โดยขนาดของเมาส์ต้นแบบขนาดเล็ก  $4.2 \times 7.9$  (กว้าง x ยาว , ซม) และขนาดใหญ่  $5.6 \times 10.5$  (กว้าง x ยาว , ซม) ที่ทำมุม 3 ระดับคือ  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $25^\circ$  โดยรวมทั้งหมด 6 ชิ้นงานต้นแบบ ด้วยวิธีการชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการชี้ตำแหน่งของผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความยากของงาน (ID) 8 ระดับ กับเวลาในการเคลื่อนที่ชี้ตำแหน่งของเมาส์ในแต่ละระดับ พบว่าเวลาที่ใช้ในการชี้ตำแหน่งเพิ่มขึ้นเมื่อดัชนีความยากของงานมากขึ้น และสามารถหาความสัมพันธ์ของเวลากับดัชนีความยากของงานมีลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้น เพื่อหาค่าจุดตัดแกน y (a) และค่าความชัน (b) ตามสมการของ Fitt's Law โดย  $Movement\ Time = a + (b \times ID)$  และหาสมรรถนะการทำงาน (IP) ได้จากส่วนกลับของความชัน ( $1/b$ ) หรือเวลาเฉลี่ยการตอบสนองการใช้งานเมาส์ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อดัชนีความยากของงานเพิ่มมากขึ้น

#### 4.3 การวิเคราะห์ขนาดมือ การแจกแจงปกติ ความแปรปรวน และความเป็นอิสระของสัดส่วนเมาส์ต่อมือของผู้ทดสอบสมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task)

##### 4.3.1 การวิเคราะห์ขนาดมือ

การวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวนทั้งหมด 10 คน โดยทำการวัดขนาดความยาวมือและความกว้างมือรูปที่ 1.3 เพื่อนำมาหาสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างความยาวมือและความกว้างมือของผู้เข้าทดสอบ พบว่าค่า Coefficient of Correlation (r) มีค่าเท่ากับ 0.95 แสดงให้เห็นว่าความยาวมือและความกว้างมือมีความสัมพันธ์แบบตามกัน คือค่าตัวแปรหนึ่งมากขึ้น อีกตัวแปรก็มากด้วย หากน้อยลง ก็น้อยลงเหมือนกัน งานวิจัยจึงเลือกใช้เพียงความยาวมือมาเป็นตัวแปรในการศึกษา เนื่องจากงบประมาณที่มีจำกัดในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ และยังมีงานวิจัยเกี่ยวข้องกับการออกแบบเมาส์ที่นำความยาวเป็นตัวแปรหลักในการกำหนดขนาดของเมาส์ {Bevier, #7}

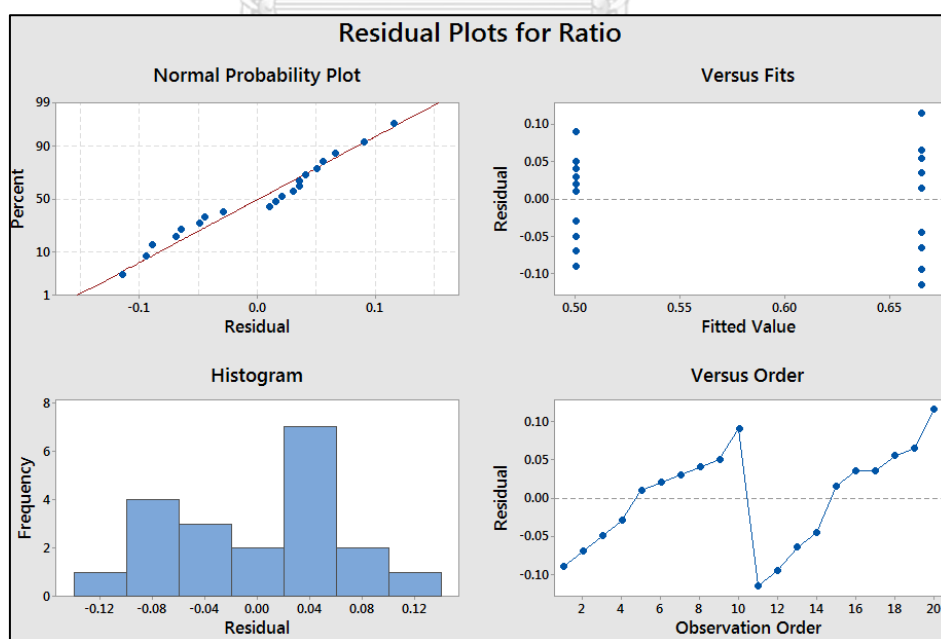
##### 4.3.1 การแจกแจงปกติ ความแปรปรวน และความเป็นอิสระของสัดส่วนเมาส์ต่อมือของผู้ทดสอบสมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task)

การวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวนทั้งหมด 10 คน โดยทำการวัดขนาดความยาวมือและความยาวเมาส์รูปที่ 1.3 ได้ผลตามตาราง

ตารางที่ 4.7 อัตราส่วนเมล็ดต่อมือตามแนวความยาว

ผู้เข้าทดสอบ	อัตราส่วนเมล็ดต่อมือตามแนวความยาว	
	อัตราส่วนเมล็ดขนาดเล็ก	อัตราส่วนเมล็ดขนาดใหญ่
1	0.41	0.55
2	0.43	0.57
3	0.45	0.60
4	0.47	0.62
5	0.51	0.68
6	0.52	0.70
7	0.53	0.70
8	0.54	0.72
9	0.55	0.73
10	0.59	0.78

ในการวิเคราะห์ที่ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน ทดสอบการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) สามารถสรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้ดังต่อไปนี้



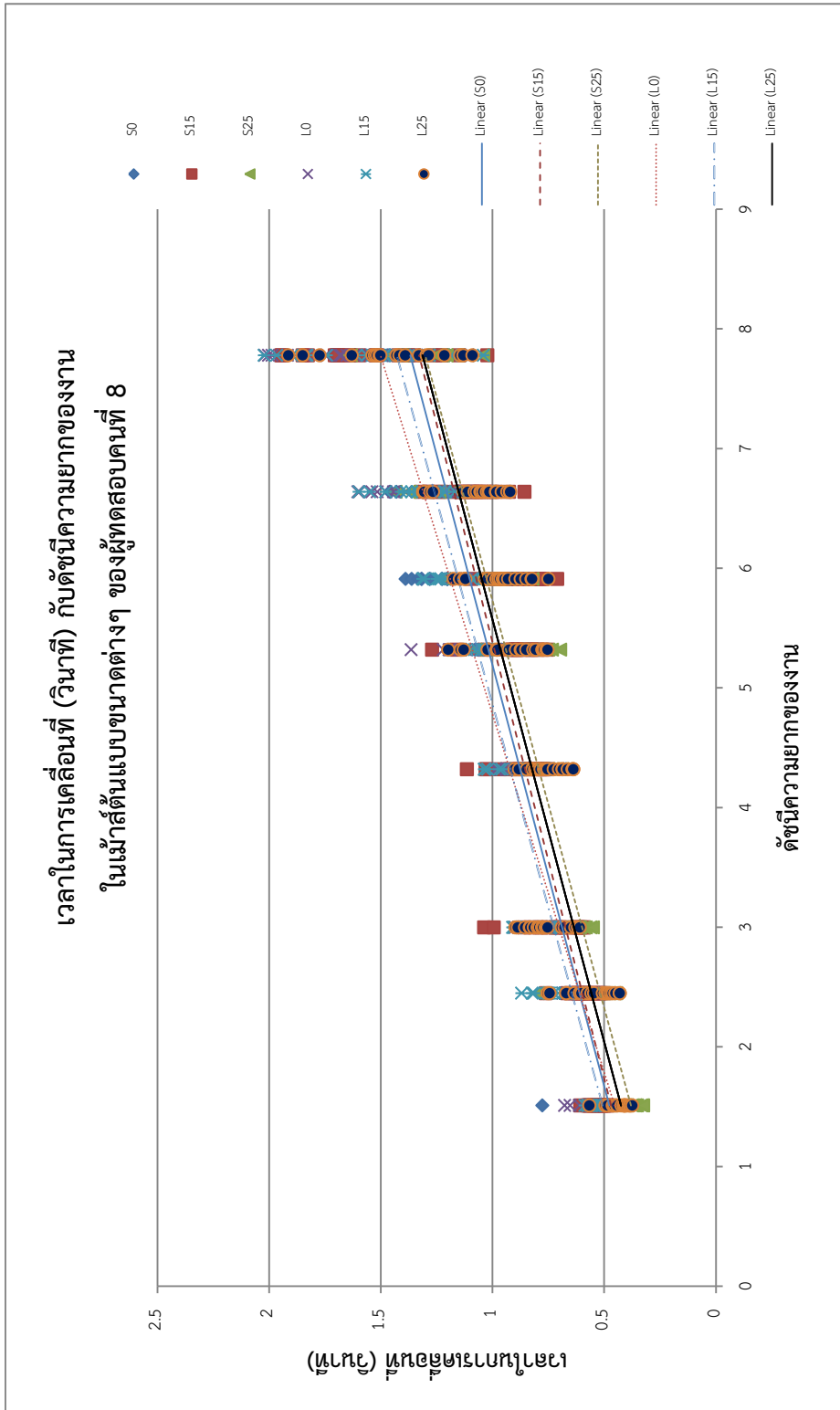
รูปที่ 4.5 Residual Plot ของค่า Ratio

- การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) จากกราฟ Normal Probability Plot แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรงและมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.738 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
- การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability) จากกราฟ Residual Versus Fitted Value แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างรอบแนวแกนศูนย์และข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้มหรือรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีค่าความแปรปรวนคงที่
- จากกราฟ Histogram แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
- การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual) จากกราฟ Residual Versus Observation Order แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

#### 4.4 การวิเคราะห์ผลการฝึกปฏิบัติการใช้โปรแกรมตามแนวคิดของ Fitt's Law ของผู้ทดสอบ

เมื่อระดับความยากของงานเพิ่มมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการชี้ตำแหน่งที่มีมุมเอียงต่างกัน 3 ระดับ มีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกรูปแบบการทำการทดลอง โดยที่ความชันจะเป็นตัวสะท้อนสมรรถนะการทำงานของผู้ทดสอบ กล่าวคือความชันยิ่งน้อยสมรรถนะการทำงานยิ่งดีขึ้น โดยผลที่ได้สอดคล้องกับ Fitt's Law ดังรูปที่ 4.6 โดยกราฟของผู้ทดสอบอื่นๆจะแสดงไว้ในภาคผนวก

โดยที่	MT	คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)
	ID	คือ ดัชนีความยากของงาน
	IP	คือ สมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task)
	S0, S15, S25	คือ เม้าส์ต้นแบบขนาดเล็ก ที่มีมุม 0 องศา, 15 องศา, 25 องศา ตามลำดับ
	L0, L15, L25	คือ เม้าส์ต้นแบบขนาดใหญ่ ที่มีมุม 0 องศา, 15 องศา, 25 องศา ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่กับดัชนีความยากของงานในเก้าอี้ต้นแบบของ ผู้ทดสอบคนที่ 8

จากการทดสอบของผู้ทดสอบ 10 คนทดสอบการใช้เมาส์ต้นแบบทั้ง 6 อัน ที่ได้ทำการคัดเลือกข้อมูลเมื่อผู้ทดลองเข้าสู่ภาวะสมดุลดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.8-4.13 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.8 เวลาของผู้ทดสอบใช้ในงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของเมาส์ S0

ผู้ทดสอบ	Linear regression	R <sup>2</sup>	IP
1	$MT = 0.23(ID) + 0.08$	0.86	5.83
2	$MT = 0.35(ID) + 0.18$	0.80	6.82
3	$MT = 0.27(ID) + 0.28$	0.86	6.40
4	$MT = 0.22(ID) + 0.32$	0.88	6.03
5	$MT = 0.53(ID) + 0.17$	0.87	7.02
6	$MT = 0.30(ID) + 0.24$	0.83	6.19
7	$MT = 0.38(ID) + 0.04$	0.95	6.14
8	$MT = 0.40(ID) + 0.21$	0.80	7.04
9	$MT = 0.79(ID) + 0.18$	0.90	7.50
10	$MT = 0.72(ID) + 0.08$	0.95	8.20

ตารางที่ 4.9 เวลาของผู้ทดสอบใช้ในงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของเมาส์ S15

ผู้ทดสอบ	Linear regression	R <sup>2</sup>	IP
1	$MT = 0.11(ID) + 0.05$	0.82	6.15
2	$MT = 0.49(ID) + 0.26$	0.89	6.09
3	$MT = 0.34(ID) + 0.13$	0.85	5.90
4	$MT = 0.36(ID) + 0.11$	0.87	6.93
5	$MT = 0.31(ID) + 0.15$	0.81	7.57
6	$MT = 0.34(ID) + 0.07$	0.91	6.19
7	$MT = 0.39(ID) + 0.13$	0.86	6.08
8	$MT = 0.35(ID) + 0.31$	0.80	7.29
9	$MT = 0.49(ID) + 0.08$	0.92	7.49
10	$MT = 0.80(ID) + 0.27$	0.86	8.56

ตารางที่ 4.10 เวลาของผู้ทดสอบใช้ในงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของเม้าส์ S25

ผู้ทดสอบ	Linear regression	R <sup>2</sup>	IP
1	$MT = 0.31(ID) + 0.27$	0.90	6.27
2	$MT = 0.64(ID) + 0.77$	0.92	6.73
3	$MT = 0.32(ID) + 0.10$	0.86	5.68
4	$MT = 0.35(ID) + 0.07$	0.91	6.02
5	$MT = 0.28(ID) + 0.17$	0.97	7.29
6	$MT = 0.27(ID) + 0.08$	0.87	6.59
7	$MT = 0.78(ID) + 0.25$	0.87	6.34
8	$MT = 0.32(ID) + 0.10$	0.87	6.81
9	$MT = 0.35(ID) + 0.21$	0.87	6.68
10	$MT = 0.63(ID) + 0.20$	0.87	7.73

ตารางที่ 4.11 เวลาของผู้ทดสอบใช้ในงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของเม้าส์ L0

ผู้ทดสอบ	Linear regression	R <sup>2</sup>	IP
1	$MT = 0.95(ID) + 0.22$	0.90	7.67
2	$MT = 0.95(ID) + 0.11$	0.94	5.70
3	$MT = 0.77(ID) + 0.25$	0.87	6.63
4	$MT = 0.42(ID) + 0.06$	0.91	8.00
5	$MT = 0.35(ID) + 0.11$	0.86	6.79
6	$MT = 0.36(ID) + 0.14$	0.84	6.51
7	$MT = 0.40(ID) + 0.18$	0.82	6.82
8	$MT = 0.41(ID) + 0.10$	0.89	5.98
9	$MT = 0.32(ID) + 0.10$	0.87	6.76
10	$MT = 0.12(ID) + 0.02$	0.92	4.35

