

การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของทัชสกรีนและทัชแพด

นางสาวปุณยนุช ธัญญกุลสัจจา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A comparison of using performance between touchscreen and touchpad

Miss Punyanut Tanyakunsadcha



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 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของทัชสกรีนและทัชแพด
โดย	นางสาวปุณยนุช ฉัญญกุลสัจจา
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสงศ์ โอสธสิลป์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. อริศรา เจียมสงวนวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(นาวาอากาศเอก รองศาสตราจารย์ สุทธิ ศรีบูรพา)

ปยุตนุช ธีญญกุลสัจจา : การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของทัชสกรีนและทัชแพด (A comparison of using performance between touchscreen and touchpad) อ.ที่  
 ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 149 หน้า.

แท็บเล็ตเป็นอุปกรณ์ที่มาพร้อมกับปากกาจิจิตอลที่รองรับการเขียนได้อย่างเสมือนจริง  
 สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ 1.ทัชสกรีนเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับสัมผัสโดยตรงกับหน้าจอแสดงผล  
 2.ทัชแพดเป็นการสัมผัสทางอ้อมโดยจะต้องมีจอแสดงผลใช้งานร่วมกัน ทำให้ข้อมูลถูกส่งไป  
 ประมวลผลเป็นเวลานานรวมถึงการที่ทัชแพดมีราคาที่สูงกว่าทัชสกรีนมาก จึงได้ศึกษาเปรียบเทียบ  
 สมรรถนะในการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดที่มีการใช้งานร่วมกับหน้าจอแสดงผลขนาดต่างๆสำหรับ  
 งานแตะและงานลากตามมาตรฐาน ISO 9241-9 ที่อ้างอิงวิธีการทดสอบจากกฎของฟิตส์และสเตียร์ริง  
 โดยนำมุมมองมองเห็นมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดขนาดของจอแสดงผล ซึ่งขนาดมุมมองมองเห็นของ  
 จอทัชสกรีนถูกใช้เป็นหน่วยวัดในการเปรียบเทียบขนาดมุมมองมองเห็นของหน้าจอแสดงผลสำหรับ  
 การใช้งานร่วมกับทัชแพดที่แตกต่างกัน สำหรับทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็ก จะมี  
 อัตราส่วนของขนาดหน้าจอแสดงผลเล็กลงมาเมื่อเทียบกับหน้าจอทัชสกรีนคือ 1: 1: 0.82: 0.52:  
 0.23 ตามลำดับ และสำหรับทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ มีอัตราส่วนของขนาดหน้า  
 จอแสดงผลใหญ่ขึ้นเปรียบเทียบกับหน้าจอทัชสกรีนคือ 1: 1: 1.48: 1.96 ตามลำดับ ในงานวิจัยนี้มี  
 ผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 30 คน โดยจะแบ่งกลุ่มการทดสอบออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1.การใช้งาน  
 ทัชสกรีน 2.การใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีมุมมองมองเห็นขนาดเล็ก 3.การใช้งานทัชแพด  
 ร่วมกับจอแสดงผลที่มีมุมมองมองเห็นขนาดใหญ่ขึ้น จากผลการวิจัยพบว่าที่มุมมองมองเห็นเท่ากันการ  
 ใช้งานทัชสกรีนทั้งงานแตะและงานลากให้สมรรถนะในการใช้งานสูงกว่าทัชแพด ส่วนมุมมองเห็น  
 ใหญ่ขึ้นการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ทั้งงานแตะและงานลากมีสมรรถนะในการใช้  
 งานไม่แตกต่างกัน และที่มุมมองมองเห็นเล็ก การใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่  
 สำหรับงานแตะมีสมรรถนะในการใช้งานลดลงแต่สำหรับงานลากมีสมรรถนะในการใช้งานไม่แตกต่าง  
 กัน

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

# # 5770233421 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: FITT'S LAW / STEERING LAW / INDEX OF DIFFICULTY / INDEX OF PERFORMANCE

PUNYANUT TANYAKUNSADCHA: A comparison of using performance between touchscreen and touchpad. ADVISOR: ASST. PROF. PHAIROAT LADAVICHITKUL, Ph.D., 149 pp.

Tablet is an input device with digital pen which provides virtual writing. Tablet is divided into two categories. The first one is touchscreen which is direct touch interface device and the second is touchpad which is indirect touch interface device that require output device. In addition, touchpad is cheaper than touchscreen. This experiment studied about using touchscreen and touchpad with different size of display in both tapping and dragging task followed in ISO 9241-9 which cited the method of fitts' law and steering law by adapting visual angle to determine display size. The visual angle of touchscreen was used as a benchmark to compare with others visual angle. For the touchpad with small display usage, the ratio between small display size and touchscreen display size decreased as 1: 1: 0.82: 0.52: 0.23. For the touchpad with large display usage, the ratio between large display size and touchscreen display size increased as 1: 1: 1.48: 1.96. In the study, there were 30 participants in the experiment. The participants were divided to do three different groups. The first group was the touchscreen usage. The second group was the touchpad with decreasing visual angle display usage. The last group was the touchpad with increasing visual angle display usage. The results of these experiment showed that Firstly, touchscreen provided higher performance than touchpad with equal visual angle in both tapping and dragging tasks. Secondly, touchpad with increasing visual angle of big display usage provided equal performance in both tapping and dragging tasks. Lastly, touchpad with decreasing visual angle of big display usage provided diminishing performance in tapping task but in dragging task the usage provided equal performance.

Department: Industrial Engineering      Student's Signature .....

Field of Study: Industrial Engineering      Advisor's Signature .....

Academic Year: 2016

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้ให้คำแนะนำและแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมถึงผู้เข้าร่วมการทดลองทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีและให้ความช่วยเหลืออย่างเต็มที่ในการทดลอง



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	8
1.3 ขอบเขตงานวิจัย .....	8
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย .....	9
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ .....	9
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	10
2.1 รายละเอียดของแท็บเล็ต (Tablet).....	10
2.1.1 ความหมายของแท็บเล็ต .....	10
2.1.2 วิวัฒนาการของแท็บเล็ต.....	10
2.1.3 ประเภทของแท็บเล็ต.....	15
2.1.4 ระบบปฏิบัติการของแท็บเล็ต .....	16
2.1.5 อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (Input device).....	17
2.2 จอแสดงผล (Visual display terminal, VDT) .....	18
2.3 การวัดระดับสายตา (Visual acuity) .....	22
2.4 มุมการมองเห็น (Visual angle).....	25
2.5 การประเมินสมรรถนะการทำงานตามกฎของ Fitts และ Steering.....	27

2.5.1 กฎของฟิตส์ (Fitts' law).....	27
2.5.2 กฎของสตีริง (Steering law).....	29
2.6 งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย .....	34
3.1 ผู้เข้าร่วมงานวิจัย .....	34
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	34
3.3 โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง .....	38
3.4 สถานที่ที่ใช้ในการทดลองและการออกแบบสถานการณ์.....	39
3.5 วิธีการดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล .....	40
3.6 ความยากของงาน (Index of difficulty, ID).....	43
3.7 ตัวแปรที่ศึกษา.....	44
3.8 การออกแบบการทดลอง.....	45
3.9 สมมติฐานการทดสอบ.....	46
3.9.1 ทดสอบระยะเวลาในการใช้งาน .....	46
3.9.2 จุดตัดและค่า $R^2$ .....	47
3.9.3 ทดสอบสมรรถนะในการใช้งาน.....	49
3.9.4 ปัญหา Cursor overshoot และ Cursor undershoot สำหรับงานแตะ.....	50
3.10 การวิเคราะห์ผล .....	51
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	52
4.1 ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล.....	65
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับงานแตะตามแนวคิดของ Fitts' law .....	66
4.2.1 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของการใช้งานปากกาดีจิตอลบน ทัชสกรีนและทัชแพดที่ขนาดจอแสดงผลต่างๆสำหรับงานแตะ .....	66



4.2.1.1 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของการใช้งานปากกาดีจิตอลบน ทัชस्कรินและทัชแพดที่มีขนาดมูมการมองเห็นเท่ากันสำหรับงานแต่ละ .....	66
4.2.1.2 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของการใช้งานปากกาดีจิตอลบน ทัชस्कรินและทัชแพดที่มีขนาดมูมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานแต่ละ .....	69
4.2.1.3 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของการใช้งานปากกาดีจิตอล บนทัชแพดที่มีขนาดมูมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแต่ละ .....	72
4.2.2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear regression) ของเวลาในการใช้งานและค่าดัชนี ความยากของงานกับอุปกรณ์ทัชस्कรินและทัชแพดที่มีมูมการมองเห็นต่างๆสำหรับ งานแต่ละ .....	75
4.2.3 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของอุปกรณ์ ทัชस्कรินและทัชแพดที่มีขนาดมูมการมองเห็นต่างๆสำหรับงานแต่ละ .....	75
4.2.3.1 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้ งานปากกาดีจิตอลบนทัชस्कรินและทัชแพดที่มีมูมการมองเห็นเท่ากัน สำหรับงานแต่ละ .....	76
4.2.3.2 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้ งานปากกาดีจิตอลบนทัชแพดที่มีขนาดมูมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงาน แต่ละ .....	77
4.2.3.3 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้ งานปากกาดีจิตอลบนทัชแพดที่มีขนาดมูมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงาน แต่ละ .....	78
4.2.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของการใช้งานปากกาดีจิตอลบนทัชस्कริน และทัชแพดที่มีขนาดมูมการมองเห็นต่างๆสำหรับงานแต่ละ .....	79
4.2.4.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของการใช้งานปากกาดีจิตอลบน ทัชस्कรินและทัชแพดที่มีขนาดมูมการมองเห็นเท่ากันสำหรับงานแต่ละ .....	79
4.2.4.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานของการใช้งานปากกาดีจิตอล บนทัชแพดที่มีขนาดมูมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานแต่ละ .....	81

4.2.4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานของการใช้งานปากกาดีจิตอล บนทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ .....	83
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับงานลากตามแนวคิดของ Steering law .....	85
4.3.1 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของการใช้งานปากกาดีจิตอลบนทัชสกรีน และทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นต่างๆสำหรับงานลาก.....	85
4.3.1.1 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของการใช้งานปากกาดีจิตอลบน ทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นเท่ากันสำหรับงานลาก .....	86
4.3.1.2 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของการใช้งานปากกาดีจิตอล บนทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นเล็กสำหรับงานลาก .....	88
4.3.1.3 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของการใช้งานปากกาดีจิตอล บนทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก .....	91
4.3.2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear regression) ของเวลาในการใช้งานและค่าดัชนี ความยากของงานกับอุปกรณ์ทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นต่างๆ สำหรับงานลาก .....	94
4.3.3 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของอุปกรณ์ ทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นต่างๆสำหรับงานลาก.....	95
4.3.3.1 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้ งานปากกาดีจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็น เท่ากันสำหรับงานลาก .....	95
4.3.3.2 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้ งานปากกาดีจิตอลบนทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นเล็กสำหรับงาน ลาก.....	96
4.3.3.3 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้ งานปากกาดีจิตอลบนทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงาน ลาก.....	97

4.3.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของการทำงานของปากกาดีจิจิตอลบนทัชสกรีน และทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นต่างๆสำหรับงานลาก.....	98
4.3.4.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของการทำงานของปากกาดีจิจิตอลบน ทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นเท่ากันสำหรับงานลาก .....	99
4.3.4.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของการทำงานของปากกาดีจิจิตอลบนทัช แพดที่มีขนาดมุมมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานลาก .....	100
4.3.4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของการทำงานของปากกาดีจิจิตอลบนทัช แพดที่มีขนาดมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก .....	102
4.4 การวิเคราะห์ปัญหา Cursor overshoot และ Cursor undershoot.....	104
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	106
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	106
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในอนาคต .....	109
รายการอ้างอิง .....	110
ภาคผนวก.....	114
ภาคผนวก ก หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัย.....	115
ภาคผนวก ข สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear regression).....	117
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ข้อสมมติ (Assumption).....	134
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	149

