การเปรียบเทียบสมรรถนะของการถือและการใช้งานแท็บเล็ต

นางสาวนภัทร ยงบุญธนภัทร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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.

WORK PERFORMANCE COMPARISON OF HOLDING AND USING TABLET

Miss Naphat Yongbunthanaphat

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบสมรรถนะของการถือและการใช้งานแท็บเล็ต
โดย	นางสาวนภัทร ยงบุญธนภัทร
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก สุทธิ์ ศรีบูรพา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นภัทร ยงบุญธนภัทร : การเปรียบเทียบสมรรถนะของการถือและการใช้งานแท็บเล็ต. (WORK PERFORMANCE COMPARISON OF HOLDING AND USING TABLET) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, หน้า.

บทบาทของแท็บเล็ตเข้ามามีอิทธิพลต่อมนุษย์ทั่วโลกอย่างมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยมีการประยุกต์ใช้งานแท็บเล็ตในชีวิตประจำวันสำหรับหลากหลายสาขาอาชีพ โดยเฉพาะงานทางด้านวิศวกรรมที่มีการนำแท็บเล็ตมาใช้เพื่อปรับปรุงงาน ดังนั้นลักษณะท่าทางการใช้งานแท็บเล็ตจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมรรถนะของงาน งานวิจัยนี้จึงประเมินค่าสมรรถนะเพื่อเปรียบเทียบจากท่าทางถือขณะใช้งานแท็บเล็ต 3 ท่าทาง คือ ท่าถือ Clipboard Grip (CG) ท่าถือ Flat Hand (FH) และท่าถือ Thumb Extended with Thenar Support (TE) จากงานการสั่งการบนหน้าจอระบบสัมผัส (Touch Screen) 2 รูปแบบ คือ การแตะสัมผัสเป็นเส้นตรง (Linear Tapping) และการวาดสัมผัสตามแนวรัศมีวงกลม (Radial Dragging) โดยใช้อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล 2 ชนิด คือ นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล ดำเนินงานต่อเนื่องกันและแบ่งช่วงระยะเวลาการใช้งานออกเป็น 3 ช่วงระยะเวลาเพื่อศึกษาผลกระทบที่อาจนำไปสู่ความรู้สึกล้าได้

การประเมินสมรรถนะจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ (Human Computer Interaction) อ้างอิงตาม ISO 9241-9 ที่ได้ดำเนินการทดสอบตามแนวคิดของ Fitts' Law ผลที่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเคลื่อนที่ (Movement Time) และดัชนีความยากของงาน (Index of Difficulty) ผลการทดสอบสถิติพบว่าปัจจัยเรื่องท่าทางการใช้แท็บเล็ตไม่มีผลต่อค่าสมรรถนะที่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากการดำเนินงานทั้งรูปแบบแตะสัมผัส และวาดสัมผัส แต่มีปัจจัยหลักเรื่องอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่มีอิทธิพลสำหรับงานทั้งสองรูปแบบ และปัจจัยหลักเรื่องช่วงเวลาที่มีผลต่อสมรรถนะในการทำงานรูปแบบแตะสัมผัสเท่านั้น นอกจากนั้นยังมีปัจจัยเรื่องท่าทางถือขณะใช้งานร่วมกับอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลทั้งสองประเภทที่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าสมรรถนะในการดำเนินงานรูปแบบนี้ โดยที่การดำเนินงานโดยใช้ท่า FH ร่วมกับการใช้นิ้วมือสัมผัสให้สมรรถนะสูงที่สุด สำหรับการใช้ปากกดิจิตอลเมื่อใช้ร่วมกับท่า TE ให้สมรรถนะสูงกว่าท่าอื่น เมื่อพิจารณาถึงตัวชี้วัดของระยะเวลาการตอบสนองต่องานที่มีดัชนีความยากมากที่สุด (ID3) พบว่ามีเพียงปัจจัยหลักเรื่องอุปกรณ์นำเข้าที่มีอิทธิพลสำหรับงานทั้งสองรูปแบบ สรุปว่าท่าทางการถือขณะใช้งานแท็บเล็ตไม่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะและระยะเวลาในการตอบสนองจากการทำงานทั้งรูปแบบแตะสัมผัสและวาดสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5570918521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: TABLET / TOUCH SCREEN / FATIGUE / FITTS' LAW / STEERING CONCEPT

NAPHAT YONGBUNTHANAPHAT: WORK PERFORMANCE COMPARISON OF HOLDING AND USING TABLET. ADVISOR: PHAIROAT LADAVICHITKUL, pp.

Nowadays, computer tablets play important role in the world of information and technology since it has been applied in various activities. For engineering field, computer tablet is also utilized for variety works. Thus, computer tablet usage conditions directly affect to the performance of related jobs. This study aimed to study the working performance of three different holding of using computer tablet. The using conditions were holding tablet with Clipboard Gripping posture (CG), holding by Flat Hand (FH) and holding as Thumb Extended with Thenar Support (TE). Consequently, each holding performance was measured by studying of linear tapping and radial dragging on the touch screen with difference type of input device (Finger and Digital Pen).

Refer to ISO 9241-9, the evaluation of Human Computer Interaction performance is performed by Fitts' Law concept. Research results from full factorial statistical analysis were shown that the work performance for different holding of using computer tablet were not difference at 0.05 significant levels for both tapping and dragging. The working performance was affected by 2 main factors which were input device for both types of task and holding period for only tapping. Moreover, the interaction between holding posture and input device also influenced tapping performance. Additionally, for tapping and dragging, the movement time of high index of difficulty (ID3) were difference significantly for main factor of input device. In summary, holding posture of using computer tablet did not affected to work performance and movement time significantly.

Department: Industrial Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประสบความสำเร็จไม่ได้เลยหากไม่ได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำจาก อาจารย์ ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคำชี้แนะจากคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ผู้ทรงคุณวุฒิอันประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ และ รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก สุทธิ์ ศรีบูรพา ทั้งนี้ ผู้วิจัยขอถือโอกาสขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมถึงสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำการวิจัย นอกจากนี้แล้ว ผู้วิจัยยังต้องขอขอบคุณอาสาสมัครผู้เข้าร่วมการวิจัยที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัยเองที่ได้สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยจนกระทั่งงานวิจัยชิ้นนี้ประสบความสำเร็จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... จ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ช

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฎ

สารบัญตาราง ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 8

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 8

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย 9

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 10

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย 10

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11

2.1 รายละเอียดแท็บเล็ต (Tablet) 11

2.1.1 ความหมายแท็บเล็ต 11

2.1.2 ประวัติความเป็นมาแท็บเล็ต 11

2.1.3 วิวัฒนาการแท็บเล็ต 12

2.1.4 ระบบปฏิบัติการแท็บเล็ต 15

2.1.5 การใช้งานหน้าจอสัมผัสของแท็บเล็ต 16

2.1.6 อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (Input Device) 18

2.2 ระบบโครงร่างและการเคลื่อนไหวร่างกายมนุษย์ 20

2.3 การจัดสภาพการทำงานตามหลักการยศาสตร์ 26

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.3.1 หลักทั่วไปเกี่ยวกับท่าทางสำหรับการนั่งทำงาน 26
2.3.2 หลักทั่วไปเกี่ยวกับท่าทางสำหรับการยืนทำงาน 26
2.3.3 การใช้งานแท็บเล็ตอย่างถูกสุขลักษณะ 26
2.3.4 มุมและระยะในการมอง 27
2.4 ความสามารถในการทำงานกับร่างกาย 29
2.4.1 ระบบกล้ามเนื้อและการทำงาน 29
2.4.2 ผลกระทบด้านสุขภาพ 32
2.5 การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ (Human Computer Interaction; HCI) ... 33
2.6 การประเมินสมรรถนะการทำงานอาศัยกฎของ Fitts และ Steering 35
2.6.1 แนวความคิด Fitts' Law 35
2.6.2 แนวความคิดของ Steering 38
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 40
3.1 ผู้เข้าร่วมทดลอง 40
3.2 การกำหนดท่าทางขณะใช้งานแท็บเล็ต 40
3.3 การกำหนดรูปแบบงาน 41
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 42
3.5 วิธีการดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล 44
3.6 การประเมินผลจากการทดลอง 46
3.6.1 การตรวจสอบงานรูปแบบแตะสัมผัส (Tap) 47
3.6.2 การตรวจสอบงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag) 47
3.7 เวลาที่ผู้ทดสอบอยู่ในกระบวนการเก็บข้อมูล 47
3.8 การออกแบบการทดลอง 50
3.9 ขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผล 52
3.9.1 ตัวแปรที่ศึกษา 52

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.9.2 การวิเคราะห์ผล 52
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง 54
4.1 การประเมินสมรรถนะของผู้ใช้งานแท็บเล็ต 56
4.1.1 งานรูปแบบแตะสัมผัส (Tap) 56
4.1.1.1 ผลการทดลอง 56
4.1.1.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง 56
4.1.1.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะ 58
4.1.2 งานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag) 61
4.1.2.1 ผลการดำเนินการทดลองสำหรับงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag) 61
4.1.2.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองสำหรับงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag) 62
4.1.2.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะสำหรับงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag) 64
4.2 การประเมินระยะเวลาการตอบสนองของผู้ใช้งานแท็บเล็ต 66
4.2.1 งานรูปแบบแตะสัมผัส (Tap) 66
4.2.1.1 ผลการดำเนินการทดลอง 66
4.2.1.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง 66
4.2.1.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อระยะเวลาการตอบสนอง 69
4.2.2 งานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag) 70
4.2.2.1 ผลการดำเนินการทดลอง 70
4.2.2.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง 71
4.2.2.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อระยะเวลาการตอบสนอง 73
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 77
5.1 สรุปผลการวิจัย 77
5.1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะจากการใช้งานแท็บเล็ต 77

5.1.2 การเปรียบเทียบระยะเวลาการตอบสนองงานที่มีดัชนีความยากมากที่สุด (ID_3) จากการใช้งานแท็บเล็ต 79

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยในอนาคต 79

รายการอ้างอิง 81

ภาคผนวก 85

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 109

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ 1. 1 การสั่งการหน้าจอระบบสัมผัส (Touch Screen) 6
ภาพที่ 1. 2 กรอบแนวคิดในการวิจัย 9
ภาพที่ 2. 1 กระดานชนวนและปากกา 12
ภาพที่ 2. 2 Alan Kay ผู้คิดค้น Tablet PC รุ่นแรกของโลก 12
ภาพที่ 2. 3 คีย์บอร์ด (Keyboard) 18
ภาพที่ 2. 4 ตัวอย่างเมาส์ แทร็กบอล จอยสติ๊ก ทัชแพด ทัชสกรีน 18
ภาพที่ 2. 5 ปากกาสัมผัสเพื่อสั่งการบนหน้าจอระบบสัมผัส 19
ภาพที่ 2. 6 การงอและการเหยียด 22
ภาพที่ 2. 7 การกางออกและการหุบเข้า 23
ภาพที่ 2. 8 การเคลื่อนไหวส่วนแขนและข้อศอก 24
ภาพที่ 2. 9 การเคลื่อนไหวส่วนข้อมือ 24
ภาพที่ 2. 10 การเคลื่อนไหวส่วนนิ้วมือ 24
ภาพที่ 2. 11 ท่าทางการถือแท็บเล็ตขณะใช้งาน 25
ภาพที่ 2. 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างการมองและความสูงของอักขระ 28
ภาพที่ 2. 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำและเวลาที่ใช้จนกระทั่งเกิดความล้า 31
ภาพที่ 2. 14 แบบจำลองของ Fitts 36
ภาพที่ 2. 15 งานในรูปแบบแตะสัมผัสและงานในรูปแบบการลากสัมผัส 39
ภาพที่ 3. 1 ท่าทางการถือแท็บเล็ตขณะใช้งาน 41
ภาพที่ 3. 2 งานในรูปแบบแตะสัมผัส (Tap) 42
ภาพที่ 3. 3 งานในรูปแบบการชี้ตำแหน่งแบบวาดสัมผัส (Drag) 42
ภาพที่ 3. 4 ThinkPad Tablet 2 43
ภาพที่ 3. 5 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Caliper) 43
ภาพที่ 3. 6 นาฬิกาจับเวลา 43
ภาพที่ 3. 7 การวัดตำแหน่งของมือและนิ้วมือ 44

ภาพที่ 3. 8 แผนผังขั้นตอนการทดลอง..... 49
ภาพที่ 4. 1 แผนภาพ Probability Plot ของค่าสมรรถนะงานรูปแบบ Tap..... 57
ภาพที่ 4. 2 แผนภาพ Residual Versus Order ของค่าสมรรถนะงานรูปแบบ Tap..... 57
ภาพที่ 4. 3 แผนภาพ Residual Versus Fits ของค่าสมรรถนะงานรูปแบบ Tap..... 58
ภาพที่ 4. 4 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมรรถนะของงานรูปแบบ Tap..... 59
ภาพที่ 4. 5 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะเปรียบเทียบระหว่างการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลงานรูปแบบ Tap
..... 59
ภาพที่ 4. 6 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะเปรียบเทียบระหว่างช่วงระยะเวลาการใช้งานรูปแบบ Tap..... 60
ภาพที่ 4. 7 ระยะเวลาตอบสนองเปรียบเทียบระหว่างช่วงระยะเวลาการใช้งานรูปแบบ Tap ที่ระดับ
ดัชนีความยากที่ 1 (ซ้าย) และ 3 (ขวา)..... 60
ภาพที่ 4. 8 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะเปรียบเทียบระหว่างปัจจัยร่วมเรื่องท่าทางและอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล
จากการใช้งานรูปแบบ Tap..... 61
ภาพที่ 4. 9 แผนภาพ Probability Plot ของค่าสมรรถนะงานรูปแบบ Drag..... 63
ภาพที่ 4. 10 แผนภาพ Residual Versus Order ของค่าสมรรถนะงานรูปแบบ Drag..... 63
ภาพที่ 4. 11 แผนภาพ Residual Versus Fits ของค่าสมรรถนะงานรูปแบบ Drag..... 64
ภาพที่ 4. 12 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมรรถนะของงานรูปแบบ Drag..... 65
ภาพที่ 4. 13 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะเปรียบเทียบระหว่างการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลงานแบบ Drag65
ภาพที่ 4. 14 แผนภาพ Probability Plot ของระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Tap 67
ภาพที่ 4. 15 แผนภาพ Residual Versus Order ของระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Tap
..... 68
ภาพที่ 4. 16 แผนภาพ Residual Versus Fits ของระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Tap 68
ภาพที่ 4. 17 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Tap..... 69
ภาพที่ 4. 18 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาการตอบสนองเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์นำเข้าสำหรับงานรูปแบบ
Tap..... 70
ภาพที่ 4. 19 แผนภาพ Probability Plot ของระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Drag 72
ภาพที่ 4. 20 แผนภาพ Residual Versus Order ของระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Drag
..... 72
ภาพที่ 4. 21 แผนภาพ Residual Versus Fits ของระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Drag73

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 4. 22 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Drag 74
ภาพที่ 4. 23 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาตอบสนองเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์นำเข้าสำหรับงานรูปแบบ Drag 74

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 1. 1 จำนวนการส่งมอบสินค้าและส่วนแบ่งการตลาดแบ่งตามประเภทอุปกรณ์ 2
ตารางที่ 1. 2 จำนวนการส่งมอบสินค้าและส่วนแบ่งการตลาดของผู้จำหน่ายแท็บเล็ตสูงสุด 5 อันดับ 3
ตารางที่ 1. 3 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ส่วนแบ่งการตลาดแท็บเล็ตทั่วโลกตามขนาดหน้าจอระหว่างปี 2011 และ 2013..... 4
ตารางที่ 2. 1 ตัวอย่างวิวัฒนาการแท็บเล็ต..... 13
ตารางที่ 2. 2 การใช้งานหน้าจอสัมผัสของแท็บเล็ต..... 17
ตารางที่ 3. 1 แสดงรูปแบบงานการทดสอบบนหน้าจอแสดงผลขณะใช้แท็บเล็ต 45
ตารางที่ 3. 2 เงื่อนไขดัชนีความยากของงาน (ID) ตามความกว้างของเป้าหมาย (Width) และระยะทางเป้าหมาย (Amplitude) สำหรับรูปแบบงานการแตะสัมผัสตามกฎของ Fitts..... 45
ตารางที่ 3. 3 เงื่อนไขดัชนีความยากของงาน (ID) ตามความกว้างของเป้าหมาย (Width) และระยะทางเป้าหมาย (Amplitude) สำหรับรูปแบบงานการวาดสัมผัสตามกฎของ Steering 46
ตารางที่ 3. 4 เกณฑ์การตรวจสอบงานรูปแบบ Drag..... 47
ตารางที่ 3. 5 ตารางการจัดการวันและเวลาสำหรับผู้ร่วมการทดลอง 48
ตารางที่ 3. 6 การออกแบบการทดลองสำหรับการชี้ตำแหน่งแบบแตะสัมผัส (Tap)..... 50
ตารางที่ 3. 7 การออกแบบการทดลองสำหรับการชี้ตำแหน่งแบบวาดสัมผัส (Drag) 51
ตารางที่ 3. 8 ปัจจัยและระดับของปัจจัยจากการทดลองสำหรับงานรูปแบบ Tap และ Drag..... 53
ตารางที่ 4. 1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ร่วมทดลอง..... 55
ตารางที่ 4. 2 ผลค่าสมรรถนะจากการทดลองสำหรับงานรูปแบบแตะสัมผัส (Tap)..... 56
ตารางที่ 4. 3 ผลค่าสมรรถนะจากการทดลองสำหรับงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag) 62
ตารางที่ 4. 4 ผลระยะเวลาตอบสนองจากงานรูปแบบแตะสัมผัส (Tap) 66
ตารางที่ 4. 5 ผลระยะเวลาตอบสนองจากงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag)..... 71
ตารางที่ 4. 8 สรุปผลความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ 75

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีวิวัฒนาการที่รวดเร็วและหลากหลาย รวมถึงแท็บเล็ต (Tablet) ที่เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ขนาดพกพาและถูกพัฒนาให้มีความสามารถใกล้เคียงคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (Desktop Personal Computer) โดยสั่งการผ่านระบบหน้าจอสัมผัส ซึ่งมีการใช้กันมานานแล้วเทียบกับแผ่นจารึกที่เอาไว้จดบันทึกข้อความต่างๆในอดีต โดยเกิดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่เรียกว่าไมโครคอมพิวเตอร์มาตั้งแต่ปี 1968 ต่อมามีพัฒนาการที่ถือว่าเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของมนุษย์เริ่มขึ้นประมาณปี 1975 โดย IBM ที่นำเสนอ IBM5100 คือ พัฒนาคอมพิวเตอร์ให้สามารถยกไปไหนมาไหนได้สะดวก เกิดเป็นคอมพิวเตอร์เคลื่อนที่ (Portable Computer) ที่สามารถทำงานโดยวางบนตักได้ จึงเรียกว่า Laptop Computer ต่อมาในปี 2001 ไมโครซอฟท์ได้พัฒนา Microsoft Tablet PC บนแนวคิดที่จะทำคอมพิวเตอร์ให้เบาลงแต่ไม่ประสบความสำเร็จ และในที่สุดปี 2010 ได้มีผู้ผลิตคอมพิวเตอร์หลายบริษัทปรับปรุงคอมพิวเตอร์ให้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง และทำงานเหมือนกับกระดานชนวนสำหรับบันทึกข้อความ ชื่อเป็นภาษาอังกฤษว่า Tablet Personal Computer หรือ Tablet Computer โดยมีคุณลักษณะแตกต่างกันตามผู้ผลิต โดยที่ผู้ผลิตที่ประสบความสำเร็จสูงสุดคือบริษัท Apple ที่ได้นำ iPad ออกจำหน่ายเมื่อปลายปี 2010 (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน [สพฐ.], 2555: 12) เนื่องด้วยสังคมที่เร่งรีบ และผู้คนมีวิถีชีวิตที่เปลี่ยนไป ดังนั้นอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆจึงถูกพัฒนาให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานให้มากที่สุด รวมถึงแท็บเล็ตที่สังเกตได้ว่านอกจากการพัฒนาในเรื่องระบบการใช้งานแล้ว ยังถูกออกแบบโดยคำนึงถึงรูปลักษณ์ภายนอกให้มีขนาดเล็กลงและน้ำหนักเบาขึ้นเพื่อสะดวกต่อการพกพามากยิ่งขึ้น

ปัจจุบันแท็บเล็ตเข้ามามีบทบาทและได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั่วโลก เห็นได้จากข้อมูลทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบอุปกรณ์ประเภทคอมพิวเตอร์ระหว่างแท็บเล็ต (Tablet) คอมพิวเตอร์เคลื่อนที่ (Portable PC) และคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (Desktop PC) จำนวนการส่งมอบสินค้าในช่วงปี 2011 – 2012 ที่ผ่านมา พบว่าคอมพิวเตอร์แบบเคลื่อนที่ได้ (Portable PC) ยังคงมีปริมาณสูงที่สุด แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลการพยากรณ์ในอนาคตของปี 2017 แท็บเล็ตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงกว่าอีกสองประเภทอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับการครองส่วนแบ่งการตลาด ดังตารางที่ 1.1 ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งในการให้ความสำคัญกับแท็บเล็ตที่จะเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มาก

ขึ้น โดยที่แต่ละคนมีวัตถุประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น เพื่อการศึกษา สืบค้นข้อมูลท่องเว็บและโซเชียลมีเดีย พูดคุยในเครือข่ายสังคมออนไลน์ เป็นต้น และเพื่อตอบโจทย์ตามวัตถุประสงค์ของคนส่วนใหญ่ที่เน้นย้ำถึงเรื่องการพกพาที่สะดวกของแท็บเล็ต ทำให้การเลือกใช้แท็บเล็ตมีแนวโน้มที่มากกว่าคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 1. 1 จำนวนการส่งมอบสินค้าและส่วนแบ่งการตลาดแบ่งตามประเภทอุปกรณ์ (International Data Corporation, 2013: ออนไลน์)

ประเภท	จำนวนการส่งมอบสินค้า (ล้านหน่วย)			ส่วนแบ่งการตลาด (%)		
	2011	2012	2017 (พยากรณ์)	2011	2012	2017 (พยากรณ์)
Smartphone	494.5	722.4	1,516.0	53.1	60.1	67.0
Tablet	72.0	128.3	352.3	7.7	10.7	16.0
Portable PC	209.1	202.0	240.9	22.5	16.8	11.0
Desktop PC	154.8	148.4	141.0	16.6	12.4	6.0

เมื่อพูดถึงแท็บเล็ต คนส่วนใหญ่มักจะนึกถึงไอแพด (iPad) ของผู้ผลิต Apple เนื่องมาจากเป็นบริษัทแรกที่ประสบความสำเร็จสูงสุดขณะเริ่มออกจำหน่ายเมื่อปลายปี 2010 แต่อย่างไรก็ตาม บริษัทวิจัยการตลาด IDC เผยผลการสำรวจยอดจัดส่งแท็บเล็ตทั่วโลกประจำไตรมาสที่ 1 ของปีนี้ (2013) โดยเมื่อดูข้อมูลแยกตามผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่ายแล้ว Apple ยังคงเป็นอันดับหนึ่ง และมีส่วนแบ่งการตลาดอยู่ที่ 39.6% รองลงมาเป็น Samsung และ ASUS อยู่ที่ 17.9% และ 5.5% ตามลำดับ ดังตารางที่ 1.2

บทบาทแท็บเล็ตเข้ามามีอิทธิพลต่อมนุษย์ทั่วโลกอย่างมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ไม่เว้นแม้แต่ประเทศไทยเองที่ปัจจุบันมีนโยบายภาครัฐที่แถลงไว้ต่อรัฐสภาเมื่อวันที่ 26 สิงหาคม 2554 ด้านการพัฒนาการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการศึกษาให้ทัดเทียมกับนานาชาติ โดยส่งเสริมให้นักเรียนทุกระดับชั้นใช้อุปกรณ์แท็บเล็ตเพื่อการศึกษา เริ่มจากโครงการ One Tablet PC Per Child มุ่งเน้นที่นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 เป็นกลุ่มเป้าหมายนำร่อง นำไปสู่วิถีชีวิตที่เปลี่ยนไปของวัยเด็กในปัจจุบันกับในยุคสมัยก่อน จากการใช้มือเขียนดินสอปากกาเปลี่ยนเป็นใช้มือสัมผัสกับหน้าจออิเล็กทรอนิกส์เพื่อจดบันทึกข้อมูลต่างๆ รวมถึงทุกเพศทุกวัยทุกสาขาอาชีพไม่จำกัด มีการนำอุปกรณ์แท็บเล็ตมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันมากยิ่งขึ้น แม้กระทั่งการคาดการณ์ถึงแนวโน้มของขอบข่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานหรืออาชีพที่สามารถนำแท็บเล็ตไปประยุกต์ใช้ได้ในอนาคต เช่น แพทย์สามารถใช้แท็บเล็ตแทนสมุดจดขณะตรวจคนไข้และสั่งยาผ่านระบบออนไลน์เพื่อความสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น วิศวกรในโรงงานใช้แท็บเล็ตในการตรวจสอบจำนวนผลิตภัณฑ์ต่างๆ ตรวจสอบขั้นตอนการทำงาน เป็นต้น ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงการใช้งานแท็บเล็ตที่มีจำนวนผู้ใช้งานมากขึ้นและระยะเวลาการใช้งานต่อวันมากขึ้น แท็บเล็ตจึงเป็นอุปกรณ์อำนวยความสะดวกที่ควรถูกออกแบบมาให้เกิดประโยชน์มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามมนุษย์แต่ละคนมีความสามารถที่จำกัดแตกต่างกันออกไป ดังนั้นอุปกรณ์ต่างๆจึงไม่สามารถถูกออกแบบมาให้รองรับความต้องการของทุกคนได้ เช่นเดียวกับแท็บเล็ตที่ยังไม่พบว่าการออกแบบที่มีอยู่ในปัจจุบันหรือแผนในอนาคตที่แสดงถึงการให้ความสำคัญกับร่างกายมนุษย์เมื่อต้องใช้อุปกรณ์เหล่านี้ในระยะยาว

ตารางที่ 1. 2 จำนวนการส่งมอบสินค้าและส่วนแบ่งการตลาดของผู้จำหน่ายแท็บเล็ตสูงสุด 5 อันดับ (International Data Corporation, 2012: ออนไลน์)

ลำดับ	ผู้จำหน่าย	ไตรมาสที่ 1 ปี 2012		ไตรมาสที่ 1 ปี 2013		อัตราการเปลี่ยนแปลงปีต่อปี
		จำนวนการส่งมอบสินค้า (ล้านหน่วย)	ส่วนแบ่งการตลาด	จำนวนการส่งมอบสินค้า (ล้านหน่วย)	ส่วนแบ่งการตลาด	
1.	Apple	11.8	58.1%	19.5	39.6%	65.3%
2.	Samsung	2.3	11.3%	8.8	17.9%	282.6%
3.	ASUS	0.6	3.1%	2.7	5.5%	350.0%
4.	Amazon.com Inc.	0.7	3.6%	1.8	3.7%	157.1%
5.	Microsoft	0.0	-	0.9	1.8%	-
6.	อื่นๆ	4.9	24.1%	15.5	31.5%	216.3%
รวม		20.3	100.0%	100.0%	100.0%	142.4%

อย่างไรก็ตามการเลือกใช้แท็บเล็ตยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ราคา ขนาด รูปร่าง คุณสมบัติ กระแสนิยม เป็นต้น โดยที่คนส่วนใหญ่ละเลยความสำคัญของการใช้งานร่วมกันระหว่างมนุษย์กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นหากอุปกรณ์ถูกออกแบบมาไม่เหมาะกับคนส่วนใหญ่ หรือมนุษย์เลือกใช้อุปกรณ์โดยไม่คำนึงถึงความสมดุลกันระหว่างสรีระร่างกายและอุปกรณ์ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้งานในระยะยาวได้ เช่น สายตาพร่ามัวเมื่อต้องเพ่งเล็งหน้าจอเป็นระยะเวลานาน หรือเกิดอาการเมื่อยล้าเมื่อใช้มือเพื่อถือขณะใช้งานเป็นระยะเวลานาน เป็นต้น เนื่องจาก

ผลกระทบเหล่านี้ยังส่งผลต่อสมรรถนะของผู้ใช้งาน ถึงแม้ว่าวัตถุประสงค์ของงานที่ทำมีความแตกต่างกันออกไป คือ งานเชิงปริมาณ (งานที่เน้นจำนวนผลงานที่สัมพันธ์กับระยะเวลา) และงานเชิงคุณภาพ (งานที่เน้นความถูกต้องแม่นยำ) ดังนั้นการศึกษาเรื่องการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ (Human Computer Interaction) พบว่ามนุษย์และคอมพิวเตอร์มีการทำงานและส่งต่อข้อมูลร่วมกันโดยผ่านช่องทางรับส่ง คือช่องทางของมนุษย์ (Human Channel) หมายถึง การรับส่งข้อมูลผ่านทางประสาทสัมผัส และช่องทางคอมพิวเตอร์ (Computer Channel) คือ การรับส่งข้อมูลที่เกิดขึ้นผ่านทางอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องคอมพิวเตอร์ (การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, 2554) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการทำงานร่วมกันระหว่างผู้ใช้งานและแท็บเล็ตได้เช่นเดียวกัน ขณะใช้งานแท็บเล็ตร่างกายมีปฏิสัมพันธ์หลายอย่างซึ่งกันและกัน เช่น การมองเห็นเป้าหมายบนหน้าจอ การได้ยินเสียง การสัมผัสนิ้วมือบนหน้าจอ การใช้มือและแขนยึดจับขณะใช้งาน เป็นต้น โดยที่ปฏิกิริยาตอบสนองเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงความสามารถของมนุษย์ในการทำงานร่วมกับแท็บเล็ตว่ามีประสิทธิภาพหรือไม่ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรศึกษาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในสังคมปัจจุบันหรือเป็นแนวทางในอนาคตสำหรับผู้ออกแบบอุปกรณ์ต่างๆที่มีแนวโน้มผู้ใช้งานสูงขึ้น

ตารางที่ 1. 3 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ส่วนแบ่งการตลาดแท็บเล็ตทั่วโลกตามขนาดหน้าจอระหว่างปี 2011 และ 2013 (International Data Corporation, 2013: ออนไลน์)

ขนาดหน้าจอ (นิ้ว)	2011	2013
< 8	27%	55%
8 – 11	73%	43%
> 11	0%	2%
รวม	100%	100%

แท็บเล็ตถูกออกแบบมาเพื่อให้สะดวกต่อการพกพา ดังนั้นลักษณะภายนอกของแท็บเล็ตจึงมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก รูปร่างแบนและบาง น้ำหนักเบากว่าคอมพิวเตอร์เคลื่อนที่ (Portable PC) ดังตารางที่ 1.3 แสดงการเปรียบเทียบขนาดหน้าจอแท็บเล็ตแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ขนาดเล็ก (< 8 นิ้ว) ขนาดกลาง (8 – 11 นิ้ว) และขนาดใหญ่ (> 11 นิ้ว) เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ส่วนแบ่งการตลาดระหว่างปี 2011 และ 2013 พบว่าแท็บเล็ตขนาดเล็กมีเปอร์เซ็นเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาเป็นแท็บเล็ตขนาดใหญ่ ในทางตรงกันข้ามแท็บเล็ตขนาดกลางกลับมีเปอร์เซ็นต์ลดลง เนื่องด้วยแท็บเล็ตที่มีขนาดเล็กนี้เป็นที่ต้องการจากผู้ใช้งานมีแนวโน้มสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงการใช้งานพบว่าผู้ใช้งานสามารถถือด้วยมือเพียงข้างเดียวขณะใช้งานได้ รวมถึงปัจจุบันผู้ใช้เลือกที่จะพกพาแท็บเล็ต

ติดตัวไปด้วยในชีวิตประจำวันขณะอยู่นอกสถานที่และสามารถนำออกมาใช้งานในขณะมีเวลาว่าง เช่น ขณะเดินทาง ขณะยืน ขณะเดิน ขณะนั่ง เป็นต้น ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นอีกอย่างหนึ่งก็ว่าได้สำหรับสังคมปัจจุบัน หรือมีการใช้แท็บเล็ตเป็นอุปกรณ์ในการทำงานเพื่อติดต่อสื่อสารเมื่ออยู่นอกสถานที่ รวมถึงในอนาคตหากองค์กรต่างๆให้ความสำคัญและเล็งเห็นประโยชน์จากการใช้งานแท็บเล็ตมากขึ้น จึงนำไปสู่การเพิ่มโอกาสในการลงทุนให้พนักงานที่ต้องทำงานนอกสถานที่ได้ใช้แท็บเล็ตในการทำงานและติดต่อสื่อสารแทนการกลับมานั่งทำงานที่โต๊ะในออฟฟิศได้ นอกจากนี้ยังมีอีกหลากหลายสาขาอาชีพที่สามารถนำแท็บเล็ตไปใช้ได้ในการทำงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วเบื้องต้น ความสามารถของมนุษย์เมื่อใช้งานร่วมกับแท็บเล็ตนั้นสะท้อนได้จากงานที่อาศัยการเคลื่อนไหวร่างกาย คือ หากต้องถือแท็บเล็ตขณะใช้งานในเวลาเดียวกันนั้น มนุษย์มีสมรรถนะในการทำงานเป็นอย่างไร หรือในระยะเวลานานเพียงใด เพื่อให้งานที่ได้ออกมามีประสิทธิภาพตามที่ต้องการและสอดคล้องกับการทำงานร่วมกับร่างกายมนุษย์

เมื่อพิจารณาจากท่าทางการถือ พบว่ามีงานวิจัยของ David and Han (2013) ศึกษาเกี่ยวกับท่าทางการถือแท็บเล็ตแบ่งออกเป็น 3 ท่า คือ Flat Hand (ฝ่ามือราบกับกึ่งกลางด้านหลังแท็บเล็ต), Thumb Wrap (นิ้วมือทั้งสี่และฝ่ามือราบกับด้านหลังแท็บเล็ตเช่นเดียวกับ Flat Hand ในขณะเดียวกันนิ้วหัวแม่มือยึดเข้าหาแท็บเล็ตด้านหน้า) และ Thumb Extended with Thenar Support (นิ้วมือทั้งสี่ยึดจับด้านหลังโดยมีเนินโคนนิ้วหัวแม่มือช่วยพยุงด้านหน้า) แต่เนื่องด้วยพิจารณาจากผลงานวิจัยที่ได้ประเมินการเคลื่อนไหวของแต่ละท่าขณะใช้งานไปด้วยแล้วพบว่าท่า Flat Hand และ Thumb Extended with Thenar Support มีผลที่ดีสำหรับตำแหน่งข้อมือ ส่วนท่า Thumb Wrap เป็นการจับประเภท Pinch Grip เช่นเดียวกับท่า Thumb Extended with Thenar Support คือ การจับโดยใช้แรงระหว่างนิ้วมือและนิ้วหัวแม่มือ ซึ่งจากมาตรฐานของ ISO 11228 ว่าด้วยเรื่องการควบคุมอุปกรณ์ด้วยมือตามหลักการยศาสตร์ แนะนำให้หลีกเลี่ยงหรือใช้ท่า Pinch Grip ให้น้อยกว่าท่า Power Grip คือ การจับโดยใช้แรงระหว่างนิ้วมือและฝ่ามือ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาจากงานวิจัยของ David J. เพียงสองท่า คือ Flat Hand และ Thumb Extended with Thenar Support โดยตัดท่า Thumb Wrap ออกเนื่องจากเป็นท่าประเภทเดียวกับ Thumb Extended with Thenar Support ซึ่งจากการสังเกตพบเห็นผู้ใช้ถือแท็บเล็ตด้วยท่านี้เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้คู่มือปัจจัยมนุษย์เกี่ยวกับการใช้มือถือหรือคอมพิวเตอร์พกพา (Carolina, Vicki and Bonnie, 2005) แนะนำท่าทางการถือแท็บเล็ตด้วยท่า Clipboard Grip (แท็บเล็ตวางที่บริเวณแขนท่อนล่างถึงฝ่ามือโดยนิ้วมือทั้งสี่ยึดเข้าจับแท็บเล็ตด้านบน) และจึงเป็นท่าทางหนึ่งที่น่าสนใจเพราะนอกจากจะใช้ข้อมือในการยึดจับแล้วแขนท่อนล่างยังช่วยผ่อนแรงจากมือและข้อมือในการประคองแท็บเล็ตได้ จากข้อมูลเบื้องต้นที่ได้กล่าวถึงที่มาของแต่ละท่านั้นซึ่งยังไม่พบงานวิจัยอื่นที่ประเมินสมรรถนะการใช้งานแท็บเล็บเมื่อมีท่าทางการถือที่แตกต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองเพื่อ

ประเมินสมรรถนะของผู้ใช้งานแท็บเล็ตจากท่าทางการถือทั้งหมด 3 ท่าทาง นอกจากนี้ Justin et al. (2012) ยังศึกษาท่าทางของร่างกายในส่วนของศีรษะและคอที่เปลี่ยนมุมการก้มหรือเงยแตกต่างกันออกไปเมื่อวางแท็บเล็ตบนตัก ถือด้วยมือ และวางบนโต๊ะขณะใช้งานต่างๆบนหน้าจอสัมผัสของแท็บเล็ต ดังนั้นท่าทางการถือแท็บเล็ตขณะใช้งานถือว่าเป็นปฏิสัมพันธ์หลักระหว่างผู้ใช้งานกับแท็บเล็ตที่ส่งผลต่อสมรรถนะการใช้งานของผู้ใช้ได้ หากถืออุปกรณ์ต่างๆในท่าทางที่ไม่ถนัดและไม่ถูกต้องอาจส่งผลต่อสมรรถนะในการใช้งานลดลง แต่อย่างไรก็ตามท่าทางการถือแท็บเล็ตยังคงเห็นหลากหลายท่าทางโดยที่ผู้ใช้ไม่ได้คำนึงถึงมากนัก อาจเป็นเพราะปัจจัยต่างๆ เช่น ระยะเวลาการถือขณะใช้งานเป็นเพียงช่วงเวลาสั้นๆ หรือผลที่ได้จากการใช้งานไม่ได้ถูกกำหนดให้ต้องมีประสิทธิผลหรือประสิทธิภาพมากนัก เป็นต้น ในทางกลับกันเมื่อกล่าวถึงงานที่ถูกกำหนดมาให้ถือขณะใช้อุปกรณ์แท็บเล็ตเป็นเวลานานๆโดยอาจจะยืนหรือนั่งเพื่อปฏิบัติงาน และสามารถยอมรับงานที่มีความผิดพลาดได้เพียงเล็กน้อย ดังนั้นการศึกษาท่าทางการถือของผู้ใช้ขณะใช้งานแท็บเล็ตเป็นปัจจัยหนึ่งที่อาจส่งผลต่อสมรรถนะผู้ใช้งานได้ เพื่อช่วยปรับปรุงการทำงานให้ดีขึ้น

ภาพที่ 1. 1 การสั่งการหน้าจอระบบสัมผัส (Touch Screen), แตะ (Tap) ซ้าย, วาด (Drag) ขวา

เนื่องด้วยแท็บเล็ตเป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ระบบสัมผัส ผู้ใช้งานส่วนใหญ่จึงใช้งานหรือสั่งการโดยใช้นิ้วมือสัมผัสในบริเวณเป้าหมาย ซึ่งรูปแบบการสัมผัสมีท่าทางหลักๆ คือ การใช้นิ้วแตะ (Tap) บริเวณเป้าหมายเพื่อสั่งการระบบในสิ่งที่ต้อง และการใช้นิ้ววาดสัมผัส (Drag) จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งเพื่อเลื่อนดูสิ่งที่อยู่บนหน้าจอ ดังภาพที่ 1.1 นอกจากนี้ยังมีรูปแบบการสั่งการแท็บเล็ตอีกมากมาย เช่น การรวบหรือกางนิ้วชี้และนิ้วหัวแม่มือเพื่อลดหรือเพิ่มขนาดภาพบนหน้าจอ การตวัดนิ้วขึ้นลงหรือซ้ายขวาเพื่อเปลี่ยนหน้า และรูปแบบที่ล้ำหน้าขึ้นอีกขั้นคือการสั่งการโดยสัมผัสมากกว่าหนึ่งนิ้ว (Multi-Touch) ทำให้เกิดรูปแบบการสั่งงานที่คล่องตัวมากขึ้นและก็มีการควบคุมที่สะดวกกว่า เป็นต้น เมื่อสังเกตถึงการใช้งานโดยทั่วไปส่วนใหญ่เน้นถึงการสัมผัสโดยการใช้นิ้วแตะเพื่อสั่งการระบบให้ดำเนินการตาม เช่น การแตะเลือกแอพพลิเคชั่นต่างๆ การแตะแป้นพิมพ์สัมผัสบริเวณหน้าจอเพื่อทำการพิมพ์ข้อความ เป็นต้น และการใช้นิ้ววาดสัมผัสเพื่อเลื่อนหน้าจอให้สลับไปซ้ายหรือขวาตามความต้องการ หรืองานเฉพาะเจาะจงประเภทงานประณีต เช่น การออกแบบ การวาดรูป การเล่นเกมบางประเภท เป็นต้น ดังนั้นการใช้งานแท็บเล็ตโดยการใช้นิ้วแตะและวาดระบบสัมผัสจึงถือว่าเป็นกลไกหลักที่ผู้ใช้มีปฏิสัมพันธ์โดยตรงกับอุปกรณ์เพื่อขับเคลื่อนการใช้งานต่างๆให้เป็นไปตาม