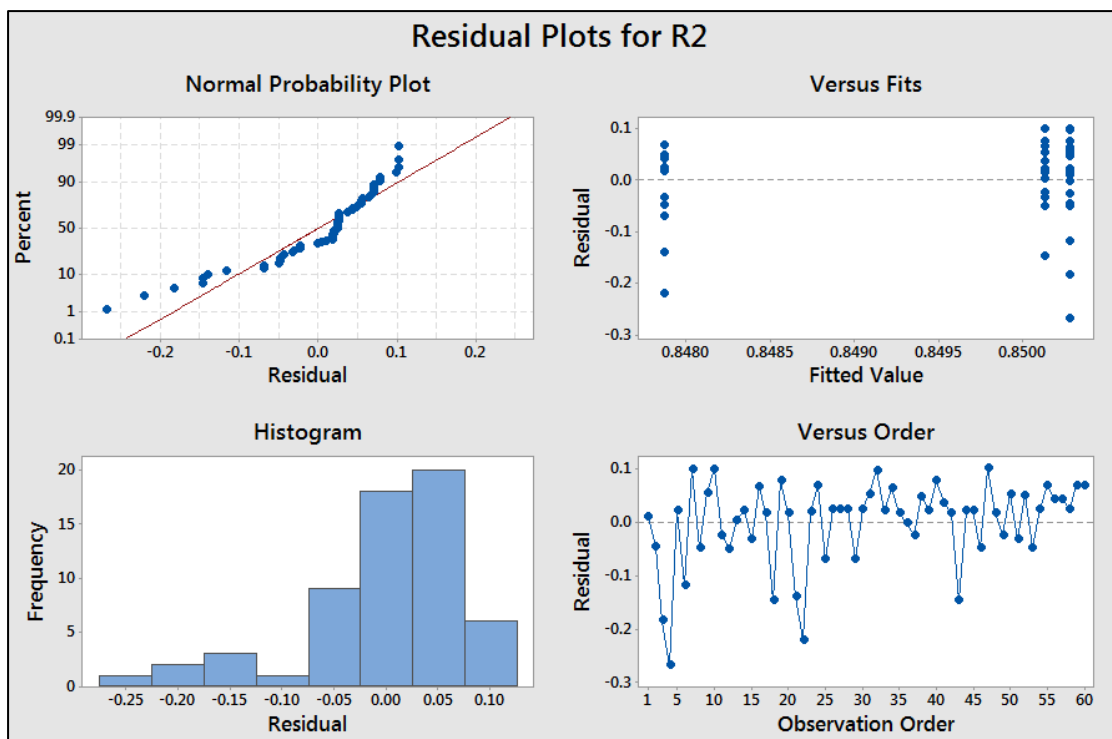
ตารางที่ 4.12 เวลาของผู้ทดสอบใช้ในงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของเม้าส์ L15

ผู้ทดสอบ	Linear regression	R <sup>2</sup>	IP
1	MT = 0.94(ID) + 0.27	0.88	7.23
2	MT = 0.40(ID) + 0.13	0.86	8.50
3	MT = 0.34(ID) + 0.30	0.90	7.23
4	MT = 0.25(ID) + 0.08	0.87	7.06
5	MT = 0.45(ID) + 0.14	0.87	7.20
6	MT = 0.21(ID) + 0.1	0.80	5.22
7	MT = 0.38(ID) + 0.04	0.95	6.97
8	MT = 0.31(ID) + 0.10	0.86	6.81
9	MT = 0.25(ID) + 0.11	0.82	6.80
10	MT = 0.65(ID) + 0.15	0.90	6.50

ตารางที่ 4.13 เวลาของผู้ทดสอบใช้ในงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของเม้าส์ L25

ผู้ทดสอบ	Linear regression	R <sup>2</sup>	IP
1	MT = 0.41(ID) + 0.20	0.81	6.03
2	MT = 0.46(ID) + 0.11	0.89	8.54
3	MT = 0.29(ID) + 0.15	0.99	7.07
4	MT = 0.25(ID) + 0.08	0.87	6.01
5	MT = 0.71(ID) + 0.14	0.91	7.54
6	MT = 0.30(ID) + 0.09	0.89	6.50
7	MT = 0.34(ID) + 0.09	0.89	5.51
8	MT = 0.33(ID) + 0.10	0.87	7.06
9	MT = 0.32(ID) + 0.06	0.91	6.54
10	MT = 0.53(ID) + 0.11	0.91	6.23

ในการวิเคราะห์ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน จากตารางข้างต้นพบว่าค่า R<sup>2</sup> จากสมการเชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ จากการพิจารณากราฟในรูปที่ 4.7 สามารถสรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.7 Residual Plot ของค่า R2

- การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption) จากกราฟ Normal Probability Plot แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรงและมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงแบบปกติเท่ากับ 0.994 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
- การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability) จากกราฟ Residual Versus Fitted Value แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างรอบแนวแกนศูนย์และข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้มหรือรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิด จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีค่าความแปรปรวนคงที่
- จากกราฟ Histogram แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ
- การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual) จากกราฟ Residual Versus Observation Order แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้างที่ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลชุดนี้เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป



#### 4.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติสมรรถนะการทำงานของเม้าส์กับเพศของผู้ทดสอบ

ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดสอบ One Factor ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยข้อมูลในแต่ละชุดจะต้องมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) มีสมมติฐานในการวิเคราะห์ดังนี้

$H_0$ : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเม้าส์ทั้งเพศหญิงและเพศชาย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

$H_1$ : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเม้าส์ทั้งเพศหญิงและเพศชาย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Factor Information					
Factor	Levels	Values			
C1	2	F, M			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
C1	1	0.1004	0.1004	0.12	0.726
Error	58	46.9498	0.8095		
Total	59	47.0502			

รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ One Factor ANOVA ของเพศ

จากการวิเคราะห์ One Factor ANOVA เพื่อพิจารณาเพศหญิงเพศชายที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการทำงานที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยดูจากค่า P Value พบว่า P Value = 0.726 > 0.05 แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเม้าส์ทั้งเพศหญิงและเพศชาย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติปัจจัยร่วมของขนาดและองศาการวางมือ

การกำหนดสมมติฐานของงานวิจัยสมรรถนะการทำงาน (IP) ในการชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของผู้เข้าร่วมทดลองกับเม้าส์ต้นแบบทั้ง 6 ขนาด ดังนี้

สมมติฐานปัจจัยมุมเอียง

$H_0$ : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเม้าส์ที่ค่ามุมเอียง 3 ระดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

$H_1$ : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเม้าส์ที่ค่ามุมเอียงอย่างน้อย 1 ค่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

### สมมติฐานปัจจัยขนาด

$H_0$ : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ 2 ขนาด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

$H_1$ : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ 2 ขนาดอย่างน้อย 1 ค่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

### สมมติฐานปัจจัยร่วม

$H_0$ : มุมเอียงและขนาดที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์

$H_1$ : มุมเอียงและขนาดที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อสมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์อย่างน้อย 1 ค่า

จากการนำข้อมูลในข้อ 4.2 มาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ RCBD Two Factors ANOVA เพื่อศึกษาผลของปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงาน ได้แก่ ขนาดและมุมเอียง ผลวิเคราะห์ทางสถิติ ดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.9

Factor Information					
Factor	Levels	Values			
ขนาด	2	1, 2			
มุม	3	0, 15, 25			

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	9.457	1.8915	0.76	0.582
Linear	3	8.823	2.9411	1.18	0.325
ขนาด	1	3.794	3.7935	1.53	0.222
มุม	2	5.030	2.5148	1.01	0.370
2-Way Interactions	2	0.634	0.3171	0.13	0.880
ขนาด*มุม	2	0.634	0.3171	0.13	0.880
Error	54	134.215	2.4855		
Total	59	143.672			

รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ RCBD Two Factors ANOVA ของปัจจัยร่วม

จากการวิเคราะห์ RCBD Two Factors ANOVA เพื่อพิจารณาปัจจัยหลักและอันตรกิริยา 2 ทาง ที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการทำงานที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยดูจากค่า P-Value ที่ต่ำกว่า 0.05 พบว่า

- ขนาดของเมาส์ที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อสมรรถนะการทำงาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่า  $p\text{-value} = 0.222$
- มุมของเมาส์ที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อสมรรถนะการทำงาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่า  $p\text{-value} = 0.370$

- อันตรกิริยา 2 ทางที่เกิดจากขนาดและมุมของเม้าส์ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อสมรรถนะการทำงาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่า  $p\text{-value} = 0.880$

#### 4.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติสมรรถนะการทำงานของเม้าส์กับสัดส่วนเม้าส์ต่อมือของผู้ทดสอบ

ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดสอบที (T Test Two-Sample Independent) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยข้อมูลในแต่ละชุดจะต้องมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution)

$H_0: \mu_1 = \mu_2$  (สมรรถนะการทำงานของสัดส่วนเม้าส์ต่อมือขนาดเล็กและสัดส่วนเม้าส์ต่อมือขนาดใหญ่ไม่แตกต่างกัน)

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$  (สมรรถนะการทำงานของสัดส่วนเม้าส์ต่อมือขนาดเล็กและสัดส่วนเม้าส์ต่อมือขนาดใหญ่แตกต่างกัน)

ตารางที่ 4.14 ค่า P-Value ของการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเม้าส์ขนาดเล็กและใหญ่

ผู้เข้าทดสอบ	P-Value
1.	0.273
2.	0.397
3.	0.038
4.	0.363
5.	0.691
6.	0.438
7.	0.651
8.	0.345
9.	0.206
10.	0.038

จากการวิเคราะห์ T Test Two-Sample Independent เพื่อพิจารณาสัดส่วนที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการทำงานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยดูจากค่า P Value พบว่า มีผู้เข้าร่วมการทดสอบ 8 คน ที่มีค่า P Value  $> 0.05$  แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนเม้าส์ต่อมือขนาดเล็กและสัดส่วนเม้าส์ต่อมือขนาดใหญ่ไม่แตกต่างกัน และมีผู้ทดสอบ 2 คน มีค่า P Value  $< 0.05$  แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนเม้าส์ต่อมือขนาดเล็กและสัดส่วนเม้าส์ต่อมือขนาดใหญ่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลทดสอบจากโปรแกรม minitab ได้แนบท้ายไว้ในภาคผนวก

#### 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเมล็ดต่อมือและสมรรถนะการทำงาน

จากข้อมูลในข้อ 4.1 และสัดส่วนเมล็ดต่อมือตามแนวความยาวของผู้ทดลองทั้ง 10 คน รูปที่ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนเมล็ดต่อมือและสมรรถนะการทำงานในสองปัจจัยคือขนาดและมุมของพบว่า

##### **ขนาด**

##### **เมล็ดขนาดเล็ก**

ผู้ทดลองคนที่ 10 มีขนาดสัดส่วนเมล็ดต่อมือ 0.59 สามารถใช้งานเมล็ดได้ดีที่สุดที่ค่าสมรรถนะ (IP) เท่ากับ 8.56 ที่มุม 15 องศา

ผู้ทดลองคนที่ 3 มีขนาดสัดส่วนเมล็ดต่อมือ 0.45 สามารถใช้งานเมล็ดได้แย่ที่สุดที่ค่าสมรรถนะ (IP) เท่ากับ 5.68 ที่มุม 25 องศา

##### **เมล็ดขนาดใหญ่**

ผู้ทดลองคนที่ 2 มีขนาดสัดส่วนเมล็ดต่อมือ 0.57 สามารถใช้งานเมล็ดได้ดีที่สุดที่ค่าสมรรถนะ (IP) เท่ากับ 8.50 ที่มุม 15 องศา

ผู้ทดลองคนที่ 6 มีขนาดสัดส่วนเมล็ดต่อมือ 0.70 สามารถใช้งานเมล็ดได้แย่ที่สุดที่ค่าสมรรถนะ (IP) เท่ากับ 5.22 ที่มุม 25 องศา

##### **มุม**

##### **มุม 0 องศา**

ผู้ทดลองคนที่ 3 มีขนาดสัดส่วนเมล็ดต่อมือ 0.60 สามารถใช้งานเมล็ดขนาดใหญ่ได้ดีที่สุดที่ค่าสมรรถนะ (IP) เท่ากับ 10.09 ที่มุม 0 องศา

ผู้ทดลองคนที่ 10 มีขนาดสัดส่วนเมล็ดต่อมือ 0.78 สามารถใช้งานเมล็ดขนาดใหญ่ได้แย่ที่สุดที่ค่าสมรรถนะ (IP) เท่ากับ 4.35 ที่มุม 0 องศา

##### **มุม 15 องศา**

ผู้ทดลองคนที่ 2 มีขนาดสัดส่วนเมล็ดต่อมือ 0.57 สามารถใช้งานเมล็ดขนาดใหญ่ได้ดีที่สุดที่ค่าสมรรถนะ (IP) เท่ากับ 8.50 ที่มุม 15 องศา

ผู้ทดลองคนที่ 6 มีขนาดสัดส่วนเมล็ดต่อมือ 0.70 สามารถใช้งานเมล็ดขนาดใหญ่ได้แย่ที่สุดที่ค่าสมรรถนะ (IP) เท่ากับ 5.22 ที่มุม 15 องศา

##### **มุม 25 องศา**

ผู้ทดลองคนที่ 2 มีขนาดสัดส่วนเมล็ดต่อมือ 0.57 สามารถใช้งานเมล็ดขนาดใหญ่ได้ดีที่สุดที่ค่าสมรรถนะ (IP) เท่ากับ 8.54 ที่มุม 25 องศา

ผู้ทดลองคนที่ 7 มีขนาดสัดส่วนเม้าส์ต่อมือ 0.70 สามารถใช้งานเม้าส์ขนาดใหญ่ได้แย่มากที่สุดที่ค่าสมรรถนะ (IP) เท่ากับ 5.51 ที่มุม 25 องศา

จากกราฟพบว่าสมรรถนะการทำงานมีความสัมพันธ์แบบพาราโบลาดังรูปที่ 4.10 ไปในทิศทางเดียวกันคือ ขนาดที่ส่งผลให้ผู้ทดสอบได้สมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุดของเม้าส์ทั้ง 6 แบบนั้นคือจุดยอดของกราฟพาราโบลา สะท้อนให้เห็นว่าเม้าส์ไม่ว่าจะขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่จะทำงานได้เกิดสมรรถนะสูงสุดขึ้นอยู่กับขนาดมือที่เหมาะสมตามสัดส่วนของผู้ใช้งาน สมการความสัมพันธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.15 สมการความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่งกับสัดส่วนเม้าส์ต่อมือ

ลำดับสมการ	มุมขึ้นงานต้นแบบ	สมการ	$R^2$	จุดยอดสมการ
1	0°	$IP = -49.82x^2 + 57.82x - 9.61$	0.40	0.58
2	15°	$IP = -41.01x^2 + 49.15x - 7.37$	0.50	0.60
3	25°	$IP = -25.13x^2 + 30.24x - 2.15$	0.51	0.60