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างราคาและคะแนนความพึงพอใจของอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับปากกาดีจิจิตอลจาก การสำรวจเว็บไซต์ www.amazon.com.....	3
ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างแท็บเล็ตตั้งแต่ปีค.ศ. 1968-2016.....	11
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทั่วไป จุดเด่นและจุดด้อยของระบบปฏิบัติการต่างๆ.....	16
ตารางที่ 2.3 แสดงระยะห่างในการรับชมทีวีที่เหมาะสมในระยะใกล้ละไกลกับหน้าจอทีวี LCD หรือ LED ขนาดต่างๆ.....	22
ตารางที่ 3.1 ความยากของงานสำหรับงานแตะ.....	44
ตารางที่ 3.2 ความยากของงานสำหรับงานลาก.....	44
ตารางที่ 3.3 ปัจจัยและระดับปัจจัยของกลุ่มการทดลองการใช้งานปากกาดีจิจิตอลลงบนทัชस्कริน กับทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางทั้งงานแตะ (Tap) และงานลาก (Drag).....	45
ตารางที่ 3.4 ปัจจัยและระดับปัจจัยของกลุ่มการทดลองการใช้งานปากกาดีจิจิตอลลงบนทัชस्कริน กับทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นทั้งงานแตะ (Tap) และงานลาก (Drag)....	46
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดลอง.....	52
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลระยะเวลาในการใช้งานเบื้องต้นของทัชस्कรินและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับ จอแสดงผลขนาดเล็ก (TV32) และขนาดใหญ่ (TV32) สำหรับงานแตะ.....	67
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการใช้งานทัชस्कรินและทัชแพดที่ใช้ งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแตะ.....	68
ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของทัชस्कรินและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับ จอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแตะ.....	68
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลระยะเวลาในการใช้งานเบื้องต้นของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาด เล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานแตะ.....	70
ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผล ขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานแตะ.....	71

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานที่ซัพแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มี มุมมองมองเห็นเล็กสำหรับงานแตะ .....	71
ตารางที่ 4.8 ข้อมูลระยะเวลาในการทำงานเบื้องต้นของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาด ใหญ่ที่มีมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ .....	73
ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการทำงานที่ซัพแพดสำหรับงานแตะ .....	74
ตารางที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานที่ซัพแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่ มีมุมมองมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ .....	74
ตารางที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งาน ร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแตะ .....	76
ตารางที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบค่า $R^2$ จากสมการเชิงเส้นตรงของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้ งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแตะ .....	77
ตารางที่ 4.13 ผลการเปรียบเทียบจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานที่ซัพแพดร่วมกับ จอแสดงผลที่มีมุมมองมองเห็นเล็กสำหรับงานแตะ .....	77
ตารางที่ 4.14 ผลการเปรียบเทียบค่า $R^2$ จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานที่ซัพแพดร่วมกับ จอแสดงผลที่มีมุมมองมองเห็นเล็กสำหรับงานแตะ .....	78
ตารางที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานที่ซัพแพดร่วมกับ จอแสดงผลที่มีมุมมองมองเห็นเล็กใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ .....	78
ตารางที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบค่า $R^2$ จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานที่ซัพแพดร่วมกับ จอแสดงผลที่มีมุมมองมองเห็นเล็กใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ .....	79
ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพด ร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแตะ .....	80
ตารางที่ 4.18 ผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการใช้งานเฉลี่ยของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งาน ร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแตะ .....	80
ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานที่ซัพแพดร่วมกับจอแสดงผล ขนาดเล็กที่มีมุมมองมองเห็นเล็กสำหรับงานแตะ .....	81
ตารางที่ 4.20 ผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการใช้งานเฉลี่ยของของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับ จอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองมองเห็นเล็กสำหรับงานแตะ .....	82

ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผล ขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ .....	83
ตารางที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะเฉลี่ยของของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผล ขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ .....	84
ตารางที่ 4.23 ข้อมูลระยะเวลาในการใช้งานเบื้องต้นของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับ จอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก .....	86
ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้ งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก .....	87
ตารางที่ 4.25 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับ จอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก .....	87
ตารางที่ 4.26 ข้อมูลระยะเวลาในการใช้งานเบื้องต้นของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผล ขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กลงสำหรับงานลาก .....	89
ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการใช้งานทัชแพดร่วมกับ จอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กลงสำหรับงานลาก.....	90
ตารางที่ 4.28 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่ มีมุมการมองเห็นเล็กลงสำหรับงานลาก .....	90
ตารางที่ 4.29 ข้อมูลระยะเวลาในการใช้งานเบื้องต้นของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผล ขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก .....	92
ตารางที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการใช้งานสำหรับงานลาก .....	93
ตารางที่ 4.31 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่ มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก .....	93
ตารางที่ 4.32 ผลการเปรียบเทียบจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งาน ร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก .....	96
ตารางที่ 4.33 ผลการเปรียบเทียบค่า $R^2$ จากสมการเชิงเส้นตรงของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้ งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก .....	96
ตารางที่ 4.34 ผลการเปรียบเทียบจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับ จอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กลงสำหรับงานลาก.....	97

ตารางที่ 4. 35 ผลการเปรียบเทียบค่า $R^2$ จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับ จอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กสำหรับงานลาก.....	97
ตารางที่ 4.36 ผลการเปรียบเทียบจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับ จอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก .....	98
ตารางที่ 4.37 ผลการเปรียบเทียบค่า $R^2$ จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับ จอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก .....	98
ตารางที่ 4.38 ผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้ งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก .....	99
ตารางที่ 4.39 ผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้ งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก .....	99
ตารางที่ 4.40 ผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผล ขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กสำหรับงานลาก .....	101
ตารางที่ 4.41 ผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับ จอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กสำหรับงานลาก.....	101
ตารางที่ 4.42 ผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผล ขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก .....	102
ตารางที่ 4.43 ผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับ จอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก .....	103
ตารางที่ 4.44 เปอร์เซนต์การเกิดเคอร์เซอร์ชี้เลยเป้าหมาย เคอร์เซอร์ชี้ตรงเป้าหมายและ เคอร์เซอร์ชี้ไม่ถึงเป้าหมายสำหรับงานแตะ .....	105

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 เทคโนโลยีเรโซแนนซ์แม่เหล็กไฟฟ้า (EMR) ของปากกาดิจิตอล.....	2
รูปที่ 1.2 การใช้ปากกาดิจิตอลเขียนลายมือชื่อ.....	3
รูปที่ 1.3 การใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชสกรีน .....	5
รูปที่ 1.4 การใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชแพดร่วมกับจอแสดงผล.....	5
รูปที่ 1.5 หุ่นยนต์ช่วยในการผ่าตัด .....	7
รูปที่ 1.6 การใช้งานทัชแพดสำหรับควบคุมเคอเซอร์บนจอแสดงผลในรถยนต์ยี่ห้อ Lexus.....	8
รูปที่ 2.1 การใช้งานของปากกาดิจิตอลร่วมกับทัชแพด.....	15
รูปที่ 2.2 การใช้งานของปากกาดิจิตอลร่วมกับทัชสกรีน.....	16
รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของจอแสดงผลแบบ Resistive .....	18
รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของจอแสดงผลแบบ Capacitive .....	18
รูปที่ 2.5 จอแสดงผลแบบ CRT (Cathode ray tube).....	19
รูปที่ 2.6 จอแสดงผลแบบ LCD (Liquid crystal display).....	20
รูปที่ 2.7 จอแสดงผลแบบ LED ( Light-emitting-diode) .....	20
รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบความละเอียดของจอแสดงผลแบบ SD, Full HD และ 4K.....	21
รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของลูกตา .....	23
รูปที่ 2.10 แผ่นทดสอบสายตา Snellen chart.....	24
รูปที่ 2.11 Snellen optotype .....	24
รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของวัตถุและระยะห่างจากดวงตากับวัตถุ .....	25
รูปที่ 2.13 ลักษณะงานแตะ .....	28
รูปที่ 2.14 ลักษณะงานลากแบบเส้นตรง .....	30
รูปที่ 2.15 ลักษณะงานลากแบบไม่เป็นเส้นตรง.....	30



รูปที่ 3.1 Lenovo Think Pad 10.....	35
รูปที่ 3.2 ปากกาดีจิตอล (Digital pen) ที่ใช้ในการทดลอง .....	35
รูปที่ 3.3 จอแสดงผลขนาดเล็ก (Samsung HD Flat TV).....	35
รูปที่ 3.4 จอแสดงผลขนาดใหญ่ (Samsung 4K Ultra HD Smart LED TV).....	36
รูปที่ 3.5 ที่รองคางสำหรับการใช้งานทัชสกรีน .....	36
รูปที่ 3.6 ที่รองคางสำหรับการใช้งานทัชแพด .....	37
รูปที่ 3.7 แก้วอีการยศาสตร์ .....	37
รูปที่ 3.8 โต๊ะสำหรับวางแท็บเล็ตและจอแสดงผลขนาดเล็ก .....	38
รูปที่ 3.9 โปรแกรม Fitts' law .....	38
รูปที่ 3.10 โปรแกรม Steering law.....	39
รูปที่ 3.11 การทดสอบการใช้งานปากกาดีจิตอลบนทัชสกรีน.....	39
รูปที่ 3.12 การทดสอบการใช้งานปากกาดีจิตอลบนทัชแพด.....	40
รูปที่ 4.1 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชสกรีนสำหรับงานแตะ.....	53
รูปที่ 4.2 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มุมการมองเห็น 1045 MOA สำหรับงานแตะ .....	54
รูปที่ 4.3 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มุมการมองเห็น 845 MOA สำหรับงานแตะ .....	54
รูปที่ 4.4 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มุมการมองเห็น 545 MOA สำหรับงานแตะ .....	55
รูปที่ 4.5 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มุมการมองเห็น 245 MOA สำหรับงานแตะ .....	55
รูปที่ 4.6 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มุมการมองเห็น 1045, 845, 545 และ 245 MOA สำหรับงานแตะ .....	56
รูปที่ 4.7 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มุมการมองเห็น ใหญ่ 1045 MOA สำหรับงานแตะ.....	57

รูปที่ 4.8 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มุมการมองเห็น ใหญ่ 1545 MOA สำหรับงานแตะ.....	57
รูปที่ 4.9 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มุมการมองเห็น ใหญ่ 2045 MOA สำหรับงานแตะ.....	58
รูปที่ 4.10 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มุมการมองเห็น 1045, 1545 และ 2045 MOA สำหรับงานแตะ.....	58
รูปที่ 4.11 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชสกรีนสำหรับงานลาก .....	59
รูปที่ 4.12 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มุมการมองเห็น 1045 MOA สำหรับงานลาก .....	60
รูปที่ 4.13 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มุมการมองเห็น 845 MOA สำหรับงานลาก.....	60
รูปที่ 4.14 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มุมการมองเห็น 545 MOA สำหรับงานลาก.....	61
รูปที่ 4.15 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มุมการมองเห็น 245 MOA สำหรับงานลาก.....	61
รูปที่ 4.16 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มุมการมองเห็น 1045, 845, 545 และ 245 MOA สำหรับงานลาก.....	62
รูปที่ 4.17 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มุมการมองเห็น 1045 MOA สำหรับงานลาก .....	63
รูปที่ 4.18 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มุมการมองเห็น 1545 MOA สำหรับงานลาก .....	63
รูปที่ 4.19 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มุมการมองเห็น 2045 MOA สำหรับงานลาก .....	64
รูปที่ 4.20 สมการเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มุมการมองเห็น 1045, 1545 และ 2045 MOA สำหรับงานลาก .....	64
รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งาน ร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแตะ .....	69



