

การประเมินสมรรถนะของการลากเมาส์การยศาสตร์ตามแนวทางของ STEERING LAW



นางสาววราภรณ์ พิทักษ์ธรรมคุณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERFORMANCE EVALUATION OF DRAG ERGONOMIC MOUSE BASED ON
STEERING LAW

Miss Waraporn Phithugthummakun



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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินสมรรถนะของการลากเมาส์การยศาสตร์

ตามแนวทางของ STEERING LAW

โดย

นางสาววราภรณ์ พิทักษ์ธรรมคุณ

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รุ่งกิจการพานิช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภััสสงศ์ ไรจน์ไววรรณ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ น.อ.สุทธิ ศรีบุรพา)

วราภรณ์ พิทักษ์ธรรมคุณ : การประเมินสมรรถนะของการลากเมาส์การยศาสตร์ตาม
 แนวทางของ STEERING LAW (PERFORMANCE EVALUATION OF DRAG
 ERGONOMIC MOUSE BASED ON STEERING LAW) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
 อ. ดร.ไพโรจน์ อดาวิจิตรกุล, 88 หน้า.

อุปกรณ์ที่ตำแหน่งสำหรับงานคอมพิวเตอร์มีหลากหลายชนิด โดยเฉพาะเมาส์ ถือเป็น
 อุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เมาส์การยศาสตร์ หรือเมาส์ที่มีองศาการเอียงเหมาะสมกับ
 สรีระของร่างกายจึงถูกออกแบบมาเพื่อลดภาวะความเสี่ยงในการเกิดโรคการกดทับเส้นประสาท
 บริเวณข้อมือ แต่เมาส์การยศาสตร์กลับไม่เป็นที่แพร่หลายหรือเป็นมาตรฐานเนื่องจากปัญหา
 ราคาของเมาส์การยศาสตร์ที่สูงกว่าเมาส์ธรรมดาและความไม่ถนัดในการใช้งาน ซึ่งสามารถหาได้
 โดยการศึกษาสมรรถนะ

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเมาส์ธรรมดากับเมาส์การยศาสตร์
 ตามทฤษฎีสเตียร์ริง steering law โดยเมาส์ที่นำมาศึกษามีลักษณะต่างกัน 3 ระดับ ที่ส่งผลต่อ
 การบิดเอียงของข้อมือ คือเมาส์ธรรมดามุมเอียง 0 องศา เมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 45 องศา และ
 เมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 90 องศา ปัจจัยทิศทางการลากเมาส์ 2 ระดับ คือ ตามเข็มนาฬิกาและ
 ทวนเข็มนาฬิกา และ ปัจจัยวิธีการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ คือ ลากเมาส์โดยไม่คลิกเมาส์ และการ
 ลากเมาส์โดยการคลิกเมาส์ โดยผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน อายุระหว่าง 18-35 ปี ผลการวิจัย
 พบว่าปัจจัยมุมเอียงของเมาส์มีผลต่อสมรรถนะการใช้งานเมาส์ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง
 สถิติที่ระดับ 0.05

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ นิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5471070321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: STEERING LAW / PERFORMANCE EVALUATION / ERGONOMICS MOUSE
/ INDEX OF DIFFICULTY

WARAPORN PHITHUGTHUMMAKUN: PERFORMANCE EVALUATION OF
DRAG ERGONOMIC MOUSE BASED ON STEERING LAW. ADVISOR:
DR.PHAIROAT LADAVICHITKUL, 88 pp.

There are many kind pointing devices for computer usage especially mouse is a widely-used standard device which can affect user if using it for a long time. Therefore, ergonomic mouse has been designed for human comfort low CTS risk. However, ergonomic mouse is not widely-use because of expensive and unfamiliarity of each person that can determine by evaluation of performance.

This research would compare the using performance of a regular mouse and 2 ergonomic mouse based on steering law by comparing mouse with 3 difference of wrist angle, regular mouse of wrist angle 0 degree, ergonomic mouse of wrist angle 45 degree and 90 degree. 2 different directions which are clockwise and counterclockwise and 2 different operations are drag without click and drag with click. 10 volunteer participants edge between 18-35 year. Research results from full factorial statistical analyses show that the work performances for 3 mouse wrist angles had no difference at 0.05 significant levels.

Department: Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยได้รับความช่วยเหลือ คำแนะนำและ
ข้อคิดต่างๆรวมทั้งแนวทางในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัยจากอาจารย์ ดร.
ไพโรจน์ ฤดาภิชาติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคำแนะนำและข้อคิดเห็นจาก
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ผู้ทรงคุณวุฒิอันประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา ฐ
กิจการพานิช, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสงวศ์ โจรนโรวรรณ และรองศาสตราจารย์ นาวา
อากาศเอก สุทธิ ศรีบูรพา ทั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงมา
ณ ที่นี้ และขอขอบคุณผู้เข้าร่วมการทดลองทุกท่าน ที่เสียสละเวลาและให้ความร่วมมือเป็น
อย่างดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ที่ได้เชื้อเพื่อสถานที่ รวมถึงสนับสนุนอุปกรณ์ และเครื่องมือในการทำการวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัยเองที่ได้
สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ประวัติเม้าส์.....	6
2.2 ประเภทของเม้าส์.....	8
2.2.1 เม้าส์ทางกล.....	8
2.2.2 เม้าส์แบบใช้แสง	9
2.3 เม้าส์การยศาสตร์	9
2.4 ลักษณะการทำงานที่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์.....	13
2.5 ลักษณะการเคลื่อนไหวเบื้องต้นของร่างกาย	14
2.5.1 การทำงานของข้อต่อ	14
2.5.2 การทำงานของกล้ามเนื้อแขน (Muscles of upper extremities)	16

2.6 การประเมินสมรรถนะการทำงาน	18
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 ผู้เข้าร่วมการทดลอง.....	25
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	25
3.3 การจัดสถานีงานคอมพิวเตอร์ในการทดลอง	29
3.4 การฝึกปฏิบัติ.....	30
3.5 ปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ	30
3.6 การดำเนินการทดลองและการเก็บข้อมูล	31
บทที่ 4 วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง	33
4.1 การประเมินระยะเวลาการตอบสนองการใช้งานเมาส์	33
4.1.1 ผลการทดลอง.....	33
4.1.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง	36
4.1.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลักต่อเวลาการตอบสนองการใช้งานเมาส์	40
4.2 การประเมินสมรรถนะของเมาส์	45
4.2.1 ผลการทดลอง.....	45
4.2.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง	49
4.2.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลักต่อสมรรถนะของเมาส์.....	53
4.3 การวิเคราะห์ปัจจัยด้านท่าทางการใช้งานของเมาส์	55
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	57
5.1 การศึกษาสมรรถนะการใช้งานของเมาส์.....	57
5.2 การศึกษาเวลาการตอบสนองการใช้งานของเมาส์.....	58

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ	58
5.4 ข้อเสนอแนะ	59
รายการอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	63
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	88



สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 ราคาเม็ดเงินการยศาสตร์และการให้คะแนนความพึงพอใจจากการสำรวจในเว็บไซต์	3
ตารางที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดเงินที่ใช้	27
ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขดัชนีความยากของงาน ในการทดสอบสมรรถนะการใช้งานเม็ดเงิน	30
ตารางที่ 4.1 สมการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างเวลาในการลากเม็ดเงินเป็นวงกลม กับดัชนีความยากของงาน (ID) ของเม็ดเงินทั่วไปมุมเอียง 0 องศา	46
ตารางที่ 4.2 สมการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างเวลาในการลากเม็ดเงินเป็นวงกลม กับดัชนีความยากของงาน (ID) ของเม็ดเงินการยศาสตร์มุมเอียง 45 องศา	47
ตารางที่ 4.3 สมการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างเวลาในการลากเม็ดเงินเป็นวงกลม กับดัชนีความยากของงาน (ID) ของเม็ดเงินการยศาสตร์มุมเอียง 90 องศา	48

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1	ผู้ประดิษฐ์เมาส์รุ่นแรกของโลก ดักลาส เองเกลบาท (Douglas Engelbart)	6
รูปที่ 2.2	เมาส์คอมพิวเตอร์รุ่นแรกของโลกโดย ดักลาส เองเกลบาท	7
รูปที่ 2.3	Ball Mouse ตัวแรก	7
รูปที่ 2.4	Ball Mouse โดย บิล อิงลิช (Bill English) ที่ศูนย์วิจัยของบริษัทซีรอกส์ (Xerox PARC)	8
รูปที่ 2.5	ลักษณะการทำงานของ Ball Mouse (ซ้าย) เมาส์ไร้สายตัวแรกโดย Logitech (ขวา)	9
รูปที่ 2.6	พื้นที่สัมผัสในการใช้เมาส์การยศาสตร์ (ซ้าย) พื้นที่สัมผัสในการใช้เมาส์ทั่วไป (ขวา) ..	10
รูปที่ 2.7	ลักษณะโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อที่เป็นธรรมชาติ (บน) ลักษณะโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อที่ไม่เป็นธรรมชาติ (ล่าง)	10
รูปที่ 2.8	ลักษณะการวางมือตามหลักการยศาสตร์	11
รูปที่ 2.9	แสดงมุมบิดเอียงสูงสุดของข้อมือ	11
รูปที่ 2.10	ตัวอย่างเมาส์การยศาสตร์ที่ได้รับการรับรองสิทธิบัตร	12
รูปที่ 2.11	การใช้งานเมาส์ทั่วไปและคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	12
รูปที่ 2.12	การใช้เมาส์การยศาสตร์และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ	13
รูปที่ 2.13	การจัดสถานีงานคอมพิวเตอร์	14
รูปที่ 2.14	ลักษณะของข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้แบบต่างๆ	16
รูปที่ 2.15	ลักษณะของกล้ามเนื้อแขน	18
รูปที่ 2.16	ลักษณะการวัดค่าของ steering law แบบเส้นตรง	20
รูปที่ 2.17	ลักษณะการวัดค่าของ steering law แบบไม่เป็นเส้นตรง	20
รูปที่ 2.18	ปฏิสัมพันธ์การใช้เมาส์ในการเลือกเมนู	21

รูปที่ 2.19 เส้นทางที่ใช้ในการทดสอบความเร็วในการขับซึ่งรถขณะที่ความกว้างของถนนที่เปลี่ยนไป.....	21
รูปที่ 2.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของเป้าหมายที่เพิ่มขึ้นกับเวลาที่ใช้งาน.....	24
รูปที่ 3.1 เม้าส์ทั่วไป ยี่ห้อ Microsoft (A).....	26
รูปที่ 3.2 เม้าส์การยศาสตร์ยี่ห้อ Wowpen (B)	26
รูปที่ 3.3 เม้าส์การยศาสตร์ยี่ห้อ Ezmouse(C)	27
รูปที่ 3.4 จอแสดงผลยี่ห้อ ACER.....	28
รูปที่ 3.5 โปรแกรม ErgoCircularDrag ที่ใช้ในการทดสอบ	29
รูปที่ 3.6 สถานีงานในการทดลองเก็บข้อมูล	29
รูปที่ 3.7 ทิศทางการลากเม้าส์แบบตามเข็มนาฬิกา(Clockwise) (ซ้าย) ทิศทางการลากเม้าส์แบบทวนเข็มนาฬิกา(Counterclockwise) (ขวา).....	31
รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาตอบสนอง การลากเม้าส์ตามเข็มนาฬิกาแบบไม่คลิกเม้าส์.....	34
รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาตอบสนอง การลากเม้าส์ตามเข็มนาฬิกาแบบคลิกเม้าส์.....	34
รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาตอบสนอง การลากเม้าส์ทวนเข็มนาฬิกาแบบไม่คลิกเม้าส์.....	35
รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาตอบสนอง การลากเม้าส์ทวนเข็มนาฬิกาแบบคลิกเม้าส์.....	35
รูปที่ 4.5 การคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติ และการกระจายตัวของข้อมูลเวลาตอบสนองการใช้งานเม้าส์ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน.....	36
รูปที่ 4.6 การกระจายตัวของข้อมูลเวลาตอบสนองการใช้งานเม้าส์ จากผู้เข้าร่วมการทดลอง 10คน	37
รูปที่ 4.7 ผลการแปลงเวลาตอบสนองการใช้งานเม้าส์ที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วย Johnson Transformation.....	38
รูปที่ 4.8 การกระจายตัวของข้อมูลเวลาตอบสนองการใช้งานเม้าส์มาตราใหม่	39
รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเวลาการตอบสนองของเม้าส์	41

รูปที่ 4.10 ปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้นระหว่างมุมเอียงของเมาส์ที่ส่งผลต่อมุมบิดเอียงของข้อมือกับ ทิศทางการใช้งานเมาส์	42
รูปที่ 4.11 ปัจจัยร่วมระหว่างทิศทางการใช้งานเมาส์ กับวิธีการใช้งานเมาส์.....	43
รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ของเวลาตอบสนองเฉลี่ยการใช้งาน เมาส์ปัจจัยมุมเอียงของเมาส์ที่ส่งผลต่อมุมบิดเอียงของข้อมือ	44
รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ของเวลาเฉลี่ยการใช้งานเมาส์ปัจจัยทิศ ทางการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ	44
รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ของปัจจัยวิธีการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ.....	44
รูปที่ 4.15 การคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติและการกระจายตัวของข้อมูลสมรรถนะการใ้ งานเมาส์ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน	49
รูปที่ 4.16 การกระจายตัวของข้อมูลสมรรถนะการใ้งานเมาส์ จากผู้เข้าร่วมการทดลอง10คน .	50
รูปที่ 4.17 ผลการแปลงค่าสมรรถนะการใ้งานเมาส์ที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วย Johnson Transformation.....	51
รูปที่ 4.18 การกระจายตัวของข้อมูลสมรรถนะการใ้งานเมาส์มาตราใหม่	52
รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมรรถนะการทำงานของเมาส์	54
รูปที่ 4.20 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะ ตามปัจจัยวิธีการใ้งานเมาส์	55
รูปที่ 4.21 ท่าทางการใ้งานเมาส์ 3 ระดับ เมาส์ทั่วไปมุมเอียง 0 องศาเมาส์การยศาสตร์มุม เอียง 45 องศา และเมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 90 องศา.....	56

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น คอมพิวเตอร์ถือเป็นอุปกรณ์ช่วยในการทำงานโดยเฉพาะงานออกแบบ งานสำนักงาน งานเอกสารต่างๆ อีกทั้งยังใช้เพื่อความบันเทิงในที่พักอาศัย ซึ่งการใช้คอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน เช่น การใช้เมาส์ คีย์บอร์ด เป็นต้น อาจก่อให้เกิดโรคที่เกิดจากการทำงานซ้ำซาก เช่น โรค Cumulative Trauma Disorders (ความผิดปกติจากอุบัติเหตุสะสม) จะมีอาการปวดคอ ไหล่ ข้อมือ อาการ Repetitive Strain Injury หรือ RSI เกิดจากการนั่งทำงานไม่ถูกสุขลักษณะ และ โรคการกดทับเส้นประสาทบริเวณข้อมือ (Carpal Tunnel Syndrome : CTS)[1] เป็นกลุ่มอาการของโรคกระดูกข้อมือ กระดูกนิ้วมือเสื่อม และขา สาเหตุเกิดจาก การกดแป้นพิมพ์ การใช้เมาส์ต่อเนื่องเป็นเวลานาน การจับเมาส์โดยมีข้อมือเป็นจุดหมุน อาจเกิดพังผืดบริเวณข้อมือ การลดอัตราความเสี่ยงในการเกิดโรครดังกล่าว จึงได้มีการออกแบบอุปกรณ์ให้เป็นไปตามหลักการยศาสตร์ คือ การออกแบบให้เหมาะสมกับผู้ใช้งานเพื่อให้เกิดความสะดวกสบายในการใช้งาน เมาส์การยศาสตร์(Ergonomic Mouse) จึงถูกออกแบบมาเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งาน

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือที่มีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันมากขึ้น โดยเฉพาะการทำงานในสำนักงาน อุปกรณ์ที่ตำแหน่ง เช่น เมาส์ เป็นอุปกรณ์ที่คนส่วนใหญ่นิยมใช้ การใช้เมาส์มีทั้งการคลิก(Click) หรือการกดปุ่มซ้ายเพื่อใช้เลือกการหรือคำสั่งต่างๆ และการลาก (Drag) หรือการเลื่อนวัตถุอย่างน้อยหนึ่งขึ้นไปยังตำแหน่งที่ต้องการ [2] ปัจจุบันเมาส์ได้มีการพัฒนามาหลากหลายรูปแบบ โดยเฉพาะเมาส์การยศาสตร์ เมาส์การยศาสตร์ออกแบบมาให้เหมาะสมกับสรีระของร่างกายมนุษย์ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน แต่เมาส์การยศาสตร์กลับไม่ได้เป็นอุปกรณ์มาตรฐาน หรือ เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในกลุ่มผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ ทั้งที่มีงานวิจัยแล้วว่า เมาส์การยศาสตร์สามารถลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคการกดทับเส้นประสาทบริเวณข้อมือ ทั้งนี้อาจเพราะเมาส์การยศาสตร์มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก และมีราคาสูง เมื่อเปรียบเทียบกับเมาส์ทั่วไปที่ขายตามท้องตลาด ดังตารางที่ 1.1 โดยเมาส์การยศาสตร์มีราคาตั้งแต่ 17-300 US\$

การศึกษาศมรรถนะการใช้งาน (Performance) ของเม้าส์การยศาสตร์ เป็นแนวทางในการประเมินการลงทุนในการซื้ออุปกรณ์เสริมในงานคอมพิวเตอร์ ภัทรพร เกียรติธรรม[3] ได้ทำการศึกษาศมรรถนะของเม้าส์การยศาสตร์ โดยศึกษาศมรรถนะการทำงานของอุปกรณ์ ด้วยวิธีการเลื่อนเม้าส์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการแล้วคลิกเม้าส์ จากการทดลองพบว่า เม้าส์การยศาสตร์มีสมรรถนะการใช้งานที่ดีกว่าเม้าส์ทั่วไป แต่ยังไม่มีการศึกษาศมรรถนะการใช้งานของเม้าส์การยศาสตร์ ด้วยวิธีการลาก จากเหตุข้างต้น จึงเป็นเหตุจูงใจในการศึกษาศมรรถนะการใช้งาน(Performance)ของเม้าส์การยศาสตร์ ด้วยวิธีการลาก



ตารางที่ 1.1 ราคาเมาส์การยศาสตร์และการให้คะแนนความพึงพอใจจากการสำรวจในเว็บไซต์ www.amazon.com เมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2556

เมาส์การยศาสตร์		ราคา (US\$)	คะแนน ความ พึง พอใจ (สูงสุด 5)	จำนวน ผู้ให้ คะแนน
Evluent Vertical Mouse 4 - Right Hand - Regular Size -(VM4R) - USB Wired		89.99	4.1	243
Evluent Vertical Mouse 3 Wireless - Right Hand		109	4	29
Evluent Right-Handed Vertical Mouse 4 Wireless Mouse		109.95	4.2	5
Microsoft Natural Wireless Laser Mouse 6000		229.99	3.6	258
Ergo-Office Wrist-Saver Ergonomic Vertical Mouse, Black, Wireless		29.99	5	4
Wow Pen Joy Vertical Ergonomic Optical Mouse Black By Ergoguys		29.87	3.6	205
Aitek Vertical Right-Handed Ergonomic Optical Mouse-2.4Ghz wireless		17.49	2.8	5

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ประเมินสมรรถนะของการลากเมาส์การยศาสตร์ตามแนวทางของ STEERING LAW โดย
การเปรียบเทียบกับเมาส์ทั่วไป เพื่อให้ผลการวิจัยชัดเจนและมีคู่เทียบ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

กลุ่มตัวอย่างในการทำวิจัยคือ ชายและหญิงอายุระหว่าง 18-35 ปี ใช้เมาส์ในการทำงานมากกว่า 1 ปี โดยการใช้เมาส์มือขวา ไม่เคยมีประวัติการผ่าตัดข้อมือจากโรคการกดทับเส้นประสาทบริเวณข้อมือ เพื่อศึกษาสมรรถนะของอุปกรณ์เมาส์การยศาสตร์ โดยใช้แนวทางการวัดสมรรถนะการใช้งานของอุปกรณ์ ด้วยทฤษฎีของ Steering law เป็นต้นแบบการศึกษา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจลงทุนซื้ออุปกรณ์การยศาสตร์เพื่อใช้ในการทำงาน
2. เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเมาส์การยศาสตร์

1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีของ Steering law ที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนไหวของมนุษย์เชิงคณิตศาสตร์ และผลกระทบต่อสมรรถนะการใช้งานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความยากของงาน
2. ออกแบบการทดลองโดยการกำหนดปัจจัยมุมเอียงของอุปกรณ์เมาส์ที่มีผลต่อมุมบิดเอียงของข้อมือ โดยปัจจัยมุมเอียงของข้อมือจะใช้เมาส์ 3 ระดับ (0 องศา 45 องศา และ 90 องศา) ปัจจัยทิศทางการใช้งานเมาส์ (ทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกา) และปัจจัยวิธีการใช้งานเมาส์ (คลิกเมาส์ และไม่คลิกเมาส์) เป็นตัวแปรต้น เวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์เป็นตัวแปรตาม โดยสภาพแวดล้อมการทำงาน กำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐาน ISO 9241 ส่วนที่ 9 เป็นตัวแปรควบคุม
3. คัดเลือกผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน เป็นเพศชาย 5 คน เพศหญิง 5 คน มีประสบการณ์การใช้งานเมาส์อย่างน้อย 1 ปี ไม่มีอาการบาดเจ็บจากโรคการกดทับเส้นประสาทบริเวณข้อมือ
4. ผู้เข้าร่วมการทดลองดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยกำหนดให้ผู้เข้าร่วมการทดลองลากเมาส์โดยไม่ให้เกิดขอบเขตที่กำหนด ก่อนการทดลองให้ผู้ร่วมการทดลองฝึกปฏิบัติการใช้งานโปรแกรม ErgoCircularDrag ซึ่งเป็นโปรแกรมช่วยในการเก็บข้อมูลเวลาการตอบสนองการใช้งานเมาส์ ให้เกิดความคุ้นชิน แล้วจึงเริ่มเก็บข้อมูลจริง ทำการทดลองทุกเงื่อนไขแบบสุ่ม

5. วิเคราะห์ผลการทดลอง และประเมินผลที่ได้จากการทดลอง ทำการแยกวิเคราะห์ผลการทดลองจากข้อมูลผลตอบสนองเวลาการใช้งานเมาส์ (MT) และสมรรถนะการใช้งานเมาส์ (IP) จากผลการทดลองนำมาวิเคราะห์ในทางสถิติ เพื่อหาความแตกต่างของปัจจัยที่ทำการทดลอง วิเคราะห์ถึงสาเหตุของผลการทดลองที่ทำการศึกษา

6. สรุปผลและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

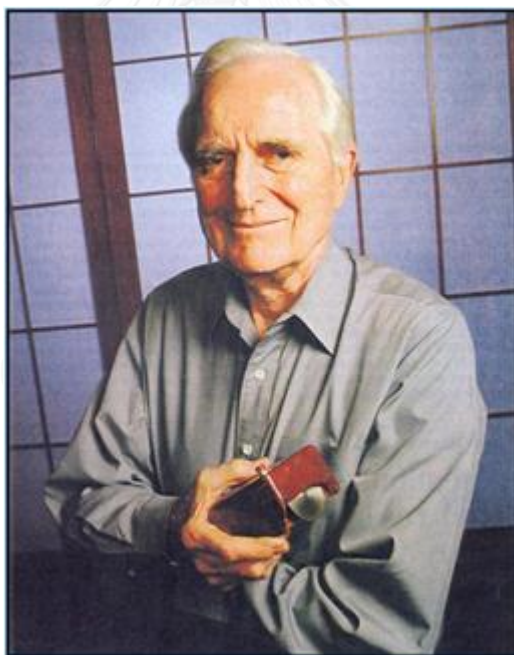


บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติเมาส์

เมาส์ถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี 1963 โดยดักลาส เองเกลบาท (Douglas Engelbart) รูปที่ 2.1 โดยสถาบันวิจัยสแตนฟอร์ด (Stanford Research Institute) เมาส์เป็นหนึ่งในการทดลองอุปกรณ์ชี้ตำแหน่ง (Pointing Device) สำหรับ Engelbart's on-Line System (NLS) ส่วนอุปกรณ์ชี้ตำแหน่งอื่นออกแบบมาเพื่อการเคลื่อนไหวร่างกายส่วนอื่น ๆ เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ติดกับคางหรือจมูก แต่ท้ายที่สุดแล้วเมาส์ก็ได้รับการคัดเลือก เพราะง่ายต่อการใช้งาน โดยเมาส์ตัวแรกของโลก ดังรูปที่ 2.2 มีหลักการทำงาน คือ ใช้เฟือง 2 ตัววางในลักษณะตั้งฉากกันการหมุนของแต่ละเฟืองจะถูกแปลงให้เป็นการเคลื่อนที่บนแกนในปริภูมิ 2 มิติ [4]



รูปที่ 2.1 ผู้ประดิษฐ์เมาส์รุ่นแรกของโลก ดักลาส เองเกลบาท (Douglas Engelbart)



รูปที่ 2.2 เมาส์คอมพิวเตอร์รุ่นแรกของโลกโดย ดักลาส เองเกลบาท

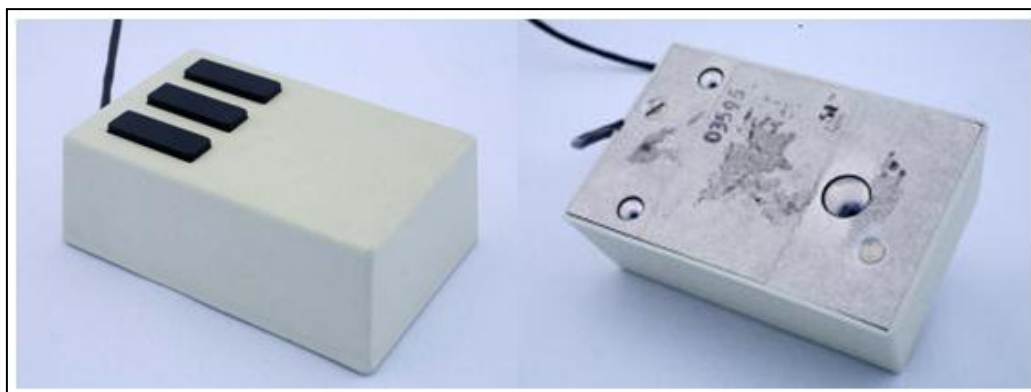
[4]

เมาส์ชนิดแรกมีข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ การแปลงทิศทาง อีกทั้งยังมีขนาดใหญ่ เมาส์แบบต่อมาถูกประดิษฐ์ในช่วงทศวรรษที่ 1968 เป็น Ball Mouse ตัวแรก ดังรูปที่ 2.3 ถูกพัฒนาโดย Rainer Mallebrein แต่เมาส์ชนิดนี้ก็ยังมีปัญหาที่ความแม่นยำในการชี้ตำแหน่ง จึงได้มีการพัฒนาการทำงานของ Ball Mouse โดย บิล อิงลิช (Bill English) ที่ศูนย์วิจัยของบริษัทซีรอกส์ (Xerox PARC) ดังรูปที่ 2.4 เมาส์ชนิดนี้มีลักษณะคล้ายก้อนสบู การทำงานของเมาส์ชนิดนี้จะใช้ลูกบอลแทนล้อหมุน ทำให้สามารถหมุนได้รอบทิศทาง หลังจากนั้นเมาส์ก็ได้ถูกพัฒนามาเรื่อยๆ จนถึงปัจจุบัน



รูปที่ 2.3 Ball Mouse ตัวแรก

[5]



รูปที่ 2.4 Ball Mouse โดย บิล อิงลิช (Bill English) ที่ศูนย์วิจัยของบริษัทซีรอกส์ (Xerox PARC)

[4]

2.2 ประเภทของเมาส์

2.2.1 เมาส์ทางกล

เป็นเมาส์แบบที่ใช้ลูกกลิ้งกลม ที่มีน้ำหนักและแรงเสียดทานพอดี เมื่อเลื่อน Mouse ไปในทิศทางใดจะทำให้ลูกกลิ้งเคลื่อนไปมาในทิศทางนั้น ลูกกลิ้งจะทำให้กลไกซึ่งทำหน้าที่ปรับแกนหมุนในแกน X และแกน Y แล้วส่งผลไปเลื่อนตำแหน่งตัวชี้บนจอภาพ Mouse แบบทางกลนี้มีโครงสร้างที่ออกแบบได้ง่าย มีรูปร่างพอดีกับมือ ส่วนลูกกลิ้งจะต้องออกแบบให้กลิ้งได้ง่ายและไม่ลื่นไถล สามารถควบคุมความเร็วได้อย่างต่อเนื่อง สัมพันธ์ระหว่างทางเดินของ Mouse และจอภาพ เมาส์ทางกล ประกอบด้วย

1. Ball Mouse การใช้งานต้องเลื่อน Mouse ไปยังแกนต่างๆบนหน้าจอเพื่อเลือก หรือยกเลิกโปรแกรมที่ทำงานอยู่ ต่อมาได้พัฒนา Mouse ให้มีล้อ (wheel) เพื่อให้สะดวกในการใช้งานกับ Windows ตั้งแต่เวอร์ชัน 95 เป็นต้นมา ซึ่งช่วยในการเลื่อนหน้าต่าง Windows ได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องเลื่อน Mouse เพียงแต่ใช้นิ้วขยับไปที่ wheel ขึ้นลงเท่านั้นดังรูปที่ 2.5 (ซ้าย)



รูปที่ 2.5 ลักษณะการทำงานของ Ball Mouse (ซ้าย) เมาส์ไร้สายตัวแรกโดย Logitech (ขวา)
[4]

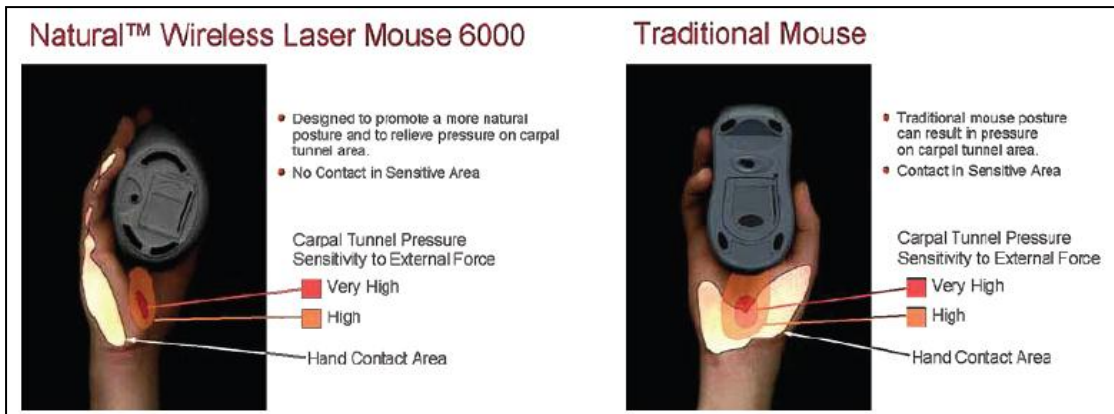
2. Wireless Mouse มีการทำงานเหมือนเมาส์ทั่วไป เพียงแต่ไม่มีการใช้สายไฟต่อออกมาจากตัวเมาส์ซึ่งเมาส์ชนิดนี้จะมีตัวรับและตัวส่งสัญญาณ ทางด้านตัวรับสัญญาณอาจจะ เป็นหัวต่อแบบ PS/2 หรือ แบบ USB ที่เรียกว่า Thumb USB receiver ซึ่งใช้ความถี่วิทยุ อยู่ที่ 27 MHz โดยเมาส์ไร้สายตัวแรกคิดค้นโดย Logitech ดังรูปที่ 2.5 (ขวา)

2.2.2 เมาส์แบบใช้แสง

ออปติคอลลเมาส์ในยุคแรก ๆ ประดิษฐ์โดย สตีฟเคิร์ช (Steve Kirsch) ที่บริษัท Mouse Systems Corporation ซึ่งสามารถใช้ได้บนเมาส์แพด (mouse pad) ที่มีพื้นผิวเป็นโลหะเฉพาะเท่านั้น และต้องใช้ CPU ของเครื่องคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลตำแหน่งของตัวชี้ตำแหน่ง แต่เมื่อคอมพิวเตอร์มีราคาถูกลง ออปติคอลลเมาส์จึงได้ถูกใส่ชิปสำหรับประมวลผลภาพ (ICP: Image Processing Chips) เข้าไป ซึ่งทำให้สามารถใช้ได้บนพื้นผิวหลายชนิดมากขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องใช้เมาส์แพดอีกต่อไป

2.3 เมาส์การยศาสตร์

อุปกรณ์เมาส์ที่ได้รับการออกแบบตามหลักสรีรศาสตร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายของผู้ใช้งาน และช่วยป้องกันการบาดเจ็บที่ร้ายแรงจากการใช้คอมพิวเตอร์ในระยะเวลาอันยาวนาน เมาส์ที่ถูกออกแบบตามหลักการยศาสตร์ เพื่อช่วยลดพื้นที่การสัมผัสพื้นในการใช้งานเมาส์ ทำให้ลดแรงในการกดทับบริเวณข้อมือได้เมื่อเทียบกับการใช้เมาส์ทั่วไป ดังรูปที่ 2.6