โดยที่ IP คือ สมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task)  
x คือ สัดส่วนเม้าส์ต่อมือ

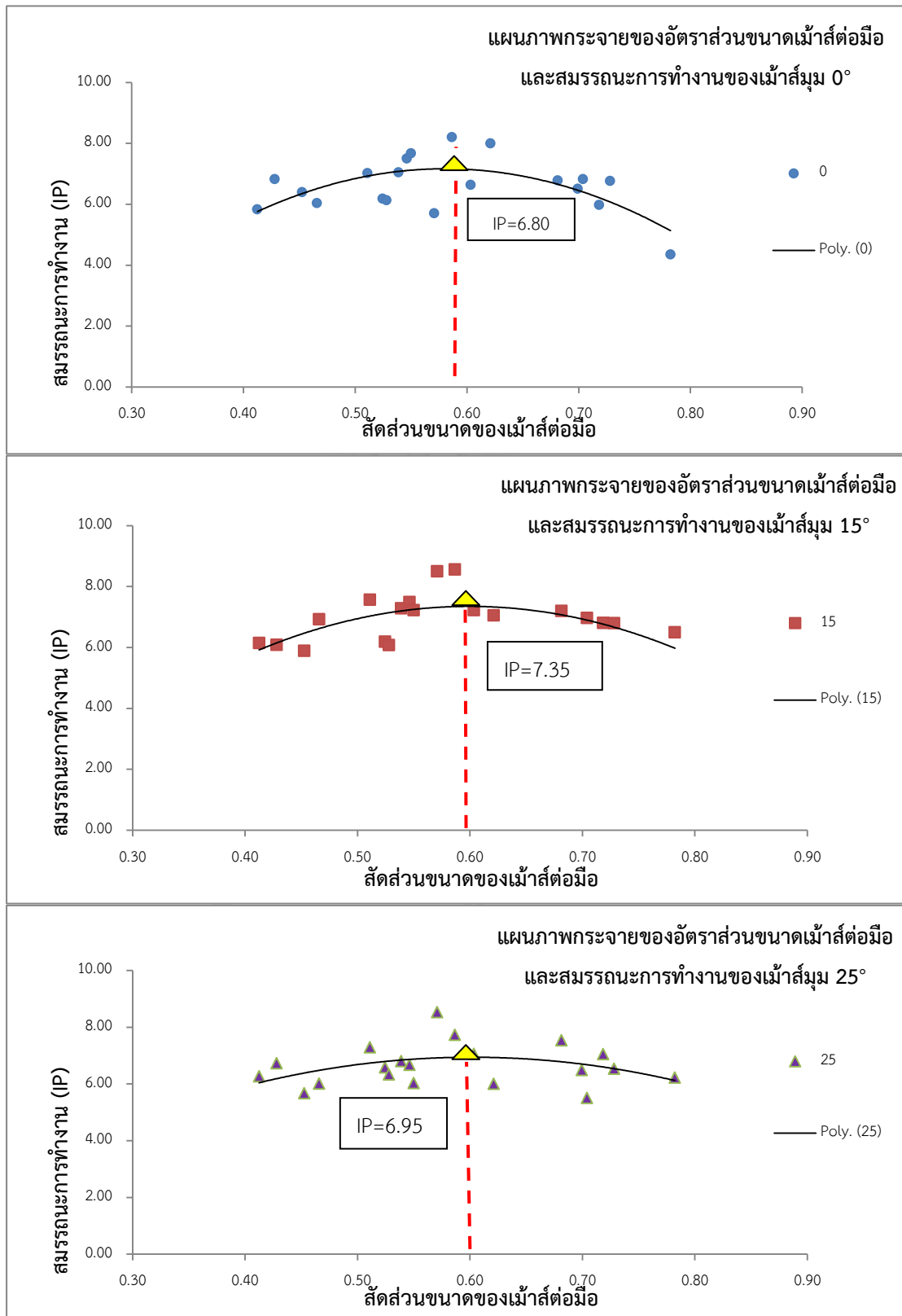
เมื่อคำนวณหาค่าจุดยอดของสมการจะได้ค่าสมรรถนะการทำงานดังต่อไปนี้

เม้าส์ต้นแบบที่มุม 0 องศา มีจุดยอดของสมการอยู่ที่ 0.58 ค่าสมรรถนะการทำงานเท่ากับ 6.80

เม้าส์ต้นแบบที่มุม 15 องศา มีจุดยอดของสมการอยู่ที่ 0.60 ค่าสมรรถนะการทำงานเท่ากับ 7.35

เม้าส์ต้นแบบที่มุม 25 องศา มีจุดยอดของสมการอยู่ที่ 0.60 ค่าสมรรถนะการทำงานเท่ากับ 6.95

เมื่อนำข้อมูลของสัดส่วนเม้าส์ต่อมือและสมรรถนะการทำงานของเม้าส์ต้นแบบ 2 ขนาดที่ทำมุม 3 ระดับจะได้กราฟดังรูปที่ 4.10

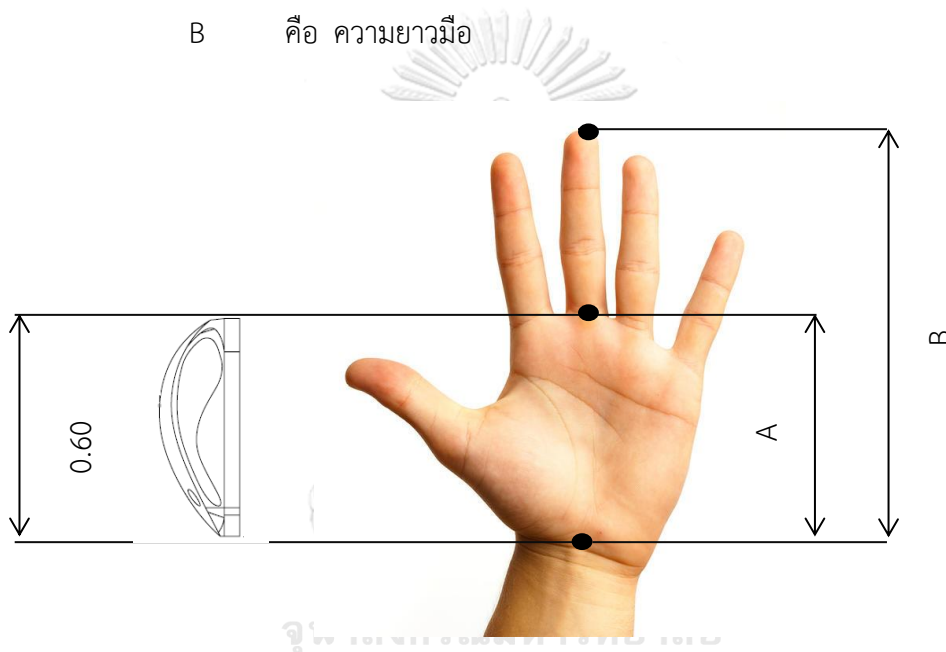


รูปที่ 4.10 แผนภาพกระจายของอัตราส่วนขนาดนิ้วต่อมือและสมรรถนะการทำงาน

จากกราฟข้างต้นแสดงอัตราส่วนของไม้ส้นแบบทั้ง 6 แบบที่ทำมุม 3 ระดับและสองขนาด เห็นได้ว่าขนาดส้นส่วนไม้ส้นต่อมือในช่วง 0.57-0.60 จะส่งผลให้ผู้ใช้งานมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุด และเพื่อง่ายในทางปฏิบัติจึงใช้ขนาดส้นส่วนไม้ส้นต่อมือมีค่าเท่ากับ 0.60 ซึ่งใกล้เคียงกับส้นส่วนมือที่ตำแหน่งความยาวพาล์มของคน ดังรูปที่ 4.11 เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อไม้ส้นตามท้องตลาดที่มีขนาดหลากหลายให้เหมาะสมกับตนเอง

$$\frac{A}{B} = 0.615$$

โดยที่      A      คือ ความยาวพาล์ม  
              B      คือ ความยาวมือ



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบขนาดส้นส่วนไม้ส้นที่ส่งผลให้สมรรถนะการทำงานสูงสุดและตำแหน่งของมือ

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ทำการสร้างเม้าส์ต้นแบบและประเมินสมรรถนะการทำงานตามแนวทางของ Fitt's law โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของขนาดเม้าส์ต่อมือและมุมเอียงที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการใช้เม้าส์การยศาสตร์ จากการศึกษาและการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

#### 5.1 การสร้างชิ้นงานต้นแบบ

การสร้างชิ้นงานต้นแบบโดยอาศัยหลักการการยศาสตร์ ที่มีความยาวของเม้าส์ตั้งแต่ 7.9-10.5 เซนติเมตร ที่ทำมุมระหว่าง  $0^{\circ}$ - $30^{\circ}$  น้ำหนักมืออยู่ที่ 50 กรัม ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.5 และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีค่าเท่ากับ 0.25 (Bevier, Mehendale et al.)

#### 5.2 การประเมินผลการทดลอง

##### 5.2.1 เปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเม้าส์กับเพศของผู้ทดสอบ

ประเมินเวลาการตอบสนองและสมรรถนะของการทำงานเม้าส์จากปัจจัยมุมเอียงของเม้าส์ 3 ระดับ และเม้าส์ต้นแบบ 2 ขนาด โดยขนาดของเม้าส์ต้นแบบขนาดเล็ก  $4.2 \times 7.9$  ซม. (กว้าง ยาว , ซม.) และขนาดใหญ่  $5.6 \times 10.5$  ซม. (กว้าง ยาว , ซม.) ที่ทำมุม 3 ระดับ คือ  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  รวมทั้งหมดจำนวน 6 ชิ้นงานต้นแบบ ด้วยวิธีการเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน เป็นชาย 5 คน และหญิง 5 คน ที่ระดับความยากของงาน 8 ระดับ

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าสมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเม้าส์ต้นแบบ 2 ขนาดที่มุมเอียง 3 ระดับ ( $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ ) ทั้งเพศหญิงและเพศชาย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ระดับนัยสำคัญ 0.05 (p-value =0.726)

##### 5.2.2 ปัจจัยร่วมของขนาดและองศาการวางมือ

การประเมินเวลาการตอบสนองการและสมรรถนะของการทำงานเม้าส์ จากปัจจัยมุมเอียงของเม้าส์ 3 ระดับ และเม้าส์ต้นแบบ 2 ขนาด โดยขนาดของเม้าส์ต้นแบบขนาดเล็ก  $4.2 \times 7.9$  ซม. (กว้าง ยาว , ซม.) และขนาดใหญ่  $5.6 \times 10.5$  ซม. (กว้าง ยาว , ซม.) ที่ทำมุม 3 ระดับคือ  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  ทั้งหมด 6 ชิ้นงานต้นแบบ ด้วยการเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน ที่ระดับความยากของงาน 8 ระดับ



จากการวิเคราะห์ RCBD Two Factors ANOVA พบว่า ขนาดของเมาส์ มุม และอันตรกิริยา 2 ทาง ที่เกิดจากการใช้เมาส์ต้นแบบ 2 ขนาดที่มุมเอียง 3 ระดับ ( $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ ) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระดับนัยสำคัญ 0.05 ( $p\text{-value} \geq 0.50$ )

### 5.2.3 เปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเมาส์กับสัดส่วนเมาส์ต่อมือของผู้ทดสอบ

การประเมินเวลาการตอบสนองใช้งานเมาส์และสมรรถนะการใช้งานเมาส์ จากปัจจัยมุมเอียงของเมาส์ 3 ระดับและเมาส์ต้นแบบ 2 ขนาด โดยขนาดของเมาส์ต้นแบบขนาดเล็ก  $4.2 \times 7.9$  ซม. (กว้าง x ยาว , ซม.) และขนาดใหญ่  $5.6 \times 10.5$  ซม. (กว้าง x ยาว , ซม.) ที่ทำมุม 3 ระดับ คือ  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$  ทั้งหมด 6 ชิ้นงานต้นแบบ ด้วยการเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการชี้ตำแหน่ง (Pointing Task) ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน ที่ระดับความยากของงาน 8 ระดับ โดยผู้ทดสอบมีสัดส่วนมือต่อมือในช่วง 0.41-0.78

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี T Test Two-Sample Independent พบว่าผู้เข้าร่วมการทดลอง 8 คน ที่มีค่า P Value  $> 0.05$  แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนเมาส์ต่อมือขนาดเล็กและสัดส่วนเมาส์ต่อมือขนาดใหญ่ไม่แตกต่างกัน และมีผู้ทดสอบ 2 คน คือ คนที่ 3 และคนที่ 10 มีค่า P Value  $< 0.05$  แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนเมาส์ต่อมือขนาดเล็กและสัดส่วนเมาส์ต่อมือขนาดใหญ่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับผู้เข้าทดสอบที่มีค่า P Value  $> 0.05$  จำนวน 2 คน คือผู้เข้าทดสอบคนที่ 3 มีประสบการณ์ในการใช้เมาส์ 12 ปี ประกอบอาชีพวิศวกร ใช้เมาส์ในการทำงาน 5 ชั่วโมงต่อวัน มีความยาวมือ 17.5 เซนติเมตร สัดส่วนเมาส์ต่อมือ 0.45, 0.60 ขนาดเล็กและใหญ่ตามลำดับ และผู้เข้าทดสอบคนที่ 10 มีประสบการณ์ในการใช้เมาส์ 10 ปี ประกอบอาชีพพนักงานบัญชี ใช้เมาส์ในการทำงาน 2 ชั่วโมงต่อวัน มีความยาวมือ 13.5 เซนติเมตร สัดส่วนเมาส์ต่อมือ 0.59, 0.78 ขนาดเล็กและใหญ่ตามลำดับ

จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความคุ้นชินในการใช้งานของเมาส์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสมรรถนะการใช้งานเมาส์ ทำให้พบความแตกต่างระหว่างสัดส่วนเมาส์ต่อมือขนาดเล็กและสัดส่วนเมาส์ต่อมือขนาดใหญ่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

### 5.3 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่าเมาส์การยศาสตร์ที่ออกแบบให้มีความสอดคล้องตามหลักการสรีรศาสตร์นั้นไม่มีผลในการลดสมรรถนะการทำงานแต่อย่างใด แต่ช่วยเพิ่มระดับความปลอดภัยในการทำงาน ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการทำงานคือ สัดส่วนของขนาดเมาส์ต่อมือตามแนวความยาว ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

เมื่อพิจารณาระดับความยากของการทำงานพบว่า ดัชนีความยากของงานกับเวลาการทำงาน มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกล่าวคือ เมื่อดัชนีความยากของงานเพิ่มขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทำงาน เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปตามหลักแนวคิดของ Fitts' Law แสดงให้เห็นว่า อนาคตการวางมือไม่ได้ส่งผลต่อสมรรถนะการทำงาน จากการทดสอบสถิติพบว่า แสดงว่าขนาดและมุมเอียง ไม่ส่งผลต่อสมรรถนะการใช้งานของเมาส์ ( $p\text{-value} > 0.05$ )