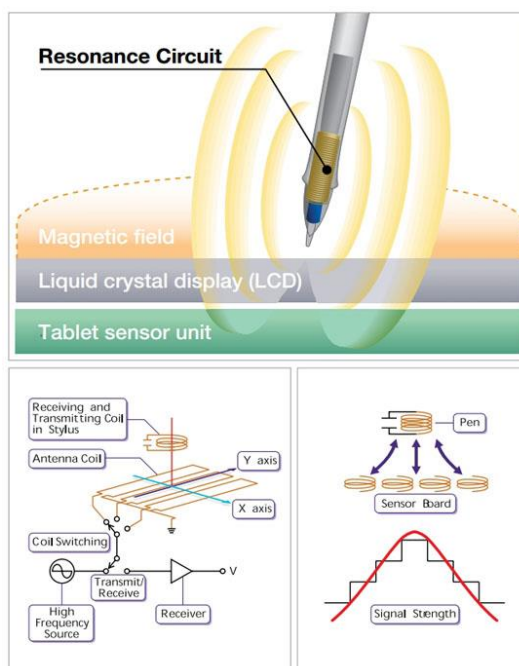
## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์เรามากขึ้น ด้วยความที่เทคโนโลยีนั้นเข้ามาช่วยอำนวยความสะดวกของมนุษย์ ทั้งในด้านการติดต่อสื่อสาร การออกแบบการทำงานและในด้านความบันเทิงต่างๆ ด้วยวิวัฒนาการและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องมนุษย์จึงได้คิดค้นอุปกรณ์ที่เรียกว่า แท็บเล็ต (Tablet) ขึ้นและได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มผู้ใช้งานมากขึ้น ซึ่งการใช้งานแท็บเล็ตเหมือนกับการใช้งานคอมพิวเตอร์เดสก์ทอป (Computer desktop) โดยสามารถพกพาได้สะดวกและมาพร้อมกับปากกาดิจิตอล (Digital pen) ไว้สำหรับป้อนข้อมูลนอกเหนือจากการใช้นิ้วมือ ปากกาดิจิตอล (Digital pen) มีน้ำหนักเบาและสามารถรองรับแรงกดของปากกา (Pressure sensitive) ได้เหมือนกับการใช้ปากกาเขียนลงบนกระดาษจริง อีกทั้งยังสามารถทำหน้าที่ชี้ตำแหน่งได้เหมือนกับเมาส์และในการวาดภาพการใช้ปากกาดิจิตอลสามารถใช้งานได้สะดวกรวดเร็วกว่าการใช้เมาส์ (Richard Coll, 1994)

การใช้เทคโนโลยีเรโซแนนซ์แม่เหล็กไฟฟ้า (EMR) ของปากกาดิจิตอลถือเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยที่สุด (วาคอม, 2559) ทำให้ปากกาดิจิตอลใช้งานได้โดยไม่ต้องพึ่งสายไฟและแบตเตอรี่โดยจะใส่ขดลวดอยู่ในด้ามปากกา ในระหว่างการใช้งานแท็บเล็ตซึ่งเป็นบริเวณที่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดการเหนี่ยวนำและสร้างพลังงานไฟฟ้าออกมา ปากกาดิจิตอลมีปุ่มกดทำหน้าที่เป็นคลิกขวาของเมาส์เมื่อแตะปลายปากกาลงบนแท็บเล็ต คอมพิวเตอร์จะรับรู้ว่าเป็นการคลิกเมาส์ และการแตะปากกาสองครั้งก็คือการดับเบิลคลิก อีกทั้งยังสามารถรับรู้องศาการเอียง ควบคุมขนาดลายเส้นได้ตามแรงกดสูงสุดถึง 2,048 ระดับ จึงสามารถสร้างผลงานได้อย่างถูกต้องเหมือนกับการใช้ปากกาหรือดินสอทั่วไป



รูปที่ 1.1 เทคโนโลยีเรโซแนนซ์แม่เหล็กไฟฟ้า (EMR) ของปากกาดีจิตอล

ธนาคารชั้นนำของโลกได้นำปากกาดีจิตอลเข้ามาทำหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลส่วนบุคคลและจัดเก็บลายมือชื่ออิเล็กทรอนิกส์เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย ลดพื้นที่ในการจัดเก็บเอกสารรวมถึงลดเวลาในการทำงานของพนักงานลงด้วย ลายมือชื่ออิเล็กทรอนิกส์มีประโยชน์อย่างยิ่งในการตรวจสอบเพื่อลดความเสี่ยงของการฉ้อโกงได้เป็นอย่างดี โดยการนำระบบการตรวจสอบความถูกต้องของลายมือชื่ออิเล็กทรอนิกส์มาปรับใช้และในทางการแพทย์ได้นำปากกาดีจิตอลมาใช้ในการวินิจฉัยอาการของผู้ป่วยโดยการวาดภาพ เขียนข้อความอธิบายสั้นๆหรือให้ผู้ป่วยเซ็นแบบฟอร์มยินยอมต่างๆ ช่วยใช้เวลาในการดำเนินการสั้นลงสร้างความพึงพอใจให้แก่ผู้ป่วยเป็นอย่างมาก (วาคอม, 2559) อีกทั้งห้างสรรพสินค้าในต่างประเทศก็ใช้ปากกาดีจิตอลเพื่อนำมาจัดเก็บลายมือชื่อในการชำระค่าสินค้าผ่านบัตรเครดิต ทำให้การบริการเป็นไปอย่างสะดวกรวดเร็วและไม่ใช่แค่ในต่างประเทศเท่านั้น ห้างสรรพสินค้าในประเทศไทยบางแห่งได้เริ่มนำปากกาดีจิตอลเข้ามาใช้ในการชำระค่าสินค้าผ่านบัตรเครดิตอีกด้วย ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 การใช้ปากกาดีจิจิตอลเขียนลายมือชื่อ  
(ที่มา: [www.cryptbot.com/e\\_pen.asp](http://www.cryptbot.com/e_pen.asp))

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างราคาและคะแนนความพึงพอใจของอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับปากกาดีจิจิตอลจากการ  
สำรวจเว็บไซต์ [www.amazon.com](http://www.amazon.com) เมื่อวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2558

อุปกรณ์	ราคา (\$)	คะแนนความพึงพอใจ (เต็ม 5)	จำนวนผู้ให้คะแนน
Intuos Pen & Touch small	97.16 \$	4.5	2,146
Cintiq 13HD Touch	999.95 \$	4.4	340

ปากกาดีจิจิตอลที่ใช้ในทั่วไปแยกตามอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (Input device) มี 2 ประเภท คือ ทัชแพด (Touchpad) และทัชสกรีน (Touchscreen) ดังตารางที่ 1.1 จะแสดงตัวอย่างและราคาขายเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2558 ของทัชแพด (Touchpad) และทัชสกรีน (Touchscreen) ซึ่งอุปกรณ์ทั้ง 2 ประเภทนี้รวมถึงปากกาดีจิจิตอลนั้นถือเป็นอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่จัดอยู่ในประเภทอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลที่ไม่ใช่แป้นพิมพ์ (Non-keyboard input device) ตามมาตรฐาน ISO 9241-9

ทัชสกรีน (Touchscreen) เป็นอุปกรณ์ที่มีการสัมผัสโดยตรง (Direct touch) กับหน้าจอแสดงผลดังรูปที่ 1.3 ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานรับรู้ข้อมูลได้โดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์แสดงผลอื่นๆ (Direct visual perception) นั่นก็คือผลลัพธ์จะปรากฏตามปลายปากกาติจิตอลที่เขียนลงบนจอทัชสกรีน ซึ่งเป็นการทำงานแบบเรียลไทม์ (Real Time) กล่าวคือ ไม่ต้องใช้ระยะเวลารอคอยในการประมวลผลหรือใช้เวลาประมวลผลสั้นมากเพียง 60-80 มิลลิวินาที (Wen Nivala, 2016) แต่สำหรับเทคโนโลยีของทัชแพดนั้นจะตรงข้ามกับทัชสกรีนคือ ทัชแพดนั้นจะเป็นการสัมผัสทางอ้อม (Indirect touch) กล่าวคือระหว่างการใช้งานทัชแพดนั้นจะต้องใช้งานร่วมกับจอแสดงผลดังรูปที่ 1.4 โดยผู้ใช้งานจะต้องมองผลลัพธ์ผ่านทางจอแสดงผล (Indirect visual perception) ทำให้ข้อมูลถูกส่งไปประมวลผลเป็นเวลานาน ในบางครั้งมักจะเกิดปัญหาความเร็วของเคอร์เซอร์ที่ปรากฏบนจอแสดงผลเคลื่อนที่ช้ากว่าการเคลื่อนที่ของปากกาติจิตอล (Cursor lag) และถ้าหากจอแสดงผลที่ใช้นั้นมีขนาดใหญ่มากมักจะเกิดปัญหาการชี้เคอร์เซอร์ไม่ถึงเป้าหมาย (Undershoot) หรือถ้าหากจอแสดงผลที่ใช้นั้นมีขนาดเล็กมากก็มักจะเกิดปัญหาการชี้เคอร์เซอร์เลยเป้าหมาย (Overshoot) (Micheal J. Albers, 2012) เนื่องจากระยะในการเคลื่อนที่ของมือบนทัชแพดไม่เท่ากับระยะในการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์ที่ปรากฏบนจอแสดงผล ยกตัวอย่างเช่น ผู้ใช้งานเลือกจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่กว่า 3 เท่าของขนาดทัชแพดทำให้ระยะในการลากเส้นของปากกาติจิตอลบนทัชแพดมีขนาด 1 เซนติเมตร แต่ระยะในการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์ที่ปรากฏบนจอแสดงผลมีขนาด 3 เซนติเมตร ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องกะระยะทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ของมือให้สัมพันธ์กับขนาดของภาพที่ปรากฏบนจอแสดงผล ส่งผลให้ความเร็วและความแม่นยำในการใช้งานลดต่ำลง อีกทั้งระยะห่างในการมองจอแสดงผล (Viewing distance) ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึง เพราะถ้าอยู่ในระยะที่ไม่เหมาะสมก็จะส่งผลทำให้สมรรถนะในการทำงานลดต่ำลงเช่นกัน (Shieh & Lee, 2007) จึงใช้แนวความคิดของ Speed and Accuracy Trade-off ในการประเมินความเร็วและความถูกต้องสำหรับรูปแบบงานแตะ (Tapping task) และงานลาก (Dragging task)



รูปที่ 1.3 การใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชสกรีน



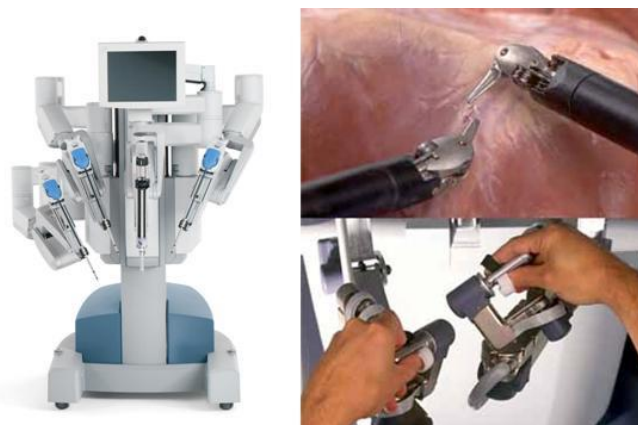
รูปที่ 1.4 การใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชแพดร่วมกับจอแสดงผล

กฎของฟิตส์ (Fitts' law) และกฎของสตีयरिंग (Steering law) ได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยขึ้นอยู่กับระดับความยากของงานที่ได้มาจากการกำหนดเงื่อนไขของขนาดความกว้างของเป้าหมายและระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมาย แต่แนวคิดทั้งสองนี้มีรูปแบบการทำงานที่ต่างกันที่ Fitts' law จะใช้ประเมินสมรรถนะในการใช้งานในรูปแบบการแตะ (Tap) ถ้าหากระยะห่างระหว่างเป้าหมายลดลง เป้าหมายมีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ลดลงและ Steering law จะใช้ประเมินสมรรถนะในการใช้งานในรูปแบบการลาก (Drag) หากขนาดของเส้นทางใหญ่ขึ้นและระยะทางสั้นลงส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ลดลง โดยมีงานวิจัยหลายฉบับที่ได้นำกฎของฟิตส์ (Fitts' law) และกฎของสตีयरिंग (Steering law) มาประเมินสมรรถนะในการใช้งานอุปกรณ์นำเข้าสู่ข้อมูลที่ไม่ใช่แป้นพิมพ์ ยกตัวอย่างเช่น ภัทรพร, 2012 ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเมาส์ทั่วไปที่ในสำนักงานกับเมาส์การยศาสตร์ ทั้ง 3