ความต้องการ โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้จากการสัมผัสหน้าจอเพื่อสั่งการระบบจึงเป็นตัวชี้วัดถึงสมรรถนะการใช้งานของผู้ใช้แท็บเล็ตได้ เช่น ระยะเวลาการเคลื่อนที่ (Movement Time) อัตราความผิดพลาด (Error Rate) เป็นต้น เห็นได้จากงานวิจัยที่ผ่านมามีผู้ศึกษาและให้ความสนใจอย่างมากเกี่ยวกับการประเมินสมรรถนะของผู้ใช้อุปกรณ์หน้าจอระบบสัมผัส (Touch Screen) ระหว่างประเภทการสัมผัสหน้าจอที่แตกต่างกัน (การแตะสัมผัส การวาดสัมผัส เป็นต้น) หรือ อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมตำแหน่งบนหน้าจอ (นิ้วมือ เมาส์ ปากกาดิจิตอล เป็นต้น) พบว่าการแตะสัมผัสเพื่อสั่งการระบบคอมพิวเตอร์นั้นนิ้วมือตอบสนองการทำงานได้เร็วกว่าแต่ยังขาดความแม่นยำในบริเวณเป้าหมายที่มีขนาดเล็ก และการสั่งการอีกรูปแบบหนึ่งคือการวาดสัมผัสนั้นนิ้วมือมีการตอบสนองช้ากว่า เนื่องจากการวาดก่อให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวหน้าจอ ทำให้ส่งผลต่อสมรรถนะของการดำเนินการ (Cockburn, Ahlstrom and Gutwin, 2012)

อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (Input Device) หมายถึง เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่สามารถอ่านข้อมูลและส่งข้อมูลเข้าไปเก็บในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้เพื่อให้ทำการประมวลผลต่อไป ซึ่งอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นหลายประเภท เช่น 1. ประเภทปุ่มกด (Keyed Device) เช่น คีย์บอร์ด (Keyboard) 2. ประเภทชี้ตำแหน่งและควบคุมทิศทาง (Pointing Devices) เช่น เมาส์ (Mouse) แทร็กบอล (Trackball) จอสัมผัส (Touch Screen) 3. ประเภทปากกา (Pen-Based Device) เช่น ปากกาดิจิตอล (Digital Pen) เป็นต้น อุปกรณ์นำเข้าข้อมูลสำหรับแท็บเล็ตจึงไม่ได้มีเพียงแค่นิ้วมือเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์เสริมอีกมากมายที่ผู้ผลิตได้คิดค้นออกมาเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ให้มากที่สุด ซึ่งอุปกรณ์ที่เป็นที่นิยมสำหรับแท็บเล็ต คือ ปากกาดิจิตอล (Digital Pen) ที่มีรูปร่างคล้ายปากกา ใช้สำหรับสัมผัสหน้าจอ ป้องกันรอยขีดข่วนที่อาจเกิดขึ้นจากเล็บมือ ช่วยให้การพิมพ์ตัวอักษรแม่นยำกว่าการใช้นิ้วสำหรับผู้ใช้ที่มีนิ้วมือขนาดใหญ่ ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงประเภทของการทำงานที่แตกต่างกันของผู้ใช้งาน หากงานบางประเภทการใช้เพียงนิ้วมือไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ ผู้ใช้จึงต้องทำการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมของอุปกรณ์เสริมประเภทต่างๆก่อนทำการตัดสินใจเลือกซื้อ

จากความสำคัญของแท็บเล็ตที่เข้ามามีอิทธิพลต่อมนุษย์ในปัจจุบันและมีแนวโน้มสูงขึ้นในอนาคต ถึงแม้ผู้ใช้งานจะมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันออกไปก็ตาม หากต้องใช้เป็นเครื่องมือในการทำงานแล้ว จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องผลลัพธ์ด้านสมรรถนะการทำงาน และความปลอดภัยในการทำงาน เพื่อนำไปประกอบการออกแบบการทำงานให้สอดคล้องต่อความสามารถในการทำงานที่มีอยู่อย่างจำกัดของมนุษย์ และมากไปกว่านั้นยังพบว่างานวิจัยที่เผยแผ่ในปัจจุบันยังมีไม่มากนักที่จะให้ความรู้ครอบคลุมแก่ผู้สนใจในทุกด้านเกี่ยวกับแท็บเล็ต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจเพื่อหาคำตอบสำหรับท่าทางการถือแท็บเล็ตที่มีผลต่อสมรรถนะของผู้ใช้งานหรือไม่ และเมื่อถือเป็นระยะเวลานานต่อเนื่องกันท่าทางการถือแต่ละท่ายังคงส่งผลต่อสมรรถนะของผู้ใช้งานเป็นเช่นไร ถ้าการใช้

งานแท็บเล็ตไม่ได้จำกัดในสถานการณ์ที่ต้องถือขณะใช้งานแล้ว การเลือกวางบนโต๊ะให้สมรรถนะที่ดีกว่าการถือหรือไม่ โดยทำการประเมินสมรรถนะของผู้ใช้งานเมื่อต้องทำงานร่วมกับแท็บเล็ต ซึ่งปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการใช้แท็บเล็ตถูกแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย คือ ท่าทางการถือแท็บเล็ตที่แตกต่างกันด้วยมือข้างหนึ่งขณะที่มืออีกข้างหนึ่งสั่งงานด้วยอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่แตกต่างกัน (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) ในเวลาเดียวกัน โดยอาศัยกฎของฟิตส์ (Fitts' Law) และแนวความคิดของสเตียริง (Steering) เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานแท็บเล็ตด้วยท่าทางการถือที่แตกต่างกันเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์ในอนาคต และเปรียบเทียบสมรรถนะการสั่งงานแท็บเล็ตด้วยนิ้วมือและปากกาดิจิตอลเพื่อเป็นแนวทางในการประเมินความคุ้มค่าในการตัดสินใจซื้ออุปกรณ์เสริม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

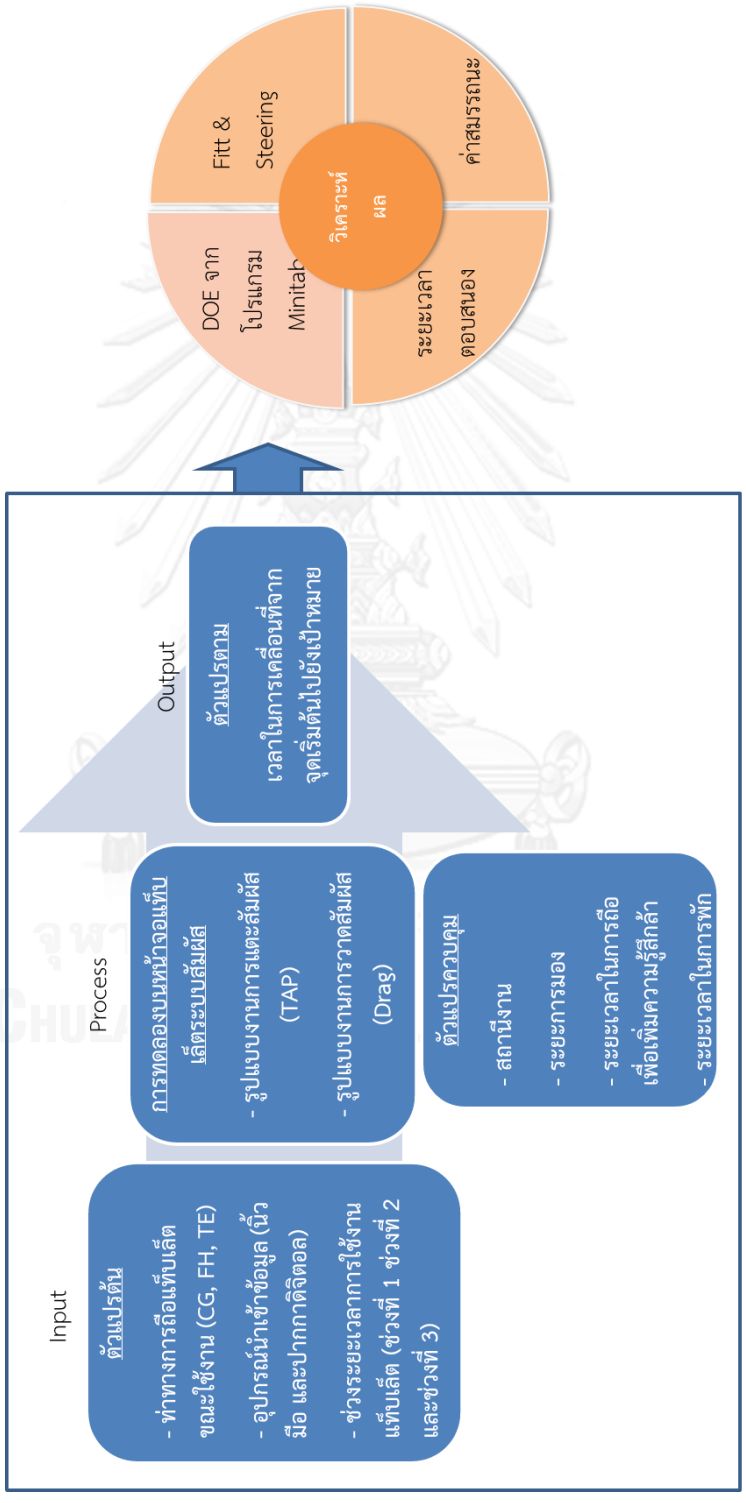
เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของการถือและการใช้งานแท็บเล็ต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการใช้งานแท็บเล็ตจากท่าทางต่างๆ ได้แก่ ท่าถือ Clipboard Grip (CG) ท่าถือ Flat Hand (FH) ท่าถือ Thumb Extended with Thenar Support (TE) และการใช้งานแท็บเล็ตขณะวางบนโต๊ะ (PT)
2. ใช้แท็บเล็ตขนาดหน้าจอประมาณ 10 นิ้ว เป็นตัวแทนแท็บเล็ตรุ่นอื่นๆ ในการทำการทดลอง
3. อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล คือ นิ้วมือ และปากกาดิจิตอลที่ใช้สำหรับแท็บเล็ตหน้าจอสัมผัสแบบ Capacitive เฉพาะรุ่นเท่านั้น
4. ทดสอบกิจกรรมประเภทชี้ตำแหน่ง คือ การแตะสัมผัส (Tap) และการวาดสัมผัส (Drag) เพื่อสั่งการระบบสัมผัสบนหน้าจอแท็บเล็ต
5. ประเมินสมรรถนะจากการใช้งานแท็บเล็ตด้วยท่าทางการถือที่กำหนดไว้โดยอ้างอิงจาก ISO 9241-9
6. ปัจจัยที่ควบคุมในการทดลอง คือ ท่าทางการใช้งานแท็บเล็ต เงื่อนไขสำหรับดัชนีความยากของงาน สถานีงานที่ตรงตามหลักการยศาสตร์ ระยะการมองที่เหมาะสมระหว่างสายตาถึงหน้าจอแสดงผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1. 2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเสนอท่าทางการถือแท็บเล็ตขณะใช้งานในการเพิ่มสมรรถนะการใช้งาน
2. เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกซื้ออุปกรณ์เสริม เช่น ปากกาดิจิตอล (Digital pen) เพื่อก่อให้เกิดสมรรถนะการใช้งานร่วมกับแท็บเล็ต
3. เป็นแนวทางให้องค์กรที่ต้องใช้อุปกรณ์แท็บเล็ตในการทำงานศึกษาเพื่อปรับปรุงงาน เช่น ออกแบบรูปแบบงานบนหน้าจอให้เหมาะกับสมรรถนะของผู้ใช้ เป็นต้น

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษางานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะในการทำงานตามกฎของ Fitts และ Steering
2. กำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
3. เก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นและสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน
4. จัดทำโปรแกรมเพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะตามเงื่องไขที่ต้องการ
5. ดำเนินการทดลองกับอาสาสมัครตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้
6. วิเคราะห์และประเมินผลที่ได้จากการทดลอง
7. สรุปผลในการศึกษาและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้จัดทำขึ้นโดยอาศัยพื้นฐานจากองค์ความรู้และงานวิจัยจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการยศาสตร์เพื่อการปรับปรุงงาน นอกจากนี้ยังได้ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้คอมพิวเตอร์แท็บเล็ตมาสนับสนุนการทดลองที่ได้จัดทำขึ้นเพื่อเปรียบเทียบท่าทางการจับแท็บเล็ตที่จะส่งผลต่อสมรรถนะของผู้ใช้งาน ดังต่อไปนี้

1. รายละเอียดแท็บเล็ต (Tablet)
2. ระบบโครงร่างและการเคลื่อนไหวร่างกายมนุษย์
3. การจัดสภาพการทำงานตามหลักการยศาสตร์
4. ความสามารถมนุษย์ในการทำงานกับร่างกาย
5. การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ (Human Computer Interaction; HCI)
6. การประเมินสมรรถนะการทำงานอาศัยกฎของ Fitts และ Steering

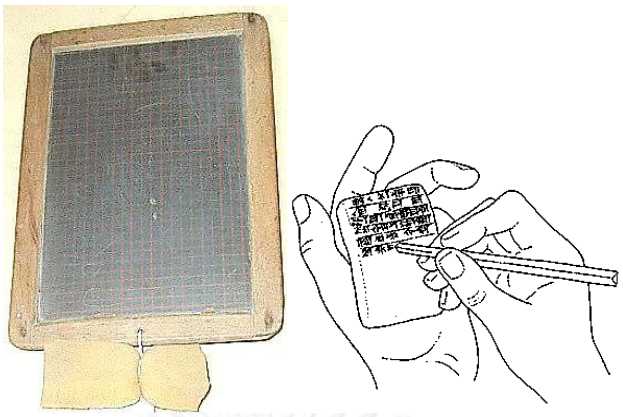
2.1 รายละเอียดแท็บเล็ต (Tablet)

2.1.1 ความหมายแท็บเล็ต

แท็บเล็ต หมายถึง คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กรูปร่างเป็นแผ่นบางมีหน้าจอแบนอยู่ในเครื่องเดียวกันออกแบบให้ทำงานได้โดยระบบสัมผัสหน้าจอ (Touch Screen) แป้นพิมพ์เสมือนจริง (Virtual Keypad) และดินสอหรือปากกาเขียนบนจอ เพื่อให้สามารถทำงานได้เหมือนกับกระดานชนวนหรือแผ่นจารึกที่อยู่ในรูปแผ่นหิน แผ่นไม้ แผ่นดินเหนียว แผ่นไม้เคลือบขี้ผึ้งที่เคยมีใช้ในอดีต (สพฐ., 2555: 13)

2.1.2 ประวัติความเป็นมาแท็บเล็ต

การกำเนิดแท็บเล็ตถูกสันนิษฐานมาจากหลักฐานในยุคประวัติศาสตร์ที่มีการริเริ่มคิดค้นหาเครื่องมือบันทึกข้อมูลจึงได้ประยุกต์ใช้ดิน ขี้ผึ้ง ไม้ หรือหินชนวน ดัดแปลงให้มีลักษณะแบนและบางคล้ายสมุดจดบันทึกเพื่อพกพาได้ โดยใช้คู่กับปากกาลักษณะเป็นลิ่มปลายแหลมที่ทำมาจากไม้ตระกูลกก ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระดานชนวน (ซ้าย) และปากกา (ขวา)

ต่อมาแท็บเล็ตถูกพัฒนา จากแนวคิดของ Alan Kay ซึ่งได้คิดค้นคอมพิวเตอร์แท็บเล็ต (Tablet Personal Computer) เป็นคนแรกในปี 1972 ในลักษณะรูปร่างภายนอกเช่นเดียวกับในอดีตออกมาเป็นอุปกรณ์ชื่อ Dynabook โดยมีเป้าหมายเพื่อเป็นอุปกรณ์ใช้ในการศึกษาสำหรับเด็ก ดังภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2 Alan Kay ผู้คิดค้น Tablet PC ชื่อ Dynabook รุ่นแรกของโลก (สารานุกรมเสรี, 2556)

2.1.3 วิวัฒนาการแท็บเล็ต

เนื่องจากแท็บเล็ตเป็นอุปกรณ์อำนวยความสะดวกประเภทหนึ่ง ซึ่งยังคงถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน ผู้คิดค้นแท็บเล็ตหลากหลายยี่ห้อต่างแข่งขันกันพัฒนาและออกแบบทั้งระบบปฏิบัติการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงรูปลักษณ์ภายนอกให้มีความทันสมัยและดูดีมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามรูปร่างโดยรวมแล้วตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ยังคงเน้นถึงความแบน และบาง ดังเช่นตัวอย่างแท็บเล็ตแสดงตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2. 1 ตัวอย่างวิวัฒนาการแท็บเล็ตตั้งแต่ปี 1987 – 2012 (Siamphone, 2013 : ออนไลน์)

ปี	แท็บเล็ต	ลักษณะ/คุณสมบัติ	รูปภาพแท็บเล็ต
1987	Linus Write-Top	หนึ่งในแท็บเล็ตรุ่นแรกๆ ที่สามารถรู้จำลายมือได้ แต่ยังเป็นหน้าจอแบบเก่า (Resistive Screen) ที่ใช้แรงดันไฟฟ้าตรวจสอบตำแหน่งที่สัมผัส นับเป็นจุดเริ่มต้นของการปฏิวัติรูปแบบการกดคีย์บอร์ดแป้นพิมพ์แบบเดิมๆ	
1989	GRiDPad	Jeff Hawkins ผู้ก่อตั้งบริษัท Palm Computing ได้สร้างอุปกรณ์ที่รันบนระบบปฏิบัติการ MS-DOS และริเริ่มนำปากกาสไตลัสมาใช้ GRiDPad ถูกนำไปใช้ในทางการทหาร แต่ไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร เนื่องจากถูกมองว่าหนัก และมีราคาแพง	
1993	Apple MessageP ad	แท็บเล็ตรุ่นแรกของ Apple ที่สร้างอุปกรณ์ Personal Digital Assistant (PDA) ที่สามารถใช้ดูปฏิทิน และรายการที่ต้องทำ จุดเด่นของอุปกรณ์ประเภทนี้คือมีสามารถรู้จำลายมือได้ในระดับหนึ่ง	

ปี	แท็บเล็ต	ลักษณะ/คุณสมบัติ	รูปภาพแท็บเล็ต
1997	PalmPilot	Jeff Hawkins เปิดตัวอุปกรณ์ใหม่ครั้งแรกของเครื่อง PDA ราคาไม่แพง เป็นอุปกรณ์หน้าจอสัมผัสที่ได้รับความนิยมมากในเวลานั้น	
2000	Microsoft Tablet PC	Bill Gates เปิดตัวแท็บเล็ตสำหรับไมโครซอฟต์	
2002	Windows XP Tablet	เปิดตัวแท็บเล็ตที่ผลิตโดยบริษัท Fujitsu และบริษัท Compaq โดยทั้งสองรุ่นต่างรันบนระบบปฏิบัติการ Windows XP ของ Microsoft	
2005	Motion Computing LS800 tablet	แท็บเล็ตที่ถูกส่งไปทำการตลาดแต่ราคาแพงและไม่เป็นที่นิยม ส่วนใหญ่มักจะถูกนำไปใช้ในโรงงานใหญ่ๆ หรือถูกใช้ในการทหาร และเป็นแท็บเล็ตที่เล็กที่สุดในเวลานั้นด้วยขนาดหน้าจอ 8.4 นิ้ว (ราคาประมาณ 68,000 บาท)	
2010	Apple iPad	Steve Jobs เปิดตัวแท็บเล็ตด้วย Apple iPad รุ่นแรกมาพร้อมกับหน้าจอขนาด 9.7 นิ้ว สัมผัสที่ดีไซน์สวยงามเป็นที่ชื่นชอบของผู้ใช้	

ปี	แท็บเล็ต	ลักษณะ/คุณสมบัติ	รูปภาพแท็บเล็ต
2010	Samsung Galaxy Tab	แท็บเล็ตแอนดรอยด์ปรากฏตัวขึ้น หน้าจอขนาด 7 นิ้วแต่ไม่ได้รับความนิยมในทันที เนื่องจากราคาเปิดตัวในตอนนั้นที่ค่อนข้างสูง (ประมาณ 18,700 บาท)	
2011	Sony S2 / Sony Tablet P	Sony ออกแบบแท็บเล็ตให้แปลกใหม่โดยมีฝาพับและหน้าจอขนาด 5.5 นิ้ว	
2012	Microsoft Surface	แท็บเล็ตหน้าจอขนาด 10.6 นิ้ว จาก Microsoft รุ่นแรกที่ออกสู่ตลาด	
2012	Lenovo ThinkPad Tablet 2	แท็บเล็ตหน้าจอขนาด 10.1 นิ้ว ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows 8 และมีจุดเด่นที่ปากกาสไตลัสในตัวเครื่อง	

2.1.4 ระบบปฏิบัติการแท็บเล็ต

ระบบปฏิบัติการ (Operating System: OS) เป็นโปรแกรม (Software) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างฮาร์ดแวร์ (Hardware) และโปรแกรมประยุกต์ (Applications Software) เครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปจะต้องทำการติดตั้งระบบปฏิบัติการก่อนจึงจะสามารถใช้งานได้ เช่นเดียวกับแท็บเล็ตที่มีระบบปฏิบัติการเป็นโปรแกรมทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานและตัวเครื่อง ในปัจจุบันนิยมใช้มี 4 ระบบ ดังนี้

1. ไอโอเอส (iOS) ชื่อเดิมคือ ไอโฟนโอเอส (iPhone OS) เป็นระบบปฏิบัติการสำหรับสมาร์ทโฟนของบริษัท Apple โดยเริ่มต้นพัฒนาสำหรับใช้ในโทรศัพท์ไอโฟน ต่อมาได้พัฒนาใช้สำหรับไอพอดทัชและไอแพด มีจุดเด่นคือเรื่องประสิทธิภาพในการทำงานกับฮาร์ดแวร์และจัดการหน่วยความจำที่ดี แต่ยังเป็นระบบปฏิบัติการเดียวที่ไม่รองรับ Flash และต้องเชื่อมต่อผ่านซอฟท์แวร์ iTune เท่านั้น
2. แอนดรอยด์ (Android) เป็นระบบปฏิบัติการจาก Google เริ่มแรกถูกพัฒนาเพื่อใช้กับสมาร์ทโฟน เช่น Samsung Galaxy Tab รุ่นแรก ต่อมาพัฒนาระบบใหม่ให้รองรับแท็บเล็ตที่มีหน้าจอขนาดใหญ่กว่ามือถือสมาร์ทโฟนโดยมีชื่อว่า Honeycomb และแอนดรอยด์ยังเป็นระบบปฏิบัติการที่สามารถใช้ได้ฟรี จึงทำให้บริษัทผู้ผลิตแท็บเล็ตนำไปใช้อย่างกว้างขวาง
3. วินโดวส์ (Windows) เป็นระบบปฏิบัติการของบริษัท Microsoft ที่คนส่วนใหญ่คุ้นเคย Office และเดสก์ท็อป Windows จึงง่ายต่อการใช้งาน อย่างไรก็ตาม Windows 7 ยังคงไม่ได้ออกแบบมาให้ใช้สำหรับแท็บเล็ตโดยเฉพาะ แต่ปัจจุบัน Windows 8 เปิดตัวมาเน้นสำหรับสัมผัสหน้าจอเพื่อให้รองรับทั้งแท็บเล็ต คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ และโทรศัพท์สมาร์ทโฟน มีความเป็นหนึ่งเดียวกันกับทุกอุปกรณ์ ทำให้มีมาตรฐานในการโอนถ่ายข้อมูลต่างๆร่วมกัน และยังรองรับเกม ภาพยนตร์ เพลง และความบันเทิงแบบหน้าจอสัมผัสทุกประเภทอีกด้วย
4. BlackBerry Tablet OS เป็นระบบปฏิบัติการจากค่าย RIM ของสมาร์ทโฟน BB โดยระบบปฏิบัติการนี้พัฒนามาสำหรับ PlayBook มีการออกแบบการใช้งานโดยวิธีการสัมผัสต่างๆ เพื่อช่วยให้ใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น จุดเด่นอีกอย่างก็คือการทำงานของ Multitasking หรือเปิดแอพพลิเคชั่นหลายตัวพร้อมกันได้ สามารถทำได้ดีกว่าระบบปฏิบัติการตัวอื่นๆ หรือเทียบเท่า Windows แต่อย่างไรก็ตามมีข้อเสียตรงที่ PlayBook จำเป็นจะต้องมีมือถือ BB ถึงจะสามารถใช้งานส่วนของการเช็คอีเมล รายชื่อ ปฏิทิน BBM ได้ และยังไม่รองรับภาษาไทย

Chulalongkorn University

2.1.5 การใช้งานหน้าจอสัมผัสของแท็บเล็ต

แท็บเล็ตถูกออกแบบให้มีการรับคำสั่งและข้อมูลต่างๆ ผ่านหน้าจอสัมผัส แต่ด้วยระบบปฏิบัติการที่ต่างกันดังข้างต้นที่กล่าวมาจึงทำให้มีรูปแบบลักษณะตัวรับคำสั่งบนหน้าจอมีความแตกต่างกันไปบ้าง อย่างไรก็ตามการใช้งานหลักเบื้องต้นสำหรับหน้าจอสัมผัสทั่วไป มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2. 2 การใช้งานหน้าจอสัมผัสของแท็บเล็ต (ภาพประกอบ Shutterstock, 2013: ออนไลน์)

ท่าทาง	วิธีปฏิบัติและผลที่ได้	ภาพประกอบ
การใช้นิ้วมือแตะหน้าจอแสดงผล	การใช้นิ้วแตะเบาๆ บนหน้าจอเปรียบเสมือนกับการใช้เมาส์โดยการคลิกซ้ายเพื่อสั่งการระบบปฏิบัติการให้ประมวลผลตามที่ต้องการ	
การตวัดนิ้วมือขึ้น-ลง หรือ ซ้าย-ขวาบนหน้าจอแสดงผล	การตวัดนิ้วบนหน้าจอขึ้น-ลงเหมือนกับการใช้เมาส์คลิกเพื่อเลื่อนหน้าขึ้น-ลง และการตวัดนิ้วไปซ้าย-ขวาเปรียบเหมือนกับการเลื่อนหน้าไปมาซ้าย-ขวา หรือเลื่อนไปหน้าถัดไป	
การใช้นิ้วลาก	การใช้นิ้วแตะค้างบริเวณแถบเมนูและลากเพื่อเลื่อนหรือเคลื่อนย้ายสิ่งที่ต้องการไปยังที่ต่างๆบนหน้าจอแสดงผล หรือใช้นิ้วลากโดยสั่งการระบบในกรณีแอพพลิเคชั่นที่ดำเนินการโดยเขียนหรือวาดด้วยนิ้วมือแทนการใช้แป้นพิมพ์	
การใช้นิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้รวบเข้าหากัน	การใช้นิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้รวบเข้าหากันเพื่อย่อขนาดให้เล็กลง	
การใช้นิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้กางออกจากกัน	การใช้นิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้กางออกจากกันเพื่อขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้น	

2.1.6 อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (Input Device)

อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (Input Device) เป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการนำข้อมูลหรือชุดคำสั่งเข้ามายังระบบ เพื่อให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลต่อไปได้ ซึ่งข้อมูลที่แสดงบนหน้าจออาจเป็นตัวอักษร ตัวเลข สัญลักษณ์ เสียง ภาพ มัลติมีเดีย เป็นต้น อุปกรณ์นำข้อมูลโดยรับคำสั่งจากผู้ใช้งานที่พบเห็นได้ในปัจจุบัน ยกตัวอย่างแสดงดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์แบบกด (Keyed Device) เช่น คีย์บอร์ด (Keyboard)

ภาพที่ 2. 3 คีย์บอร์ด (Keyboard)

2. อุปกรณ์ชี้ตำแหน่ง (Pointing Device) เช่น เมาส์ (Mouse) ลูกกลมควบคุมหรือแทร็กบอล (Track ball) จอยสติ๊ก (Joystick) แผ่นรองสัมผัสหรือทัชแพด (Touch Pad) จอสัมผัสหรือทัชสกรีน (Touch Screen)

(a) (b) (c)

(d) (e)

ภาพที่ 2. 4 อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล เมาส์ (a), แทร็กบอล (b), จอยสติ๊ก (c), ทัชแพด (d), ทัชสกรีน (e)

3. ประเภทปากกา (Pen-Based Device) เช่น ปากกาสไตลัส (Stylus Pen), ปากกาดิจิตอล (Digital Pen)

ภาพที่ 2. 5 ปากกาสัมผัสเพื่อสั่งการบนหน้าจอระบบสัมผัส

จากตัวอย่างข้างต้นถือว่าเป็นอุปกรณ์นำเข้าหลักๆที่ใช้กับคอมพิวเตอร์ ซึ่งสำหรับแท็บเล็ตเป็นระบบจอสัมผัส (Touch Screen) แทบทั้งสิ้น โดยที่ผู้ใช้งานส่วนใหญ่ใช้นิ้วมือในการสัมผัสหน้าจอเพื่อสั่งการ นอกจากนี้ยังพบการใช้ปากกา ซึ่งจากประวัติแรกเริ่มการใช้แท็บเล็ตนั้นมาจากกระดานชนวนโดยจะต้องใช้คู่กับสิ่งประดิษฐ์ที่มีลักษณะเป็นลิ่มปลายแหลมคล้ายปากกาเพื่อกดแล้วเป็นรอยใช้ในการบันทึกหรือวาดรูป ดังนั้นอุปกรณ์นำเข้าประเภทปากกาจึงถือว่าเกิดมาพร้อมกับแท็บเล็ตตั้งแต่แรกในยุคประวัติศาสตร์ จนมาถึงปัจจุบันมีวิวัฒนาการการพัฒนาประเภทของปากกามากมายหลายรูปแบบ เช่น ปากกาสไตลัสที่สามารถใช้แทนนิ้วมือสัมผัสสั่งการบนหน้าจอแท็บเล็ตโดยที่มีลักษณะหัวปากกามากมายหลายรูปแบบ มากกว่านั้นยังมีปากกาดิจิตอลที่มีความสามารถมากกว่า เนื่องจากถูกคิดค้นให้มีระบบดิจิตอลภายในแท่งปากกาเพื่อเพิ่มความสามารถการใช้งาน เช่น งานด้านกราฟิกการออกแบบ ซึ่งอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลเหล่านี้อาจมีมาพร้อมตัวเครื่องแท็บเล็ตในบางยี่ห้อหรือผู้ใช้เลือกซื้อเพิ่มเป็นอุปกรณ์เสริมด้วยตัวเอง เนื่องมาจากการใช้นิ้วมืออาจจะยังไม่สามารถตอบโจทย์การใช้งานของผู้ใช้ได้สำหรับงานบางประเภท เช่น การใช้งานบนแท็บเล็ตที่มีพื้นที่เป้าหมายเล็กจนกระทั่งนิ้วมือไม่สามารถเข้าถึงเพื่อสั่งการได้ หรืองานประเภทการวาดรูปที่ต้องการการสัมผัสเปรียบเสมือนการใช้ดินสอวาดรูปบนกระดาษ เป็นต้น นอกจากนี้ข้อดีของอุปกรณ์นำเข้าประเภทปากกามีในเรื่องการสัมผัสที่ไม่เป็นรอยนิ้วมือหรือรอยข่วนจากเล็บ อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ประเภทของปากกาให้เหมาะสมจึงขึ้นอยู่กับประเภทหน้าจอระบบสัมผัสของแท็บเล็ตด้วย ซึ่งมี 2 แบบ (ปากกาสไตลัสกับสิ่งสำคัญที่ต้องรู้ก่อนเลือกซื้อ, 2554: ออนไลน์) คือ 1. แบบ Resistive จะทำงานโดยรับแรงกดจากแผ่นจอด้านบนลงสู่ชั้นวงจรด้านล่าง ทำให้เกิดการครบวงจรเกิดขึ้น จากนั้นจึงนำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ไปคำนวณตำแหน่งบนหน้าจอ ดังนั้นจึงใช้อะไรกดสัมผัสก็ได้ ตัวอย่างเช่น จอ PDA, Smart Phone หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบดั้งเดิม 2. แบบ Capacitive จะทำงานโดยการเคลือบโลหะโปร่งไว้ที่แผ่นจอ แล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าออกมาจากสี่มุมของจอ เมื่อมีการสัมผัสเกิดขึ้นแรงดันจะตกลง ตัวควบคุมจะนำค่าที่ได้ไปแปรเป็นตำแหน่งบนหน้าจอ ตัวอย่างเช่น iPad iPhone BlackBerry

Playbook SAMSUNG GALAXY Tab และ Tablet อื่นๆ นอกจากนี้การเลือกใช้อุปกรณ์นำเข้าข้อมูลสำหรับแท็บเล็ตขึ้นอยู่กับความประสงค์ของผู้ใช้งานที่มีประเภทงานหรือความถนัดที่แตกต่างกัน ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่าประเภทไหนใช้งานได้ดีกว่ากัน

จากการสั่งการแท็บเล็ตในรูปแบบต่างๆด้วยอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่แตกต่างกัน ถือว่าเป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับนักวิจัยหลายท่านที่ได้ทำการประเมินสมรรถนะของผู้ใช้ ดังเช่น Cockburn et al. (2012) ศึกษาสมรรถนะจากการใช้งานอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ด้วยการสัมผัสในรูปแบบต่างๆ เช่น การแตะสัมผัส (Tap) การวาดสัมผัส (Drag) และการวาดสัมผัสตามแนวรัศมีวงกลม (Radial Pointing Drag) โดยทำการทดลองกับอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่แตกต่างกัน คือ นิ้วมือ ปากกาสไตลัส และเมาส์ พบว่าเวลาในการเคลื่อนที่จากการใช้นิ้วมือเร็วที่สุด แต่ยังไม่แม่นยำเท่าที่ควรโดยเฉพาะสำหรับเป้าหมายที่มีขนาดเล็ก แต่ในทางตรงกันข้ามงานในการวาดเส้นด้วยนิ้วมือนั้นใช้เวลาในการเคลื่อนที่มากที่สุด เนื่องจากการใช้นิ้วมือสัมผัสเกิดแรงเสียดทานสูงบนพื้นผิวสัมผัสบริเวณหน้าจอขณะวาดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง และพบความผิดพลาดที่ไม่มากนักในปริมาณเท่าๆกันสำหรับอุปกรณ์นำเข้าทั้งสามประเภท ดังนั้นนิ้วมือให้สมรรถนะสำหรับงานในการแตะได้ดีกว่าการวาดเส้น ส่วนปากกาสไตลัสและเมาส์ให้สมรรถนะที่ไม่แตกต่างกันระหว่างการแตะและการวาดเส้นตรง และสำหรับการวาดตามแนวรัศมีวงกลมด้วยปากกาสไตลัสแสดงผลของระยะเวลาการเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดเช่นเดียวกับการวาดเส้นตรง แต่เกิดความผิดพลาดมากที่สุด

2.2 ระบบโครงร่างและการเคลื่อนไหวร่างกายมนุษย์

จรัณ ภาสุระ (2540: 20-21) กล่าวว่า โครงสร้างหลักของร่างกายที่ถูกใช้ในการทำงานอยู่ตลอดเวลาแบ่งได้เป็น 5 ส่วน ดังนี้

1. มือและข้อมือ เป็นโครงสร้างตอนบนของร่างกาย (Upper Limb) เป็นส่วนที่มีการเคลื่อนไหวอยู่เกือบจะตลอดเวลาในการทำงานที่เกี่ยวกับการหยิบ จับ ถือ หรืองานอื่นๆ เกือบทุกประเภท
2. แขนและไหล่ เป็นโครงสร้างตอนบนเช่นกัน เป็นส่วนที่ควบคุมการเคลื่อนไหวที่ใช้ในการออกแรง ยืด ยก ผลัก ดัน ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องทำงานสัมพันธ์กันกับมือและข้อมืออีกชั้นหนึ่ง
3. คอและหลัง เป็นโครงสร้างตอนบนสุดที่เกี่ยวกับการก้ม เงย เพื่อค้นหา มองดู ชิ้นงานที่ต้องทำต่อหน้า นอกจากนี้ยังเป็นส่วนที่ออกแรงใช้ในการควบคุมและจัดการอวัยวะอื่นๆ ของร่างกาย โครงสร้างส่วนนี้มีโอกาสเกิดภาวะความเครียดและความอ่อนล้ามากกว่าส่วนอื่น
4. เข่าและขา เป็นโครงสร้างของร่างกายส่วนล่าง (Lower Limb) มีหน้าที่รองรับน้ำหนักของโครงสร้างทั้งหมดของร่างกาย ภาระหนักของขาและเข่าคือ การควบคุมการทรงตัวและรักษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาวะสมดุลของร่างกายให้ยืน เดิน นั่ง นอน ได้โดยไม่ก่อให้เกิดความอ่อนล้าของร่างกายส่วนบน

5. ดวงตา เป็นอวัยวะที่ต้องใช้งานตลอดเวลาและถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการทำงาน

จากการศึกษาด้าน “กายวิภาคศาสตร์เกี่ยวกับการทำงาน (Work Anatomy) หมายถึง การศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับร่างกายมนุษย์แบบแยกส่วนออกเป็นระบบต่างๆ ว่าด้วยการกำหนดตำแหน่ง ขนาด ลักษณะทางกายภาพของร่างกายในระบบต่างๆที่สำคัญ นำมาซึ่งความรู้ความเข้าใจกลไกระบบการเคลื่อนไหวการทำงานของมนุษย์ และนำไปเปรียบเทียบกับการทำงานของระบบเครื่องจักรกลต่อไป” (สุทธิ์ ศรีบูรพา, 2540: 26) โดยที่ระบบหลักๆของร่างกายเบื้องต้นที่ควรศึกษา ได้แก่ ระบบโครงกระดูก ข้อต่อและกล้ามเนื้อ (ธวัชชานนท์ สิปปภากุล, 2548: 11-54) ดังต่อไปนี้

ระบบโครงกระดูก (Skeletal System) หมายถึง การศึกษาเรื่องเกี่ยวกับกระดูกซึ่งเป็นส่วนพยุงร่างกาย โดยที่กระดูกแต่ละชิ้นจะเชื่อมติดซึ่งกันและกันโดยข้อต่อ (Joint) จากการต่อเป็นข้อนี้จึงทำให้มีการเคลื่อนไหวด้วยการช่วยเหลือของกล้ามเนื้อต่างๆร่วมด้วย กระดูกมีหน้าที่สำคัญๆ คือ ช่วยรองรับอวัยวะต่างๆให้ตั้งตรงและตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ควรอยู่ เป็นส่วนที่ใช้ในการเคลื่อนไหว เป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อต่างๆ ช่วยป้องกันอวัยวะที่สำคัญ เป็นต้น

ข้อต่อ (Joints) กระดูกของร่างกายจะต่อซึ่งกันและกันที่ข้อต่อ ข้อต่อแต่ละชนิดจะแตกต่างกันในทางโครงสร้างและหน้าที่ โดยที่โครงสร้างและการจับของเอ็นถือเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้มากน้อยแตกต่างกันไปตามแต่ละข้อ

ระบบกล้ามเนื้อ (Muscular System) มีกล้ามเนื้อ คือ อวัยวะที่ประกอบไปด้วยก้อนเส้นใย (Fiber) ที่ยืดและหดได้ กล้ามเนื้อในคนมีประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักตัว การทำงานของกล้ามเนื้อจะทำร่วมกันกับกระดูก เอ็น ข้อต่อ และระบบประสาท ทำให้ร่างกายสามารถเคลื่อนไหวได้

ในฐานะวิศวกรผู้มีหน้าที่ออกแบบ มอบหมาย ควบคุม ประเมิน และปรับปรุงงานเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นจึงควรที่จะศึกษาความสามารถของมนุษย์ที่มีอยู่อย่างจำกัดในการปฏิบัติงาน และยังมีความหลากหลายไม่แน่นอนของแต่ละบุคคล เมื่อพิจารณาถึงการทำงานขณะใช้แท็บเล็ตแล้วพบว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับร่างกายทุกส่วน ดังเช่น ขณะถือแท็บเล็ตต้องอาศัย แขน ไหล่ มือ และนิ้วมือร่วมกันในการประคองและใช้งานแท็บเล็ต ขณะเดียวกันหากผู้ใช้งานมีท่าทางที่แตกต่างกันระหว่างการทำงาน คือ นั่ง ยืน หรือ เดิน จึงต้องใช้อวัยวะช่วงหลัง เข่า และขา ร่วมด้วย และที่ขาดไม่ได้คือ ดวงตา ที่ใช้ในการมองจอแสดงผลจากแท็บเล็ต อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาท่าทางการถือแท็บเล็ตด้วยมือข้างที่ไม่ถนัดขณะทำงาน และมืออีกข้างหนึ่งใช้นิ้วมือในการสั่งการผ่านหน้าจอระบบสัมผัส จึงทำการศึกษาเน้นถึงร่างกายเฉพาะส่วน คือ มือและแขนเป็นหลัก เพื่อ

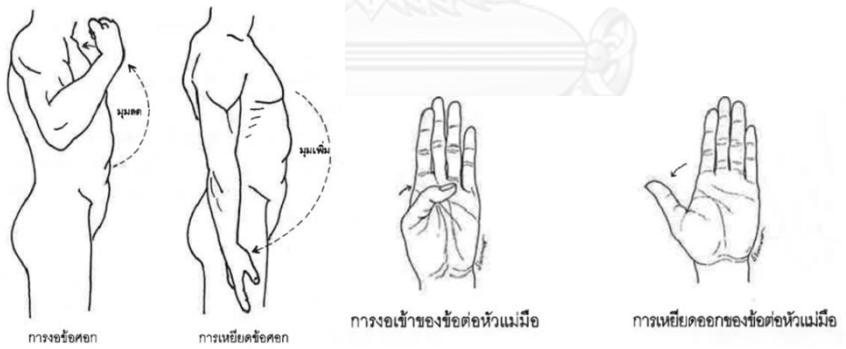
ทำความเข้าใจและวิเคราะห์ถึงกลไกการเคลื่อนไหวหรือข้อจำกัดของร่างกายช่วงมือและแขนเมื่อร่างกายทำงานร่วมกับแท็บเล็ต ดังต่อไปนี้