วิเคราะห์สัดส่วนขนาดของเมาส์ต่อขนาดของมือ ในช่วง 0.41-0.78 กับสมรรถนะการทำงานพบว่า ขนาดสัดส่วนเมาส์ต่อมือที่มีค่าเท่ากับ 0.60 ให้ค่าสมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุดในงานต้นแบบทั้ง 2 ขนาด และที่มุม 3 มุม โดยตำแหน่งดังกล่าวจะใกล้เคียงกับตำแหน่งความยาวปาล์ม ดึงสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{มุม } 0^\circ : \quad IP = -49.82x^2 + 57.82x - 9.61$$

$$\text{มุม } 15^\circ : \quad IP = -41.01x^2 + 49.15x - 7.37$$

$$\text{มุม } 25^\circ : \quad IP = -25.13x^2 + 30.24x - 2.15$$

เมื่อ IP คือ สมรรถนะการทำงานชี้ตำแหน่ง (Pointing Task)

x คือ สัดส่วนเมาส์ต่อมือตามแนวความยาว

จากงานวิจัยพบว่าเมาส์ต้นแบบที่มุม 15 องศาให้สมรรถนะการทำงานดีที่สุด

#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

1. การขึ้นรูปของชิ้นงานด้วย 3D Printer ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความละเอียด โดยสามารถขึ้นรูปชิ้นงานบางที่สุดได้เพียง 2 มิลลิเมตร ทำให้เมาส์ต้นแบบมีน้ำหนักมาก ส่งผลให้การใช้งานลำบากกว่าเมาส์ในท้องตลาด รวมถึงการประกอบแผงวงจรภายในจากการขึ้นรูปบางได้เพียง 2 มิลลิเมตร แต่แผงวงจรสำเร็จรูประยะเซ็นเตอร์จะทำงานได้ดีในช่วง 1-1.5 มิลลิเมตร หากเครื่อง 3D Printer มีการพัฒนาความละเอียดของชิ้นงานและวัสดุที่หลากหลายมากกว่านี้ในอนาคตจะสามารถทำการขึ้นรูปชิ้นงานได้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น
2. ข้อมูลขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย ระยะที่ 4 พ.ศ. 2543-2544 จากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เป็นข้อมูลที่เก่าเนื่องจากยังไม่มีหน่วยงานใดทำการสำรวจในช่วงปัจจุบัน
3. การทดสอบออกแบบระดับความยากของงานเป็น 8 ระดับ ซึ่งมากเกินไปจนจำเป็นทำให้ผู้ทดสอบเกิดความล้าจึงต้องให้ผู้ทดสอบพักระหว่างการทดสอบมีผลให้การเก็บข้อมูลใช้เวลานาน

4. การทดลองนี้มีข้อจำกัดเรื่องต้นทุน จึงไม่สามารถทำการทดลองเม้าส์ได้หลายขนาด กราฟความสัมพันธ์จึงเกิดจากคนหลายคน เพราะการคัดเลือกกลุ่มผู้ร่วมทดลองหาสามารถทำได้ง่ายกว่าการขึ้นรูปชิ้นงานใหม่หลายๆตัว และหากมีการปรับปรุงในการอนาคตโดยการสร้างชิ้นงานให้มีขนาดที่มากขึ้นแล้วเปรียบเทียบผู้ทดลองเป็นรายบุคคล จะทำให้เห็นภาพความสัมพันธ์ที่ชัดเจนยิ่งขึ้น



## บรรณานุกรม

Beckmann, P. (1993). "Desktop publishing applications for corporate graphic standards."

Bevier, K., et al. "Designing an Ergonomic Computer Mouse."

Card, S. K., et al. (1978). "Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys, and text keys for text selection on a CRT." **21**(8): 601-613.

Crisco, J. J., et al. (2003). "Carpal bone postures and motions are abnormal in both wrists of patients with unilateral scapholunate interosseous ligament tears1." **28**(6): 926-937.

Drake, R., et al. (2009). Gray's Anatomy for Students E-Book, Elsevier Health Sciences.

MacKenzie, I. S. J. H.-c. i. (1992). "Fitts' law as a research and design tool in human computer interaction." **7**(1): 91-139.

Manning, J. T., et al. (2003). "The second to fourth digit ratio and variation in the androgen receptor gene." **24**(6): 399-405.

Osborne, D. J. (1987). Ergonomics at work, Wiley New York.

Rahman, N. I. A., et al. (2018). "Anthropometric measurements among four Asian countries in designing sitting and standing workstations." **43**(1): 10.

Segalle, J. A. (2003). Orthopedic computer mouse, Google Patents.

Sheehan, P., et al. (2003). Ergonomic mouse device, Google Patents.

Woods, V., et al. (2003). "Development of non-keyboard input device checklists through assessments." **34**(6): 511-519.

Hagberg, M., Morgenstern, H. and Kelsh., Impact of occupations and job tasks on the prevalence of carpal tunnel syndrome, Scandinavian Journal Work Environment and Health, 1992. 18: p.772-780.

Valerie Woods, Sarah Hastings., Ergonomics of using a mouse or other non-keyboard input device, Loughborough University, 2002. : p.23-41.

Aarås, A., Fostervold, K., Ro, O., Thorenson, M. and Larsen, S. 1997, Postural load during VDU work: a comparison between various work postures, *Ergonomics*, 40, 11, p.1255-1268.

Burgess-Limerick, R. and Green, B. 2000, Using multiple case studies in ergonomics: an example of pointing device use, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26, p.381-388.

Card, SK., English, WK. and Burr, BJ. 1978, Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys, and text keys for text selection on a CRT, *Ergonomics*, 21, p.601-613.

Carnahan, H., Goodale, MA., Marteniuk, RG. 1993, Grasping versus pointing and the differential use of visual feedback, *Human Movement Science*, 12, p.219-234.

Cook, C. and Kothiyal, K. 1998, Influence of mouse position on muscular activity in the neck, shoulder and arm in computer users, *Applied Ergonomics*, 29, p.439-443.

Damann, EA. and Kroemer, KHE. 1995, Wrist posture during computer mouse usage, *Proceedings of the Human Factors 39th annual meeting*, Oct 9-13, San Diego, p. 625-629.

Fernström, E. and Ericson, MO. 1997, Computer mouse or trackpoint - effects on muscular load and operator experience, *Applied Ergonomics*, 28, p.347-354.

Hagberg, M., Morgenstern, H. and Kelsh, M. 1992, Impact of occupations and job tasks on the prevalence of carpal tunnel syndrome, *Scandinavian Journal Work Environment and Health*, 18, p.772-780.

Karlqvist, L., Hagberg, M. and Selin, K. 1994, Variation in upper limb posture and movement during word processing with and without mouse use, *Ergonomics*, 37,

p.1261-1267.

Keir, P.J., Bach, J.M. and Rempel, D. 1999, Effects of computer mouse design and task on carpal tunnel pressure, *Ergonomics*, 42, p.1350-1360.

Peters, M. and Ivanoff, J. 1999, Performance symmetrics in computer mouse control of right-handers, and left-handers with left and right-handed mouse experience, *Journal of Motor Behaviour*, 31, p.86-94.

กระทรวงอุตสาหกรรม, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. "รายงานการสำรวจและวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายคนไทย." 74, 2548.

วราภรณ์ พิทักษ์ธรรมคุณ, การประเมินสมรรถนะของการลากเม้าส์การยศาสตร์ตามแนวทางของ STEERING LAW, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2557, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภัทรพร เกียรติธรรม, ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพของเม้าส์และสมรรถนะการใช้งานของผู้ใช้, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2555, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดร.นพ.พรเทพ ศิริวนารังสรรค์. ภาวะโรคคอออฟฟิศซินโดรม. 7 กุมภาพันธ์ 2560]; Available from: [http://www.anamai.moph.go.th/ewt\\_news.php?nid=8547](http://www.anamai.moph.go.th/ewt_news.php?nid=8547)

กภ.ทิพวรรณ สิทธิ. โรคการกดทับเส้นประสาทบริเวณข้อมือ. 4 มีนาคม 2560]; Available from: <http://www.pt.mahidol.ac.th/knowledge/?p=196>





**แบบสอบถามความถนัดในการใช้เมาส์**  
**สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์**  
**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

**คำชี้แจง** แบบสอบถามความถนัดในการใช้เมาส์

แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของการทำวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเมาส์และขนาดมือของผู้ใช้งาน ซึ่งผลการสำรวจครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงเมาส์ขนาดที่เหมาะสม ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมือและขนาดเมาส์ คำตอบของท่านมีคุณค่าอย่างยิ่งต่องานวิจัย ผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลที่ได้รับจากท่านไว้เป็นความลับ โดยจะนำไปใช้เพื่อสรุปผลการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ข้อมูลที่ตรงกับความจริงและสมบูรณ์จะช่วยให้การวิจัยดำเนินไปด้วยความถูกต้อง ผู้วิจัยจึงใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่าน โปรดตอบแบบสอบถามตามความคิดเห็นของท่านอย่างรอบคอบให้ครบทุกข้อ

**แบบสอบถามนี้แบ่งออกเป็น 4 ตอน มีจำนวน 4 หน้า**

**ตอนที่ 1** เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบ ลักษณะเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check-List) และแบบให้เลือกตอบระหว่าง 2 คำตอบ (Dichotomous Questions) มีจำนวน 7 ข้อ

**ตอนที่ 2** เป็นแบบสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับความรู้สึกหลังจากได้ทดสอบสมรรถนะการใช้เมาส์ในรูปแบบต่างๆ ลักษณะเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check-List) มีจำนวน 3 ข้อ

**ตอนที่ 3** เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจการเลือกซื้อเมาส์ ลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า (Rating Scale) มีจำนวน 7 ข้อ

**ผู้จัดทำ**



## แบบสอบถาม

## ความถนัดในการใช้เมาส์

## ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

**คำชี้แจง** โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในวงเล็บ ( ) ให้ตรงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุดที่สุดเพียง

## ข้อเดียว

1. เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง
2. อายุ ( ) ต่ำกว่า 15 ปี ( ) 16 - 20 ปี ( ) 21 - 25 ปี  
( ) 26 - 30 ปี ( ) 31 ปีขึ้นไป
3. ขนาดมือด้านยาว  
( ) น้อยกว่า 13.00 ซม. ( ) 13.1 - 14.5 ซม. ( ) 14.6- 15.5 ซม.  
( ) 15.6 - 16.5 ซม. ( ) 16.6 - 17.5 ซม. ( ) มากกว่า 17.6 ซม.
5. ความถนัดของมือ
  - 5.1 ทางด้านการออกแรง ( ) ซ้าย ( ) ขวา
  - 5.2 ทางด้านความแม่นยำ ( ) ซ้าย ( ) ขวา
6. อาชีพ  
( ) ข้าราชการ/เจ้าหน้าที่รัฐ/รัฐวิสาหกิจ ( ) พนักงาน/ลูกจ้างเอกชน  
( ) ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว ( ) เกษตรกร ( ) รับจ้างทั่วไป  
( ) กรรมกร ( ) นักเรียน/นักศึกษา ( ) แม่บ้าน/พ่อบ้าน  
( ) วางงาน/ไม่มีงานทำ ( ) อื่นๆ
7. ระยะเวลาการทำงานที่ต้องใช้เมาส์โดยเฉลี่ยต่อวัน  
( ) น้อยกว่า 1 ชม. ( ) ตั้งแต่ 1 - 2 ชม.  
( ) ตั้งแต่ 3 - 4 ชม. ( ) ตั้งแต่ 5 - 6 ชม.  
( ) ตั้งแต่ 7 - 8 ชม. ( ) ตั้งแต่ 9 ชม. ขึ้นไป

**ตอนที่ 2** ข้อมูลเกี่ยวกับความรู้สึกหลังจากได้ทดสอบสมรรถนะการใช้เมาส์ในรูปแบบต่างๆ

**คำชี้แจง** โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในวงเล็บ ( ) หน้าข้อให้ตรงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุดเพียงข้อเดียว

1. เมื่อท่านได้รับการทดสอบสมรรถนะการใช้เมาส์แล้ว ท่านรู้สึกว่ามีเมาส์ขนาดเล็กใดเหมาะกับการทำงานของท่านมากที่สุด

( ) ขนาดเล็ก แบบที่ 1

( ) ขนาดเล็ก แบบที่ 2

2. เมื่อท่านได้รับการทดสอบสมรรถนะการใช้เมาส์แล้ว ท่านรู้สึกว่ามีเมาส์ขนาดเล็กใดเหมาะกับการทำงานของท่านมากที่สุด

( ) ขนาดใหญ่ แบบที่ 3

( ) ขนาดใหญ่ แบบที่ 4

3. เมื่อท่านได้รับการทดสอบสมรรถนะการใช้เมาส์แล้ว ท่านรู้สึกว่ามีเมาส์องศาเท่าใดเหมาะกับการทำงานของท่านมากที่สุด

( ) 0 องศา

( ) 15 องศา

( ) 25 องศา

**ตอนที่ 3** ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจการเลือกซื้อเมาส์

**คำชี้แจง** โปรดพิจารณาข้อความตามปัจจัยต่อไปนี้ในแต่ละข้อว่ามีผลต่อการตัดสินใจการเลือกซื้อเมาส์ มากน้อยเพียงใดโดยเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับสภาพความเป็นจริงของท่านมากที่สุดเพียงช่องเดียว

น้อยที่สุด = 1

น้อย = 2

ปานกลาง = 3

มาก = 4

มากที่สุด = 5

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจ	ระดับความสำคัญ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. ขนาด					
2. องศา					

3. สี					
4. ราคาของผลิตภัณฑ์					
5. ที่ตั้งและความสะดวกในการ เข้าถึงร้าน					
6. การจัดทำรุ่นลิมิเต็ด					
7. การจัดทำโปรโมชั่น					

### ข้อเสนอแนะอื่นๆ

.....