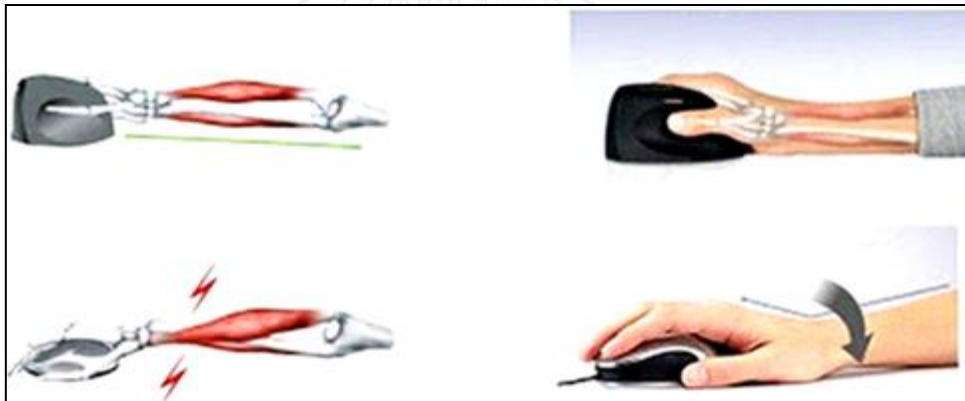


รูปที่ 2.6 พื้นที่สัมผัสในการใช้เมาส์การยศาสตร์ (ซ้าย)

พื้นที่สัมผัสในการใช้เมาส์ทั่วไป (ขวา)

[6]

การออกแบบเมาส์การยศาสตร์ มีการพิจารณาถึงโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อ เพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างเป็นธรรมชาติ หลีกเลี่ยงการทำงานที่ไม่ปกติ ดังรูปที่ 2.7

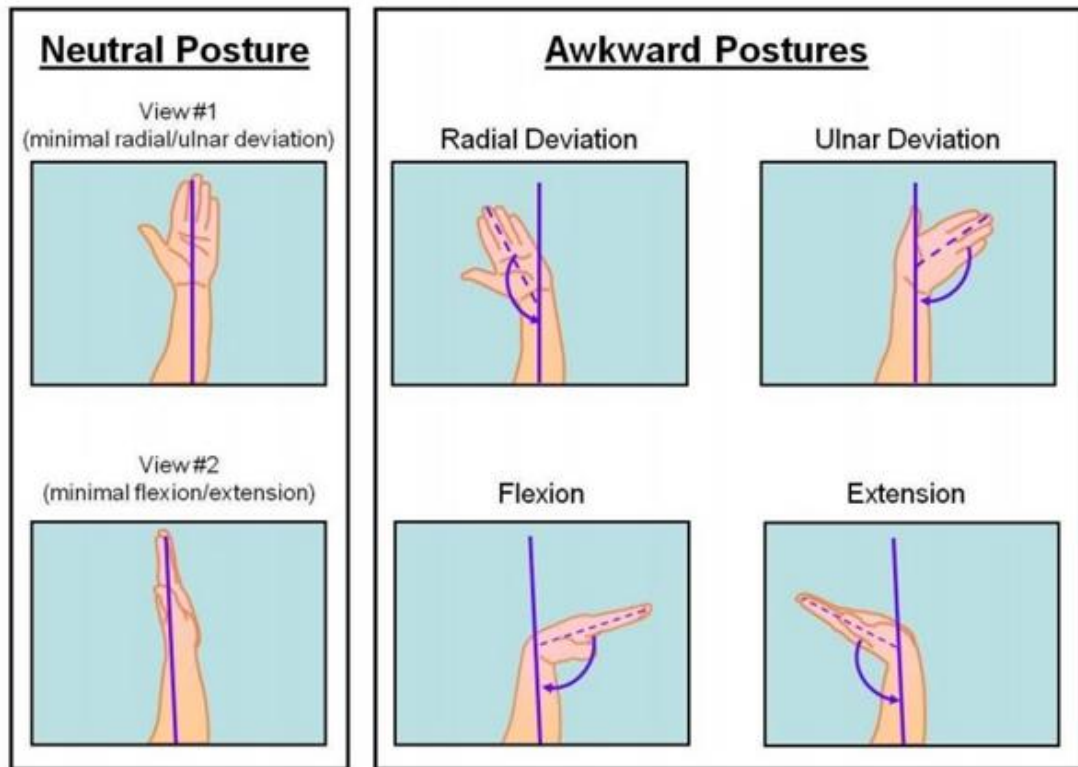


รูปที่ 2.7 ลักษณะโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อที่เป็นธรรมชาติ (บน)

ลักษณะโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อที่ไม่เป็นธรรมชาติ (ล่าง)

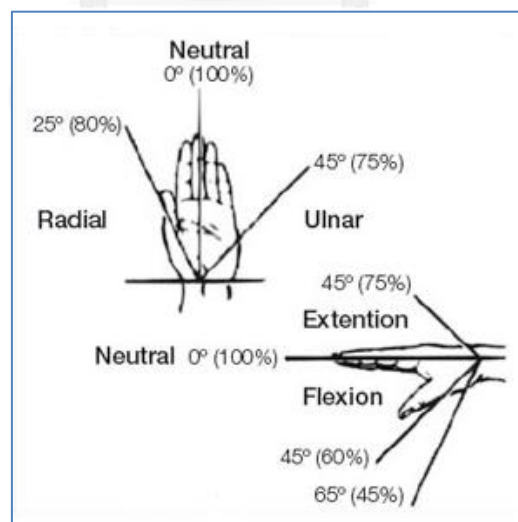
[7]

เมาส์ถูกออกแบบมาเพื่อให้การวางมือถูกต้องตามหลักการยศาสตร์ โดยวางในตำแหน่งสมดุขของร่างกาย (Natural Posture) เพื่อให้เกิดความเครียดน้อยที่สุด หลีกเลี่ยงการกระทำที่ทำให้เกิดความล้มจากการบิดงอของข้อมือ (Awkward Posture) อันส่งผลต่อความเสี่ยงในการเกิดความผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูก ดังรูปที่ 2.8 -2.9



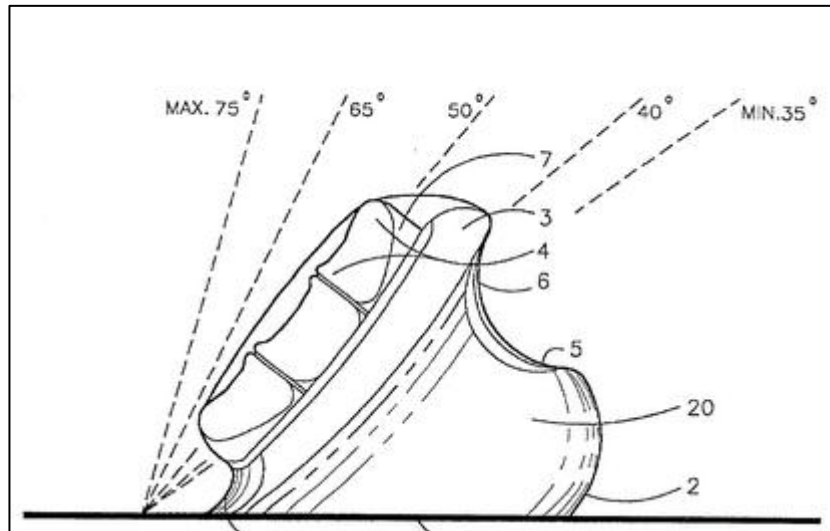
รูปที่ 2.8 ลักษณะการวางมือตามหลักการยศาสตร์

[8]



รูปที่ 2.9 แสดงมุมบิดเอียงสูงสุดของข้อมือ

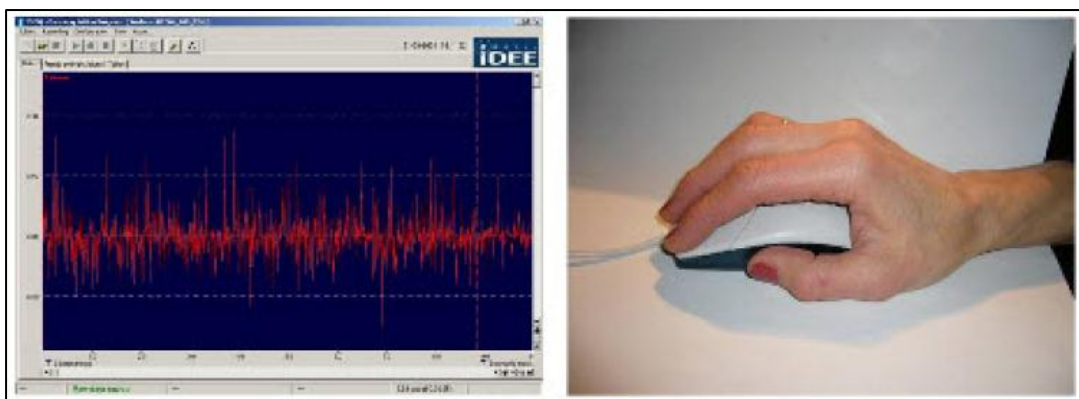
[9]



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างเมาส์การยศาสตร์ที่ได้รับการรับรองสิทธิบัตร

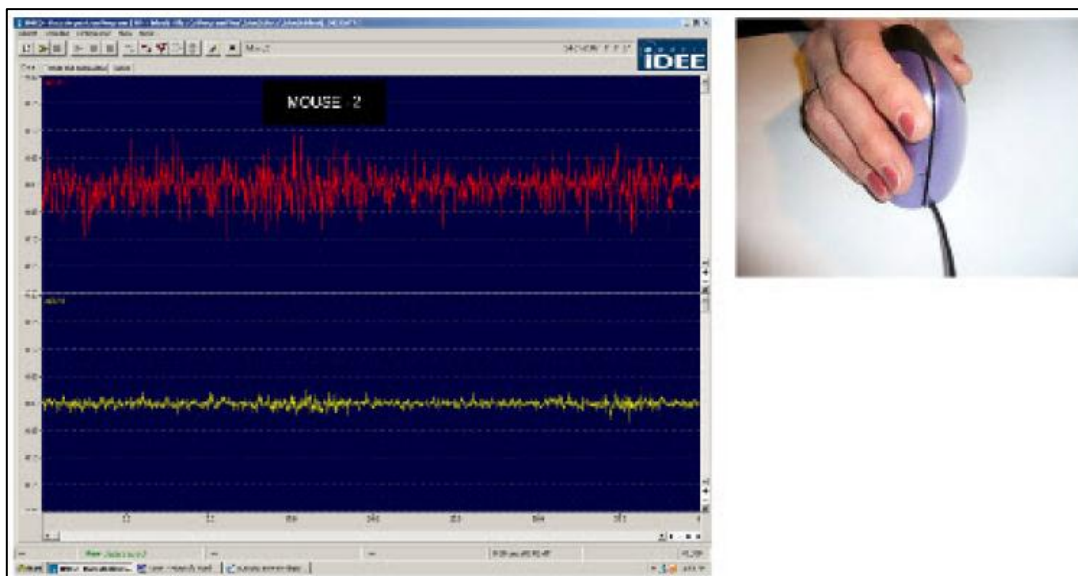
[10]

การประเมินความล้าจากการใช้งานเมาส์ ด้วยวิธีการวัดด้วยเครื่องมือตรวจคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography: EMG) กราฟจะแสดงผลเมื่อกล้ามเนื้อมีการออกแรง จากการศึกษเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าจากการใช้งานเมาส์ทั่วไปเทียบกับเมาส์การยศาสตร์ โดยเมาส์ทั่วไปมุมเอียง 0 องศา มีผลต่อการบิดเอียงของข้อมือ ทำให้ข้อมือเกิดการออกแรงตลอดเวลา แสดงในกราฟที่ได้จากการวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อดังรูปที่ 2.11 การใช้งานเมาส์การยศาสตร์ แสดงในเส้นกราฟที่ได้จากการวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อดังรูปที่ 2.12 แสดงกล้ามเนื้อทำงานตลอดเวลาจากการแรงเสียดทานระหว่างมือกับพื้นโต๊ะขณะทำงาน[11]



รูปที่ 2.11 การใช้งานเมาส์ทั่วไปและคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

[11]

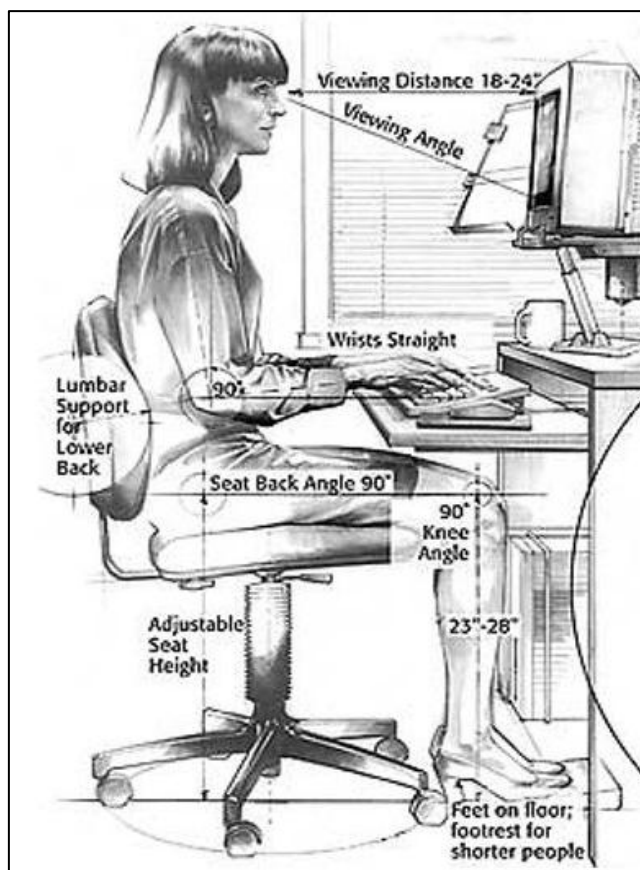


รูปที่ 2.12 การใช้เมาส์การยศาสตร์และคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

[11]

2.4 ลักษณะการทำงานที่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์

1. แป้นพิมพ์ (Keyboard) ไม่ควรวางให้สูงหรือต่ำจนเกินไป ให้แขนวางในมุมตั้งฉาก นิ้วโดยไหล่ไม่งอ ให้ข้อศอกอยู่ในมุมที่เปิด 90 องศา หรือมากกว่านั้น และไม่ควรหนาเกิน 2 นิ้ว
2. จอคอมพิวเตอร์ (Monitor) วางจอคอมพิวเตอร์ห่างประมาณ 50-70 ซม. ระดับในการมองควรอยู่ต่ำกว่าระดับสายตาประมาณ 15 องศา จอภาพควรเป็นประเภทตัวหนังสือมีดบนพื้นสว่าง ภายใต้ระดับความส่องสว่างของแสง ประมาณ 300-500 ลักซ์
3. เก้าอี้ ควรมีพนักพิงหลังที่ปรับได้ หรือพอดีกับหลังส่วนล่าง ขอบด้านหน้าของเก้าอี้ควรลาดเอียงเล็กน้อย เพื่อลดการกดทับบริเวณต้นขา สามารถปรับความสูงได้และควรมีขนาดเหมาะสมกับผู้ใช้แต่ละคน
4. เมาส์ เลือกเมาส์ให้เหมาะกับขนาดของฝ่ามือ มีรูปแบบให้มืออยู่ในท่าธรรมชาติไม่โค้งงอ



รูปที่ 2.13 การจัดสถานีงานคอมพิวเตอร์

[12]

2.5 ลักษณะการเคลื่อนไหวเบื้องต้นของร่างกาย

การเคลื่อนไหวของร่างกายแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือการเคลื่อนไหวแบบเคลื่อนที่ คือการที่ร่างกายเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง และการเคลื่อนไหวแบบไม่เคลื่อนที่ เป็นการที่ส่วนต่างๆ ของร่างกายเคลื่อนไหวโดยที่ร่างกายอยู่กับที่ เช่น การเหยียด ยืด หมุน เป็นต้น โดยส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวประกอบด้วย

2.5.1 การทำงานของข้อต่อ

โดยข้อต่อคือส่วนที่เชื่อมต่อกันระหว่างกระดูกกับกระดูก โดยรูปร่างของข้อต่อมี 6 ลักษณะคือ

1. ข้อต่อรูปบานพับ (hinge joint) เป็นข้อต่อที่เคลื่อนไหวทำมุมได้ทางเดียว คล้ายกับบานพับประตู โดยมีลักษณะข้อต่อของกระดูกชิ้นหนึ่งเล็ก และอีกชิ้นหนึ่งใหญ่ ประกอบกันเป็นข้อต่อ ข้อต่อที่มีรูปร่าง การเคลื่อนไหวในลักษณะนี้ เช่น ข้อต่อที่ข้อศอก (elbow joint) หรือข้อต่อของขากรรไกรล่าง (temporomandibular joint)

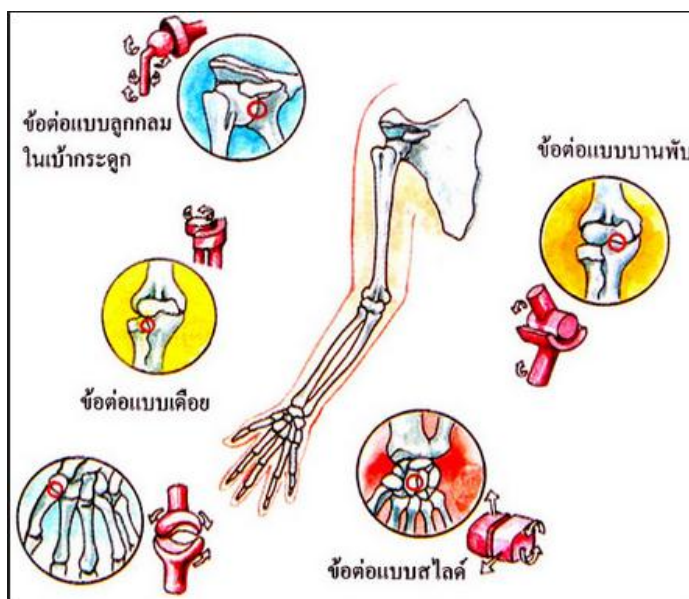
2. ข้อต่อรูปร่างแปลก หรือมีรูปร่างไม่แน่นอน (condyloid or plane joint) เป็น ข้อต่อที่ไม่มีแกนในการเคลื่อนไหว การเคลื่อนที่ของข้อต่อจึงเป็นไปในลักษณะเลื่อนไถลไปมา ข้อต่อที่มีรูปร่าง และลักษณะการเคลื่อนไหวแบบนี้ เช่น ข้อต่อที่ข้อมือ (radio carpal joint)

3. ข้อต่อรูปอานม้า (saddle joint) เป็นข้อต่อที่ปลายกระดูกชิ้นหนึ่งมีลักษณะคล้ายอานม้า อีกชิ้นหนึ่งมีลักษณะนูนสอดทับกัน ทำให้สามารถเคลื่อนไหวได้ 2 ทาง คือ เคลื่อนไหวในลักษณะงอ-เหยียด (flexion-extension) กางออก-หุบเข้า (abduction-adduction) เช่น ข้อต่อของกระดูกฝ่ามือของนิ้วหัวแม่มือกับกระดูกข้อมือ ชั้นที่ 1

4. ข้อต่อรูปไข่ เป็นข้อต่อที่ปลายกระดูกชิ้นหนึ่งมีลักษณะคล้ายไข่ (นูนกลม) เข้าไปประกบกับกระดูกอีกชิ้นหนึ่ง ทำให้สามารถเคลื่อนไหวในลักษณะการเคลื่อนไปข้างหน้า การเคลื่อนไปข้างหลังและข้างๆ ในลักษณะงอและเหยียดได้ ข้อต่อที่มีรูปร่าง และลักษณะการเคลื่อนไหวแบบนี้ เช่น ข้อต่อของกระดูกระหว่างกระดูกปลายแขนด้านนอก (radius bone) กับกระดูกข้อมือ (carpal bone)

5. ข้อต่อรูปบอลในเบ้า (ball and socket joint) เป็นข้อต่อที่มีหัวกระดูกชิ้นหนึ่งมีลักษณะกลม สวมลงไปที่ปลายกระดูกอีกชิ้นที่มีลักษณะเป็นบ่อหรือเบ้ากลม ข้อต่อในลักษณะนี้สามารถหมุนได้รอบตัวทั้งในลักษณะการงอ เหยียด กางออก หุบเข้า หมุนเป็นกรวยหรือหมุนไปรอบตัว ข้อต่อที่มีรูปร่าง และลักษณะการเคลื่อนไหวแบบนี้ เช่น ข้อต่อสะโพก (hip joint) ข้อต่อบริเวณหัวไหล่ (shoulder joint)

6. ข้อต่อรูปไขควง (pivot joint) เป็นข้อต่อที่ปลายกระดูกชิ้นหนึ่งสอดเข้าไปในกระดูกอีกชิ้นหนึ่งที่เป็นวงทำให้สามารถหมุนได้รอบตัว ข้อต่อที่มีรูปร่าง และลักษณะการเคลื่อนไหวแบบนี้ เช่น ข้อต่อของกระดูกคอชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 (atlantoaxial joint) ข้อต่อ ข้อมือ บริเวณ รอยต่อของปลายแขน (radio-ulnar joint)



รูปที่ 2.14 ลักษณะของข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้แบบต่างๆ

[13]

2.5.2 การทำงานของกล้ามเนื้อแขน (Muscles of upper extremities)

โดยการทำงานของกล้ามเนื้อแขนแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

1. กล้ามเนื้อไหล่ (Muscles of the shoulder) ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 4 ส่วน คือ
 - Deltoid ทำหน้าที่ กางต้นแขนขึ้นมาเป็นมุมฉาก
 - Supraspinatus, Infraspinatus, Teres minor ทำหน้าที่พยุงไหล่หุบแขนและหมุนต้นแขนไปข้างๆ
 - Teres major ทำหน้าที่ หุบแขนและหมุนต้นแขนเข้าข้างใน
 - Subscapularis ทำหน้าที่ หมุนต้นแขนเข้าข้างใน และพยุงหัวไหล่
2. กล้ามเนื้อต้นแขน (Muscles of the arm) ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 4 ส่วน
 - Biceps brachii คล้ายกระสวยปลายบนมี 2 หัว ทำหน้าที่งอข้อศอกและหยายมือ
 - Triceps brachii มัดใหญ่อยู่หลังต้นแขน ปลายบนมี 3 หัว ทำหน้าที่เหยียดปลายแขนและหุบแขน
 - Brachialis คลุมส่วนหน้าของข้อศอก ทำหน้าที่งอปลายแขน

- Coracobrachialis ทำหน้าที่งอและหุบแขน ช่วยให้หัวของกระดูก Humerus อยู่ใน Glenoid

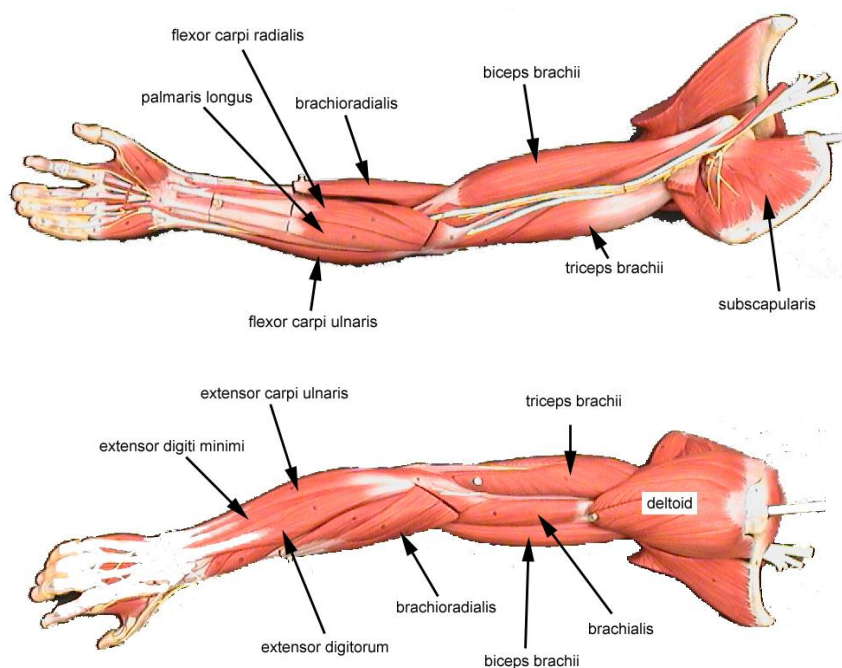
2.1 กล้ามเนื้อปลายแขนด้านหน้า (Volar group)

- Pronator Teres ทำหน้าที่คว่ำมือและงอแขนท่อนล่าง
- Pronator quadratus ทำหน้าที่คว่ำแขนท่อนบน
- Flexor carpi Ulnaris ทำหน้าที่คว่ำแขนท่อนล่าง งอและหุบมือ
- Flexor digitorum Profundus ทำหน้าที่งอมือและงอปลายนิ้ว

2.2 กล้ามเนื้อปลายแขนด้านหลัง (Dorsal group)

- Brachioradialis ทำหน้าที่งอปลายแขนและหงายมือ
- Extensor carpi Radialis brevis ทำหน้าที่เหยียดแขนท่อนล่าง เหยียดและกางข้อมือ
- Extensor carpi Ulnaris ทำหน้าที่เหยียดและกางข้อมือ
- Extensor digitorum ทำหน้าที่เหยียดนิ้วมือและข้อมือ

3. กล้ามเนื้อของมือ (Muscles of the hand) กล้ามเนื้อของมือ เป็นกล้ามเนื้อสั้นๆ ที่ทำหน้าที่ในการเคลื่อนไหวนิ้วหัวแม่มือ และนิ้วอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีกล้ามเนื้อมัดเล็กๆ ที่นิ้วมืออีกจำนวนมาก ซึ่งช่วยในการเคลื่อนไหวนิ้วมืออีกด้วย [14]



รูปที่ 2.15 ลักษณะของกล้ามเนื้อแขน

[14]

2.6 การประเมินสมรรถนะการทำงาน

Fitts' Law คือทฤษฎีที่ใช้หาปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ (Human-Computer Interaction: HCI) ฟิตส์ได้นำเสนอทฤษฎีการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์โดยอาศัยหลักการของ Shannon ใช้หลักการประเมินการเคลื่อนที่ของร่างกายจากจุดหนึ่ง ไปอีกจุดหนึ่งโดยมีความสัมพันธ์เชิงสมการที่ 2.1

$$IP = \frac{ID}{MT} \quad (2.1)$$

โดย IP = ดัชนีสมรรถนะการทำงาน (Index of Performance) หรือการเผชิญหน้ากับปัจจัยภายนอก สมรรถนะการทำงานที่ดีหมายถึง เมื่อปัจจัยภายนอกเปลี่ยนแปลงไปแต่ผลลัพธ์ของงานมีความเปลี่ยนแปลงน้อย เช่น เมื่อดัชนีความยากของงานเพิ่มมากขึ้น แต่เวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์เปลี่ยนแปลงน้อย แสดงถึงสมรรถนะการทำงานที่ดี ขณะที่เมื่อดัชนีความยากของงานมากขึ้น และเวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์เพิ่มขึ้นตาม แสดงถึงสมรรถนะการทำงานที่ไม่ดี

ID = ดัชนีความยากของงาน (Index of Difficulty)

MT= เวลาในการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นงานจนถึงจุดสิ้นสุด(Movement Time)

ความยากของงานแปรผันโดย ระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นจนถึงจุดเป้าหมาย และขนาดความกว้างของเป้าหมายในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ ได้เป็นสมการที่ 2.2

$$ID = \text{Log}_2 \left(\frac{2A}{W} \right) \quad (2.2)$$

โดย A = ระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นจนถึงจุดศูนย์กลางเป้าหมาย (Amplitude)

W = ขนาดความกว้างของเป้าหมายในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ (Width)

การรับส่งข้อมูลสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านการใช้เมาส์ เป็นงานที่มุ่งเน้นความถูกต้อง ยิ่งผลลัพธ์ออกมามีความผิดพลาดน้อย ยิ่งแสดงถึงสมรรถนะที่ดีของอุปกรณ์[15]

ในปัจจุบัน การใช้งานคอมพิวเตอร์มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น ทั้งการใช้คอมพิวเตอร์ในการวาดภาพ การใช้งานคอมพิวเตอร์ในการทำงาน 3 มิติ สิ่งเหล่านี้กลายมาเป็นงานทั่วไปที่ใช้ในการใช้งานคอมพิวเตอร์ ขณะเดียวกันการหาความสามารถในการทำงานแบบฟิตส์ ไม่เพียงพอสำหรับการวัดประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงได้มีการหาประสิทธิภาพในการทำงานด้วยวิธีการของสเตียร์ริง

Steering law เป็นกฎที่พัฒนามาจาก Fitts' law ด้วยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ใช้ในการประเมินการเคลื่อนที่ส่วนของร่างกายจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง ตามเส้นทางที่มีขอบเขตในการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่แบบ steering มีทั้งแบบที่เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.13 และแบบที่ไม่เป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.14 กฎนี้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ กับความคลาดเคลื่อนไปจากเส้นทางที่กำหนด โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.3

$$ID = \int \frac{ds}{W(s)} \quad (2.3)$$

$$MT = a + b(ID)$$

โดย ID = ดัชนีความยากของงาน (Index of Difficulty)

ds = ระยะสั้นๆที่เคลื่อนที่ตามเส้นทาง

W = ขนาดความกว้างของเป้าหมายในทิศทางตั้งฉากกับ ds

MT= เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์

a, b = regression coefficient

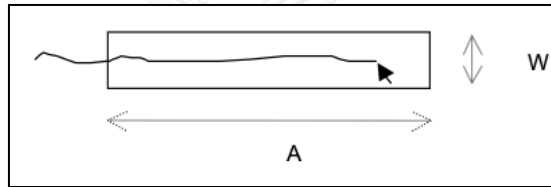
Steering law ยังสามารถอธิบายรูปแบบสมการให้เป็นรูปแบบที่ใช้กันโดยทั่วไป โดยการแสดงความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่ กับ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ดังสมการที่ 2.4

$$v(s) = \frac{W(s)}{\tau} \quad (2.4)$$

โดย $v(s)$ = ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ตำแหน่ง s ใดๆ

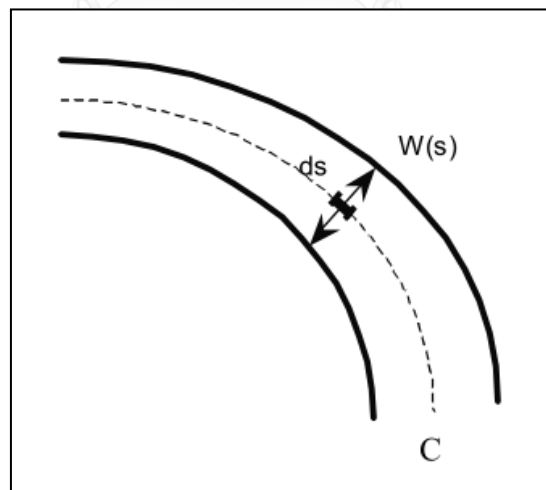
$W(s)$ = ความกว้างที่ตำแหน่ง s เดียวกัน

τ = เวลาคงที่



รูปที่ 2.16 ลักษณะการวัดค่าของ steering law แบบเส้นตรง

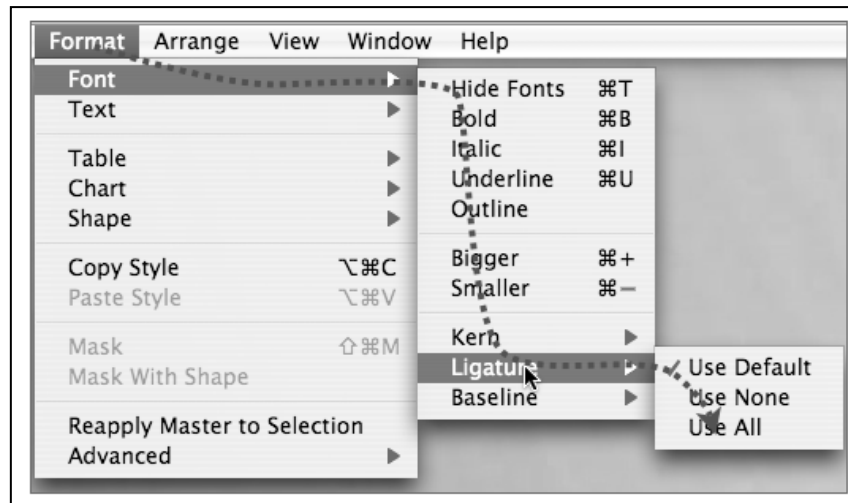
[16]



รูปที่ 2.17 ลักษณะการวัดค่าของ steering law แบบไม่เป็นเส้นตรง

[16]

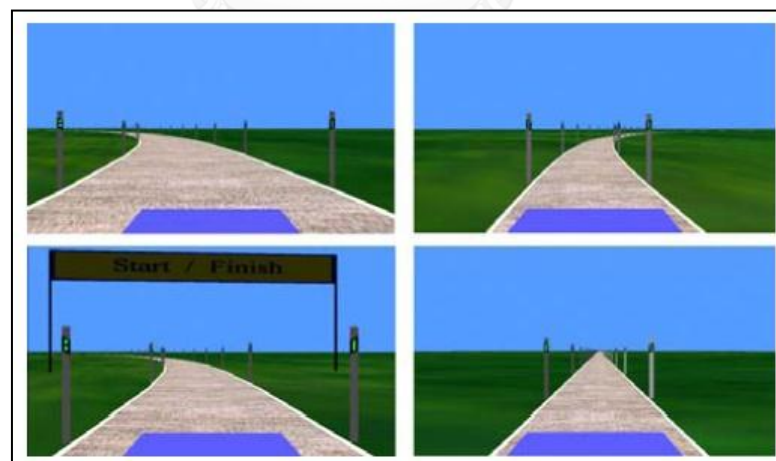
หลักการ Steering law ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบ การจำลองเวลาในการเลือกโปรแกรมหรือเมนูบาร์ต่างๆจากเมนูในชั้นที่หนึ่ง ถึงเมนูในชั้นถัดๆไป ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.18 ปฏิสัมพันธ์การใช้เมาส์ในการเลือกเมนู

[17]

Zhai and Woltjer[16] ได้นำ steering law ไปประยุกต์ใช้ ในการหาความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถ ด้วยโปรแกรม Simulation โดยผลที่ได้เป็นไปตามหลักของ steering law คือ เมื่อความกว้างของถนนมาก ความเร็วในการขับซี้ก็จะมาก ขณะเดียวกันถ้าความกว้างของถนนแคบลง ความเร็วในการขับซี้ที่ใช้ก็จะลดลงตามไปด้วย โดยการเปลี่ยนแปลงปัจจัยในการทดสอบ ทั้งซี้ซี้ด้วยทางตรง และการเลี้ยวด้วยทางโค้ง ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.19 เส้นทางที่ใช้ในการทดสอบความเร็วในการขับซี้รถขณะที่ความกว้างของถนนที่เปลี่ยนไป