การศึกษาการเคลื่อนไหวร่างกายมนุษย์ หรือวิทยาศาสตร์การเคลื่อนไหว (Kinesiology) คือ การศึกษาเกี่ยวกับกล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหวของมนุษย์ สำหรับการเคลื่อนไหวของข้อต่อในร่างกายมนุษย์โดยส่วนมากเป็นแบบเชิงเส้นโค้ง หรือเชิงวงกลม (สุทธิ์ ศรีบูรพา, 2540: 70-74) ดังนี้

1. การเคลื่อนไหวเชิงเส้นโค้ง (Angular Movement) มี 4 แบบ คือ

   1.1 การงอ (Flexion) หมายถึง การเคลื่อนไหวที่ลดมุมของส่วนที่เคลื่อนไหว และส่วนที่เกี่ยวข้องกับส่วนนั้นๆ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของส่วนหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับอีกส่วนหนึ่ง ดังนั้นมุมระหว่างส่วนทั้งสองจึงลดลง เช่น การงอเข้าของข้อต่อหัวแม่มือ (Radial Flexion) เป็นการเคลื่อนไหวของนิ้วหัวแม่มือไปทางด้านกระดูกปลายแขนท่อนนอกทางด้านนิ้วหัวแม่มือ การงอเข้าของข้อต่อนิ้วก้อย (Ulnar Flexion) เป็นการเคลื่อนไหวที่ตรงข้ามกับ Radial Flexion คือ นิ้วก้อยเคลื่อนที่ไปทางด้านกระดูกปลายแขนท่อนใน

   1.2 การเหยียด (Extension) เป็นการเคลื่อนไหวตรงกันข้ามกับการงอ หรือเป็นการเคลื่อนไหวส่วนของร่างกายที่ทำมุมของข้อต่อเพิ่มเติม เช่น การเหยียดแขนออกจากท่างอแขนเป็นการเพิ่มมุมของข้อต่อที่ข้อศอก เป็นต้น

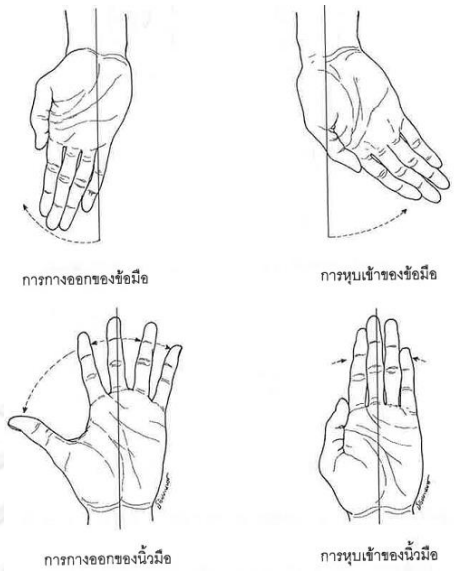


ภาพที่ 2. 6 การงอและการเหยียด (ธวัชชานนท์ สิปปภากุล, 2548: 59)

   1.3 การกางออก (Abduction) เป็นการเคลื่อนไหวส่วนของร่างกายในระนาบด้านข้าง (Frontal Plane) ที่ออกห่างจากเส้นกึ่งกลางของร่างกาย เช่น การกางแขนออก การกางออกของข้อมือ การกางออกของนิ้วมือ เป็นต้น

   1.4 การหุบเข้า (Adduction) เป็นการเคลื่อนไหวส่วนของร่างกายที่ตรงข้ามกับการกางออก (Abduction) คือ เป็นการเคลื่อนไหวในระนาบทางด้านข้างที่เข้าหาเส้นกึ่งกลางของ

ร่างกาย เช่น การหุบแขนลงแนบลำตัว การหุบเข้าของข้อมือ การหุบเข้าของนิ้วมือ เป็นต้น



ภาพที่ 2. 7 การกางออกและการหุบเข้า (ธวัชชานนท์ สิปปภากุล, 2548: 60)

2. การเคลื่อนไหวเชิงวงกลม (Circular Movement) มี 2 แบบ คือ

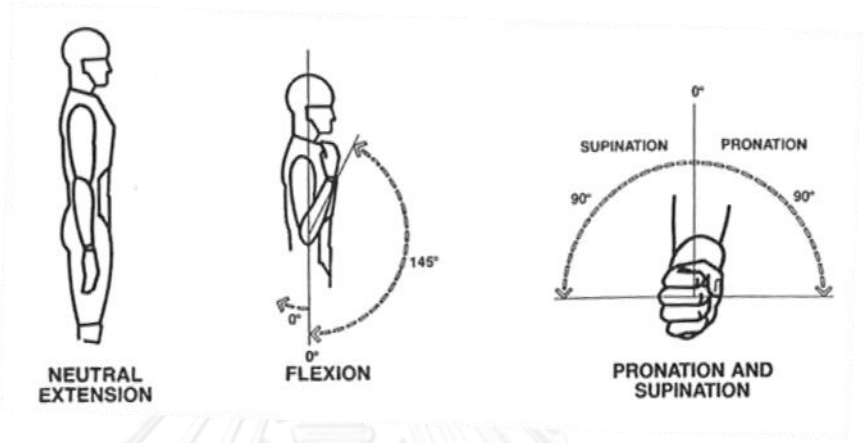
   2.1 การหมุน (Rotation) เป็นการเคลื่อนไหวของข้อต่อแบบ Multiaxial รอบๆแกนตั้งตามยาว (Longitudinal Axis) ของกระดูกที่มีการเคลื่อนไหวนั้นๆ เช่น การงอข้อศอกจะมองเห็นภาพการหมุนหรือบิดได้จากความยาวของท่อนแขนท่อนล่างและมือ การบิดของหัวไหล่ เป็นต้น ส่วนการหมุนแขนและมือมีชื่อเรียกเฉพาะ คือ Pronation การหมุนแขนคว่ำลงทำให้ข้อมือและฝ่ามือคว่ำลงด้วย ส่วน Supination การหมุนแขนหงายขึ้นทำให้ข้อมือและฝ่ามือหงายขึ้นด้วย

   2.2 การหมุนควง (Circumduction) เป็นการเคลื่อนไหวส่วนร่างกายเป็นรูปคล้ายวงกลมหรือรูปกรวย ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวรวมทั้ง การงอ การเหยียด การกาง และการหุบ เข้าด้วยกันในเวลาเดียวกัน เช่น การหมุนนิ้วมือโดยมีข้อต่อที่โคนนิ้วเป็นจุดหมุน เป็นต้น

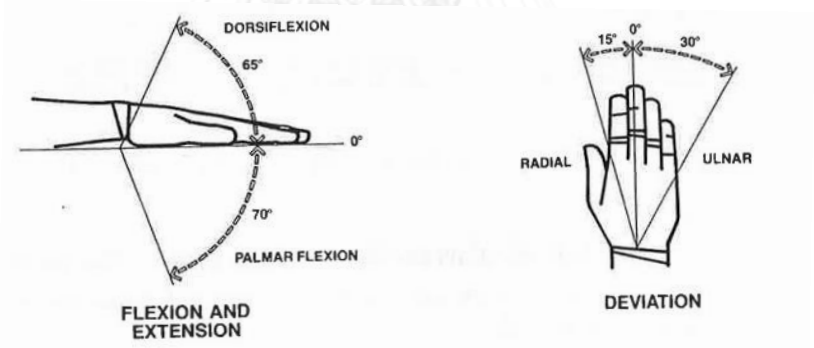
ลักษณะและข้อจำกัดของการเคลื่อนไหวของรยางค์ส่วนบน (Upper Extremity) (ธวัชชานนท์ สิปปภากุล, 2548: 63-66)

1. หัวไหล่ (Shoulder Joint และ Shoulder Girdle) สามารถเคลื่อนไหวได้อิสระรอบแกนทั้ง 3 แกน เช่น การงอ การเหยียด การกางหรือบิดเข้าด้านใน การบิดออกข้างนอก การยกไหล่ลง การหมุนควง การหมุนและเอียงไหล่ขึ้น
2. ข้อศอก (Elbow Joint) มีการเคลื่อนไหวแบบการงอและการเหยียดเท่านั้น

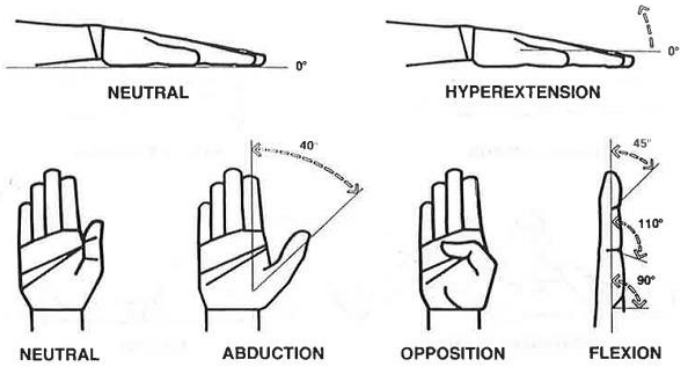
3. ส่วนปลายแขน (Radio Ulnar Joint) มีการเคลื่อนไหวแบบ Pronation และ Supination
4. ข้อมือ (Wrist Joint) มีการเคลื่อนไหวแบบการงอ การเหยียด การกางออก และการหุบเข้า
5. นิ้วหัวแม่มือ (Carpometacarpal Joint) มีการเคลื่อนไหวแบบการกางออก การหุบเข้า การงอ การเหยียด การหุบเข้าเกินกว่าปกติ การงอเกินกว่าปกติ และการงอตรงกันข้าม



ภาพที่ 2. 8 การเคลื่อนไหวส่วนแขนและข้อศอก (ธวัชชานนท์ สิปปภากุล, 2548: 66)



ภาพที่ 2. 9 การเคลื่อนไหวส่วนข้อมือ (ธวัชชานนท์ สิปปภากุล, 2548: 66)



ภาพที่ 2. 10 การเคลื่อนไหวส่วนนิ้วมือ (ธวัชชานนท์ สิปปภากุล, 2548: 67)

จากงานวิจัยของ David and Han (2012) ศึกษาท่าทางการถือแท็บเล็ตด้วยมือข้างหนึ่งจากท่าทางและความมั่นคงสอดคล้องซึ่งกันและกันของการเคลื่อนไหวของมือและข้อมือในลักษณะการงอเข้าของข้อต่อหัวแม่มือหรือการงอเข้าของข้อต่อนิ้วก้อย (Radial and Ulnar Deviation) การงอหรือการเหยียด (Flexion and Extension) และการหมุนแขนคว่ำลงและการหมุนแขนหงายขึ้น (Pronation and Supination) โดยทดลองขณะผู้ใช้งานทำกิจกรรมต่างๆบนหน้าจอสัมผัส คือ การหมุนภาพตามเข็มนาฬิกา การเปลี่ยนหน้าจากขวาไปซ้าย และการขยายขนาดรูปจากเล็กเป็นใหญ่บนหน้าจอแท็บเล็ตระบบสัมผัส ซึ่งขณะทำกิจกรรมเหล่านี้ด้วยมือข้างหนึ่ง ผู้วิจัยต้องการศึกษาการเคลื่อนไหวของมือและข้อมือจากการถือด้วยมืออีกข้างหนึ่งเพื่อความมั่นคงแบ่งออกเป็น 3 ท่าทางดังภาพที่ 2.11

ภาพที่ 2. 11 ท่าทางการถือแท็บเล็ตขณะใช้งาน Flat Hand (ซ้าย), Thumb Wrap (กลาง), Thumb Extended with Thenar Support (ขวา) (David and Han, 2012)

จากภาพที่ 2.11 David and Han (2012) พบว่าท่า Flat Hand (ซ้าย) แสดงการเคลื่อนไหวแบบงอข้อมือ มีการงอเข้าของข้อต่อนิ้วก้อย และมีค่าการหมุนแขนหงายขึ้นมากที่สุดในสามท่า ซึ่งการเคลื่อนไหวเหล่านี้มาจากผลของการเหยียดข้อต่อกระดูกฝ่ามือที่สอดคล้องกับการหดของข้อต่อนิ้วส่วนต้น ท่า Thumb Wrap (กลาง) มีการงอและเหยียดของข้อมืออยู่ในระดับปานกลางถึงเล็กน้อย เช่นเดียวกับการงอเข้าของข้อต่อนิ้วก้อย และมีการหมุนแขนหงายขึ้นอยู่ในช่วง 54 ถึง 64 องศา และสำหรับท่า Thumb Extended with Thenar Support (ขวา) ข้อมือเหยียดระดับปานกลางและการงอเข้าของข้อต่อนิ้วก้อยเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ยังมีการหมุนแขนหงายขึ้นในองศาที่น้อยที่สุดประมาณ 28 ถึง 36 องศา ซึ่งส่งผลดีต่อท่าทางของข้อมือแต่อย่างไรก็ตามต้องการความแข็งแรงมาสนับสนุนข้อมือเช่นกัน ซึ่งสรุปโดยรวมได้ว่าความมั่นคงหน้าจอขณะถือและมีการเอียงจากเส้นข้างลำตัวเพียงเล็กน้อยซึ่งเป็นผลมาจากการมองหน้าจอก่อน หลัง และขณะทำกิจกรรมบนหน้าจอ โดยที่ระยะใกล้ไกลการเอียงของหน้าจอนั้นถูกคงไว้อันเนื่องมาจากท่าทางของมือในแต่ละกิจกรรมบนหน้าจอ

2.3 การจัดสภาพการทำงานตามหลักการยศาสตร์

การรักษาท่าทางการทำงานที่เหมาะสมจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้นและช่วยลดอันตรายอันอาจเกิดจากงาน โดยที่ท่าทางที่เหมาะสมต้องอยู่ในลักษณะมั่นคง มีเสถียรภาพ และสบายตัว ในทางกลับกันท่าทางที่ไม่เหมาะสมในการทำงานจะส่งผลกระทบต่อความเมื่อยล้า ความไม่สะดวกสบาย การเจ็บปวดหรือผิดปกติของส่วนต่างๆในร่างกาย (สุทธิ์ ศรีบูรพา, 2540: 273-274)

2.3.1 หลักทั่วไปเกี่ยวกับท่าทางสำหรับการนั่งทำงาน

1. ศีรษะควรอยู่ในลักษณะสมดุล ไม่เอนซ้ายหรือขวา คือ อยู่กึ่งกลางระหว่างไหล่ทั้งสองข้าง และสายตามองตรงในแนวระดับสายตาหรือมองลงต่ำได้เล็กน้อย
2. ไหล่ทั้งสองข้างควรอยู่ในท่ามาตรฐานทางกายวิภาคหรือในท่าพัก คือไหล่ลู่ตกและไม่เกร็งกล้ามเนื้อหัวไหล่ขณะนั่งทำงาน
3. ลำตัวควรตั้งตรงในแนวดิ่งหรือเอียงไปข้างหลังเล็กน้อยโดยมีที่รองรับหลังในระดับเอวอย่างสม่ำเสมอ
4. แขนส่วนล่างทั้งสองและขาส่วนบนทั้งสองควรอยู่ในแนวราบขนานกับพื้น
5. การเคลื่อนไหวในลักษณะเอื้อมไปข้างหน้าหรือบิดตัวไปทางด้านข้างโดยไม่จำเป็นนั้นควรหลีกเลี่ยงหรือเกิดขึ้นน้อยครั้ง
6. วิธีการนั่งเก้าอี้ที่ถูกต้อง คือ นั่งให้เต็มสะโพก แผ่นหลังเอนพิงกับพนักพิง เข่าอยู่ในท่างอตั้งฉากกับพื้นโดยที่ฝ่าเท้าวางราบลงไปกับพื้นให้เต็มฝ่าเท้า

2.3.2 หลักทั่วไปเกี่ยวกับท่าทางสำหรับการยืนทำงาน

1. ไม่ควรแหงนคอ เงยหน้า หรือก้มหน้ามากเกินไปขณะยืนทำงาน
2. ไม่ควรบิดลำตัว เอี้ยวตัว หรือเอียงตัวไปทางด้านข้างมากเกินไปเป็นเวลานานๆ
3. ไม่ควรเอนร่างกายส่วนบนไปทางด้านหลังหรือโน้มไปข้างหน้ามากเกินไป
4. ไม่ควรยืนทิ้งน้ำหนักตัวบนเท้าข้างใดข้างหนึ่งเพียงข้างเดียว
5. ควรสวมรองเท้าที่เหมาะสม มีความมั่นคง แข็งแรง และขนาดพอดีเท้า

2.3.3 การใช้งานแท็บเล็ตอย่างถูกสุขลักษณะ

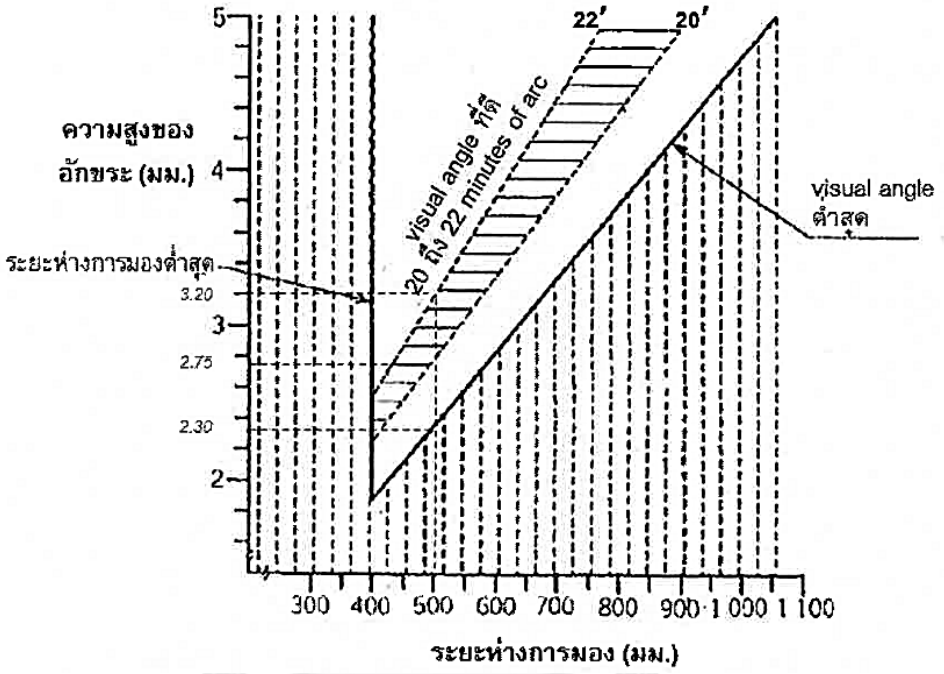
การใช้งานแท็บเล็ตเป็นเวลานาน ๆ อาจทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพร่างกายได้ เพื่อเป็นการถนอมรักษาสุขภาพและความปลอดภัย ควรปฏิบัติดังนี้ (สพฐ., 2555: 83)

1. ตำแหน่งของแท็บเล็ตไม่ควรวางไว้ในที่มีแสงสะท้อนมากเนื่องจากแสงสะท้อนเข้าตาทำให้เสียสายตาได้
2. ระดับของจอภาพควรปรับระดับจอภาพให้อยู่ในแนวต่ำกว่าระดับสายตาเล็กน้อยจะได้มองหน้าจอได้อย่างสบายตา
3. การนั่งควรนั่งห่างจากตัวเครื่องประมาณ 2-2.5 ฟุต นั่งลำตัวให้ตรงในท่าที่สบายให้แผ่นหลังพอดีกับพนักพิงเก้าอี้
4. การวางเท้าควรวางเท้าให้พอดีกับพื้นราบ
5. ปรับหน้าจอให้มีความสว่างเท่ากับความสว่างของห้อง หากหน้าจอมีความสว่างเกินไปและในการใช้สายตานานๆ จะทำให้รูม่านตาหดตัวจะส่งผลให้เมื่อยตามากกว่าปกติ รวมไปถึงจะทำให้ตาแห้ง ระคายเคืองกระจกตาได้ง่าย ควรพักสายตาเว้นระยะการใช้งานหรือทำกิจกรรมอื่น
6. ไม่ควรใช้สายตาเพ่งหน้าจอแท็บเล็ตเป็นเวลานาน (เกิน 1 ชั่วโมง) จะส่งผลให้เกิดอาการสายตาสั้นเทียม (อาการเหมือนคนสายตาสั้น มองเห็นอะไรไม่ชัด) แต่อาการเหล่านี้จะหายไปเองหากได้พักสายตา 1 วัน ก็จะหายเป็นปกติ
7. การใช้นิ้วมือสัมผัสแท็บเล็ตหน้าจอเป็นเวลานาน อาจทำให้ปวดเมื่อยข้อ นิ้วมือ แต่ไม่มีอันตรายมากนัก
8. ควรทำความสะอาดหน้าจอแท็บเล็ตเป็นประจำ เนื่องจากมีการสัมผัสหน้าจอตลอดเวลาทำให้สกปรก และสะสมเชื้อโรคอยู่เป็นจำนวนมาก

2.3.4 มุมและระยะในการมอง

การปรับสายตาจากการมองหน้าจอแสดงผลขณะใช้งานแท็บเล็ตเป็นสิ่งสำคัญที่สุดสำหรับผู้ใช้คำนึงถึง เนื่องด้วยระยะสายตาของแต่ละคนไม่เท่ากันซึ่งอาจมาจากปัจจัยด้านอายุของผู้ใช้งานและระยะสายตานี้ส่งผลทำให้ผู้ใช้งานปรับสรีระร่างกายของตนตามระยะการมองหรือองศาของสายตา ดังเช่น Justin et al. (2012) ได้ศึกษาท่าทางของศีรษะและคอที่แปรเปลี่ยนไปตามลักษณะรูปแบบการใช้งานแท็บเล็ตที่แบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ คือ การใช้มือถือแท็บเล็ตและวางบนตัก การวางแท็บเล็ตที่ใส่เคสบนตัก การวางแท็บเล็ตที่ใส่เคสบนโต๊ะ และการวางแท็บเล็ตที่ใส่เคสแบบมุมสูงบนโต๊ะ โดยให้ผู้ทดลองสั่งการแท็บเล็ตรูปแบบต่างๆ เช่น ค้นหาทางอินเตอร์เน็ต เล่นเกม อ่านหนังสือ ดูภาพยนตร์ และตอบอีเมล ผลจากการวิจัยพบว่าศีรษะและคอมีองศาการหดตัวที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับรูปแบบการทำงานร่วมกับแท็บเล็ต และมีมุมการมองที่ทำให้ศีรษะและคอก้มมากกว่าการใช้งานคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะทั่วไป แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งการวางหรือถือแท็บเล็ตมีผลต่อระยะการมอง

และการเคลื่อนไหวของร่างกายในส่วนที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นระยะการมอง (Viewing Distance) จากจอแสดงผล คือ ระยะจากจุดกึ่งกลางจอแสดงผลถึงตาที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 600 ± 150 มิลลิเมตร แต่ไม่ควรน้อยกว่า 400 มิลลิเมตร และมุมการมอง (Visual Angle) ควรอยู่ที่ 20 ถึง 22 minutes of arc ซึ่งมาตรฐานสากลของ ISO 9241 ได้แนะนำไว้สำหรับอุปกรณ์ของระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้แสดงผล ซึ่งผลที่แสดงอาจอยู่ในรูปตัวหนังสือ ตัวเลข เส้นกราฟ หรือภาพต่างๆ เป็นต้น โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความสูงของอักขระบนหน้าจอและระยะห่างการมอง โดยที่ความสูงของอักขระสามารถใช้ไม้บรรทัดวัดที่หน้าจอได้โดยตรง กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2. 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างการมองและความสูงของอักขระ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [มอก.])

เนื่องจากการใช้งานแท็บเล็ตยังไม่พบมาตรฐานที่กำหนดมาเพื่อประยุกต์ใช้กับแท็บเล็ตได้โดยตรง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้อ้างอิงมาตรฐานสากลของ ISO 9241 มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทาง เนื่องด้วยเป็นการกล่าวถึงมุมและระยะในการมองระหว่างกึ่งกลางหน้าจอถึงตาเช่นเดียวกับการใช้แท็บเล็ต แต่ยังคงมีข้อแตกต่างในเรื่องรูปแบบลักษณะท่าทางการใช้อุปกรณ์ ซึ่งสำหรับแท็บเล็ตเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อพกพาและถือขณะใช้งานเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นมาตรฐานสากลของ ISO 9241 ที่นำมาอ้างอิงนี้จึงไม่สามารถตอบโจทย์การใช้งานที่ตรงกันเท่าที่ควร

2.4 ความสามารถในการทำงานกับร่างกาย

2.4.1 ระบบกล้ามเนื้อและการทำงาน

มนุษย์ใช้กล้ามเนื้อในการทำงาน โดยมีแหล่งให้กำลังจากการเปลี่ยนรูปพลังงานทางเคมีที่เก็บไว้ในร่างกายให้เป็นพลังงานทางกล เพื่อเคลื่อนไหวร่างกาย ทำกิจกรรมทางด้านร่างกาย โดยที่พลังงานที่ได้จากกล้ามเนื้อ คือ การหดตัวของกล้ามเนื้อมีหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น (กิตติ อินทรานนท์, 2548: 44)

1. การหดตัวด้วยความยาวคงที่ (Isometric Contraction) เกิดเมื่อกล้ามเนื้อหดตัวเป็นระยะเวลานานซึ่งกล้ามเนื้อจะคงความยาวไว้และไม่มีงานเกิดขึ้น แต่แรงในกล้ามเนื้อจะสูงขึ้น เช่น การดันกำแพง การถือของหยุดนิ่ง เป็นต้น
2. การหดตัวด้วยแรงคงที่ (Isotonic Contraction) เป็นการหดตัวที่กล้ามเนื้อถูกกระตุ้นในระดับหนึ่งจนทำให้กล้ามเนื้อหดตัวแบบกระตุกติดต่อกันไป และมีระยะคลายตัวสั้น เช่น การยกของ การลากของ เป็นต้น

ดังนั้นการถือแท็บเล็ตขณะใช้งานเป็นการออกแรงต้านกับแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ให้ความยาวของกล้ามเนื้อคงที่ (Isotonic) แต่แรงที่ได้เท่าเดิม และถือว่าเป็นการทำงานที่ไม่มีงานเกิดขึ้น เนื่องจากไม่มีระยะทาง แต่มีการใช้พลังงานเพราะเป็นการออกแรง เป็นพลังงานที่เปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อน และเมื่อกล้ามเนื้อหดตัวรุนแรงและติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้กล้ามเนื้อเกิดอาการล้าได้ เนื่องจากมีการสะสมของเสีย เช่น กรดแล็กติก และคาร์บอนไดออกไซด์ ประกอบกับขาดออกซิเจนและสารอาหารมาเลี้ยง ทำให้กล้ามเนื้ออ่อนล้า หดตัวเบาลงและหดตัวไม่ได้ ถ้ากล้ามเนื้อได้พักและมีเลือดนำสารอาหารและออกซิเจนมาเลี้ยงเพียงพอจะสามารถกำจัดของเสียออกไปจากกล้ามเนื้อได้ อาการล้าจะลดลงและหายไป ทำให้กล้ามเนื้อพร้อมที่จะหดตัวได้ใหม่

Rodin (1989) ศึกษาการกำหนดความล้าของกล้ามเนื้อ อันเนื่องมาจากมนุษย์สามารถทำกิจกรรมใดๆได้ดีในช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะไม่สามารถทำกิจกรรมนั้นได้ดีเท่าเดิม ซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นนี้คือความล้าของกล้ามเนื้อ โดยที่กล้ามเนื้อปกติจะไม่สามารถล้าได้ถ้ามีการหดที่ไม่มากพอ นำไปสู่ความสนใจว่าระยะเวลานานเท่าไหร่ที่กล้ามเนื้อจะล้าโดยนำสมมติฐานด้านสรีรวิทยาและกฎพื้นฐานด้านฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้ ดังนี้

แรงที่ถูกผลิตที่กล้ามเนื้อคืออนุกรมของการดล หรือการต่อเนื่องกันของผลลัพธ์ระหว่างผลคูณของแรงกระทำกับช่วงเวลา และเนื่องด้วยกล้ามเนื้อของโครงร่างมนุษย์มีคุณสมบัติของเส้นใยไฟเบอร์เล็กๆที่แรงดึงกระทำเท่าๆกัน โดยที่การหดตัวของกล้ามเนื้อย่อยๆภายในจะเปลี่ยนพลังงานเคมี

มาใช้ เช่น ATP ดังนั้นพบว่า เมื่อแรงคงที่สามารถคิดสมการของความเข้มข้นของพลังงานได้ดังสมการที่ 1

$$C(t) = -\frac{1}{K}Ft + C_0 \quad (1)$$

โดยที่ C(t) = ความเข้มข้นของพลังงานในกล้ามเนื้อเมื่อเวลา t (Concentration)

C_{min} = ความเข้มข้นของพลังงานในกล้ามเนื้อเมื่อเกิดความล้าสูงสุด

C_o = ค่าคงที่ (ค่า C(t) เมื่อเวลา t = 0)

K = ค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง

F = แรงที่กระทำ

t = ระยะเวลา

บางครั้งความเข้มข้นของพลังงานเคมีไม่เพียงพอที่จะคงสภาพของแรงได้ เช่น กล้ามเนื้อถูกยึดจับมวลด้วยน้ำหนัก F = mg จะทำให้มวลตกลง ดังนั้นเราจึงต้องการกำหนดปริมาณความเข้มข้นของพลังงานเมื่อเวลาความล้าจากการสิ้นสุดการออกแรงเท่ากับปริมาณความเข้มข้นของพลังงานที่น้อยที่สุดตั้งแต่เริ่มต้นออกแรง $C(t_f) = C_{min}$ แทนค่า C_{min} ในสมการที่ 1

$$C_{min} = -\frac{1}{K}Ft + C_0 \quad (2)$$

เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้สมการที่ 3

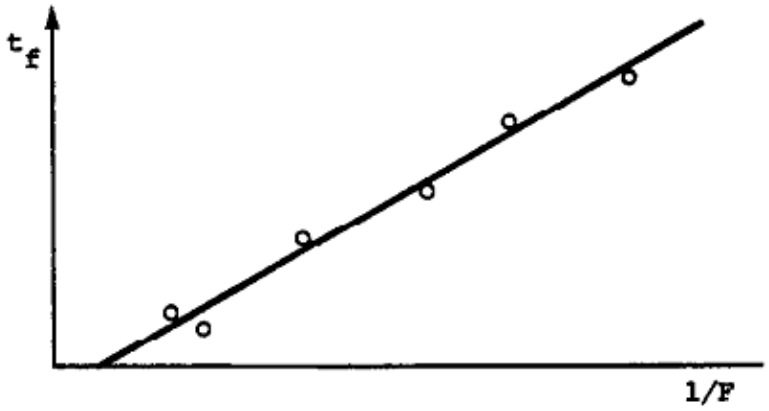
$$(C_{min} - C_0)(-K) = Ft_f \quad (3)$$

จากสมการที่ 3 พบว่า ที่ระยะเวลาที่ทำให้เกิดการล้า (t_f) ผลคูณระหว่างแรง (F) และเวลาล้า (t_f) เป็นค่าคงที่ $(C_{min} - C_0)(-K)$ ดังนั้น จึงสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างแรง (F) และเวลาล้า (t_f) ได้ตามสมการที่ (4) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงและความล้า

$$F_1 t_1 = F_2 t_2 \quad (4)$$

งานวิจัยนี้ได้นำสมการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินน้ำหนักอุปกรณ์ในการถ่วงน้ำหนักจากเวลาที่ล้าที่ไม่สามารถถือได้อีก

Rodin (1989) ได้ทดลองเพื่อพิสูจน์สมการที่ได้ โดยให้ผู้ร่วมทดลองใช้มือถือน้ำหนักที่แตกต่างกันในระดับไหล่เป็นระยะเวลาจนกระทั่งแขนของผู้ร่วมทดลองสั่นอันเนื่องมาจากความล้าของกล้ามเนื้อและไม่สามารถถือต่อไปได้อีก ภาพที่ 2.13 ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ทำให้เกิดความล้ากับเศษส่วนของแรงที่ใช้ในการถือ



ภาพที่ 2. 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำ (F) และเวลาที่ใช้จนกระทั่งเกิดความล้า (t_f) (Rodin, 1989)

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เวลาล้าที่ใช้จนกระทั่งเกิดความล้านั้นแปรผันตรงกับ 1/F หรือหมายถึงเป็นการแปรผกผันกับแรงที่ใช้ คือเมื่อกล้ามเนื้อออกแรงขณะถือมากจะใช้เวลาน้อยจึงเกิดอาการล้าที่แขน และในทางกลับกันการออกแรงน้อยขณะทำกิจกรรมใดๆจะใช้เวลานานกว่าจะเกิดอาการล้า

มนุษย์ใช้ร่างกายในการทำงาน โดยที่สมรรถนะการทำงานของมนุษย์ที่ถูกประเมินออกมาในรูปแบบเชิงปริมาณและคุณภาพนั้น ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากความล้าอันเนื่องมาจากความไม่สบายทั้งกายและใจ หดหู่ ไม่มีกำลัง ไม่ต้องการทำอะไร รู้สึกง่วงนอน ความล้าของกล้ามเนื้ออันเนื่องมาจากกระบวนการร่างกายแบ่งออกเป็น Localized Muscle Fatigue คือ เกิดความล้าเฉพาะที่ ส่งผลให้มีแรงลดลงมีระยะเวลาการตอบสนองช้าขึ้น และยังลดสมรรถนะการทำงานด้านความเร็วและความแม่นยำด้วย ความล้าอีกแบบหนึ่ง Whole Body Fatigue คือ ความล้ามาจากกล้ามเนื้อมัดใหญ่ของร่างกายทำให้กระทบกระเทือนส่วนอื่นด้วย และส่งผลให้อัตราการหายใจหรืออัตราการเต้นหัวใจเร็วขึ้น ตัวอย่างความล้าทั่วไป เช่น ความล้าของสายตา ความล้าของร่างกายทั้งตัว ความล้าของจิตใจ ความล้าของประสาท ความล้าเรื้อรัง ความล้าประจำวัน เป็นต้น ซึ่งความล้าเหล่านี้เมื่อเกิดขึ้นขณะต้องทำงานส่งผลให้สมรรถนะการทำงานทั้งด้านประสิทธิภาพและประสิทธิผลลดลงเนื่องจากมนุษย์ไม่สามารถคงระดับสมรรถนะที่ทำงานให้เท่าเดิมได้เมื่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังเกิดอันตรายต่อผู้ทำงานได้หากต้องฝืนร่างกาย การวัดหรือประเมินความล้าเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับงานทุกประเภท แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถวัดเป็นปริมาณที่ชัดเจนได้ จึงมีเพียงตัวชี้วัดว่าเริ่มมีความล้าเกิดขึ้นแล้วผ่านวิธีการดังนี้

1. การวัดผลงานที่ได้เชิงปริมาณและคุณภาพ คือ ปริมาณจำนวนการผลิตต่อหน่วยเวลามีความสัมพันธ์กับความล้า และบางครั้งความล้ายังส่งผลให้คุณภาพด้อยลง มีของเสีย หรือมีอุบัติเหตุ
2. การบันทึกความรู้สึกเกี่ยวกับความล้าที่เกิดขึ้น (Subject Feelings of Fatigue) จากแบบสอบถาม
3. การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง เพื่อตรวจจับคลื่นไฟฟ้าในบริเวณเปลือกสมองใหญ่ และเอามาเปรียบเทียบรูปแบบของคลื่นขณะทำงานกับรูปแบบของคลื่นสมองในขณะที่มีความล้า

2.4.2 ผลกระทบด้านสุขภาพ

การใช้งานแท็บเล็ตเกี่ยวข้องกับส่วนต่างๆของร่างกายมนุษย์ที่สัมพันธ์กันเกือบทุกส่วนในร่างกายโดยมีปฏิสัมพันธ์กันในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งจากแนวโน้มมีผู้ต้องการใช้งานแท็บเล็ตมากขึ้น เนื่องจากแท็บเล็ตสามารถตอบโจทย์การใช้งานหรือการทำงานในชีวิตประจำวันได้สำหรับหลายๆคนในสังคมปัจจุบัน ดังนั้นระยะเวลาการใช้งานของผู้ใช้สูงขึ้นต่อหนึ่งวันสำหรับการใช้แท็บเล็ตนี้รวมถึงท่าทางการใช้งานซ้ำแบบเดิมในทุกๆวัน เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการมีแท็บเล็ตใช้โดยที่ยังไม่แพร่หลายเท่าปัจจุบัน ถึงแม้แท็บเล็ตจะเป็นอุปกรณ์ส่งเสริมทางด้านเทคโนโลยีที่เข้ามาเติมเต็มในชีวิตประจำวันของใครหลายคนให้สะดวกง่ายดายต่อการทำงานมากขึ้นแล้ว ในทางกลับกันผลกระทบต่อร่างกายที่ตามมาก็เริ่มปรากฏให้เห็นเช่นกัน การบาดเจ็บจากสภาวการณ์ทำงานซ้ำซาก (Cumulative Trauma Disorders; CTD) หรือ Repetitive Trauma Disorders; RTD) มีอาการผิดปกติเกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อ (Muscle) เอ็นกล้ามเนื้อ (Tendon) และเส้นประสาทรับรู้ (Sensitive Nerve Tissue) ในรูปแบบของการสึกหรอ เสื่อมสภาพ หรือฉีกขาด ที่เกิดขึ้นเป็นไปทีละน้อยในระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งแตกต่างจากการเกิดอย่างเฉียบพลัน เนื่องจากภาระงานสำหรับแท็บเล็ตเป็นลักษณะงานเบา ออกแรงน้อย แต่ทำงานซ้ำซากกับส่วนของร่างกายที่เดิม การบาดเจ็บหรือสึกหรอของโครงสร้างร่างกายจึงเกิดขึ้นแบบสะสมทีละน้อยจนกระทั่งถึงจุดที่ร่างกายหรือโครงสร้างนั้นๆไม่สามารถรับได้จึงแสดงอาการออกมาให้เห็นรุนแรงมากขึ้น ตัวอย่างการบาดเจ็บจากสภาวการณ์ทำงานซ้ำซาก ได้แก่ โรคการกดทับเส้นประสาทบริเวณข้อมือ (Carpal Tunnel Syndrome; CTS), กล้ามเนื้ออักเสบ (Myofascial Pain Syndrome), หมอนรองกระดูกปลิ้นกดทับเส้นประสาท; HNP), กระดูกสันหลังยึดติด (Lumbar Dysfunction), เส้นเอ็นข้อศอกด้านนอกอักเสบ (Tennis Elbow), เส้นเอ็นข้อศอกด้านในอักเสบ (Golfer Elbow) เป็นต้น เมื่อเน้นถึงส่วนของร่างกายโดยเฉพาะบริเวณแขนและมือเพื่อใช้ในการถือและสั่งการบนหน้าจอ ดังนั้นโรคที่พบเจอบ่อยและควรหลีกเลี่ยง คือ โรคการกดทับเส้นประสาทบริเวณข้อมือ (Carpal Tunnel Syndrome; CTS) คือ เส้นประสาท Median

Nerve ที่เดินทางจากบริเวณแขนถึงบริเวณมือจะผ่านช่องแคบบริเวณข้อมือ ช่องแคบที่บริเวณข้อมือนี้จะประกอบด้วยกระดูกข้อมือเป็นฐาน และมีพังผืดที่หนาเป็นหลังคา ภายในช่องแคบนี้มีเส้นเอ็นของนิ้วมือ 9 เส้นอยู่ด้วยเส้นเอ็นเหล่านี้มีเยื่อหุ้มเอ็นล้อมรอบ ซึ่งบางครั้งอาจหนาตัวขึ้นมาและทำให้กดเส้นประสาท Median Nerve ซึ่งอาการของผู้ป่วยจากโรคนี้ คือ รู้สึกชาหรือรู้สึกปวดที่มือโดยเฉพาะเวลากลางคืน หรือรู้สึกอ่อนแรงเวลาถือของและบางครั้งมีความรู้สึกปวดจากมือถึงบริเวณแขนและอาจปวดไปถึงไหล่ได้ (สมศักดิ์ ลีเชวงวงศ์, 2545: 13-14)

ผู้ปฏิบัติงานควรคำนึงถึงปัจจัยเสี่ยงต่อปัญหาการบาดเจ็บที่สะสมจากสภาพการปฏิบัติงาน (Assessing for Potential Cumulative Trauma Disorders Hazards) มีดังนี้คือ (กวินธิดา, 2551: ออนไลน์)

1. Repetitiveness คือ จำนวนการเคลื่อนไหวของข้อต่อที่เกี่ยวข้องในช่วงระยะเวลาทั้งหมดของการทำงานตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุด
2. Awkward Posture คือ ท่าทางตำแหน่งของแขนขา ลำตัว ที่เบี่ยงเบนจากท่าปกติ (Neutral Anatomical Posture) หรือ ไม่ทะมัดทะแมง
3. Force คือ แรง ปริมาณการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ใช้ในงานนั้นมากหรือน้อย
4. Poor Physical Condition สมรรถภาพทางกายต่ำ การปฏิบัติงานในสภาวะที่ร่างกายไม่มีความพร้อมและความสมบูรณ์ของกล้ามเนื้อ ข้อต่อ ที่เกี่ยวข้องย่อมมีโอกาสเสี่ยงต่อการบาดเจ็บได้มาก มักเกิดในสภาวะที่กล้ามเนื้ออ่อนแรงหรือเกร็งตัวหดรั้ง ข้อต่อยึดติดหรือฝืด ตลอดจนเอ็นกล้ามเนื้อยึดติด
5. Direct Pressure on Nerve แรงกดบนเส้นประสาทที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดแรงกดบนฝ่ามือและแรงเครียดบนข้อมือ มีผลเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ
6. Vibration การสั่นสะเทือน เกิดจากเครื่องมือ อุปกรณ์ หรือในสถานที่ปฏิบัติงาน
7. Temperature อุณหภูมิร้อนหรือเย็น