ลักษณะ คือ น้ำหนัก ขนาด และองศาการวางมือ โดยอาศัยกฎในการทดลองของพิตส์ และมาตรฐาน ISO 9241-9 เป็นแนวทางในการศึกษา กำหนดลักษณะการทำงาน คือการชี้ตำแหน่ง (Pointing task) ในแนวแกนนอนและแกนตั้ง พบว่าการใช้เมาส์การยศาสตร์และเมาส์ทั่วมือมีสมรรถนะในการทำงานไม่แตกต่างกัน ในขณะที่วารสาร, 2014 ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเมาส์ทั่วมือกับเมาส์การยศาสตร์ด้วยเช่นกัน โดยอาศัยกฎในการทดลองของเสตียริงกับทิศทางการลากเมาส์ ได้แก่ ตามเข็มนาฬิกา และทวนเข็มนาฬิกา พบว่าองศาการเอียงข้อมือทั้ง 3 ลักษณะมีสมรรถนะในการทำงานไม่แตกต่างกัน และภาวรณ, 2014 ได้ทำการประเมินสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกา ดิจิตอลบนแท็บเล็ตของเด็กนักเรียนตามกฎของพิตส์และเสตียริง โดยผู้เข้าร่วมการทดลองได้ทดสอบการใช้งานแท็บเล็ตใน 2 ลักษณะงาน คืองานแตะ (Tap) และงานลาก (Drag) พบว่าเด็กนักเรียนมีสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกา ดิจิตอลบนแท็บเล็ตสูงขึ้นตามช่วงอายุซึ่งเป็นไปตามพัฒนาการของเด็ก

นอกจากนี้ไม่ใช่เฉพาะอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (Input device) เท่านั้นที่ใช้กฎของพิตส์และเสตียริง ในการประเมินสมรรถนะในการทำงาน แม้แต่ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในด้านการแพทย์ที่นำหุ่นยนต์เข้ามาช่วยในการผ่าตัดนั้นก็ยังใช้แนวความคิดนี้ในการประเมินด้วย เนื่องจากในบางครั้ง ศัลยแพทย์ไม่สามารถเข้าถึงได้ทุกพื้นที่อย่างเช่น พื้นที่สนามรบ พื้นที่ทุรกันดารหรือแม้แต่ในอวกาศ ซึ่งการผ่าตัดทางไกลนี้ศัลยแพทย์จะทำการผ่าตัดผ่านการควบคุมอุปกรณ์บังคับและมองผ่านกล้อง ซึ่งข้อดีของการผ่าตัดโดยใช้หุ่นยนต์นี้จะช่วยลดระยะเวลาการพักฟื้น แผลผ่าตัดมีขนาดเล็ก ลดอาการ ลื่นของมือศัลยแพทย์จากการเมื่อยล้า แต่การผ่าตัดโดยใช้หุ่นยนต์ช่วยในการผ่าตัดนี้มีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงและศัลยแพทย์จะต้องมีความเชี่ยวชาญในการใช้งานและได้รับการฝึกฝนเป็นอย่างดี เพื่อลดความผิดพลาดในการผ่าตัดให้น้อยที่สุด ซึ่งการผ่าตัดด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในทวีปยุโรปและอเมริกาและในปัจจุบันโรงพยาบาลหลายแห่งในประเทศไทยก็ได้นำหุ่นยนต์เข้ามาช่วยในการผ่าตัดไม่ว่าจะเป็นการผ่าตัดศัลยกรรมทั่วไป การผ่าตัดระบบทางเดินปัสสาวะ การผ่าตัดลำไส้ใหญ่ และทวารหนัก เช่น โรงพยาบาลกรุงเทพ เป็นต้น (สุนัย ลีวันแสงทอง, 2556) (โรงพยาบาลกรุงเทพ ภูเก็ต, 2559)



รูปที่ 1.5 หุ่นยนต์ช่วยในการผ่าตัด

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานปากกาตัดจอตอลบน ทัชสกรีนและการใช้งานทัชแพดที่มีขนาดจอแสดงผลต่างๆสำหรับงานแกะและงานลากตามมาตรฐาน ISO 9241-9 ที่อ้างอิงวิธีการทดสอบจากกฎของฟิตส์และสเตียร์ริง ซึ่งจะแตกต่างจากประเด็น การศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น รวมถึงศึกษาปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นจากการใช้งานทัชแพดที่มีขนาด จอแสดงผลที่ใหญ่หรือเล็กเกินไปมักเกิดปัญหาที่เคอร์เซอร์ชี้เลยเป้าหมายที่กำหนด (Overshoot) กับ เคอร์เซอร์ชี้ไม่ถึงเป้าหมายที่กำหนด (Undershoot) ซึ่งปัญหาเหล่านี้ทำให้การใช้งานทัชสกรีนนั้นมี สมรรถนะในการใช้งานสูงกว่าทัชแพด (Clifton Forlines, 2008) เนื่องจากมีการทำงานแบบเรียลไทม์ และเหมาะสมกับงานที่ต้องใช้ความละเอียดสูงๆ เช่น งานออกแบบกราฟิก จึงทำให้ทัชสกรีนมีราคาที่สูงกว่าทัชแพดมากดังตารางที่ 1.1 แต่ไม่ใช่ทุกกรณีที่ทัชสกรีนจะสามารถใช้งานได้ดีเสมอไป จากรูปที่ 1.6 แสดงอุปกรณ์ทัชแพดสำหรับควบคุมเคอเซอร์บนจอแสดงผลในรถยนต์ยี่ห้อ Lexus ที่สามารถสั่ง การได้ทั้งระบบนำทาง ระบบเครื่องเสียงและระบบปรับอากาศฯ (Lexus, 2017) เพื่ออำนวยความสะดวก ในระหว่างการขับรถโดยที่ผู้ขับไม่ต้องเอื้อมมือไปแตะที่หน้าจแสดงผลและอาจเสี่ยงต่อการ เกิดอุบัติเหตุได้ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นให้ผู้ใช้งานหรือ องค์กรต่างๆ สำหรับการตัดสินใจเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับงาน เนื่องจากอุปกรณ์มีราคาที่สูง ค่อนข้างสูงและยังเป็นแนวทางในการออกแบบแผนผังการทำงานรวมถึงยังสามารถเพิ่มระดับคุณภาพ ของการทำงานและภาพลักษณ์ขององค์กรได้อีกด้วย



รูปที่ 1.6 การใช้งานทัชแพดสำหรับควบคุมเคอเซอร์บนจอแสดงผลในรถยนต์ยี่ห้อ Lexus

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดสำหรับงานแตะและงานลาก
2. เปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชแพดที่มีมุมการมองเห็นขนาดต่างๆสำหรับงานแตะและงานลาก

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษา คือ เพศชายและหญิงมีอายุ 21-28 ปี ที่มีการมองเห็นเป็นปกติ เพื่อศึกษาสมรรถนะในการใช้งานโดยใช้แนวทางการวัดสมรรถนะการทำงานตามมาตรฐาน ISO 9241-9

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการตัดสินใจลงทุนซื้ออุปกรณ์ เพื่อให้เกิดสมรรถนะในการใช้งานและความคุ้มค่าสูงสุด
2. เป็นแนวทางในการออกแบบแผนผังการทำงาน เช่น ตำแหน่งการวางจอแสดงผลหรือการเลือกขนาดจอแสดงผลสำหรับการใช้งานทัชแพด

## 1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสรรณะการใช้งานของอุปกรณ์
2. กำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
3. เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น
4. ออกแบบและกำหนดเงื่อนไขในการทดลองการทดลอง
5. ดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้
6. วิเคราะห์และประเมินผลที่ได้จากการทดลอง
7. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

## 1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. อัตราส่วนของจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กลง หมายถึง การเลื่อนระยะห่างในการมองจอแสดงผลที่มีความสูง 39 เซนติเมตรให้ห่างออกไปที่ระยะ 130, 161, 249 และ 554 เซนติเมตร จะมีมุมการมองเห็น คือ 1045, 845, 545 และ 245 MOA ตามลำดับ โดยมุมการมองเห็นของจอแสดงผลที่ได้จะเทียบกับมุมการมองเห็นของจอทัชสกรีน คิดเป็นอัตราส่วนของจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กลง คือ 1 : 1 : 0.82 : 0.52 : 0.23 สำหรับการใช้งานทัชแพด

2. อัตราส่วนของจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น หมายถึง การเลื่อนระยะห่างในการมองจอแสดงผลที่มีความสูง 80 เซนติเมตร ให้ใกล้ขึ้นที่ระยะ 263, 178 และ 134 เซนติเมตร จะมีมุมการมองเห็น คือ 1045, 1545 และ 2045 MOA ตามลำดับ โดยมุมการมองเห็นของจอแสดงผลที่ได้จะเทียบกับมุมการมองเห็นของจอทัชสกรีน คิดเป็นอัตราส่วนของจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น คือ 1 : 1 : 1.48 : 1.96 สำหรับการใช้งานทัชแพด

3. Cursor lag คือ เคอร์เซอร์บนจอแสดงผลเคลื่อนที่ช้ากว่าการเคลื่อนที่ของมือ
4. Cursor overshoot คือ เคอร์เซอร์บนจอแสดงผลเคลื่อนที่ไกลกว่าเป้าหมาย
5. Cursor undershoot คือ เคอร์เซอร์บนจอแสดงผลหยุดเคลื่อนที่ก่อนที่จะถึงเป้าหมาย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้มีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยแบ่งออกเป็นกลุ่มหลัก 6 กลุ่ม ดังนี้

1. รายละเอียดของแท็บเล็ต (Tablet)
2. จอแสดงผล (Visual display terminal, VDT)
3. การวัดระดับสายตา (Visual acuity)
4. มุมการมองเห็น (Visual angle)
5. การประเมินสมรรถนะการทำงานตามกฎของ Fitts และ Steering
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 รายละเอียดของแท็บเล็ต (Tablet)

##### 2.1.1 ความหมายของแท็บเล็ต

แท็บเล็ต คือ คอมพิวเตอร์พกพาขนาดเล็กโดยออกแบบการทำงานผ่านระบบสัมผัสหน้าจอ (Touchscreen) มีแป้นพิมพ์เสมือนจริง (Visual keypad) และมีปากกาดีจิจิตอลสำหรับเขียนหรือคลิกแทนเมาส์ เพื่อให้การทำงานในปัจจุบันเสมือนกับแผ่นหินจารึก แผ่นไม้ กระดานชนวน หรือกระดาษที่ใช้กันในอดีต (อิธิปลักษณ์ โชติธนะประสิทธิ์, 2556)

##### 2.1.2 วิวัฒนาการของแท็บเล็ต

จุดเริ่มต้นของแท็บเล็ตนั้นเกิดจากแนวคิดของ Alan Kay ได้เสนอแนวคิดด้านความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการเชื่อมต่อสื่อสารโดยการย่อส่วนของคอมพิวเตอร์ให้สามารถทำงานได้ทุกรูปแบบ รวมถึงทดลองให้แท็บเล็ตสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สายได้ จากนั้นในปี ค.ศ. 1968 เขาได้เสนอ Dynabook ซึ่งเป็นอุปกรณ์การศึกษาสำหรับเด็กนักเรียน ที่มีจอแสดงผลกับแป้นพิมพ์อยู่ในระนาบเดียวกัน อีกทั้งเขายังคาดการณ์เกี่ยวกับเทคโนโลยีของจอทัชสกรีนในอนาคตที่จะสามารถกำหนดค่าต่างๆโดยการสัมผัสบนจอแสดงผลไว้อีกด้วย (Strickland, 2016) ในปัจจุบันแท็บเล็ตได้รับความนิยมนำมาใช้เรื่อยๆและหลายยี่ห้อยังคงพัฒนาเทคโนโลยีให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อตอบสนองต่อผู้ใช้งานและเป็นการกระตุ้นการใช้งานแท็บเล็ตอย่างแพร่หลาย แต่ละยี่ห้อจะมีจุดเด่นที่แตกต่างกันแต่ก็ยังคงเน้นรูปลักษณะที่ทันสมัยสามารถพกพาได้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ดังตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างแท็บเล็ตตั้งแต่ปีค.ศ. 1968 - 2016