[16]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Accot and Zhai [18] ได้ทำการศึกษาความกว้างของพื้นที่ที่มีผลกับความผิดพลาดในการลากเมาส์จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุดหรือไม่ โดยมีผู้ร่วมทดสอบ 13 คน แบ่งระยะความยาวของเป้าหมาย ($A = \text{Amplitude}$) ที่ทำการทดสอบออกเป็น 4 แบบ คือ (A : 250, 500, 750 และ 1000 พิกเซล) และแบ่งความกว้างของระยะทาง ($W = \text{Width}$) ที่ทดสอบออกเป็น 8 แบบ คือ (W : 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 พิกเซล) ทดสอบด้วยการสุ่มให้ผู้ทดสอบทำการทดสอบ 5 คู่ พบว่าความผิดพลาดผันแปรตามความยากของงาน

Accot and Zhai [18] ได้ทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์ชี้ตำแหน่ง 5 แบบ คือ เมาส์(Mouse) แท็บเล็ต (Tablet) ทัชแพด (Touchpad) แทรคบอล (Trackball) และ แทรคพอยต์ (Track point) ทดสอบกับผู้ร่วมทดสอบ 15 คน โดยผู้ร่วมทดสอบทั้งหมดมีประสบการณ์การใช้อุปกรณ์ชี้ตำแหน่งแบบ เมาส์ แต่ผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่ไม่เคยใช้อุปกรณ์ชี้ตำแหน่งนอกเหนือจากเมาส์ โดยทำการทดสอบด้วยหลักของสตีริง (Steering law) ทั้งแบบที่เป็นเส้นตรง และไม่เป็นเส้นตรง ผลจากการทดสอบพบว่า สำหรับการเคลื่อนที่ในแบบเส้นตรงเมาส์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เวลาโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด และแทรคบอลเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เวลาโดยเฉลี่ยมากที่สุด ขณะเดียวกันการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเส้นตรงกลับพบว่า แท็บเล็ตเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เวลาโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด และทัชแพดใช้เวลามากที่สุด

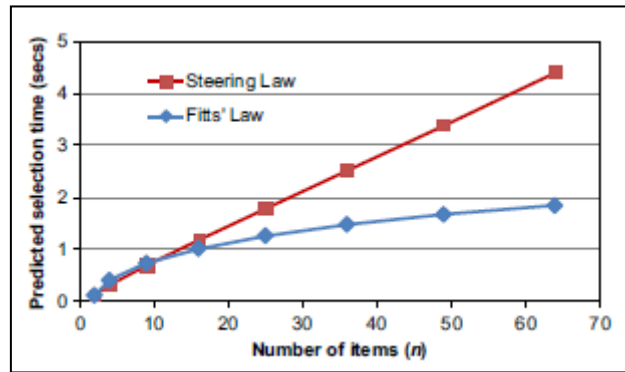
Zhou, et al. [19] ได้ศึกษาความเร็ว และความแม่นยำของการลากในแนวนอน ด้วยเงื่อนไขของเวลาที่เปลี่ยนไป โดยทดสอบกับผู้ร่วมทดสอบ 30 คน อายุระหว่าง 21 ถึง 34 ปี ผนังมือขวา แบ่งผู้เข้าร่วมการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม ตามความเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ คือ 10% ,20% และ 30% ความผิดพลาด เก็บข้อมูลการทดลองทั้งสิ้น 6,750 ครั้ง คือ 3 กลุ่มการทดลอง X ค่าระยะทางระหว่างจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุด ($\text{Amplitude: } A$) 3 ค่า X ความกว้างของระยะทาง($\text{Width: } W$) 5 ค่า X เวลาในการเคลื่อนที่ถึงเป้าหมาย ($\text{Movement time goal : MT}$) 5 ค่า X 3 (ความผิดพลาดที่ยอมรับได้) X 10 (จำนวนผู้ร่วมทดลอง ต่อกลุ่ม) ผลการทดลองพบว่า เวลาจริงที่ใช้ในการทดลอง ($\text{Actual Movement Time : MT}$) มีความสัมพันธ์กับค่าที่ยอมให้ผิดพลาดได้ และ movement time goal โดยเวลาจริงที่ใช้จะน้อยลงเมื่อยอมให้มีความผิดพลาดได้มากขึ้น

ภัทรพร เกียรติธรรม [3] ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ลักษณะทางกายภาพของเมาส์ และสมรรถนะการใช้งานของผู้ใช้ ผู้เข้าร่วมทดสอบ 5 คน โดยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 รูปแบบ คือ ศึกษาเกี่ยวกับน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปของเมาส์ (138 กรัม แทนเมาส์การยศาสตร์

และ 78 กรัม แทนเมาส์ทั่วไป) โดยพบว่าสมรรถนะการใช้งานเมาส์ ของผู้ร่วมทดสอบเริ่มคงที่เมื่อ ผ่านการใช้งานไปแล้ว 4-6 ชั่วโมง พบว่าสมรรถนะการใช้งานเมาส์ที่มีน้ำหนัก 138 กรัม ให้ค่า มากกว่าเมาส์ที่มีน้ำหนัก 78 กรัม อัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของการใช้งานเมาส์ทั้งสองแบบไม่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\text{-value} > 0.05$) รูปแบบที่สองที่ทำการทดสอบคือ ขนาดของเมาส์ โดยการเปรียบเทียบเมาส์ที่มีขนาดใหญ่หรือเมาส์การยศาสตร์ความยาว 10.5 เซนติเมตร และ เมาส์ที่มีขนาดเล็กหรือเมาส์ทั่วไป ความยาว 7.5 เซนติเมตร พบว่า สมรรถนะการทำงานของผู้ร่วม การทดสอบเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 3-6 ชั่วโมง ผู้เข้าร่วมทดสอบมีสมรรถนะการทำงานด้วยการ ใช้เมาส์ขนาดใหญ่สูงกว่าการใช้เมาส์ขนาดเล็ก อัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของการใช้งานเมาส์ทั้ง สองแบบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\text{-value} > 0.05$) และการทดลองสุดท้ายคือ การศึกษา เกี่ยวกับองศาการวางมือ โดยการใช้เมาส์การยศาสตร์องศาการวางมือในท่าธรรมชาติ และเมาส์ องศาการวางมือทั่วไป พบว่าสมรรถนะการใช้งานเมาส์ของผู้เริ่มทดสอบ เริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 8-16 ชั่วโมงการทำงาน และผู้เข้าร่วมทดสอบมีสมรรถนะการทำงานด้วยการใช้เมาส์การยศาสตร์ ดีกว่าการใช้เมาส์ทั่วไป อัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของการเมาส์ทั้งสองแบบไม่แตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญ ($P\text{-value} > 0.05$)

Cockburn, et al. [20] ได้ทำการศึกษาหาสมรรถนะการใช้งานของอุปกรณ์ชี้ตำแหน่ง 3 ชนิดคือ เมาส์ สไตรซ์ และ นิ้วมือ โดยการแตะ (Tapping) การลาก (Dragging) และตามแนวรัศมี (Radial) โดยมีผู้ทดสอบ 18 คน เป็นผู้หญิง 6 คน ชาย 12 คน โดยผลการทดสอบด้วยวิธีการแตะ พบว่า อัตราความผิดพลาดของอุปกรณ์ชี้ตำแหน่งชนิด นิ้วมือ มีอัตราความผิดพลาดสูงที่สุด ขณะ สไตรซ์ มีอัตราความผิดพลาดน้อยที่สุด และเมาส์ใช้เวลาโดยเฉลี่ยมากที่สุด และนิ้วมือใช้ เวลาโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด การทดสอบด้วยการลากพบว่าอัตราความผิดพลาดจากการสไตรซ์มากที่สุด และอัตราความผิดพลาดจากการใช้นิ้วมือมีความผิดพลาดน้อยที่สุด โดยสไตรซ์ใช้เวลา เฉลี่ยน้อยที่สุด และเมาส์ใช้เวลาโดยเฉลี่ยมากที่สุด และการทดสอบสุดท้ายคือ ตามแนวรัศมี สไตรซ์ยังคงให้ผลการทดสอบที่ว่าอัตราความผิดพลาดสูงที่สุด และเมาส์มีอัตราความผิดพลาด น้อยที่สุด โดยสไตรซ์ใช้เวลาโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด และนิ้วมือใช้เวลาโดยเฉลี่ยมากที่สุด โดย Cockburn และคนอื่นๆ ยังได้ทำการทดสอบอีกด้วยว่า ทฤษฎีใดที่เหมาะสมกับการทำงานแบบ แนวรัศมี ระหว่างทฤษฎีฟิตส์กับทฤษฎีสเตียร์ริง หรือไม่เหมาะสมทั้งคู่ โดยการประยุกต์ทฤษฎีของ ฟิตส์และทฤษฎีสเตียร์ริงโดย $MT_{\text{fitts}} = a + b \log_2\left(\frac{1}{2} \cot\left(\frac{\pi}{n}\right) + 1\right)$ แทน เวลาโดยเฉลี่ย ของฟิตส์ เมื่อ n (จำนวนเป้าหมายมากกว่า 2) และ $MT_{\text{steering}} = a + \sum_{i=1}^N b \frac{s_{i+1} - s_i}{W(s_i)}$ ผล ของเวลาที่ได้นำมาสร้างกราฟ เปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ใช้ กับจำนวนเป้าหมายที่เปลี่ยนแปลง

ไป ดังแสดงในรูปที่ 2.15 แนวโน้มของกราฟจากทฤษฎีของฟิตส์จะได้เป็นลอกกาลีทึม ขณะที่แนวโน้มของกราฟจากทฤษฎีของสตีริง มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง



รูปที่ 2.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของเป้าหมายที่เพิ่มขึ้นกับเวลาที่ใช้งาน

[20]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมรรถนะของเมาส์การยศาสตร์ ยังมีแค่การศึกษาโดยอาศัยทฤษฎีของพิตส์ ซึ่งเป็นการศึกษาแบบ Point task ในขณะที่ยังมีอีกประเด็นที่สำคัญที่ยังไม่ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมาส์ทั่วไปเปรียบเทียบกับเมาส์การยศาสตร์ นั่นก็คือการศึกษางานด้วยวิธี Steering law ดังนั้น งานวิจัยในครั้งนี้จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะและระยะเวลาในการใช้งานเมาส์การยศาสตร์ที่ได้เลือกมาทำการศึกษา

3.1 ผู้เข้าร่วมการทดลอง

ผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งชายและหญิงจำนวน 10 คน ชาย 5 คน และหญิง 5 คน โดยผู้เข้าร่วมการทดลองต้องไม่เคยมีประวัติการบาดเจ็บจากการใช้อุปกรณ์เมาส์มาก่อน เป็นผู้ทำงานกับคอมพิวเตอร์มากกว่า 1 ปี อายุระหว่าง 18-35 ปี และไม่เคยใช้งานเมาส์การยศาสตร์

ในการทดลองเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการใช้งานเมาส์ตามรูปแบบที่กำหนด ก่อนการปฏิบัติจริง จะให้ผู้เข้าร่วมการทดลองทำความเข้าใจการทำงานของโปรแกรมการบันทึกผล และให้ผู้ทดลองได้ปฏิบัติก่อนการเก็บข้อมูล ตามที่กำหนด

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เมาส์ที่จำลองลักษณะของเมาส์ทั่วไป ยี่ห้อ Microsoft รุ่น Comfort optical Mouse 3000 แบบมีสาย มุมเอียง 0 องศา เพื่อหลีกเลี่ยงปัจจัยเรื่องน้ำหนักโดยทำการถ่วงน้ำหนักใหม่ให้มีน้ำหนักเท่ากันที่ 115.5 กรัม ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เมาส์ทั่วไป ยี่ห้อ Microsoft (A)

2. เมาส์การยศาสตร์ที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับมุมการเอียงที่เปลี่ยนแปลงของข้อมือ โดยใช้เมาส์การยศาสตร์ยี่ห้อ WOWPEN (WOWPEN USB Vertical Optical Mouse) สำหรับมือขวา แทนเมาส์ที่มีมุมเอียง 45 องศา ทำการถ่วงน้ำหนักให้มีน้ำหนักเท่ากับที่ 115.5 กรัม ดังรูปที่ 3.2 และเมาส์การยศาสตร์ยี่ห้อ Ezmouse รุ่น MSEZR สำหรับมือขวา (Vertical Right Hand Ergonomic USB) แทนเมาส์ที่มีมุมเอียง 90 องศา ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 เมาส์การยศาสตร์ยี่ห้อ Wowpen (B)



รูปที่ 3.3 เมาส์การยศาสตร์ยี่ห้อ Ezmouse(C)

โดยเมาส์ทั้ง 3 ระดับ ได้ทำการปรับให้มีน้ำหนักที่เท่ากัน เพื่อตัดตัวแปรเรื่องน้ำหนัก ที่มีผลต่อสมรรถนะการใช้งานของเมาส์ ถ่วงน้ำหนักเมาส์ที่ 115.5 กรัมเท่าๆกัน โดยการศึกษาสมรรถนะการใช้งานเมาส์ที่มุมเอียงต่างกัน ส่งผลต่อมุมบิดเอียงของข้อมือ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพของเมาส์ที่ใช้

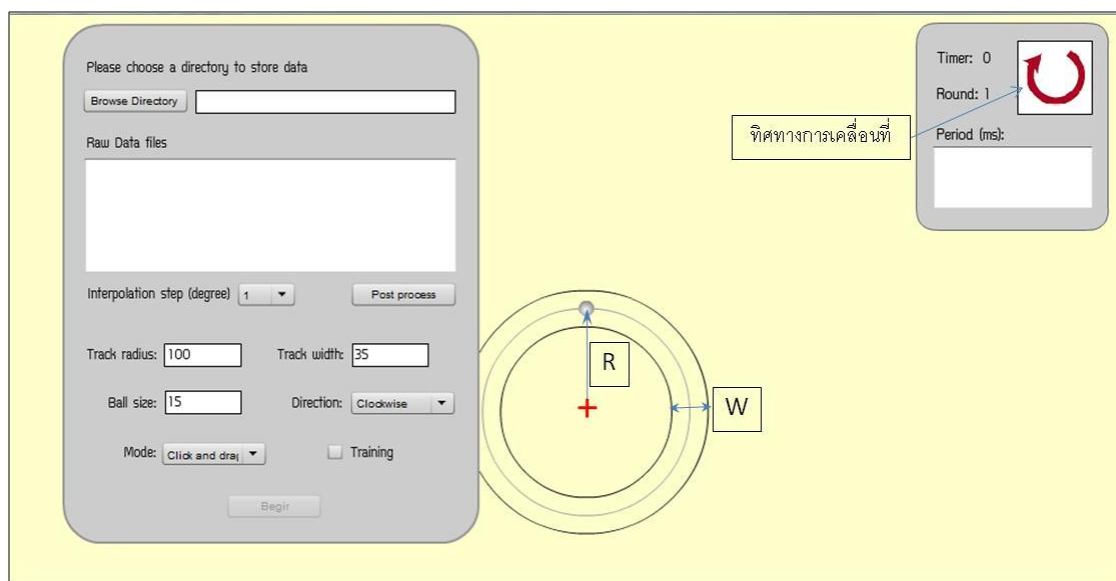
ชนิดของเมาส์			มุมเอียง ของข้อมือ
(A)	เมาส์ทั่วไป Microsoft Comfort Mouse 3000		0
(B)	เมาส์การยศาสตร์ WOWPEN USB Vertical Optical Mouse		45
(C)	เมาส์การยศาสตร์ Ezmouse Vertical Right Hand Ergonomic		90

3. จอแสดงผลสีห้้อ ACER รุ่น Active matrix LCD(TFT) ขนาดจอ17 นิ้ว ความละเอียด 1280 x 1024 pixel ทดสอบด้วยการแสดงภาพเต็มหน้าจอดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 จอแสดงผลสีห้้อ ACER

4. โปรแกรม ErgoCircularDrag เป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการทาง การยศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อใช้เวลาการเคลื่อนที่ ของเมาส์ดังรูปที่ 3.5 รูปแบบของโปรแกรมเป็นไปตามแนวทางของ Steering Law สามารถ ปรับระยะห่างระหว่างเป้าหมาย : รัศมีของวงกลม (R) ขนาดความกว้างของเป้าหมาย : Width (W) การศึกษาได้กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา (Clockwise) และทวนเข็มนาฬิกา (Counterclockwise) โปรแกรมสามารถบันทึกระยะเวลาในการลากเมาส์ ผ่านความ กว้างที่กำหนด ทั้งการลากโดยการคลิกเมาส์ และลากโดยไม่คลิกเมาส์ ด้วยลักษณะการลาก เป็นวงกลม



รูปที่ 3.5 โปรแกรม ErgoCircularDrag ที่ใช้ในการทดสอบ

3.3 การจัดสถานีงานคอมพิวเตอร์ในการทดลอง

เพื่อลดผลกระทบจากความล้าที่เกิดจากปัจจัยสภาพแวดล้อม สถานีงานที่ใช้ในการทดลองจึงทำการกำหนดสถานที่ และสภาพแวดล้อมตามหลักกายศาสตร์ ใช้ห้องปฏิบัติการทางกายศาสตร์เป็นสถานที่ทดลอง มีการจัดสถานีงานดังนี้ มีอุณหภูมิห้องเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียส มีความส่องสว่าง 600 ลักซ์ โต๊ะทำงานสูงจากพื้น 80 เซนติเมตร เก้าอี้มีพนักพิงปรับความสูงได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 สถานีงานในการทดลองเก็บข้อมูล

3.4 การฝึกปฏิบัติ

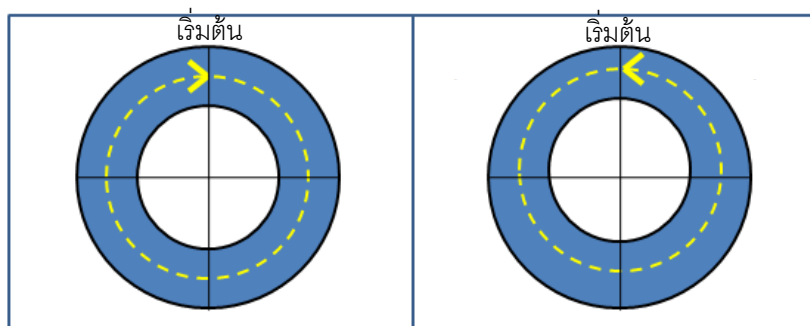
กำหนดให้ผู้เข้าร่วมการทดลองมีการฝึกปฏิบัติก่อนทำการเก็บข้อมูลจริง 10 นาที จากการทำการทดลองเบื้องต้นแสดงในภาคผนวก ข. เพื่อให้ผู้เข้าร่วมการทดลองเกิดความชำนาญในการใช้งานโปรแกรม และเมาส์ทั้ง 3 ระดับ ที่ใช้ในการทดสอบ แนะนำท่านั่ง และท่าทางการวางมือที่ถูกต้องแก่ผู้เข้าร่วมทดลอง ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองลากเมาส์ผ่านเป้าหมายที่กำหนดก่อนเริ่มจับเวลาการทดลองจริง

3.5 ปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขดัชนีความยากของงาน ในการทดสอบสมรรถนะการใช้งานเมาส์

ระดับความยากที่	รัศมีของเป้าหมาย : R (Pixel)	ความกว้างของเป้าหมาย : W (Pixel)	ดัชนีความยาก : ID
1	100	25	25
2	100	30	21
3	200	35	36
4	200	80	16
5	300	45	42
6	300	65	29
		ดัชนีความยากสูงสุด	42
		ดัชนีความยากต่ำสุด	16

รูปแบบการลากแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ ลากเมาส์โดยการคลิกเมาส์ (Drag with Click) และการลากเมาส์โดยไม่คลิกเมาส์ (Drag without Click) ทิศทางการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ คือตามเข็มนาฬิกา (Clockwise) และทวนเข็มนาฬิกา (Counterclockwise) โดยจุดเริ่มต้นในการทดลองจะเริ่มที่ตำแหน่ง 12 นาฬิกาเสมอ ดังรูปที่ 3.7



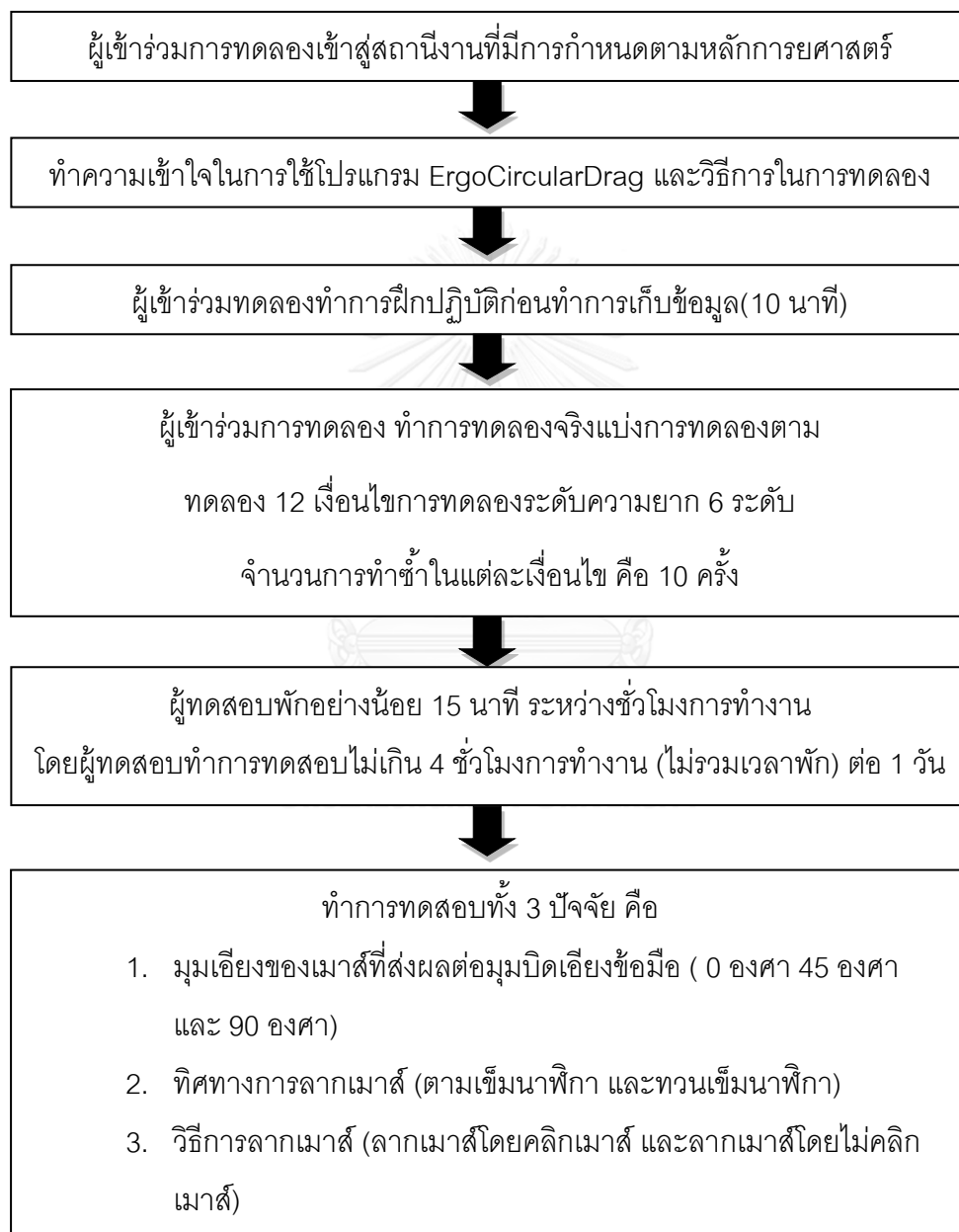
รูปที่ 3.7 ทิศทางการลากเมาส์แบบตามเข็มนาฬิกา(Clockwise) (ซ้าย)
ทิศทางการลากเมาส์แบบทวนเข็มนาฬิกา(Counterclockwise) (ขวา)

3.6 การดำเนินการทดลองและการเก็บข้อมูล

1. ผู้เข้าร่วมการทดลองเข้าสู่สถานงาน ที่มีการกำหนดสถานงานตามหลักการยศาสตร์ โดยใช้ห้องปฏิบัติการทางการยศาสตร์เป็นห้องทดลอง มีอุณหภูมิห้องเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียส มีความส่องสว่าง 600 ลักซ์ โต๊ะทำงานสูงจากพื้น 80 เซนติเมตร เก้าอี้มีพนักพิงปรับความสูงได้ เพื่อความเหมาะสมของผู้เข้าร่วมการทดลอง
2. ทำความเข้าใจในการใช้งานโปรแกรม ErgonCircularDrag และวิธีการในการทดลองให้แก่ผู้เข้าร่วมการทดลอง
3. กำหนดให้ผู้เข้าร่วมการทดลองฝึกปฏิบัติ (Training) เพื่อให้เกิดความคุ้นชินกับการใช้โปรแกรม และสามารถใช้งานโปรแกรมการทดลองได้อย่างคล่องแคล่ว ให้ผู้ร่วมทดลองทำความคุ้นชินกับโปรแกรมด้วยเงื่อนไขการทดสอบ 1 รูปแบบต่อชนิดของเมาส์ เป็นเวลา 10 นาที และพัก 1 นาที ก่อนเริ่มทำการเก็บข้อมูลจริง
4. การทดลองจริงกำหนดให้ผู้เข้าร่วมการทดลองทำการลากเมาส์ผ่านเงื่อนไขที่กำหนด 12 เงื่อนไข โดยทำการทดลองซ้ำเงื่อนไขละ 10 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 720 ครั้ง ในการลากเมาส์ต่อผู้เข้าร่วมการทดลอง 1 คน เพื่อเก็บข้อมูลจริง
5. กำหนดให้ผู้เข้าร่วมการทดลอง ทำการพักระหว่างเงื่อนไขอย่างน้อย 1 นาที และระยะเวลาพักอย่างน้อย 5 นาที ต่อเมาส์ 1 ระดับ และทำการพักอย่างน้อย 15 นาทีต่อ 1 ชั่วโมงทำงาน และกำหนดให้ทำการทดลองไม่เกิน 4 ชั่วโมงทำงานต่อคน ต่อ 1 วัน

6. ผู้เข้าร่วมการทดลองจะต้องทำการใช้งานเมาส์ทั้ง 3 ระดับ โดยจะทำการสุ่มเมาส์แต่ละระดับสำหรับลำดับการทดลอง

แผนผังขั้นตอนการทดลอง



บทที่ 4

วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง

การประเมินเวลาการตอบสนองของการใช้งานเมาส์ และสมรรถนะการการใช้งานเมาส์ จากปัจจัยมุมเอียงของเมาส์ 3 ระดับ ทิศทางการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ และวิธีการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ ด้วยวิธีการลากเมาส์เป็นวงกลม โดยทั้งหมดจะมีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบ Full Factorial Design 3X2X2 มีผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 10 คน ทั้งเพศชายและหญิง ทัศนมือขวา มีประสบการณ์ในการใช้เมาส์อย่างน้อย 1 ปี และปัจจุบันใช้เมาส์ในการทำงาน สถานีงานสำหรับการทดลอง ได้ออกแบบให้คำนึงถึงหลักการยศาสตร์ ควบคุมอุณหภูมิห้อง และความส่องสว่างของพื้นที่ปฏิบัติงาน

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการลากเมาส์แต่ละระดับเป็นวงกลม ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความยากของงาน (ID) 6 ระดับ กับเวลาในการลากเมาส์เป็นวงกลมของเมาส์ในแต่ละระดับ พบว่าเวลาที่ใช้ในการลากเมาส์เป็นวงกลมเพิ่มขึ้น เมื่อดัชนีความยากของงานมากขึ้น และสามารถหาความสัมพันธ์ของเวลากับดัชนีความยากของงานมีลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้น เพื่อหาค่าจุดตัดแกน y (a) และค่าความชัน (b) ตามสมการของ steering law โดย $Movement\ Time = a + b * (ID)$ และหาสมรรถนะของการทำงาน (IP) ได้จากส่วนกลับของความชัน (1/b) หรือเวลาเฉลี่ยการตอบสนองของการใช้งานเมาส์ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อดัชนีความยากของงานเพิ่มมากขึ้น

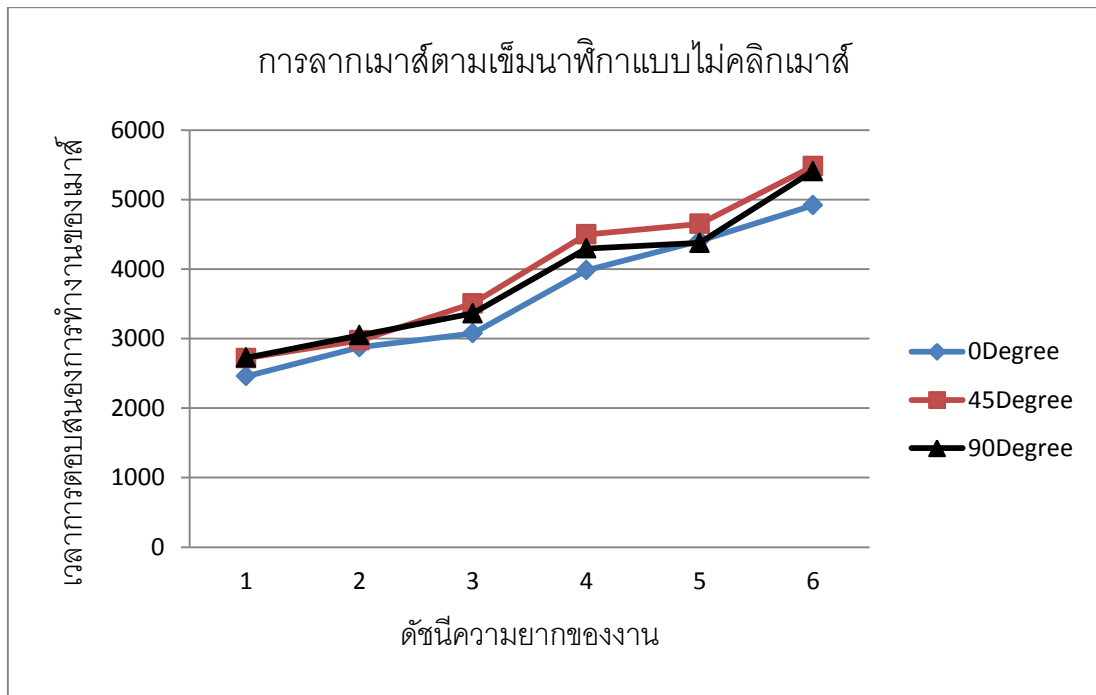
4.1 การประเมินระยะเวลาการตอบสนองของการใช้งานเมาส์

ผู้เข้าร่วมการทดลองดำเนินการทดลองโดยการลากเมาส์ที่มีลักษณะมุมเอียงของข้อมือต่างกัน 3 ระดับ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ด้วยวิธีการแบบลากเมาส์เป็นวงกลมโดยไม่คลิกเมาส์(Drag without Click) และ ลากเมาส์เป็นวงกลมโดยคลิกเมาส์(Drag with Click) ด้วยระดับความยากของงาน 6 ระดับ และทำการทดลองซ้ำอย่างละ 10 ครั้ง

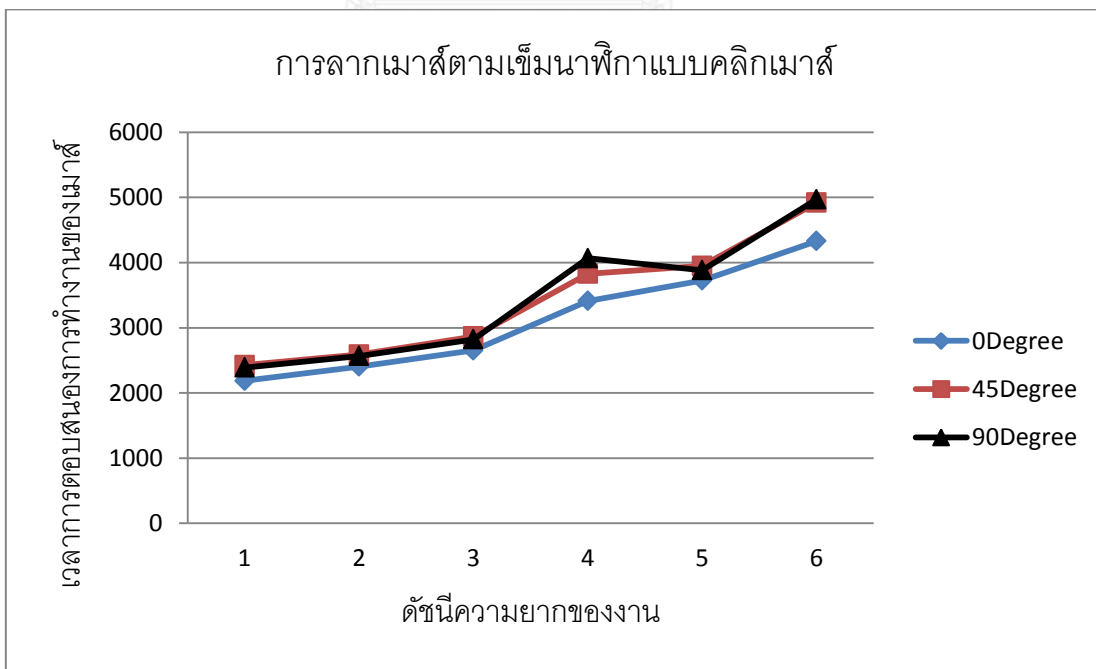
4.1.1 ผลการทดลอง

ระยะเวลาในการลากเมาส์เป็นวงกลมจากการทดลอง โดยผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน ทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง พบว่า เมื่อระดับความยากของงานเพิ่มมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการลากเมาส์ที่