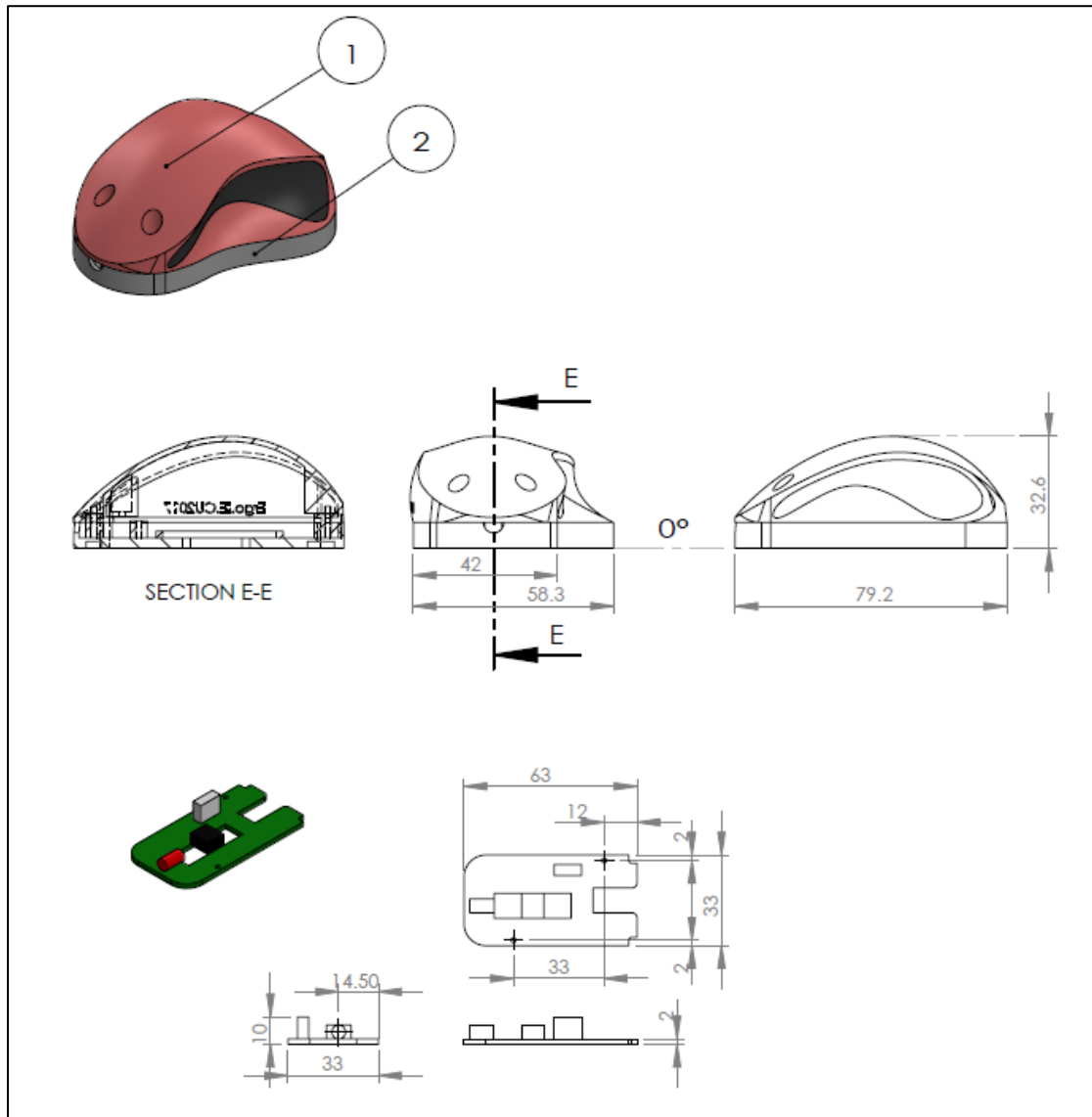
.....

.....

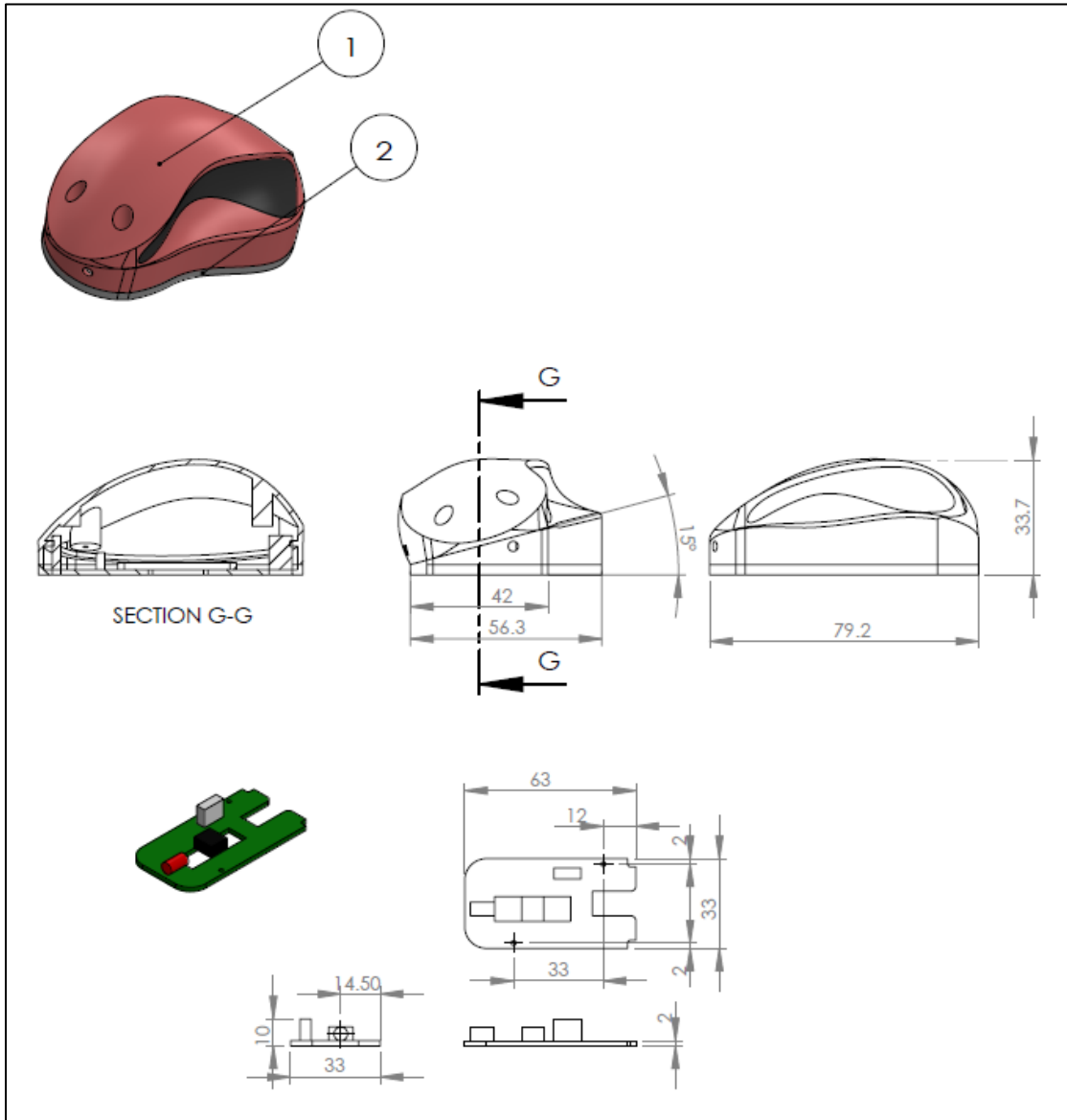
“ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือตอบแบบสอบถามอย่างครบถ้วนและตรงตามความเป็นจริง”