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างแท็บเล็ตตั้งแต่ปีค.ศ. 1968-2016 (Nield, 2016)

ปี	รูปภาพ	แท็บเล็ต	คุณสมบัติ
1968		Dynabook	จอแสดงผลอยู่ใน ระนาบเดียวกับ คีย์บอร์ด สามารถ เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต มีน้ำหนัก 4 ปอนด์ ราคา \$500
1989		GRIDPad	ระบบปฏิบัติการ MS- DOS และถูกนำไปใช้ ในทางการทหาร ราคา \$2,370
1992		Tandy Zoomer	หน้าจอทัชสกรีนขนาด 12 นิ้ว และใช้ ระบบปฏิบัติการ Dos

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แสดงตัวอย่างแท็บเล็ตตั้งแต่ปีค.ศ. 1968 - 2016 (Nield, 2016)

ปี	รูปภาพ	แท็บเล็ต	คุณสมบัติ
1993		Apple Newton Message Pad	PDA ที่มีจอสัมผัสไวต่อความรู้สึก น้ำหนักเบา ราคาขายไม่เกิน \$6,000
2000		Microsoft Tablet PC	ใช้ระบบปฏิบัติการ x86 มาพร้อมกับปากกาดิจิตอลไว้อ่านข้อมูลบนจอทัชสกรีน
2003		Compaq TC1000	ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows XP และมีหน้าจอตชสกรีนขนาด 10.4 นิ้ว

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แสดงตัวอย่างแท็บเล็ตตั้งแต่ปีค.ศ. 1968 - 2016 (Nield, 2016)

ปี	รูปภาพ	แท็บเล็ต	คุณสมบัติ
2007		Amazon Kindle	เป็น eBooks ที่มีเทคโนโลยี E Ink ที่รองรับการอ่าน
2010		iPad	จอแสดงผลขนาด 9.7 นิ้ว แบตเตอรี่ใช้งานได้ยาวนานถึง 10 ชั่วโมง โพรเซสเซอร์ A4 มีพลังความเร็ว 1 GHz
2012		Lenovo Thinkpad	มีขนาด 10.1 นิ้ว มาพร้อมปากกาจิจิตอล มีน้ำหนักเบา ใช้ระบบปฏิบัติการ Window 10
2012		Microsoft Surface	มีจอแสดงผล ClearType Full HD ขนาด 10.6 นิ้วพร้อมระบบปฏิบัติการ Windows 8 Pro



ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แสดงตัวอย่างแท็บเล็ตตั้งแต่ปีค.ศ. 1968 - 2016 (Nield, 2016)

ปี	รูปภาพ	แท็บเล็ต	คุณสมบัติ
2014		Samsung Galaxy Tab Active	มีขนาด 8 นิ้ว ระบบปฏิบัติการ Android 4.4.2 รูปแบบการแสดงผล TouchWiz UI กันน้ำ ได้ชั่วคราว ไม่เกิน 1.2 เมตร
2015		Lenovo Tab 2 A8	สามารถโทรเข้า-ออกได้ จอแสดงผล IPS-LCD 24-bit ระบบปฏิบัติการ Android 5.0.2
2016		Apple iPad Pro 9.7	จอภาพ Retina ที่สว่าง ที่สุดและสะท้อนแสง น้อยที่สุดในโลก ขนาด 9.7 นิ้ว และตอบสนอง ต่อแรงกดของ Apple pencil

### 2.1.3 ประเภทของแท็บเล็ต

แท็บเล็ตที่ใช้กันมีอยู่ 2 ประเภทที่สามารถเห็นได้ในทั่วไป คือ ทัชแพด (Touchpad) และ ทัชสกรีน (Touchscreen) โดยมีรายละเอียดของแต่ละประเภทมีดังนี้

1. ทัชแพด (Touchpad) มักจะมาพร้อมกับคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก โดยนำมาเป็นอุปกรณ์ในการเลื่อนเคอร์เซอร์ (Cursor) แทนเมาส์ (Mouse) ผ่านการเคลื่อนที่ของนิ้วมือ ซึ่งในงานบางประเภทเช่น งานจัดบันทึก งานออกแบบต่างๆ หรือแม้แต่การเซ็นชื่อโดยการชำระเงินผ่านบัตรเครดิต ดังนั้นทัชแพดจะถูกออกแบบมาให้ใช้ร่วมกับปากกาดิจิตอล (Digital pen) หรือสไตลัส (Stylus) อีกด้วย



รูปที่ 2.1 การใช้งานของปากกาดิจิตอลร่วมกับทัชแพด

2. ทัชสกรีน (Touchscreen) เป็นลักษณะที่ผู้ใช้งานสามารถสัมผัสได้บนหน้าจอของแท็บเล็ต เพื่อสั่งการทำงานต่างๆ จากเดิมผู้ใช้งานสามารถสัมผัสได้ที่ละจุด ต่อมาได้พัฒนาเทคโนโลยีเป็นแบบมัลติทัช (Multi touch) ซึ่งก็คือการสัมผัสได้หลายๆจุดพร้อมกันหรือลากนิ้วมือเหมือนการลากเมาส์ รวมถึงรองรับการใช้งานปากกาดิจิตอลเพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 2.2 การใช้งานของปากกาจิจิตอลร่วมกับทัชสกรีน

#### 2.1.4 ระบบปฏิบัติการของแท็บเล็ต

การแข่งขันในการผลิตแท็บเล็ตออกจำหน่ายของบริษัทต่างๆมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน แต่ละบริษัทจะออกแบบรูปลักษณะของแท็บเล็ตให้ทันสมัยและเลือกระบบปฏิบัติการ (Operating system) ซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวกลางให้กับโปรแกรมที่อิงกับระบบปฏิบัตินั้นสามารถทำงานร่วมกับฮาร์ดแวร์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งมีระบบปฏิบัติการที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทั่วไป จุดเด่นและจุดด้อยของระบบปฏิบัติการต่างๆ (สุชาติดา, 2555)

ระบบปฏิบัติการ	คุณสมบัติทั่วไป	จุดเด่น	จุดด้อย
IOS	พัฒนาโดยบริษัท Apple ซึ่งใช้ในผลิตภัณฑ์ของบริษัทเป็นผู้ผลิตเท่านั้น	แอปพลิเคชันหลากหลาย มีการจัดการของหน่วยความจำดีและมีประสิทธิภาพการทำงาน	ไม่รองรับอุปกรณ์ Flash ทุกชนิด และการเชื่อมต่อจะต้องผ่านซอฟต์แวร์ซอฟต์แวร์ i-Tune เท่านั้น
Android	พัฒนาโดยบริษัท Google เป็นระบบปฏิบัติการแบบเปิดและได้พัฒนาเวอร์ชันต่างๆ เพื่อสามารถรองรับการใช้งานแท็บเล็ตได้	เป็นระบบปฏิบัติการแบบเปิดสามารถนำไปพัฒนาต่อได้และรองรับอุปกรณ์ Flash	โปรแกรมที่ใช้ในระบบยังมีไม่มากนัก

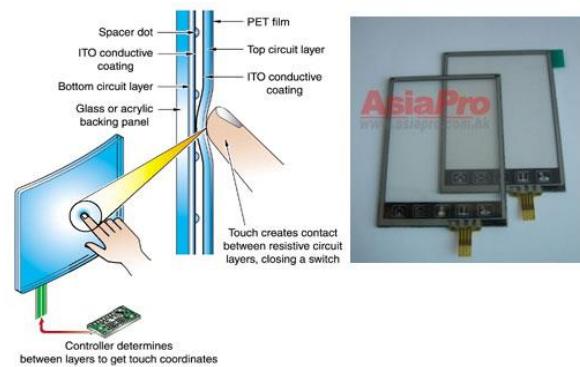
ตารางที่ 2.2 (ต่อ) คุณสมบัติทั่วไป จุดเด่นและจุดด้อยของระบบปฏิบัติการต่างๆ (สุชาติดา, 2555)

ระบบปฏิบัติการ	คุณสมบัติทั่วไป	จุดเด่น	จุดด้อย
Windows	พัฒนาโดยบริษัท Microsoft ซึ่งผู้ใช้จะคุ้นเคยกับการใช้งานก่อนแล้วแต่เพิ่มการทำงานให้ผ่านหน้าจอสัมผัส	เป็นระบบปฏิบัติการแบบเปิดใช้งานง่ายรองรับอุปกรณ์ Flash	การใช้งานจะช้ากว่าระบบปฏิบัติการ IOS และ Android
QNX	เป็นระบบปฏิบัติการจากค่าย RIM ผู้ผลิตสมาร์ตโฟน BlackBerry	เป็นระบบปฏิบัติการแบบเปิดซึ่งสามารถทำงานหลายอย่างได้พร้อมกันและรองรับ Flash และอุปกรณ์เชื่อมต่อ	ใช้งานผ่านมือถือ BlackBerry เท่านั้น

### 2.1.5 อุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (Input device)

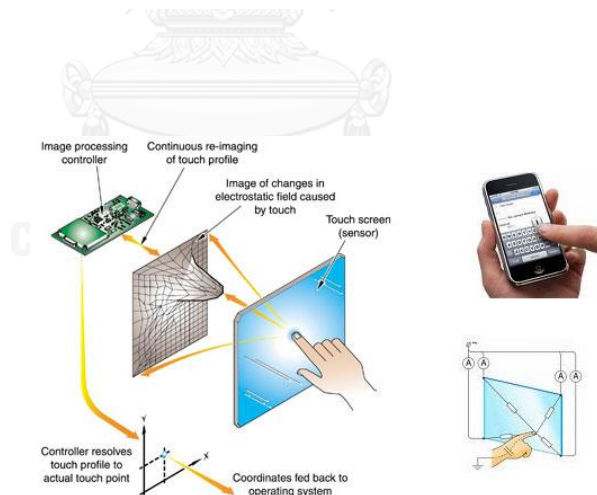
แท็บเล็ตออกแบบมาเพื่ออำนวยความสะดวกของผู้ใช้งานผ่านระบบสัมผัสหน้าจอโดยใช้นิ้วมือสัมผัสโดยตรง แต่สำหรับงานเขียนหรืองานวาดกลับพบว่าปากกาดิจิตอล (Digital pen) หรือสไตลัส (Stylus) มีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดีกว่านิ้วมือ [A. Cockburn, 2555] โดยแท็บเล็ตหลากหลายยี่ห้อที่เห็นได้ในท้องตลาดมักจะมีปากกาดิจิตอลมาพร้อมกับตัวเครื่องเสมอตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันและได้พัฒนาปากกาดิจิตอลให้รองรับแรงกดได้สูงเสมือนกับวาดลงบนกระดาษหรือการใช้งานปากกาดิจิตอลโดยไม่ใช้พลังงานของแบตเตอรี่ การใช้งานปากกาดิจิตอลจะใช้กับลักษณะของจอแบบ Resistive กับ Capacitive มีความแตกต่างกัน ดังนี้

1. Resistive ทำงานโดยรับแรงกดจากจอด้านบนลงสู่ชั้นวงจรด้านล่าง ทำให้เกิดการครบวงจรเกิดขึ้นแล้วนำสัญญาณไฟฟ้าไปคำนวณหาตำแหน่งบนหน้าจอ ซึ่งมีราคาถูกเหมาะสำหรับการใช้งานจอ PDA สมาร์ทโฟนหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รุ่นดั้งเดิม



รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของจอแสดงผลแบบ Resistive

2. Capacitive ทำงานโดยการเคลือบโลหะโปร่งแสงไว้ที่พลาสติกชั้นบนและกระจกชั้นล่างแล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าออกมาจากทั้งสองชั้นของจอ เมื่อมีการสัมผัสเกิดขึ้นพลาสติกชั้นบนจะไปกระทบกับกระจกชั้นล่างทำให้ตัวนำไฟฟ้าที่เคลือบแตะกันเกิดเป็นกระแสแรงดันไหลผ่านเข้าไปในวงจรแล้วทำการคำนวณพิกัด X, Y ส่งไปที่หน่วยประมวลผลเพื่อนำค่าที่ได้ไปแปลเป็นตำแหน่งบนหน้าจอสี่มีความละเอียดมากกว่าแบบ Resistive และสามารถสัมผัสด้วยนิ้วมือหรือปากกาดีจิจิตอลได้ แต่มีราคาสูงเหมาะกับการใช้งานกับจอ iPad, iPhone, Blackberry Playbook, Samsung galaxy tab และ Tablet ประเภทต่างๆ



รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของจอแสดงผลแบบ Capacitive

## 2.2 จอแสดงผล (Visual display terminal, VDT)

ในปัจจุบันจอแสดงผลสำหรับคอมพิวเตอร์ได้มีวิวัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่จอแสดงผลในยุคแรกที่ใช้เป็นเพียงตัวหนังสือสีขาวพื้นหลังสีดำเท่านั้นแต่มีความละเอียดสูง หากต้องการ

แสดงผลในโหมดกราฟิกก็ต้องเลือกโหมดที่สามารถแสดงสีและกราฟิกได้แต่มีความละเอียดน้อยและจากที่มีการพัฒนาโปรแกรมที่ตอบสนองการใช้งานกราฟิกมากยิ่งขึ้นจอแสดงผลก็ได้มีการพัฒนาให้สอดคล้องกับโปรแกรมและเทคโนโลยีในการแสดงผลเพื่อให้ภาพและกราฟิกที่ออกมาบนหน้าจอมีความสมจริงมากที่สุด จอภาพที่ใช้ในปัจจุบันโดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้ (เกล็ดความรู้, 2555)

### 1. จอแสดงผลแบบ CRT (Cathode ray tube)

หลักการทำงานของจอแสดงผลแบบ CRT นั้นจะทำงานโดยอาศัยหลอดภาพที่สร้างภาพเหมือนกับไนโทรทัศน์ โดยการยิงลำแสงอิเล็กตรอนไปยังที่ผิวหน้าจอ ซึ่งมีสารประกอบของฟอสฟอรัสฉาบอยู่ที่ผิว เมื่อถูกแสงอิเล็กตรอนมากระทบ สารเหล่านี้จะเกิดการเรืองแสงขึ้นมา ทำให้เกิดเป็นภาพและสีตามสัญญาณ Analog และในการยิงลำแสงแต่ละครั้งจำเป็นต้องใช้เวลา ทำให้เห็นภาพไม่นิ่งอาจจะดูเหมือนสั่นตลอดเวลา จนทำให้ปวดตา และการทำงานของจอภาพใช้พลังงานสูงจนทำให้เกิดความร้อนและอาจเกิดการแผ่รังสีได้ โดยในปัจจุบันได้พัฒนาจอแสดงผลแบบใหม่และได้ยกเลิกการผลิตจอแสดงผลแบบ CRT ประเภทนี้ไป



รูปที่ 2.5 จอแสดงผลแบบ CRT (Cathode ray tube)

### 2. จอแสดงผลแบบ LCD (Liquid crystal display)

เป็นเทคโนโลยีที่ถูกคิดค้นมาตั้งแต่ปี 2506 ในสมัยแรกถูกนำมาใช้กับนาฬิกา เครื่องคิดเลข และโน้ตบุ๊กเท่านั้น ซึ่งหลักการทำงานของจอแสดงผลแบบ LCD จะแสดงผลแบบดิจิทัลและใช้วัตต์ที่มีลักษณะเป็นของเหลวแทนการใช้หลอดภาพแบบหน้าจอ CRT ในอดีต และใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ในการสร้างแสงสว่าง ภาพที่จะปรากฏบนหน้าจอ เกิดจากการฉายแสงของ Back Light ที่ฉายผ่านชั้นกรองแสง และส่งผ่านไปยังคริสตัลที่เป็นของเหลว 3 ส่วนคือ สีแดง เขียว และน้ำเงินตามลำดับ จน

สามารถสร้างให้ภาพมีลักษณะออกมาเป็นพิกเซลได้ ภาพจาก LCD จะดูสว่างและคมชัดมากขึ้น ใช้ความร้อนและพลังงานน้อยกว่าจอแบบ CRT แต่มุมการมองเห็น (Viewing angle) ภาพค่อนข้างแคบ



รูปที่ 2.6 จอแสดงผลแบบ LCD (Liquid crystal display)

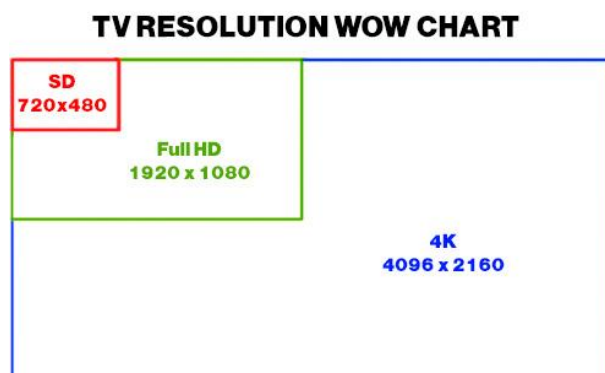
### 3. จอแสดงผลแบบ LED ( Light-emitting-diode)

ค้นพบโดยบังเอิญของนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษ หลักการทำงานจะนำหลอด LED มาเรียงรายกันเป็นแถว โดยภาพต่างๆจะเกิดขึ้นจากการติดดับของหลอด LED และมีผลึกคริสตัลที่เป็นของแข็งกึ่งเหลว 3 สีคือสีแดง น้ำเงินและเขียว เพื่อให้แสงไฟจากหลอด LED ส่องผ่านมาเพื่อทำให้ฉายออกไปเป็นภาพ ทำให้ภาพและสีที่ได้ชัดเจนกว่าจอแสดงผลแบบอื่นๆและสามารถที่จะใช้งานในรูปแบบ 3D ได้ รวมถึงมีมุมการมองเห็น (Viewing angle) ของภาพกว้างมาก อีกด้วย (ซัมซุง, 2556)



รูปที่ 2.7 จอแสดงผลแบบ LED ( Light-emitting-diode)

เทคโนโลยีของทีวีที่มีการแสดงผลบนหน้าจอด้วยความคมชัดแบบ 4K กำลังจะกลายเป็นมาตรฐานใหม่ของความละเอียดของจอแสดงผลในอนาคต ซึ่ง 4k หรือ Ultra High Definition มีความละเอียด 4096 x 2160 พิกเซล โดยทีวี Full HD ซึ่งเป็นมาตรฐานอยู่ในปัจจุบันมีความละเอียด 1920 x 1080 พิกเซล จะเห็นได้ว่าหน้าจอของทีวีแบบ 4K มีความละเอียดมากกว่าหน้าจอทีวีแบบ Full HD ถึง 4 เท่า ส่งผลให้ภาพมีรอยหยักตามขอบภาพแบบขั้นบันได (Jaggies) น้อยลง พื้นที่รอยต่อระหว่างพิกเซล (Screen door effect) แคบลง ภาพที่แสดงออกมามีความเรียบเนียนมากยิ่งขึ้นและสามารถนั่งใกล้ทีวีได้มากขึ้นอีกด้วย (Stephan Jukic, 2016)



รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบความละเอียดของจอแสดงผลแบบ SD, Full HD และ 4K  
(Stephan Jukic, 2016)

สำหรับงานวิจัยนี้มีการใช้จอแสดงผลแบบ LED ที่ติดตั้งภายในอาคาร ซึ่งจะมีความเกี่ยวข้องกับระยะห่างในการมอง (Viewing distance) หรือระยะห่างระหว่างลูกตากับจุดกึ่งกลางของจอแสดงผล นั่นก็คือระยะห่างในการวางจอแสดงผลนั่นเอง จากการศึกษาของ Der-Song Lee, 2011 ได้ทดสอบหาระยะห่างเฉลี่ยในการรับชมทีวี High-definition liquid crystal display televisions (HDTV) ทั้ง 3 ขนาด จากผู้ทดสอบ 19 คนที่มีสายตปกติ โดยหลังจากผู้ทดสอบรับชมทีวี 3 นาทีแล้วให้ผู้ทดสอบเลื่อนเก้าอี้ในระยะที่เหมาะสมของตนเอง ผลการทดสอบพบว่า ขนาดจอ 32 (ความละเอียด: 1366 x 768 พิกเซล), 37 (ความละเอียด: 1366 x 768 พิกเซล) และ 42 (ความละเอียด: 1920 x 1080 พิกเซล) นี้ ควรมีระยะห่างเฉลี่ยที่เหมาะสม คือ 2672, 2975 และ 3376 มิลลิเมตร ตามลำดับ และจากตารางที่ 2.3 แสดงระยะห่างในการรับชมทีวีที่เหมาะสมกับหน้าจอ LCD หรือ LED ขนาดต่างๆจากผู้ผลิตรายหนึ่ง

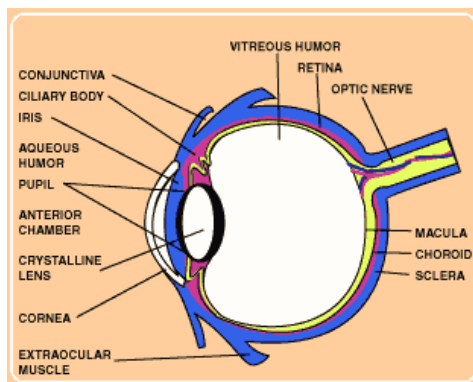


ตารางที่ 2.3 แสดงระยะห่างในการรับชมทีวีที่เหมาะสมในระยะใกล้ละไกลกับหน้าจอทีวี LCD หรือ LED ขนาดต่างๆ (ซัมซุง, 2556: ออนไลน์)

ขนาดหน้าจอ (นิ้ว)	ระยะนั่งใกล้ที่สุด (เมตร)	ระยะนั่งไกลที่สุด (เมตร)
26	0.98	1.95
32	1.25	2.50
42	1.58	3.15
47	1.76	3.53
50	1.90	3.75
55	2.06	4.13
60	2.25	4.50
70	2.63	5.25

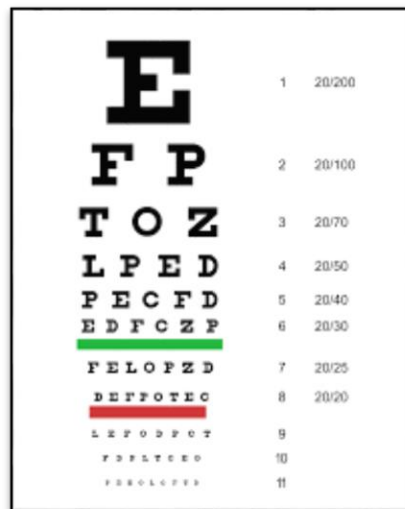
### 2.3 การวัดระดับสายตา (Visual acuity)

การมองเห็นวัตถุเกิดจากการที่แสงไปตกกระทบสิ่งต่างๆแล้วเกิดการสะท้อนเข้าสู่ตา โดยแสงจะผ่านไปที่กระจกตา (Cornea) จากนั้นแสงจะผ่านไปที่รูม่านตา (Pupil) ที่มีสีแตกต่างกันตามพันธุกรรม ม่านตาจะทำหน้าที่ในการปรับปริมาณของแสงที่เข้าไปในดวงตา ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าในตอนกลางวันหรือเมื่อมองแสงจ้า รูม่านตาจะหดตัวและจะขยายใหญ่ขึ้นเมื่ออยู่ในที่มืด จากนั้นแสงจะไปที่เลนส์แก้วตา (Lens) โดยที่เลนส์จะทำหน้าที่ในการรวมแสงจากภายนอกให้ไปโฟกัสที่กระจกตา เลนส์แก้วตาจะมีความใสเมื่ออายุน้อยและจะขุ่นมากขึ้นเรื่อยๆตามอายุ ส่วนหลังเลนส์เป็นน้ำวุ้นใสๆบรรจุอยู่เรียกว่า น้ำวุ้นตา (Vitreous humor) ทำหน้าที่ช่วยในการหักเหของแสง ในคนสูงอายุหรือคนที่มีสายตาสั้นมากๆจะมีการเสื่อมของน้ำวุ้นตานี้ ทำให้บางครั้งจะเห็นจุดดำลอยไปมาในขณะที่มองวัตถุสีขาว เมื่อแสงผ่านจุดนี้ก็จะตรงไปสิ้นสุดที่จอรับภาพ (Retina) ข้อมูลที่มองเห็นจะส่งขึ้นไปสู่สมองตามเส้นประสาท (Optic nerve) โดยสมองจะแปลข้อมูลเป็นภาพของวัตถุนั้น โดยส่วนประกอบของลูกตาดังรูปที่ 2.9