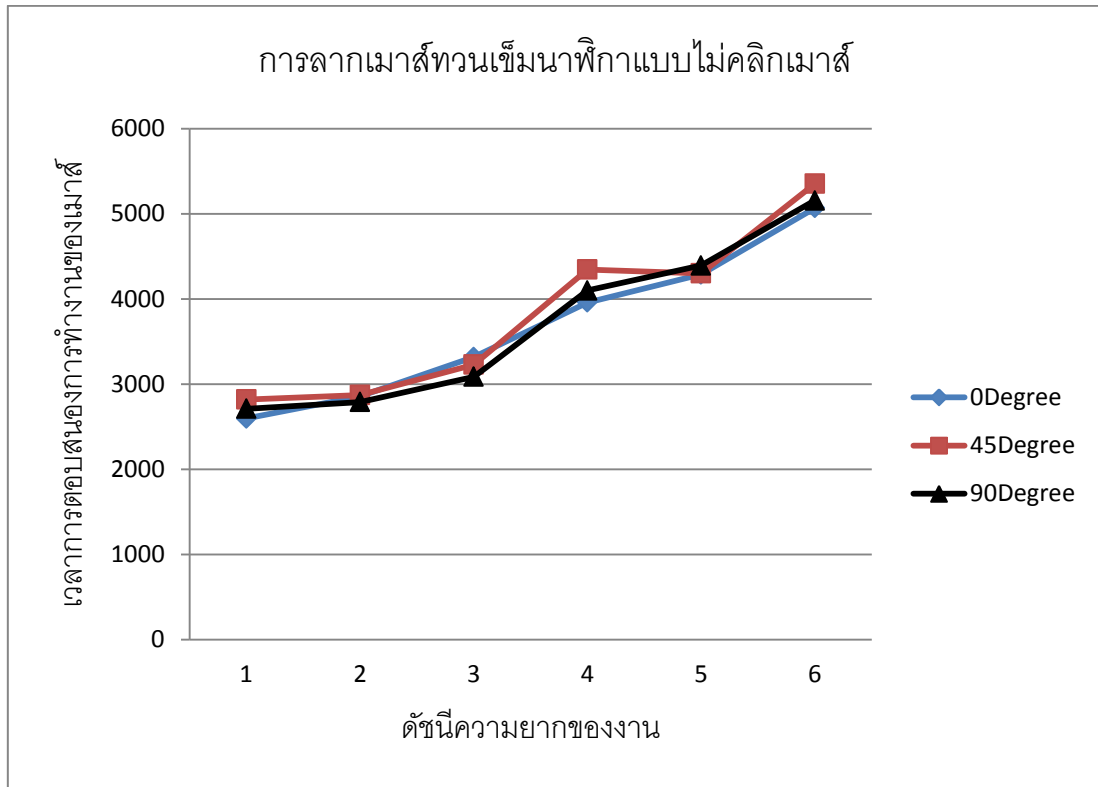
มีมุมเอียงต่างกัน 3 ระดับที่ทำให้มุมบิดเอียงของข้อมือต่างกัน มีแนวโน้มสูงขึ้น ในทุกรูปแบบการทดลอง โดยผลที่ได้สอดคล้องกับทฤษฎีของสตีเวริง (Steering law) ดังรูปที่ 4.1-4.4



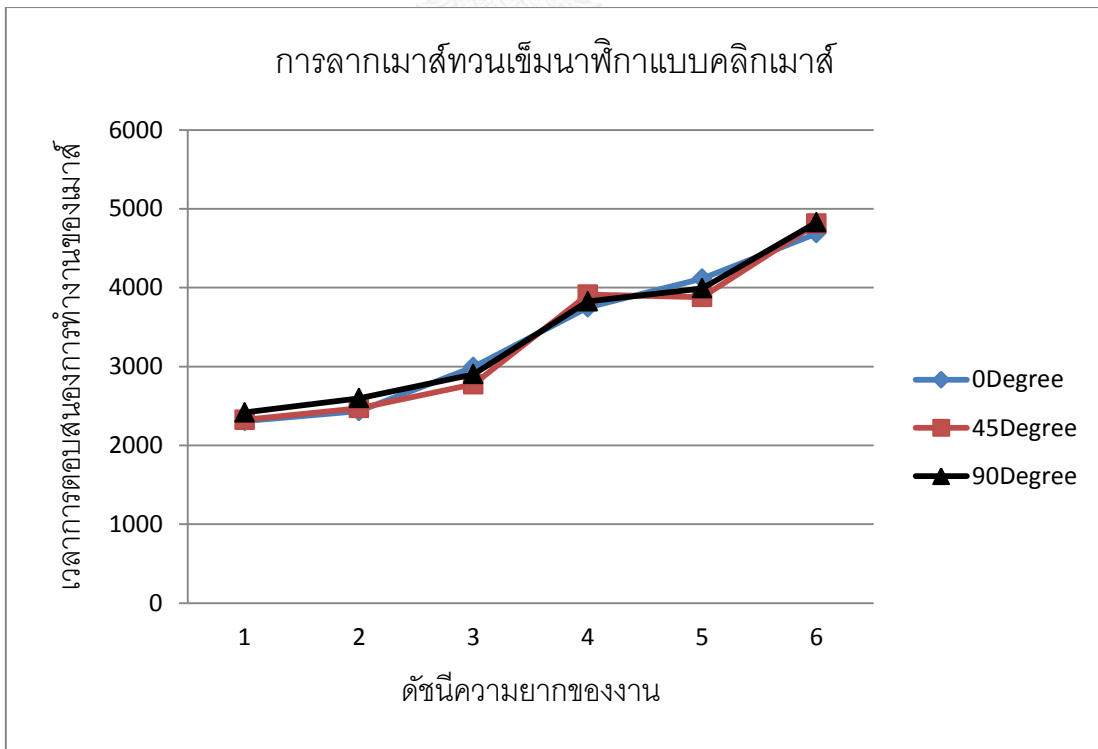
รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาตอบสนอง การลากเมาส์ตามเข็มนาฬิกาแบบไม่คลิกเมาส์



รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาตอบสนอง การลากเมาส์ตามเข็มนาฬิกาแบบคลิกเมาส์



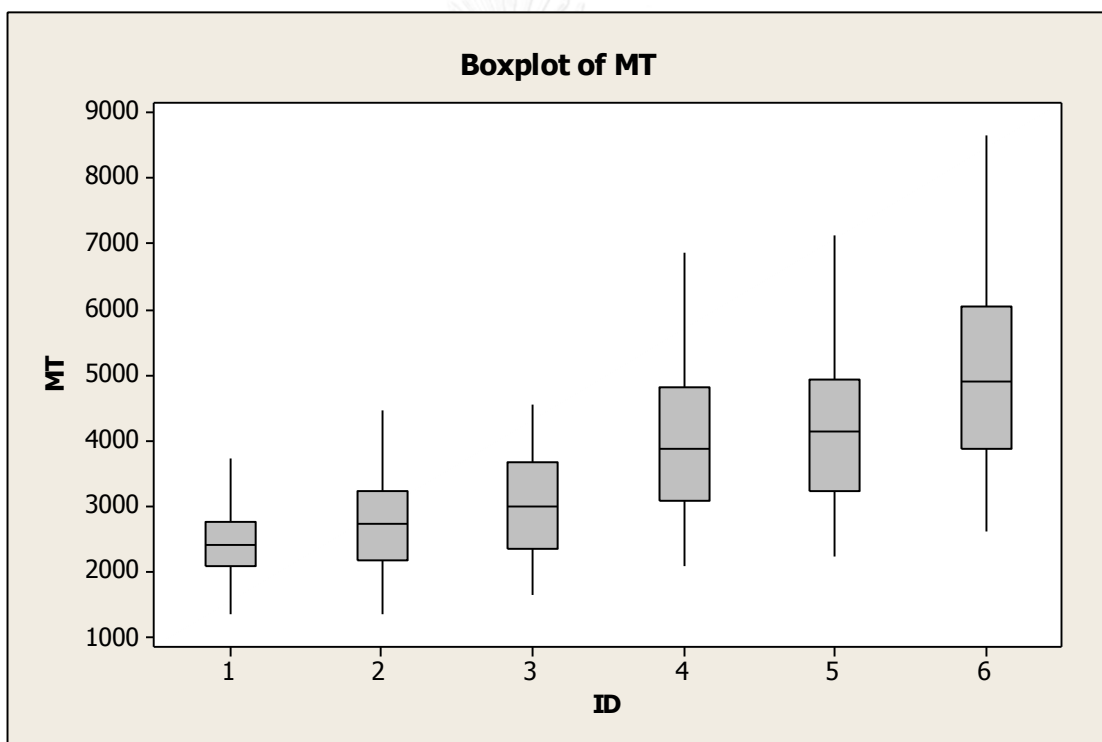
รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาตอบสนอง การลากเม้าส์ทวนเข็มนาฬิกาแบบไม่คลิกเม้าส์



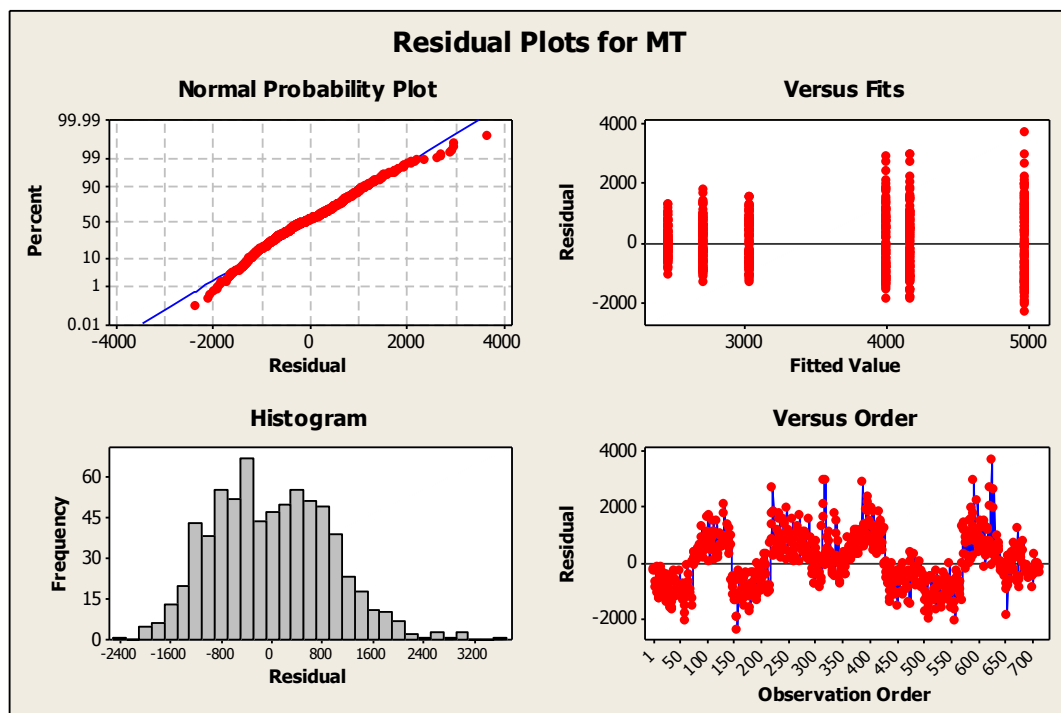
รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาตอบสนอง การลากเม้าส์ทวนเข็มนาฬิกาแบบคลิกเม้าส์

4.1.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์ก่อนการวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความผิดปกติ(Outlier)หรือไม่ โดยวิธีการ Boxplot ดังแสดงในรูปที่ 4.5 จากผลการทดลองไม่พบความผิดปกติของข้อมูล(Outlier) จากโปรแกรม Minitab สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ได้ ก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี ANOVA ต้องทำการตรวจสอบเงื่อนไขของแบบจำลอง โดยพิจารณา 3 เงื่อนไข ดังนี้ พิจารณาเป็นปกติของข้อมูล ความเป็นอิสระของข้อมูล และเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน จากกราฟส่วนตกค้าง(Residuals) ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 การคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติ และการกระจายตัวของข้อมูลเวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน



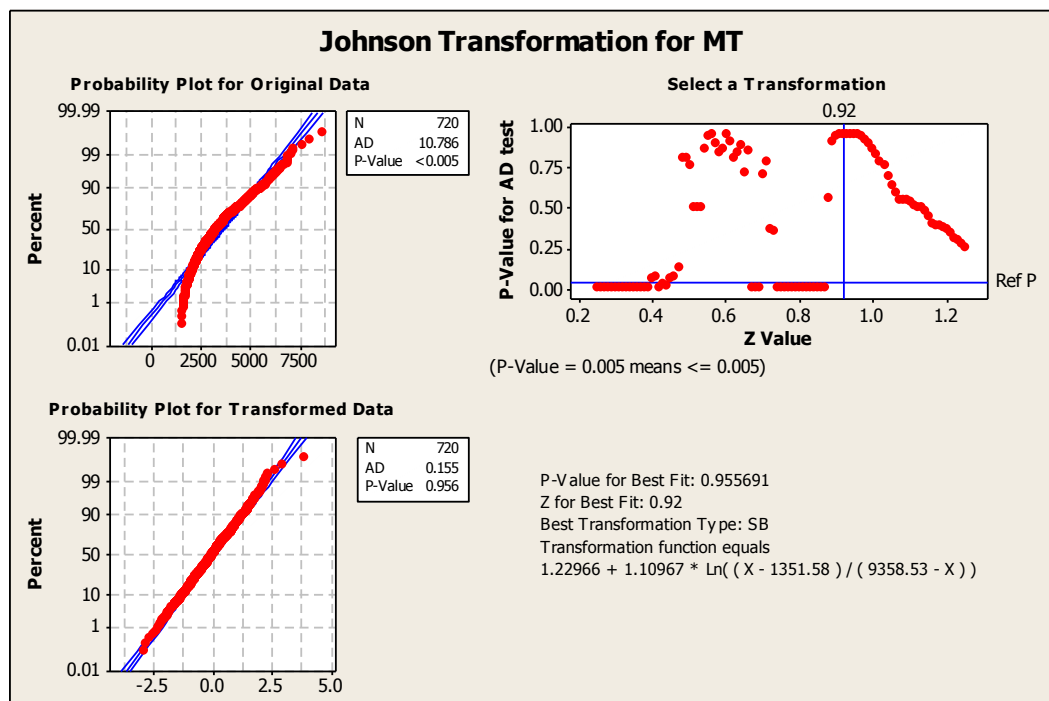
รูปที่ 4.6 การกระจายตัวของข้อมูลเวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์ จากผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ทำการทดสอบชุดข้อมูลเวลาเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์มีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยสังเกตจาก Residual Plot ของชุดข้อมูล ดังรูปที่ 4.6 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB สำหรับ Normal Probability Plot ของชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลเป็นเส้นโค้ง ทำให้ผลของ Histogram เกิดการเบ้ขวา นอกจากนี้ Versus Fits มีการกระจายตัวเป็นสามเหลี่ยมปากแตร คือ ที่ดัชนีความยากของงานน้อยให้ค่าความแปรปรวนน้อย เมื่อดัชนีความยากของงานมากขึ้นค่าความแปรปรวนของข้อมูลมากขึ้น เป็นการทำนายว่าเมื่อความยากของงานมากขึ้นจะทำให้ข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น สรุปได้ว่าชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จึงทำให้การวิเคราะห์ในส่วนต่างๆ ไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้วิธีการแปลงข้อมูลด้วยวิธีการ Johnson Transformation เพื่อนำฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ได้ มาแปลงค่าข้อมูลเดิมให้เป็นข้อมูลใหม่ ทั้งนี้เพื่อทำให้ข้อมูลใหม่มีการแจกแจงแบบปกตินั่นเอง ซึ่งผลจากการแปลงข้อมูลเป็นไปดังนี้

$$T_{transformation} = 1.22966 + 1.10967 \ln\left(\frac{T-1351.58}{9358.53-T}\right) \quad (4.1)$$

$T_{transformation}$ คือ เวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์มาตราใหม่ที่ผ่านการแปลงค่าแล้ว

T คือ เวลาการตอบสนองการใช้งานเมาส์

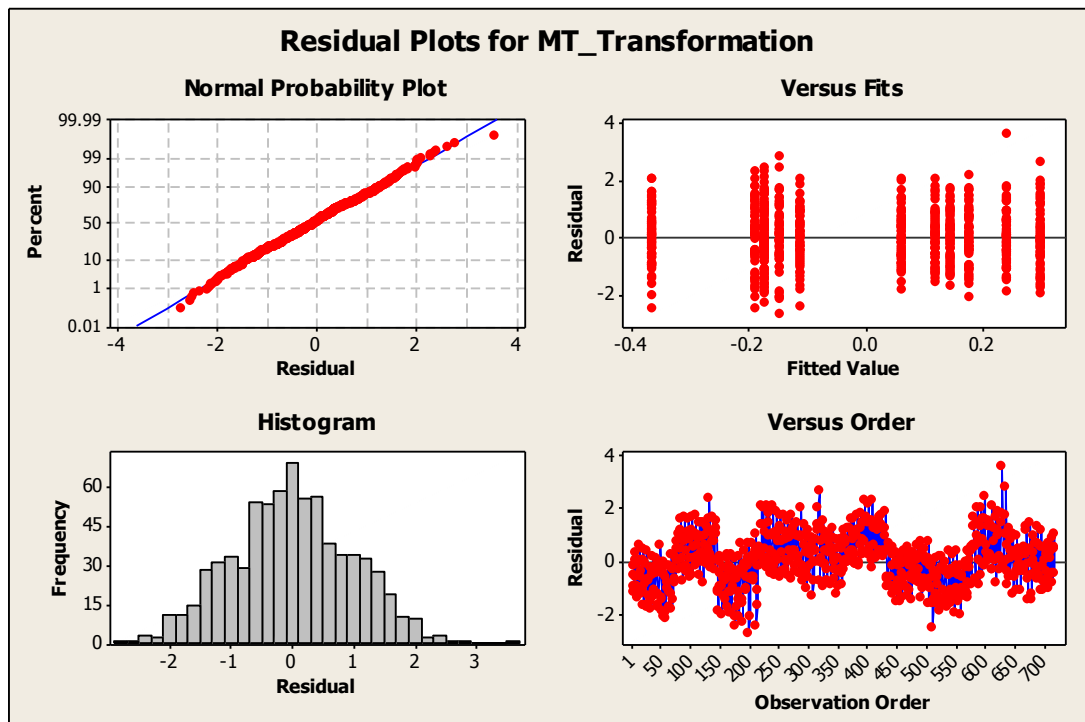


รูปที่ 4.7 ผลการแปลงเวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์ที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วย

Johnson Transformation

จากการแปลงค่าเวลาตอบสนองด้วยวิธีการ Johnson Transformation ซึ่งได้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นลอการิทึมธรรมชาติของเวลาในการตอบสนอง โดยค่าของเวลาจากแปลงค่านี้เองได้เป็นตัวแปรตามในการวิเคราะห์ผลในส่วนถัดไป และจากการนำค่าลอการิทึมธรรมชาติของเวลาในการตอบสนอง มาตรวจทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยจากพิจารณาแผนภาพการเป็นปกติของ (Probability Plot) ดังรูป 4.7 พบว่า ข้อมูลเวลาที่ได้รับการแปลงค่าด้วยฟังก์ชันลอการิทึมธรรมชาติ มีการกระจายตัวแบบเป็นปกติ โดยมีค่า P-value = 0.956 (P-value>0.05) และยังได้ผ่านข้อกำหนดของการมีความแปรปรวนของข้อมูลมาตราใหม่เป็นอิสระต่อกันอีกด้วย

ตั้งค่าลอการิทึมธรรมชาติของเวลาในการตอบสนองจึงได้เป็นตัวแปรตามในการวิเคราะห์ผลด้วยสถิติต่อไป



รูปที่ 4.8 การกระจายตัวของข้อมูลเวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์มาตราใหม่

ค่าเวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์ที่ได้จากการแปลงค่าด้วย Johnson Transformation นำมาวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล ดังรูปที่ 4.8 จากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted value) ซึ่งพบว่าข้อมูลของค่าเวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์มาตราใหม่ไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน และการทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual) สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) เห็นได้ว่าส่วนตกค้างของระยะเวลาตอบสนองการลากเมาส์มาตราใหม่ มีการกระจายตัวเป็นรูปแบบที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

4.1.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลักต่อเวลาการตอบสนองการใช้งานเมาส์

สำหรับปัจจัยที่ใช้การทดลองคือ ปัจจัยเรื่องมุมเอียงของเมาส์ที่ส่งผลต่อมุมบิดเอียงของข้อมือ 3 ระดับ คือ เมาส์ทั่วไปมุมเอียง 0 องศา เมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 45 องศา และเมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 90 องศา ปัจจัยทิศทางการลากเมาส์เป็นวงกลม 2 ระดับ คือ การลากเมาส์เป็นวงกลมแบบตามเข็มนาฬิกา และการลากเมาส์เป็นวงกลมแบบทวนเข็มนาฬิกา ปัจจัยวิธีการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ คือ วิธีการใช้งานเมาส์โดยการลากเมาส์เป็นวงกลมแบบไม่คลิกเมาส์ (Drag without Click) และการลากเมาส์เป็นวงกลมแบบคลิกเมาส์ (Drag with Click) และปัจจัยต้นนี้ความยากของงาน 6 ระดับ รวมพิจารณาทั้งสิ้น 72 ระดับ โดยการวิเคราะห์ ด้วยวิธีการ Full Factorial Design

สมมติฐานที่จะใช้ในการทดสอบปัจจัยทั้ง 3 นั้น สำหรับการทดสอบในแต่ละปัจจัยดังนี้

ปัจจัยมุมเอียงของเมาส์ที่ส่งผลต่อมุมบิดเอียงของข้อมือ

H_0 : เวลาเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ที่ค่ามุมเอียง 3 ระดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : เวลาเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ที่ค่ามุมเอียงอย่างน้อย 2 ระดับ มีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ปัจจัยทิศทางการลากเมาส์

H_0 : เวลาเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ที่ทิศทางการลากเมาส์ 2 ระดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : เวลาเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ที่ทิศทางการลากเมาส์ 2 ระดับ มีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ปัจจัยวิธีการใช้งานเมาส์

H_0 : เวลาเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ที่วิธีการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : เวลาเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ที่วิธีการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ มีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จะปฏิเสธ H_0 (Reject null hypothesis) ถ้า P-Value < ระดับนัยสำคัญ (α) 0.05

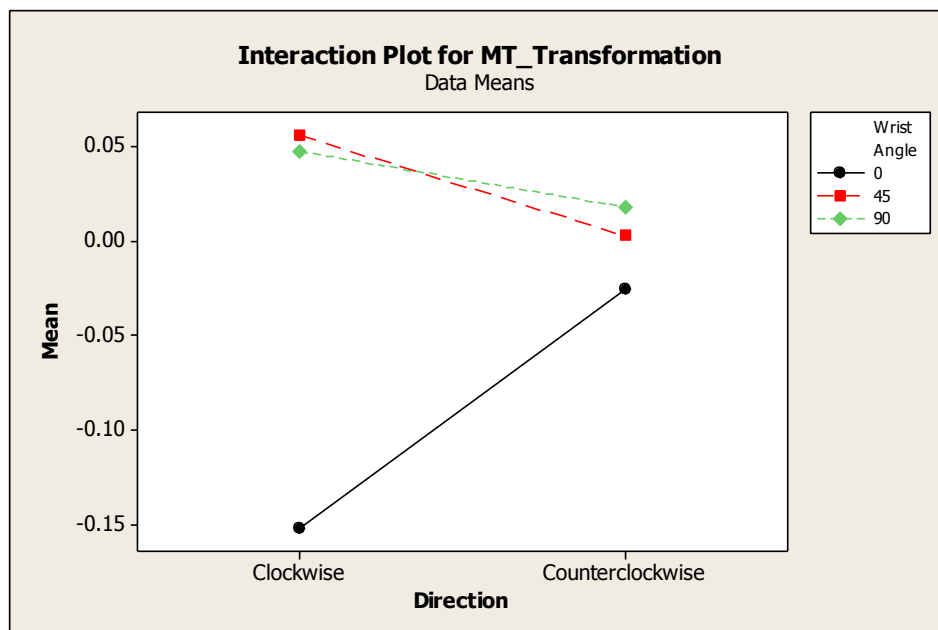
จากรูปที่ 4.9 ผลของปัจจัยร่วมที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 มี 2 คู่ ได้แก่ ปัจจัยมุมเอียงของเมาส์ที่ส่งผลต่อมุมบิดเอียงของข้อมือ(Wrist angle) กับทิศทางการใช้งานเมาส์(Direction) ค่า P-Value เท่ากับ 0.011 ปัจจัยทิศทางการลากเมาส์(Direction) กับวิธีการใช้งานเมาส์(Operation) ค่า P-Value เท่ากับ 0.011 ผลของปัจจัยร่วมสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.10-4.11

General Linear Model: MT_Transformation versus Blocks, Wrist Angle, ...						
Factor	Type	Levels	Values			
Blocks	fixed	10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10			
Wrist Angle	fixed	3	0, 45, 90			
Direction	fixed	2	Clockwise, Counterclockwise			
Operation	fixed	2	Drag without Click, Drag with Click			
ID	fixed	6	1, 2, 3, 4, 5, 6			

Analysis of Variance for MT_Transformation, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	9	267.803	267.803	29.756	240.16	0.000
Wrist Angle	2	2.280	2.280	1.140	9.20	0.000
Direction	1	0.038	0.038	0.038	0.30	0.581
Operation	1	24.267	24.267	24.267	195.86	0.000
ID	5	332.254	332.254	66.451	536.33	0.000
Wrist Angle*Direction	2	1.129	1.129	0.564	4.56	0.011
Wrist Angle*Operation	2	0.294	0.294	0.147	1.18	0.306
Wrist Angle*ID	10	1.244	1.244	0.124	1.00	0.438
Direction*Operation	1	0.808	0.808	0.808	6.52	0.011
Direction*ID	5	0.373	0.373	0.075	0.60	0.698
Operation*ID	5	0.661	0.661	0.132	1.07	0.377
Error	676	83.756	83.756	0.124		
Total	719	714.906				

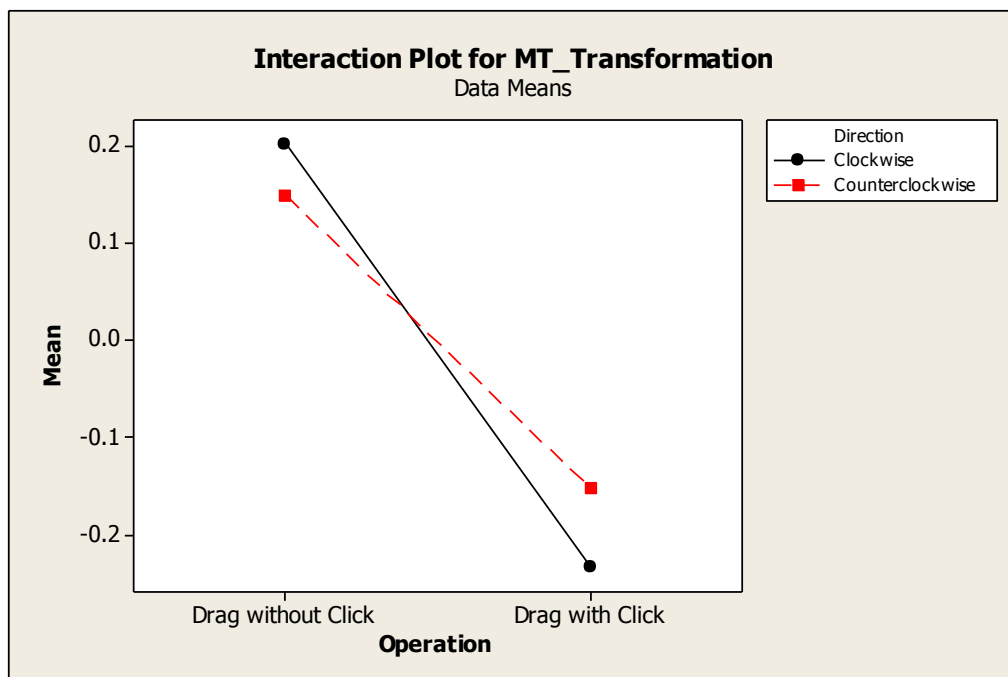
S = 0.351994 R-Sq = 88.28% R-Sq(adj) = 87.54%

รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเวลาการตอบสนองของเมาส์



รูปที่ 4.10 ปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้นระหว่างมุมเอียงของเมาส์ที่ส่งผลต่อมุมบิดเอียงของข้อมือกับทิศทางการใช้งานเมาส์

จากรูปที่ 4.10 สำหรับการพิจารณาปัจจัยระหว่างมุมเอียงของเมาส์ กับทิศทางการใช้งานเมาส์ ซึ่งเป็นปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อเวลาการตอบสนองการใช้งานของเมาส์อย่างมีนัยสำคัญที่ P-Value เท่ากับ 0.011 พบว่าทิศทางการใช้งานเมาส์แบบหมุนเมาส์ตามเข็มนาฬิกาของเมาส์ทั่วไปมุมเอียง 0 องศา ให้เวลาการตอบสนองการใช้งานที่น้อยกว่า การใช้งานเมาส์โดยการหมุนเมาส์ทวนเข็มนาฬิกา เนื่องจากในการลากเมาส์แบบตามเข็มนาฬิกาของเมาส์ทั่วไปมุมเอียง 0 องศา ใช้ข้อมือเป็นจุดหมุน แต่การใช้งานเมาส์แบบทวนเข็มนาฬิกาใช้ทั้งข้อมือ หัวไหล่ และข้อศอก เมื่อข้อต่อที่ใช้มากขึ้น ทำให้เวลาในการใช้งานเมาส์มากขึ้น ต่างจากเมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 45 องศา และ 90 องศา ที่เวลาการตอบสนองการใช้งาน ตามปัจจัยการเคลื่อนที่แบบทวนเข็มนาฬิกาให้เวลาการตอบสนองที่ดีกว่าปัจจัยการเคลื่อนที่แบบตามเข็มนาฬิกา เนื่องจากการเมาส์การยศาสตร์ถูกออกแบบมาเพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงในการเกิดโรคการกดทับเส้นประสาทบริเวณข้อมือ จึงออกแบบมาเพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานที่ใช้ข้อมือเป็นจุดหมุน การใช้งานเมาส์การยศาสตร์จึงต้องใช้ข้อต่อ ทั้งข้อศอก และหัวไหล่ เมื่อพิจารณาเวลาการตอบสนองการใช้งานเมาส์แบบตามเข็มนาฬิกา มากกว่าเวลาการตอบสนองการใช้งานเมาส์แบบทวนเข็มนาฬิกา เนื่องจากการลากเมาส์แบบตามเข็มนาฬิกาจะเกิดแรงเสียดทานต้านการเคลื่อนที่ของเมาส์ และการลากเมาส์ตามเข็มนาฬิกาจะเคลื่อนที่ได้น้อยกว่าเนื่องจากการหมุนของข้อต่อหัวไหล่ขัดกับลำตัวจึงทำให้เวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.11 ปัจจัยร่วมระหว่างทิศทางการใช้งานเมาส์ กับวิธีการใช้งานเมาส์

เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยร่วมระหว่างทิศทางการใช้งานเมาส์กับวิธีการใช้งานเมาส์เป็น ปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อเวลาการตอบสนองการทำงานของเมาส์อย่างมีนัยสำคัญที่ P-Value เท่ากับ 0.011 พบว่า ทิศทางการใช้งานเมาส์แบบทวนเข็มนาฬิกาจะให้เวลาการตอบสนองของการใช้งาน เมาส์ที่ดี เมื่อใช้งานร่วมกับการลากเมาส์โดยไม่คลิกเมาส์ แต่ทิศทางการลากเมาส์แบบตามเข็มนาฬิกาจะให้การตอบสนองของเวลาที่ดีเมื่อใช้งานร่วมกับการลากเมาส์แบบคลิกเมาส์ เนื่องจากการคลิกเมาส์คือการออกแรงไปทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่แบบตามเข็มนาฬิกาจึงช่วย ในเรื่องของเวลาการตอบสนองของการใช้งานเมาส์ ขณะที่การใช้งานเมาส์แบบทวนเข็มนาฬิกาแบบไม่ คลิกเมาส์ให้เวลาการตอบสนองของการใช้งานเมาส์ที่ดีกว่า เนื่องจากการคลิกเมาส์ คือการออกแรง ด้านการเคลื่อนที่ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เมื่อการใช้งานเมาส์ทวนเข็มนาฬิกาไม่ออกแรงด้านการ เคลื่อนที่(ไม่คลิกเมาส์) จึงทำให้เวลาตอบสนองของการใช้งานเมาส์แบบทวนเข็มนาฬิกาแบบไม่คลิก เมาส์ ดีกว่าเวลาตอบสนองของการใช้งานเมาส์แบบคลิกเมาส์ ดังแสดงในรูปที่ 4.11

นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ในโปรแกรม MINITAB ดังรูปที่ 4.12-4.14 เพื่อทำการเวลาตอบสนองของการใช้งานเมาส์ ที่มุมเอียงของเมาส์ที่ 3 ระดับ ทิศ ทางการการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ และวิธีการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ ปัจจัยมุมเอียงของเมาส์ที่ให้ค่าเวลา เฉลี่ยการใช้งานไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปัจจัยทิศทางการลากเมาส์แบบทวนเข็มนาฬิกา และตามเข็มนาฬิกาให้ค่าเวลาตอบสนองของการใช้งานเมาส์เฉลี่ยไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่

ที่ปัจจัยวิธีการใช้งานเมาส์พบว่าการใช้งานเมาส์ด้วยวิธีการลากเมาส์แบบคลิกเมาส์ให้ผลเวลาเฉลี่ยการตอบสนองการใช้งานเมาส์น้อยกว่าการใช้งานเมาส์ด้วยวิธีการลากเมาส์แบบไม่คลิกเมาส์ คือการใช้งานเมาส์ด้วยวิธีลากแบบคลิกเมาส์ดีกว่าการใช้งานเมาส์ด้วยวิธีลากแบบไม่คลิกเมาส์