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

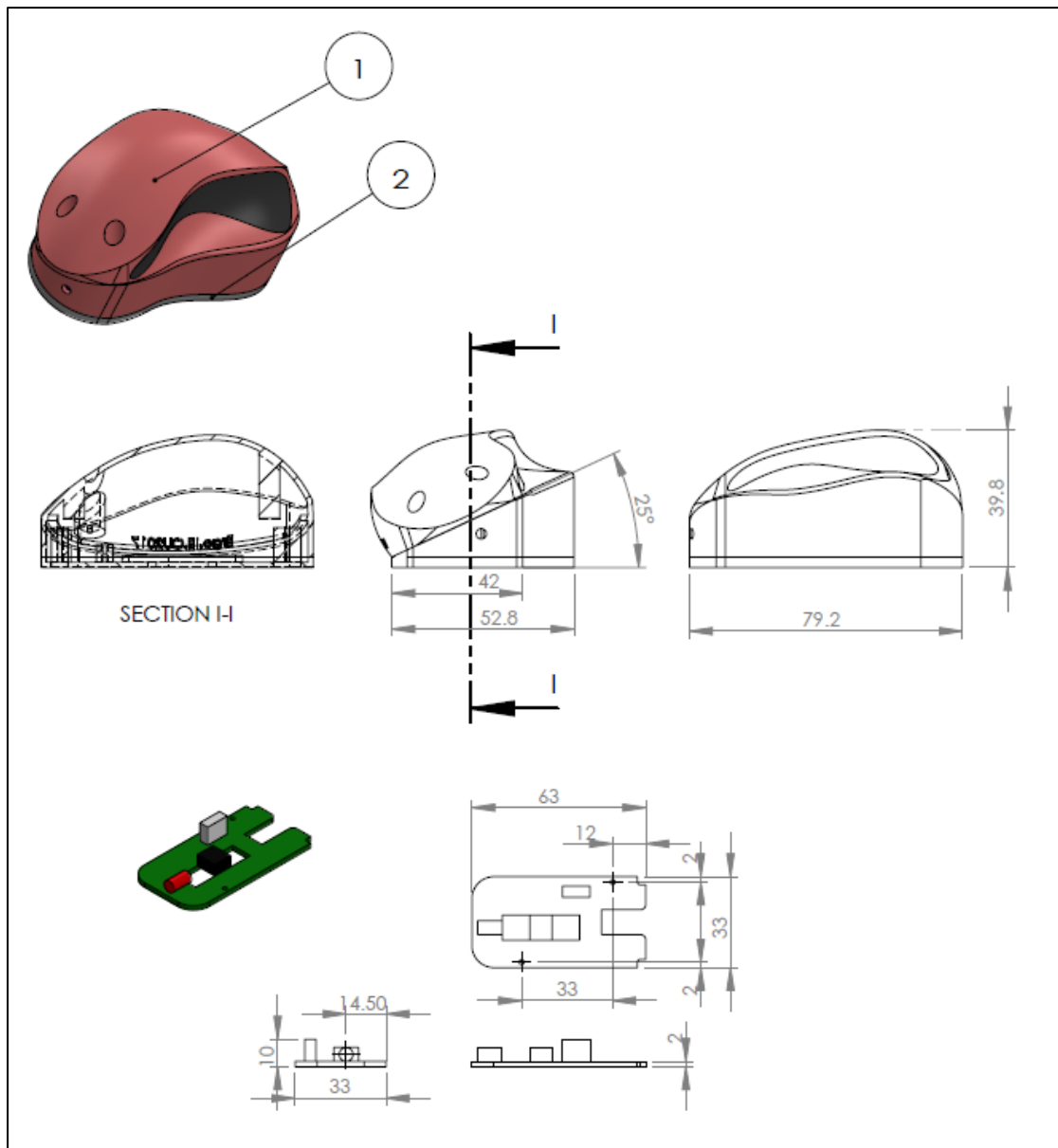
แบบเม้าส์ต้นแบบขนาดเล็ก 0 องศา



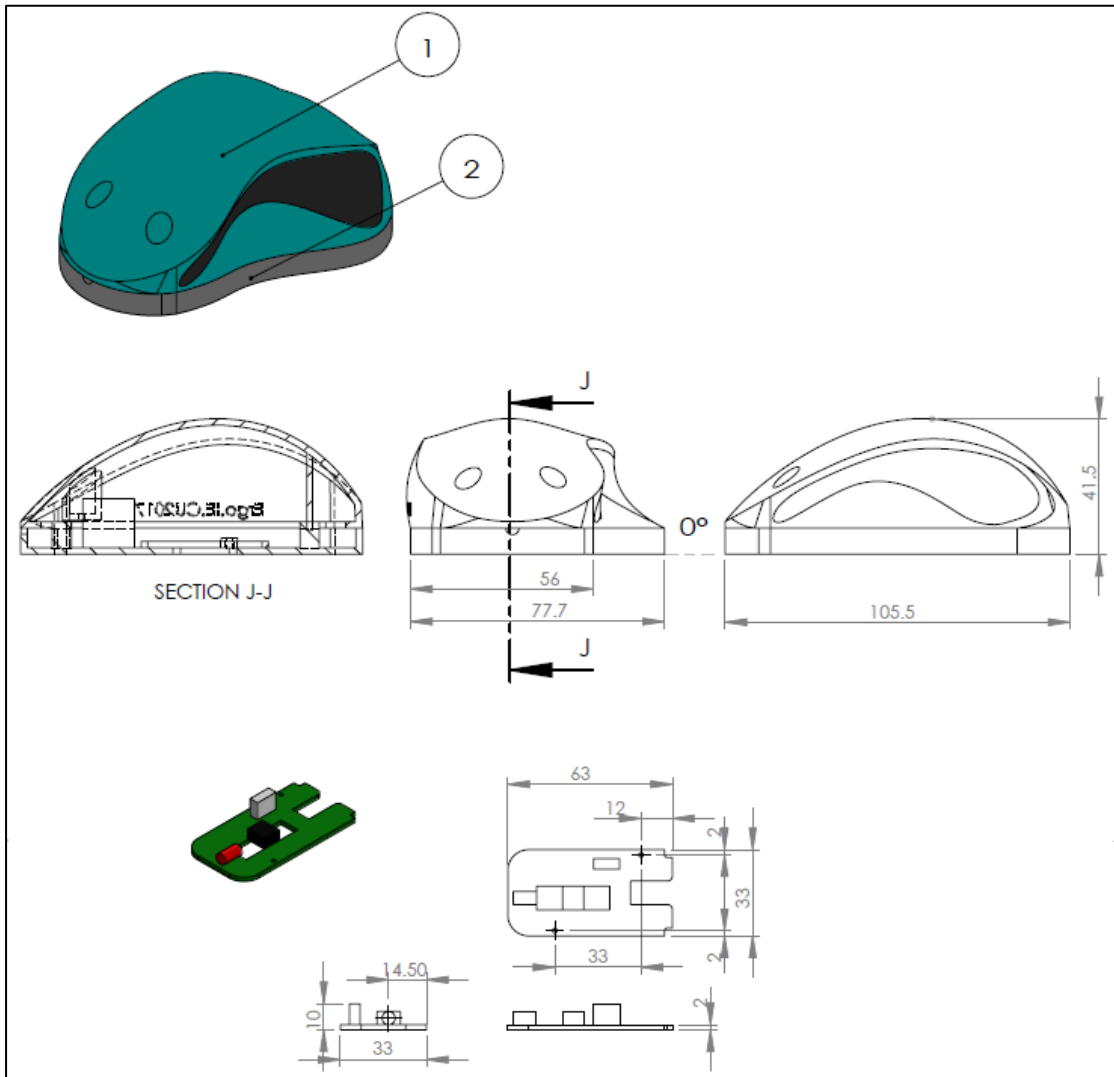
## แบบเม้าส์ต้นแบบขนาดเล็ก 15องศา



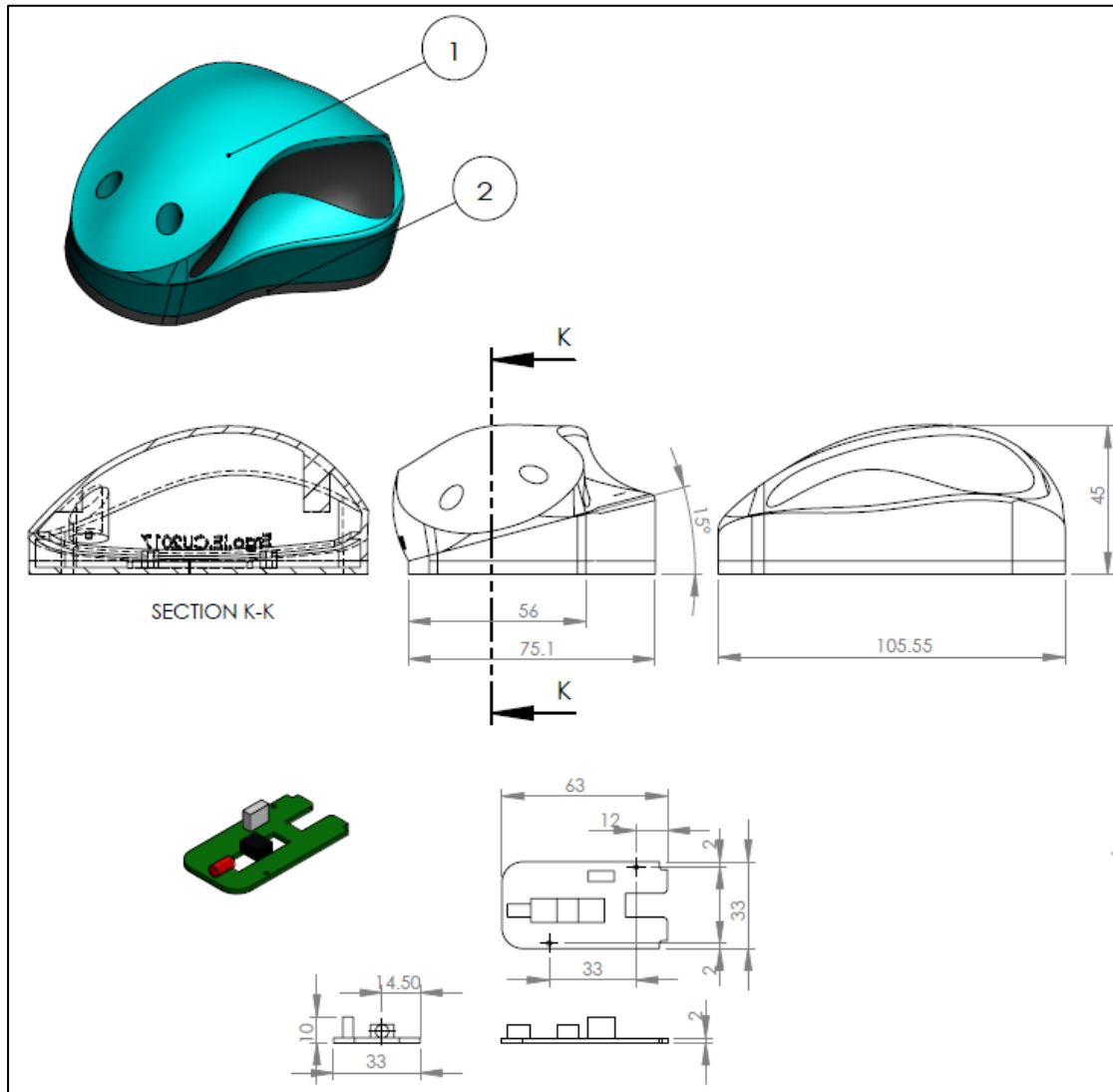
แบบเม้าส์ต้นแบบขนาดเล็ก 25 องศา



## แบบเม้าส์ต้นแบบขนาดใหญ่ 0 องศา

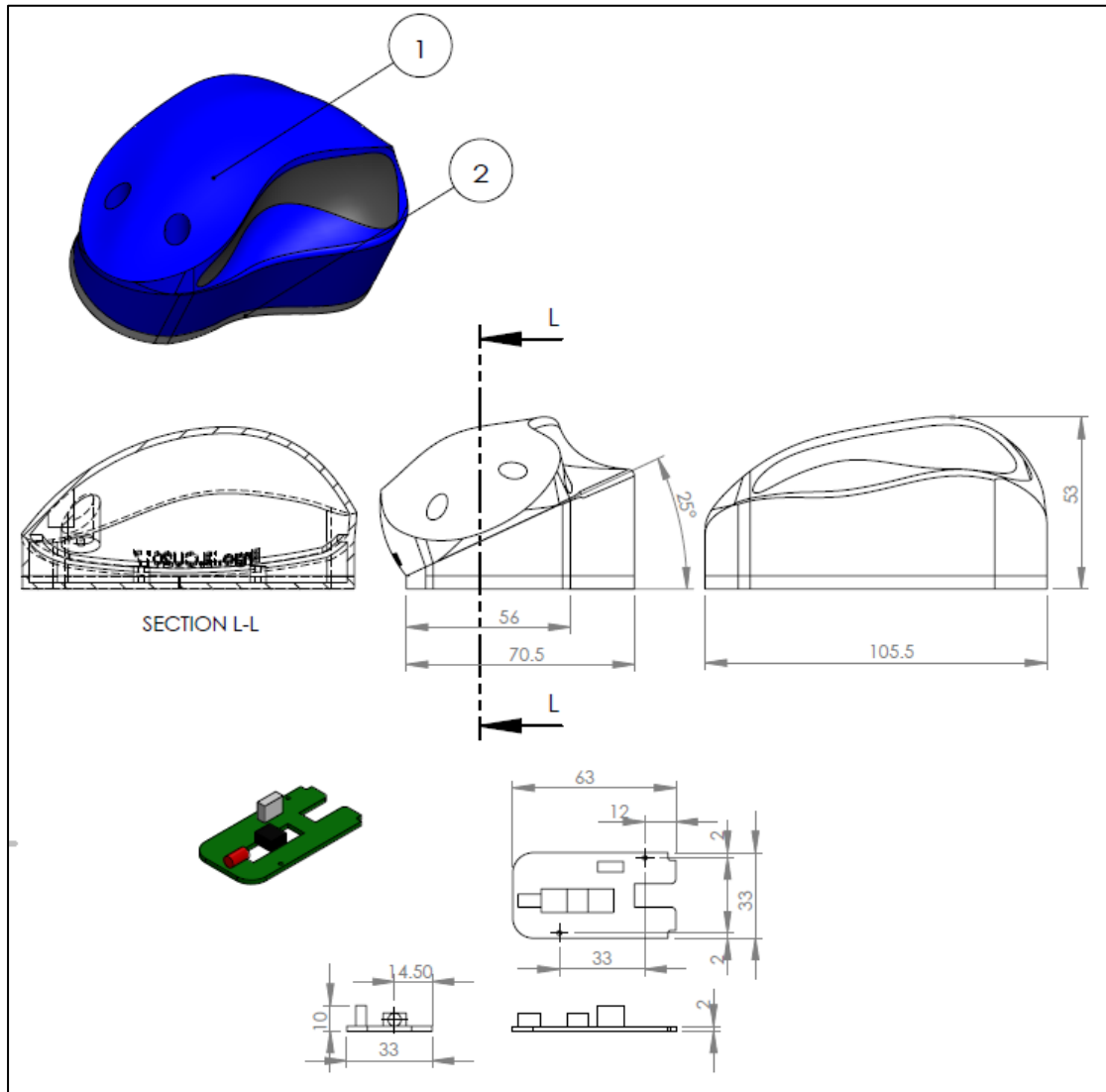


แบบเม้าส์ต้นแบบขนาดใหญ่ 15 องศา



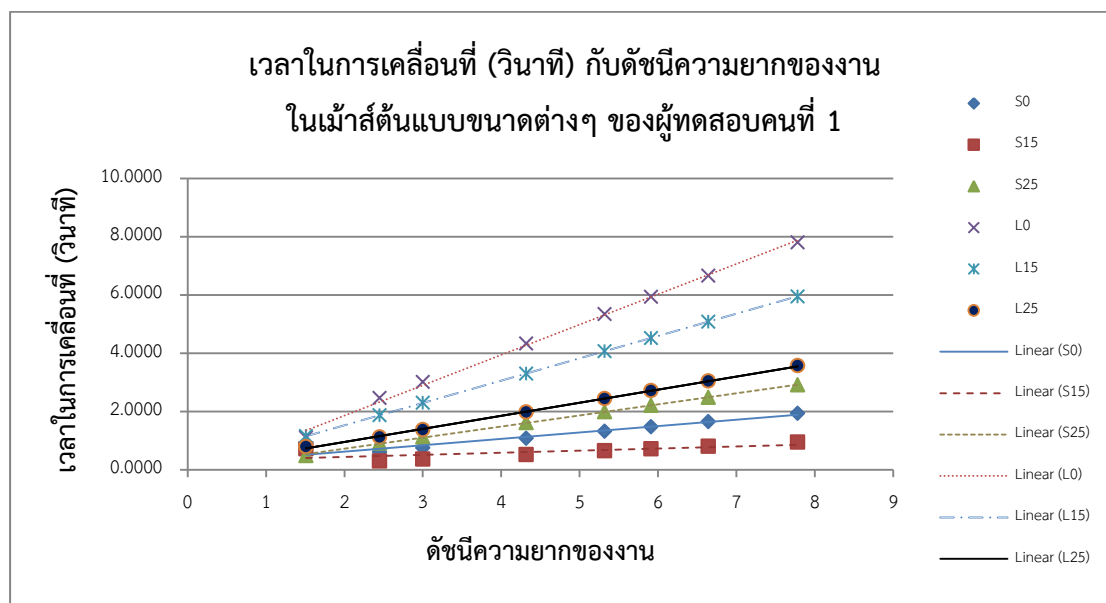


แบบเม้าส์ต้นแบบขนาดใหญ่ 25 องศา



## ข้อมูลการทดสอบ

## ผู้เข้าทดสอบคนที่ 1

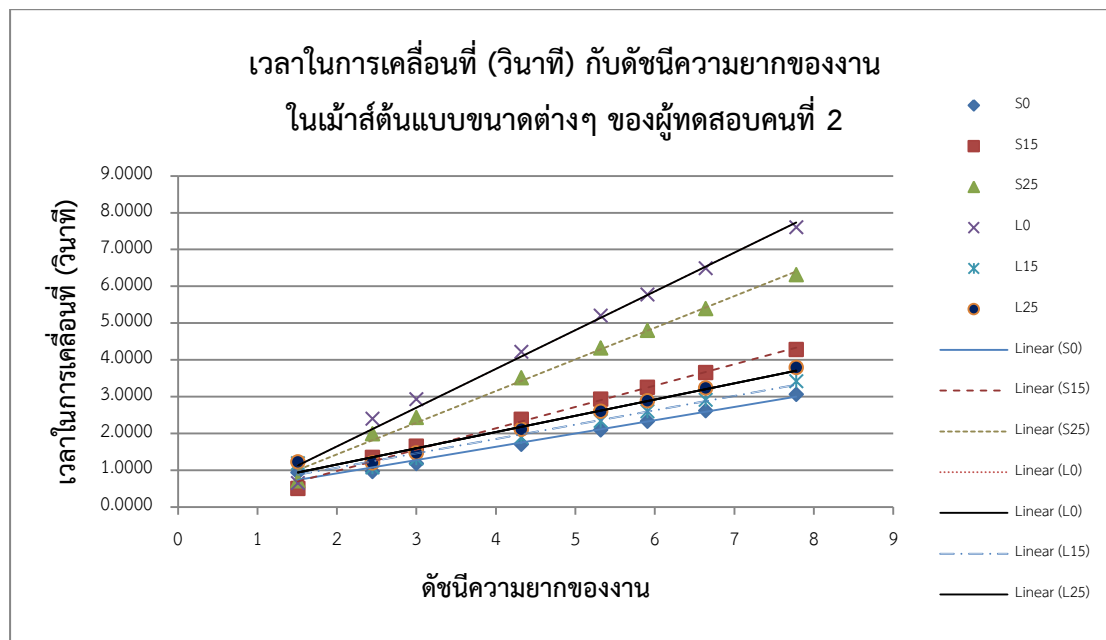


กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่กับดัชนีความยากของงานในแนวแกนนอน ของผู้ทดสอบคนที่ 1

## ตาราง เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 1

ID	เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 1					
	S0	S15	S25	L0	L15	L25
1.51	0.7177	0.7218	0.4891	1.1065	1.1549	0.7967
2.45	0.6110	0.2974	0.9161	2.4586	1.8739	1.1240
3	0.7481	0.3642	1.1218	3.0105	2.2945	1.3763
4.32	1.0773	0.5244	1.6153	4.3352	3.3041	1.9819
5.32	1.3267	0.6458	1.9892	5.3387	4.0690	2.4406
5.91	1.4738	0.7174	2.2099	5.9308	4.5203	2.7113
6.64	1.6559	0.8061	2.4828	6.6633	5.0786	3.0462
7.78	1.9401	0.9445	2.9091	7.8073	5.9505	3.5692

## ผู้เข้าทดสอบคนที่ 2

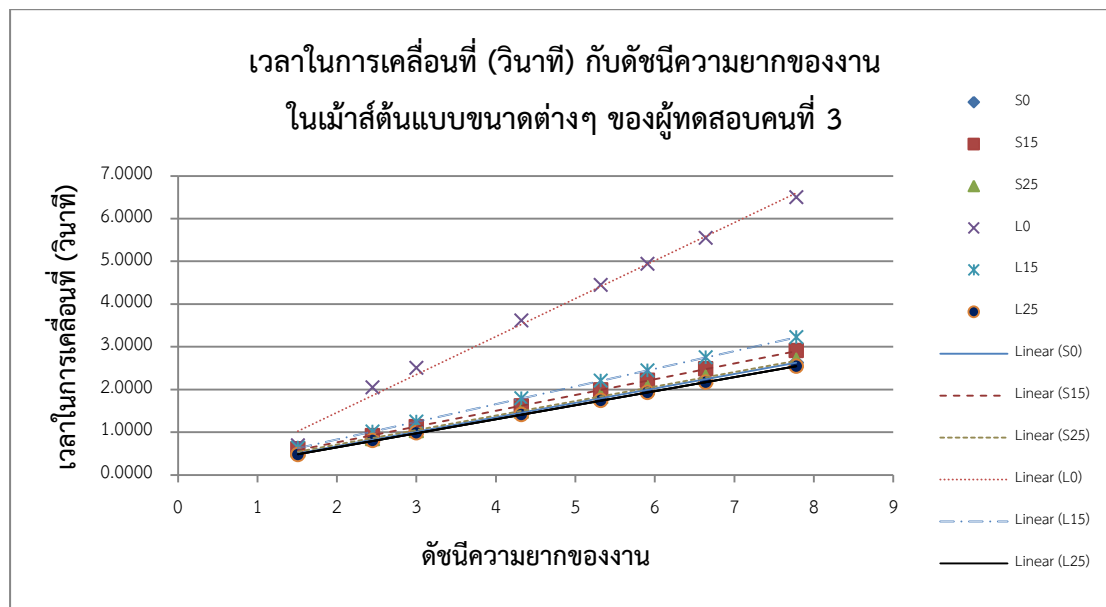


กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่กับดัชนีความยากของงานในแนวแกนนอน ของผู้ทดสอบคนที่ 2