2.5 การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ (Human Computer Interaction; HCI)

การศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ หรือระบบคอมพิวเตอร์ กับผู้ใช้งาน ซึ่งการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้และคอมพิวเตอร์เกิดขึ้นที่ส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface) ทั้งทางด้านซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ตัวอย่างเช่น ตัวอักษรหรือวัตถุที่แสดงบนหน้าจอของเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านซอฟต์แวร์ การรับข้อมูลจากผู้ใช้ผ่านฮาร์ดแวร์ที่เป็นอุปกรณ์ต่อ

นำเข้าข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ เช่น คีย์บอร์ด และเมาส์ การใช้ตู้ ATM เพื่อทำธุรกรรมทางการเงิน เครื่องจำหน่ายบัตรโดยสารของระบบขนส่งมวลชนต่าง ๆ และการใช้โทรศัพท์เครื่องมือสื่อสาร เป็นต้น เพื่อออกแบบให้เหมาะสมและลงตัวซึ่งกันและกันระหว่างผู้ใช้งาน (User) คอมพิวเตอร์ (Computer) และภาระงาน (Task) ซึ่งผู้ใช้งาน (User) คือที่นำเอาการรับรู้ต่างๆ เช่น การมอง การได้ยิน และการสัมผัส มาใช้ในควบคุมการส่งผ่านข่าวสารข้อมูลซึ่งจะมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความถนัดของผู้ใช้ หรือหลักการข้อกำหนดของการใช้งาน หรือความสามารถในการเรียนรู้และองค์ความรู้ที่มีอยู่ รวมไปถึงความแตกต่างทางธรรมชาติและวัฒนธรรม คอมพิวเตอร์ (Computer) คือ เทคโนโลยีสำหรับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ นอกจากนั้นยังรวมถึงระบบต่างๆ เครื่องจักรกล และระบบอัตโนมัติต่างๆ และเนื่องด้วยมนุษย์ขึ้นอยู่กับปัจจัยพื้นฐานด้านร่างกายและจิตใจที่สามารถทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์หรือระบบต่างๆสำหรับแต่ละคนมีไม่เท่ากันแล้ว HCI จึงต้องถูกพัฒนาขึ้นมาโดยที่ต้องสามารถรับรู้การกระตุ้นจากมนุษย์ซึ่งเป็นผู้ใช้งานและสามารถที่จะส่งผ่านคำสั่งที่เป็นการสั่งใช้คอมพิวเตอร์ทำงานได้ตามความต้องการ โดยอาศัยการศึกษาที่เชื่อมโยงหลากหลายศาสตร์เข้าด้วยกัน เช่น วิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer Science) พฤติกรรมศาสตร์ (Behavioral Science) ด้านจิตวิทยาและศาสตร์ด้านการรับรู้เข้าใจ (Psychology and Cognitive Science) ปรัชญา (Philosophy) การติดต่อสื่อสาร (Communications) และด้านการยศาสตร์หรือมนุษย์ปัจจัย (Ergonomics and Human Factors) เป็นต้น

เพื่อให้ผู้ใช้งานและคอมพิวเตอร์หรือระบบเทคโนโลยีทำงานร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์นั้น ผู้ออกแบบระบบควรคำนึงถึงประโยชน์ที่ได้รับให้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ สามารถใช้งานง่าย ไม่มีความผิดพลาด สร้างความเชื่อมั่นด้านความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ ทำให้ผู้ใช้มีความคุ้นเคยกับระบบนำไปสู่ความต้องการอยากใช้อีก ซึ่งสิ่งเหล่านี้แสดงถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้และคอมพิวเตอร์ที่สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างลงตัว และความลงตัวกันนี้สามารถประเมินได้จากสมรรถนะของผู้ใช้ (Performance) และสวัสดิภาพของผู้ใช้ (Well-Being) โดยที่สมรรถนะที่ได้สะท้อนมาจากประสิทธิภาพขณะดำเนินงานและคุณภาพของงาน เช่น ความเร็วและความแม่นยำในการดำเนินการบนคอมพิวเตอร์ มากไปกว่านั้นความลงตัวทางด้านร่างกายและจิตใจของผู้ใช้งานถือเป็นสวัสดิภาพของผู้ใช้ที่แสดงออกถึงการทำงานร่วมกันได้อย่างลงตัวขณะใช้งานเช่นเดียวกัน (Dov, Jane and Ping, 2007)

เป้าหมายด้านการยศาสตร์นั้นคือการพัฒนาหรือปรับปรุงความสามารถของมนุษย์ในการจัดการด้านน้ำหนักกายภาพ และสมรรถนะ (ลดความผิดพลาด, ปรับปรุงคุณภาพ, ลดเวลาการทำงาน) เพื่อให้ผู้ใช้งานยอมรับกับระบบ ซึ่งตัวชี้วัดของการประเมินสมรรถนะในการทำงาน และทฤษฎีที่นิยมใช้เป็นมาตรฐานในการประเมินนี้ก็คือ Fitts' Law

2.6 การประเมินสมรรถนะการทำงานอาศัยกฎของ Fitts และ Steering

สมรรถนะ หมายถึง ลักษณะเฉพาะบุคคลที่สะท้อนมาจากประสิทธิภาพขณะดำเนินงานและคุณภาพของงาน เช่น ความเร็วและความแม่นยำในการดำเนินการบนคอมพิวเตอร์ (Dov et al., 2007)

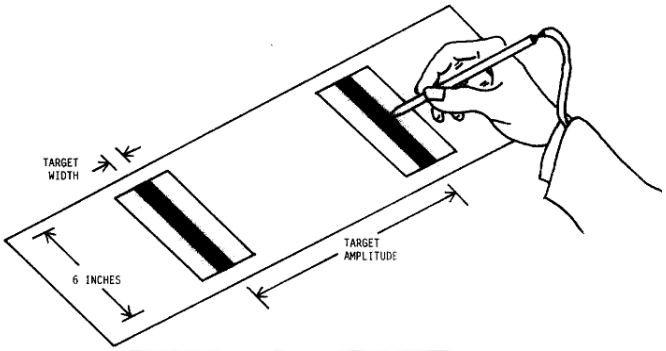
มาตรฐาน ISO 9241 คือ มาตรฐานจากองค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยการกำหนดการมาตรฐานทางการยศาสตร์กับการทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย 17 ส่วน ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่ 9 เกี่ยวกับข้อกำหนดและข้อเสนอแนะสำหรับอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่ไม่ใช่คีย์บอร์ด เกี่ยวข้องกับกิจกรรมหลากหลาย เช่น การคลิก การลาก การชี้ การเลือก เป็นต้น โดยที่ปฏิสัมพันธ์กับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างๆ เช่น ปุ่มกด เมาส์ จอยสติ๊ก แทร็กบอล ปากกาสไตลัส แท็บเล็ต เป็นต้น ซึ่งการทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์และอุปกรณ์สามารถวัดผลผ่านทางตัวชี้วัดต่างๆ

มาตรฐาน ISO 9241-9 ประเมินความสามารถหรือสมรรถนะนั้นสามารถแบ่งออกเป็นเรื่องประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ได้จากปริมาณงาน อาศัยแนวความคิดของ Fitts และ Steering โดยที่แนวความคิดทั้งสองนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งขึ้นอยู่กับระดับความยากของงาน และระดับความยากของงานมาจากการกำหนดเงื่อนไขของระยะห่างจากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมาย และความกว้างของเป้าหมาย แต่ทั้งสองกฎนี้มีความแตกต่างกันในเรื่องประเภทของงานการชี้ตำแหน่ง ซึ่ง Fitts' Law ใช้ประเมินงานประเภทการชี้ตำแหน่งรูปแบบการแตะสัมผัส (Tap) และ Steering ใช้ประเมินงานประเภทการชี้ตำแหน่งรูปแบบการวาดสัมผัส (Drag) โดยมีรายละเอียด ตัวอย่างจาก Motoyuki and Scott (2002) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงแรงที่ถูกประยุกต์ใช้กับทัชแพด (Touchpad) สำหรับงานการชี้ตำแหน่ง ทัชแพด คืออุปกรณ์นำเข้าข้อมูลประเภทหนึ่งทำหน้าที่คล้ายเมาส์ ผู้ใช้งานสามารถสั่งการทัชแพดโดยการใช้นิ้วสัมผัสหรือลากไปมาบริเวณแผ่นสี่เหลี่ยม งานวิจัยนี้จึงศึกษาสมรรถนะที่แตกต่างระหว่างประเภทอุปกรณ์โดยสอดคล้องตามมาตรฐาน ISO 9241-9 ผลที่ได้จากการทดลองถูกประเมินจากตัวชี้วัดหลายอย่าง ดังนี้ จากเวลาในการเคลื่อนที่พบว่าการใช้เมาส์เร็วกว่าใช้ทัชแพด 23% อัตราความผิดพลาดค่อนข้างต่ำโดยที่ทัชแพดมีมากกว่าเมาส์ ปริมาณงานที่ได้จากเมาส์มีมากกว่าทัชแพด และเมื่อวิเคราะห์ผลเชิงลึกเกี่ยวกับแรงที่ใช้พบว่าเมาส์ใช้แรงมากกว่าทัชแพด โดยที่หลักการของ Fitts' Law และ Steering ในการประยุกต์ใช้เพื่อประเมินสรรถนะของผู้ใช้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.6.1 แนวความคิด Fitts' Law

Fitts' Law ได้เปรียบเทียบการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งกับการส่งผ่านข้อมูลผ่านช่องทางการรับรู้ของมนุษย์ ซึ่งได้เริ่มต้นทำการทดลองโดยใช้ปากกาสไตลัสเป็นอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล

จรดปากกาในพื้นที่เป้าหมายและเคลื่อนที่จากพื้นที่เป้าหมายสลับกันไปมาซ้ายขวา โดยมีข้อกำหนดว่าให้เคลื่อนที่ให้เร็วที่สุด และสร้างแบบจำลองของ Fitts ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2. 14 แบบจำลองของ Fitts (1954)

Fitts ค้นพบว่าความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลของกระบวนการทำงานของร่างกายมนุษย์คือสมรรถนะการทำงานเช่นเดียวกับทฤษฎีของ Shannon โดยมีความสัมพันธ์เป็นอัตราส่วนซึ่งกันระหว่างดัชนีความยากของงาน (ID) และระยะเวลาการเคลื่อนที่ (MT) ดังสมการที่ 1 และดัชนีความยากของงาน คือ ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการเคลื่อนที่และขนาดเป้าหมาย ซึ่งอธิบายได้ว่าถ้าการเคลื่อนที่ระหว่างจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายมีระยะทางกว้างมากในขณะเดียวกันความกว้างเป้าหมายมีขนาดแคบซึ่งจะส่งผลต่อความยากของงานที่มีดัชนีสูง แต่อย่างไรก็ตามไม่เป็นเช่นนี้ทุกกรณีไป ดังนั้นจึงอาศัยรูปแบบสมการที่สร้างไว้เพื่อประเมินความยากของงาน ดังสมการที่ 2 และสุดท้ายสำหรับระยะเวลาการเคลื่อนที่เป็นผลมาจากความยากของงานเช่นกัน ซึ่งมีทฤษฎีเกี่ยวกับ Speed and Accuracy Trade Off อธิบายถึงความสามารถในการทำงานของมนุษย์นั้นมีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความผิดพลาดในการทำงานเกิดขึ้นพร้อมกันเสมอ ดังนั้นเมื่อดัชนีความยากของงานมาก จึงทำให้ต้องใช้ระยะเวลาการเคลื่อนที่มากตามไปด้วย ในขณะเดียวกันอาจเกิดความผิดพลาดมากด้วยเช่นกันขึ้นอยู่กับปัจจัยมนุษย์ที่มีอยู่อย่างจำกัดและไม่เท่ากันของแต่ละบุคคล เนื่องจากมนุษย์มีความซับซ้อน หลากหลาย และไม่คงที่ โดยมีสมการ Regression แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเคลื่อนที่ และอัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างเป้าหมาย และขนาดความกว้างของเป้าหมาย ดังสมการที่ 4 (MacKenzie, 1992)

$$IP = \frac{ID}{MT} \tag{1}$$

$$ID = log_2 \frac{A+W}{W} \tag{2}$$

$$MT = a + b\,ID \tag{3}$$

แทนค่าสมการที่ (2) ในสมการที่ (3)

$$MT = a + b\,log_2 \frac{A+W}{W} \tag{4}$$

โดยที่ IP = ดัชนีสมรรถนะการทำงาน (Index of Performance)

ID = ดัชนีความยากของงาน (Index of Difficulty)

MT = เวลาในการเคลื่อนที่ (Movement Time)

A = ระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดกึ่งกลางเป้าหมาย (Amplitude)

W = ขนาดความกว้างเป้าหมายในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ (Width)

a, b = Regression Coefficient

จากทฤษฎีและหลักการของ Fitts ดังที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้มีผู้วิจัยหลายท่านสนใจและนำไปประยุกต์ใช้ ดังนี้

Martin, Rebert and Jesse (2006) ศึกษาสมรรถนะของผู้ใช้งานระบบคอมพิวเตอร์โดยประเมินผลกระทบจากท่าทางของผู้ใช้ขณะใช้งาน เช่น การนั่ง การยืน และการเดินช้า โดยเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่ต่างกันระหว่างปากกาสไตลัสและแทร็กบอล และยังใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกันคือคอมพิวเตอร์แท็บเล็ตสำหรับการนั่งและยืน และคอมพิวเตอร์พกพาสำหรับการเดิน จากหลักการของ Fitts' Law พบว่าการใช้แทร็กบอลส่งผลทั้งเรื่องเวลาการเคลื่อนที่และปริมาณความผิดพลาดสำหรับท่ายืน และยังใช้เวลาเฉลี่ยการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายมากกว่าปากกาสไตลัส ส่วนทั้งท่ายืนและเดินไม่มีผลเรื่องเวลาการเคลื่อนที่เมื่อใช้ปากกาสไตลัส สรุปได้ว่าคอมพิวเตอร์หน้าจอสัมผัสจะมีประสิทธิภาพสำหรับอุปกรณ์นำเข้าต่างๆมากกว่าถ้าผู้ใช้ไม่ได้อยู่ในท่านั่งขณะใช้งาน เช่นเดียวกับ Min et al. (2007) ที่ได้ศึกษาสมรรถนะของผู้ใช้เครื่องมือสื่อสาร PDA ภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกัน คือ การนั่ง การเดินบนลู่วิ่ง และการเดินผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆ โดยใช้ปากกาสไตลัสเป็นอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล การประเมินสมรรถนะในเรื่องเวลาการเคลื่อนที่และความผิดพลาด พบว่าสมรรถนะของผู้ใช้งานลดลงเมื่อเจอสถานการณ์ที่ต้องใช้ความตั้งใจมากขึ้นเพื่อมองเส้นทาง และมีความแม่นยำ 90% สำหรับเป้าหมายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.4 มิลลิเมตร แต่ทำให้ความเร็วในการเดินลดลง 36%

Cockburn et al. (2012) ศึกษาสมรรถนะจากการใช้งานอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ด้วยการสัมผัสในรูปแบบต่างๆ เช่น การแตะสัมผัส (Tap) การวาดสัมผัส (Drag) และการวาดสัมผัสตามแนวรัศมีวงกลม (Radial Pointing Drag) โดยทำการทดลองกับอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่แตกต่างกัน คือ นิ้วมือ ปากกาสไตลัส และเมาส์ และแบ่งการทดลองออกเป็น 2 รูปแบบงาน คือ 1. การแตะและการวาดสัมผัสเคลื่อนที่ไปสองทิศทาง คือ ไปและกลับในแนวนอน (ซ้าย-ขวา) 2. การวาดสัมผัสตามแนวรัศมีวงกลมแบ่งออกเป็นสี่ทิศทาง (เหนือตะวันออก-NE, ใต้ตะวันออก-SE, ใต้ตะวันตก-SW และ เหนือ

ตะวันตก-NW) โดยแบ่งระดับความยากของงานออกเป็นรูปแบบละ 7 ระดับ ทดสอบกับอาสาสมัคร 18 คน และใช้แนวความคิดของ Fitts' Law และ Steering ประเมินสมรรถนะของผู้ใช้งาน

2.6.2 แนวความคิดของ Steering

แนวความคิด Steering ถูกเสนอโดย Johnny and Shumin (1997) ที่ได้อาศัยหลักการเดียวกับ Fitts' Law ในการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อคาดการณ์และอธิบายพฤติกรรมมนุษย์ขณะมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์ เมื่อพิจารณาลักษณะงานแล้วนอกจากการชี้ตำแหน่งจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่พบเห็นส่วนใหญ่แล้วยังพบงานในลักษณะการลากทั้งที่เป็นแนวเส้นตรงและแนววิถีโค้ง เช่น การเขียน การวาด และการหาตำแหน่ง เป็นต้น Cockburn et al. (2012) ยังสนับสนุนแนวความคิดของ Steering ว่าสามารถประเมินสมรรถนะของงานการลากในแนววิถีโค้งหรือตามแนวรัศมีวงกลมโดยแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความกว้างเป้าหมายและระยะทางในการเคลื่อนที่ได้ดีกว่าแนวความคิดของ Fitts' law

สรุปได้ว่า Steering เป็นแนวความคิดที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นทางที่กำหนดไว้ ซึ่งเกิดจากการขยายขอบเขตของ Fitts' law โดยศึกษาแบ่งเป็นช่วงย่อยๆของการเคลื่อนที่ผ่านทั้งจุดเริ่มต้นและเป้าหมายที่มีระยะตั้งฉากแล้วจึงใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์โดยการอินทิเกรตช่วงย่อยเข้าด้วยกัน และดัชนีความยากของงาน Steering ตามแนวเส้นโค้งของ C ดังสมการที่ 5

$$ID = \int_0^A \frac{ds}{W(s)} \tag{5}$$

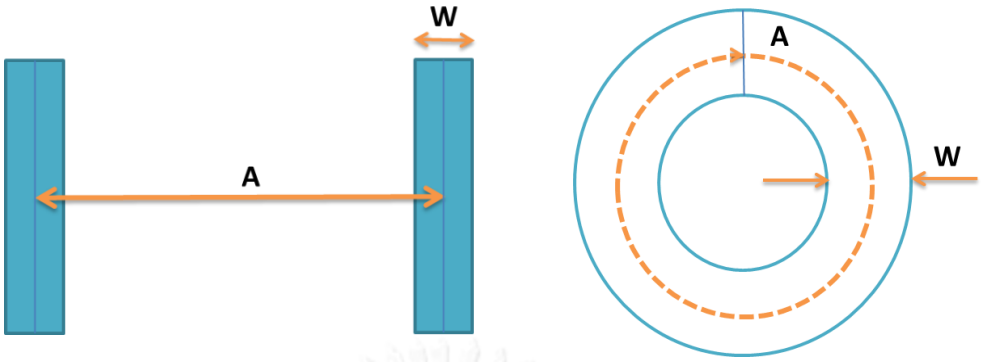
โดยที่ ID = ดัชนีความยาก

ds = ระยะสั้นๆที่ต้องเคลื่อนที่ตาม

W(s) = ความกว้างของขอบเขต ds ใด ๆ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาสมรรถนะงานการลากในรูปแบบตามแนวเส้นรอบวงกลม (Radial Drag) ดังนั้น A คือเส้นรอบวงที่แสดงถึงระยะทางการเคลื่อนที่ A = $2\pi R$ ซึ่ง R คือรัศมีของวงกลม และดัชนีความยากของงานตามแนวเส้นรอบวงกลม คือ $ID = \frac{2\pi R}{W}$

การวัดสมรรถนะของผู้ใช้งานแท็บเล็ตในรูปแบบการชี้ตำแหน่งผ่านการสั่งการบนหน้าจอสัมผัสที่งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินรูปแบบการชี้ตำแหน่งทั้งการแตะสัมผัส (Tap) จากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายไปกลับในทิศทางซ้ายขวา และลากสัมผัสตามแนวเส้นรอบวงกลม (Drag) ดังนั้นจึงอาศัยแนวความคิดของ Fitts' Law และ Steering law ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นประเมินสมรรถนะตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในการออกแบบการทดลอง ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2. 15 งานในรูปแบบแตะสัมผัส (Tap) อาศัยแนวความคิด Fitts' Law (ซ้าย) และงานในรูปแบบการวาดสัมผัส (Drag) อาศัยแนวความคิด Steering (ขวา)

Xiaolei et al. (2008) ศึกษาสมรรถนะของมนุษย์จากผลของตำแหน่งเริ่มต้นในงานรูปแบบโค้งเป็นวง (Steering Task) ตามแนวความคิดของ Steering โดยแบ่งตำแหน่งเริ่มต้นในการศึกษาออกเป็น 4 แบบ คือ ซ้าย ขวา บน และล่าง สำหรับงานการลากเส้นตรงและวงกลมตามเข็มนาฬิกา ทดสอบกับผู้ทดลอง 10 คน สายตาปกติ และถนัดมือขวาทั้งหมด อุปกรณ์ในการทดลอง คือ แท็บเล็ต พีซี ยี่ห้อ IBM ThinkPad X41 ขนาดหน้าจอ 12.1 นิ้ว และปากกาสไตลัส ผลที่ได้จากการทดลอง คือ จุดเริ่มต้นในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันให้สมรรถนะที่ไม่แตกต่างกันของระยะเวลาในการเคลื่อนที่ และเปอร์เซ็นต์การออกนอกเส้นทางขณะเคลื่อนที่ ของงานการลากทั้งแบบเส้นตรงและวงกลม และพบว่าเปอร์เซ็นต์การออกนอกเส้นทางขณะเคลื่อนที่ของตำแหน่งเริ่มต้นที่แตกต่างกันทั้งสี่ด้านมีแนวโน้มลดลงเมื่อความกว้างของเป้าหมายมีขนาดใหญ่ขึ้น ต่อมาเมื่อพิจารณาผลของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของงานการลากเส้นตรงพบว่าตำแหน่งเริ่มต้นของแนวตั้งและแนวนอนให้สมรรถนะที่แตกต่างกัน คือ ผู้ใช้งานสามารถเคลื่อนที่ในแนวนอนได้แม่นยำมากกว่าเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ขณะที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของงานการลากเส้นเป็นวงกลมไม่ส่งผลต่อสมรรถนะที่แตกต่างกันจากจุดเริ่มต้นในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของข้อมือในการลากเส้นตรงต้องมีการเปลี่ยนทิศทางข้อมืออยู่เสมอสำหรับทิศทางการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน ขณะที่การลากเส้นเป็นวงกลมมีทิศทางของข้อมือไปในทิศทางเดียวกันคือตามเข็มนาฬิกาสำหรับทุกทิศทางจุดเริ่มต้น ดังนั้นผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางในการแนะนำผู้ใช้งานในการออกแบบโดยมีตำแหน่งทิศทางมาเกี่ยวข้องควรเคลื่อนที่ในแนวนอนมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้เพื่อผลสมรรถนะจากงานที่ดีขึ้น

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้เห็นว่าการวิจัยเกี่ยวกับการประเมินสมรรถนะ (Performance) ของผู้ใช้งานแท็บเล็ตแบบหน้าจอระบบสัมผัส (Touch Screen) โดยส่วนใหญ่มุ่งเน้นเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (Input Device) แต่ยังมีอีกประเด็นสำคัญสำหรับการใช้งานแท็บเล็ตที่มีจุดประสงค์ในการออกแบบมาเพื่อสะดวกต่อการพกพา ดังนั้นการถือแท็บเล็ตขณะใช้งานจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อสมรรถนะของผู้ใช้งานได้ งานวิจัยนี้จึงต้องการประเมินสมรรถนะผู้ใช้งานเมื่อมีท่าทางการถือแท็บเล็ตที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ ให้มนุษย์ใช้งานในชีวิตประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีรายละเอียดและลำดับขั้นตอนการทำงาน ดังต่อไปนี้

3.1 ผู้เข้าร่วมทดลอง

ผู้ร่วมการทดลองจำนวน 8 คน มีลักษณะและข้อจำกัดในการคัดเลือกผู้ร่วมการทดลอง ดังนี้

1. ผู้เข้าร่วมทดลองเป็นหญิงหรือชายอายุระหว่าง 18 – 35 ปี
2. ผู้เข้าร่วมทดลองสุขภาพแข็งแรง ไม่มีอาการบาดแผลรุนแรงโดยเฉพาะบริเวณมือ ข้อมือ หรือนิ้วมือ
3. ผู้เข้าร่วมทดลองสายตาปกติ ยกเว้นสายตาสั้นหรือยาว ให้สวมแว่นตา หรือคอนแทคเลนส์ขณะทดสอบได้
4. ผู้เข้าร่วมทดลองเป็นผู้มีความสามารถด้านร่างกายปกติที่ไม่ใช่นักกีฬา
5. ผู้เข้าร่วมทดลองมีประสบการณ์การใช้อุปกรณ์หน้าจอสัมผัสอย่างน้อย 1 ปี

3.2 การกำหนดท่าทางขณะใช้งานแท็บเล็ต

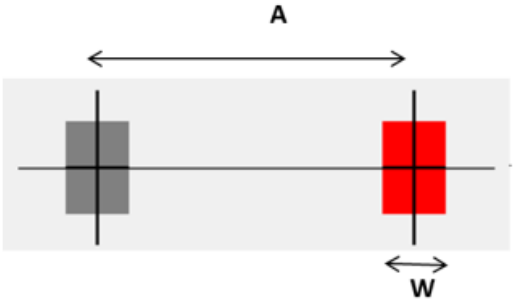
งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะของผู้ใช้งานแท็บเล็ตจากท่าทางการถือทั้งหมด 3 ท่าทาง ได้แก่ 1. Clipboard Grip (CG) คือ การวางแท็บเล็ตที่บริเวณแขนท่อนล่างถึงฝ่ามือโดยนิ้วมือทั้งสี่ยึดเข้าจับแท็บเล็ตด้านบน 2. Flat Hand (FH) คือ ฝ่ามือแบราบบริเวณกึ่งกลางด้านหลังแท็บเล็ต 3. Thumb Extended with Thenar Support (TE) คือ นิ้วมือทั้งสี่ยึดจับด้านหลังแท็บเล็ตโดยมีเนินโคนนิ้วหัวแม่มือช่วยพยุงด้านหน้า ดังภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3. 1 ท่าทางการถือแท็บเล็ตขณะใช้งานประกอบด้วย Clipboard Grip (CG), Flat Hand (FH) และ Thumb Extended with Thenar Support (TE)

การกำหนดท่าทางการนั่งขณะทำการทดลอง ซึ่งท่านั่งถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเมื่อการใช้งานแท็บเล็ตไม่ได้ถูกจำกัดในท่ายืน และสำหรับงานวิจัยนี้เพื่อเป็นการเน้นสมรรถนะที่ได้จากท่าทางการถือโดยเฉพาะ จึงลดปัจจัยซึ่งอาจนำไปสู่ความล้าจากร่างกายส่วนอื่น ดังนั้นจึงทำการทดลองโดยกำหนดให้ผู้ร่วมทดลองนั่งขณะปฏิบัติการ และกำหนดระยะการมองจากจอแสดงผล (Viewing Distance) คือ ระยะจากจุดกึ่งกลางจากจอแสดงผลแท็บเล็ตถึงตาที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 600 ± 150 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงกำหนดให้ระยะการมองเริ่มต้นของผู้ทดลองอยู่ที่ประมาณ 400 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขั้นต่ำที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ISO9241 และมีความสัมพันธ์กับขนาดความสูงของอักขระบนหน้าจอแท็บเล็ตทั่วไป พร้อมทั้งได้แนะนำให้ผู้ร่วมทดลองทราบถึงท่าทางการนั่งตามคำแนะนำบนคู่มือเรื่องการยศาสตร์เบื้องต้น โดยผู้ร่วมทดลองยังคงสามารถปรับท่าทางการนั่งให้ตนเองรู้สึกสบายและเหมาะสมต่อการทำงานด้วยตนเอง เพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นได้จากท่าทางที่ใช้เป็นระยะเวลานานหรือต้องทำซ้ำๆกันต่อเนื่อง

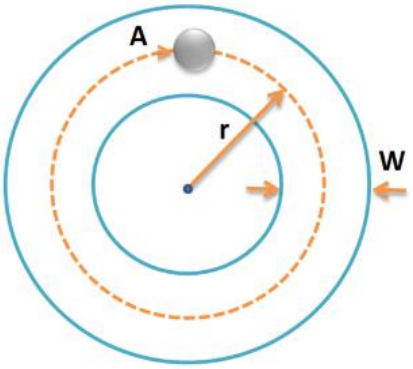
3.3 การกำหนดรูปแบบงาน

การชี้ตำแหน่งโดยการแตะสัมผัส (Tap) จากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งในทิศทางแนวนอนไปและกลับ (Bidirectional Horizontal Tapping) โดยแต่ละเงื่อนไขงานจะถูกกำหนดด้วยระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นเคลื่อนที่ไปถึงเป้าหมาย (A) และความกว้างเป้าหมาย (W) ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3. 2 งานในรูปแบบแตะสัมผัส (Tap)

การชี้ตำแหน่งโดยการวาดสัมผัส (Drag) จากจุดเริ่มต้นตามระยะทางที่กำหนดไว้วนมาบรรจบสิ้นสุดที่จุดเดิมเป็นวงกลมในทิศทางตามเข็มนาฬิกา โดยแต่ละเงื่อนไขงานจะถูกกำหนดด้วยระยะทางระหว่างจุดเริ่มต้นเคลื่อนที่ไปยังจุดสิ้นสุด (A) และความกว้างของระยะทาง (W) ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3. 3 งานในรูปแบบการชี้ตำแหน่งแบบวาดสัมผัส (Drag)

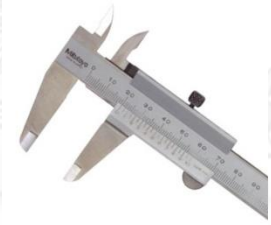
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยประกอบไปด้วย

1. แท็บเล็ต: ThinkPad Tablet 2 หน้าจอ 10.1 นิ้ว ตัวเครื่องมีขนาดกว้าง x ยาว x หนา เป็น 10.34 x 6.48 x 0.39 นิ้ว (262.6 x 164.6 x 9.8 มิลลิเมตร) น้ำหนัก 600 กรัม IPS ความละเอียด 1366 x 768 ซีพียู Intel Atom Z2760 Dual-core 1.8 GHz ระบบปฏิบัติการ Windows 8 Pro

ภาพที่ 3. 4 ThinkPad Tablet 2 หน้าจอ 10.1 นิ้ว

2. ปากกาดิจิตอล: ปากกาดิจิตอลสำหรับ ThinkPad Tablet 2 มาพร้อมตัวเครื่อง หนัก 34 กรัม ความยาว 4.52 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.26 นิ้ว
3. โปรแกรม: โปรแกรม Speed & Accuracy Trade off : Fitts & Schmidt's Law ใช้สำหรับการทดลองรูปแบบงาน Tap และโปรแกรม ErgoCircularDrag ใช้สำหรับการทดลองรูปแบบงาน Drag (วิธีการใช้โปรแกรมดังภาคผนวก ก)
4. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Caliper)



ภาพที่ 3. 5 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Caliper)

5. นาฬิกาจับเวลา: เพื่อใช้กำหนดระยะเวลาในการถือ

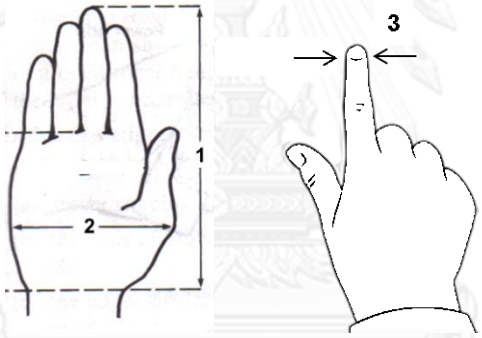
ภาพที่ 3. 6 นาฬิกาจับเวลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5 วิธีการดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้ถูกออกแบบเพื่อศึกษาสมรรถนะของผู้ใช้งานแท็บเล็ตขนาดหน้าจอประมาณ 10 นิ้ว ขณะใช้งานที่มีท่าทางการถือแท็บเล็ตที่แตกต่างกัน และกำหนดให้ผู้ใช้งานถือด้วยมือข้างหนึ่งและใช้มืออีกข้างหนึ่งเพื่อสั่งการระบบหน้าจอสัมผัสของแท็บเล็ต โดยแบ่งภาระการทดลองงานออกเป็น 2 รูปแบบ คือ งานโดยการแตะสัมผัสจากเป้าหมายด้านหนึ่งไปยังเป้าหมายอีกด้านหนึ่งเป็นเส้นตรง (Tap) และงานโดยการวาดสัมผัสจากจุดเริ่มต้นตามแนวรัศมีวงกลมที่กำหนดไว้วนกลับมาสิ้นสุดที่จุดเดิม (Drag) โดยที่งานทั้งสองรูปแบบเป็นกิจกรรมการชี้ตำแหน่งโดยใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลเป็นอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (Input Device) โดยกำหนดให้ผู้ร่วมทดลองดำเนินการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. เก็บข้อมูลเบื้องต้นของผู้ทดลองจากการสอบถาม เช่น เพศ อายุ ส่วนสูง น้ำหนัก เป็นต้น และวัดสัดส่วนร่างกายส่วนที่เกี่ยวข้อง คือ 1. ความยาวของมือ 2. ความกว้างฝ่ามือ 3. ความกว้างนิ้วมือ ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3. 7 การวัดตำแหน่งของมือและนิ้วมือ

2. จัดสถานีงานโดยที่ผู้ทดลองถูกกำหนดให้มีท่าทางการนั่งขณะดำเนินการทดลองด้วยท่าทางที่รู้สึกสบายและเหมาะสมต่อการทำงาน
3. เริ่มทดสอบจากท่าทางการใช้งานแท็บเล็ตท่าทางใดท่าทางหนึ่งแบบสุ่ม และจัดท่าทางการใช้แท็บเล็ตตามที่กำหนดไว้ (3 ท่าทางการถือดังภาพที่ 3.1)
4. รูปแบบการดำเนินการชี้ตำแหน่งทดสอบแบบสุ่ม แบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ดังตารางที่ 3.1
5. อธิบายการดำเนินการให้ผู้เข้าทดลองเข้าใจ และทดลองลงมือปฏิบัติก่อนปฏิบัติจริง (Training) จนเกิดความชำนาญ
6. ถ้าการทดสอบเป็นงานรูปแบบการชี้ตำแหน่งแบบแตะสัมผัส (Tap) สำหรับอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลจากการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอล ให้เลือกโปรแกรม Fitts ในแท็บเล็ตที่ได้ลงไว้ และกำหนดระยะของ A และ W ของแต่ละเงื่อนไขแบบสุ่ม

ตารางที่ 3. 1 แสดงรูปแบบงานการทดสอบบนหน้าจอแสดงผลขณะใช้แท็บเล็ต

รูปแบบที่	การชี้ตำแหน่ง	อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล
1	Tap	นิ้วมือ
2	Tap	ปากกาดิจิตอล
3	Drag	นิ้วมือ
4	Drag	ปากกาดิจิตอล

7. ดำเนินการปฏิบัติจริงโดยกำหนดให้ผู้เข้าร่วมทดลองใช้นิ้วชี้แตะสัมผัสบริเวณพื้นที่เป้าหมายให้เร็วที่สุด โดยแตะสัมผัสเป้าหมายไปกลับแบบซ้าย-ขวา (Bidirectional Horizontal Tapping) สลับกันเป็นจำนวน 15 ครั้งต่อเงื่อนไข สำหรับแต่ละท่าทางการถือ ตามรูปแบบการทดลองที่ได้กำหนดไว้ 3 เงื่อนไข ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3. 2 เงื่อนไขดัชนีความยากของงาน (ID) ตามความกว้างของเป้าหมาย (Width) และระยะทางเป้าหมาย (Amplitude) สำหรับรูปแบบงานการแตะสัมผัสตามกฎของ Fitts

ดัชนีความยากของงาน (ID)	ระยะทางเป้าหมาย (Amplitude)	ความกว้างของเป้าหมาย (Width)
2.58	200 พิกเซล (32.8 มม.)	40 พิกเซล (6.6 มม.)
4.00	450 พิกเซล (73.8 มม.)	30 พิกเซล (4.9 มม.)
5.06	650 พิกเซล (106.6 มม.)	20 พิกเซล (3.3 มม.)

8. บันทึกค่าที่ได้จากโปรแกรม โดยบันทึกชื่อไฟล์ที่ได้ให้เป็นรูปแบบเดียวกัน
9. ถ้าการทดสอบเป็นงานรูปแบบการชี้ตำแหน่งแบบวาดสัมผัส (Drag) สำหรับอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลจากการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอล ให้เลือกโปรแกรม Steering ในแท็บเล็ตที่ได้ลงไว้ และกำหนดระยะของรัศมีวงกลม และ W ของแต่ละเงื่อนไขแบบสุ่ม
10. ดำเนินการปฏิบัติจริงโดยกำหนดให้ผู้เข้าร่วมทดลองใช้นิ้วชี้วาดสัมผัสในบริเวณพื้นที่เป้าหมายที่กำหนดไว้ให้เร็วที่สุด โดยทิศทางการเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาเป็นวงกลม สลับกันเป็นจำนวน 10 ครั้งต่อเงื่อนไข สำหรับแต่ละท่าทางการถือ ตามรูปแบบการทดลองที่ได้กำหนดไว้ ดังตารางที่ 3.3
11. บันทึกค่าที่ได้จากโปรแกรม โดยบันทึกชื่อไฟล์ที่ได้ให้เป็นรูปแบบเดียวกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3. 3 เงื่อนไขดัชนีความยากของงาน (ID) ตามความกว้างของเป้าหมาย (Width) และระยะทางเป้าหมาย (Amplitude) สำหรับรูปแบบงานการวาดสัมผัสตามกฎของ Steering

ดัชนีความยากของงาน (ID)	รัศมีของระยะทางเป้าหมาย (Amplitude)	ความกว้างของเป้าหมาย (Width)
3.14	100 พิกเซล (16.4 มม.)	80 พิกเซล (13.1 มม.)
4.06	200 พิกเซล (32.8 มม.)	80 พิกเซล (13.1 มม.)
5.42	200 พิกเซล (32.8 มม.)	30 พิกเซล (4.9 มม.)