Grouping Information Using Tukey Method and 90.0% Confidence			
Wrist			
Angle	N	Mean	Grouping
45	240	3646	A
90	240	3610	A
0	240	3456	A

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ของเวลาตอบสนองเฉลี่ยการใช้งานเมาส์ ปัจจัยมุมเอียงของเมาส์ที่ส่งผลต่อมุมบิดเอียงของข้อมือ

Grouping Information Using Tukey Method and 90.0% Confidence			
Direction	N	Mean	Grouping
Clockwise	360	3577	A
Counterclockwise	360	3565	A

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ของเวลาเฉลี่ยการใช้งานเมาส์ปัจจัยทิศทางการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ

Grouping Information Using Tukey Method and 90.0% Confidence			
Operation	N	Mean	Grouping
Drag without Click	360	3778	A
Drag with Click	360	3364	B

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ของปัจจัยวิธีการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ

4.2 การประเมินสมรรถนะของเม่าส์

4.2.1 ผลการทดลอง

ผู้เข้าร่วมการทดลองดำเนินการทดลองลากเม่าส์ 3 ชนิดเป็นวงกลมตามรูปแบบการทดลองที่กำหนดไว้ ทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.1-4.3 โดยค่าแกน Y คือ เวลาตอบสนองการใช้งานเม่าส์(MT) และค่าแกน X คือดัชนีความยากของงาน(ID) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) และค่าเฉลี่ยสมรรถนะการใช้งานเม่าส์ ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน

เม่าส์ทั่วไปมูมเอียง 0 องศา ตามปัจจัยทิศทางกรลากเม่าส์และวิธีการใช้งานเม่าส์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 โดยค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.826 สำหรับการลากเม่าส์เป็นวงกลมตามเข็มนาฬิกาแบบคลิกเม่าส์ และค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.848 สำหรับการลากเม่าส์เป็นวงกลมตามเข็มนาฬิกาแบบไม่คลิกเม่าส์ และหาสมรรถนะการทำงานของเม่าส์โดยค่าเฉลี่ยสมรรถนะการทำงานของเม่าส์ที่สูงที่สุดเท่ากับ 0.013 สำหรับการลากเม่าส์เป็นวงกลมตามเข็มนาฬิกาแบบคลิกเม่าส์

เม่าส์การยศาสตร์มูมเอียง 45 องศา ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 โดยค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.800 สำหรับการลากเม่าส์เป็นวงกลมทวนเข็มนาฬิกาแบบไม่คลิกเม่าส์ และค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.878 สำหรับการลากเม่าส์เป็นวงกลมตามเข็มนาฬิกาแบบไม่คลิกเม่าส์ และหาสมรรถนะการทำงานของเม่าส์โดยค่าเฉลี่ยสมรรถนะการทำงานของเม่าส์ 45 องศา มีค่าเท่ากับเท่ากับ 0.011

เม่าส์การยศาสตร์มูมเอียง 90 องศา ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 โดยค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.799 สำหรับการลากเม่าส์เป็นวงกลมตามเข็มนาฬิกาแบบไม่คลิกเม่าส์ และค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.838 สำหรับการลากเม่าส์เป็นวงกลมทวนเข็มนาฬิกาแบบไม่คลิกเม่าส์ และหาสมรรถนะการทำงานของเม่าส์โดยค่าเฉลี่ยสมรรถนะการทำงานของเม่าส์ที่สูงที่สุดเท่ากับ 0.012 สำหรับการลากเม่าส์เป็นวงกลมตามเข็มนาฬิกาแบบคลิกเม่าส์ และค่าเฉลี่ยสมรรถนะการทำงานต่ำที่สุดเท่ากับ 0.010 สำหรับการลากเม่าส์เป็นวงกลมทวนเข็มนาฬิกาแบบไม่คลิกเม่าส์

ตารางที่ 4.1 สมการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างเวลาในการลากเมาส์เป็นวงกลม กับ
 ดัชนีความยากของงาน (ID) ของเมาส์ทั่วไปมมเพียง 0 องศา

ผู้เข้าร่วมทดลอง	ตามเข็มนาฬิกา					
	ลากเมาส์โดยไม่คลิกเมาส์			ลากเมาส์โดยคลิกเมาส์		
	Linear regression	R ²	IP	Linear regression	R ²	IP
1	MT=66.50(ID)+1099.0	0.900	0.015	MT =61.02(ID)+868.2	0.701	0.016
2	MT =104.20(ID)+769.1	0.886	0.010	MT =107.70(ID)+829.3	0.865	0.009
3	MT =72.23(ID)+647.1	0.923	0.014	MT =52.09(ID)+415.7	0.881	0.019
4	MT =156.40(ID)+662.6	0.825	0.006	MT =132.00(ID)+392.9	0.914	0.008
5	MT =118.10(ID)+588.7	0.784	0.008	MT =102.60(ID)+223.6	0.886	0.010
6	MT =91.70(ID)+1471.0	0.741	0.011	MT =106.00(ID)+944.5	0.830	0.009
7	MT =88.48(ID)+883.1	0.816	0.011	MT =62.61(ID)+870.4	0.862	0.016
8	MT =52.63(ID)+1123.0	0.831	0.019	MT =50.53(ID)+732.0	0.741	0.020
9	MT =132.20(ID)+883.1	0.887	0.008	MT =134.50(ID)+347.3	0.903	0.007
10	MT =102.90(ID)+463.5	0.889	0.01	MT =47.76(ID)+1421.0	0.677	0.021
\bar{X}		0.848	0.011		0.826	0.013
ผู้เข้าร่วมทดลอง	ทวนเข็มนาฬิกา					
	ลากเมาส์โดยไม่คลิกเมาส์			ลากเมาส์โดยคลิกเมาส์		
	Linear regression	R ²	IP	Linear regression	R ²	IP
1	MT =76.81(ID)+817.0	0.894	0.013	MT =63.92(ID)+817.7	0.795	0.016
2	MT =131.40(ID)+505.5	0.871	0.008	MT =116.70(ID)+676.1	0.913	0.009
3	MT =72.94(ID)+781.20	0.863	0.014	MT =68.86(ID)+484.4	0.902	0.015
4	MT =142.50(ID)+597.7	0.879	0.007	MT =140.30(ID)+188.0	0.896	0.007
5	MT =80.06(ID)+1598.0	0.812	0.012	MT =85.21(ID)+654.5	0.916	0.012
6	MT =85.77(ID)+2210.0	0.663	0.012	MT =112.10(ID)+952.4	0.773	0.009
7	MT =72.36(ID)+1006.0	0.669	0.014	MT =61.99(ID)+871.9	0.876	0.016
8	MT =63.12(ID)+902.6	0.886	0.016	MT =59.77(ID)+709.8	0.732	0.017
9	MT =161.80(ID)+88.22	0.946	0.006	MT =158.60(ID)+257.7	0.712	0.006
10	MT =72.87(ID)+1264.0	0.860	0.014	MT =108.50(ID)+709.9	0.903	0.009
\bar{X}		0.834	0.011		0.841	0.011

ตารางที่ 4.2 สมการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างเวลาในการลากเมาส์เป็นวงกลมกับ
ดัชนีความยากของงาน (ID) ของเมาส์การยศาสตร์รุ่นเอียง 45 องศา

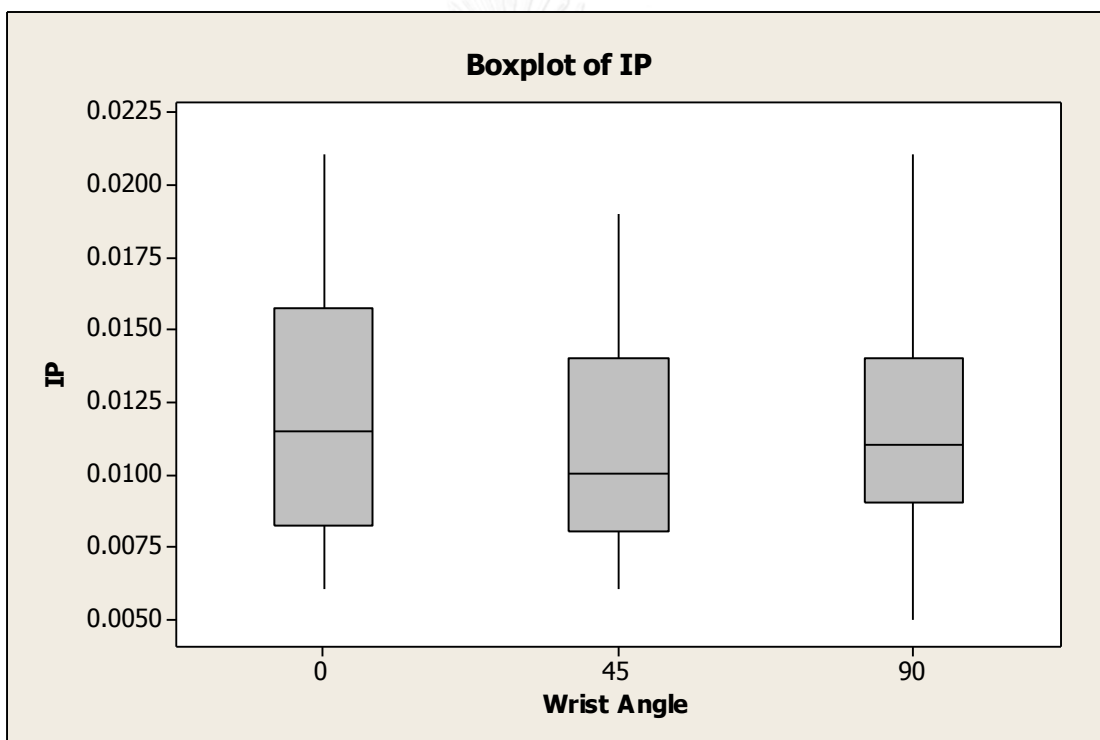
ผู้เข้าร่วมทดลอง	ตามเข็มนาฬิกา					
	ลากเมาส์โดยไม่คลิกเมาส์			ลากเมาส์โดยคลิกเมาส์		
	Linear regression	R ²	IP	Linear regression	R ²	IP
1	MT =54.60(ID)+1021.0	0.855	0.018	MT =57.31(ID)+711.3	0.779	0.017
2	MT =150.50(ID)+348.2	0.918	0.007	MT =122.50(ID)+651.1	0.852	0.008
3	MT =73.60(ID)+746.0	0.946	0.014	MT =65.08(ID)+369.4	0.895	0.015
4	MT =149.50(ID)+528.7	0.918	0.007	MT =128.70(ID)+666.6	0.903	0.008
5	MT =164.90(ID)+1175.0	0.92	0.006	MT =125.00(ID)+358.7	0.934	0.008
6	MT =93.71(ID)+2072.0	0.901	0.011	MT =115.50(ID)+1553.0	0.677	0.009
7	MT =78.70(ID)+765.1	0.764	0.013	MT =59.93(ID)+1247.0	0.75	0.017
8	MT =66.82(ID)+927.2	0.837	0.015	MT =65.76(ID)+533.9	0.753	0.015
9	MT =118.00(ID)+1413.0	0.835	0.008	MT =131.10(ID)+735.0	0.816	0.008
10	MT =140.60(ID)+26.53	0.887	0.007	MT =101.40(ID)+77.29	0.933	0.01
\bar{X}		0.878	0.011		0.829	0.011
ผู้เข้าร่วมทดลอง	ทวนเข็มนาฬิกา					
	ลากเมาส์โดยไม่คลิกเมาส์			ลากเมาส์โดยคลิกเมาส์		
	Linear regression	R ²	IP	Linear regression	R ²	IP
1	MT =58.65(ID)+1165.0	0.762	0.017	MT =83.14(ID)+219.8	0.869	0.012
2	MT =100.30(ID)+1829.0	0.834	0.010	MT =110.90(ID)+951.0	0.705	0.009
3	MT =96.43(ID)+98.54	0.777	0.010	MT =77.54(ID)+268.2	0.848	0.013
4	MT =136.20(ID)+499.0	0.899	0.007	MT =112.00(ID)+708.7	0.787	0.009
5	MT =98.38v(ID)+1214.0	0.687	0.010	MT =93.64(ID)+628.9	0.865	0.011
6	MT =111.80(ID)+2233.0	0.616	0.009	MT =140.80(ID)+796.7	0.854	0.007
7	MT =75.19(ID)+879.9	0.828	0.013	MT =53.09(ID)+1210.0	0.747	0.019
8	MT =70.97(ID)+743.0	0.832	0.014	MT =69.80(ID)+538.9	0.833	0.014
9	MT =137.40(ID)+556.8	0.909	0.007	MT =145.50(ID)+66.66	0.916	0.007
10	MT =113.20(ID)+860.8	0.857	0.009	MT =95.96(ID)+689.6	0.857	0.010
\bar{X}		0.800	0.011		0.828	0.011

ตารางที่ 4.3 สมการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างเวลาในการลากเมาส์เป็นวงกลม กับ
ดัชนีความยากของงาน (ID) ของเม้าส์การยศาสตร์รุ่นเยี่ยม 90 องศา

ผู้เข้าร่วมทดลอง	ตามเข็มนาฬิกา					
	ลากเมาส์โดยไม่คลิกเมาส์			ลากเมาส์โดยคลิกเมาส์		
	Linear regression	R ²	IP	Linear regression	R ²	IP
1	MT =63.70(ID)+852.8	0.764	0.016	MT =48.80(ID)+757.4	0.764	0.020
2	MT =120.00(ID)+966.2	0.928	0.008	MT =150.50(ID)+395.5	0.793	0.007
3	MT =92.15(ID)+680.0	0.910	0.011	MT =103.03(ID)+166.4	0.892	0.010
4	MT =131.80(ID)+914.9	0.895	0.008	MT =115.10(ID)+868.6	0.867	0.009
5	MT =99.48(ID)+1648.0	0.712	0.010	MT =70.00(ID)+1284.0	0.850	0.014
6	MT =93.99(ID)+1918.0	0.564	0.011	MT =109.60(ID)+1216.0	0.736	0.009
7	MT =74.01(ID)+1415.0	0.842	0.014	MT =65.64(ID)+1330.0	0.648	0.015
8	MT =47.76(ID)+1335.0	0.652	0.021	MT =43.84(ID)+1083.0	0.857	0.023
9	MT =204.60(ID)+360.8	0.832	0.005	MT =173.20(ID)+347.4	0.721	0.006
10	MT =87.75(ID)+722.2	0.900	0.011	MT =80.13(ID)+818.4	0.887	0.012
\bar{X}		0.799	0.011		0.801	0.012
ผู้เข้าร่วมทดลอง	ทวนเข็มนาฬิกา					
	ลากเมาส์โดยไม่คลิกเมาส์			ลากเมาส์โดยคลิกเมาส์		
	Linear regression	R ²	IP	Linear regression	R ²	IP
1	MT =69.97(ID)+859.4	0.742	0.014	MT =63.04(ID)+703.8	0.810	0.016
2	MT =121.20(ID)+1026.0	0.871	0.008	MT =111.00(ID)+1151.0	0.891	0.009
3	MT =100.5(ID)+672.2	0.814	0.010	MT =94.27(ID)+16.94	0.950	0.011
4	MT =113.90(ID)+1213.0	0.862	0.009	MT =139.60(ID)+203.4	0.861	0.007
5	MT =108.20(ID)+368.0	0.922	0.009	MT =107.40(ID)+485.0	0.805	0.009
6	MT =100.80(ID)+2149.0	0.704	0.010	MT =104.30(ID)+1487	0.746	0.010
7	MT =86.66(ID)+693.1	0.869	0.012	MT =69.87(ID)+988.5	0.743	0.014
8	MT =79.29(ID)+660.5	0.845	0.013	MT =67.33(ID)+785.9	0.872	0.015
9	MT =126.60(ID)+474.9	0.938	0.008	MT =86.45(ID)+1460.0	0.801	0.012
10	MT =94.84(ID)+711.7	0.813	0.011	MT =93.49(ID)+716.0	0.859	0.011
		0.838	0.010		0.833	0.011

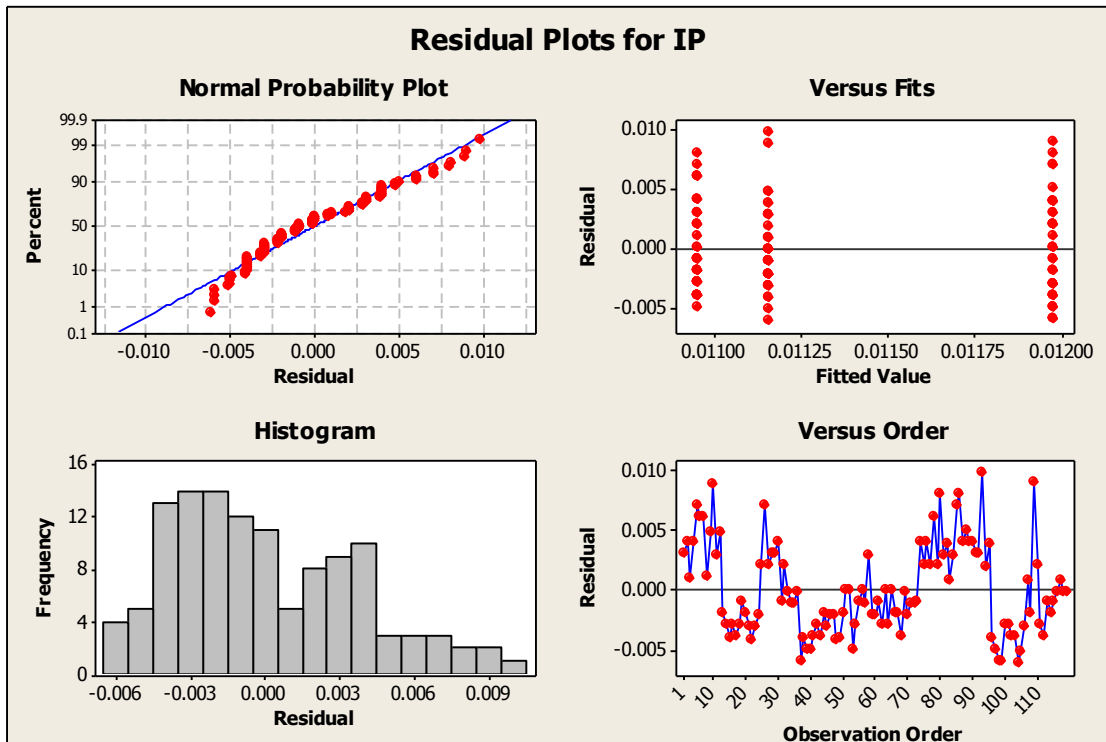
4.2.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลสมรรถนะการใช้งานเมาส์ก่อนการวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความผิดปกติ(Outlier)หรือไม่ โดยวิธีการ Boxplot ดังแสดงในรูปที่ 4.15 จากโปรแกรม Minitab ผลการทดลองไม่พบความผิดปกติของข้อมูล(Outlier) ก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี ANOVA ต้องทำการตรวจสอบเงื่อนไขของแบบจำลอง โดยพิจารณา 3 เงื่อนไข ดังนี้ พิจารณาเป็นปกติของข้อมูล ความเป็นอิสระของข้อมูล และเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน จากกราฟส่วนตกค้าง(Residuals) ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 การคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติและการกระจายตัวของข้อมูลสมรรถนะการใช้งานเมาส์ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน

การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ จากรูป Normal Probability Plot ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแนวเส้นโค้งออกจากเส้นการแจกแจงแบบปกติแสดงว่าข้อมูลเป็นแบบไม่ปกติ ดังรูปที่ 4.16



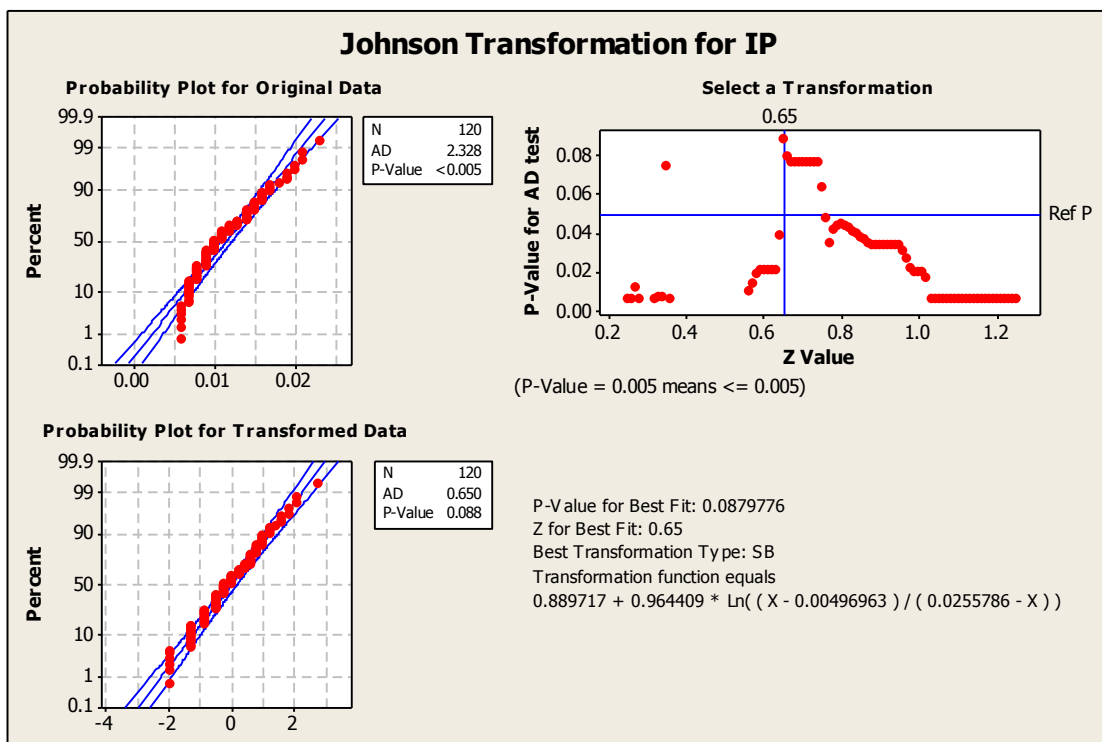
รูปที่ 4.16 การกระจายตัวของข้อมูลสมรรถนะการวิ่งงานเมาส์ จากผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน

เนื่องจากข้อมูลไม่เป็นปกติ จึงทำให้การวิเคราะห์ในส่วนต่างๆไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้วิธีการแปลงข้อมูลด้วยวิธีการ Johnson Transformation เพื่อนำฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ได้ มาแปลงค่าข้อมูลเดิมให้เป็นข้อมูลใหม่ ทั้งนี้เพื่อให้ข้อมูลใหม่มีการแจกแจงแบบปกตินั่นเองที่ P-Value เท่ากับ 0.088 ดังรูปที่ 4.17 ซึ่งผลจากการแปลงข้อมูลเป็นไปดังนี้

$$T_{transformation} = 0.889717 + 0.964409 \ln\left(\frac{T - 0.00496963}{0.0255786 - T}\right) \quad (4.2)$$

$T_{transformation}$ คือ สมรรถนะการวิ่งงานเมาส์มาตราใหม่ที่ผ่านการแปลงค่าแล้ว

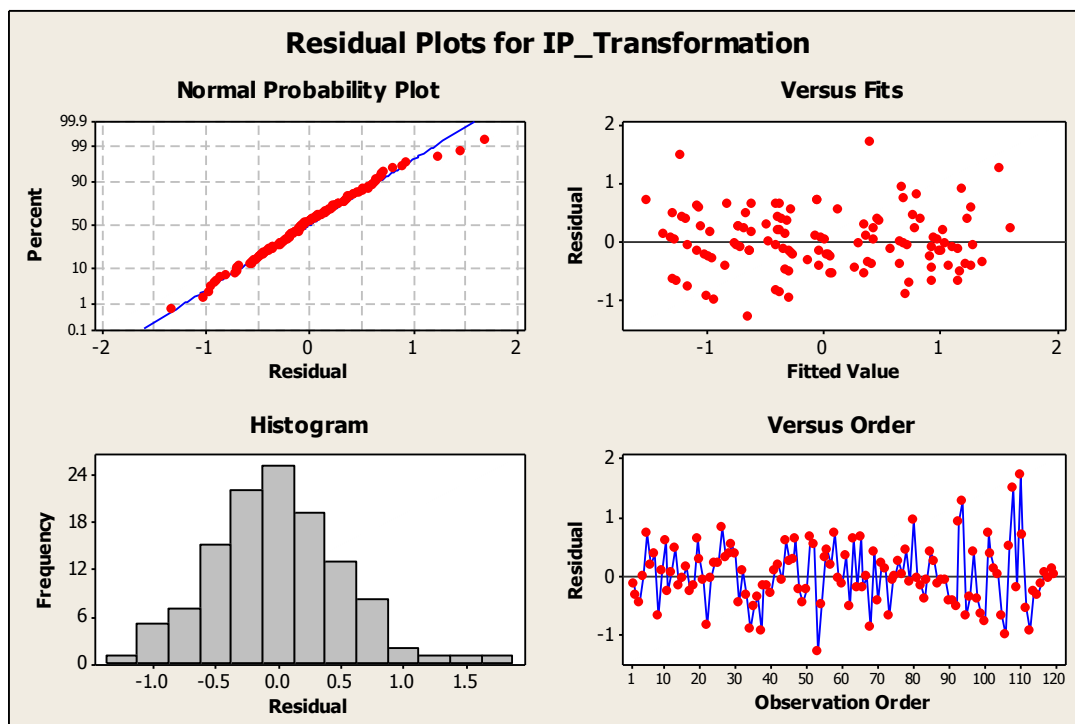
T คือ สมรรถนะการวิ่งงานเมาส์



รูปที่ 4.17 ผลการแปลงค่าสมรรถนะการใช้งานเมาส์ที่ผ่านการแปลงข้อมูลด้วย

Johnson Transformation

จากการแปลงค่าสมรรถนะการใช้งานเมาส์ด้วยวิธีการ Johnson Transformation ซึ่งได้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นลอการิทึมธรรมชาติของเวลาในการตอบสนอง โดยค่าของเวลาจากแปลงค่านี้เอง ได้เป็นตัวแปรตามในการวิเคราะห์ผลในส่วนถัดไป และจากการนำค่าลอการิทึมธรรมชาติของสมรรถนะการใช้งานเมาส์ มาตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยจากพิจารณาแผนภาพการเป็นปกติของ (Probability Plot) ดังรูป 4.17 พบว่า ข้อมูลเวลาที่ได้รับการแปลงค่าด้วยฟังก์ชันลอการิทึมธรรมชาติ มีการกระจายตัวแบบเป็นปกติ โดยมีค่า P-value เท่ากับ 0.088 ($P\text{-value} > 0.05$) และยังได้ผ่านข้อกำหนดของการมีความแปรปรวนของข้อมูลมาตรฐานใหม่เป็นอิสระต่อกันอีกด้วย ดังค่าลอการิทึมธรรมชาติของเวลาในการตอบสนองจึงได้เป็นตัวแปรตามในการวิเคราะห์ผลด้วยสถิติต่อไป



รูปที่ 4.18 กระจายตัวของข้อมูลสมรรถนะการใช้งานเมาส์มาตราใหม่

ค่าสมรรถนะการใช้งานเมาส์ที่ได้จากการแปลงค่าด้วย Johnson Transformation นำมาวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล ดังรูปที่ 4.18 จากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted value) ซึ่งพบว่าข้อมูลของค่าสมรรถนะการใช้งานเมาส์มาตราใหม่ไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน และการทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual) สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) เห็นได้ว่าส่วนตกค้างของสมรรถนะการใช้งานเมาส์มาตราใหม่ มีการกระจายตัวเป็นรูปแบบที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

4.2.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลักต่อสมรรถนะของเมาส์

สำหรับปัจจัยที่ใช้การทดลองคือ ปัจจัยเรื่องมุมการเอียงของเมาส์ 3 ระดับ คือ เมาส์ทั่วไป มุมเอียง 0 องศา เมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 45 องศา และเมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 90 องศา ปัจจัยทิศทางการลากเมาส์เป็นวงกลม 2 ระดับ คือ การลากเมาส์เป็นวงกลมแบบตามเข็มนาฬิกา และการลากเมาส์เป็นวงกลมแบบทวนเข็มนาฬิกา และปัจจัยวิธีการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ คือ วิธีการใช้งานเมาส์โดยการลากเมาส์เป็นวงกลมแบบไม่คลิกเมาส์ (Drag without Click) และการลากเมาส์เป็นวงกลมแบบคลิกเมาส์ (Drag with Click) รวมพิจารณาทั้งสิ้น 12 ระดับ โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีการ Full Factorial Design เมื่อพิจารณาผลทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab

สมมติฐานที่จะใช้ในการทดสอบปัจจัยทั้ง 3 นั้น สำหรับการทดสอบในแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

ปัจจัยมุมเอียงของเมาส์ที่ส่งผลต่อมุมบิดเอียงของข้อมือ

H_0 : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ที่ค่ามุมเอียง 3 ระดับ ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ที่ค่ามุมเอียงอย่างน้อย 2 ระดับ มีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ปัจจัยทิศทางการลากเมาส์

H_0 : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ที่ทิศทางการลากเมาส์ 2 ระดับ ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ที่ทิศทางการลากเมาส์ 2 ระดับ ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ปัจจัยวิธีการใช้งานเมาส์

H_0 : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ที่วิธีการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

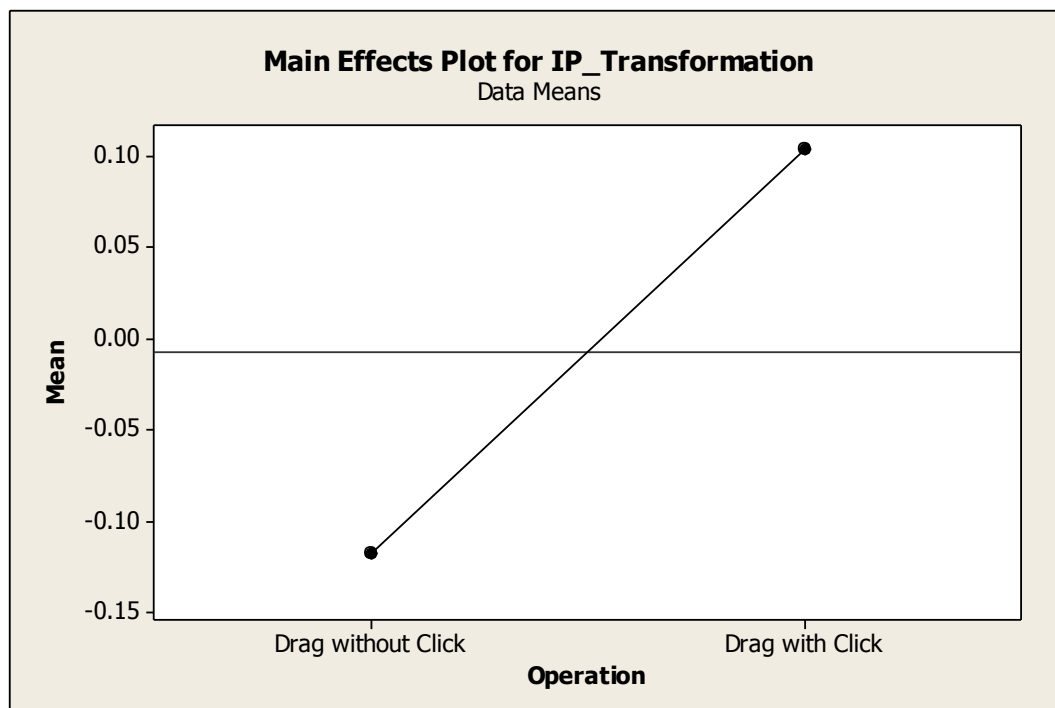
H_1 : สมรรถนะเฉลี่ยในการใช้งานเมาส์ที่วิธีการใช้งานเมาส์ 2 ระดับ ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จะปฏิเสธ H_0 (Reject null hypothesis) ถ้า P-Value < ระดับนัยสำคัญ (α) 0.05

จากรูปที่ 4.19 การพิจารณาผลของสมรรถนะการใช้งานเมาส์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลการทดลองพบว่า การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของเมาส์ 3 ระดับ (เมาส์ทั่วไปมูมเอียง 0 องศา, เมาส์การยศาสตร์มูมเอียง 45 องศา และ 90 องศา) พบว่าเมาส์ทั้ง 3 ชนิด มีสมรรถนะการใช้งานไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ P-Value เท่ากับ 0.213 และเมื่อพิจารณาปัจจัยทิศทางการลากเมาส์ (ตามเข็มนาฬิกา, ทวนเข็มนาฬิกา) ไม่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการใช้งานของเมาส์อย่างมีนัยสำคัญ โดย P-Value เท่ากับ 0.279 พิจารณาปัจจัยวิธีการใช้เมาส์ (ลากเมาส์เป็นวงกลมโดยไม่คลิกเมาส์ (Drag without Click), และลากเมาส์เป็นวงกลมโดยคลิกเมาส์ (Drag with Click)) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการใช้งานเมาส์อย่างมีนัยสำคัญที่ P-Value เท่ากับ 0.032

General Linear Model: IP_Transformation versus Blocks, Wrist Angle, ...							
Factor	Type	Levels	Values				
Blocks	fixed	10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10				
Wrist Angle	fixed	3	0, 45, 90				
Direction	fixed	2	Clockwise, Counterclockwise				
Operation	fixed	2	Drag without Click, Drag with Click				
Analysis of Variance for IP_Transformation, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
Blocks	9	76.4547	76.4547	8.4950	27.30	0.000	
Wrist Angle	2	0.9777	0.9777	0.4889	1.57	0.213	
Direction	1	0.3688	0.3688	0.3688	1.19	0.279	
Operation	1	1.4728	1.4728	1.4728	4.73	0.032	
Wrist Angle*Direction	2	0.2930	0.2930	0.1465	0.47	0.626	
Wrist Angle*Operation	2	0.0151	0.0151	0.0076	0.02	0.976	
Direction*Operation	1	0.4650	0.4650	0.4650	1.49	0.224	
Error	101	31.4243	31.4243	0.3111			
Total	119	111.4714					
S = 0.557791 R-Sq = 71.81% R-Sq(adj) = 66.79%							

รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมรรถนะการทำงานของเมาส์



รูปที่ 4.20 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะ ตามปัจจัยวิธีการใช้งานเมาส์










เมื่อพิจารณาปัจจัยวิธีการใช้งานของเมาส์ โดยการเปรียบเทียบวิธีการใช้งานเมาส์ ลากเมาส์เป็นวงกลมโดยไม่คลิกเมาส์ (Drag without Click) และลากเมาส์เป็นวงกลมโดยคลิกเมาส์ (Drag with Click) พบว่า การใช้งานของเมาส์ ที่การลากเมาส์เป็นวงกลมโดยคลิกเมาส์ ให้ค่าสมรรถนะการใช้งานเมาส์ที่ดีกว่า การลากเมาส์เป็นวงกลมโดยไม่คลิกเมาส์ อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 4.20

4.3 การวิเคราะห์ปัจจัยด้านท่าทางการใช้งานของเมาส์

เปรียบเทียบท่าทางการใช้งานเมาส์ทั่วไปมุมเอียง 0 องศา ดังรูปที่ 4.21 (คอลัมน์ A) แถว Z ข้อมือมีการบิดเอียงไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งการบิดเอียงเช่นนี้ เป็นการใช้งานของกระดูกข้อมือและกล้ามเนื้อปลายแขน Flexor carpi Ulnaris, Extensor carpi Radialis brevis ตลอดเวลา เกิดการกดทับบริเวณข้อมือขณะใช้งาน จากรูปแถว X และแถว Y มีการบิดแขนในการจับเมาส์ทำให้กระดูกแขนท่อนล่าง Ulna bone และ Radius bone ไขว้กันตลอดเวลาโดยการบิดตัวของกระดูกข้อต่อรูปบานพับบริเวณข้อมือ และกระดูกข้อมือมีข้อต่อรูปไข่ เป็นข้อต่อที่ปลายกระดูกชิ้นหนึ่งมีลักษณะคล้ายไข่ (นูนกลม) เข้าไปประกบกับกระดูกอีกชิ้นหนึ่ง ทำให้สามารถเคลื่อนไหวใน

ลักษณะการเคลื่อนไหวไปข้างหน้าได้ดี ทำให้เวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์แบบตามเข็มนาฬิกา ดีกว่าเวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์แบบทวนเข็มนาฬิกา

เปรียบเทียบท่าทางการใช้งานเมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 45 องศา ดังรูปที่ 4.21 (คอลัมน์ B) ข้อมือไม่มีการบิดงอ และไม่มีการกดทับบริเวณข้อมือขณะใช้งาน แต่มีการบิดเอียงของกระดูก แขนท่อนล่าง Ulna bone และ Radius bone กล้ามเนื้อ Flexor carpi Ulnaris ทำหน้าที่คว่ำแขน ตลอดการใช้งานเมาส์ และกล้ามเนื้อใช้งานเพื่อประคองเมาส์ แต่ลักษณะการใช้งานเมาส์โดยเมาส์ การยศาสตร์มุมเอียง 45 องศา เปรียบเทียบท่าทางการใช้งานเมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 90 องศา ดังรูปที่ 4.21 (คอลัมน์ C) ข้อมือไม่มีการบิดงออยู่ในท่าธรรมชาติ ไม่มีการกดทับบริเวณข้อมือขณะ ใช้งาน กล้ามเนื้อมือใช้งานเพื่อประคองเมาส์ โดยการใช้งานเมาส์การยศาสตร์ให้ผลเวลา ตอบสนองการใช้งานเมาส์แบบทวนเข็มนาฬิกาให้ผลดีกับการใช้งานเมาส์แบบตามเข็มนาฬิกา เนื่องจากการใช้งานเมาส์การยศาสตร์ ต้องใช้ทั้งข้อศอกและหัวไหล่ในการลากเมาส์ เมื่อทำการใช้ งานเมาส์แบบตามเข็มนาฬิกาการหมุนข้อศอกเข้าหาร่างกายจะขัดกับท่าทางปกติ ทำให้เวลาการ ใช้งานเมาส์มากกว่าเวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์แบบทวนเข็มนาฬิกา

	เมาส์ธรรมดา มุมเอียง 0 องศา (A)	เมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 45 องศา (B)	เมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 90 องศา (C)
X			
Y			
Z			

รูปที่ 4.21 ท่าทางการใช้งานเมาส์ 3 ระดับ เมาส์ทั่วไปมุมเอียง 0 องศา เมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 45 องศา และเมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 90 องศา

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

อุปกรณ์ที่ตำแหน่งสำหรับงานคอมพิวเตอร์มีหลากหลายชนิด โดยเฉพาะเมาส์ถือเป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย การใช้งานเมาส์เป็นเวลานาน อาจส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งาน เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคที่เกิดจากการทำงานซ้ำซาก เช่น โรคการกดทับเส้นประสาทบริเวณข้อมือ (Carpal Tunnel Syndrome : CTS) เมาส์การยศาสตร์ หรือเมาส์ที่มีมุมบิดเอียงเหมาะสมกับสรีระของร่างกาย ถูกออกแบบมาเพื่อลดภาวะความเสี่ยงในการเกิดโรคการกดทับเส้นประสาทบริเวณข้อมือ โดยเมาส์การยศาสตร์ได้มีการศึกษาสมรรถนะการใช้งานตามแนวแกนตั้ง และแกนนอน พบว่าสมรรถนะการใช้งานไม่ต่างกันเมื่อเทียบกับเมาส์ปกติ ขณะที่ปัจจุบันการใช้งานอุปกรณ์ที่ตำแหน่งอย่างเมาส์ไม่ได้ถูกจำกัดอยู่แค่ 2 ทิศทางโดยการใช้งานเมาส์ในปัจจุบันมีหลากหลายทิศทางและหลากหลายรูปแบบ ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงได้ศึกษาสมรรถนะการใช้งานเมาส์โดยใช้ทฤษฎีของ สเตียร์ริง (steering law) สำหรับการประเมินสมรรถนะการลากเมาส์

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองโดยคำนึงถึงปัจจัยมุมเอียงของเมาส์ และปัจจัยการใช้งานเมาส์ ได้แก่ 1) ปัจจัยมุมที่เปลี่ยนไปของเมาส์ แบ่งการทดสอบ คือ เมาส์ทั่วไปมุมเอียง 0 องศา เมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 45 องศา และ 90 องศา 2) ปัจจัยทิศทางการใช้งานเมาส์ ได้แก่ ทิศทางการใช้งานเมาส์ ทิศทางการลากเมาส์ตามเข็มนาฬิกา และ ทิศทางการลากเมาส์โดยการลากเมาส์ทวนเข็มนาฬิกา 3) ปัจจัยวิธีการใช้งานเมาส์ ได้แก่ การใช้งานเมาส์โดยการลากเมาส์โดยไม่คลิกเมาส์ (Drag without Click) และการใช้งานเมาส์โดยการลากเมาส์โดยคลิกเมาส์ (Drag with Click) ซึ่งมาตรฐาน ISO924-part 9 ไม่ได้มีระบุในเรื่องข้อกำหนดทิศทางการใช้งานเมาส์และวิธีการใช้งานเมาส์ จำเป็นเหตุผลที่ทำการกำหนด 2 ปัจจัยดังกล่าวในการทำการทดลอง

5.1 การศึกษาสมรรถนะการใช้งานของเมาส์

ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการใช้งานของเมาส์ คือ ปัจจัยวิธีการใช้งานเมาส์ เมื่อเปรียบเทียบวิธีการใช้งานเมาส์ โดยลากเมาส์แบบไม่คลิกเมาส์ มีสมรรถนะการใช้งานเมาส์น้อยกว่าวิธีการใช้งานเมาส์แบบคลิกเมาส์ ทั้ง 2 วิธีการ ให้ค่าสมรรถนะการใช้งานเมาส์ที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยมุมเอียงของเมาส์ที่เปลี่ยนไปไม่ส่งผลให้สมรรถนะการใช้งานของเมาส์เปลี่ยนไป ขณะที่ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการใช้งานของเมาส์คือ ปัจจัยในเรื่องของวิธีการใช้งานเมาส์ โดยข้อนิ้วและข้อฝ่ามือมีกล้ามเนื้อเล็กๆอยู่เต็มฝ่ามือ มีความสำคัญมากในการยึดหรือกำเมาส์ทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น[21]

5.2 การศึกษาเวลาการตอบสนองการใช้งานของเมาส์

ปัจจัยร่วมระหว่างมุมของเมาส์กับทิศทางการใช้งานเมาส์ เป็นอีกที่ส่งผลต่อเวลาการตอบสนองการใช้งานของเมาส์ โดยเมาส์การยศาสตร์จะให้ผลของเวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์แบบทวนเข็มนาฬิกาดีกว่าการใช้งานแบบตามเข็มนาฬิกา เนื่องจากการเมาส์การยศาสตร์ถูกออกแบบมาเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ข้อมือเป็นจุดหมุน การใช้งานจึงต้องใช้ข้อต่อ ข้อศอก และหัวไหล่ การใช้งานแบบตามเข็มนาฬิกาเป็นบิดไหล่เข้าหาลำตัว การบิดไหล่เข้าหาลำตัวจะบิดเข้าได้น้อยกว่าการบิดออกนอกลำตัวทำให้ทำให้ต้องใช้การบิดไหล่ไปด้านหลังควบคุมไปด้วยจึงทำให้เวลาการตอบสนองการใช้งานเมาส์แบบตามเข็มนาฬิกาสูงกว่าเวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์แบบทวนเข็มนาฬิกา

วิเคราะห์ปัจจัยร่วมระหว่างวิธีการใช้งานเมาส์กับทิศทางการใช้งานเมาส์ เนื่องจากการคลิกเมาส์ คือการออกแรงต้านการเคลื่อนที่ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เมื่อการใช้งานเมาส์ทวนเข็มนาฬิกาไม่ออกแรงต้านการเคลื่อนที่(ไม่คลิกเมาส์) จึงทำให้เวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์แบบทวนเข็มนาฬิกาแบบไม่คลิกเมาส์ ดีกว่าเวลาตอบสนองการใช้งานเมาส์แบบคลิกเมาส์

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. การตัดสินใจเลือกใช้เมาส์การยศาสตร์ขึ้นอยู่กับงบประมาณส่วนบุคคลที่ตั้งไว้ และความคุ้มค่าในการลงทุน เมาส์การยศาสตร์เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ช่วยในด้านความปลอดภัยในการทำงานให้แก่ผู้ใช้งานอุปกรณ์เมาส์ และจากการศึกษาสมรรถนะการใช้งานเมาส์การยศาสตร์ด้วยวิธีการลากพบว่า เมาส์การยศาสตร์มุมเอียง 45 องศา และ 90 องศา ให้ค่าสมรรถนะการใช้งานเมาส์และเวลาการตอบสนองการใช้งานเมาส์ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับเมาส์ทั่วไปมุมเอียง 0 องศา จากข้อมูลที่ได้จึงน่าจะเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการตัดสินใจซื้อเมาส์การยศาสตร์ได้

2. จากผลการทดลองพบว่า การลากเมาส์ด้วยวิธีการคลิกเมาส์ให้ค่าสมรรถนะการใช้งาน และเวลาการตอบสนองการใช้งานเมาส์ที่ดี สามารถนำไปเป็นแนวทางในการออกแบบโปรแกรมการทำงานได้ และควรมีการกำหนดเป็นมาตรฐานใน ISO9241-part 9

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้งานเมาส์ยังคงมีความคู่กับการใช้งานคอมพิวเตอร์ ควรทำการศึกษาการทำงานในรูปแบบงานอื่นที่มีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกัน เช่น การเคลื่อนที่ในหลากหลายทิศทาง เพื่อให้สอดคล้องกับความหลากหลายของรูปแบบการใช้งานคอมพิวเตอร์

2. ควบคุมการเคลื่อนไหวของข้อมือ การหมุนข้อมือของผู้เข้าร่วมการทดลองในแต่ละคน อาจมีผลต่อการทดลองที่แตกต่างกัน ควรมีการยึดข้อมือ และแขนท่อนล่างเข้าด้วยกัน เพื่อหลีกเลี่ยงการเคลื่อนไหวของข้อมือที่มีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อที่แตกต่างกัน

3. กำหนดช่วงอายุของผู้เข้าร่วมการทดลองหากผู้เข้าร่วมการทดลองมีอายุที่ต่างกัน มากอาจมีปัญหาเรื่องการมองเห็น ควรมีการควบคุมระยะการมองเห็นก่อนเริ่มการทดลองโดยให้ผู้เข้าร่วมการทดลองใส่แว่นตาที่มีเลนส์เหมาะสมกับแต่ละบุคคล

4. เมาส์ในการทดลองควรเป็นเมาส์ที่มีแผ่นรองติดกับตัวเมาส์เพื่อลดแรงเสียดทานในการลากเมาส์ขณะทำการทดลอง

5. มีการศึกษาสมรรถนะการใช้งานและเวลาการตอบสนองการใช้งานของเมาส์แบบวงกลมเพิ่มเติมในส่วนของการศึกษาการทำงานของเมาส์แยกเป็น 4 กลุ่ม 0-90 องศา 91-180 องศา 181-270 องศา และ 271-360 องศา

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- [1] ฅัญฐัฐชัย จิตต์ธรรมวาณิช. โรคการกดทับเส้นประสาทบริเวณข้อมือ (Carpal Tunnel Syndrome (CTS) [Online]. Available: http://www.ladpraohospital.com/lph_site2/healthKnowledgesDetail.php?txtID=15
- [3] ภัทรพร เกียรติธรรม, "ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพของเมาส์และ สมรรถนะ การใช้งานของผู้ใช้," ปรินญญามหาบัณฑิต วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- [4] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2556). เมาส์. Available: <http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%80%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B9%8C>
- [5] เมาส์ตัวแรกของโลก [Online]. Available: <http://www.bloggang.com/viewdiary.php?id=kingideas&group=9>
- [13] วิชาการดอทคอม. การเคลื่อนที่ของสัตว์มีกระดูกสันหลัง [Online]. Available: <http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1412>
- [14] ันชนก รุ่งเรือง. ระบบกล้ามเนื้อ [Online]. Available: <http://www.thaigoodview.com/node/92946?page=0,16>
- [21] ประโยชน์ นุญสินสุข. การเคลื่อนไหวของข้อ [Online]. Available: <http://www.doctor.or.th/article/detail/5934>

ภาษาอังกฤษ

- [2] International Organization for Standardization, "Ergonomic requirements for office work with visual display terminals(VDTs)," in *Requirement for non-keyboard input devices*, ed, 2000, p. 2.
- [6] W. V. Winkle. Ergonomic Gear For A Better Life [Online]. Available: <http://www.tomsguide.com/us/ergonomic-keyboard-mouse,review-1445-7.html>
- [7] Shenzhen Light Point Technology Co.Ltd. Computer Accessory Ergonomic vertical gaming mouse [Online]. Available: <http://lightpoint->

tech.en.alibaba.com/product/590797372-217006298/Computer_Accessory_Ergonomic_vertical_gaming_mouse.html

- [8] M. Middlesworth. 8 Fundamental Ergonomic Principles for Better Work Performance [Online]. Available: <http://ergo-plus.com/fundamental-ergonomic-principles/>
- [9] M. Ebben. Wrists at Risk: Awkward Postures to Avoid [Online]. Available: <http://www.pcom.ph/wrists-risk-awkward-postures-avoid-joy-m-ebben-phd-cpe-human-factors-and-ergonomic-specialist-iac>
- [10] G. Edwards and S. Lippert, "Ergonomic computer mouse," 2002.
- [11] C. J. Snijders. Ergonomic Mouse Evaluation [Online]. Available: <http://www.handshoemouse.com/publication.html>
- [12] Wikipedia. Human factors and ergonomics.2008 [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Human_factors_and_ergonomics
- [15] I. S. MacKenzie, "Fitts' Law as a Research and Design Tool in Human-Computer Interaction," *Human-Computer Interaction*, vol. 7, pp. 91-139, 1992.
- [16] S. Zhai and R. Woltjer, "Human Movement Performance in Relation to Path Constraint-The Law of Steering in Locomotion," in *the IEEE Reality Conference*, Los Angeles, 2003, pp. 149-156.
- [17] E. Tanvir, A. Bunt, A. Cockburn, and P. Irani, "Improving cascading menu selections with adaptive activation areas," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 69, pp. 769-785, 2011.
- [18] J. Accot and S. Zhai, "Beyond Fitts' Law: Models for Trajectory-Based HCI Tasks," in *Proceeding of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing system*, New York, USA, 1997, pp. 295-302.
- [19] X. Zhou, X. Cao, and X. Ren, in *The 12th IFIP TC 13 International Conference*, Sweden, 2009, pp. 906-919.
- [20] A. Cockburn, D. Ahlstrom, and C. Gutwin, "Understanding performance in touch selections: Tap, drag and radial pointing drag with finger, stylus and mouse," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 70, pp. 218-223, 2012.







ตารางที่ ก.1 เวลาตอบสนองของการลากเมาส์ที่ 0 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise											
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without Click						Drag with Click					
	25	21	36	16	42	29	25	21	36	16	42	29	25	21	36	16	42	29	25	21	36	16	42	29
ID	25	21	36	16	42	29	25	21	36	16	42	29	25	21	36	16	42	29	25	21	36	16	42	29
1	2890	2530	3840	2250	4230	3230	2320	2310	3290	2450	4020	3130	3150	2430	3910	2440	4071	2964	2402	2074	3682	2277	3791	3010
2	2820	2320	3380	1950	4350	3270	2140	1800	3240	2330	3510	2720	2840	2010	3210	2090	4040	2964	2262	1810	2964	2169	3494	3354
3	2900	2350	3250	2720	4050	3080	1930	1840	3020	2340	3470	2810	2830	1870	3300	2100	4352	2683	2138	1716	2979	1887	3557	2980
4	2740	2230	3610	2050	3830	2890	2140	1790	2810	2260	4200	2780	2470	2200	3360	2390	3931	3245	2294	2012	2761	1966	3635	2606
5	2840	2330	3500	2140	3860	3220	1950	1950	2880	2280	3930	2870	2510	2040	3390	2310	3869	2808	2075	1700	2949	1997	3463	2964
6	2750	2220	3750	2250	3870	3100	2070	1730	2770	2250	3520	2610	2790	2150	3390	2270	4040	2964	2511	1716	2918	2106	3541	2932
7	2700	2730	3280	2150	3640	3340	2170	1660	2850	2690	3670	2560	2720	2330	3641	2100	4415	2933	2090	1950	2777	1982	3744	2933
8	2630	2160	3440	2240	3660	3080	2060	1820	2940	2170	3500	2670	2720	2310	3750	2410	4040	3135	2262	1716	2933	2247	3588	2715
9	2720	2480	3580	2120	3790	2961	1770	1920	2620	2050	3400	2690	2620	2230	3830	2120	4322	3245	2106	1810	2949	2355	3448	3120
10	2500	2450	3280	2320	3460	3090	1930	1640	2660	2140	3520	2670	2830	2420	3650	2440	4384	2870	2356	1700	3135	2059	3417	3011

ตารางที่ ก.2 เวลาตอบสนองของการลากเมาส์ที่การยกศาสตรัมเชิง 45 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise											
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without Click						Drag with Click					
	25	21	36	16	42	29	25	21	36	16	42	29	25	21	36	16	42	29	25	21	36	16	42	29
ID	25	21	36	16	42	29	25	21	36	16	42	29	25	21	36	16	42	29	25	21	36	16	42	29
1	2527	2199	3058	2277	3338	3011	2293	2013	2839	1888	3900	2667	2621	2325	3089	1981	3978	3432	2199	1810	3463	2044	4134	3026
2	2433	2106	2730	1966	3307	2902	2044	1482	2371	1810	3463	2714	2433	2465	3261	2044	3900	3276	1857	1825	3213	2028	3931	2683
3	2137	2028	2714	2091	3338	2745	1794	1841	2387	1778	3526	2542	2449	2371	3073	1903	3681	3417	2309	1638	3011	1950	3869	2918
4	2371	2091	3011	2278	3292	2699	1809	1544	2512	1887	3650	2668	2698	2402	3105	2246	3541	3276	2028	1903	3167	1950	3838	2714
5	2262	2184	3042	2043	3354	3026	1950	1857	2558	1888	3292	2480	2356	2449	2792	2246	3900	3260	1981	1560	3276	1732	4071	2949
6	2075	1872	2589	1919	3198	2667	1904	1778	2574	1997	3136	2481	2122	2246	3073	2122	3697	3463	2044	2028	2933	1669	3635	2668
7	2293	1841	2808	1857	3556	2730	1731	1763	2512	2028	2980	2590	2262	2574	2730	2403	3713	3307	1872	1778	2668	1747	3946	2527
8	2184	1981	2917	1982	3183	2762	1825	1763	2574	1934	3136	2605	2044	2340	2980	2262	3822	3089	1919	1700	2808	1638	4072	2777
9	2168	1794	2980	1841	3526	2699	1903	1731	2575	1747	3214	2355	2418	2247	2855	2340	3791	3370	1918	1810	2917	1607	3666	3058
10	2168	1934	2964	2059	3588	2870	1934	1825	2511	1685	2854	2449	2277	2168	2871	2121	3432	2932	2106	1809	2636	1825	3791	3058

ตารางที่ ก.3 เวลาตอบสนองของการลากเมาส์การกดปุ่มเพียง 90 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
1	2246	2059	2418	3199	3260	3432	3077	1966	1856	1591	2792	2247	3120	2438	2231	2184	2777	3104	3214	4025	3280	1888	1794	1950	2761	3151	3479
2	2075	2044	1981	2840	3385	3791	2999	1762	1763	1560	2387	2543	2699	2297	2280	1966	2309	3276	3276	3946	3202	2106	1700	1950	2745	2964	3556
3	2044	1841	2184	3541	3089	3728	3136	1685	1669	1575	2574	2528	2886	2391	2216	1872	2169	3370	3400	3776	3179	2044	1716	1856	2777	2980	3526
4	2012	1950	2168	3292	2948	3339	2937	1622	1701	1747	2340	2387	2761	2309	2402	1904	2168	3388	3323	4134	3253	2199	1779	2121	2949	2792	3494
5	2184	1747	2121	3088	3245	3884	3085	1622	1544	1919	2543	2184	2808	2364	2387	2122	2200	3432	3260	4431	3331	2028	1762	1965	2777	2745	3541
6	2247	1856	2059	2808	3042	3447	2839	1685	1607	1934	2403	2121	3057	2379	2403	1778	2325	3292	3120	3994	3183	1856	1809	1919	2808	2983	3417
7	2340	1841	2106	2933	2761	3495	2824	1591	1622	1716	2293	2137	3027	2293	2433	1778	2340	3417	3151	3963	3218	2015	1735	1996	2761	2714	3276
8	2106	1747	2184	2979	2761	3728	2913	1607	1623	1794	2278	2340	3120	2383	2371	1982	2246	3307	3044	3931	3132	1919	1809	1794	2730	2714	3559
9	2238	1981	1997	2621	2823	3603	2761	1653	1607	1701	2449	2371	2808	2332	2449	1903	2090	3089	3104	3307	2898	2153	1763	1888	2823	3011	3370
10	2278	1935	2247	2823	2808	3900	2945	1670	1607	1810	2715	2433	2762	2430	2402	1810	2075	3291	3244	3651	3065	2138	1919	1810	2717	3027	3245

ตารางที่ ก.4 เวลาตอบสนองของการลากเมาส์ทั่วไปมุมเพียง 0 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 2

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
1	3791	2667	4447	2652	5710	4305	3929	3588	2340	4805	2308	4883	4072	3666	3853	2886	4570	2855	6162	4461	4131	2855	2668	4602	2481	5678	4275
2	3479	2699	4196	2434	5678	4446	3822	3714	3010	4945	2387	5039	4056	3859	3728	3479	5023	2527	6646	5039	4407	3666	2543	5070	2605	6349	4040
3	3698	2996	4524	2371	5257	4118	3827	3666	3074	4929	2231	5664	4697	4044	3838	3245	5085	2496	5429	4478	4095	3775	2745	5101	2574	5523	4134
4	3354	2621	4383	2496	5101	4024	3663	3416	3136	4400	2387	5460	4932	3955	3385	3432	4648	2527	5678	5148	4136	3635	2839	5116	2543	6007	4415
5	3651	2418	4493	2403	5179	4041	3698	3775	3136	4914	2590	5945	4618	4163	3448	2839	4727	2698	5834	4727	4046	3619	2902	4415	2559	4898	4492
6	3229	2574	4696	2481	4758	3916	3609	3370	2902	4883	2527	4977	4883	3924	3495	3401	4524	2574	6442	4665	4184	3884	2918	4399	2840	5616	4057
7	3151	2435	4212	2465	4758	3994	3503	3432	3042	4103	2652	5163	4789	3864	3557	3011	4773	2558	7004	4976	4313	3900	2979	4556	2621	5445	4212
8	3245	2605	4414	2449	4430	4165	3551	2995	2964	4072	2746	5382	4244	3734	3933	3151	4274	2964	6381	4992	4283	3635	2746	4571	2808	5320	4290
9	3573	2699	5273	2714	4462	4275	3833	3026	2917	4212	2762	5024	4401	3724	3744	2901	4508	2683	6350	5164	4225	3432	2949	4773	2870	5663	4446
10	2995	2543	4664	2574	4852	4134	3627	3042	2792	4399	2746	5228	4135	3724	3681	3292	4478	2372	6599	5179	4267	3510	3151	4758	2839	5616	5008

ตารางที่ ก.5 เวลาตอบสนองการลากเมาส์การยศาสตร์มุมเพียง 45 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 2

ครั้งที่	Clockwise															Counterclockwise														
	Drag without Click					Drag with Click					Drag without only					Drag with Click					Drag without only					Drag with Click				
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5
1	4602	3120	6099	3151	7300	5211	4914	3526	3572	5538	2683	7332	5600	4709	4586	3635	5273	3135	6645	4571	4641	3479	2948	4508	2714	5601	5601			
2	4103	3058	6303	3073	6443	5491	4745	3932	3510	4929	2699	5616	5117	4301	4804	4087	5351	3136	7535	5663	5096	4227	3354	4680	2605	5647	5647			
3	3635	3120	6037	3167	7145	5476	4763	3946	3619	4571	2543	6146	4681	4251	4805	4368	5148	3322	6599	4680	4820	3510	3417	4665	2823	5429	5429			
4	3776	3245	5756	3089	6256	5070	4532	4087	2870	4617	2777	5772	4822	4158	4789	3947	5398	3261	5850	4836	4680	3760	3338	4477	2621	5678	5678			
5	3931	2761	6209	3026	5757	4743	4405	3947	2839	4430	2574	5882	4618	4048	4774	3572	4899	3213	5881	4914	4542	3729	2918	4446	2356	5445	5445			
6	4072	3526	5320	3011	6069	4790	4465	3963	2995	4461	2184	5757	4555	3986	4228	3822	5211	3307	5818	5008	4566	3572	2933	4274	2589	5600	5600			
7	3822	3354	5475	2964	6864	4649	4521	3604	2949	4461	2231	5429	4243	3820	4322	3479	5366	3354	5461	5117	4517	3354	2808	4010	2574	5366	5366			
8	3775	3400	5210	2621	7004	5007	4503	3744	3026	4322	2325	5885	4478	3913	4353	3338	5210	3681	5819	5039	4573	3152	3027	4711	2308	5288	5288			
9	3494	3104	5397	2871	7082	5102	4508	3526	3198	4228	2340	5867	4337	3916	4492	3915	4992	3542	5476	5211	4605	3354	2668	4727	2293	5257	5257			
10	3681	3463	5772	2699	6458	5164	4540	3604	3182	4228	2496	5866	4227	3934	4119	3822	4867	3385	5522	5319	4506	3261	2637	4010	2512	5335	5335			

ตารางที่ ก.6 เวลาตอบสนองการลากเมาส์การยศาสตร์มุมเพียง 90 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 2

ครั้งที่	Clockwise															Counterclockwise														
	Drag without Click					Drag with Click					Drag without only					Drag with Click					Drag without only					Drag with Click				
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5
1	4197	3276	5398	2636	6068	4587	4360	3681	3229	4836	2793	6350	4836	4288	3651	3042	5320	3276	7098	4852	4540	3900	3026	5242	2881	5850	5413			
2	4509	3385	5163	2684	6520	4493	4459	3728	3215	4992	2855	7207	5727	4621	3760	3572	5242	3010	7426	5181	4699	4243	3120	5288	2730	5523	4930			
3	4524	3994	5382	2449	5897	4492	4456	3946	3448	5351	2948	6661	5226	4597	4119	3558	5741	3104	7113	5195	4805	4509	3323	5163	3170	5695	4493			
4	4041	3776	5273	2652	5663	4882	4381	3713	3510	4993	3026	7238	4977	4576	3915	3744	4945	3354	6412	5085	4576	4508	3057	5460	2874	6240	4493			
5	3947	3837	5351	2793	6115	5039	4514	3557	3369	5055	3010	7066	5881	4656	4056	2995	5429	3057	5960	4945	4407	4228	3245	5195	2625	5772	4945			
6	4165	3635	4945	2512	6068	5180	4418	3729	3182	5040	2980	6536	6100	4595	4103	3479	5289	3167	6037	4384	4410	4165	3339	5289	2568	5288	4696			
7	4009	3776	5320	2558	5585	4322	4262	3698	3104	5007	2871	6880	5912	4579	3604	3604	4883	3089	6428	4306	4150	3291	4867	2843	5102	4976	4976			
8	4024	3588	5320	2637	5850	4321	4290	3884	3291	4976	2777	6724	6162	4636	3807	3666	4867	3151	5429	4524	4241	4275	3354	4946	2947	5491	4494			
9	3712	4009	4930	2667	5896	4103	4220	3635	3167	4696	3198	8160	6459	4886	4212	3510	5117	2902	5429	4056	4204	4274	3323	5071	2688	5694	4290			
10	3557	3182	4961	2746	5616	4602	4111	4087	3370	4774	3354	7816	6209	4935	3900	3276	4680	3354	5725	4524	4243	4181	3026	4790	2393	5320	4446			

ตารางที่ ก.7 เวลาตอบสนองของการลากเมาส์ทั่วไปมเฉลี่ย 0 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 3

ครั้งที่	Clockwise												Counter-clockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
1	1914	2444	2321	3107	3604	4137	3292	1769	1469	1858	1815	2210	3009	2223	2160	2489	3184	2812	3800	4170	3492	1822	1778	2340	2422	2873	3267
2	1917	2103	2485	2894	3411	3730	3130	1288	1425	1685	1944	2212	2834	2169	1905	1951	3204	2637	3490	3560	3223	1623	1756	2152	2385	3041	3180
3	1837	2404	2373	3235	3113	3688	3102	1416	1385	1664	2025	2242	2530	2115	2083	2032	2784	2635	3647	3835	3225	1723	2144	2658	2857	3449	
4	1922	2197	2321	2749	3326	3573	2992	1328	1360	1704	2281	2195	2605	2196	2026	1986	2616	2740	3360	3661	3094	1708	1680	1904	2639	2881	3695
5	1887	2099	2040	2768	3335	3499	2911	1228	1336	1612	1952	2439	2797	2200	2214	1978	2471	2612	3577	4138	3200	1761	1642	2081	2851	3018	3484
6	1777	2062	2130	2527	3202	3469	2832	1233	1315	1627	2305	2296	2525	2188	1998	1996	2305	2755	3659	3709	3107	1910	1720	2193	2739	3036	3524
7	1657	2156	2032	2617	3139	3609	2849	1291	1259	1601	2072	2400	2441	2129	2231	2119	2486	2705	3614	3808	3153	1694	1606	1985	2768	2746	3338
8	1758	2332	2340	2850	3286	3558	3009	1328	1339	1556	2154	2157	2409	2069	2137	1917	2316	2967	3623	3792	3175	1905	1753	1930	2835	2953	3318
9	1814	2192	2123	2942	3249	3539	2963	1329	1393	1540	2030	2193	2505	2067	2406	2070	2451	3050	3265	3849	3154	1881	1817	1953	2794	2802	3618
10	1894	2180	2316	2613	3348	3761	3010	1273	1320	1604	2296	2113	2473	2122	2493	2053	2399	2804	3759	3658	3155	1777	1627	2069	2379	2700	3504

ตารางที่ ก.8 เวลาตอบสนองของการลากเมาส์การยศาสตร์มุมเฉลี่ย 45 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 3

ครั้งที่	Clockwise												Counter-clockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
1	1954	2494	2760	2801	3315	4202	3270	1657	1788	1858	2511	2739	3122	2558	2127	1641	2661	3039	3041	5162	3476	1692	1681	1865	2578	2826	4152
2	1789	2296	2743	2709	3221	3775	3112	1459	1496	1762	2433	2542	3115	2463	1901	1649	2489	3174	2637	4379	3170	1582	1520	2185	2725	3139	3422
3	1823	2360	2639	2941	3307	3788	3169	1632	1688	1777	2409	2527	3039	2438	2127	1734	2321	2904	2969	4220	3104	1793	1576	2089	2629	2978	3677
4	1857	2423	2620	2753	3206	3475	3014	1566	1705	1786	2377	2665	3051	2470	2005	1716	2326	3446	3045	4338	3289	1707	1594	1976	2529	2897	3717
5	1746	2392	2571	2871	3268	3938	3162	1456	1607	1736	2205	2494	3330	2441	1920	2041	2317	2825	2940	4720	3201	1920	1673	1953	2900	2865	3548
6	1858	2260	2644	2850	3264	4067	3206	1465	1639	1840	2348	2509	3143	2460	1999	1689	2033	3077	3025	4529	3166	1961	1673	2001	2844	2938	3482
7	2162	2216	2579	3231	3554	4228	3398	1579	1696	1578	2345	2649	3619	2548	2216	1837	2252	3022	3173	4638	3271	1890	1512	1777	3079	3106	3298
8	1972	2536	2622	2818	3188	3790	3105	1645	1665	1728	2505	2354	3250	2459	2296	1923	2133	3183	3019	4996	3333	1920	1696	1652	2777	2859	3848
9	1886	2348	2441	2589	3369	3848	3062	1590	1668	1857	2448	2441	3463	2552	1995	1844	1993	3148	3051	4621	3203	2032	1682	1824	2695	2921	3922
10	1997	2263	2281	2887	3432	3945	3136	1754	1668	1924	2373	2462	3422	2545	2319	1873	2200	3231	2742	4862	3259	1878	1610	1728	2705	3049	3399