ตาราง เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 2

ID	เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 2					
	S0	S15	S25	L0	L15	L25
1.51	0.9351	0.5004	0.7104	0.6505	1.1887	1.2196
2.45	0.9643	1.3474	1.9884	2.3926	1.0749	1.1939
3	1.1808	1.6499	2.4348	2.9298	1.3162	1.4620
4.32	1.7004	2.3759	3.5062	4.2188	1.8953	2.1052
5.32	2.0940	2.9259	4.3178	5.1954	2.3340	2.5926
5.91	2.3262	3.2504	4.7966	5.7716	2.5929	2.8801
6.64	2.6136	3.6518	5.3891	6.4845	2.9132	3.2358
7.78	3.0623	4.2788	6.3143	7.5978	3.4133	3.7914

### ผู้เข้าทดสอบคนที่ 3

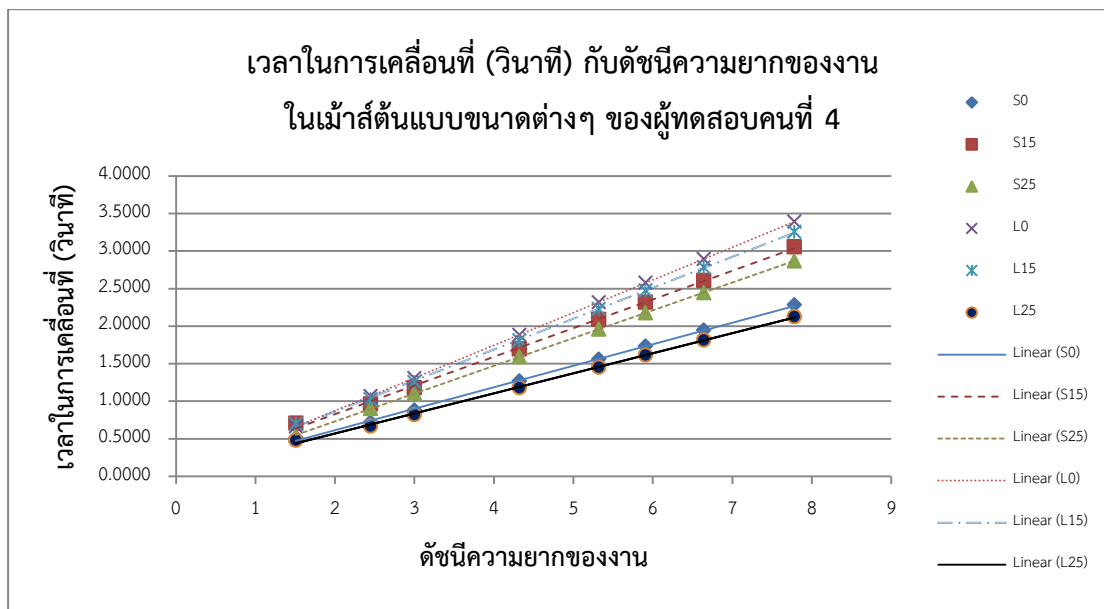


กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่กับดัชนีความยากของงานในแนวแกนนอน ของผู้ทดสอบคนที่ 3

ตาราง เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 3

ID	เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 3					
	S0	S15	S25	L0	L15	L25
1.51	0.4932	0.6075	0.5755	1.1031	0.6356	0.4710
2.45	0.8270	0.9158	0.8445	2.0468	1.0144	0.7993
3	1.0127	1.1213	1.0341	2.5063	1.2421	0.9787
4.32	1.4582	1.6147	1.4891	3.6091	1.7886	1.4094
5.32	1.7958	1.9885	1.8338	4.4445	2.2027	1.7356
5.91	1.9949	2.2090	2.0372	4.9374	2.4470	1.9281
6.64	2.2414	2.4819	2.2889	5.5473	2.7492	2.1662
7.78	2.6262	2.9080	2.6818	6.4997	3.2212	2.5382

### ผู้เข้าทดสอบคนที่ 4

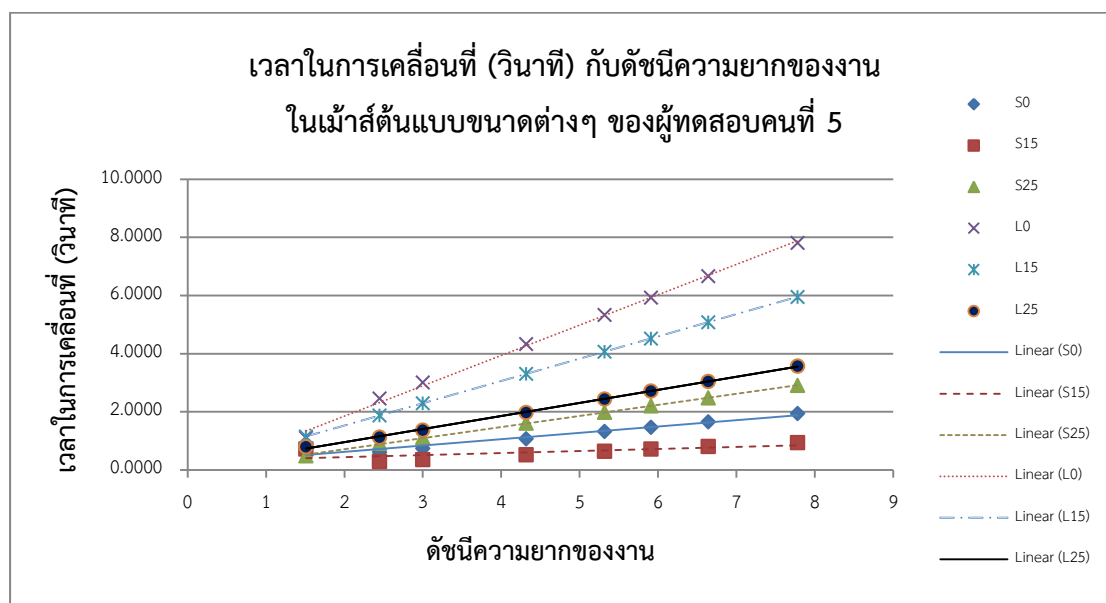


กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่กับดัชนีความยากของงานในแนวแกนนอน ของผู้ทดสอบคนที่ 4

ตาราง เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 4

ID	เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 4					
	S0	S15	S25	L0	L15	L25
1.51	0.5136	0.7042	0.5415	0.6650	0.7005	0.4808
2.45	0.7186	0.9613	0.9027	1.0678	1.0255	0.6692
3	0.8799	1.1771	1.1053	1.3076	1.2558	0.8195
4.32	1.2670	1.6950	1.5917	1.8829	1.8083	1.1800
5.32	1.5603	2.0874	1.9601	2.3187	2.2269	1.4532
5.91	1.7333	2.3189	2.1775	2.5759	2.4738	1.6144
6.64	1.9474	2.6053	2.4465	2.8940	2.7794	1.8138
7.78	2.2818	3.0526	2.8665	3.3909	3.2566	2.1252

## ผู้เข้าทดสอบคนที่ 5

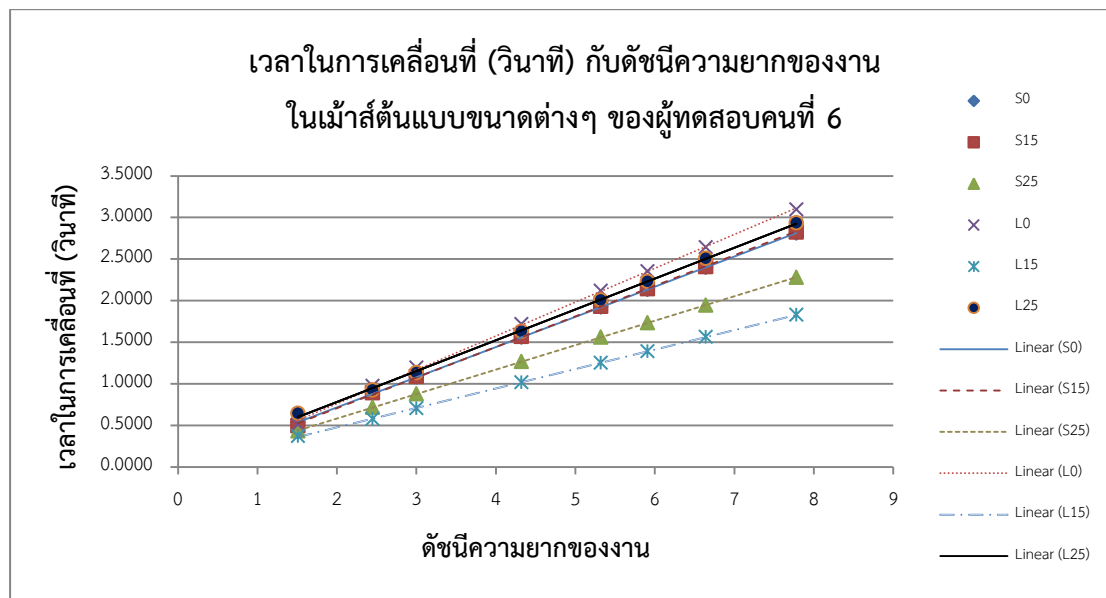


กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่กับดัชนีความยากของงานในแนวแกนนอน ของผู้ทดสอบคนที่ 5

ตาราง เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 5

ID	เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 5					
	S0	S15	S25	L0	L15	L25
1.51	0.6259	0.5754	0.5531	0.5146	0.8842	1.1686
2.45	1.4022	0.8631	0.7948	0.9292	1.2005	1.8184
3	1.7169	1.0569	0.9733	1.1378	1.4699	2.2266
4.32	2.4724	1.5219	1.4015	1.6385	2.1167	3.2063
5.32	3.0447	1.8742	1.7259	2.0177	2.6067	3.9485
5.91	3.3823	2.0821	1.9173	2.2415	2.8958	4.3864
6.64	3.8001	2.3393	2.1542	2.5184	3.2535	4.9282
7.78	4.4526	2.7409	2.5240	2.9508	3.8121	5.7743

### ผู้เข้าทดสอบคนที่ 6

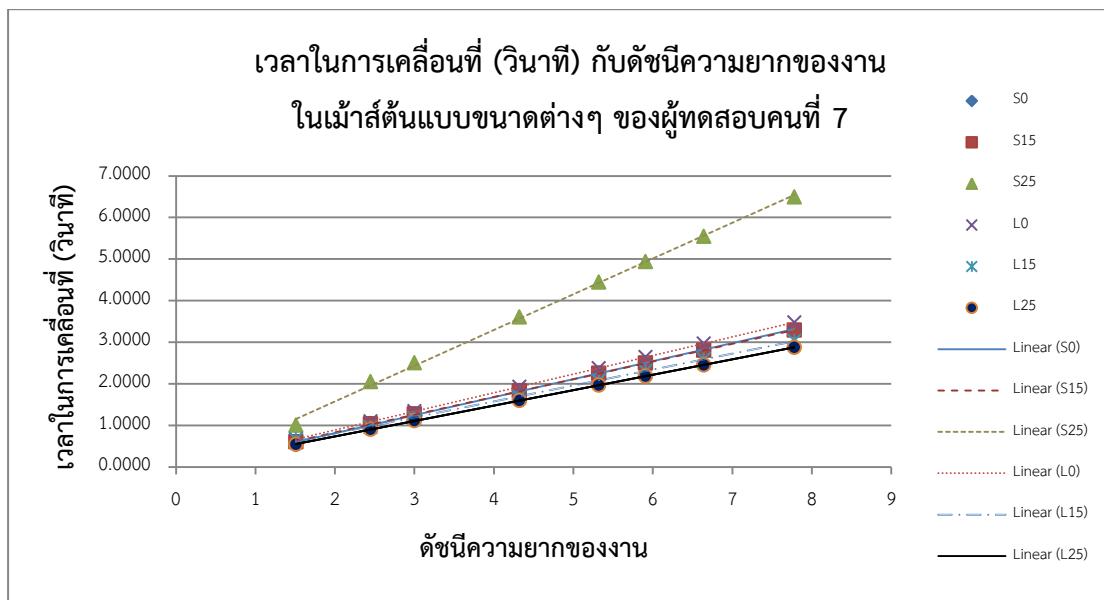


กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่กับดัชนีความยากของงานในแนวแกนนอน ของผู้ทดสอบคนที่ 6

ตาราง เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 6

ID	เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 6					
	S0	S15	S25	L0	L15	L25
1.51	0.5299	0.4925	0.4308	0.5070	0.3680	0.6424
2.45	0.8850	0.8884	0.7181	0.9749	0.5762	0.9244
3	1.0837	1.0878	0.8793	1.1937	0.7056	1.1319
4.32	1.5605	1.5664	1.2661	1.7189	1.0160	1.6299
5.32	1.9217	1.9290	1.5592	2.1168	1.2512	2.0072
5.91	2.1348	2.1429	1.7322	2.3516	1.3900	2.2298
6.64	2.3985	2.4076	1.9461	2.6420	1.5617	2.5052
7.78	2.8103	2.8210	2.2802	3.0957	1.8298	2.9353