12. ดำเนินการให้ครบตามรูปแบบงานตารางที่ 3.1 ถือว่าเสร็จสิ้นสำหรับ 1 ช่วงระยะเวลา และดำเนินการเช่นนี้อีก 2 ครั้ง รวมทั้งสิ้นเป็น 3 ช่วงระยะเวลาการดำเนินงาน
13. กำหนดให้เพศชายถือแท็บเล็ตด้วยมือข้างหนึ่งที่ไม่ถนัดประมาณ 5 นาที และขณะถือแท็บเล็ตอนุญาตให้ผู้ทดลองสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับแท็บเล็ตได้ตามความสมัครใจ เช่น ดูภาพยนตร์ เล่นเกม ท่องอินเตอร์เน็ตต่างๆ เป็นต้น (ถ้าผู้ร่วมทดลองเป็นเพศหญิงไม่ต้องดำเนินการข้อนี้ ให้ข้ามไปข้อ 14)
14. ดำเนินการทดสอบตามขั้นตอนที่ 4 - 12 ทันที โดยไม่มีการหยุดพัก
15. หลังจากดำเนินการเสร็จสิ้นดังขั้นตอนที่ 14 กำหนดให้เพศชายถือแท็บเล็ตไว้อย่างต่อเนื่องอีกเป็นเวลาประมาณ 5 นาที (ถ้าผู้ร่วมทดลองเป็นเพศหญิงไม่ต้องดำเนินการข้อนี้ ให้ข้ามไปข้อ 16)
16. ดำเนินการทดสอบตามขั้นตอนที่ 4 - 12 ทันที โดยไม่มีการหยุดพัก
17. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 – 16 สำหรับท่าทางที่เหลือตามที่กำหนดไว้สำหรับท่าถือทั้งหมด 3 ท่า
18. เปลี่ยนผู้เข้าทำการทดลอง แล้วทำซ้ำข้อ 1 – 17

3.6 การประเมินผลจากการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็นงาน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบแตะสัมผัส (Tap) และรูปแบบวาดสัมผัส (Drag) จากโปรแกรม Speed & Accuracy Trade off : Fitts & Schmidt’s Law ใช้สำหรับรูปแบบงาน Tap และโปรแกรม ErgoCircularDrag ใช้สำหรับรูปแบบงาน Drag ผลลัพธ์ที่ได้ถูกกำหนดเงื่อนไข ดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

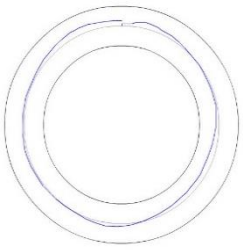
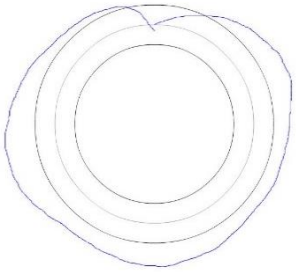
3.6.1 การตรวจสอบงานรูปแบบแตะสัมผัส (Tap)

งานสำหรับรูปแบบแตะสัมผัส (Tap) ทำการทดลองผ่านโปรแกรม Speed & Accuracy Trade off : Fitts & Schmidt's Law ที่ได้สร้างขึ้นมา โดยที่โปรแกรมแสดงผลลัพธ์ของระยะเวลาการเคลื่อนที่ (MT) จากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายตามเงื่อนไขที่กำหนดก็ต่อเมื่อมีการแตะสัมผัสในบริเวณเป้าหมายโดยถ้าสั่งการบนจอระบบสัมผัสออกนอกเป้าหมายที่กำหนด โปรแกรมจะยังไม่เริ่มต้นนับเวลา ดังนั้นจากผลลัพธ์ที่ได้จึงถือว่าผ่านการเกณฑ์ประเมินทุกผลลัพธ์

3.6.2 การตรวจสอบงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag)

งานสำหรับรูปแบบวาดสัมผัส (Drag) ทำการทดลองผ่านโปรแกรม ErgoCircularDrag ที่ได้สร้างขึ้นมา โดยที่โปรแกรมแสดงผลลัพธ์ของระยะเวลาการเคลื่อนที่ (MT) จากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายตามเงื่อนไขที่กำหนด และรูปภาพของผลลัพธ์ที่ได้แต่ละเงื่อนไข จึงต้องตรวจสอบและประเมินผลลัพธ์ที่ได้ดังตารางที่ 3.4 และถ้าผลลัพธ์ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจะถูกตัดออกโดยไม่นำมาวิเคราะห์ผล

ตารางที่ 3. 4 เกณฑ์การตรวจสอบงานรูปแบบ Drag

รูปแบบงาน	เกณฑ์การประเมิน	
	ผ่าน	ไม่ผ่าน
วาดสัมผัส (Drag)	วาดสัมผัสตามแนวเส้นวงกลมโดยอยู่ในขอบเขตที่กำหนดและไม่ออกนอกพื้นที่เป้าหมายวงกลมรอบทั้งวง 	วาดสัมผัสตามแนวเส้นวงกลมโดยออกนอกพื้นที่เป้าหมายวงกลมรอบทั้งวง 

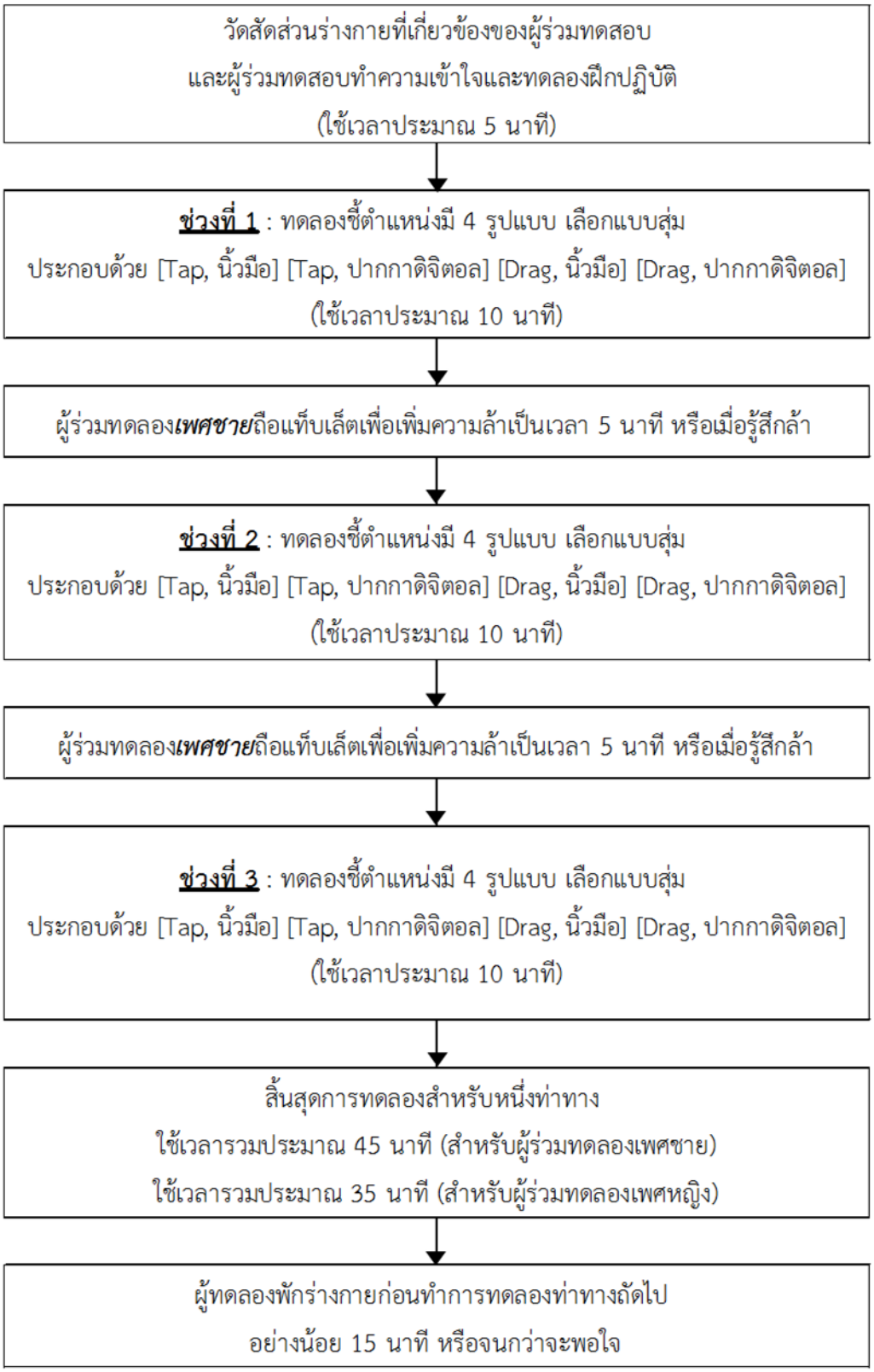
3.7 เวลาที่ผู้ทดสอบอยู่ในกระบวนการเก็บข้อมูล

การทดสอบการชี้ตำแหน่งบนหน้าจอแท็บเล็ต 1 ท่าทาง ต่อ 1 คน ใช้ระยะเวลาในการทดสอบประมาณ 45 นาที ดังภาพที่ 3.8 การทดสอบสำหรับผู้เข้าร่วมทดลอง 1 คน ประกอบด้วย 3 ท่าทางการถือ และ 1 ท่าทางสำหรับวางบนโต๊ะ (ทำการทดลองเฉพาะช่วงที่ 1) เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิง

และกำหนดให้ผู้ทดลอง 1 คนดำเนินการทดลองซ้ำเช่นเดิมอีก 1 รอบ ดังนั้นในกรณีที่ผู้ร่วมทดลอง 1 คนทำการทดลองได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์จะใช้ระยะเวลาในกระบวนการเก็บข้อมูลทั้งหมดประมาณ 5 ชั่วโมงสำหรับผู้ร่วมทดลองชาย และประมาณ 3 ชั่วโมง 30 นาที สำหรับผู้ร่วมทดลองหญิง งานวิจัยนี้จะดำเนินการทดลองจากผู้เข้าร่วมทดลองจำนวน 8 คน ดังนั้นขั้นตอนการเก็บข้อมูลจากผู้ร่วมทดลองใช้เวลาทั้งสิ้นประมา 34 ชั่วโมง โดยประมาณการจัดตารางการทดลองสำหรับ 1 วัน จะทำการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ 9.00 น. ถึง 12.00 น. และ 13.00 น. ถึง 16.00 น. ช่วงเวลาละ 3 คน และสำหรับ 1 คน ทำการทดลองช่วงเวลาละ 1 ท่าทางที่กำหนดไว้ เพื่อไม่ให้เกิดความล้าสะสมจากการทดลองการถือแท็บเล็ต ดังนั้นท่าทางการถือทั้ง 3 ท่า จึงถูกกำหนดให้มีระยะเวลาการพักร่างกายอย่างน้อย 15 นาทีหรือจนกว่าผู้ร่วมทดลองจะพอใจระหว่างการทดลองแต่ละท่าทาง เพื่อสะดวกต่อการนัดหมายผู้ร่วมทดลองจึงจัดตารางให้ผู้ร่วมทดลอง 1 คน ดำเนินการทดลอง 2 วัน วันละ 2 ท่าทาง รวมเป็น 4 ท่าทาง (3 ท่าทางการถือ และ 1 ท่าทางการวางบนโต๊ะ) นอกจากนั้นสำหรับผู้ร่วมทำการทดลอง 1 คน จะต้องดำเนินการทำซ้ำเช่นเดิมอีก 1 รอบ ดังนั้นในกรณีที่สามารถทำการทดลองได้โดยสมบูรณ์สำหรับผู้ร่วมทดลองทั้งหมด 8 คน จะมีกำหนดการในการทำการทดลองทั้งสิ้น 12 วัน โดยทำการทดลองสัปดาห์ละ 2 วัน (เสาร์ และอาทิตย์) รวมเป็น 6 สัปดาห์ ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3. 5 ตารางการจัดการวันและเวลาสำหรับผู้ร่วมการทดลอง

สัปดาห์ที่	วันเสาร์		วันอาทิตย์	
	9.00 น. ถึง 12.00 น.	13.00 น. ถึง 16.00 น.	9.00 น. ถึง 12.00 น.	13.00 น. ถึง 16.00 น.
1	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3
2	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3
3	4, 5, 6	4, 5, 6	4, 5, 6	4, 5, 6
4	4, 5, 6	4, 5, 6	4, 5, 6	4, 5, 6
5	7, 8, สำรอง	7, 8, สำรอง	7, 8, สำรอง	7, 8, สำรอง
6	7, 8, สำรอง	7, 8, สำรอง	7, 8, สำรอง	7, 8, สำรอง



ภาพที่ 3. 8 แผนผังขั้นตอนการทดลอง

3.8 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษางาน 2 ประเภท คือ งานแตะสัมผัส และงานวาดสัมผัส ซึ่งได้กำหนดรูปแบบการทดลองของงานทั้งสองประเภท เป็นแบบ Full Factorial Design 3x2x3 (ท่าทางxอุปกรณ์xช่วงระยะเวลา) โดยมีระดับแต่ละปัจจัยดังนี้ 1. ท่าทางแบ่งออกเป็น CG, FH และ TE 2. อุปกรณ์นำเข้า แบ่งออกเป็น นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล 3. ช่วงเวลาทำงาน แบ่งออกเป็น ช่วงเวลาที่ 1, ช่วงเวลาที่ 2 และ ช่วงเวลาที่ 3 ดำเนินการทดลองจากผู้ร่วมทดลองทั้ง 8 คน จึงมีผลการทดลองทั้งหมด 144 ค่า สำหรับงาน 1 รูปแบบ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.6 และ 3.7

ตารางที่ 3. 6 การออกแบบการทดลองสำหรับการชี้ตำแหน่งแบบแตะสัมผัส (Tap)

ลำดับ	ปัจจัยต้น			ปัจจัยตาม ค่าสมรรถนะ							
	ท่าทาง	อุปกรณ์	ช่วงเวลา	F1	F2	F3	F4	M1	M2	M3	M4
1	CG	Finger	1								
2	CG	Finger	2								
3	CG	Finger	3								
4	CG	Digital Pen	1								
5	CG	Digital Pen	2								
6	CG	Digital Pen	3								
7	FH	Finger	1								
8	FH	Finger	2								
9	FH	Finger	3								
10	FH	Digital Pen	1								
11	FH	Digital Pen	2								
12	FH	Digital Pen	3								
13	TE	Finger	1								
14	TE	Finger	2								
15	TE	Finger	3								
16	TE	Digital Pen	1								
17	TE	Digital Pen	2								
18	TE	Digital Pen	3								

หมายเหตุ : ท่าทางการใช้งานแท็บเล็ต CG คือ Clipboard Grip, FH คือ Flat Hand และ TE คือ Thumb Extended with Thenar Support

ตารางที่ 3. 7 การออกแบบการทดลองสำหรับการชี้ตำแหน่งแบบวาดสัมผัส (Drag)

ลำดับ	ปัจจัยต้น			ปัจจัยตาม ค่าสมรรถนะ							
	ท่าทาง	อุปกรณ์	ช่วงเวลา	F1	F2	F3	F4	M1	M2	M3	M4
1	CG	Finger	1								
2	CG	Finger	2								
3	CG	Finger	3								
4	CG	Digital Pen	1								
5	CG	Digital Pen	2								
6	CG	Digital Pen	3								
7	FH	Finger	1								
8	FH	Finger	2								
9	FH	Finger	3								
10	FH	Digital Pen	1								
11	FH	Digital Pen	2								
12	FH	Digital Pen	3								
13	TE	Finger	1								
14	TE	Finger	2								
15	TE	Finger	3								
16	TE	Digital Pen	1								
17	TE	Digital Pen	2								
18	TE	Digital Pen	3								

หมายเหตุ : ท่าทางการใช้งานแท็บเล็ต CG คือ Clipboard Grip, FH คือ Flat Hand และ TE คือ Thumb Extended with Thenar Support

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.9 ขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผล

3.9.1 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น คือ

- ท่าทางการถือแท็บเล็ตขณะใช้งาน (CG, FH, TE)
- อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล)
- ช่วงระยะเวลาการใช้งานแท็บเล็ต (ช่วงที่ 1 ช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3)

ตัวแปรตาม คือ

- ระยะเวลาตอบสนอง (Movement Time) ที่ ระดับความยากที่ 1 ถึง 3
- ค่าสมรรถนะการใช้งาน (คำนวนจากค่าระยะเวลาตอบสนอง ที่ระดับความยากทั้ง 3 ระดับ)

ตัวแปรควบคุม คือ

- การกำหนดสถานีงาน
- ระยะการมองที่ประมาณ 40 เซนติเมตร
- ระยะเวลาในการถือเพื่อทดสอบความล้า
- ระยะเวลาในการพัก

3.9.2 การวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (Experiment) หมายถึง กระบวนการค้นหาความรู้ความจริงโดยศึกษาความเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการทดลองที่เกิดขึ้น ภายใต้เงื่อนไขหรือสถานการณ์ที่ควบคุมตามเงื่อนไขที่กำหนดและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของผู้ใช้งานแท็บเล็ตจากท่าทางการถือต่างๆ โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ผลการทดลองวิธี DOE รูปแบบ General Full Factorial เนื่องจากการทดลองแต่ละครั้งในแต่ละปัจจัยจะมีระดับหลายๆ ค่า แบบกำหนดตายตัว (Fixed Level) ประกอบด้วย 3 ปัจจัยที่ทำการทดลอง ทั้งสำหรับงานรูปแบบ Tap และ Drag แสดงดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3. 8 ปัจจัยและระดับของปัจจัยจากการทดลองสำหรับงานรูปแบบ Tap และ Drag

ปัจจัย	**ระดับของปัจจัย**	**ค่าของปัจจัย**		
ท่าทางการถือ	3	CG	FH	TE
อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล	2	นิ้วมือ	ปากกาดิจิตอล	-
ช่วงระยะเวลาการใช้งาน	3	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ต้องการประเมินสมรรถนะผู้ใช้งานเมื่อมีท่าทางการถือแท็บเล็ตที่แตกต่างกัน 3 ท่า ได้แก่ Clipboard Grip (CG), Flat Hand (FH) และ Thumb Extended with Thenar Support (TE) โดยทดสอบกับอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลระหว่างการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลสัมผัสหน้าจอแท็บเล็ต ทำการทดสอบกับผู้ร่วมทดลองจำนวน 8 คน แต่ละคนทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้งสำหรับทุกเงื่อนไขของภาระงาน และรูปแบบงานที่ทำการศึกษาทั้งหมดประกอบด้วย 2 รูปแบบ ดังนี้

1. งานรูปแบบแตะสัมผัส (Tap)
2. งานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag)

การทดลองนี้ดำเนินการทดลองโดยมีผู้ร่วมทดลองที่สมัครใจจำนวน 8 คน เป็นเพศหญิง 4 คน และเพศชาย 4 คน มีอายุระหว่าง 25–29 ปี มีประสบการณ์การใช้อุปกรณ์แบบหน้าจอสัมผัสมาก่อนทั้งสิ้น ระหว่าง 3 ถึง 4 ปี ทั้งเพศชายและเพศหญิง ก่อนการทดลองผู้ร่วมทดลองทั้งหมดถูกวัดขนาดสัดส่วนร่างกาย ดังนี้ ความยาวมือที่วัดจากปลายนิ้วที่ยาวที่สุดจนถึงข้อมือสำหรับเพศหญิงมีขนาดระหว่าง 17.3-18.2 เซนติเมตร เพศชายมีขนาดระหว่าง 18-19.2 เซนติเมตร ส่วนความกว้างมือเพศหญิงมีขนาดระหว่าง 9.5-10 เซนติเมตร เพศชายมีขนาดระหว่าง 10.3-11.3 เซนติเมตร และความกว้างนิ้วสำหรับเพศหญิงมีขนาดระหว่าง 2-2.2 เซนติเมตร เพศชายมีขนาดระหว่าง 2.3-2.4 เซนติเมตร ดังนั้นเพศชายจึงมีขนาดสัดส่วนมือและนิ้วที่ใหญ่กว่าเพศหญิง การทดลองนี้อาสาสมัครทุกคนมีความถนัดมือขวาทั้งสิ้น ดังนั้นการทดลองจึงถูกทดลองโดยให้ผู้ร่วมทดลองถือแท็บเล็ตด้วยมือซ้าย และใช้นิ้วมือข้างขวาสัมผัสหน้าจอตามรูปแบบภาระงานต่างๆที่กำหนดไว้ เป็นท่าทางเช่นนี้สำหรับผู้ร่วมทดลองทุกคน ดังตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลเบื้องต้นของผู้ร่วมทดลอง

ตารางที่ 4. 1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้ร่วมทดลอง

ผู้ร่วมทดลอง	เพศ	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	ความยาวมือ (ซม.)	ความกว้างมือ (ซม.)	ความกว้างนิ้ว (ซม.)	ประสบการณ์การใช้อุปกรณ์แบบหน้าจอสัมผัส (ปี)
Female1	หญิง	25	50	160	18.2	9.5	2.0	3
Female2	หญิง	28	54	165	17.6	9.8	2.1	3.5
Female3	หญิง	26	44	164	18.0	10.0	2.2	3
Female4	หญิง	28	57	162	17.3	10.0	2.0	4
Male1	ชาย	26	80	178	19.0	11.3	2.3	3
Male2	ชาย	25	67	175	18.0	10.3	2.4	3
Male3	ชาย	29	71	180	19.0	10.5	2.4	4
Male4	ชาย	27	72	179	19.2	10.7	2.3	3.5
ค่าเฉลี่ย		26.8	61.9	170.4	18.3	10.3	2.2	3.4
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1.5	12.5	8.4	0.7	0.6	0.2	0.4

งานวิจัยนี้ประเมินและเปรียบเทียบท่าทางการใช้งานแท็บเล็ตที่แตกต่างกัน โดยวิเคราะห์ผลแบ่งออกเป็น 2 ตัวชี้วัด ได้แก่ ค่าสมรรถนะ (Index of Performance) และระยะเวลาการตอบสนอง (Movement Time) จากงานที่มีระดับความยากมากที่สุด (ID_3) ศึกษาจากรูปแบบงาน 2 รูปแบบ ได้แก่ การดำเนินงานรูปแบบแตะสัมผัส (Tap) และการดำเนินงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag) แต่ละรูปแบบงานถูกวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าตัวชี้วัดต่างๆขณะดำเนินงานบนหน้าจอแท็บเล็ตแบ่งออกเป็น 3 ปัจจัย ได้แก่ ท่าทางการถือ (CG, FH และ TE) อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) และช่วงระยะเวลาการใช้งานแท็บเล็ต (ช่วงที่ 1, ช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3) โดยแสดงรายละเอียดผลการทดลองจากโปรแกรม Minitab ดังต่อไปนี้

4.1 การประเมินสมรรถนะของผู้ใช้งานแท็บเล็ต

4.1.1 งานรูปแบบแตะสัมผัส (Tap)

4.1.1.1 ผลการทดลอง

เมื่อผู้ร่วมทดลองดำเนินการทดลองสำหรับงานรูปแบบแตะสัมผัส (Tap) ตามที่ได้กำหนดไว้แล้ว ได้ผลค่าสมรรถนะจากการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4. 2 ผลค่าสมรรถนะจากการทดลองสำหรับงานรูปแบบแตะสัมผัส (Tap)

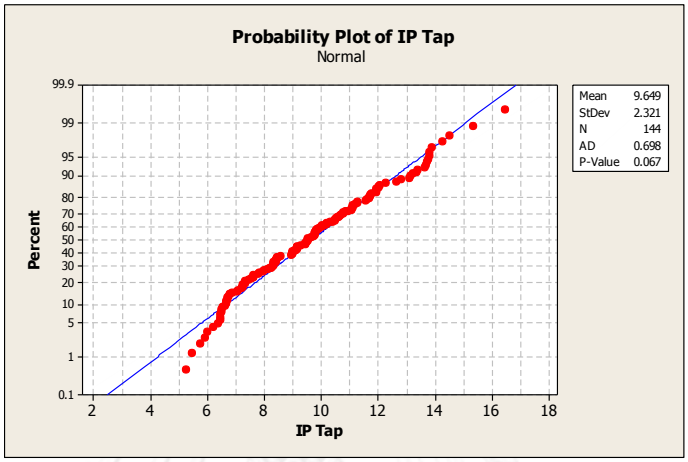
ปัจจัยต้น			ปัจจัยตาม							
			ค่าสมรรถนะ (Index of Performance)							
ท่าทาง	อุปกรณ์	ช่วงเวลา	F1	F2	F3	F4	M1	M2	M3	M4
CG	Finger	1	13.77	10.59	13.64	13.38	9.01	9.47	13.88	10.39
CG	Finger	2	11.11	7.47	9.45	13.68	9.18	9.50	10.48	8.43
CG	Finger	3	11.10	9.15	8.35	11.27	10.62	10.71	11.72	11.67
CG	Digital Pen	1	8.46	12.09	6.79	9.54	8.13	6.51	6.89	7.36
CG	Digital Pen	2	10.04	9.82	7.25	9.73	7.27	8.27	7.56	7.62
CG	Digital Pen	3	9.95	6.68	7.35	8.60	6.47	6.63	6.55	9.01
FH	Finger	1	10.48	10.76	13.10	10.78	9.80	15.34	10.67	11.55
FH	Finger	2	9.92	7.27	9.18	12.64	13.34	14.53	11.95	13.13
FH	Finger	3	11.69	8.98	12.03	14.25	7.64	13.75	9.12	12.01
FH	Digital Pen	1	7.23	9.78	9.55	11.26	5.28	7.81	5.95	9.27
FH	Digital Pen	2	7.32	7.04	6.51	6.72	6.20	7.96	5.77	10.21
FH	Digital Pen	3	6.41	11.09	8.33	8.25	5.99	11.63	6.73	9.76
TE	Finger	1	13.79	10.22	10.88	16.48	11.07	11.96	11.76	8.97
TE	Finger	2	8.52	10.33	10.52	9.67	10.04	9.80	8.33	9.54
TE	Finger	3	9.77	8.31	10.96	8.42	11.72	8.42	12.81	11.09
TE	Digital Pen	1	6.46	8.00	8.47	12.28	9.16	8.20	6.67	7.86
TE	Digital Pen	2	5.49	9.54	6.46	10.13	9.07	6.74	7.63	7.08
TE	Digital Pen	3	13.21	11.94	9.01	13.81	9.82	11.19	9.47	9.87

4.1.1.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยเริ่มจากการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ว่ามีข้อผิดพลาดหรือเป็นไปตามตามหลัก Fitts' Law หรือไม่ โดยทำการทดสอบเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดสอบตามสมมติฐาน 3 รูปแบบ คือ การแจกแจงปกติ ความเป็นอิสระ และความเสถียรภาพของความแปรปรวน

1. การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

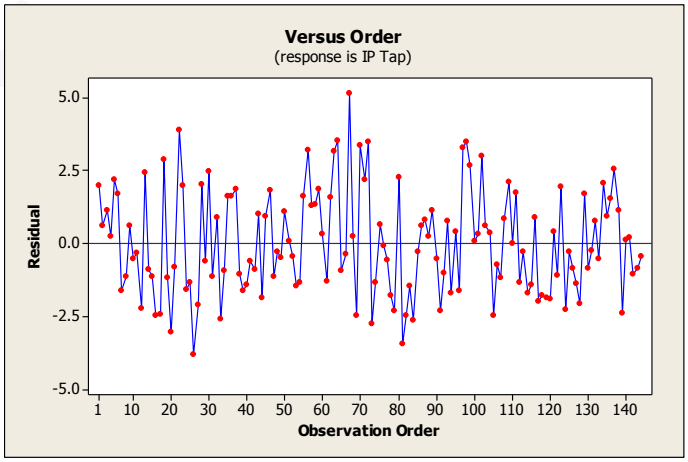
การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ โดยการพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ดังภาพที่ 4.1 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าค่าสมรรถนะจากการดำเนินงานรูปแบบ Tap มีการกระจายตัวของข้อมูลตามแนวเส้นตรง



ภาพที่ 4. 1 แผนภาพ Probability Plot ของค่าสมรรถนะงานรูปแบบ Tap

2. การทดสอบสมมุติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Assumption)

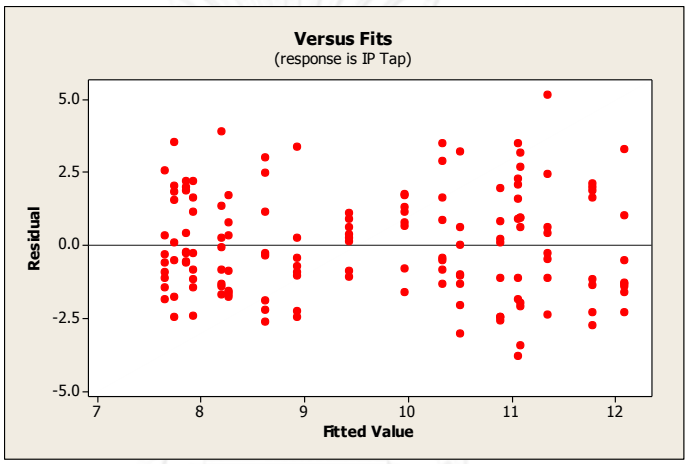
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual) โดยพิจารณาจากการกระจายตัว แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับแรกของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่มีอิสระต่อกัน จากภาพที่ 4.2 เห็นได้ว่าส่วนตกค้างของค่าสมรรถนะจากการดำเนินงานรูปแบบ Tap มีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 4. 2 แผนภาพ Residual Versus Order ของค่าสมรรถนะงานรูปแบบ Tap

3. การทดสอบสมมุติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลเป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด ซึ่งจากภาพที่ 4.3 พบว่าค่าสมรรถนะจากงานรูปแบบ Tap ไม่มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบกรวยปากเปิด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



ภาพที่ 4. 3 แผนภาพ Residual Versus Fits ของค่าสมรรถนะงานรูปแบบ Tap

4.1.1.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะ

จากการทดสอบความน่าเชื่อถือว่าข้อมูลอยู่ในสมมติฐาน 3 ข้อ ดังข้างต้นแล้ว จึงสามารถวิเคราะห์ผลทางสถิติจากโปรแกรม Minitab ได้ผลดังภาพที่ 4.4 พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีปัจจัยหลัก (Main Effect) 2 ปัจจัย ที่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะในการดำเนินงานรูปแบบ Tap คือ อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) และช่วงระยะเวลาการถือต่อเนื่องขณะใช้งานแท็บเล็ต (ช่วงที่1, ช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3) นอกจากนั้นยังมีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยเรื่องท่าทางและอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่ใช้ที่มีผลต่อค่าสมรรถนะอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปัจจัยเรื่องท่าทางการถือขณะใช้งานแท็บเล็ตเป็นตัวแปรสำคัญที่ต้องการศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ แต่ผลที่ได้ทำให้ทราบว่าปัจจัยเรื่องท่าทางการถือ ไม่ว่าจะเป็นท่าทาง CG, FH หรือ TE ตามที่ได้ทดลอง ไม่มีผลต่อค่าสมรรถนะในการดำเนินงานรูปแบบ Tap

General Linear Model: IP Tap versus Posture, Input Device, Period

Factor	Type	Levels	Values
Posture	fixed	3	CG, FH, TE
Input Device	fixed	2	นิ้วมือ, ปากกาดิจิตอล
Period	fixed	3	ช่วงที่ 1, ช่วงที่ 2, ช่วงที่ 3

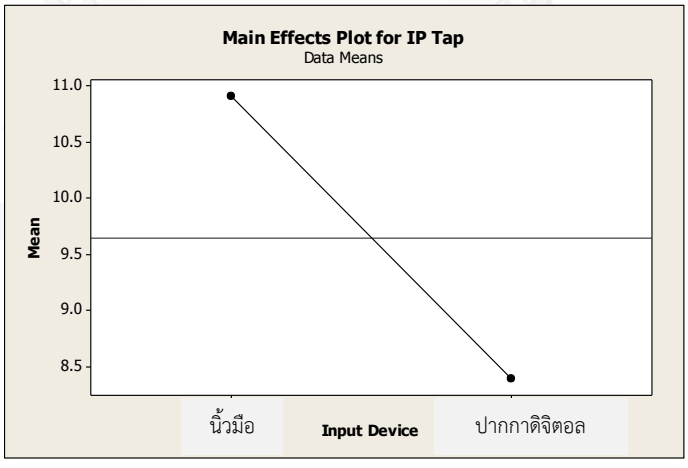
Analysis of Variance for IP Tap, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Posture	2	3.739	3.739	1.870	0.54	0.585
Input Device	1	227.791	227.791	227.791	65.49	0.000
Period	2	24.568	24.568	12.284	3.53	0.032
Posture*Input Device	2	22.382	22.382	11.191	3.22	0.043
Posture*Period	4	18.569	18.569	4.642	1.33	0.261
Input Device*Period	2	21.056	21.056	10.528	3.03	0.052
Error	130	452.163	452.163	3.478		
Total	143	770.269				

S = 1.86499 R-Sq = 41.30% R-Sq(adj) = 35.43%

ภาพที่ 4. 4 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมรรถนะของงานรูปแบบ Tap

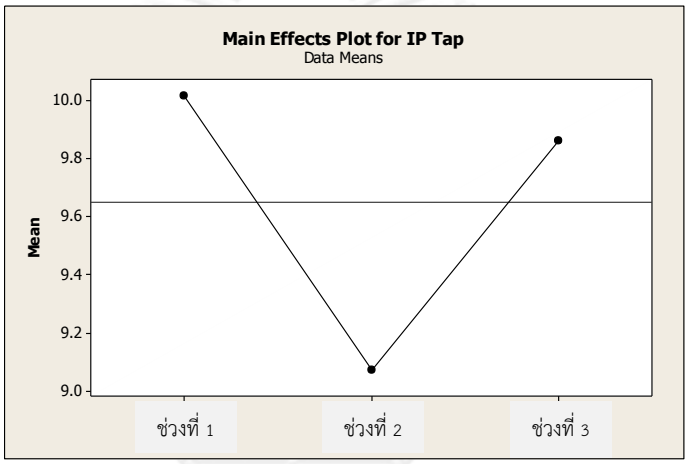
ดังที่ได้วิเคราะห์ข้างต้นว่าอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และ ปากกาดิจิตอล) เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะในการดำเนินงานรูปแบบ Tap อย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-Value < 0.05) ดังภาพที่ 4.5 แสดง Main Effects Plot ของกลุ่มข้อมูลแบ่งตามอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล ซึ่งสามารถแปลผลได้ว่า อุปกรณ์นำเข้าข้อมูลประเภทนิ้วมือ ให้ค่าสมรรถนะการดำเนินงานสูงที่สุดหรือดีที่สุดสำหรับงานรูปแบบ Tap



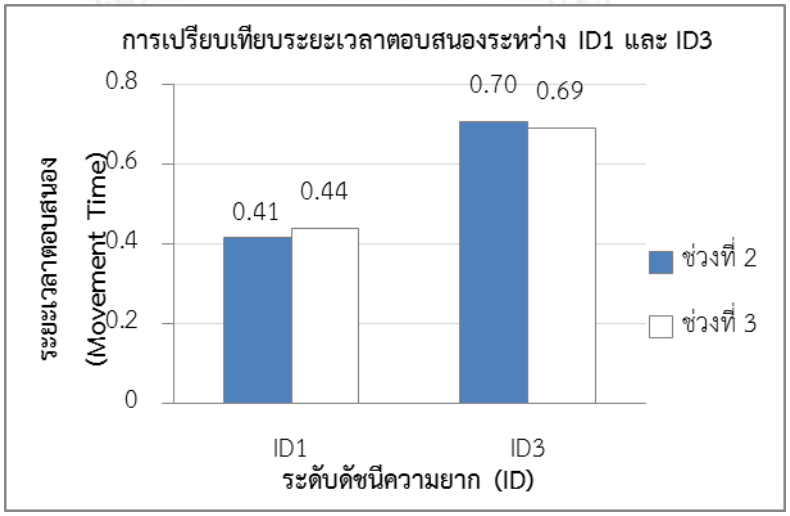
ภาพที่ 4. 5 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะเปรียบเทียบระหว่างการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลงานรูปแบบ Tap

นอกจากนั้นยังพบอีกว่าช่วงระยะเวลาการถือต่อเนื่องขณะใช้งานแท็บเล็ต (ช่วงที่1, ช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3) เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะจากการดำเนินงานรูปแบบ Tap อย่างมี

นัยสำคัญ (ค่า P-Value < 0.05) จึงแสดง Main Effects Plot ของกลุ่มข้อมูลแบ่งตามช่วงระยะเวลา ดังภาพที่ 4.6 ซึ่งสามารถแปลผลได้ว่า ช่วงแรกเป็นช่วงระยะเวลาที่สามารถดำเนินงานรูปแบบ Tap บนคอมพิวเตอร์แท็บเล็ตแล้วมีสมรรถนะสูงที่สุด แล้วจึงลดลงในช่วงเวลาถัดมา และช่วงระยะเวลานานขึ้นในช่วงสุดท้ายกลับมีค่าสมรรถนะที่เพิ่มขึ้น จึงวิเคราะห์ถึงเหตุผลส่วนหนึ่งมาจากผู้ร่วมทดลองส่วนใหญ่ดำเนินงานรูปแบบนี้โดยที่ช่วงที่ 3 ใช้เวลาในการตอบสนอง (Movement Time) มากขึ้นจากงานที่มีดัชนีความยากน้อย (ID_1) ส่วนงานที่มีดัชนีความยากมาก (ID_3) ใช้ระยะเวลาตอบสนองไม่แตกต่าง หรือแตกต่างเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงที่ 2 ดังภาพที่ 4.7 ทำให้ค่าความชันลดลงหรือค่าสมรรถนะเพิ่มขึ้นจึงไม่สัมพันธ์กับช่วงระยะเวลาการทำงานที่นานขึ้น

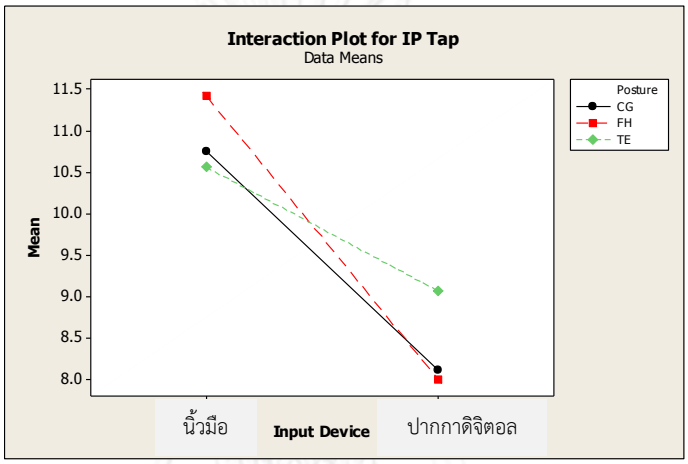


ภาพที่ 4. 6 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะเปรียบเทียบระหว่างช่วงระยะเวลาการใช้งานรูปแบบ Tap



ภาพที่ 4. 7 ระยะเวลาตอบสนองเปรียบเทียบระหว่างช่วงระยะเวลาการใช้งานรูปแบบ Tap ที่ระดับดัชนีความยากที่ 1 (ซ้าย) และ 3 (ขวา)

ปัจจัยร่วมระหว่างท่าทางและอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่มีอิทธิพลร่วมกันต่อสมรรถนะจากการดำเนินงานรูปแบบ Tap อย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-Value < 0.05) โดยที่การใช้ท่าทางใดท่าทางหนึ่งร่วมกับอุปกรณ์ที่แตกต่างกันมีผลต่อสมรรถนะที่ได้ จึงแสดง Interaction Plot ดังภาพที่ 4.8 พบว่าการใช้นิ้วมือร่วมกับท่า FH ในการดำเนินงานให้ค่าสมรรถนะสูงที่สุด แต่ถ้าเปลี่ยนเป็นใช้ปากกาดิจิตอลร่วมกับท่าทาง FH เช่นเดิม ค่าสมรรถนที่ได้กลับมีค่าน้อยที่สุด เช่นเดียวกับท่า TE ที่ให้ผลตรงกันข้ามระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกันในการทำงาน และค่าสมรรถนะจากทุกท่าทางเมื่อดำเนินงานรูปแบบ Tap ร่วมกับการใช้นิ้วมือให้สมรรถนะสูงกว่าการใช้ปากกาดิจิตอล



ภาพที่ 4. 8 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะเปรียบเทียบระหว่างปัจจัยร่วมเรื่องท่าทางและอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลจากการใช้งานรูปแบบ Tap

4.1.2 งานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag)

4.1.2.1 ผลการดำเนินการทดลองสำหรับงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag)

เมื่อผู้ร่วมทดลองดำเนินการทดลองสำหรับงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag) ตามที่ได้กำหนดไว้แล้ว ได้ผลค่าสมรรถนะจากการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4. 3 ผลค่าสมรรถนะจากการทดลองสำหรับงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag)

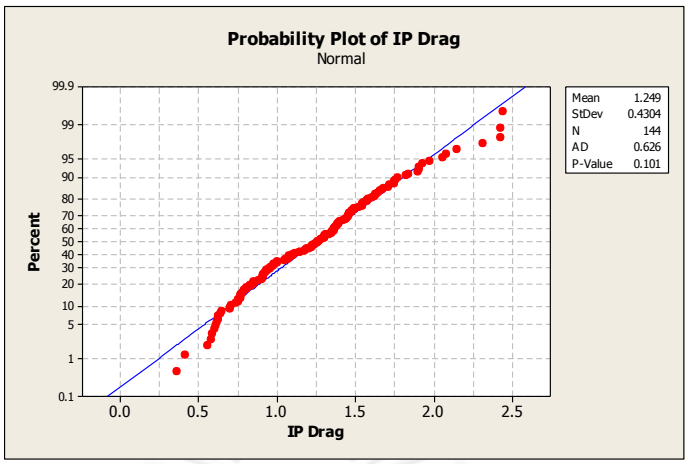
ปัจจัยต้น			ปัจจัยตาม							
			ค่าสมรรถนะ (Index of Performance)							
ท่าทาง	อุปกรณ์	ช่วงเวลา	F1	F2	F3	F4	M1	M2	M3	M4
CG	Finger	1	1.97	1.20	1.22	1.36	1.67	0.59	0.74	1.37
CG	Finger	2	2.31	1.22	1.72	1.45	1.45	0.78	0.36	1.37
CG	Finger	3	2.42	1.07	2.42	1.58	1.55	0.85	0.60	1.63
CG	Digital Pen	1	0.93	1.30	1.05	1.60	1.46	0.63	0.55	1.48
CG	Digital Pen	2	0.90	1.00	1.08	1.63	1.25	0.83	0.41	1.39
CG	Digital Pen	3	0.91	0.92	2.14	1.24	1.37	0.71	0.65	1.68
FH	Finger	1	1.57	1.05	1.38	1.31	1.42	0.91	0.85	1.93
FH	Finger	2	1.77	1.11	1.65	1.27	1.44	0.58	0.77	1.48
FH	Finger	3	1.30	1.26	1.10	0.96	0.98	0.85	0.79	2.44
FH	Digital Pen	1	1.39	1.00	1.75	1.26	0.92	0.91	0.90	1.54
FH	Digital Pen	2	0.93	0.97	2.08	1.36	1.18	0.62	0.62	1.30
FH	Digital Pen	3	0.75	1.10	1.55	0.70	0.61	0.76	0.64	1.61
TE	Finger	1	1.74	1.55	1.82	1.49	1.89	0.94	0.95	1.49
TE	Finger	2	1.34	0.99	1.71	1.52	1.44	0.70	0.77	1.35
TE	Finger	3	1.14	2.05	1.45	1.74	1.90	0.75	1.90	1.40
TE	Digital Pen	1	1.24	1.58	1.07	1.39	1.46	0.81	0.98	1.22
TE	Digital Pen	2	1.14	1.18	1.35	1.30	1.46	0.81	1.07	1.19
TE	Digital Pen	3	0.88	1.28	1.83	1.64	1.36	0.78	0.83	1.39

4.1.2.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองสำหรับงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag)

การวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยเริ่มจากการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ว่ามีข้อผิดพลาดหรือเป็นไปตามตามหลัก Steering หรือไม่ โดยทำการทดสอบเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดสอบตามสมมติฐาน 3 รูปแบบ คือ การแจกแจงปกติ ความเป็นอิสระ และความเสถียรภาพของความแปรปรวน

1. การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

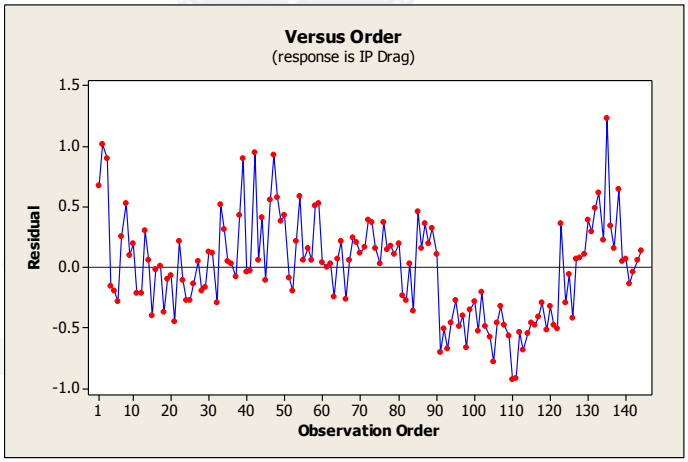
การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ โดยการพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ดังภาพที่ 4.9 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าค่าสมรรถนะจากการดำเนินงานรูปแบบ Drag มีการกระจายตัวของข้อมูลตามแนวเส้นตรง



ภาพที่ 4. 9 แผนภาพ Probability Plot ของค่าสมรรถนะงานรูปแบบ Drag

2. การทดสอบสมมุติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Assumption)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual) โดยพิจารณาจากการกระจายตัว แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับแรกของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่มีอิสระต่อกัน จากภาพที่ 4.10 เห็นได้ว่าส่วนตกค้างของค่าสมรรถนะจากการดำเนินงานรูปแบบ Drag มีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

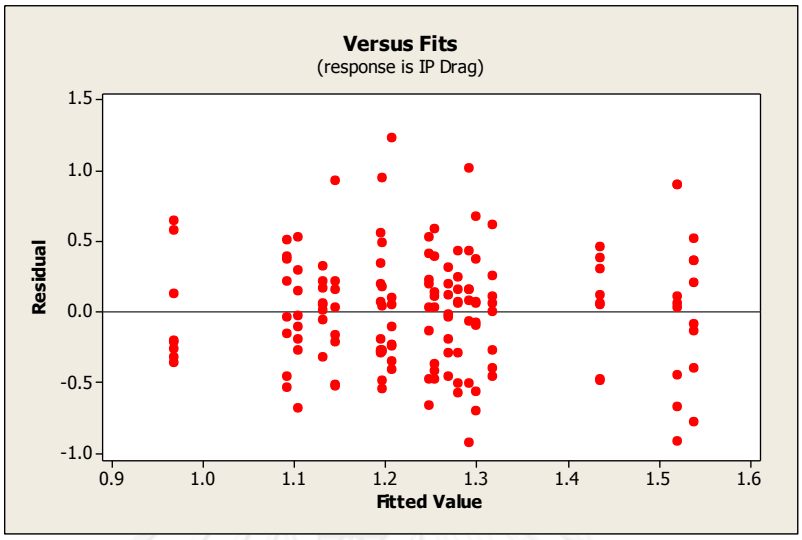


ภาพที่ 4. 10 แผนภาพ Residual Versus Order ของค่าสมรรถนะงานรูปแบบ Drag

3. การทดสอบสมมุติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลเป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบ

กรวยปากเปิด ซึ่งจากภาพที่ 4.11 พบว่าค่าสมรรถนะจากงานรูปแบบ Drag ไม่มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบกรวยปากเปิด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



ภาพที่ 4. 11 แผนภาพ Residual Versus Fits ของค่าสมรรถนะงานรูปแบบ Drag

4.1.2.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะสำหรับงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag)

จากการทดสอบความน่าเชื่อถือว่าข้อมูลอยู่ในสมมติฐาน 3 ข้อ ดังข้างต้นแล้ว จึงสามารถวิเคราะห์ผลทางสถิติจากโปรแกรม Minitab ได้ผลดังภาพที่ 4.12 พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีเพียงปัจจัยหลัก (Main Effect) ปัจจัยเดียวที่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะในการดำเนินงานรูปแบบ Drag คือ อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) และไม่มีอิทธิพลร่วมใดๆระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมรรถนะอย่างมีนัยสำคัญ มากไปกว่านั้นปัจจัยเรื่องท่าทางการถือขณะใช้งานแท็บเล็ตเป็นตัวแปรสำคัญที่ต้องการศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ แต่ผลที่ได้ทำให้ทราบว่าปัจจัยเรื่องท่าทางการถือ ไม่ว่าจะเป็นท่าทาง CG, FH หรือ TE ตามที่ได้ทดลอง ไม่มีผลต่อค่าสมรรถนะในการดำเนินงานรูปแบบ Drag

General Linear Model: IP Drag versus Posture, Input Device, Period

Factor	Type	Levels	Values
Posture	fixed	3	CG, FH, TE
Input Device	fixed	2	นิ้วมือ, ปากกาดิจิตอล
Period	fixed	3	ช่วงที่ 1, ช่วงที่ 2, ช่วงที่ 3

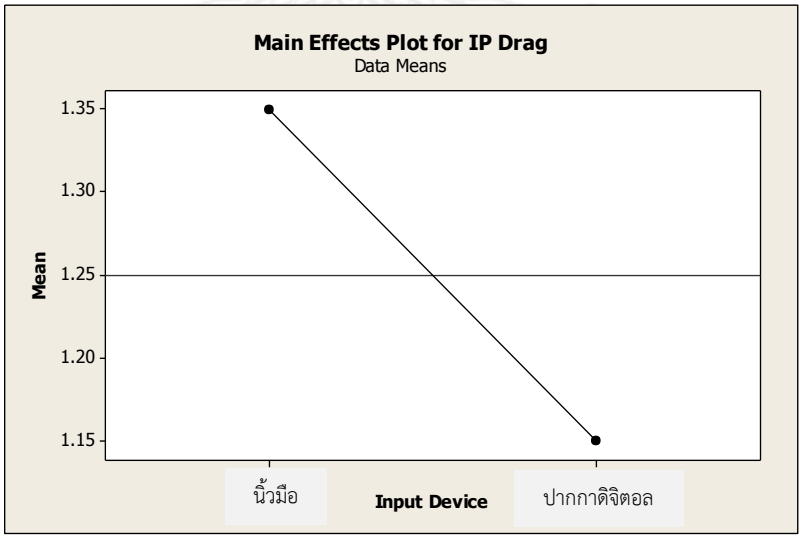
Analysis of Variance for IP Drag, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Posture	2	0.4573	0.4573	0.2287	1.26	0.287
Input Device	1	1.4150	1.4150	1.4150	7.79	0.006
Period	2	0.1825	0.1825	0.0912	0.50	0.606
Posture*Input Device	2	0.0445	0.0445	0.0223	0.12	0.885
Posture*Period	4	0.6530	0.6530	0.1632	0.90	0.467
Input Device*Period	2	0.1309	0.1309	0.0654	0.36	0.698
Error	130	23.6077	23.6077	0.1816		
Total	143	26.4909				

S = 0.426143 R-Sq = 10.88% R-Sq(adj) = 1.97%

ภาพที่ 4. 12 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมรรถนะของงานรูปแบบ Drag

ดังที่ได้วิเคราะห์ข้างต้นว่าอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ, และ ปากกาดิจิตอล) เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะในการดำเนินงานรูปแบบ Drag อย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-Value < 0.05) จึงแสดง Main Effects Plot ของกลุ่มข้อมูลแบ่งตามอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล ดังภาพที่ 4.13 ซึ่งสามารถแปลผลได้ว่า อุปกรณ์นำเข้าข้อมูลประเภทนิ้วมือ ให้ค่าสมรรถนะการดำเนินงานสูงที่สุดหรือดีที่สุดสำหรับงานรูปแบบ Drag



ภาพที่ 4. 13 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะเปรียบเทียบระหว่างการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลงานแบบ Drag

4.2 การประเมินระยะเวลาการตอบสนองของผู้ใช้งานแท็บเล็ต

4.2.1 งานรูปแบบแตะสัมผัส (Tap)

4.2.1.1 ผลการดำเนินการทดลอง

เมื่อผู้ร่วมทดลองดำเนินการทดลองสำหรับงานรูปแบบแตะสัมผัส (Tap) ตามที่ได้กำหนดไว้แล้ว พิจารณาผลของระยะเวลาการตอบสนอง (Movement Time) จากงานที่มีระดับดัชนีความยากมากที่สุด (ID_3) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4. 4 ผลระยะเวลาตอบสนองจากงานรูปแบบแตะสัมผัส (Tap)

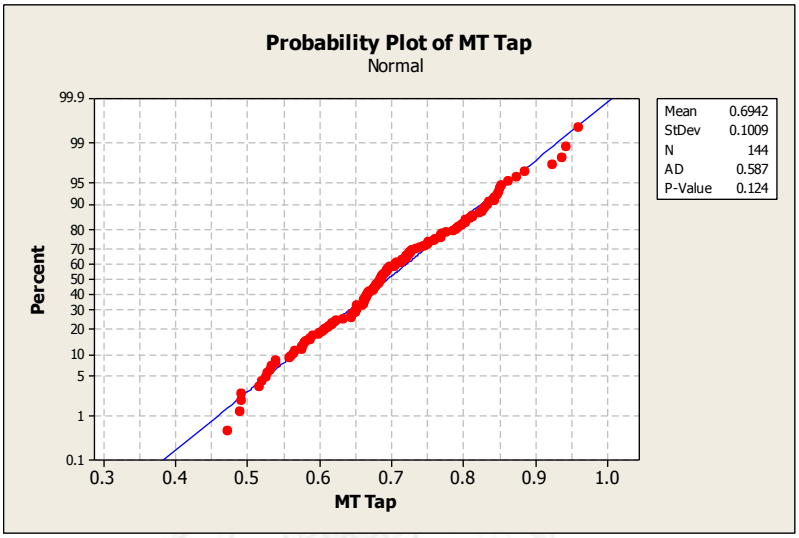
ปัจจัยต้น			ปัจจัยตาม							
			ระยะเวลาการตอบสนอง (Movement Time) ที่ ID_3							
ท่าทาง	อุปกรณ์	ช่วงเวลา	F1	F2	F3	F4	M1	M2	M3	M4
CG	Finger	1	0.58	0.65	0.49	0.65	0.59	0.65	0.53	0.69
CG	Finger	2	0.60	0.70	0.56	0.69	0.57	0.62	0.61	0.75
CG	Finger	3	0.59	0.65	0.56	0.68	0.54	0.67	0.58	0.67
CG	Digital Pen	1	0.74	0.72	0.71	0.83	0.68	0.80	0.80	0.82
CG	Digital Pen	2	0.71	0.73	0.66	0.83	0.69	0.71	0.85	0.85
CG	Digital Pen	3	0.72	0.79	0.69	0.83	0.75	0.80	0.81	0.76
FH	Finger	1	0.60	0.63	0.54	0.73	0.68	0.66	0.58	0.66
FH	Finger	2	0.57	0.66	0.58	0.69	0.61	0.73	0.49	0.62
FH	Finger	3	0.53	0.67	0.53	0.68	0.68	0.69	0.53	0.62
FH	Digital Pen	1	0.69	0.66	0.64	0.79	0.94	0.79	0.81	0.73
FH	Digital Pen	2	0.68	0.67	0.77	0.96	0.86	0.83	0.83	0.72
FH	Digital Pen	3	0.72	0.70	0.70	0.92	0.89	0.85	0.94	0.73
TE	Finger	1	0.60	0.61	0.52	0.61	0.64	0.62	0.56	0.73
TE	Finger	2	0.68	0.66	0.47	0.68	0.69	0.65	0.72	0.69
TE	Finger	3	0.68	0.65	0.49	0.69	0.66	0.65	0.52	0.67
TE	Digital Pen	1	0.84	0.66	0.64	0.77	0.76	0.70	0.85	0.80
TE	Digital Pen	2	0.87	0.67	0.72	0.79	0.75	0.77	0.78	0.84
TE	Digital Pen	3	0.67	0.71	0.59	0.75	0.75	0.65	0.81	0.77

4.2.1.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยเริ่มจากการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ว่ามีข้อผิดพลาดหรือเป็นไปตามตามหลัก Fitt หรือไม่ โดยทำการทดสอบเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดสอบตามสมมติฐาน 3 รูปแบบ คือ การแจกแจงปกติ ความเป็นอิสระ และความเสถียรภาพของความแปรปรวน

1. การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

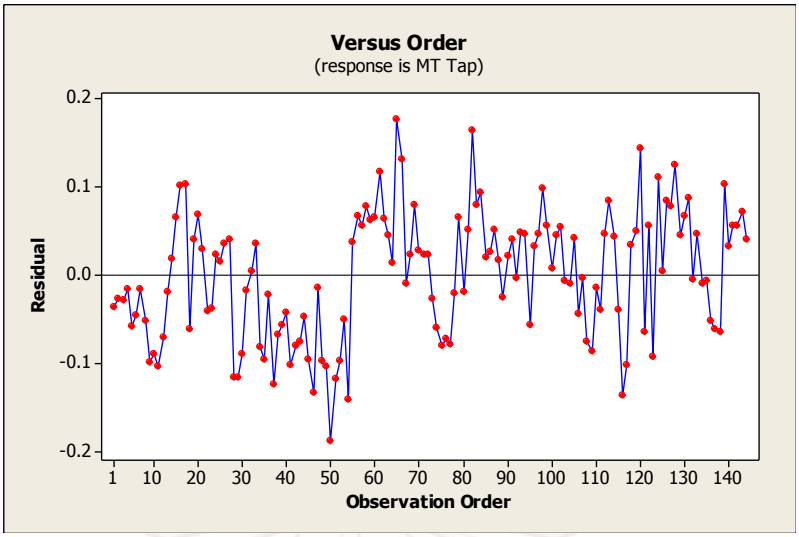
การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ โดยการพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ดังภาพที่ 4.14 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าระยะเวลาการตอบสนองจากการดำเนินงานรูปแบบ Tap มีการกระจายตัวของข้อมูลตามแนวเส้นตรง



ภาพที่ 4. 14 แผนภาพ Probability Plot ของระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Tap

2. การทดสอบสมมุติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Assumption)

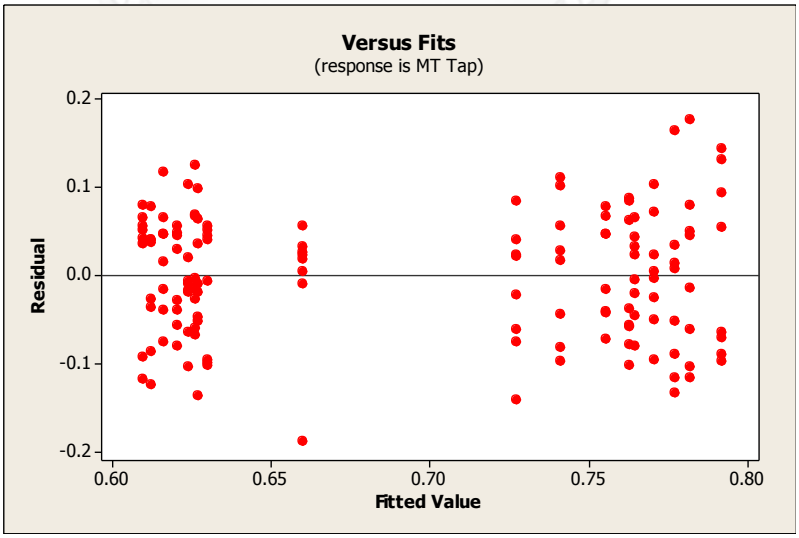
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual) โดยพิจารณาจากการกระจายตัว แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับแรกของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่มีอิสระต่อกัน จากภาพที่ 4.15 เห็นได้ว่าส่วนตกค้างของระยะเวลาการตอบสนองจากการดำเนินงานรูปแบบ Tap มีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 4. 15 แผนภาพ Residual Versus Order ของระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Tap

3. การทดสอบสมมุติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลเป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด ซึ่งจากภาพที่ 4.16 พบว่าระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Tap ไม่มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบกรวยปากเปิด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



ภาพที่ 4. 16 แผนภาพ Residual Versus Fits ของระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Tap

4.2.1.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อระยะเวลาการตอบสนอง

จากการทดสอบความน่าเชื่อถือว่าข้อมูลอยู่ในสมมติฐาน 3 ข้อ ดังข้างต้นแล้ว จึงสามารถวิเคราะห์ผลทางสถิติจากโปรแกรม Minitab ได้ผลดังภาพที่ 4.17 พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีเพียงปัจจัยหลัก (Main Effect) ปัจจัยเดียวที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาการตอบสนองจากการดำเนินงานรูปแบบ Tap คือ อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) และไม่มีอิทธิพลร่วมใดๆระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมรรถนะอย่างมีนัยสำคัญ มากไปกว่านั้นปัจจัยเรื่องท่าทางการถือขณะใช้งานแท็บเล็ตซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ต้องการศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ แต่ผลที่ได้ทำให้ทราบว่าปัจจัยเรื่องท่าทางการถือ ไม่ว่าจะเป็นท่าทาง CG, FH หรือ TE ตามที่ได้ทดลอง ไม่มีผลต่อระยะเวลาการตอบสนองในการดำเนินงานรูปแบบ Tap

General Linear Model: MT Tap versus Posture, Input Device, Period

Factor	Type	Levels	Values
Posture	fixed	3	CG, FH, TE
Input Device	fixed	2	นิ้วมือ, ปากกาดิจิตอล
Period	fixed	3	ช่วงที่ 1, ช่วงที่ 2, ช่วงที่ 3

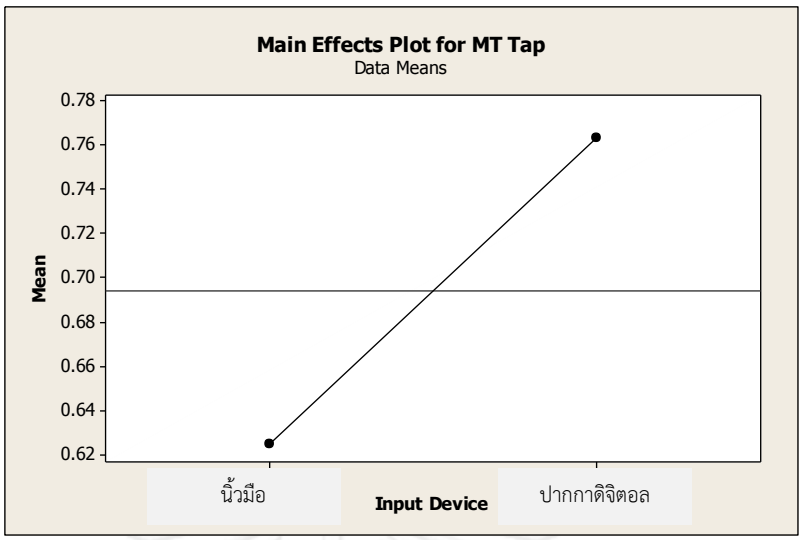
Analysis of Variance for MT Tap, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Posture	2	0.006711	0.006711	0.003355	0.60	0.548
Input Device	1	0.694211	0.694211	0.694211	124.85	0.000
Period	2	0.007998	0.007998	0.003999	0.72	0.489
Posture*Input Device	2	0.011814	0.011814	0.005907	1.06	0.349
Posture*Period	4	0.013290	0.013290	0.003322	0.60	0.665
Input Device*Period	2	0.000352	0.000352	0.000176	0.03	0.969
Error	130	0.722840	0.722840	0.005560		
Total	143	1.457215				

S = 0.0745675 R-Sq = 50.40% R-Sq(adj) = 45.44%

ภาพที่ 4. 17 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Tap

ดังที่ได้วิเคราะห์ข้างต้นว่าอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และ ปากกาดิจิตอล) เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาการตอบสนองจากการดำเนินงานรูปแบบ Tap อย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-Value < 0.05) จึงแสดง Main Effects Plot ของกลุ่มข้อมูลแบ่งตามอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล ดังภาพที่ 4.18 ซึ่งสามารถแปลผลได้ว่า อุปกรณ์นำเข้าข้อมูลประเภทนิ้วมือ มีระยะเวลาการตอบสนองน้อยที่สุด (เร็วที่สุด) สำหรับงานรูปแบบ Tap



ภาพที่ 4. 18 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาการตอบสนองเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์นำเข้าสำหรับงานรูปแบบ Tap

4.2.2 งานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag)

4.2.2.1 ผลการดำเนินการทดลอง

เมื่อผู้ร่วมทดลองดำเนินการทดลองสำหรับงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag) ตามที่ได้กำหนดไว้แล้ว พิจารณาผลของระยะเวลาการตอบสนอง (Movement Time) จากงานที่มีระดับดัชนีความยากมากที่สุด (ID_3) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4. 5 ผลระยะเวลาตอบสนองจากงานรูปแบบวาดสัมผัส (Drag)

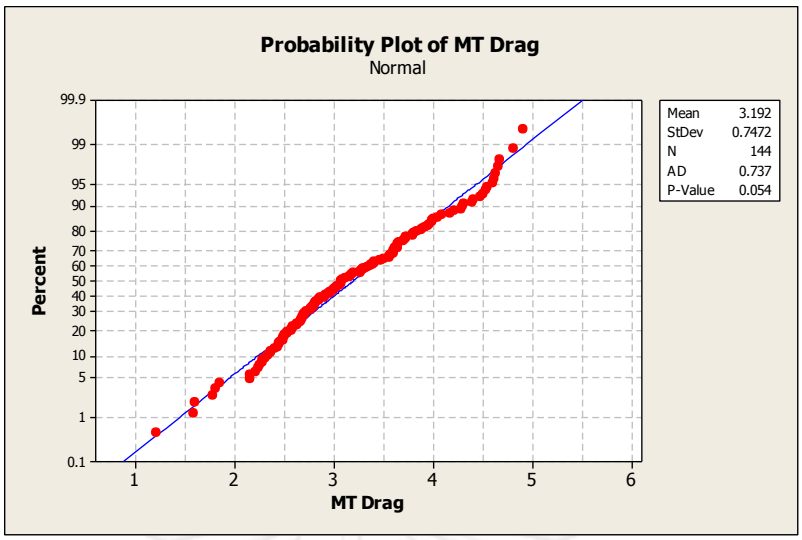
ปัจจัยต้น			ปัจจัยตาม							
			ระยะเวลาการตอบสนอง (Movement Time) ที่ ID_3							
ท่าทาง	อุปกรณ์	ช่วงเวลา	F1	F2	F3	F4	M1	M2	M3	M4
CG	Finger	1	1.85	3.60	2.81	2.96	2.29	4.61	4.53	2.77
CG	Finger	2	1.21	3.56	2.63	2.99	2.29	3.64	4.81	2.62
CG	Finger	3	1.59	3.91	2.15	2.85	2.22	3.65	4.62	2.46
CG	Digital Pen	1	3.36	3.46	3.19	2.78	2.49	4.39	3.39	2.66
CG	Digital Pen	2	3.40	4.28	3.01	2.69	2.54	3.50	4.67	2.82
CG	Digital Pen	3	3.28	4.29	1.61	3.27	2.45	3.98	4.54	2.43
FH	Finger	1	2.25	3.72	3.07	3.07	2.68	3.60	3.57	1.81
FH	Finger	2	2.58	3.57	2.96	3.12	2.86	4.21	4.01	2.50
FH	Finger	3	2.49	3.81	3.06	3.80	3.65	4.04	3.99	1.78
FH	Digital Pen	1	3.29	3.95	2.71	3.08	3.40	3.69	3.47	2.37
FH	Digital Pen	2	3.15	3.89	2.76	2.92	3.15	4.66	4.60	2.80
FH	Digital Pen	3	4.16	3.95	2.41	4.47	4.90	4.41	4.50	2.45
TE	Finger	1	2.58	3.06	2.24	2.85	2.34	3.17	3.62	2.53
TE	Finger	2	3.01	3.79	2.31	2.83	2.59	4.09	4.30	2.66
TE	Finger	3	3.20	2.95	2.59	2.65	2.36	3.72	3.30	2.70
TE	Digital Pen	1	3.07	3.34	3.03	2.90	2.69	3.56	3.62	2.91
TE	Digital Pen	2	3.26	3.72	2.50	3.00	2.80	3.59	3.38	3.07
TE	Digital Pen	3	3.83	3.65	2.16	2.71	2.72	3.63	3.88	2.82

4.2.2.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยเริ่มจากการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ว่ามีข้อผิดพลาดหรือเป็นไปตามตามหลัก Steering หรือไม่ โดยทำการทดสอบเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดสอบตามสมมติฐาน 3 รูปแบบ คือ การแจกแจงปกติ ความเป็นอิสระและความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

1. การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

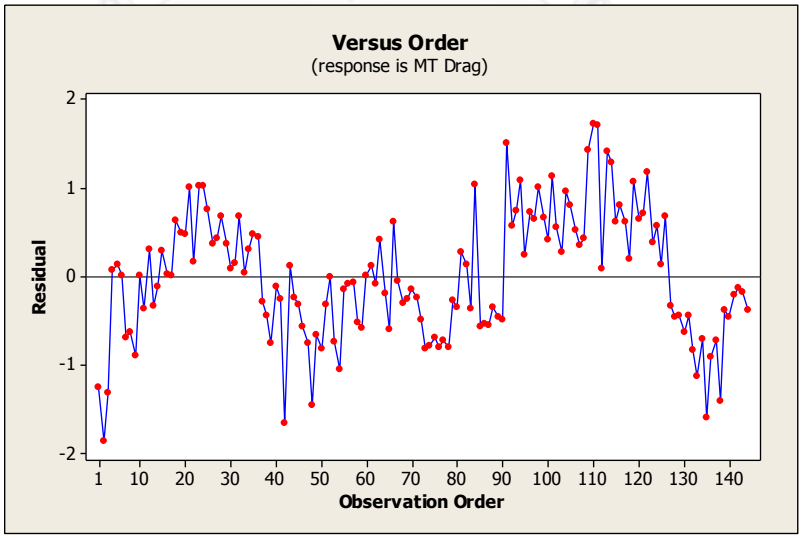
การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ โดยการพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ดังภาพที่ 4.19 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าระยะเวลาการตอบสนองจากการดำเนินงานรูปแบบ Drag มีการกระจายตัวของข้อมูลตามแนวเส้นตรง



ภาพที่ 4. 19 แผนภาพ Probability Plot ของระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Drag

2. การทดสอบสมมุติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Assumption)

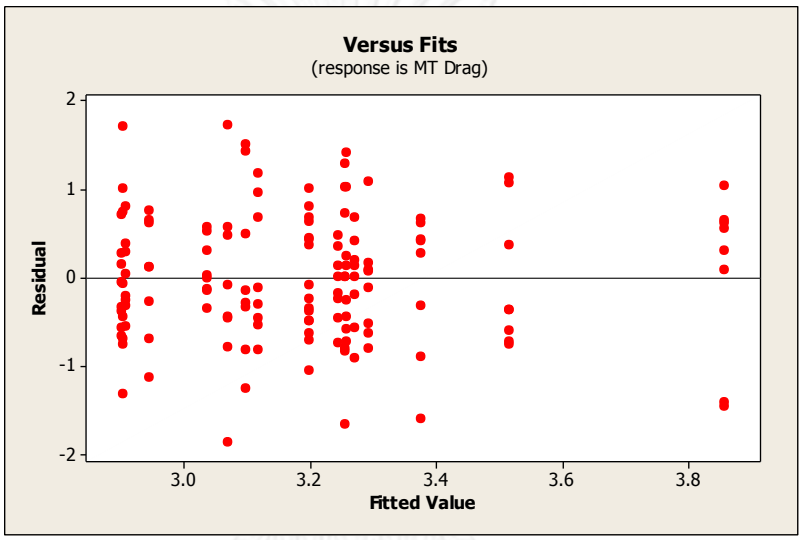
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual) โดยพิจารณาจากการกระจายตัว แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับแรกของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่มีอิสระต่อกัน จากภาพที่ 4.20 เห็นได้ว่าส่วนตกค้างของระยะเวลาการตอบสนองจากการดำเนินงานรูปแบบ Drag มีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 4. 20 แผนภาพ Residual Versus Order ของระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Drag

3. การทดสอบสมมุติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลเป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด ซึ่งจากภาพที่ 4.21 พบว่าระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Drag ไม่มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบกรวยปากเปิด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



ภาพที่ 4. 21 แผนภาพ Residual Versus Fits ของระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Drag

4.2.2.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อระยะเวลาการตอบสนอง

จากการทดสอบความน่าเชื่อถือว่าข้อมูลอยู่ในสมมติฐาน 3 ข้อ ดังข้างต้นแล้ว จึงสามารถวิเคราะห์ผลทางสถิติจากโปรแกรม Minitab ได้ผลดังภาพที่ 4.22 พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีเพียงปัจจัยหลัก (Main Effect) ปัจจัยเดียวที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาการตอบสนองจากการดำเนินงานรูปแบบ Drag คือ อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) และไม่มีอิทธิพลร่วมใดๆระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมรรถนะอย่างมีนัยสำคัญ มากไปกว่านั้นปัจจัยเรื่องท่าทางการถือขณะใช้งานแท็บเล็ตซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ต้องการศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ แต่ผลที่ได้ทำให้ทราบว่าปัจจัยเรื่องท่าทางการถือ ไม่ว่าจะเป็นท่าทาง CG, FH หรือ TE ตามที่ได้ทดลอง ไม่มีผลต่อระยะเวลาการตอบสนองในการดำเนินงานรูปแบบ Drag

General Linear Model: MT Drag versus Posture, Input Device, Period

Factor	Type	Levels	Values
Posture	fixed	3	CG, FH, TE
Input Device	fixed	2	นิ้วมือ, ปากกาดิจิตอล
Period	fixed	3	ช่วงที่ 1, ช่วงที่ 2, ช่วงที่ 3

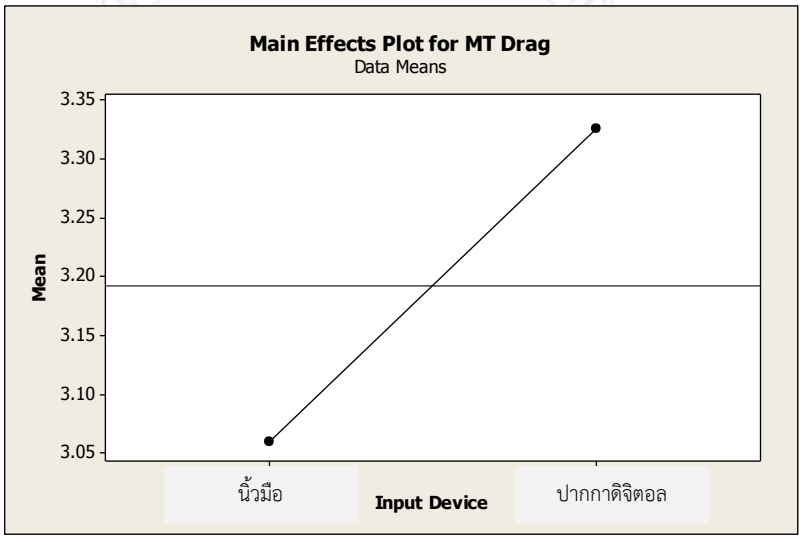
Analysis of Variance for MT Drag, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Posture	2	2.2002	2.2002	1.1001	1.98	0.142
Input Device	1	2.5707	2.5707	2.5707	4.64	0.033
Period	2	0.7373	0.7373	0.3687	0.66	0.516
Posture*Input Device	2	0.2249	0.2249	0.1124	0.20	0.817
Posture*Period	4	1.8083	1.8083	0.4521	0.82	0.518
Input Device*Period	2	0.2032	0.2032	0.1016	0.18	0.833
Error	130	72.0894	72.0894	0.5545		
Total	143	79.8340				

S = 0.744670 R-Sq = 9.70% R-Sq(adj) = 0.67%

ภาพที่ 4. 22 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาการตอบสนองจากงานรูปแบบ Drag

ดังที่ได้วิเคราะห์ข้างต้นว่าอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ, และ ปากกาดิจิตอล) เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาการตอบสนองจากการดำเนินงานรูปแบบ Drag อย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-Value < 0.05) จึงแสดง Main Effects Plot ของกลุ่มข้อมูลแบ่งตามอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล ดังภาพที่ 4.23 ซึ่งสามารถแปลผลได้ว่า อุปกรณ์นำเข้าข้อมูลประเภทนิ้วมือ มีระยะเวลาการตอบสนองน้อยที่สุด (เร็วที่สุด) สำหรับงานรูปแบบ Drag



ภาพที่ 4. 23 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาตอบสนองเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์นำเข้าสำหรับงานรูปแบบ Drag

ตารางที่ 4. 6 สรุปผลความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ

ปัจจัยต้น	ค่า P-Value ปัจจัยตาม			
	ค่าสมรรถนะ (IP)		ระยะเวลาตอบสนอง (MT)	
	Tap	Drag	Tap	Drag
Posture	NS	NS	NS	NS
Input Device	**S**	**S**	**S**	**S**
Period	**S**	NS	NS	NS
Posture*Input Device	**S**	NS	NS	NS
Posture*Period	NS	NS	NS	NS
Input Device*Period	NS	NS	NS	NS

หมายเหตุ : S (Significance) คือ ค่า P-Value < 0.05

N/S (Not Significance) คือ ค่า P-Value > 0.05

จากผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวชี้วัดต่างๆ สรุปผลดังตารางที่ 4.8 ซึ่งตามวัตถุประสงค์สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งเน้นถึงปัจจัยจากท่าทางการใช้งานแท็บเล็ตมีผลต่อค่าสมรรถนะหรือไม่ และจากผลการทดลองทำให้ทราบว่า ไม่ว่าจะถือด้วยท่าทางใดๆขณะดำเนินงานรูปแบบ Tap หรือ Drag ไม่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะ (IP) ในการทำงานที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มีเพียงปัจจัยหลักจากช่วงระยะเวลาการถือต่อเนื่องขณะใช้งานแท็บเล็ค และปัจจัยร่วมกันระหว่างท่าทางและอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะจากการดำเนินงานรูปแบบ Tap รูปแบบเดียว นอกจากนั้นวิเคราะห์ผลต่อเนื่องถึงข้อมูลขั้นพื้นฐานที่ได้ของระยะเวลาการตอบสนอง (MT) โดยพิจารณาเฉพาะงานที่มีดัชนีความยากที่สุด (ID_3) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดอีกรูปแบบหนึ่งที่ต้องการศึกษาว่าท่าทางการใช้งานมีผลต่อระยะเวลาการตอบสนองหรือไม่ ตามทฤษฎีของ Fitts ที่อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการดำเนินงานซึ่งแปรผันตรงกับดัชนีความยากของงาน จากผลการวิเคราะห์พบว่าท่าทางก็ยังไม่เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการตอบสนองเช่นดียวกับตัวชี้วัดเรื่องสมรรถนะดังข้างต้น มากไปกว่านั้นกลับพบว่าปัจจัยเรื่องอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะและระยะเวลาการตอบสนองจากการดำเนินงานทั้งสองรูปแบบอย่างเห็นได้ชัดมากกว่าเรื่องท่าทาง และเมื่อเปรียบเทียบอุปกรณ์นำเข้าทั้งสองประเภท

จากค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัดทั้งสองมีผลไปในทางเดียวกัน คือ การใช้นิ้วมือให้ผลที่ดีกว่าการใช้ปากกาดิจิตอล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะจากการใช้งานแท็บเล็ต

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อศึกษาหาท่าทางการใช้งานคอมพิวเตอร์แท็บเล็ตที่ส่งผลต่อสมรรถนะในการทำงานสูงสุด เนื่องด้วยการสั่งการบนหน้าจอแบบสัมผัสส่วนใหญ่เป็นรูปแบบแตะสัมผัส (Tap) และวาดสัมผัส (Drag) ดังนั้นจึงเลือกศึกษาจากงานสองรูปแบบนี้ โดยพิจารณาจากปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมรรถนะในการดำเนินงานรูปแบบต่างๆ แบ่งออกเป็น 3 ปัจจัย ได้แก่ 1. ท่าทางการถือแท็บเล็ตที่แตกต่างกัน 3 ท่า คือ Clipboard Grip (CG), Flat Hand (FH) และ Thumb Extended with Thenar Support (TE) 2. อุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่แตกต่างกัน คือ นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล 3. ช่วงระยะเวลาการถือขณะใช้งานแท็บเล็ตต่อเนื่องมี 3 ช่วงระยะเวลาที่ศึกษา คือ ช่วงระยะเวลาที่ 1 ช่วงระยะเวลาที่ 2 และช่วงระยะเวลาที่ 3 จากการประยุกต์แนวความคิดของ Fitts และ Steering สำหรับงานรูปแบบชี้ตำแหน่งบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ระบบสัมผัส ผลที่ได้ถูกประเมินออกมาเป็นค่าสมรรถนะ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเผชิญหน้ากับปัจจัยภายนอกที่เปลี่ยนแปลงไป ปัจจัยภายนอกในที่นี้หมายถึงค่าดัชนีความยากของงานที่แตกต่างกันออกไป อันเนื่องมาจากความกว้างของเป้าหมายและระยะห่างระหว่างเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยที่ระดับดัชนีความยากของงานมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับผลลัพธ์ของระยะเวลาที่ได้จากการดำเนินการเคลื่อนที่สัมผัสบนหน้าจอแท็บเล็ตตามเงื่อนไขที่กำหนด คือ เมื่อดัชนีความยากของงานมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการดำเนินการจะเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน และค่า R^2 มีค่ามากกว่า 0.75 จากสมการ Linear Regression สำหรับงานทุกรูปแบบ จึงชี้ให้เห็นว่าเป็นไปตามแนวความคิดของ Fitts และ Steering โดยที่สมการมีประสิทธิภาพในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

สำหรับปัจจัยเรื่องท่าทางการถือขณะใช้งานแท็บเล็ตที่แตกต่างกัน 3 ท่าทางที่ได้ศึกษา พบว่าไม่ว่าจะถือด้วยท่าทางใดก็ไม่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสมรรถนะในการดำเนินงานทั้งรูปแบบ Tap และ Drag อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นผู้ใช้งานแท็บเล็ตจึงสามารถถือหรือใช้งานแท็บเล็ตในทางทางที่ผู้ใช้งานรู้สึกสบายและเหมาะสมต่อรูปแบบงานโดยที่อาจจะมีการเปลี่ยนท่าทาง หรืออิริยาบถเมื่อใช้งานเป็นเวลานานมากขึ้น

ช่วงระยะเวลาเป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าสมรรถนะจากการดำเนินงานรูปแบบ Tap อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ช่วงระยะเวลาการถือขณะใช้งานเป็นเวลาต่อเนื่องกันในช่วงแรก

เปรียบเทียบกับช่วงที่สอง มีค่าสมรรถนะเฉลี่ยลดลง และเมื่อเปรียบเทียบช่วงที่สองและช่วงสุดท้าย กลับมีค่าสมรรถนะเพิ่มขึ้น ที่ผลเป็นเช่นนี้เหตุผลส่วนหนึ่งมาจากช่วงระยะเวลาการดำเนินงานมีผลต่อระดับดัชีความยากของงาน โดยที่เมื่อช่วงระยะเวลาใช้งานนานขึ้น การควบคุมระยะเวลาตอบสนองจากงานที่มีดัชนีความยากมาก (ID_3) สามารถควบคุมหรือคงระดับไว้ได้ไม่แปรเปลี่ยนมากนัก แต่กลับเป็นงานที่มีดัชนีความยากน้อย (ID_1) ที่ยังมีความแปรเปลี่ยนของระยะเวลาตอบสนองเพิ่มขึ้นเมื่อช่วงระยะเวลาการใช้งานนานชึ้น นำไปสู่ค่าสมรรถนะเพิ่มขึ้นที่ถูกคำนวณมาจากส่วนกลับของความชันที่ได้จากระดับดัชนีความยากของงานและระยะเวลาตอบสนอง อาจเนื่องมาจากช่วงระยะเวลาสุดท้ายของการดำเนินงานนั้นๆ ผู้ร่วมทดลองเข้าสู้ช่วงมีความรู้สึกกระตุ้นหรือตื่นตัวในการทำงานลดลงและยิ่งสำหรับงานที่มีดัชนีความยากน้อยที่ไม่ต้องการความแม่นยำหรือตั้งใจจดจ่อมากนัก แต่สำหรับงานที่มีดัชนีความยากมากที่ต้องการความแม่นยำสูง ผู้ร่วมทดลองจึงยังคงต้องตั้งใจและควบคุมระยะเวลาตอบสนองมากกว่างานที่ง่ายกว่า ดังนั้นหากต้องทำงานรูปแบบ Tap บนจอคอมพิวเตอร์แท็บเล็ตในช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกัน สามารถเลือกดำเนินงานเพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ หรือประมาณ 15 นาที เป็นช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อสมรรถนะในการทำงานสูงสุด

อุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่แตกต่างกันเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความสามารถในการดำเนินงานบนหน้าจอระบบสัมผัส ซึ่งปัจจุบันมีอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานหรืองานแต่ละประเภทที่ต้องประยุกต์ใช้อุปกรณ์เหล่านี้ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป จากผลลัพธ์การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปัจจัยเรื่องอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลระหว่างนิ้วมือและปากกาดิจิตอลเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะผู้ใช้งานแท็บเล็ตทั้งงานรูปแบบ Tap และ Drag อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ค่าสมรรถนะเฉลี่ยจากการใช้นิ้วมือมีค่าสูงกว่าการใช้ปากกาดิจิตอล