ตารางที่ ก.9 เวลาตอบสนของการลากเม้าส์การยศาสตร์มีเพียง 90 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 3

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	2605	2387	2840	3463	4103	4883	3822	1728	1988	3065	3177	3761	4618	3655	3435	2797	2655	3498	4147	5588	3972	1930	1920	2184	2953	3401	3818
2	2215	2371	2932	3323	3978	4789	3756	1688	1763	2745	3029	3292	3292	2680	2383	2638	3761	4414	6105	4230	1505	1915	2160	3099	3378	3914	3914
3	2293	2621	2917	3183	3791	5148	3760	1442	1713	2497	2968	3588	3974	3257	2861	2598	2444	3435	4240	5549	3917	1616	1808	2160	2945	3488	3858
4	2418	2511	2855	3370	3900	4665	3698	1544	1611	2360	3142	3323	4276	3275	2655	2771	2509	3630	4128	5357	3906	1600	1904	2152	2715	3229	3929
5	2356	2434	2746	3323	3604	4805	3620	1621	1560	2194	3252	3450	4377	3318	2767	2688	2563	3126	4202	4988	3720	1572	1800	2120	3077	3234	4077
6	2574	2418	2886	3261	3619	5008	3694	1464	1754	2136	3448	3433	3714	3183	2881	2891	2680	3362	4165	5179	3847	1493	1721	1992	2999	3140	4186
7	2605	2340	2948	3416	4212	4743	3830	1545	1586	2145	3121	3436	4265	3242	2720	2722	2717	3319	3885	5071	3748	1680	1760	2048	2745	3129	4005
8	2480	2231	2886	3369	3167	4586	3502	1513	1705	2680	3729	3294	4121	3456	2516	2750	2760	3621	3986	4862	3807	1520	1792	2209	2966	3409	4166
9	2434	2340	3042	3448	3635	4633	3690	1529	1585	2289	3334	3198	3995	3204	2483	2846	2488	3770	3730	5181	3792	1680	1873	2441	2857	3712	3681
10	2308	2356	2979	3447	3713	4634	3693	1376	1628	2392	3433	2933	4346	3276	2399	2987	2839	4093	3957	4814	3926	1504	1852	2115	2994	3435	3744

ตารางที่ ก.10 เวลาตอบสนของการลากเม้าส์ทั่วไปเพียง 0 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 4

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	3447	3416	3464	6411	7739	7176	6198	3447	2933	3620	4508	4945	6287	4940	3713	3448	3995	4930	5210	7176	5328	2684	2948	3323	4946	4836	6817
2	3276	3900	3651	6100	6162	6599	5628	2824	2886	3853	4261	4945	5382	4610	3572	3385	3479	4524	6099	6801	5226	2730	2933	3354	4305	4695	6349
3	3292	4820	4056	5569	7255	6973	5963	2795	2917	3276	4056	4961	5928	4555	3260	3323	3682	5195	5663	6193	5183	2480	3479	3634	4696	4976	6177
4	3137	4415	3697	6068	7800	6630	6049	2776	2917	3775	4243	5320	6208	4887	3713	3385	3542	5631	5757	6505	5359	2403	3386	3354	4368	4352	6615
5	3385	4181	3916	6162	6443	8112	6158	2808	2761	3416	4306	4353	6600	4669	3136	3463	3793	5897	6164	7098	5738	2542	3401	3494	4539	4617	7083
6	3526	3853	3978	5865	6475	6630	5737	2652	2887	3416	5008	4902	6244	4910	2808	3182	3575	5007	5601	5804	4997	2590	2917	3572	4836	4492	6583
7	3167	3760	3635	5397	6552	6318	5476	2855	2933	3261	4306	4692	6147	4579	3042	2980	3636	4649	5991	6411	5172	2854	3245	3900	4056	4930	6367
8	2840	3993	3900	4930	6834	6115	5445	2575	2980	3152	4384	4914	5897	4587	2980	3822	3603	5304	6989	6786	5671	2698	2792	3962	4258	4322	6802
9	2652	4025	4477	5428	6567	6895	5842	2638	3074	3495	4165	5039	6396	4774	2902	3557	3510	4539	5945	6334	5082	2184	2809	3588	4680	4353	6147
10	2948	3978	3745	5554	6630	6240	5542	2293	3401	3276	5210	4852	6334	4918	2730	3307	3760	4619	5553	6084	5004	2715	2792	3744	4119	4461	6132

ตารางที่ ก.11 เวลาตอบบนองการลากเม้าส์การยศาสตร์มู่เตียง 45 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 4

ครั้งที่	Clockwise												Counter-clockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	3400	4321	4774	5990	5944	7457	6041	3182	3322	4165	5102	5367	6303	5234	2917	3354	4212	4774	5023	6677	5172	2652	2808	3152	4867	4525	5195
2	2745	3666	4352	5351	6037	6942	5671	2308	3198	4134	5148	5211	6895	5347	2870	3198	4119	4259	5007	6755	5035	2840	2605	2823	5055	4166	5992
3	3354	3775	4196	5413	5616	7129	5589	2559	3276	4149	4774	5444	6116	5121	3073	2808	4368	4664	4587	6349	4992	2543	2402	3136	5008	4477	5133
4	2996	3323	4337	5476	5787	6677	5569	2356	3010	4181	4072	5523	5600	4844	2948	3011	4197	4929	4711	6287	5031	2558	2730	3104	4618	4322	5023
5	2933	3541	3993	5210	5507	6537	5312	2374	3120	4043	5164	4774	5648	4907	2979	3323	3900	4805	4742	6053	4875	2996	2699	3261	4961	4165	5366
6	3339	3215	3775	4992	5335	6911	5253	2512	2808	4243	4290	4852	5696	4770	2698	3026	3962	3853	5179	6240	4809	2762	2776	3043	4446	4274	6427
7	2932	3479	4056	5056	5319	7004	5359	2387	3245	4275	4930	5257	5803	5066	2714	3057	4071	4727	5023	6926	5187	2776	2792	2996	4446	4305	5585
8	2792	3230	3541	5538	5382	6879	5335	2683	3042	3963	4742	4665	5850	4805	2746	2964	3869	4587	4697	6427	4895	2886	2824	3151	4681	4152	5413
9	2808	3339	3806	5023	5226	7004	5265	2730	3558	4228	4742	4977	5618	4891	2574	2792	3791	5632	5008	6630	5265	2418	2793	3292	4977	4088	5290
10	2808	3151	3962	5413	5944	6494	5453	2683	2793	4118	5054	5444	5912	5132	2496	3198	4087	4899	4633	6708	5082	2481	2917	3167	5163	4617	5709

ตารางที่ ก.12 เวลาตอบบนองการลากเม้าส์การยศาสตร์มู่เตียง 90 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 4

ครั้งที่	Clockwise												Counter-clockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	3120	3775	4836	5272	5148	7316	5643	2715	3370	3946	4820	5476	5912	5039	3822	3666	3900	5226	5304	6115	5136	2793	3057	2996	5038	5398	5850
2	3058	3510	4196	4931	5725	7036	5472	2449	3277	3479	5011	5632	5460	4896	3245	3136	4711	5023	4822	5663	5055	2636	2824	3744	4524	4477	7114
3	3260	3744	4228	4820	5101	6898	5262	2386	3073	3713	4559	5367	4851	4623	2839	3198	4368	5102	5227	5288	4996	2714	2901	3479	4431	4134	6661
4	2839	3806	3853	5397	5335	6397	5246	2684	3183	3854	4946	5415	5353	4892	3244	3089	4290	5211	5040	5164	5164	2761	2839	3651	4759	4852	6413
5	3088	3620	3962	4945	5054	5943	4976	2435	3292	3806	4649	4914	5491	4715	3074	3385	4009	4884	5055	5897	4961	2558	3214	3775	4540	4773	6833
6	2948	3744	3994	5319	5288	6178	5195	2433	3104	3494	5335	4696	4775	4575	2699	3385	3634	4759	5039	5663	4774	2496	3619	3400	4634	4134	6382
7	2761	3947	4509	5039	4945	6537	5258	2215	3276	3354	5132	5179	5116	4695	2902	3307	3822	5756	5195	6302	5269	2808	3182	3494	4165	4430	5726
8	2699	3292	4477	5476	4805	6817	5394	2465	3479	3651	4540	4883	5507	4645	2652	3245	4134	4945	4758	6552	5097	2480	3151	3619	4649	4259	6349
9	2636	3666	4306	5369	5148	6505	5332	2247	3260	3728	4774	4805	5382	4672	3089	3307	4165	5008	4633	5913	4930	2777	3059	3058	4524	4572	6879
10	2901	3229	4524	4930	4774	6740	5242	2496	3231	3666	4541	4883	5584	4669	2636	3354	4088	4977	5319	6115	5125	2465	2995	3152	4493	4400	7191

ตารางที่ ก. 13 เวลาทดสอบของการลากเมาส์ที่ไปมมเพียง 0 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 5

ครั้งที่	Clockwise															Counter-clockwise														
	Drag without Click					Drag with Click					Drag without only					Drag with Click														
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5						
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42						
1	2777	3214	3744	4587	4945	5694	4743	2075	2231	2621	2855	4150	4524	3538	2823	3200	4540	4181	4839	5148	4677	2090	2855	3401	2870	3354	4025			
2	2387	3089	3042	4680	4711	5678	4528	1950	2684	2418	3385	4321	4555	3670	2652	3354	3837	4258	5257	4411	2013	2309	2981	2980	3526	4290				
3	2184	2808	3059	5445	4227	5632	4591	1888	2480	2387	3432	4368	4493	3670	2730	3184	4056	4275	4228	4945	4376	1903	2231	3183	3058	3619	4571			
4	2340	2698	2995	4758	3870	5757	4345	2091	2574	2246	3448	3868	4493	3514	3151	3120	4617	4275	4165	5242	4575	1950	2340	2998	3027	3432	4134			
5	2636	2699	3182	4711	4025	5397	4329	2122	2653	2091	3619	3868	3681	3315	2855	3057	3525	4227	4352	5148	4313	2106	2340	3153	3183	3370	3915			
6	2574	2808	3229	5366	4339	5959	4723	2028	2636	2153	3011	3963	4290	3354	2902	3214	3790	4072	4025	4336	4056	1981	2418	3026	3167	3478	4852			
7	2543	2730	3183	5350	3868	5912	4578	2262	2636	2309	2950	4024	4337	3405	2979	3011	3369	4353	4196	4618	4134	1981	2121	3120	3136	3432	4399			
8	2620	2730	3386	4773	3900	5397	4364	2122	2496	2356	3122	3963	5023	3616	2199	3744	3666	3760	4290	5024	4185	1731	2262	2824	3151	3900	4352			
9	2667	2855	2980	4962	4244	5351	4384	1825	2528	2309	3339	4102	5085	3709	2605	3120	3307	3526	4540	4555	3982	1903	2387	2777	3322	3962	4057			
10	2902	3198	2715	4431	5039	6053	4560	1935	2090	2121	3401	3822	5070	3604	2418	3120	3245	4212	4961	4555	4243	1981	2356	2948	2980	3931	4138			

ตารางที่ ก. 14 เวลาทดสอบของการลากเมาส์ที่การยกศาสตรัมเพียง 45 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 5

ครั้งที่	Clockwise															Counter-clockwise														
	Drag without Click					Drag with Click					Drag without only					Drag with Click														
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5						
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42						
1	3682	4446	5492	6396	7504	8112	6876	2527	3604	3401	4446	4884	5835	4642	2730	3073	3401	5444	4618	5319	4696	2387	2387	3042	3869	5007	4618			
2	3916	4493	5897	6256	6895	8970	7005	2277	3105	3386	3574	4804	5164	4232	2371	3073	3885	5351	4306	5103	4661	2246	2512	2839	3947	4446	4978			
3	4009	4883	6194	6146	7098	8190	6907	2418	3214	3214	4025	5007	5914	4540	2824	3182	3557	5725	4649	5445	4844	2293	2512	2808	3494	4166	4650			
4	3838	5242	6210	5757	6740	7893	6650	2434	3057	3120	4103	5413	5257	4473	2698	3510	3104	5382	4025	5304	4454	2230	2372	2808	3886	3932	4462			
5	3418	4009	5725	5960	6755	8222	6666	2449	2779	3120	4945	5289	5461	4704	2434	3089	3026	5039	3963	5600	4407	2293	2449	2761	3120	4353	4071			
6	3869	4212	5616	6255	6615	7722	6552	2262	2886	3214	4243	5070	5773	4575	2262	3510	3042	4789	3869	5366	4267	2403	2246	2636	3089	3682	4071			
7	3479	4103	5351	6256	7987	7488	6771	2527	3073	3417	3978	5054	5398	4458	2262	3650	3541	4695	4165	5398	4450	2262	2558	3463	3775	5085				
8	3853	3978	6131	5725	7613	6771	6771	2246	2886	3136	3541	5445	5398	4380	2434	3494	3338	4789	3791	5850	4442	2293	2309	2839	3463	3775	4118			
9	3558	4040	5522	6163	6957	7426	6517	2324	2808	3167	4041	4898	5102	4302	2340	3245	3713	4883	4040	4994	4408	2355	2216	2543	3557	4228	4337			
10	3572	3776	5320	5882	7102	7769	6518	2137	2964	3276	4399	4539	5445	4415	2262	3806	3682	4711	3978	5320	4423	2652	2152	2496	3572	4134	4384			

ตารางที่ ก. 15 เวลาตอบสอบของการลากเมทาส์การยศาสตร์มุมเพียง 90 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 5

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	2684	5055	4150	4462	4976	6006	4899	2621	3151	3526	3542	4431	4930	4107	2324	3042	3245	3916	4603	5148	4728	3167	2621	3338	3900	4493	5756
2	2496	4212	3853	4274	5070	5507	4676	2293	3058	2792	3556	3837	4649	3709	2528	2590	2995	3261	4493	5335	4021	2434	2215	2558	3808	4524	5070
3	2403	3963	5288	4306	5850	5538	5246	2481	2933	2855	3307	3760	4665	3647	2262	2371	3042	3401	4492	4540	3869	2762	2371	2278	4196	4542	5569
4	2293	4524	4524	4243	5492	5460	4930	2340	2808	2823	3291	3589	3666	3342	2231	2340	3027	3354	3838	5195	3854	2621	2122	2684	3541	4696	5257
5	2449	5007	4572	4462	5163	5990	5047	2340	2714	2995	3292	3495	3868	3413	2246	2402	3011	3525	4649	5007	4048	2667	2527	2699	3744	4805	4820
6	2418	4415	4384	4025	5335	6274	4992	2605	2730	3183	3291	3790	4477	3685	2184	2200	2823	3651	4462	4992	3982	2824	2090	2715	3715	4899	5008
7	2964	4415	4961	4102	5538	5741	5086	2371	2512	3182	3245	3479	4321	3557	2028	2761	3073	3651	4508	4400	3908	2683	2199	2667	3853	4040	4602
8	2715	4056	4758	4399	4758	5538	4863	2386	2652	3198	2808	3541	4477	3506	2294	2465	2746	3557	4446	4680	3857	2964	2230	2418	3837	4103	4899
9	2652	4727	4899	3900	4462	5757	4755	2668	2512	3010	3011	3775	4087	3471	2090	2293	3214	3760	4009	4634	3904	2730	2278	2294	3666	4244	5023
10	2496	4321	3884	4134	5133	5663	4704	2231	2793	2870	2964	3510	4072	3354	1950	2137	2746	4197	4431	4305	3920	3105	2231	2590	3822	4478	4727

ตารางที่ ก. 16 เวลาตอบสอบของการลากเมทาส์การยศาสตร์มุมเพียง 0 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 6

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	3006	2947	3842	4336	5105	5147	4608	2861	3296	3360	4692	4534	5411	4499	3665	4146	4743	5001	4952	7031	5432	2885	3216	4120	5760	4746	6535
2	2850	3014	3665	4115	6086	5506	4843	2841	2879	3281	3902	4369	5487	4260	4141	3023	4583	5467	4497	6531	5270	2648	2795	3634	4863	4473	5883
3	2940	2952	3470	4671	4697	5580	4605	2716	2899	3144	4915	4604	5388	4513	4135	3282	4269	5079	5128	6229	5176	2557	3194	3602	4853	4625	6405
4	3132	3038	3330	4714	4410	5316	4443	2923	2963	3223	4502	4512	5062	4325	4052	3625	4446	5060	4621	6071	5050	2674	3184	3410	4587	4528	6378
5	3255	2906	3026	4412	5415	5417	4568	2626	2544	3263	4450	4723	5717	4538	3951	3902	3869	5329	4928	6153	5070	3042	2992	3459	4498	4537	6266
6	3217	3370	3153	4648	4095	5475	4343	2622	2688	2856	4377	4601	5499	4333	3988	3663	3904	4878	4954	6645	5095	2893	3304	3178	5291	4325	5585
7	4515	2823	3341	4632	4263	5496	4433	2991	2992	3154	4769	4833	5042	4450	4142	3906	3516	5371	4884	5775	4887	2892	2913	3536	5053	4496	5307
8	3671	2584	3185	4372	4352	5658	4392	2910	2928	3217	5054	5034	5363	4667	4629	3582	3479	4931	4712	6121	4811	3367	2857	3199	5286	4174	5388
9	3617	2930	3446	4239	4470	4990	4286	2841	2584	3424	4754	4953	5237	4592	4371	3338	3476	4941	5125	5514	4764	3366	2808	2960	4865	4541	5203
10	3364	3162	3531	4664	4340	5355	4473	3234	2912	3304	5329	4608	5137	4595	3372	3265	3952	5171	4713	5367	4801	3149	2768	3272	4433	4260	5616

ตารางที่ ก.17 เวลาตอบสนองของการลากเมาส์การยศาสตร์มุมเฉียง 45 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 6

ครั้งที่	Clockwise												Counter-clockwise											
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click					
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42
1	3014	3210	3524	7110	4405	6069	5277	4349	4025	3889	5679	5865	5700	4487	4125	3888	6853	6184	3622	3450	4208	5787	5985	7135
2	3370	3323	3743	7347	4835	5747	5418	3865	3834	3664	5514	5331	6997	5377	5160	3955	4323	6054	7116	3201	3755	5270	6289	7323
3	3615	3561	3730	7000	4926	5471	5282	3881	3059	3409	5628	5211	6664	5228	5015	4365	4357	6172	5654	3240	3848	3689	5923	5219
4	3236	3477	3602	6462	4565	5478	5027	4106	3313	3673	5233	5464	6636	5252	4694	3927	3960	6290	6433	3321	3594	3737	5116	5305
5	3520	3567	4059	7194	4476	5502	5308	4297	3224	3352	4986	5465	6705	5127	4214	4187	6847	6449	6012	3151	3505	3593	5557	5047
6	3666	3578	3689	7092	4569	5728	5270	4391	3432	3432	5386	5080	7258	5289	3927	4196	4168	6428	6410	3681	3376	3874	5673	6392
7	4190	3453	3845	7030	5450	6148	5618	4312	3439	3528	5778	5098	6575	5245	4417	3833	3752	6512	6149	3488	3576	3921	5121	5364
8	3580	3651	3834	6054	5025	6280	5298	4368	3306	3849	5682	5731	6493	5439	4982	4089	4138	6823	5667	3385	3365	4002	5433	5839
9	3649	3877	3609	6534	4486	6216	5211	4696	3105	3297	4597	5104	7098	5024	5277	4062	3929	5869	5535	3401	3192	3425	5712	5324
10	3929	3269	3614	6871	4998	5649	5283	4835	3176	3634	4851	5374	6884	5186	5136	3624	3967	5367	5804	3721	3496	3514	5129	5785

ตารางที่ ก.18 เวลาตอบสนองของการลากเมาส์การยศาสตร์มุมเฉียง 90 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 6

ครั้งที่	Clockwise												Counter-clockwise											
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click					
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42
1	3493	3735	4444	5691	4826	6568	5382	3438	3376	3696	5460	5105	6802	5266	3822	4018	3715	6346	6013	3808	3424	3600	5816	5393
2	3451	3322	4102	5500	4179	6470	5063	3143	3332	3151	4719	4960	5827	4664	3937	4244	3775	6201	5246	3333	3339	3585	4912	4432
3	3225	3542	3858	5702	4437	5932	4982	3224	3548	3416	4882	4858	5449	4651	4152	4491	3683	5848	6078	3424	3473	3248	4801	4182
4	3762	3719	3909	5788	4204	5737	4910	3225	2865	2969	4722	5240	5337	4567	4675	3704	4123	4958	6149	3329	3416	3616	5115	4263
5	4165	3259	3943	5504	4409	5948	4951	2846	3143	3433	5326	4816	5226	4700	4365	3946	4039	5717	5398	3356	3480	3716	4756	4656
6	3805	3331	3757	5701	4284	5773	4879	3112	2977	3303	5874	5016	5629	4956	3292	3921	4037	5711	5340	3436	3400	3732	5161	4819
7	4009	3131	3749	6329	4371	5411	4965	2911	3192	3257	5510	4953	6164	4971	4017	4188	4014	5888	5846	3713	3524	3552	4836	4626
8	3611	2834	3785	6048	5028	6008	5217	3317	3280	3337	5961	5074	5468	4960	4030	3745	3601	6069	5524	3912	3472	4008	4924	4901
9	3850	3029	3528	6554	5108	5909	5275	3281	3325	3264	5283	4664	6208	4855	4307	4983	4239	5508	5660	3320	3415	3972	5241	4166
10	3869	3125	3634	5508	5287	6779	5302	3665	3408	3320	5283	4510	6200	4828	4306	3585	3658	5800	5227	3094	3300	3960	5542	4745

ตารางที่ ก.19 เวลาตอบใบสอบการลากเมาส์ทั่วไปแบบเรียง 0 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 7

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	2711	2174	2603	4017	4401	4565	3897	2381	1858	2623	2753	3456	3841	3168	2658	2745	2429	4335	3245	4392	3600	2090	1987	2480	3264	3114	3891
2	2392	2307	2688	3836	4416	4855	3949	2033	1953	2489	2604	3751	3759	3151	2222	2372	2341	4279	3207	3996	3456	1749	1737	2108	3269	2894	3065
3	2551	2347	2742	3635	4222	4592	3798	2058	2088	2224	2759	3033	3642	2915	2331	2316	2533	4106	3204	3816	3415	1744	2128	2208	2769	3179	3142
4	2712	3463	2543	4065	3877	4503	3747	1873	2048	2440	2561	3036	3626	2916	1996	2420	2534	4077	3148	3972	3433	1801	2008	2217	2746	3264	3425
5	2589	2698	2637	4075	4160	4455	3832	2418	2435	2497	2642	2956	3696	2948	2074	2387	2592	3859	3323	4094	3467	1986	2128	2432	2899	3102	3209
6	2043	2865	2619	4091	4338	4208	3814	1861	1977	2177	2641	2980	3529	2832	2154	2083	2455	3950	3908	3827	3535	1883	2105	2545	2975	3115	3360
7	2242	2703	2692	3849	4211	4012	3691	1969	2031	2153	2595	3368	3530	2912	2402	2354	2457	3661	3294	4168	3395	1937	2120	2544	2705	3040	3888
8	2308	2652	2515	3774	4164	4438	3723	1966	1936	2120	2806	2913	3122	2740	2117	2155	2403	3691	3886	4006	3497	1856	2257	2399	2801	3173	3346
9	2234	2627	2629	4117	4399	4246	3848	2019	2097	2048	2737	2993	3362	2785	2182	2174	2307	3674	3270	3781	3258	1898	2128	2291	2616	3105	3647
10	2018	2737	2733	4014	4032	4185	3741	2086	2104	2107	2819	3050	3408	2846	2049	2157	2276	3816	3330	3715	3284	1792	2097	2404	2617	2929	3304

ตารางที่ ก.20 เวลาตอบใบสอบการลากเมาส์การยศาสตร์มุมเรียง 45 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 7

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	2196	2193	2852	3800	3199	4384	3559	2228	2556	2784	3563	3433	4289	3517	2546	2206	2849	3507	3601	4245	3551	1946	2793	2672	3369	2775	3873
2	2196	2505	2664	4011	3354	3790	3455	2101	2488	2552	3433	3215	4001	3300	2459	2278	2401	3501	3708	4129	3435	1945	2169	2455	3122	2864	3600
3	2065	2203	2549	3470	3323	4230	3393	2261	2720	2619	3605	3193	3769	3297	2271	2119	2265	3491	3566	3930	3313	1902	2244	2729	3369	2897	3686
4	2051	2313	2473	3268	3008	4707	3364	2113	2490	2640	3273	3169	3669	3188	2185	2098	2279	3309	3641	3952	3295	2056	2169	2601	3041	2673	3657
5	2177	2011	2484	3670	3118	4488	3440	2378	2529	2377	3257	2969	3751	3089	2287	2117	2216	3462	3612	3979	3317	1944	2211	2376	3273	2680	3225
6	2139	2117	2480	3695	3110	4139	3356	2267	2307	2353	3338	2977	3745	3103	2564	1967	2400	3188	3758	3928	3319	2082	2271	2312	2953	2681	3425
7	2175	2332	2523	3464	2915	4101	3251	2233	2440	2281	3489	3022	4025	3204	2506	2271	2377	3221	3606	4012	3304	1998	2553	2465	2971	2699	3233
8	2254	2263	2632	3580	2917	4454	3396	2475	2372	2272	3769	3295	3581	3229	2285	2276	2203	3047	3670	4127	3262	1816	2465	2465	3064	2915	3593
9	2204	2134	2612	3535	2788	4286	3305	2134	2425	2386	3417	2968	3631	3101	2434	2233	2264	3176	3886	4029	3339	1926	2548	2537	2805	2796	3614
10	1846	2252	2462	3430	2886	4444	3306	2329	2216	2280	3622	3196	3834	3233	2639	2201	2303	3467	3664	3959	3348	1584	2680	2346	3084	2781	3354

ตารางที่ ก.21 เวลาตอบสอบของการลาภาคีการศึกษาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนต้นของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 7

ครั้งที่	Clockwise												Counter-clockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	2933	3011	3510	3931	4275	5164	4220	2823	2527	2761	3838	3401	4384	3596	2148	2390	2545	3835	3999	4260	3660	2360	2111	2001	3275	3432	4699
2	3074	2761	3322	3822	4182	4914	4060	2761	2527	2620	3650	3495	4165	3483	1974	2312	2337	3870	3524	4202	3483	2442	2399	2285	3406	3266	4537
3	2808	2636	3105	3822	3682	4727	3834	2808	2542	2543	3712	3308	4181	3436	1993	2242	2676	4413	3762	4191	3761	2520	2410	2289	3081	3285	4067
4	2902	2559	3838	3884	4228	4618	4142	2948	2309	2324	3713	3745	4415	3549	2132	2544	2826	4075	3967	4078	3737	2702	2505	2223	3128	3258	4263
5	2792	2465	3198	3760	3775	5101	3959	2730	2340	2340	3775	3915	4167	3549	2186	2398	2576	3448	3967	4052	3511	2263	2978	2169	3139	3306	4323
6	2761	2761	3292	3588	3915	4555	3838	2886	2122	2403	3885	3496	4290	3519	2195	2325	2753	3189	4047	4209	3550	2289	2201	2137	2754	3267	4022
7	2590	2777	3058	3573	3790	4197	3655	2621	2137	2558	4056	3401	4150	3541	1791	2229	2685	3340	3736	4372	3533	2537	2121	2217	2957	3225	4657
8	2808	2668	2932	3370	3838	4477	3654	2730	2246	2433	4009	3588	4118	3537	2232	2284	2820	2928	3943	4201	3473	2630	2561	2504	3200	3284	3921
9	2855	2715	3089	3573	3510	4665	3709	2605	2324	2589	4134	3167	4103	3498	2365	2601	2674	3504	3797	4255	3558	2328	2549	2161	3290	3306	3775
10	2698	2730	2933	3385	3807	4290	3604	2480	2262	2418	3713	3167	3933	3308	2092	2485	2652	3634	3459	4339	3521	2513	2293	2268	3315	3091	3902

ตารางที่ ก. 22 เวลาตอบสอบของการลาภาคีการลาภาคีการศึกษาศาสตร์ทั่วไปมัธยมศึกษาตอนต้นของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 8

ครั้งที่	Clockwise												Counter-clockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	1872	2324	2621	2340	3494	3478	2983	2012	1825	2262	2824	2699	3027	2703	2200	2309	2387	2808	3260	3666	3030	2091	1716	1997	3308	2824	3666
2	1825	2356	2559	2418	2996	3603	2894	1716	1451	1919	2465	2512	3026	2481	1965	2121	2262	2543	2808	4243	2964	2106	1560	1825	2746	2980	3448
3	1966	2137	2277	2745	3339	3417	2945	1732	1529	1965	2590	2169	3120	2461	1903	2028	2309	2652	2746	3573	2820	2013	1887	1794	2792	2933	3167
4	2075	2371	2075	2668	3120	3541	2851	1762	1482	1654	2372	2777	3089	2348	1732	2168	2699	2761	2949	3822	3058	1841	1716	1763	2652	2481	3494
5	2153	2324	2246	2964	3354	2948	2878	1701	1529	1778	2309	2355	2871	2328	2122	2309	2918	2574	2886	3698	3019	1810	1841	2137	2730	2918	3666
6	2277	2184	2558	2746	3245	3510	3015	1716	1591	1919	2262	2324	2792	2324	2028	2168	2574	2480	3120	3479	2913	1638	1747	1950	2543	2683	3245
7	2075	2153	2496	2590	2855	3026	2742	1716	1466	1638	2418	2246	2855	2289	2028	2387	2387	2823	2823	3791	2984	2122	1747	2138	2620	2886	3650
8	1997	2168	2184	2761	3026	3276	2812	1794	1514	1716	2512	2262	3088	2395	2012	2044	2512	2902	3042	3385	2960	2153	1841	2293	2590	3167	2527
9	1669	2418	2184	2434	2949	2839	2602	1670	1373	1622	2746	2247	2918	2383	2043	2293	2403	2917	3166	3572	3015	1747	1700	1747	2542	2684	2886
10	1607	2512	2340	2605	2980	3073	2750	1778	1638	1888	2309	2184	3105	2372	1794	2247	2215	2699	3183	3791	2972	1622	1575	1638	2683	2262	3089

ตารางที่ ก.23 เวลาตอบสนทนของการลากเกมการศึกษาศาสตร์มูมเพียง 45 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 8

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	2215	2200	2621	3106	3495	3993	3304	2153	2278	2278	2589	2979	4368	3054	2356	2262	2340	3120	2886	4056	3101	1888	1872	2168	2901	3620	3993
2	2376	2059	2371	3104	3385	3884	3186	1872	1950	1841	2605	2512	3853	2703	2137	2075	2371	2995	2824	3697	2972	2091	1669	2075	2839	3042	3448
3	1997	2028	2403	3276	3401	3791	3218	1888	1763	1825	2579	2527	4103	2759	1935	1997	2308	3198	3135	3900	3135	2090	1763	2090	2667	2886	3651
4	2090	2075	2548	3151	3323	4274	3324	1669	1872	1825	2559	2340	3728	2613	2043	2013	2464	3182	2933	3854	3108	2090	1654	1997	2808	2776	3510
5	2137	2121	2309	3011	3120	3915	3089	1685	1934	1840	2792	2652	3338	2656	2028	1981	2356	3292	3167	3666	3120	1950	1747	2028	2636	2808	3822
6	2153	1981	2465	3167	2948	3510	3023	1732	1966	1732	2699	2543	3369	2586	2169	1903	2340	3042	2793	4212	3097	1919	1700	2090	2605	2636	3931
7	2091	2106	2512	2901	3523	3608	3136	1779	2075	1810	2434	2387	3370	2500	2168	1950	2387	3260	2980	3822	3112	2044	1732	2309	2559	2574	3588
8	2215	1981	2340	3152	3182	3635	3077	1794	1810	1794	2558	2450	3214	2504	2028	1950	1997	3167	2793	3947	2976	1857	1575	2231	2590	2699	3588
9	2355	1966	2371	3260	3308	3448	3097	1606	1966	1794	2449	2403	3401	2512	2028	1857	2340	3042	3104	3884	3093	1903	1810	2044	2699	2792	3495
10	2169	2091	2418	3619	3104	3245	3097	1638	1997	1670	2636	2481	3432	2555	1935	2028	2449	3151	3370	3869	3210	1809	1716	1965	2886	3011	3369

ตารางที่ ก.24 เวลาตอบสนทนของการลากเกมการศึกษาศาสตร์มูมเพียง 90 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 8

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	2387	2371	2278	3088	3213	3541	3030	1701	2246	2091	2637	2558	3107	2598	2013	2200	2574	3370	3557	4165	3417	2668	1903	2465	2621	3089	3432
2	2608	2262	2481	2776	2995	3572	2956	1560	1966	2122	2356	2285	3057	2455	2059	2371	2465	3479	3666	4540	3538	1747	1716	2277	2668	3042	3635
3	2481	2200	2202	2964	3120	3838	3031	1685	2121	2013	2699	2606	3073	2598	1997	2231	2402	3292	3542	3915	3288	1966	1919	2433	2792	3089	3791
4	2636	1996	2231	2746	3120	3245	2836	1576	2044	2168	2512	2620	2980	2570	2122	2122	2246	3120	3806	4056	3307	1965	1731	2480	2995	3339	3385
5	2652	2044	2137	2854	3058	3494	2886	1731	2028	2230	2527	2512	2746	2504	2200	2075	2636	3123	3541	3354	3164	2106	1841	2340	3104	3120	3853
6	2480	2168	2075	3011	2839	3182	2777	1700	1966	2246	2543	2543	2949	2570	2215	2121	2168	3198	3510	4352	3307	2121	2059	2387	2574	3338	3572
7	2496	2075	1893	3151	3042	3370	2864	1840	2122	2012	2714	2403	2964	2523	2090	2246	2200	3042	3276	4571	3272	2215	2387	2293	2808	3354	3541
8	2247	1732	2059	2902	3026	2970	2739	1856	1982	2137	2527	2667	2777	2527	2418	2059	2106	2949	3354	4134	3136	1934	2090	2152	2995	3338	3572
9	2152	2059	2060	3089	2933	3307	2847	1794	1841	2121	2511	2574	2823	2507	2247	2121	2216	3261	3276	3978	3183	1997	2153	2325	2795	3136	3635
10	2184	2043	1904	3105	3214	3494	2929	1669	2012	2324	2668	2294	2949	2559	2387	2200	1919	3011	3307	3463	2925	1840	2044	2449	3167	3092	4074