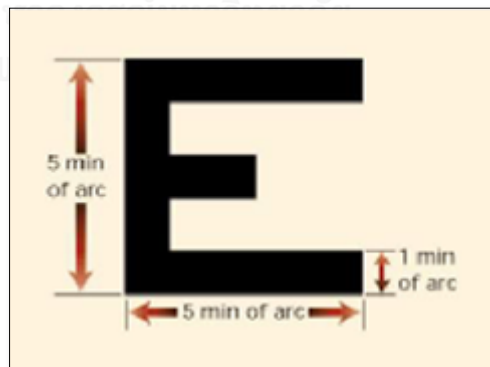
รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของลูกตา

ดวงตาเป็นอวัยวะที่สำคัญอย่างหนึ่งของมนุษย์ หากเกิดปัญหาเกี่ยวกับสายตาก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพในการดำเนินชีวิตลดลง ดังนั้น ระดับสายตา (Visual acuity, VA) หมายถึงความสามารถในการแยกความแตกต่างที่น้อยที่สุดระหว่างวัตถุสองชิ้น (รศ.พญ.นภาพร, 2551) ซึ่งการทดสอบสายตาสามารถทำได้หลายวิธีและวิธีที่เป็นมาตรฐานและใช้กันอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นสถาบันการศึกษา โรงพยาบาล คลินิก สถานีอนามัย หน่วยแพทย์เคลื่อนที่ หรือหน่วยตรวจคัดเลือกเกณฑ์ทหาร ฯลฯ คือ “Snellen visual acuity” โดยใช้แผ่นทดสอบที่เรียกว่า Snellen chart ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งประกอบด้วยลำดับของตัวเลขหรือตัวหนังสือที่มีขนาดเล็กลงจากแถวบนลงล่างตามลำดับ โดยทั่วไปควรวัดระดับสายตาสองระยะ คือ ระยะไกล โดยให้ผู้ทดสอบยืนห่างในระยะ 6 เมตร (20 ฟุต) และระยะใกล้ โดยให้ผู้ทดสอบยืนห่างในระยะ 33 เซนติเมตร (14 นิ้ว) ซึ่งเป็นระยะห่างในการทำงานบนโต๊ะ ในห้องที่มีแสงส่องสว่างและใช้ฝ่ามือปิดตาผู้เข้าร่วมการทดลองทีละข้างแล้วทดสอบการมองเห็น หากสายตาของผู้เข้าร่วมการทดลองมีภาวะปกติ จะสามารถอ่านได้ถึงแถว 6/6 หรือ 20/20



รูปที่ 2.10 แผ่นทดสอบสายตา Snellen chart

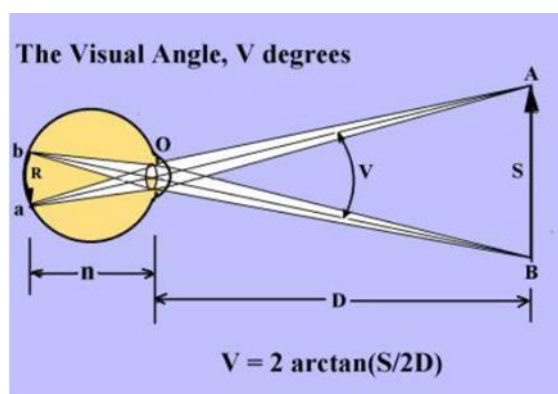
ตัวหนังสือแต่ละตัวจะพบว่าแต่ละด้านของสี่เหลี่ยมจะทำมุมที่เรียกว่า Visual angle เท่ากับ 5 Minute of arc (MOA) หากแบ่งขนาดของตัวทดสอบเป็น 5 ส่วน แต่ละส่วนจะมีขนาด 1 MOA พอดีและระยะห่างระหว่างจุดสองจุดน้อยกว่า 1 Minute of arc จะไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ สำหรับคนที่มีสายตาปกติ ดังรูป 2.11



รูปที่ 2.11 Snellen optotype (Parrish II RK, In: The University of Miami, Bascom Palmer Eye Institute, Atlas of Ophthalmology. CD-ROM)

## 2.4 มุมการมองเห็น (Visual angle)

มุมการมองเห็นของมนุษย์เกิดจากเส้นสมมติสองเส้นตัดกันที่จุด Nodal ที่อยู่ด้านหลังของกระจกตา 7 มิลลิเมตรและอยู่ด้านหน้าของจอรับภาพ 15 มิลลิเมตร ดังรูป 2.12 (รศ.พญ. นภาพร, 2551) ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของวัตถุและระยะห่างจากดวงตากับวัตถุ มีหน่วยเป็น Minute of Arc (MOA) โดย 1 MOA เท่ากับ  $1/60$  องศา โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของวัตถุและระยะห่างจากดวงตากับวัตถุ

$$V = 2 \arctan \left( \frac{S}{2D} \right) \quad \dots(2.1)$$

เมื่อ  $V$  คือ มุมการมองเห็น (Visual angle) หน่วยเป็นองศา

$S$  คือ ความสูงของวัตถุ

$D$  คือ ระยะห่างระหว่างวัตถุกับดวงตา

จากสมการความสัมพันธ์ที่ 2.1 มักถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดตัวอักษรที่ระยะห่างการมองเห็นๆในการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งช่วงมุมการมองเห็นที่เหมาะสมคือ 16-24 MOA โดยมนุษย์จะแยกความแตกต่างได้อย่างต่ำที่สุดอยู่ที่ 1 MOA และความสูงของอักษรสามารถใช้ไม้บรรทัดวัดที่หน้าจอแสดงผลได้โดยตรง (ISO 9241, 1998)

เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานที่กำหนดการใช้งานแท็บเล็ตโดยตรง สำหรับงานวิจัยนี้จึงได้นำมุมการมองเห็น (Visual angle) มาประยุกต์ใช้กับขนาดของหน้าจอที่ชกรินและจอแสดงผลที่ใช้งานร่วมกับทัชแพด เพื่อกำหนดระยะห่างในการมองระหว่างกึ่งกลางหน้าจอแสดงผลกับตา สำหรับแท็บเล็ตระยะห่างในการมองที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง  $60 \pm 15$  เซนติเมตร และระยะห่างในการมอง

ทั่วไปอยู่ที่ 50 เซนติเมตร (Shieh & Lee, 2007) หรือควรวางห่างอย่างน้อย 40 เซนติเมตร (Justin G. Younga, 2012) ซึ่ง 40 เซนติเมตร เป็นระยะห่างที่เลือกใช้ในการทดลองนี้ ดังนั้นการใช้งานทัชस्क린이มีความสูงของจอแสดงผล 12 เซนติเมตรและมีระยะห่างในการมอง 40 เซนติเมตร จะมีระดับมุมมองมองเห็น 1045 MOA คิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอตชस्क린이 1:1 หมายความว่าถ้าปากกาดิจิตอลเคลื่อนที่บนทัชแพดเป็นระยะทาง 1 เซนติเมตร ขนาดของผลลัพธ์ที่แสดงบนหน้าจอดีแสดงผลจะมีขนาด 1 เซนติเมตรเท่ากัน ซึ่งเป็นมุมมองมองเห็นหลักในการเปรียบเทียบขนาดของมุมมองมองเห็นอื่นๆ

สำหรับทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับหน้าจอดีแสดงผลขนาดเล็ก (32 นิ้ว) มีความสูงของจอแสดงผล 39 เซนติเมตรกับระยะห่างในการมองที่ไกลขึ้นคือ 130, 161, 249 และ 554 เซนติเมตร จะมีระดับมุมมองมองเห็นที่ 1045, 845, 545 และ 245 MOA ซึ่งทำให้การมองจอแสดงผลมีขนาดที่เล็กลงหรือขนาดของผลลัพธ์ที่ปรากฏบนจอมีขนาดเล็กลง โดยคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผลเทียบกับจอตชस्क린이คือ 1 : 1 : 0.82 : 0.52 : 0.23 ตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผล 1 : 0.82 หมายความว่า ถ้าปากกาดิจิตอลเคลื่อนที่บนทัชแพดเป็นระยะทาง 1 เซนติเมตร ขนาดของผลลัพธ์ที่แสดงบนหน้าจอดีแสดงผลจะมีขนาดที่เล็กกว่าคือ 0.82 มิลลิเมตรเป็นต้น

ส่วนการใช้งานทัชแพดที่มีมุมมองมองเห็นใหญ่ขึ้น ถ้าใช้จอแสดงผลขนาดเล็ก (32 นิ้ว) จะไม่สามารถเคลื่อนย้ายโต๊ะที่ใช้วางทัชแพดให้เข้าใกล้กับจอแสดงผลได้เนื่องจากพื้นที่มีจำกัด ดังนั้นจึงใช้จอแสดงผลขนาดใหญ่ (65 นิ้ว) เพื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างจอแสดงผลกับโต๊ะที่ใช้วางทัชแพดมากขึ้น โดยจอแสดงผลขนาดใหญ่มีความสูง 80 เซนติเมตร กับระยะห่างในการมองที่เข้าใกล้ขึ้นคือ 263, 178 และ 134 เซนติเมตร จะมีระดับมุมมองมองเห็นที่ 1045, 1545 และ 2045 MOA ซึ่งทำให้การมองจอแสดงผลจะมีขนาดใหญ่ขึ้นหรือขนาดของผลลัพธ์ที่ปรากฏบนจอมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผลเทียบกับจอตชस्क린이คือ 1 : 1 : 1.48 : 1.96 ตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผล 1 : 1.48 หมายความว่า ถ้าปากกาดิจิตอลเคลื่อนที่บนทัชแพดเป็นระยะทาง 1 เซนติเมตร ขนาดของผลลัพธ์ที่แสดงบนหน้าจอดีแสดงผลจะมีขนาดที่ใหญ่กว่าคือ 1.48 เซนติเมตรเป็นต้น

เพื่อให้ง่ายต่อการอ่านทำความเข้าใจ จะอธิบายโดยใช้ขนาดของมุมมองมองเห็น (Visual angle) ที่เล็กลงและใหญ่ขึ้นแทนอัตราส่วนของขนาดจอแสดงผลที่เล็กลงและใหญ่ขึ้นตามลำดับ เพื่อ

ไม่ให้เกิดความสับสนกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ได้แก่ จอแสดงผลขนาด 32 นิ้ว และ 65 นิ้ว ตามลำดับ

## 2.5 การประเมินสมรรถนะการทำงานตามกฎของ Fitts และ Steering

International organization for standardization 9241 (ISO 9241) คือ มาตรฐานองค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยการกำหนดมาตรฐาน ได้กล่าวถึงการกำหนดมาตรฐานทางการยศาสตร์กับการทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ โดยแบ่งออกเป็นหลายส่วนในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่ 9 เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์นำเข้าสู่ข้อมูลของผู้ใช้งานที่ไม่ใช่แป้นพิมพ์ มาตรฐานนี้ครอบคลุมอุปกรณ์นำเข้าสู่ข้อมูล เช่น แทร็คบอล (Trackballs), จอยสติ๊ก (Joysticks), เมาส์ (Mouse) และสไตลัส (Stylus) เป็นต้น ซึ่งอาจใช้ร่วมกับจอแสดงผล (Visual display terminal, VDT)

ISO 9241-9 ได้ระบุวิธีการประเมินสมรรถนะในการทำงานที่สามารถเปรียบเทียบอุปกรณ์ซึ่งตำแหน่งและเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานที่แตกต่างกันได้โดยใช้วิธีที่สอดคล้องกัน โดยสมรรถนะหมายถึง ลักษณะเฉพาะตัวที่มาจากประสิทธิภาพในการทำงานและคุณภาพของงาน (นภัทร, 2556) ซึ่งมาตรฐานนี้อาศัยแนวความคิดกฎของ Fitts และกฎของ Steering ซึ่งทั้งสองแนวความคิดนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเคลื่อนที่จากเป้าหมายหนึ่งไปยังอีกเป้าหมายหนึ่งกับดัชนีความยากของงาน และระดับความยากของงานเกิดจากระยะทางระหว่างสองเป้าหมายกับขนาดของเป้าหมาย โดยกฎของ Fitts ใช้ประเมินการทำงานประเภทการชี้ตำแหน่งซึ่งเป็นรูปแบบของการแตะ (Tap) ส่วนกฎของ Steering ใช้ประเมินการทำงานประเภทการลาก (Drag)