ปัจจัยร่วมระหว่างท่าทางและอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลมีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะในการดำเนินงานรูปแบบ Tap พบว่าท่าทางในการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ใดอุปกรณ์หนึ่ง ให้ค่าสมรรถนะที่แตกต่างกันเมื่อเปลี่ยนเป็นอุปกรณ์อีกประเภทหนึ่ง เห็นได้จากท่าทาง FH หรือ TE ที่ให้ผลตรงกันข้ามกันเมื่อเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินงาน และเมื่อต้องดำเนินงานรูปแบบนี้ไม่ว่าจะใช้ท่าทางใดๆร่วมกับการใช้นิ้วมือสัมผัสให้ค่าสมรรถนะสูงกว่าการใช้ปากกาดิจิตอล

5.1.2 การเปรียบเทียบระยะเวลาการตอบสนองงานที่มีดัชนีความยากมากที่สุด (ID_3) จากการใช้งานแท็บเล็ต

วิเคราะห์ตัวชี้วัดที่เป็นปฐมภูมิเพิ่มเติม คือ ระยะเวลาในการตอบสนอง โดยที่เลือกพิจารณาเฉพาะระยะเวลาการตอบสนองต่องานที่มีดัชนีความยากมากที่สุด (ID_3) เพื่อต้องการเปรียบเทียบปัจจัยท่าทางการใช้งานแท็บเล็ตว่าส่งผลต่อระยะเวลาการตอบสนองในการดำเนินงานยากที่สุดหรือไม่

จากผลการวิเคราะห์พบว่าท่าทางไม่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาการตอบสนองจากการดำเนินงานทั้งสองรูปแบบ เช่นเดียวกับตัวชี้วัดเรื่องค่าสมรรถนะดังที่ได้กล่าวไว้ จึงอาจกล่าวได้ว่าสามารถถือท่าทางใดก็ได้ขึ้นอยู่กับความสะดวก ความเคยชิน หรือความเหมาะสมต่อการทำงานของแต่ละบุคคล

อุปกรณ์นำเข้าข้อมูลยังคงเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาการตอบสนองต่อการดำเนินงานที่ยากที่สุดทั้งรูปแบบ Tap และ Drag ซึ่งให้ผลค่าเฉลี่ยเช่นเดียวกับค่าสมรรถนะโดยที่การใช้นิ้วมือดีกว่าการใช้ปากกาดิจิตอลจากระยะเวลาการตอบสนองที่น้อยกว่า สาเหตุส่วนหนึ่งคาดว่ามาจากความเคยชินกับการใช้นิ้วมือในชีวิตประจำวันมากกว่าการใช้ปากกาดิจิตอล รวมทั้งขนาดของปากกาดิจิตอลที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีขนาดเล็กเกินไปเมื่อเทียบกับขนาดมือ จากการสอบถามผู้ร่วมทดลองส่วนใหญ่ก็ยืนยันถึงปัจจัยเรื่องขนาดปากกาเล็กที่ไม่สัมพันธ์กับขนาดสัดส่วนผู้ใช้งานอย่างเหมาะสมจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อสมรรถนะและระยะเวลาตอบสนองในการทำงานทั้งสองรูปแบบ ดังนั้นผู้ออกแบบอุปกรณ์ควรคำนึงถึงเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานในการปรับปรุงการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยในอนาคต

จากงานวิจัยนี้ที่ดำเนินการทดลองและได้ผลสรุปดังกล่าวข้างต้น นำมาสู่ข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจต้องการศึกษาเรื่องนี้ในอนาคต ดังต่อไปนี้

1. ท่าทางการใช้งานแท็บเล็ต ที่ศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์กับท่าทางหรือรูปแบบงานอื่นๆที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้
2. เพื่อเปรียบเทียบและประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่มีหลากหลายรูปแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จึงสามารถทดลองเพิ่มเติมเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของอุปกรณ์ หรือเปรียบเทียบระหว่างขนาดของอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับสัดส่วนของผู้ใช้งาน
3. การใช้งานแท็บเล็ตโดยปกติแล้วไม่ถูกกระทบจากเรื่องระยะเวลาการใช้งานมากนั้น เนื่องจากผู้ใช้งานไม่ใช้งานจากการถือแท็บเล็ตในท่าทางเดิมเป็นเวลานานติดต่อกัน ดังนั้นควรคำนึงถึงความปลอดภัยของร่างกายที่อาจถูกสะสมมาจากการใช้งานแท็บเล็ตรูปแบบซ้ำซากมากกว่า
4. ในการวิเคราะห์เรื่องความล้าสามารถใช้อุปกรณ์การตรวจคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (Electromyography: EMG) เพื่อช่วยในการพิจารณาระดับความล้าจากผู้ร่วมทดลองแต่ละคน และนำไปสู่การทดลองที่แม่นยำและทราบถึงผลกระทบจากช่วงระยะเวลาการใช้งานแท็บเล็ตที่แตกต่างกัน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

แท็บเล็ตดีดอทคอม. 9 ข้อที่ควรคำนึงก่อนเลือกซื้อแท็บเล็ต. 2554. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.tabletd.com/articles/1868 [15 กันยายน 2556]

กวินธิดา สันติพงศ์. การบาดเจ็บจากภาวการณ์ทำงานซ้ำซาก. 2551. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.inf.ku.ac.th/article/diag/510202/ctd.html [20 กันยายน 2556]

กิตติ อินทรานนท์. การยศาสตร์. 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548

กิตตินัท เสาแดน. ระบบปฏิบัติการใน tablet. 2556. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://protablet.blogspot.com/2013/04/tablet.html [15 กันยายน 2556]

คณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, สำนักงาน. คู่มืออบรมปฏิบัติการบูรณาการใช้คอมพิวเตอร์พกพา (Tablet) เพื่อยกระดับการเรียนการสอน. 3,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักเทคโนโลยีเพื่อการเรียนการสอน สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2555

จรัณ ภาสุระ. เออร์กอนอมิกส์ (Ergonomics) ศาสตร์เพื่อปรับสภาพแวดล้อมในการทำงานประจำวัน. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540

ธวัชชานนท์ สิปปภากุล. การยศาสตร์และกายวิภาคเชิงกล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มิตรสัมพันธ์กราฟฟิค, 2548

โมบายดีดีดอทเน็ต. ปากกา Stylus กับสิ่งสำคัญที่ต้องรู้ก่อนเลือกซื้อ. 2554. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://mobiledd.tarad.com [20 พฤศจิกายน 2556]

สมศักดิ์ ลีเชวงวงศ์. โรคกลุ่มอาการประสาทมือชา. วิชัยยุทธจุลสาร 23 (กันยายน -ธันวาคม 2545): 13-14.

สุทธิ์ ศรีบูรพา. เออร์กอนอมิกส์ วิศวกรรมมนุษย์ปัจจัย. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540.

อธิปลักษณ์ โชติธนประสิทธิ์. แท็บเล็ตคืออะไร มีประวัติความเป็นมาอย่างไร. 2556. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://news.siamphone.com/news-13565.html [10 กันยายน 2556]

ภาษาอังกฤษ

Bob, D., Michael, S., and Ryan, R. Worldwide smart connected device market [Online]. United States of America: International Data Corporation (Distributor), 2012. Available from: http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS23849612 [2013, August 8]

Carolina, Z., Vicki, A., and Bonnie, K. Human Factors Guidance for the Use of Handheld, Portable, and Wearable Computing Devices. Virginia: National Technical Information Service, 2005

Cockburn, A., 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 70 (2012): 218-233.

David, J., and Han, Z. Holding a multi-touch tablet with one hand: 3D modeling and visualization of hand and wrist postures. Human factor and ergonomics society 56 (August 2013): 1109-1113.

Dov, T., Jane, C., and Ping, Z. Human computer interaction: developing effective organizational information systems. United States of America, 2007

International Organization for Standardization, Ergonomic requirements for office work with visual display terminals-Part 9: Requirements for non-keyboard input devices. (n.p.), 2000

Johnny, A., and Shumin, Z. “Scale effects in steering law tasks” Paper presented at the Special Interest Group on Computer-Human Interaction Conference, 31 March-4 April 2001, United States of America.

Justin, G., Matthieu, T., Dan, O., Kim, M., and Jack, T. D. Touch-screen tablet user configurations and case-supported tilt affect head and neck flexion angles. Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation 41 (January 2012): 81-91

Martin, J. S., Robert, L. P., and Jesse, M. H. "Effects of posture on target acquisition with a trackball and touch screen" Paper presented at the 28th International Conference Information Technology Interfaces ITI, pp.257-262, 19-22 June 2006, Croatia.

Michael, S, Ryan, R., and Tom, M. IDC forecasts worldwide tablet shipments to surpass portable PC shipments in 2013 [Online]. United States: International Data Corporation (Distributor), 2013. Available from: http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS24129713 [2013, August 8]

Min, L., Rich, G., Kathleen, J. P., Andrew, S., and Julie, J. How do people tap when walking? An empirical investigation of nomadic data entry. International Journal of Human-Computer Studies 65 (2007): 759-769.

Motoyuki, A., and I. Scott, M. Changes in applied force to a touchpad during pointing tasks. International Journal of Industrial Ergonomics 29 (2002): 171-182

Rodin E. Y. Muscle fatigue. Mathl Comput. Modelling 12 (1989): 913-918

Scott, M. Fitts' law as a research and design tool in human-computer interaction. Human-Computer Interaction 7 (1992): 91-139

Xiaolei, Z., Xiangshi, R., and Yue, H. "Effects of start position on human performance in steering tasks" Paper presented at International Conference on Computer Science and Software Engineering, pp.1098-1101, 2008, (n.p.).

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

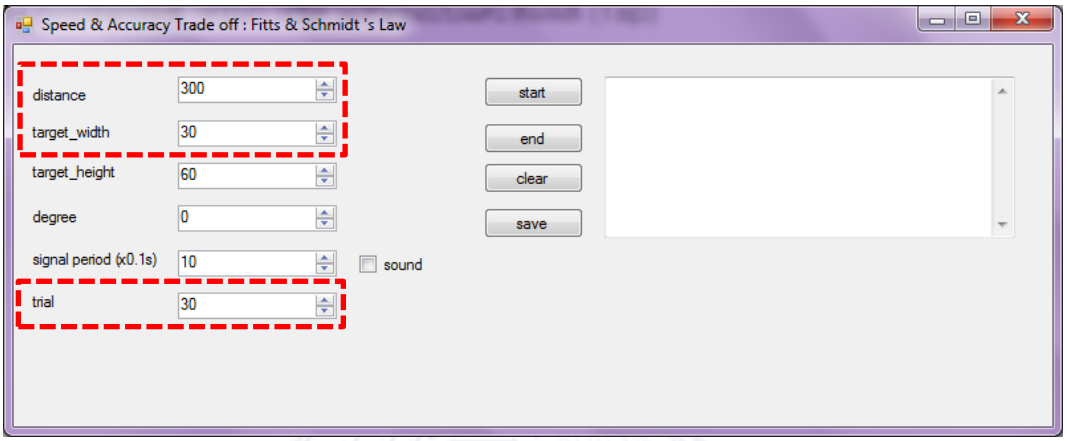
ภาคผนวก ก

วิธีการใช้โปรแกรมในการทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

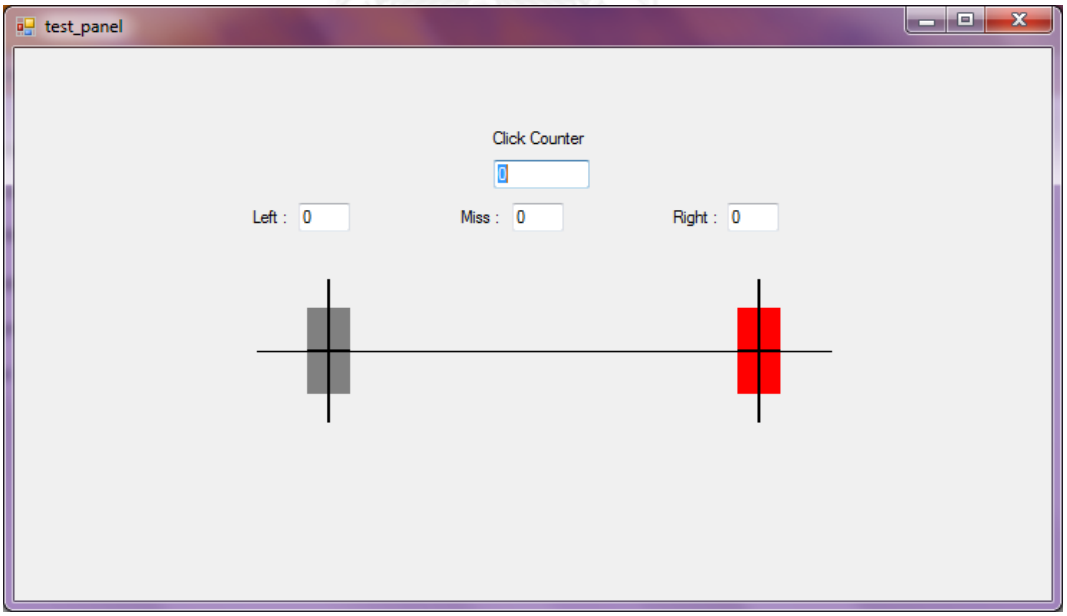
การใช้งานโปรแกรมสำหรับการชี้ตำแหน่งแบบแตะสัมผัส (Tap)

1. เปิดโปรแกรมชื่อ Speed & Accuracy Trade off: Fitts & Schmidt's Law ดังภาพที่ ก.1 กำหนดระยะห่างระหว่างเป้าหมายในช่อง distance กำหนดความกว้างของเป้าหมายในช่อง target_width และกำหนดจำนวนการชี้ตำแหน่งแบบแตะสัมผัสในช่อง trial



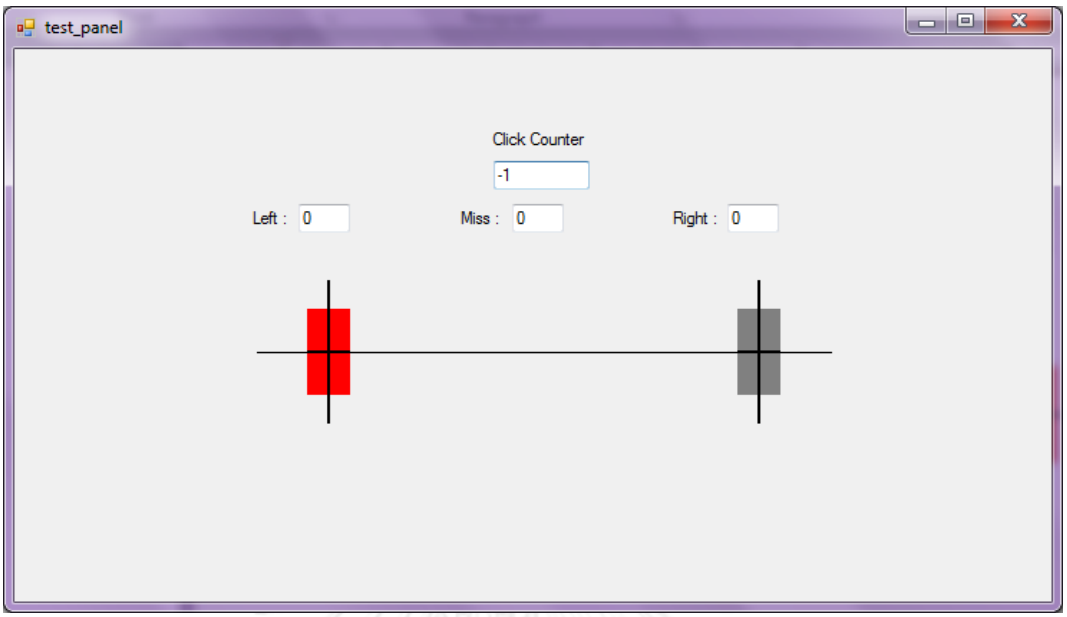
ภาพที่ ก.1

2. เมื่อกำหนดระยะต่างๆดังข้อ 1 เสร็จเรียบร้อย หน้าจอโปรแกรมจะถูกแสดงดังภาพที่ ก.2 โดยที่รูปสี่เหลี่ยมสีแดงขวามือคือเป้าหมายที่ต้องชี้ตำแหน่งให้ตรง



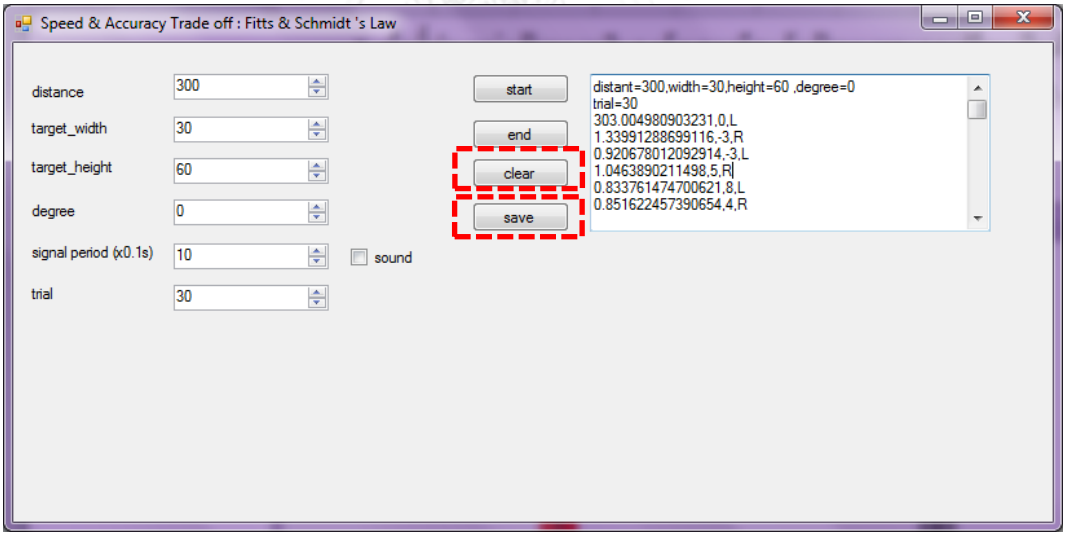
ภาพที่ ก.2

3. เมื่อชี้ตำแหน่งเป้าหมายสีแดงด้านขวามือแล้วเป้าหมายจะถูกเปลี่ยนเป็นด้านซ้ายมือดังภาพที่ ก.3 ดำเนินการเคลื่อนที่อุปกรณ์นำเข้าข้อมูลเพื่อชี้ตำแหน่งเป้าหมายให้ถูกต้องโดยไม่ออกนอกเป้าหมาย สลับไปมาซ้ายขวาเป็นเส้นตรงตามจำนวนครั้งที่กำหนดไว้ให้เร็วที่สุด



ภาพที่ ก.3

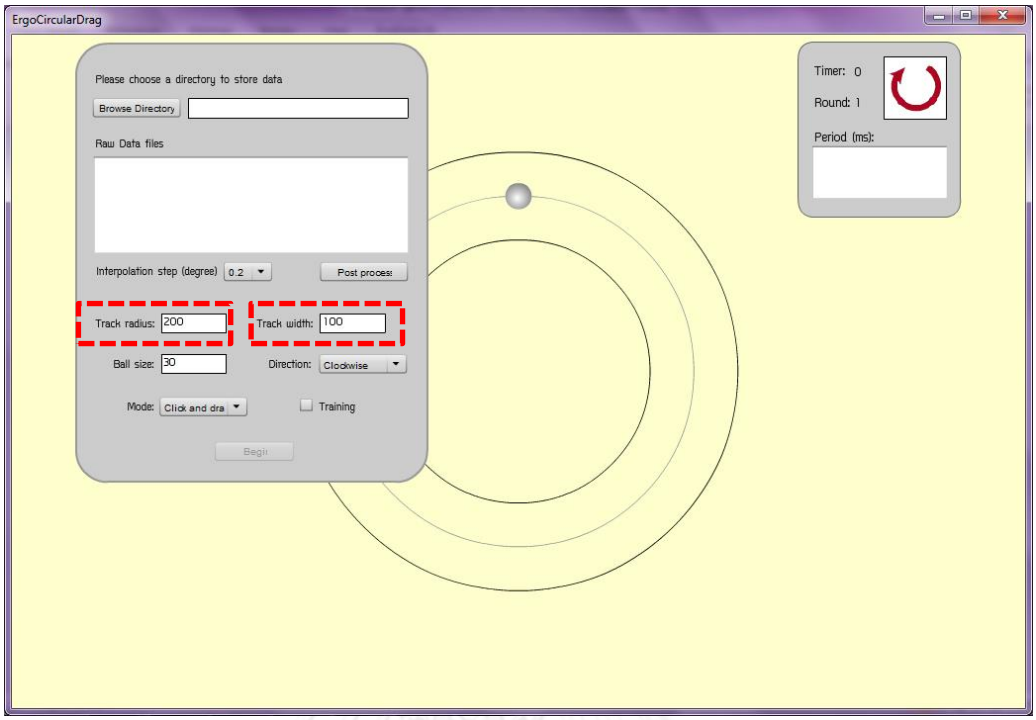
4. เมื่อครบจำนวน trial ที่กำหนด ผลที่ได้จะกลับมาแสดงดังภาพที่ ก.4 สั่งการที่ปุ่ม end เพื่อเสร็จสิ้นการทดลองสำหรับหนึ่งเงื่อนไข สั่งการปุ่ม save เพื่อบันทึกข้อมูลเก็บเป็นไฟล์ CSV



ภาพที่ ก.4

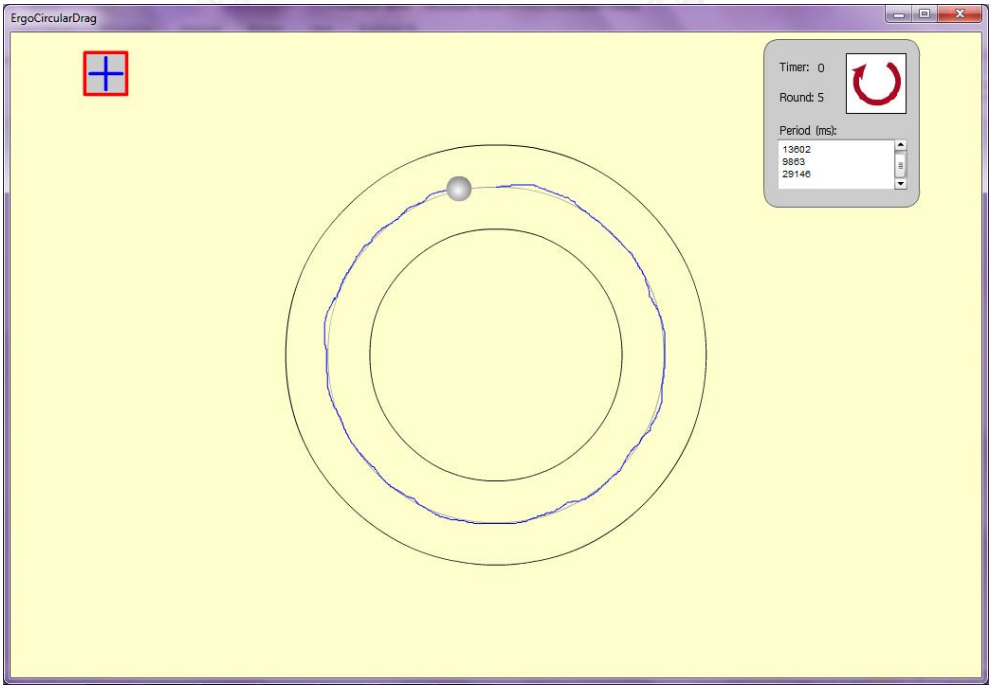
การใช้งานโปรแกรมสำหรับการชี้ตำแหน่งแบบวาดสัมผัส (Drag)

1. เปิดโปรแกรมชื่อ ErgoCircularDrag ดังภาพที่ ก.5 กำหนดความกว้างรัศมีวงกลมที่แสดงระยะการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นรอบวงกลมในช่อง Track radius และกำหนดความกว้างเป้าหมายที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในช่อง Track width



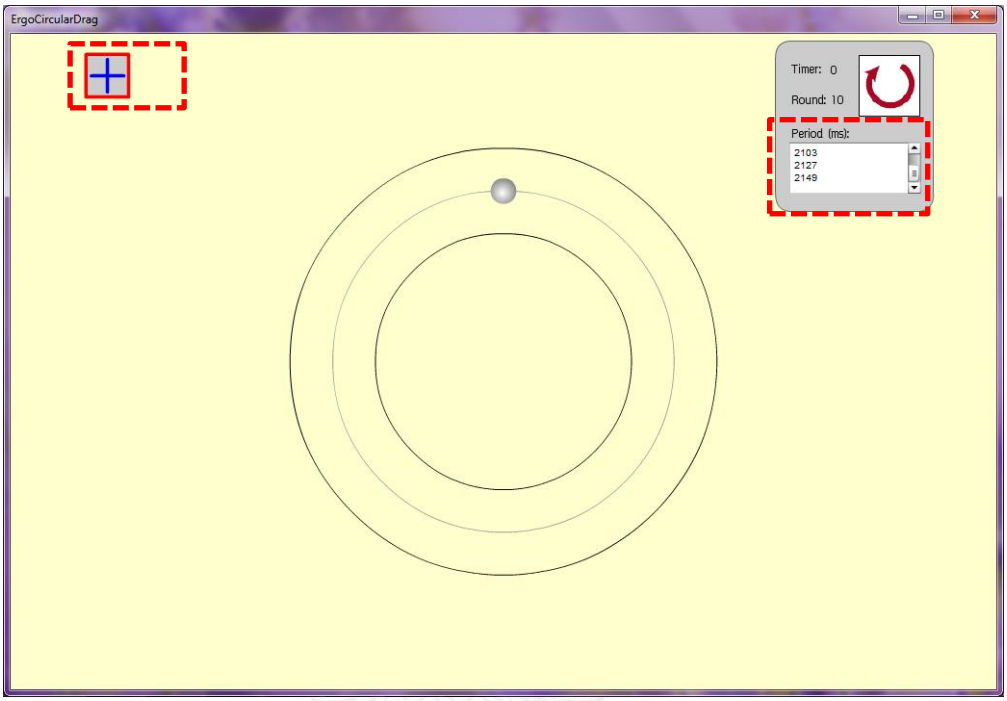
ภาพที่ ก.5

2. เมื่อกำหนดระยะต่างๆดังข้อ 1 เสร็จเรียบร้อย หน้าจอโปรแกรมจะถูกแสดงดังภาพที่ ก.5 และดำเนินการชี้ตำแหน่งรูปแบบการวาดสัมผัส จุดเริ่มต้นที่รูปลูกบอลที่แสดงภายในวงกลมถูกวาดตามแนวเส้นรอบวงกลมที่กำหนดไว้โดยไม่ออกนอกความกว้างเป้าหมายจนกลับมาสิ้นสุดที่จุดเดิมและใช้เวลาในการเคลื่อนที่ให้เร็วที่สุด



ภาพที่ ก.6

3. เมื่อครบจำนวน trial ที่กำหนด สั่งการที่รูปสี่เหลี่ยมมุมบนซ้ายมือดังภาพที่ ก.7 เพื่อเสร็จสิ้นการทดลองสำหรับหนึ่งเงื่อนไข ผลการทดลองแสดงระยะเวลาการเคลื่อนที่เบื้องต้นในกรอบสี่เหลี่ยมช่อง Period (ms)



ภาพที่ ก.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

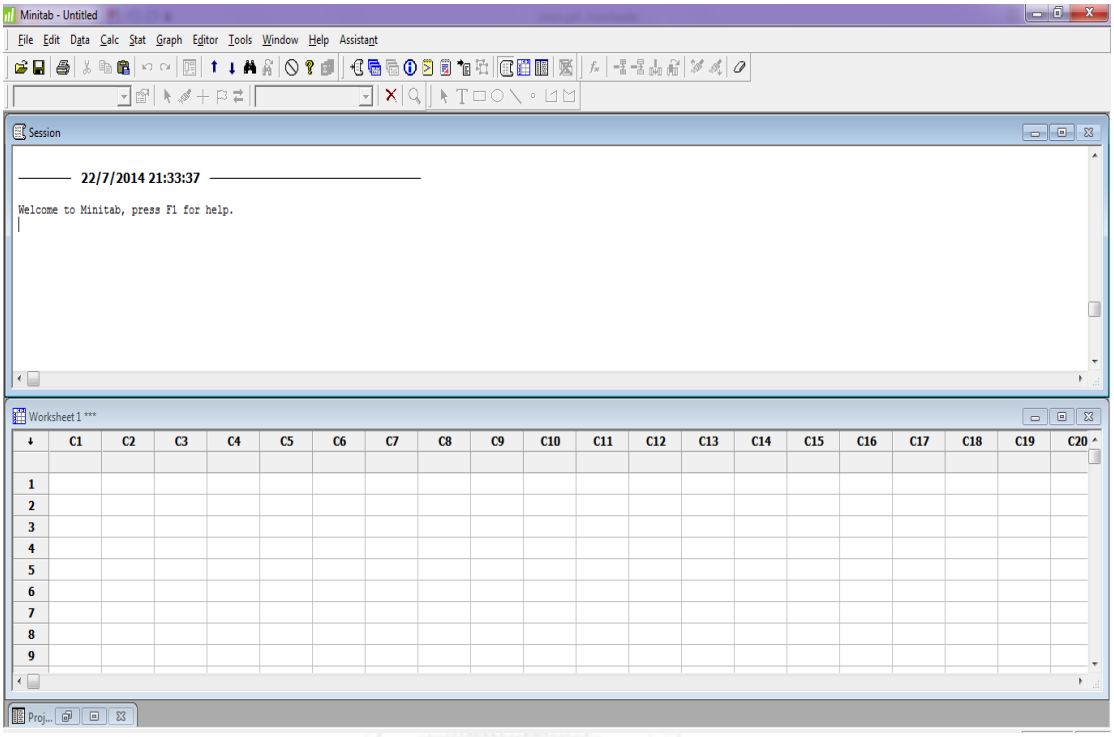
ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Minitab

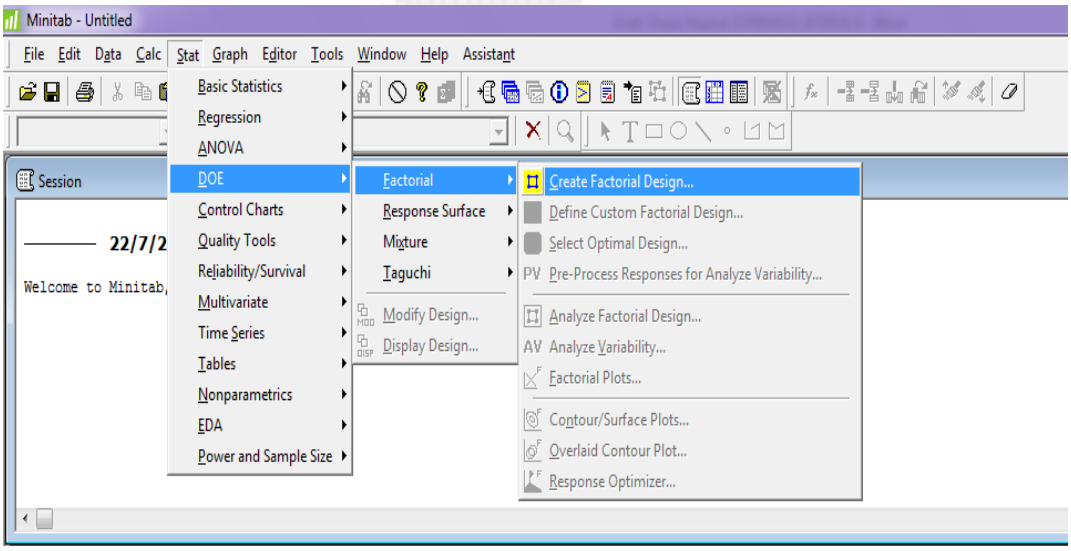
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Minitab

1. เปิดโปรแกรม Minitab 16 ที่ได้ติดตั้งไว้ หน้าจอจะปรากฏหน้าต่าง Session และ Worksheet

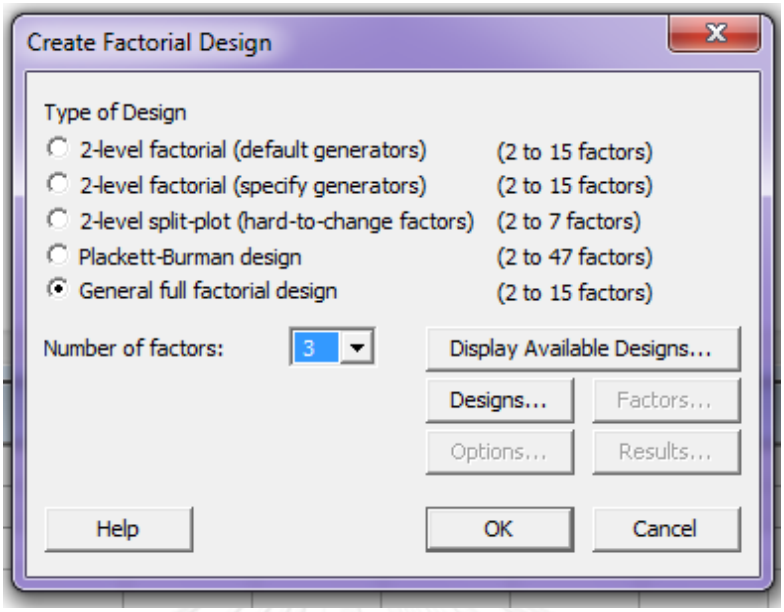


2. เลือกเมนู Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design

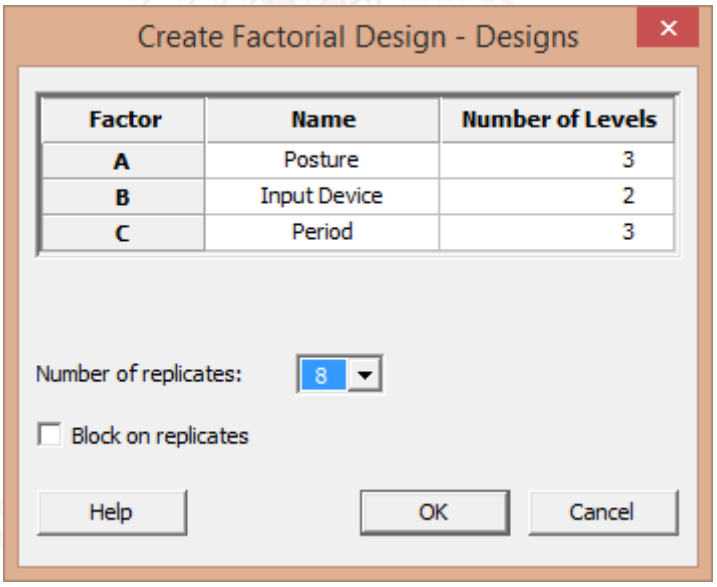


3. หน้าต่าง Create Factorial Design > General full factorial design

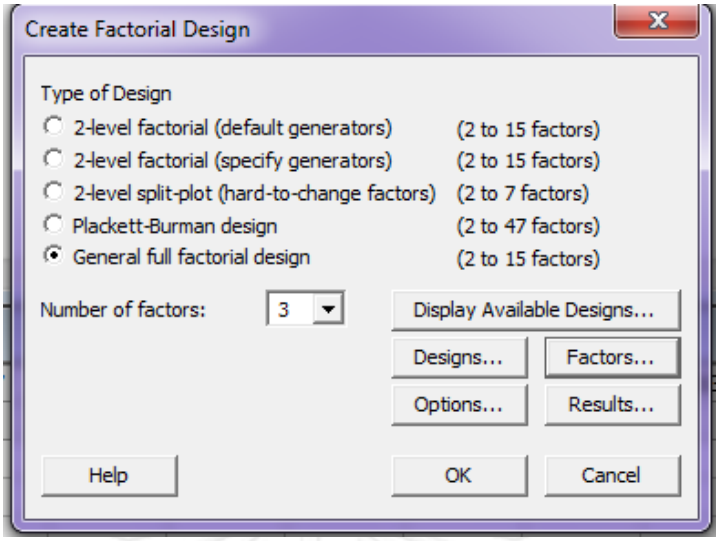
ส่วน Number of factors เลือก 3 ปัจจัยจากการทดลองนี้ และคลิก Designs

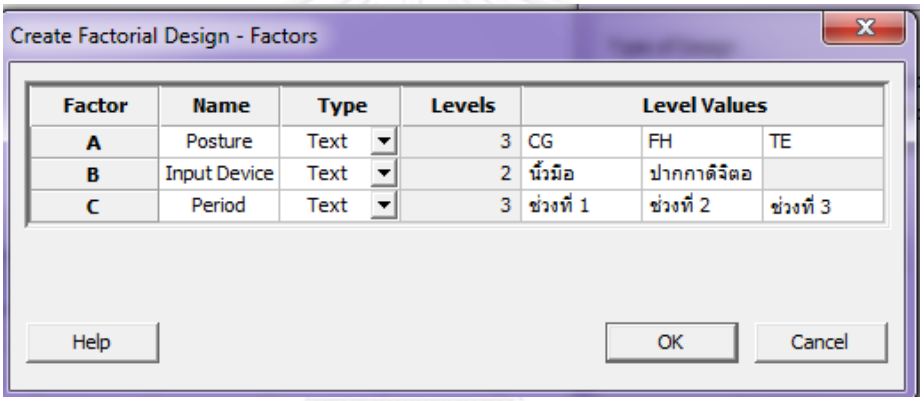


4. หน้าต่าง Create Factorial Design - Designs ปรากฏขึ้น กรอก Name และ Number of Levels คลิก OK

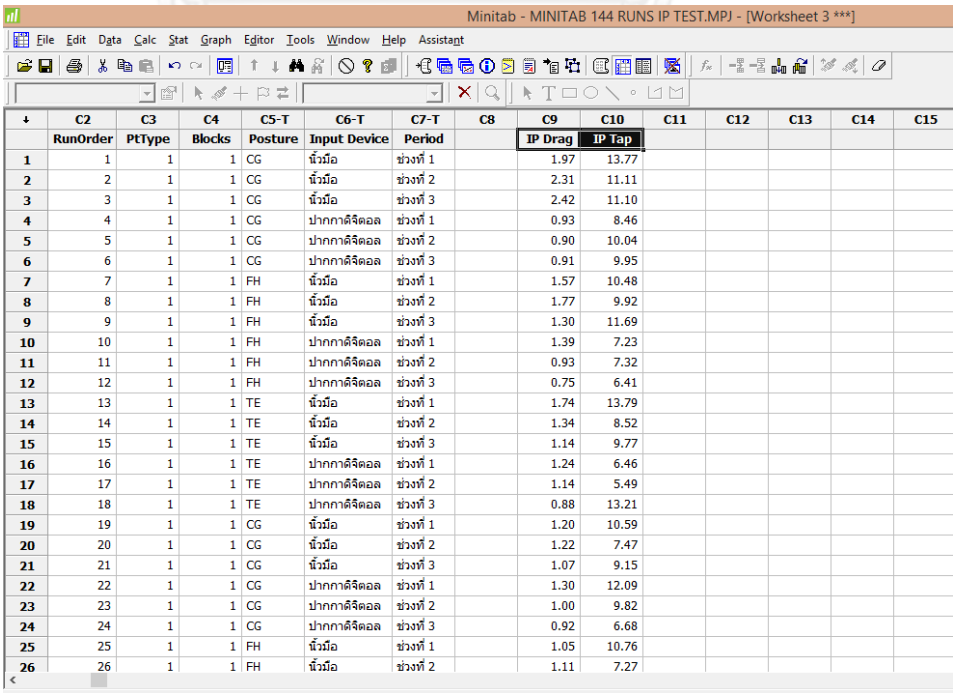


5. หน้าต่าง Create Factorial Design > Factors และ Create Factorial Design – Factors > Type เลือก Text เพื่อกรอกข้อมูล Level Values ของแต่ละปัจจัย คลิก OK





5. ป้อนข้อมูลใน worksheet ตามรูปแบบที่ถูกสร้างขึ้นมา

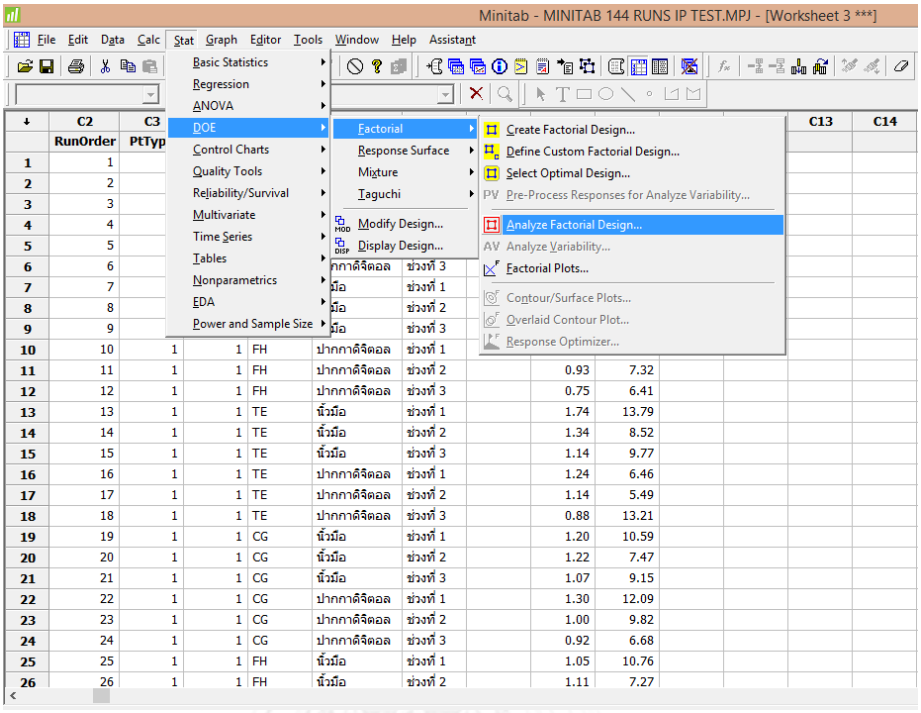


Minitab - MINITAB 144 RUNS IP TEST.MPJ - [Worksheet 3 ***]