## ผู้เข้าทดสอบคนที่ 7



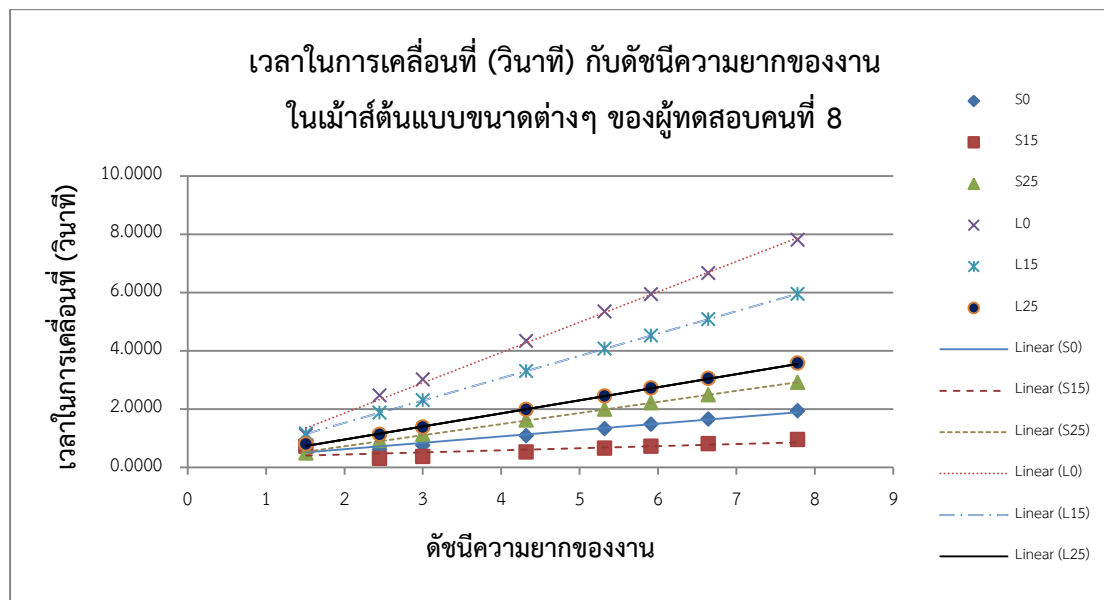
กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่กับดัชนีความยากของงานในแนวแกนนอน ของผู้ทดสอบคนที่ 7

## ตาราง เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 7

ID	เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 7					
	S0	S15	S25	L0	L15	L25
1.51	0.5293	0.6018	1.0014	0.6612	0.6682	0.5424
2.45	1.0386	1.0349	2.0455	1.0938	0.9550	0.9043
3	1.2717	1.2672	2.5047	1.3394	1.1694	1.1073
4.32	1.8313	1.8248	3.6068	1.9287	1.6840	1.5946
5.32	2.2552	2.2472	4.4417	2.3752	2.0738	1.9637
5.91	2.5053	2.4964	4.9343	2.6386	2.3038	2.1815
6.64	2.8148	2.8047	5.5438	2.9645	2.5884	2.4509
7.78	3.2980	3.2863	6.4956	3.4734	3.0327	2.8717



### ผู้เข้าทดสอบคนที่ 8

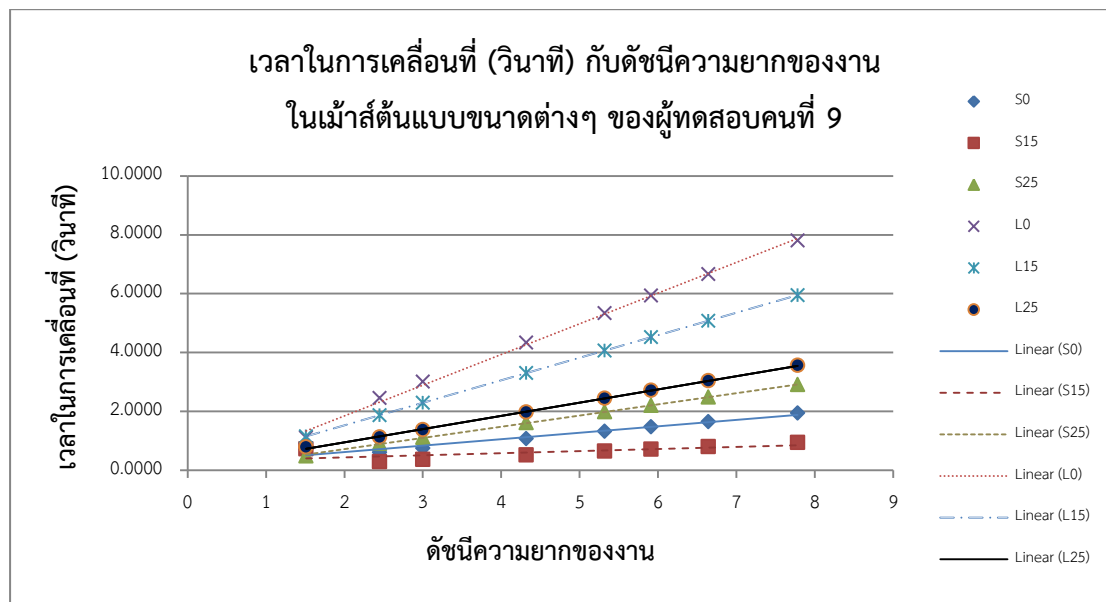


กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่กับดัชนีความยากของงานในแนวแกนนอน ของผู้ทดสอบคนที่ 8

ตาราง เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 8

ID	เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 8					
	S0	S15	S25	L0	L15	L25
1.51	0.6116	0.6020	0.4609	0.6395	0.6521	0.5322
2.45	1.0948	1.0308	0.8431	1.0634	0.8179	0.8848
3	1.3406	1.2622	1.0324	1.3021	1.0015	1.0835
4.32	1.9304	1.8175	1.4866	1.8750	1.4421	1.5602
5.32	2.3773	2.2382	1.8307	2.3090	1.7759	1.9213
5.91	2.6409	2.4865	2.0337	2.5651	1.9729	2.1344
6.64	2.9672	2.7936	2.2850	2.8820	2.2166	2.3981
7.78	3.4766	3.2732	2.6773	3.3768	2.5971	2.8098

## ผู้เข้าทดสอบคนที่ 9

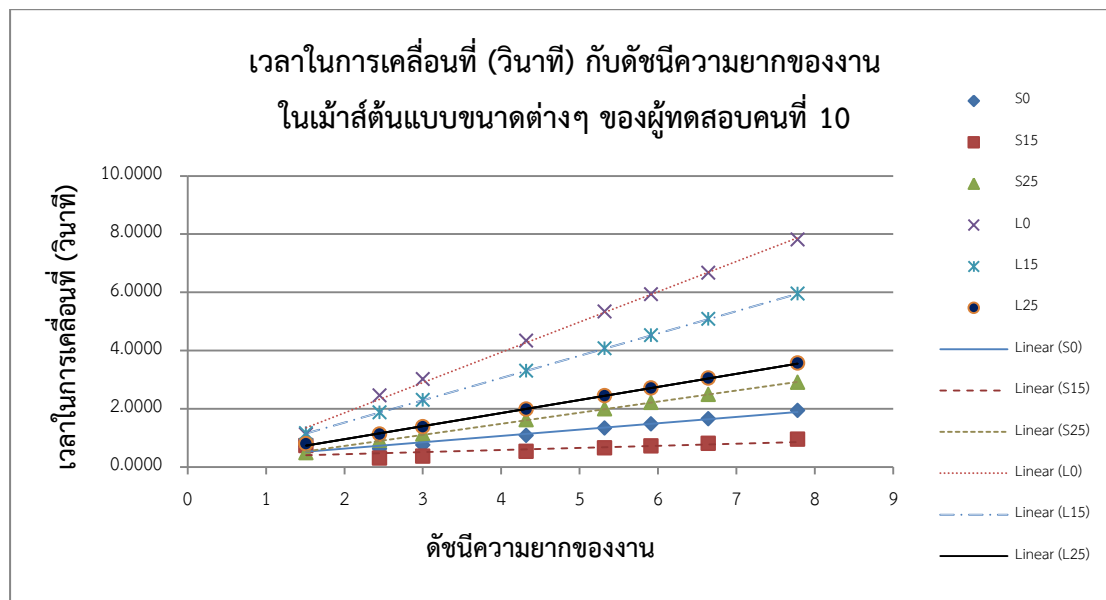


กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่กับดัชนีความยากของงานในแนวแกนนอน ของผู้ทดสอบคนที่ 9

ตาราง เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 9

ID	เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 9					
	S0	S15	S25	L0	L15	L25
1.51	1.0017	0.6109	0.4906	0.5124	0.6187	0.4906
2.45	2.0478	1.2544	0.9734	0.8391	0.6908	0.8346
3	2.5075	1.5360	1.1919	1.0275	0.8458	1.0219
4.32	3.6107	2.2118	1.7163	1.4796	1.2180	1.4716
5.32	4.4466	2.7238	2.1136	1.8221	1.4999	1.8122
5.91	4.9397	3.0258	2.3480	2.0242	1.6663	2.0132
6.64	5.5498	3.3996	2.6380	2.2742	1.8721	2.2618
7.78	6.5027	3.9832	3.0909	2.6647	2.1935	2.6502

## ผู้เข้าทดสอบคนที่ 10



กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่กับดัชนีความยากของงานในแนวแกนนอน ของผู้ทดสอบคนที่ 10

ตาราง เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 10

ID	เวลาเฉลี่ยในการชี้ตำแหน่งของผู้ทดสอบคนที่ 10					
	S0	S15	S25	L0	L15	L25
1.51	1.0628	1.2650	1.0699	0.2995	1.0243	1.1400
2.45	1.8227	2.1310	1.6659	0.3249	1.6805	1.3757
3	2.2319	2.6093	2.0398	0.3978	2.0578	1.6845
4.32	3.2139	3.7575	2.9374	0.5729	2.9632	2.4257
5.32	3.9579	4.6272	3.6173	0.7055	3.6491	2.9872
5.91	4.3969	5.1404	4.0185	0.7837	4.0538	3.3184
6.64	4.9400	5.7753	4.5148	0.8805	4.5545	3.7283
7.78	5.7881	6.7669	5.2900	1.0317	5.3364	4.3684

ผลการทดสอบผลทางสถิติสมรรถนะการทำงานของเม้าส์กับสัดส่วนเม้าส์ต่อมือของผู้ทดสอบ

### Two-Sample T-Test and CI: Ratio Small, Ratio Large

Two-sample T for Ratio Small vs Ratio Large

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ratio Small	3	6.085	0.226	0.13
Ratio Large	3	7.51	1.64	0.95

Difference =  $\mu$  (Ratio Small) -  $\mu$  (Ratio Large)

Estimate for difference: -1.429

95% CI for difference: (-5.539, 2.681)

T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = -1.50 P-Value = 0.273 DF = 2

ผลการทดสอบของผู้ทดสอบคนที่ 1

### Two-Sample T-Test and CI: Ratio Small, Ratio Large

Two-sample T for Ratio Small vs Ratio Large

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ratio Small	3	6.546	0.401	0.23
Ratio Large	3	7.58	1.63	0.94

Difference =  $\mu$  (Ratio Small) -  $\mu$  (Ratio Large)

Estimate for difference: -1.035

95% CI for difference: (-5.195, 3.126)

T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = -1.07 P-Value = 0.397 DF = 2

ผลการทดสอบของผู้ทดสอบคนที่ 2

### Two-Sample T-Test and CI: Ratio Small, Ratio Large

Two-sample T for Ratio Small vs Ratio Large

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ratio Small	3	5.990	0.367	0.21
Ratio Large	3	6.977	0.308	0.18

Difference =  $\mu$  (Ratio Small) -  $\mu$  (Ratio Large)

Estimate for difference: -0.987

95% CI for difference: (-1.868, -0.107)

T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = -3.57 P-Value = 0.038 DF = 3

ผลการทดสอบของผู้ทดสอบคนที่ 3

### Two-Sample T-Test and CI: Ratio Small, Ratio Large

Two-sample T for Ratio Small vs Ratio Large

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ratio Small	3	6.327	0.522	0.30
Ratio Large	3	7.021	0.995	0.57

Difference =  $\mu$  (Ratio Small) -  $\mu$  (Ratio Large)

Estimate for difference: -0.694

95% CI for difference: (-2.758, 1.370)

T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = -1.07 P-Value = 0.363 DF = 3

ผลการทดสอบของผู้ทดสอบคนที่ 4

### Two-Sample T-Test and CI: Ratio Small, Ratio Large

Two-sample T for Ratio Small vs Ratio Large

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ratio Small	3	7.295	0.274	0.16
Ratio Large	3	7.177	0.379	0.22

Difference =  $\mu$  (Ratio Small) -  $\mu$  (Ratio Large)

Estimate for difference: 0.118

95% CI for difference: (-0.741, 0.978)

T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = 0.44 P-Value = 0.691 DF = 3

ผลการทดสอบของผู้ทดสอบคนที่ 5

### Two-Sample T-Test and CI: Ratio Small, Ratio Large

Two-sample T for Ratio Small vs Ratio Large

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ratio Small	3	6.520	0.306	0.18
Ratio Large	3	6.077	0.739	0.43

Difference =  $\mu$  (Ratio Small) -  $\mu$  (Ratio Large)

Estimate for difference: 0.443

95% CI for difference: (-1.543, 2.430)

T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = 0.96 P-Value = 0.438 DF = 2

ผลการทดสอบของผู้ทดสอบคนที่ 6

**Two-Sample T-Test and CI: Ratio Small, Ratio Large**

Two-sample T for Ratio Small vs Ratio Large

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ratio Small	3	6.186	0.136	0.078
Ratio Large	3	6.434	0.804	0.46

Difference =  $\mu$  (Ratio Small) -  $\mu$  (Ratio Large)

Estimate for difference: -0.248

95% CI for difference: (-2.273, 1.777)

T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = -0.53 P-Value = 0.651 DF = 2

ผลการทดสอบของผู้ทดสอบคนที่ 7

**Two-Sample T-Test and CI: Ratio Small, Ratio Large**

Two-sample T for Ratio Small vs Ratio Large

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ratio Small	3	7.048	0.238	0.14
Ratio Large	3	6.615	0.564	0.33

Difference =  $\mu$  (Ratio Small) -  $\mu$  (Ratio Large)

Estimate for difference: 0.433

95% CI for difference: (-1.087, 1.954)

T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = 1.23 P-Value = 0.345 DF = 2

ผลการทดสอบของผู้ทดสอบคนที่ 8

**Two-Sample T-Test and CI: Ratio Small, Ratio Large**

Two-sample T for Ratio Small vs Ratio Large

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ratio Small	3	7.225	0.469	0.27
Ratio Large	3	6.703	0.141	0.081

Difference =  $\mu$  (Ratio Small) -  $\mu$  (Ratio Large)

Estimate for difference: 0.523

95% CI for difference: (-0.695, 1.740)

T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = 1.85 P-Value = 0.206 DF = 2

ผลการทดสอบของผู้ทดสอบคนที่ 9

### Two-Sample T-Test and CI: Ratio Small, Ratio Large

Two-sample T for Ratio Small vs Ratio Large

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ratio Small	3	8.422	0.632	0.36
Ratio Large	3	5.69	1.17	0.67

Difference =  $\mu$  (Ratio Small) -  $\mu$  (Ratio Large)

Estimate for difference: 2.728

95% CI for difference: (0.286, 5.170)

T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = 3.56 P-Value = 0.038 DF = 3

ผลการทดสอบของผู้ทดสอบคนที่ 10



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ศจีประภา รังแก้ว
วัน เดือน ปี เกิด	26 พฤศจิกายน 2531
สถานที่เกิด	สุรินทร์
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต บางเขน
ที่อยู่ปัจจุบัน	2384/113 ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ แขวงบางกะปิ เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร
ผลงานตีพิมพ์	สัมมนาเครือข่ายอุตสาหกรรม 2561 IE Network 2018 มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