ตารางที่ ก. 25 เวลาตอบสนองของการลากเมาส์ทั่วไปมมเพียง 0 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 9

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	2637	3869	4196	4009	5492	6349	5012	2574	3993	4087	4197	4867	6911	5016	2558	3354	4508	5569	5117	7114	5577	3296	3280	5070	6131	7395	6820
2	2340	3525	4243	3885	6147	6692	5242	2231	4680	4118	4355	5709	6427	5152	2387	3900	5117	4368	5507	6739	5433	2890	2945	5070	5914	7582	6099
3	2371	3556	4306	4509	5429	5772	5004	2168	3822	3354	4165	5132	6240	4723	2496	3604	4555	4992	5866	6677	5523	2832	2772	4212	5881	7569	5631
4	2262	3759	4898	4056	5023	6381	5090	2028	3603	3682	4431	5117	6365	4899	2246	3136	4493	4758	5881	6428	5390	2417	2976	4446	4976	7066	6349
5	2293	4493	4555	4321	6240	6271	5347	2278	3229	3916	4103	5397	5834	4813	2356	3214	4493	4680	5803	7394	5593	2353	2629	4586	5320	6879	5569
6	2340	4212	4275	4431	5772	6286	5191	2044	3135	3619	4462	5179	5413	4668	2528	3682	4649	4961	5429	6396	5359	2294	3088	4228	5553	7098	5242
7	2138	4025	4415	4414	5553	6037	5105	2356	3151	3494	4539	4821	5601	4614	2512	3525	4384	4602	5679	7394	5515	2220	3072	4040	6115	6911	5304
8	2667	4134	4165	4415	5772	5913	5066	2168	3323	3479	3931	4758	5803	4493	2512	3151	4415	5070	5647	6989	5530	2502	3160	4056	5678	6646	5195
9	2652	4056	3853	4431	5101	5959	4836	2434	3510	3619	4337	4774	5912	4661	2559	3853	4259	4430	5896	7004	5397	2433	2760	3650	5538	6770	5663
10	2496	4025	3572	4477	5227	5975	4813	2138	3245	3541	3697	4618	6099	4489	2325	3525	4524	4633	6053	6942	5538	2316	2992	3744	6053	6911	5367

ตารางที่ ก. 26 เวลาตอบสนองของการลากเมาส์การยศาสตร์มมเพียง 45 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 9

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	3735	4003	4336	4677	7059	6471	5636	3697	4088	3432	5830	5402	7423	5522	3115	3699	3403	4188	5775	6398	4941	2747	3312	3466	4205	4946	6731
2	3445	3942	4202	4741	6955	6240	5535	3054	3320	3009	5147	5178	6562	4974	3039	3326	3551	4990	6206	6996	5436	2313	3621	3585	4408	5803	6931
3	3359	3728	3733	4868	6770	6082	5363	3241	3527	3353	5345	5537	6658	5223	2772	3146	3358	4489	5807	6060	4929	2428	2944	3488	4681	4609	6557
4	3519	3682	4104	4477	6793	6170	5386	2926	3345	3784	5587	4969	6650	5248	3019	3326	3606	4758	5418	6193	4994	2350	3395	3112	4930	5163	6226
5	3653	3505	4092	4614	6126	5854	5172	3327	3001	3259	5134	4851	6089	4833	3197	3421	3874	4508	5624	6378	5096	2320	3121	3042	5121	5176	6099
6	3571	3613	4595	4740	6269	6049	5413	3337	3265	3121	4800	5075	6150	4787	3308	2850	3535	4651	5955	5855	4999	2466	2981	3176	4253	4657	5716
7	3535	3433	4068	4738	6550	6130	5372	3226	2936	3321	5264	5163	6123	4968	3369	2965	3675	4885	5506	6436	5126	2129	2914	3240	4535	4723	5923
8	3054	3640	4303	4680	5871	5647	5125	3001	3379	3439	5114	5322	6310	5046	3378	3018	3468	4729	5591	6044	4958	1988	3040	3136	4593	4867	5642
9	3445	3593	4199	4917	5733	5479	5082	2881	2992	3558	5397	4784	6013	4933	3205	2926	3403	4953	5403	6668	5107	2105	2913	3234	4021	4859	5709
10	3378	3497	4352	5170	5581	5536	5160	2882	2978	3593	4671	4443	6567	4819	3096	2873	3808	5119	4966	6489	5096	1840	2780	3116	4137	4337	6119

ตารางที่ ก.27 เวลาตอบสนองของการลากเมาส์การยศาสตร์มนุษย์เฉลี่ย 90 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 9

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise											
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click					
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42
1	3510	3652	4352	6334	6349	8020	6264	3573	3822	3057	5632	5132	7680	5375	2590	2995	3790	4431	5101	5569	4723	2855	3198	3495
2	2949	3401	3900	6802	7082	8502	6572	3089	3120	2808	6008	4775	7909	5375	2324	2839	3776	4368	4914	5881	4735	2621	2997	3697
3	2840	3447	3947	7129	6037	8720	6458	2902	2793	2824	6162	4992	7974	5488	2465	2950	3542	4446	5792	6053	4958	2574	2839	3915
4	2995	4024	3761	6256	6568	8751	6334	3183	2714	3166	6458	4759	7800	5546	2730	2855	3682	4321	5429	5366	4700	2746	3010	3635
5	3307	4540	3526	6427	6271	8892	6279	2964	2901	3011	6021	4383	7691	5277	2870	2980	3385	4446	5054	5369	4564	2683	3120	3557
6	3339	4056	4462	6740	6349	8768	6580	2543	2918	2824	5898	4992	7847	5390	2527	3214	3401	4789	5163	5569	4731	2340	3463	3744
7	3401	4697	3463	6755	5743	9158	6280	2855	3355	3104	6022	4651	7847	5406	2574	2855	3541	4243	5601	5179	4641	2605	3791	3963
8	3229	3900	3136	7207	5416	8440	6050	2714	2809	2699	6178	4727	7005	5152	2481	3073	3494	4462	5335	5632	4731	2231	3791	3868
9	2948	3884	3713	6599	6100	8767	6295	3120	2699	3229	5319	4228	7301	5019	2434	3151	3526	4446	4664	5616	4563	2262	3635	3479
10	3229	3947	3417	6724	5866	8471	6120	2948	2714	2762	5554	4680	7035	5008	2074	3073	3401	4258	4352	6084	4524	2387	3120	3667

ตารางที่ ก.28 เวลาตอบสนองของการลากเมาส์ทั่วไปมนุษย์เฉลี่ย 0 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 10

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise											
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click					
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42
1	2263	2695	2793	3850	4504	4976	4031	2247	2886	2918	3791	3775	3011	3374	2652	3479	3261	3448	4446	4337	3873	2980	3104	3822
2	2065	2822	2527	3784	4300	4844	3864	1841	2465	2979	3152	3260	2949	3085	2324	3354	3245	3369	3822	4524	3740	2745	2792	3650
3	2019	2862	2574	3442	3919	4554	3622	1965	2684	3245	3370	3120	3105	3105	2137	3011	3042	3011	3557	4336	3487	2714	2948	3416
4	2081	2711	2558	3585	3693	4639	3619	1904	2340	2808	2996	3432	3260	3124	2044	2949	3307	3214	3822	4384	3682	2199	2730	3370
5	2138	2554	2699	3702	3760	4738	3725	1903	2559	2746	2886	3448	3089	3042	2231	2824	3151	3198	3994	4321	3666	2480	2621	3167
6	2183	2738	2620	4251	3900	5218	3997	1809	2496	2558	2918	3621	3244	3085	2278	2574	3526	3089	3978	3994	3647	2496	2667	3479
7	2354	2833	2621	3466	4015	4826	3732	1888	2386	2356	2808	3339	3058	2890	2356	3011	3198	2980	4056	3713	3487	2558	3120	3728
8	2153	2453	2606	3835	3776	5484	3925	1997	2418	2434	2855	3151	3323	2941	2387	3135	2886	3214	3603	4695	3600	2434	2699	3276
9	1939	2562	2901	4126	3447	5010	3871	1997	2324	2496	2854	3120	2761	2808	2371	2652	3307	3182	3791	4570	3713	2808	2527	3385
10	2574	3033	2964	3249	3977	5091	3820	2168	2293	2480	2730	3495	3213	2980	2200	2465	3447	3323	3806	4446	3756	3120	2730	3526

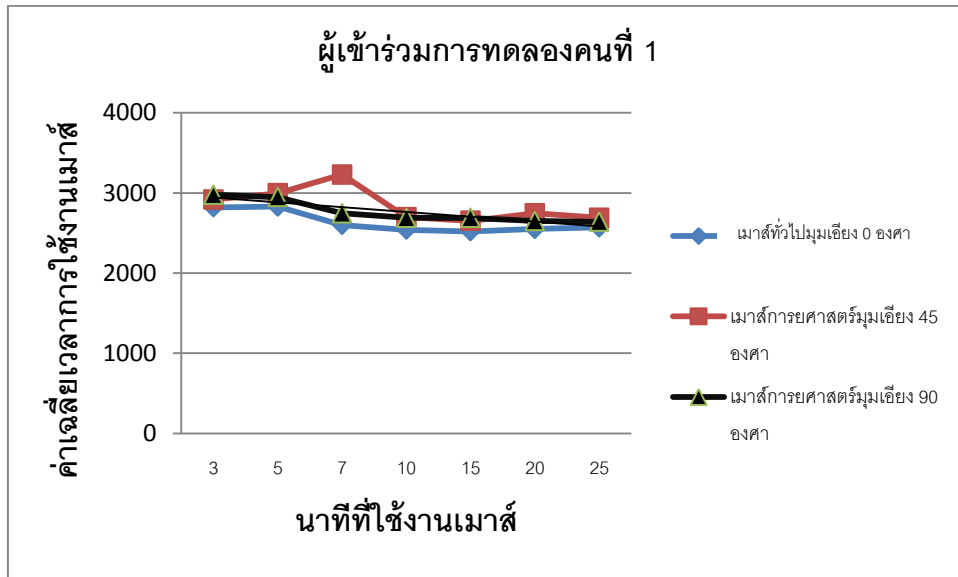
ตารางที่ ก.29 เวลาตอบสนทนของการลากเมาส์การยศาสตร์มนุษย์เพียง 45 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 10

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	2104	2954	3326	4517	4185	6984	4753	1887	2121	2372	2933	3853	4430	3397	2612	2798	3252	4739	4716	5670	4594	2106	2527	2933	3432	3620	5117
2	2202	2983	3602	4405	4326	6646	4745	1888	2028	2590	2761	3354	4945	3413	2904	2765	3447	4517	4538	5630	4533	2059	2433	2590	3697	3776	4852
3	2064	2583	3965	4252	4496	6116	4707	1950	1981	2652	2964	3354	4228	3300	3135	2852	3580	4462	4305	5292	4410	2027	2543	2621	3666	3963	4789
4	2118	2844	3454	4234	4110	5908	4427	1872	1919	2481	3120	3464	4087	3288	3083	2729	3375	4498	4544	5687	4526	2433	2761	2855	4196	3822	4867
5	2103	2854	3630	4196	4615	7008	4862	1903	1966	2542	2995	3557	4742	3459	3053	2997	3266	4797	4934	6228	4806	2511	2558	2824	3869	3791	4883
6	2123	2920	3453	4368	4416	6054	4573	1966	1966	2761	3245	3416	4399	3455	3095	2904	3301	4971	5034	5623	4732	2652	2387	2699	3853	3885	5039
7	2254	2904	3518	4416	4242	5909	4521	1841	1996	2496	3042	3307	4570	3354	2779	2922	3290	5115	4476	6129	4753	2761	2356	2839	3744	3947	4992
8	2234	2969	3605	4632	4497	5245	4495	1856	2216	2340	3198	3697	4306	3385	2864	3057	3354	4766	4416	6157	4673	2559	2590	2839	4337	3541	5101
9	2351	2863	3313	4590	4320	5846	4517	1919	2012	2496	3386	3650	4540	3518	2942	2870	3241	4382	4669	5861	4538	2403	2683	2964	4071	3791	5039
10	2339	2907	3697	4803	4125	6442	4767	1950	2012	2543	3557	3494	4898	3623	3285	3097	3349	4606	4534	5481	4493	2402	2465	2792	4231	3962	4259

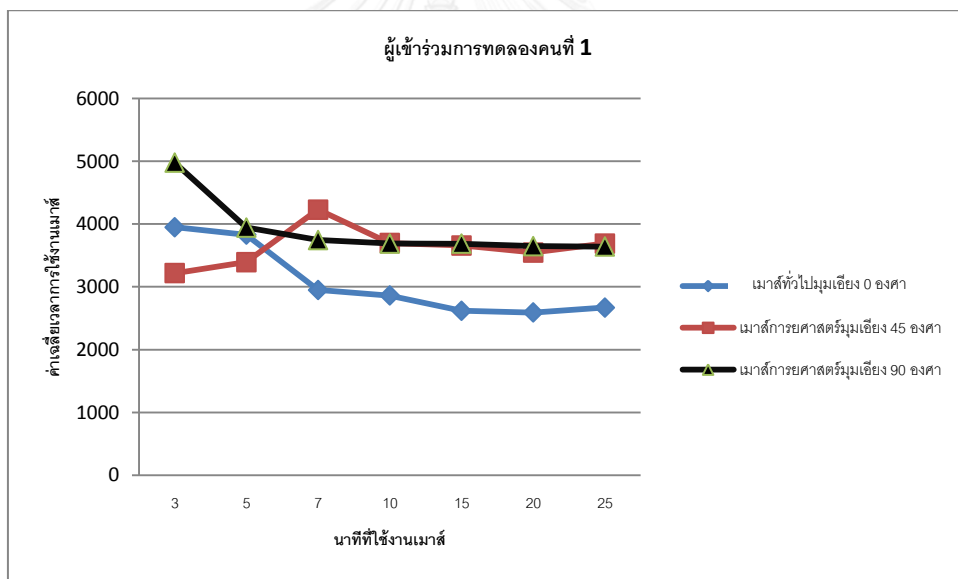
ตารางที่ ก.30 เวลาตอบสนทนของการลากเมาส์การยศาสตร์มนุษย์เพียง 90 องศา ของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 10

ครั้งที่	Clockwise												Counterclockwise														
	Drag without Click						Drag with Click						Drag without only						Drag with Click								
	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5	No. 4	No. 2	No. 1	No. 6	No. 3	No. 5			
ID	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42	16	21	25	29	36	42			
1	2464	2620	3022	3512	3879	4509	3731	2558	2481	3261	3775	3572	4212	3705	2756	2520	2503	4313	4258	5256	4083	2465	2683	2886	3775	3603	4587
2	2366	2382	2671	3399	3857	4736	3666	2355	2340	2777	3541	4041	3759	3530	2547	2368	2539	3549	4070	5061	3805	2262	2636	2792	3541	4056	4789
3	2266	2369	2527	3473	3882	4774	3664	1996	2200	2542	3542	3791	3790	3416	2706	2433	2684	3833	4287	5089	3973	2324	2808	2542	3871	4024	4525
4	2366	2469	2646	3155	3603	4769	3543	2247	2558	2574	3479	4088	4440	3440	2568	2352	2591	3787	3705	4853	3734	2168	2667	2777	4056	3885	4696
5	2405	2312	2738	3470	3968	4446	3656	2043	2356	2418	3557	3620	4243	3460	2723	2262	2575	3481	3687	4967	3678	2386	2589	2698	4103	3603	4758
6	2344	2204	2734	3317	3377	4291	3430	2013	2308	2652	3635	3557	3900	3436	2807	2432	2443	3590	3669	5242	3736	2434	2730	2465	4010	3651	4852
7	2495	2262	2874	3359	3606	4394	3558	1997	2168	2465	3369	3573	4321	3432	2705	2399	2577	3698	4049	4790	3779	2106	2605	2496	3792	3822	5102
8	2323	2247	2553	3450	3562	4205	3443	1983	2465	2465	3323	3510	3962	3315	3050	2463	2535	3553	3905	4951	3736	2481	2684	2574	3541	4744	5241
9	2425	2372	2882	3342	3654	4469	3587	2090	2605	2636	3151	3807	4399	3498	2845	2442	2633	3514	3968	4668	3696	2340	2574	2387	3915	3744	4680
10	2259	2536	2395	3877	3738	5037	3762	2152	2371	2761	3386	3652	4524	3581	2800	2187	2613	3538	3905	4702	3690	2371	2745	2762	4181	3682	4711

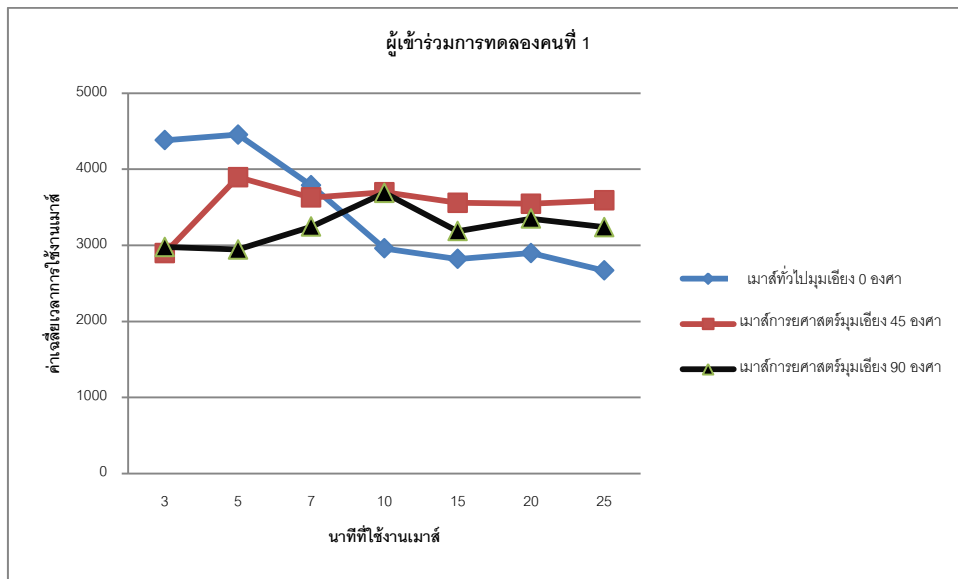




รูปที่ ข.1 ช่วงเวลาการใช้งานเมาส์ 3 ระดับ จนเข้าสู่สภาวะสมดุลของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1



รูปที่ ข.2 ช่วงเวลาการใช้งานเมาส์ 3 ระดับ จนเข้าสู่สภาวะสมดุลของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 2

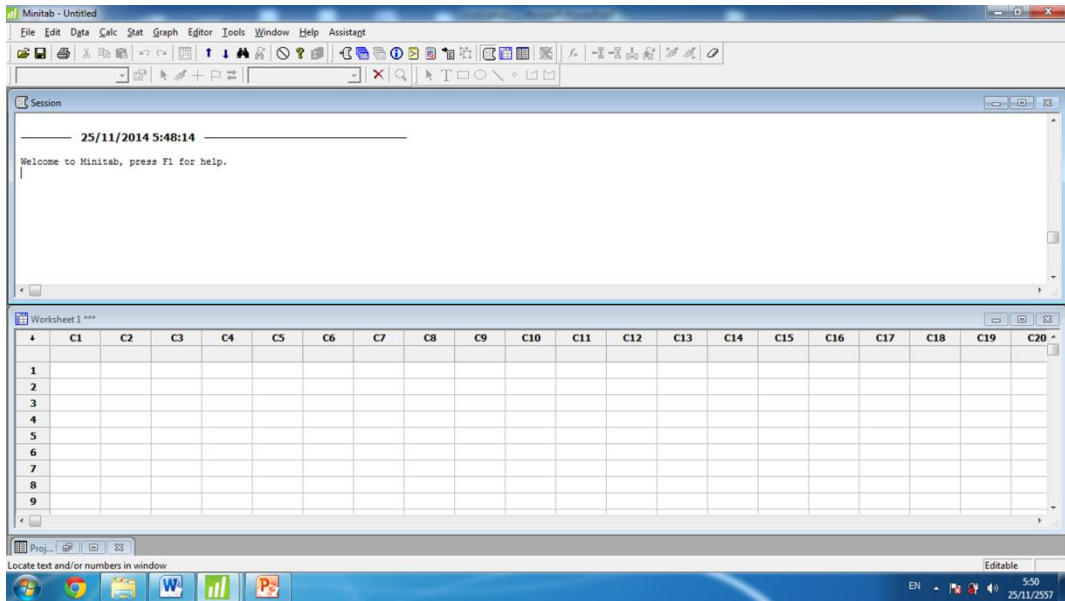


รูปที่ ข.3 ช่วงเวลาการใช้นาที่ 3 ระดับ จนเข้าสู่สภาวะสมดุลของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 3



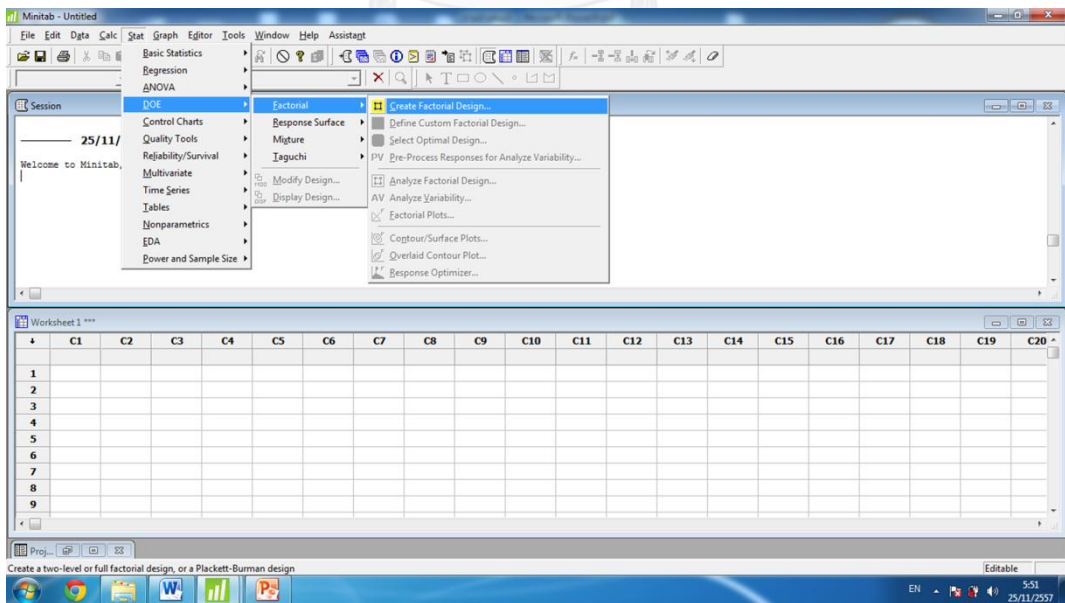
วิธีการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab 16

ขั้นตอนที่ 1 เลือกโปรแกรม Minitab 16 หน้าจอจะปรากฏหน้าต่างแสดงโปรแกรมการใช้งาน



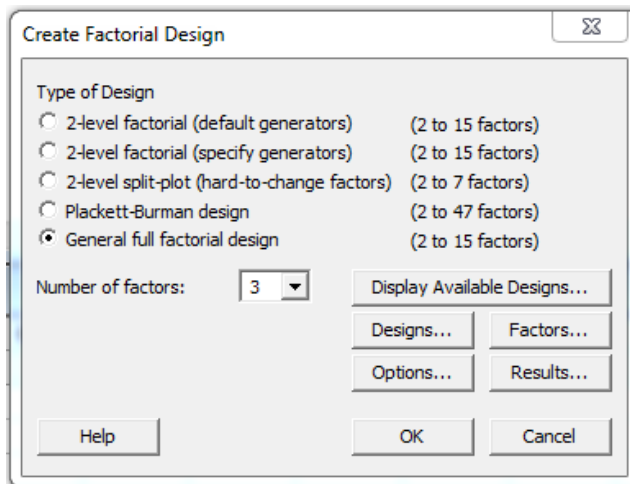
ขั้นตอนที่ 2 ทำการวิเคราะห์ที่ตั้งค่าการใช้งานโปรแกรมเบื้องต้น

Start > DOE > Factorial > Create Factorial Design...



ขั้นตอนที่ 3 ทำการตั้งค่าปัจจัยที่ต้องการวิเคราะห์

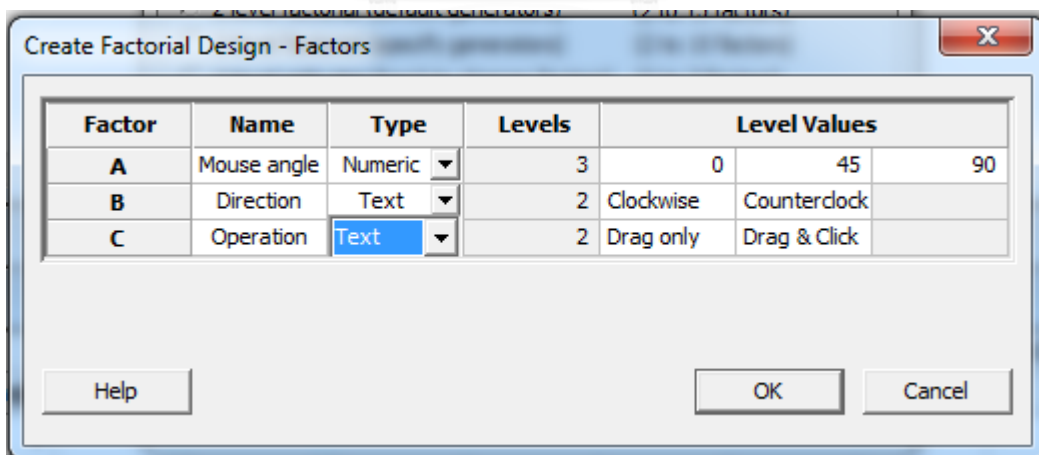
General full factorial design > เลือก Number of replicate



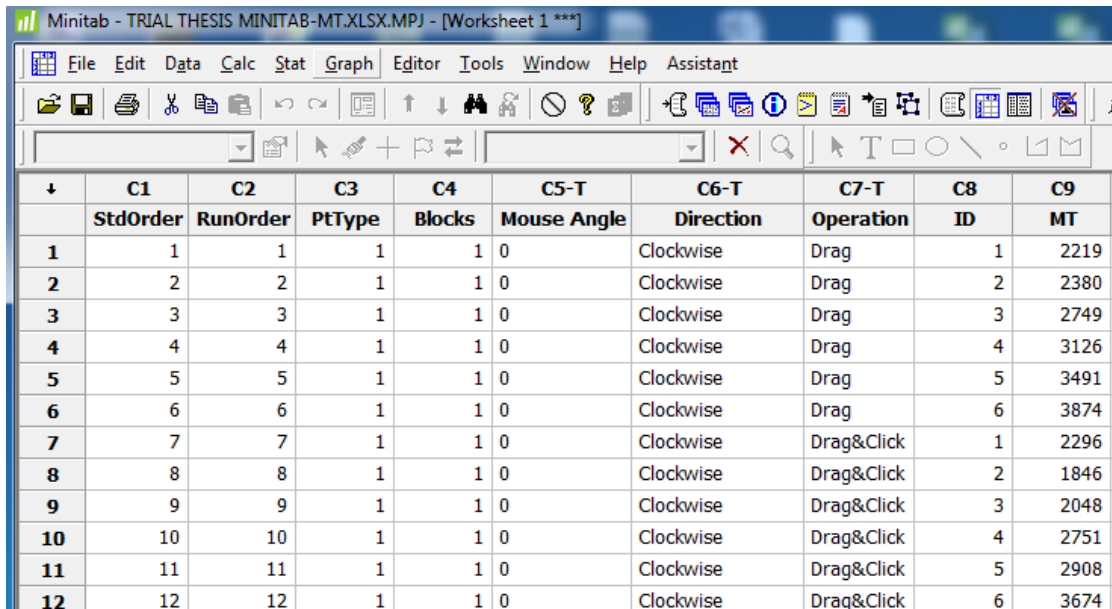
ขั้นตอนที่ 4 กำหนดจำนวนปัจจัยหลักที่ต้องการวิเคราะห์

Factors > Name เปลี่ยนชื่อปัจจัย > Type กรณีต้องการสร้างคำบรรยายเป็นตัวอักษรให้เลือก

Text หลังจากนั้นให้กด OK โปรแกรมจะสร้างตารางให้อัตโนมัติ



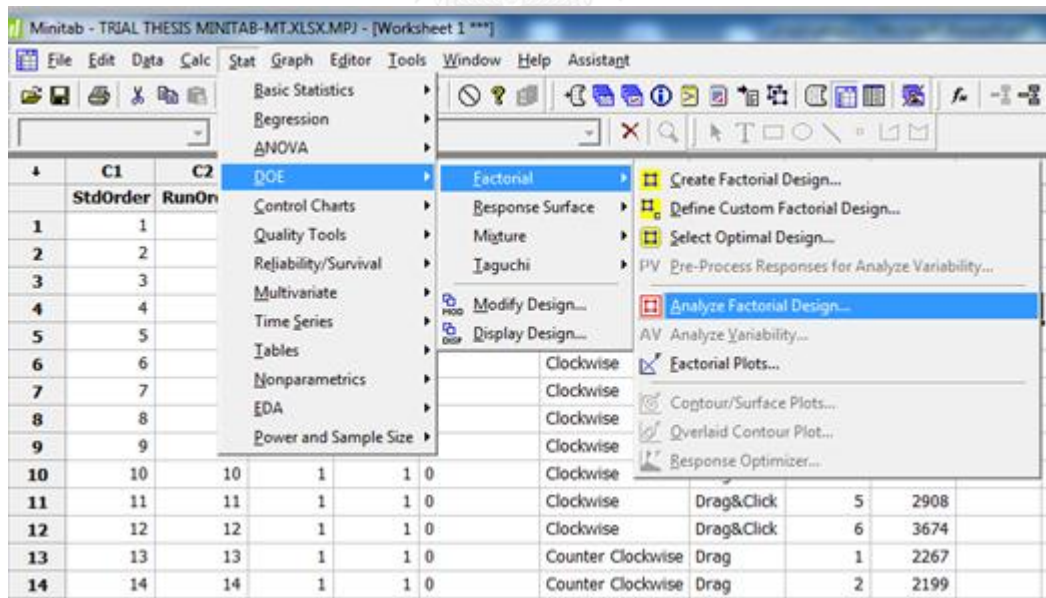
ขั้นตอนที่ 5 ทำการป้อนข้อมูลจากการทดลองลงในตาราง



	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Mouse Angle	Direction	Operation	ID	MT
1	1	1	1	1	0	Clockwise	Drag	1	2219
2	2	2	1	1	0	Clockwise	Drag	2	2380
3	3	3	1	1	0	Clockwise	Drag	3	2749
4	4	4	1	1	0	Clockwise	Drag	4	3126
5	5	5	1	1	0	Clockwise	Drag	5	3491
6	6	6	1	1	0	Clockwise	Drag	6	3874
7	7	7	1	1	0	Clockwise	Drag&Click	1	2296
8	8	8	1	1	0	Clockwise	Drag&Click	2	1846
9	9	9	1	1	0	Clockwise	Drag&Click	3	2048
10	10	10	1	1	0	Clockwise	Drag&Click	4	2751
11	11	11	1	1	0	Clockwise	Drag&Click	5	2908
12	12	12	1	1	0	Clockwise	Drag&Click	6	3674

ขั้นตอนที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูล

Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design...



	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T	C8	C9
	StdOrder	RunOn							
1	1								
2	2								
3	3								
4	4								
5	5								
6	6								
7	7								
8	8								
9	9								
10	10	10	1	1	0	Clockwise			
11	11	11	1	1	0	Clockwise	Drag&Click	5	2908
12	12	12	1	1	0	Clockwise	Drag&Click	6	3674
13	13	13	1	1	0	Counter Clockwise	Drag	1	2267
14	14	14	1	1	0	Counter Clockwise	Drag	2	2199

ขั้นตอนที่ 7 เลือกข้อมูลตอบสนอง (Responses) > Term > เลือกปัจจัยที่ต้องการวิเคราะห์ > OK

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ขั้นตอนถัดไป

General Linear Model: IP versus Blocks, Mouse Angle, ...							
Factor	Type	Levels	Values				
Blocks	fixed	10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10				
Mouse Angle	fixed	3	0, 45, 90				
Direction	fixed	2	Clockwise, Counter Clockwise				
Operation	fixed	2	Drag, Drag&Click				

Analysis of Variance for IP, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
Blocks	9	0.0012617	0.0012617	0.0001402	28.85	0.000	
Mouse Angle	2	0.0000210	0.0000210	0.0000105	2.16	0.120	
Direction	1	0.0000140	0.0000140	0.0000140	2.88	0.093	
Operation	1	0.0000271	0.0000271	0.0000271	5.57	0.020	
Mouse Angle*Direction	2	0.0000041	0.0000041	0.0000021	0.42	0.656	
Mouse Angle*Operation	2	0.0000010	0.0000010	0.0000005	0.11	0.898	
Direction*Operation	1	0.0000061	0.0000061	0.0000061	1.25	0.266	
Error	101	0.0004907	0.0004907	0.0000049			
Total	119	0.0018258					

S = 0.00220428 R-Sq = 73.12% R-Sq(adj) = 68.33%

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววราภรณ์ พิทักษ์ธรรมคุณ เกิดวันที่ 5 มีนาคม 2529 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนมหาวชิราวุธ จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2551 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2554 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง วิศวกรออกแบบ บริษัทฮอนด้า อาร์แอนด์ดี เอเชีย แปซิฟิก จำกัด