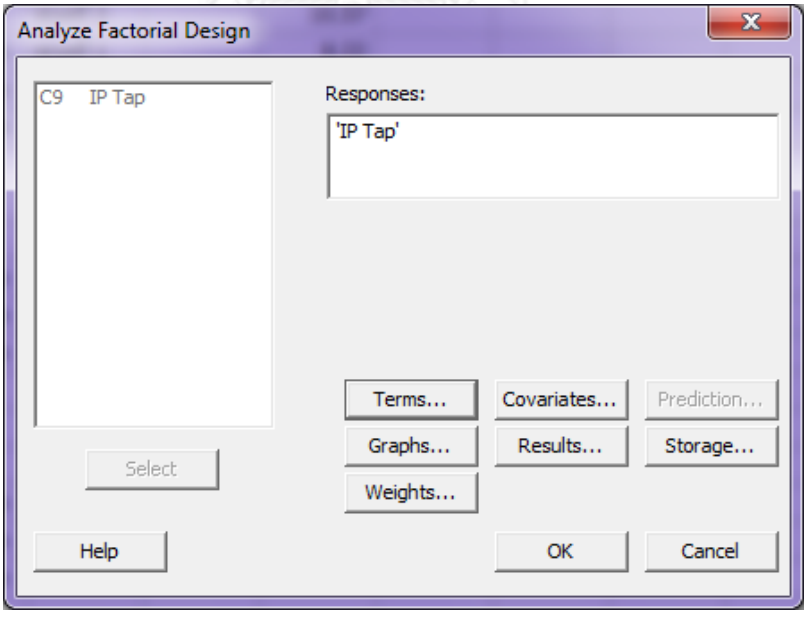
File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant

	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
	RunOrder	PtType	Blocks	Posture	Input Device	Period		IP Drag	IP Tap					
1	1	1	1	CG	นิ้วมือ	ช่วงที่ 1		1.97	13.77					
2	2	1	1	CG	นิ้วมือ	ช่วงที่ 2		2.31	11.11					
3	3	1	1	CG	นิ้วมือ	ช่วงที่ 3		2.42	11.10					
4	4	1	1	CG	ปากกาดิจิตอล	ช่วงที่ 1		0.93	8.46					
5	5	1	1	CG	ปากกาดิจิตอล	ช่วงที่ 2		0.90	10.04					
6	6	1	1	CG	ปากกาดิจิตอล	ช่วงที่ 3		0.91	9.95					
7	7	1	1	FH	นิ้วมือ	ช่วงที่ 1		1.57	10.48					
8	8	1	1	FH	นิ้วมือ	ช่วงที่ 2		1.77	9.92					
9	9	1	1	FH	นิ้วมือ	ช่วงที่ 3		1.30	11.69					
10	10	1	1	FH	ปากกาดิจิตอล	ช่วงที่ 1		1.39	7.23					
11	11	1	1	FH	ปากกาดิจิตอล	ช่วงที่ 2		0.93	7.32					
12	12	1	1	FH	ปากกาดิจิตอล	ช่วงที่ 3		0.75	6.41					
13	13	1	1	TE	นิ้วมือ	ช่วงที่ 1		1.74	13.79					
14	14	1	1	TE	นิ้วมือ	ช่วงที่ 2		1.34	8.52					
15	15	1	1	TE	นิ้วมือ	ช่วงที่ 3		1.14	9.77					
16	16	1	1	TE	ปากกาดิจิตอล	ช่วงที่ 1		1.24	6.46					
17	17	1	1	TE	ปากกาดิจิตอล	ช่วงที่ 2		1.14	5.49					
18	18	1	1	TE	ปากกาดิจิตอล	ช่วงที่ 3		0.88	13.21					
19	19	1	1	CG	นิ้วมือ	ช่วงที่ 1		1.20	10.59					
20	20	1	1	CG	นิ้วมือ	ช่วงที่ 2		1.22	7.47					
21	21	1	1	CG	นิ้วมือ	ช่วงที่ 3		1.07	9.15					
22	22	1	1	CG	ปากกาดิจิตอล	ช่วงที่ 1		1.30	12.09					
23	23	1	1	CG	ปากกาดิจิตอล	ช่วงที่ 2		1.00	9.82					
24	24	1	1	CG	ปากกาดิจิตอล	ช่วงที่ 3		0.92	6.68					
25	25	1	1	FH	นิ้วมือ	ช่วงที่ 1		1.05	10.76					
26	26	1	1	FH	นิ้วมือ	ช่วงที่ 2		1.11	7.27					

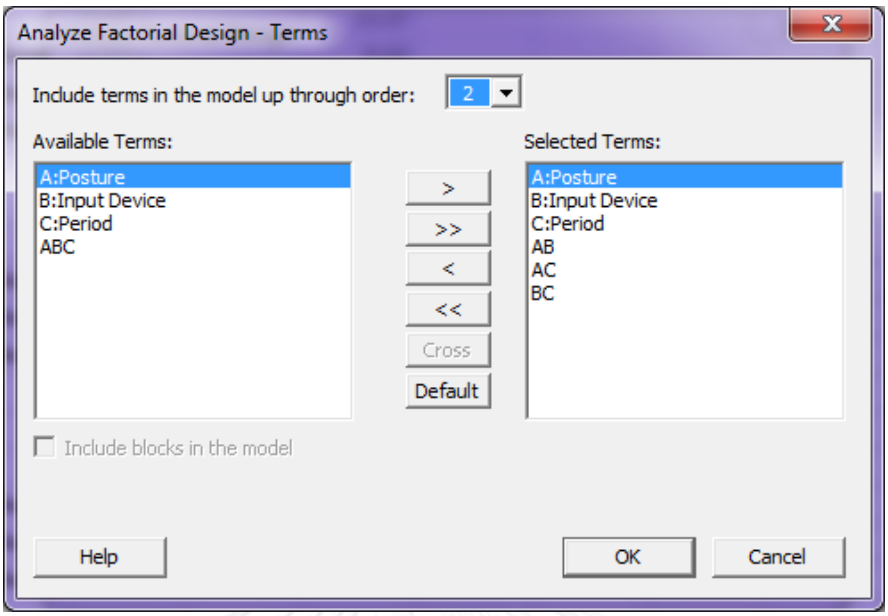
6. เลือกเมนู Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design



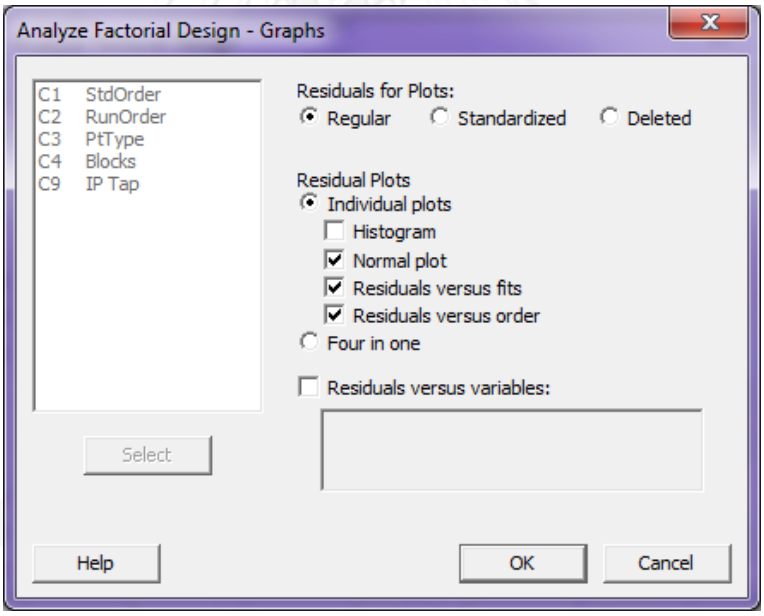
8. หน้าต่าง Analyze Factorial Design > Terms



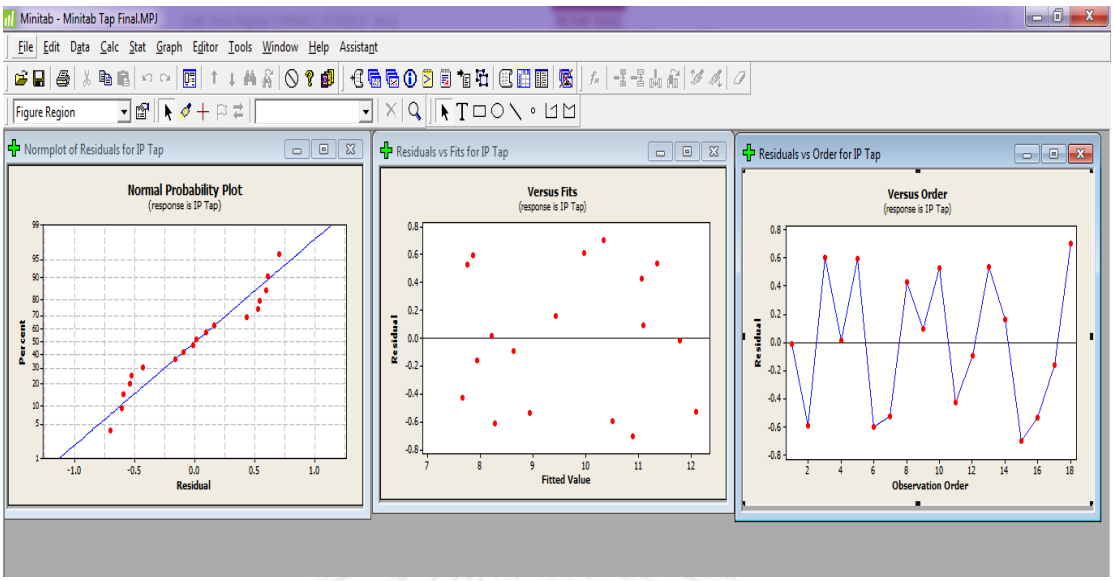
9. หน้าต่าง Analyze Factorial Design - Terms ปรากฏ เลือก Include terms in the model up through order มีค่าเท่ากับ 2 คลิก OK



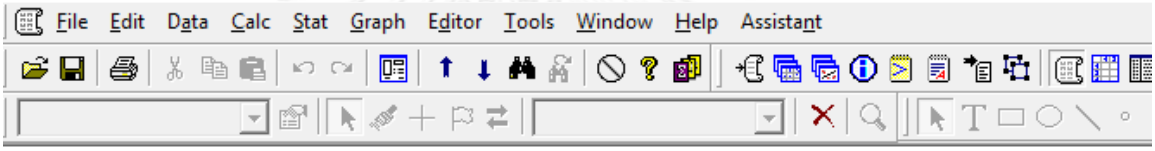
10. คลิก Graphs หน้าต่าง Analyze Factorial Design - Graphs ปรากฏ เลือกรูปแบบ Residual Plots ที่ต้องการให้แสดงผล คลิก OK



11. ผลลัพธ์แสดงกราฟตามที่ได้เลือกไว้



11. ผลลัพธ์แสดงข้อมูลสถิติใน Sessions



General Linear Model: IP Tap versus Posture, Input Device, Period

Factor	Type	Levels	Values
Posture	fixed	3	CG, FH, TE
Input Device	fixed	2	นิ้วมือ, ปากกาดิจิตอล
Period	fixed	3	ช่วงที่ 1, ช่วงที่ 2, ช่วงที่ 3

Analysis of Variance for IP Tap, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Posture	2	3.739	3.739	1.870	0.54	0.585
Input Device	1	227.791	227.791	227.791	65.49	0.000
Period	2	24.568	24.568	12.284	3.53	0.032
Posture*Input Device	2	22.382	22.382	11.191	3.22	0.043
Posture*Period	4	18.569	18.569	4.642	1.33	0.261
Input Device*Period	2	21.056	21.056	10.528	3.03	0.052
Error	130	452.163	452.163	3.478		
Total	143	770.269				

S = 1.86499 R-Sq = 41.30% R-Sq(adj) = 35.43%

ภาคผนวก ค

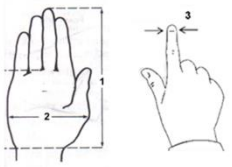
การเก็บตัวอย่างข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบฟอร์มการเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลการทดลองได้มีการจัดทำแบบฟอร์มขึ้นเพื่อใช้ตรวจสอบว่าได้ทำการทดลองครบทุกเงื่อนไขหรือไม่ ดังภาพตัวอย่างดังต่อไปนี้

ตารางที่ ข.1 แบบฟอร์มตรวจสอบการเก็บข้อมูลเบื้องต้น

ชื่อ	เพศ	น้ำหนัก	ส่วนสูง	อายุ	ประสบการณ์การใช้อุปกรณ์แบบหน้าจอสัมผัส (Touch screen)	สัดส่วนร่างกาย	ขนาดที่วัดได้
							1. ความยาวฝ่ามือ _____ 2. ความกว้างฝ่ามือ _____ 3. ความกว้างนิ้ว _____

ตารางที่ ค.2 แบบฟอร์มตรวจสอบการเก็บข้อมูล (สำหรับการทดลองที่วางแท็บเล็ตบนโต๊ะ)

TABLE								
ID	การทำซ้ำ (replication)							
	1				2			
	Tap	Tap	Drag	Drag	Tap	Tap	Drag	Drag
	Finger	Digital Pen	Finger	Digital Pen	Finger	Digital Pen	Finger	Digital Pen
1								
	(200, 40)	(200, 40)	(100, 80)	(100, 80)	(200, 40)	(200, 40)	(100, 80)	(100, 80)
2								
	(450, 30)	(450, 30)	(200, 80)	(200, 80)	(450, 30)	(450, 30)	(200, 80)	(200, 80)
3								
	(650, 20)	(650, 20)	(200, 30)	(200, 30)	(650, 20)	(650, 20)	(200, 30)	(200, 30)

แบบฟอร์มตามตารางที่ ค.1 เป็นแบบฟอร์มสำหรับการทดสอบสมรรถนะแบบใช้งานแท็บเล็ตบนโต๊ะ (PT) จึงไม่มีส่วนของการทดสอบในสภาวะความล้าดังเช่นตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.3 แบบฟอร์มตรวจสอบการเก็บข้อมูล (สำหรับการทดลองที่มีการถือแท็บเล็ต)

FLAT HAND																
ID	การทำซ้ำ (replication)															ระยะเวลารวมที่ใช้
	1															
	① ทดสอบก่อนรู้สึกล้า					② ทดสอบขณะเริ่มรู้สึกล้า					③ ทดสอบหลังรู้สึกล้ามาก					
	Tap	Tap	Drag	Drag		Tap	Tap	Drag	Drag		Tap	Tap	Drag	Drag		
	Finger	Digital Pen	Finger	Digital Pen		Finger	Digital Pen	Finger	Digital Pen		Finger	Digital Pen	Finger	Digital Pen		
1																
	(200, 40)	(200, 40)	(100, 80)	(100, 80)		(200, 40)	(200, 40)	(100, 80)	(100, 80)		(200, 40)	(200, 40)	(100, 80)	(100, 80)		
2																
	(450, 30)	(450, 30)	(200, 80)	(200, 80)		(450, 30)	(450, 30)	(200, 80)	(200, 80)		(450, 30)	(450, 30)	(200, 80)	(200, 80)		
3																
	(650, 20)	(650, 20)	(200, 30)	(200, 30)		(650, 20)	(650, 20)	(200, 30)	(200, 30)		(650, 20)	(650, 20)	(200, 30)	(200, 30)		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

ผลการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง.1 สมการ Linear Regression สำหรับงานรูปแบบแตะสัมผัสโดยนิ้วมือ

รูปแบบการใช้งานแท็บเล็ต	ผู้ร่วมทดลอง	①การใช้งานแท็บเล็ต ~15 นาที				②การใช้งานแท็บเล็ตขณะถือเป็นเวลา ~25-30 นาที				③การใช้งานแท็บเล็ตขณะถือเป็นเวลา ~35-45 นาที			
		Linear Regression Y = bX + a	R^2	a	IP=1/b	Linear Regression Y = bX + a	R^2	a	IP=1/b	Linear Regression Y = bX + a	R^2	a	IP=1/b
วางบนโต๊ะ (Put on the table; TB)	F1	Y =0.091X+0.098	0.84	0.10	11.02	-	-	-	-	-	-	-	-
	F2	Y =0.126X+0.011	0.82	0.01	7.94	-	-	-	-	-	-	-	-
	F3	Y =0.079X+0.142	0.83	0.14	12.62	-	-	-	-	-	-	-	-
	F4	Y =0.088X+0.26	0.88	0.26	11.39	-	-	-	-	-	-	-	-
	M1	Y =0.086X+0.066	0.82	0.07	11.59	-	-	-	-	-	-	-	-
	M2	Y =0.059X+0.347	0.83	0.35	17.04	-	-	-	-	-	-	-	-
	M3	Y =0.111X+0.017	0.86	0.02	9.01	-	-	-	-	-	-	-	-
	M4	Y =0.111X+0.162	0.86	0.16	9.02	-	-	-	-	-	-	-	-
ท่าถือ Clipboard (CB)	F1	Y =0.073X+0.213	0.78	0.21	13.77	Y =0.09X+0.132	0.77	0.13	11.11	Y =0.09X+0.131	0.81	0.13	11.10
	F2	Y =0.094X+0.16	0.78	0.16	10.59	Y =0.134X+0.012	0.80	0.01	7.47	Y =0.109X+0.102	0.76	0.10	9.15
	F3	Y =0.073X+0.108	0.76	0.11	13.64	Y =0.106X+0.009	0.82	0.01	9.45	Y =0.12X-0.029	0.91	-0.03	8.35
	F4	Y =0.075X+0.272	0.80	0.27	13.38	Y =0.073X+0.314	0.83	0.31	13.68	Y =0.089X+0.247	0.88	0.25	11.27
	M1	Y =0.111X+0.004	0.86	0.00	9.01	Y =0.109X+0.019	0.90	0.02	9.18	Y =0.094X+0.059	0.85	0.06	10.62
	M2	Y =0.106X+0.109	0.81	0.11	9.47	Y =0.105X+0.102	0.84	0.10	9.50	Y =0.093X+0.195	0.79	0.20	10.71
	M3	Y =0.072X+0.154	0.77	0.15	13.88	Y =0.095X+0.127	0.80	0.13	10.48	Y =0.085X+0.137	0.80	0.14	11.72
	M4	Y =0.096X+0.199	0.89	0.20	10.39	Y =0.119X+0.156	0.89	0.16	8.43	Y =0.086X+0.237	0.79	0.24	11.67
ท่าถือFlat hand (FH)	F1	Y =0.095X+0.1	0.77	0.10	10.48	Y =0.101X+0.065	0.89	0.07	9.92	Y =0.086X+0.102	0.81	0.10	11.69
	F2	Y =0.093X+0.146	0.80	0.15	10.76	Y =0.138X-0.033	0.79	-0.03	7.27	Y =0.111X+0.097	0.85	0.10	8.98
	F3	Y =0.076X+0.162	0.78	0.16	13.10	Y =0.109X+0.025	0.85	0.03	9.18	Y =0.083X+0.108	0.78	0.11	12.03
	F4	Y =0.093X+0.255	0.78	0.25	10.78	Y =0.079X+0.286	0.75	0.29	12.64	Y =0.07X+0.328	0.83	0.33	14.25
	M1	Y =0.102X+0.154	0.81	0.15	9.80	Y =0.075X+0.224	0.81	0.22	13.34	Y =0.131X+0.008	0.81	0.01	7.64
	M2	Y =0.065X+0.333	0.81	0.33	15.34	Y =0.069X+0.376	0.84	0.38	14.53	Y =0.073X+0.314	0.76	0.31	13.75
	M3	Y =0.094X+0.085	0.78	0.09	10.67	Y =0.084X+0.075	0.72	0.08	11.95	Y =0.11X-0.024	0.86	-0.02	9.12
	M4	Y =0.087X+0.213	0.91	0.21	11.55	Y =0.076X+0.228	0.85	0.23	13.13	Y =0.083X+0.202	0.90	0.20	12.01
ท่าถือ Thumb Extended with Thenar Support (TE)	F1	Y =0.073X+0.246	0.71	0.25	13.79	Y =0.117X+0.08	0.90	0.08	8.52	Y =0.102X+0.171	0.82	0.17	9.77
	F2	Y =0.098X+0.126	0.76	0.13	10.22	Y =0.097X+0.171	0.83	0.17	10.33	Y =0.12X+0.049	0.84	0.05	8.31
	F3	Y =0.092X+0.067	0.90	0.07	10.88	Y =0.095X-0.004	0.81	0.00	10.52	Y =0.091X+0.022	0.80	0.02	10.96
	F4	Y =0.061X+0.313	0.71	0.31	16.48	Y =0.103X+0.159	0.90	0.16	9.67	Y =0.119X+0.084	0.85	0.08	8.42
	M1	Y =0.09X+0.189	0.92	0.19	11.07	Y =0.1X+0.173	0.83	0.17	10.04	Y =0.085X+0.221	0.78	0.22	11.72
	M2	Y =0.084X+0.176	0.79	0.18	11.96	Y =0.102X+0.13	0.80	0.13	9.80	Y =0.119X+0.04	0.82	0.04	8.42
	M3	Y =0.085X+0.136	0.90	0.14	11.76	Y =0.12X+0.077	0.79	0.08	8.33	Y =0.078X+0.123	0.80	0.12	12.81
	M4	Y =0.112X+0.151	0.82	0.15	8.97	Y =0.105X+0.156	0.87	0.16	9.54	Y =0.09X+0.206	0.81	0.21	11.09

ตารางที่ ง.2 สมการ Linear Regression สำหรับงานรูปแบบแตะสัมผัสโดยปากกาดิจิตอล

รูปแบบการใช้งานแท็บเล็ต	ผู้ร่วมทดลอง	①การใช้งานแท็บเล็ต ~15 นาที				②การใช้งานแท็บเล็ตขณะถือเป็นเวลา ~25-30 นาที				③การใช้งานแท็บเล็ตขณะถือเป็นเวลา ~35-45 นาที			
		Linear Regression Y = bX + a	R^2	a	IP=1/b	Linear Regression Y = bX + a	R^2	a	IP=1/b	Linear Regression Y = bX + a	R^2	a	IP=1/b
วางบนโต๊ะ (Put on the table; TB)	F1	Y =0.132X+0.072	0.88	0.07	7.57	-	-	-	-	-	-	-	-
	F2	Y =0.111X+0.137	0.85	0.14	9.02	-	-	-	-	-	-	-	-
	F3	Y =0.17X-0.122	0.91	-0.12	5.87	-	-	-	-	-	-	-	-
	F4	Y =0.131X+0.302	0.81	0.30	7.65	-	-	-	-	-	-	-	-
	M1	Y =0.163X-0.091	0.83	-0.09	6.13	-	-	-	-	-	-	-	-
	M2	Y =0.112X+0.208	0.81	0.21	8.96	-	-	-	-	-	-	-	-
	M3	Y =0.211X-0.02	0.77	-0.02	4.73	-	-	-	-	-	-	-	-
	M4	Y =0.12X+0.14	0.90	0.14	8.32	-	-	-	-	-	-	-	-
ท่าถือ Clipboard (CB)	F1	Y =0.118X+0.131	0.86	0.13	8.46	Y =0.1X+0.189	0.78	0.19	10.04	Y =0.101X+0.193	0.81	0.19	9.95
	F2	Y =0.083X+0.288	0.75	0.29	12.09	Y =0.102X+0.201	0.87	0.20	9.82	Y =0.15X+0.01	0.78	0.01	6.68
	F3	Y =0.147X-0.044	0.90	-0.04	6.79	Y =0.138X-0.057	0.88	-0.06	7.25	Y =0.136X-0.042	0.85	-0.04	7.35
	F4	Y =0.105X+0.313	0.90	0.31	9.54	Y =0.103X+0.297	0.85	0.30	9.73	Y =0.116X+0.24	0.91	0.24	8.60
	M1	Y =0.123X+0.05	0.84	0.05	8.13	Y =0.138X-0.004	0.92	0.00	7.27	Y =0.155X-0.066	0.84	-0.07	6.47
	M2	Y =0.154X+0.02	0.87	0.02	6.51	Y =0.121X+0.082	0.82	0.08	8.27	Y =0.151X+0.021	0.87	0.02	6.63
	M3	Y =0.145X+0.067	0.87	0.07	6.89	Y =0.132X+0.19	0.81	0.19	7.56	Y =0.153X+0.045	0.78	0.05	6.55
	M4	Y =0.136X+0.133	0.81	0.13	7.36	Y =0.131X+0.187	0.89	0.19	7.62	Y =0.111X+0.213	0.81	0.21	9.01
ท่าถือFlat hand (FH)	F1	Y =0.138X-0.019	0.93	-0.02	7.23	Y =0.137X-0.015	0.92	-0.02	7.32	Y =0.156X-0.072	0.90	-0.07	6.41
	F2	Y =0.102X+0.133	0.84	0.13	9.78	Y =0.142X-0.054	0.83	-0.05	7.04	Y =0.09X+0.233	0.76	0.23	11.09
	F3	Y =0.105X+0.112	0.76	0.11	9.55	Y =0.154X-0.021	0.92	-0.02	6.51	Y =0.12X+0.091	0.78	0.09	8.33
	F4	Y =0.089X+0.365	0.79	0.36	11.26	Y =0.149X+0.166	0.81	0.17	6.72	Y =0.121X+0.284	0.81	0.28	8.25
	M1	Y =0.189X-0.053	0.85	-0.05	5.28	Y =0.161X+0.024	0.86	0.02	6.20	Y =0.167X+0.053	0.89	0.05	5.99
	M2	Y =0.128X+0.132	0.82	0.13	7.81	Y =0.126X+0.188	0.81	0.19	7.96	Y =0.086X+0.398	0.83	0.40	11.63
	M3	Y =0.168X-0.051	0.84	-0.05	5.95	Y =0.173X-0.046	0.89	-0.05	5.77	Y =0.149X+0.158	0.75	0.16	6.73
	M4	Y =0.108X+0.173	0.89	0.17	9.27	Y =0.098X+0.219	0.85	0.22	10.21	Y =0.102X+0.212	0.86	0.21	9.76
ท่าถือ Thumb Extended with Thenar Support (TE)	F1	Y =0.155X+0.065	0.87	0.07	6.46	Y =0.182X-0.063	0.92	-0.06	5.49	Y =0.076X+0.292	0.69	0.29	13.21
	F2	Y =0.125X+0.027	0.85	0.03	8.00	Y =0.105X+0.139	0.78	0.14	9.54	Y =0.084X+0.302	0.62	0.30	11.94
	F3	Y =0.118X+0.039	0.88	0.04	8.47	Y =0.155X-0.095	0.83	-0.09	6.46	Y =0.111X+0.053	0.82	0.05	9.01
	F4	Y =0.081X+0.356	0.81	0.36	12.28	Y =0.099X+0.296	0.81	0.30	10.13	Y =0.072X+0.399	0.67	0.40	13.81
	M1	Y =0.109X+0.215	0.87	0.21	9.16	Y =0.11X+0.213	0.83	0.21	9.07	Y =0.102X+0.242	0.64	0.24	9.82
	M2	Y =0.122X+0.092	0.80	0.09	8.20	Y =0.148X+0.013	0.86	0.01	6.74	Y =0.089X+0.211	0.69	0.21	11.19
	M3	Y =0.15X+0.056	0.80	0.06	6.67	Y =0.131X+0.098	0.76	0.10	7.63	Y =0.106X+0.268	0.51	0.27	9.47
	M4	Y =0.127X+0.159	0.84	0.16	7.86	Y =0.141X+0.121	0.90	0.12	7.08	Y =0.101X+0.275	0.72	0.28	9.87

ตารางที่ ง.3 สมการ Linear Regression สำหรับงานรูปแบบวาดสัมผัสโดยนิ้วมือ

รูปแบบการใช้งานแท็บเล็ต	ผู้ร่วมทดลอง	①การใช้งานแท็บเล็ต ~15 นาที				② การใช้งานแท็บเล็ตขณะถือเป็นเวลา ~25-30 นาที				③ การใช้งานแท็บเล็ตขณะถือเป็นเวลา ~35-45 นาที			
		Linear Regression Y = bX + a	R^2	a	IP=1/b	Linear Regression Y = bX + a	R^2	a	IP=1/b	Linear Regression Y = bX + a	R^2	a	IP=1/b
วางบนโต๊ะ (Put on the table; TB)	F1	Y =1.134X-2.54	0.97	-2.54	0.88	-	-	-	-	-	-	-	-
	F2	Y =0.947X-1.294	0.95	-1.29	1.06	-	-	-	-	-	-	-	-
	F3	Y =0.605X-0.407	0.93	-0.41	1.65	-	-	-	-	-	-	-	-
	F4	Y =0.633X-0.425	0.95	-0.42	1.58	-	-	-	-	-	-	-	-
	M1	Y =0.915X-2.161	0.94	-2.16	1.09	-	-	-	-	-	-	-	-
	M2	Y =0.97X-1.874	0.96	-1.87	1.03	-	-	-	-	-	-	-	-
	M3	Y =1.234X-2.572	0.93	-2.57	0.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	M4	Y =0.584X-0.669	0.95	-0.67	1.71	-	-	-	-	-	-	-	-
ท่าถือ Clipboard (CB)	F1	Y =0.507X-0.624	0.96	-0.62	1.97	Y =0.433X-0.47	0.95	-0.47	2.31	Y =0.413X-0.359	0.93	-0.36	2.42
	F2	Y =0.833X-0.934	0.97	-0.93	1.20	Y =0.819X-0.828	0.95	-0.83	1.22	Y =0.931X-1.154	0.96	-1.15	1.07
	F3	Y =0.818X-1.401	0.80	-1.40	1.22	Y =0.582X-0.542	0.95	-0.54	1.72	Y =0.413X+0.013	0.80	0.01	2.42
	F4	Y =0.735X-1.012	0.96	-1.01	1.36	Y =0.69X-0.748	0.98	-0.75	1.45	Y =0.635X-0.572	0.94	-0.57	1.58
	M1	Y =0.6X-0.956	0.96	-0.96	1.67	Y =0.69X-1.461	0.98	-1.46	1.45	Y =0.647X-1.285	0.98	-1.28	1.55
	M2	Y =1.692X-4.476	0.95	-4.48	0.59	Y =1.28X-3.435	0.93	-3.43	0.78	Y =1.18X-2.838	0.96	-2.84	0.85
	M3	Y =1.359X-2.981	0.97	-2.98	0.74	Y =2.74X-7.999	0.91	-8.00	0.36	Y =1.668X-4.381	0.91	-4.38	0.60
	M4	Y =0.732X-1.119	0.93	-1.12	1.37	Y =0.73X-1.286	0.96	-1.29	1.37	Y =0.615X-0.857	0.98	-0.86	1.63
ท่าถือFlat hand (FH)	F1	Y =0.635X-1.152	0.98	-1.15	1.57	Y =0.564X-0.433	0.97	-0.43	1.77	Y =0.769X-1.686	1.00	-1.69	1.30
	F2	Y =0.957X-1.465	0.95	-1.47	1.05	Y =0.899X-1.362	0.93	-1.36	1.11	Y =0.795X-0.476	0.97	-0.48	1.26
	F3	Y =0.727X-0.716	0.81	-0.72	1.38	Y =0.605X-0.224	0.86	-0.22	1.65	Y =0.912X-1.797	0.92	-1.80	1.10
	F4	Y =0.762X-1.035	0.93	-1.03	1.31	Y =0.785X-1.171	0.97	-1.17	1.27	Y =1.045X-1.862	0.99	-1.86	0.96
	M1	Y =0.704X-1.034	0.88	-1.03	1.42	Y =0.695X-0.933	0.94	-0.93	1.44	Y =1.025X-1.924	0.91	-1.92	0.98
	M2	Y =1.094X-2.409	0.97	-2.41	0.91	Y =1.727X-4.314	0.95	-4.31	0.58	Y =1.173X-2.302	0.99	-2.30	0.85
	M3	Y =1.172X-2.96	0.91	-2.96	0.85	Y =1.298X-3.17	0.94	-3.17	0.77	Y =1.262X-3.054	0.91	-3.05	0.79
	M4	Y =0.519X-0.657	0.99	-0.66	1.93	Y =0.678X-1.181	0.98	-1.18	1.48	Y =0.41X-0.226	0.96	-0.23	2.44
ท่าถือ Thumb Extended with Thenar Support (TE)	F1	Y =0.574X-0.549	0.98	-0.55	1.74	Y =0.749X-1.108	0.97	-1.11	1.34	Y =0.877X-1.584	0.98	-1.58	1.14
	F2	Y =0.644X-0.294	0.83	-0.29	1.55	Y =1.013X-1.714	0.97	-1.71	0.99	Y =0.487X+0.37	0.89	0.37	2.05
	F3	Y =0.55X-0.665	0.84	-0.66	1.82	Y =0.586X-0.789	0.86	-0.79	1.71	Y =0.692X-1.151	0.92	-1.15	1.45
	F4	Y =0.67X-0.793	0.97	-0.79	1.49	Y =0.658X-0.786	0.97	-0.79	1.52	Y =0.573X-0.442	0.95	-0.44	1.74
	M1	Y =0.528X-0.469	0.92	-0.47	1.89	Y =0.697X-1.149	0.97	-1.15	1.44	Y =0.525X-0.423	0.91	-0.42	1.90
	M2	Y =1.06X-2.634	0.96	-2.63	0.94	Y =1.423X-3.748	0.92	-3.75	0.70	Y =1.329X-3.61	0.95	-3.61	0.75
	M3	Y =1.049X-2.125	0.96	-2.13	0.95	Y =1.302X-2.893	0.92	-2.89	0.77	Y =0.525X+0.51	0.93	0.51	1.90
	M4	Y =0.672X-1.016	0.91	-1.02	1.49	Y =0.743X-1.292	0.96	-1.29	1.35	Y =0.713X-1.097	0.95	-1.10	1.40

ตารางที่ ง.4 สมการ Linear Regression สำหรับงานรูปแบบวาดสัมผัสโดยปากกาดิจิตอล

รูปแบบการใช้งานแท็บเล็ต	ผู้ร่วมทดลอง	①การใช้งานแท็บเล็ต ~15 นาที				② การใช้งานแท็บเล็ตขณะถือเป็นเวลา ~25-30 นาที				③ การใช้งานแท็บเล็ตขณะถือเป็นเวลา ~35-45 นาที			
		Linear Regression Y = bX + a	R^2	a	IP=1/b	Linear Regression Y = bX + a	R^2	a	IP=1/b	Linear Regression Y = bX + a	R^2	a	IP=1/b
วางบนโต๊ะ (Put on the table; TB)	F1	Y =0.937X-2.086	0.83	-2.09	1.07	-	-	-	-	-	-	-	-
	F2	Y =0.842X-0.894	0.93	-0.89	1.19	-	-	-	-	-	-	-	-
	F3	Y =0.616X-0.491	0.83	-0.49	1.62	-	-	-	-	-	-	-	-
	F4	Y =0.744X-0.802	0.89	-0.80	1.34	-	-	-	-	-	-	-	-
	M1	Y =0.917X-2.141	0.94	-2.14	1.09	-	-	-	-	-	-	-	-
	M2	Y =1.009X-1.978	0.95	-1.98	0.99	-	-	-	-	-	-	-	-
	M3	Y =1.29X-2.79	0.95	-2.79	0.77	-	-	-	-	-	-	-	-
	M4	Y =0.685X-0.909	0.80	-0.91	1.46	-	-	-	-	-	-	-	-
ท่าถือ Clipboard (CB)	F1	Y =1.075X-2.359	0.96	-2.36	0.93	Y =1.108X-2.641	0.99	-2.64	0.90	Y =1.094X-2.835	0.91	-2.84	0.91
	F2	Y =0.768X-0.647	0.92	-0.65	1.30	Y =1.001X-1.144	0.97	-1.14	1.00	Y =1.083X-1.52	0.96	-1.52	0.92
	F3	Y =0.949X-1.881	0.90	-1.88	1.05	Y =0.93X-2.008	0.95	-2.01	1.08	Y =0.467X-0.461	0.82	-0.46	2.14
	F4	Y =0.624X-0.633	0.97	-0.63	1.60	Y =0.614X-0.696	0.96	-0.70	1.63	Y =0.81X-1.157	0.97	-1.16	1.24
	M1	Y =0.685X-1.252	0.96	-1.25	1.46	Y =0.798X-1.767	0.96	-1.77	1.25	Y =0.729X-1.492	0.98	-1.49	1.37
	M2	Y =1.593X-4.33	0.97	-4.33	0.63	Y =1.211X-3.2	0.94	-3.20	0.83	Y =1.407X-3.703	0.97	-3.70	0.71
	M3	Y =1.802X-4.627	0.93	-4.63	0.55	Y =2.416X-7.005	0.92	-7.01	0.41	Y =1.539X-3.96	0.95	-3.96	0.65
	M4	Y =0.677X-0.939	0.93	-0.94	1.48	Y =0.718X-1.002	0.94	-1.00	1.39	Y =0.595X-0.702	0.90	-0.70	1.68
ท่าถือFlat hand (FH)	F1	Y =0.718X-0.695	0.94	-0.70	1.39	Y =1.071X-2.611	0.99	-2.61	0.93	Y =1.335X-3.187	0.97	-3.19	0.75
	F2	Y =1.002X-1.437	0.93	-1.44	1.00	Y =1.027X-1.896	0.64	-1.90	0.97	Y =0.912X-0.983	0.87	-0.98	1.10
	F3	Y =0.571X-0.262	0.81	-0.26	1.75	Y =0.482X+0.207	0.84	0.21	2.08	Y =0.647X-0.996	0.81	-1.00	1.55
	F4	Y =0.793X-1.217	0.99	-1.22	1.26	Y =0.736X-1.066	0.96	-1.07	1.36	Y =1.424X-3.392	0.96	-3.39	0.70
	M1	Y =1.088X-2.497	0.99	-2.50	0.92	Y =0.85X-1.434	0.96	-1.43	1.18	Y =1.642X-4.126	0.95	-4.13	0.61
	M2	Y =1.097X-2.399	0.92	-2.40	0.91	Y =1.621X-3.959	0.96	-3.96	0.62	Y =1.307X-2.796	0.95	-2.80	0.76
	M3	Y =1.11X-2.665	0.93	-2.66	0.90	Y =1.605X-4.348	0.91	-4.35	0.62	Y =1.559X-4.117	0.94	-4.12	0.64
	M4	Y =0.649X-1.129	0.98	-1.13	1.54	Y =0.768X-1.393	0.98	-1.39	1.30	Y =0.619X-0.844	0.93	-0.84	1.61
ท่าถือ Thumb Extended with Thenar Support (TE)	F1	Y =0.803X-1.335	0.98	-1.34	1.24	Y =0.874X-1.489	0.98	-1.49	1.14	Y =1.132X-2.401	0.96	-2.40	0.88
	F2	Y =0.634X+0.001	0.86	0.00	1.58	Y =0.849X-0.77	0.90	-0.77	1.18	Y =0.78X-0.534	0.88	-0.53	1.28
	F3	Y =0.932X-1.931	0.92	-1.93	1.07	Y =0.742X-1.528	0.96	-1.53	1.35	Y =0.545X-0.728	0.89	-0.73	1.83
	F4	Y =0.722X-1.024	0.96	-1.02	1.39	Y =0.772X-1.202	0.97	-1.20	1.30	Y =0.608X-0.582	0.97	-0.58	1.64
	M1	Y =0.685X-0.958	0.96	-0.96	1.46	Y =0.686X-0.879	0.96	-0.88	1.46	Y =0.737X-1.18	0.93	-1.18	1.36
	M2	Y =1.24X-3.299	0.93	-3.30	0.81	Y =1.24X-3.256	0.93	-3.26	0.81	Y =1.289X-3.501	0.94	-3.50	0.78
	M3	Y =1.022X-1.965	0.95	-1.96	0.98	Y =0.937X-1.68	0.96	-1.68	1.07	Y =1.207X-2.79	0.94	-2.79	0.83
	M4	Y =0.816X-1.452	0.96	-1.45	1.22	Y =0.844X-1.461	0.98	-1.46	1.19	Y =0.722X-0.95	0.86	-0.95	1.39

ภาคผนวก จ

รูประหว่างการทำการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวอย่างรูประหว่างทำการทดลองและเก็บข้อมูล

1. การทดลองของผู้เข้าร่วมการทดลองชาย

รูปที่ จ.1 การทดลองจากการใช้แท็บเล็ตท่าทางต่างๆ

(1) Put on Table (PT), (2) Clipboard Grip (CG),

(3) Flat Hand (FH), (4) Thumb Extended with Thenar Support (TE)

2. การทดลองของผู้เข้าร่วมการทดลองหญิง

รูปที่ จ.2 การทดลองจากการใช้แท็บเล็ตท่าทางต่างๆ

(1) Put on Table (PT), (2) Clipboard Grip (CG),

(3) Flat Hand (FH), (4) Thumb Extended with Thenar Support (TE)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว นภัทร ยงบุญธนภัทร เกิดเมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2532 เป็นคนจังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอุดรพิทยานุกูล จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีในสาขาการจัดการวิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2554 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง ผู้ชำนาญการด้านการวางแผนคุณภาพ บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ เอเชียแปซิฟิค เอ็นจิเนียริงแอนด์แมนูแฟคเจอริง จำกัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University