### 2.5.1 กฎของฟิตส์ (Fitts' law)

กฎของฟิตส์ (Fitts' law) ได้ทดสอบการเคลื่อนที่ของปากกาติจิตอลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายในพื้นที่เป้าหมายที่กำหนดดังรูปที่ 2.13 (Fitts, 1992) ระหว่างนั้นได้จับเวลาของการเคลื่อนที่ไป-กลับซ้ำๆ ซึ่งเป็นการจำลองพฤติกรรมตอบสนองของมนุษย์ (Human psychomotor behavior) โดยเป็นการทดลองเคลื่อนที่ 1 มิติ เนื่องจากในงานศึกษาการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ (Human computer interaction, HCI) โดยได้กำหนดความกว้างของเป้าหมายและระยะทางในการเคลื่อนที่ นั่นก็คือข้อจำกัดของงานหรือความยากของงาน (Index of difficulty, ID) ดังสมการที่ 2.2 ก็ได้นำกฎของฟิตส์เข้ามาใช้โดย Card, English and Burr (1978) ซึ่งเป็นนักวิจัยกลุ่มแรกที่ศึกษาหาดัชนีวัดสมรรถนะการทำงาน (Index of performance, IP) เพื่อทำการ

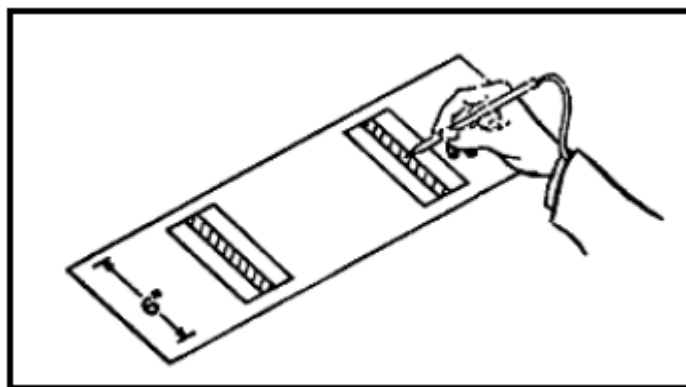
เปรียบเทียบสมรรถนะการทำงาน (Performance) และยังสร้างสมการในการพยากรณ์เวลาในการเคลื่อนที่ (Movement time, MT) ของอุปกรณ์ชี้ตำแหน่งทั้งสี่ (Mackenzie, 1992) ดังสมการที่ 2.4

$$ID = \log_2 \frac{2D}{W} \quad \dots(2.2)$$

เมื่อ ID = ดัชนีความยากของงาน (Index of difficulty, ID)

D = ระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดศูนย์กลางเป้าหมายมีหน่วยเป็นพิกเซล

W = ขนาดความกว้างของเป้าหมายในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่มีหน่วยพิกเซล



รูปที่ 2.13 ลักษณะงานแตะ (Fitts, 1992)

ในการทดสอบของงานวิจัยนี้ผู้ทดลองจะต้องใช้ปากกาติจิตอลแตะจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยดัชนีความยากเป็นฟังก์ชันลอการิทึมที่สามารถกำหนดความกว้างของเป้าหมาย (Width) และระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมาย (Distance) ดังสมการที่ 2.3 ตามมาตรฐาน ISO 9241-9 ที่ปรับจากกฎของฟิตส์เพื่อให้เป็นมาตรฐานในการประเมินสมรรถนะการทำงาน เพื่อหลีกเลี่ยงค่าความยากของงาน (ID) เป็นศูนย์หรือติดลบเมื่อ  $A \leq \frac{W}{2}$  อีกทั้งสมการที่ 2.2 นี้ยังให้ค่า  $R^2$  ของสมการเชิงเส้นตรงมากกว่า 90% อีกด้วย (Mackenzie, 1992)

$$ID = \log_2 \frac{D+W}{W} \quad \dots(2.3)$$

เนื่องจากดัชนีความยากของงาน (Index of difficulty, ID) ที่หาได้จากสมการที่ 2.2 ไม่ควรกำหนดค่าเป็น 2 เท่าจากค่าเดิมของความกว้างของเป้าหมาย (Width) และระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมาย (Distance) เนื่องจากจะทำให้ได้ค่าดัชนีความยากของงานเท่าเดิม นอกจากนี้ยังสามารถหาสมการเส้นตรงของเวลาในการใช้งาน (Movement time, MT) ดังสมการที่ 2.4 และสมรรถนะในการใช้งาน (Index of performance, IP) หาได้จากส่วนกลับของความชันดังสมการที่ 2.5 โดยความชันยังมีค่าน้อยแสดงว่าค่าดัชนีวัดสมรรถนะยังมีค่ามากแสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบนั้นสามารถรับมือกับงานที่มีความยากสูงได้เป็นอย่างดีทำให้เวลาในการทำงานใกล้เคียงกันในแต่ละความยากของงาน

$$MT = a + b \times ID \quad \dots(2.4)$$

$$IP = \frac{1}{b} \quad \dots(2.5)$$

เมื่อ  $a =$  จุดตัด

$b =$  ความชัน

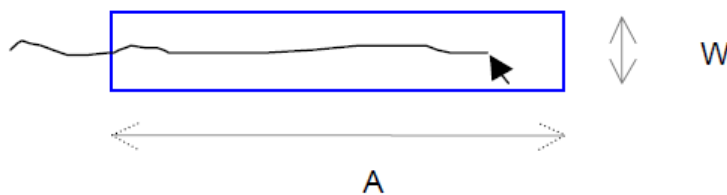
IP = ดัชนีวัดสมรรถนะ (Index of performance, IP)

ดังนั้นสรุปได้ว่ากฎของฟิตส์เป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการใช้งานกับระยะทางและขนาดของเป้าหมาย หากเป้าหมายมีขนาดเล็กลงและระยะทางเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เวลาในการใช้งานเพิ่มขึ้นด้วย

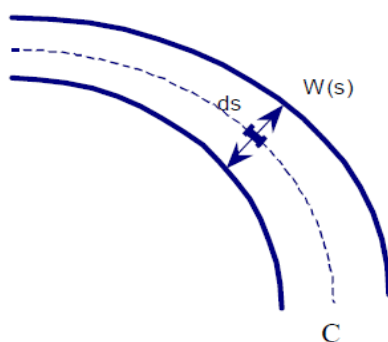
### 2.5.2 กฎของสตีร์ริง (Steering law)

กฎของสตีร์ริง (Steering law) เป็นกฎที่ประยุกต์มาจากกฎของฟิตส์ ซึ่งได้อธิบายการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมายตามเส้นทางที่ได้กำหนดไว้ โดยจะกำหนดระยะทาง (Amplitude, A) และความกว้างของระยะทาง (Width, W) ดังรูปที่ 2.14





รูปที่ 2.14 ลักษณะงานลากแบบเส้นตรง (Shumin Z. & Rogier W, 2003)



รูปที่ 2.15 ลักษณะงานลากแบบไม่เป็นเส้นตรง (Shumin Z. & Rogier W, 2003)

ในลักษณะงานที่เคลื่อนที่แบบไม่เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.15 จะทำการแบ่งเป็นช่วงการเคลื่อนที่ย่อยๆ แล้วใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ทำให้การเคลื่อนที่อยู่ในลักษณะต่อเนื่องกันดังสมการที่ 2.6

$$ID = \int_0^A \frac{ds}{W(s)} \quad \dots(2.6)$$

เมื่อ ID = ดัชนีความยากของงาน (Index of difficulty, ID)

ds = ระยะสั้นๆที่ต้องเคลื่อนที่ตามขอบเขตที่กำหนด

W(s) = ความกว้างของขอบเขต ds ใดๆ

สำหรับในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการวาด (Dragging) เส้นรอบวงโดยผู้ทดสอบต้องใช้ปากกา ดิจิตอลลากเส้นรอบวงลงบนแท็บเล็ตตามขอบเขตของเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งสมการดัชนีความยากของงาน (Index of difficulty, ID) ของเส้นรอบวงตามมาตรฐาน ISO 9241-9 ดังสมการที่ 2.7

$$ID = \frac{A}{W} = \frac{2\pi R}{W} \quad \dots(2.7)$$

เมื่อ  $ID =$  ดัชนีความยากของงาน (Index of difficulty, ID)

$A =$  ระยะทางในการเคลื่อนที่มีหน่วยพิกเซล

$W =$  ความกว้างของระยะทางในการเคลื่อนที่มีหน่วยพิกเซล

$R =$  รัศมีของเส้นรอบวงมีหน่วยพิกเซล

ดังนั้นสรุปได้ว่ากฎของสตีริงเป็นการแสดงความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่กับเวลาที่ใช้ในการทำงานที่แปรผันตามความกว้างของระยะทางในการเคลื่อนที่กับระยะทางในการเคลื่อนที่ หากเส้นรอบวงและความกว้างของระยะทางในการเคลื่อนที่มีขนาดเล็กส่งผลให้ระยะเวลาในการทำงานลดลง

## 2.6 งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

จากทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้มีผู้วิจัยสนใจที่จะนำทฤษฎีเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ ดังนี้

Paul M. Fitts, 1992 ได้ทำการทดลอง 3 การทดลอง ได้แก่ 1. การทดลองเปรียบเทียบสไลด์ที่มีน้ำหนัก 1 ปอนด์ กับน้ำหนัก 1 ออนซ์ โดยนำมาใช้งานในการเคาะบนแผ่นเป้าหมายสลับกัน (Reciprocal tapping) 2. การทดลองการเคลื่อนย้ายแผ่นวงแหวนสลับกัน (Disc transfer) และ 3. การทดลองการเคลื่อนย้ายสลักสลับกัน (Pin transfer) โดยจะกำหนดดัชนีความยากของงาน (ID) ซึ่งจะส่งผลกับระยะเวลาในการทำงาน (MT) ในแต่ละการทดลอง ซึ่งเวลาในการเคลื่อนที่ที่จะเปลี่ยนแปลงตามระยะทางในการเคลื่อนที่ และที่ดัชนีความยากเท่ากันแต่ระยะทางในการเคลื่อนที่แตกต่างกันจะมีระยะเวลาในการเคลื่อนที่เท่ากันโดยประมาณ อีกทั้งการทดลองของฟิตส์ยังเป็นแนวความคิดพื้นฐานที่นักวิจัยต่างๆได้นำไปศึกษาต่ออีกด้วย

Scott Mackenzie, 1992 ศึกษาทฤษฎีจากกฎของฟิตส์ในอดีต (Fitts' law) ซึ่งเป็นที่นิยมมากในด้านการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ งานวิจัยนี้มีการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ อธิบายการปรับเปลี่ยนโมเดลของดัชนีความยาก (ID) ที่มาจากสมการของฟิตส์ดั้งเดิม รวมถึงสมการพยากรณ์เวลาในการชี้ตำแหน่งของเคอร์เซอร์ (Cursor) ผ่านงานวิจัยของนักวิจัยหลายคน ซึ่งทำการรวบรวมและเปรียบเทียบอุปกรณ์ในงานวิจัยต่างๆได้ถึง 6 ชนิด ได้แก่ เมาส์ (Mouse), แทร็คบอล (Trackball), จอยสติ๊ก (Joystick), ทัชแพด (Touchpad), หมวกบิน (helmet mounted sight)

และเครื่องติดตามตา (Eye tracker) พบว่าจากสมการเส้นตรง เวลาในการชี้ตำแหน่ง ในกรณีที่ดีขึ้น ความยากมีค่าเป็นศูนย์ เวลาในการชี้ตำแหน่งที่ได้จากสมการจะไม่มีค่าเป็นศูนย์ แม้ว่าจุดตัด (Intercept) จะเป็นตัวที่บอกถึงความถูกต้องของสมการ เนื่องจากมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องในการทำงาน เช่น เวลาในการคลิกปุ่มตัวเลือก เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อจุดตัดไม่ใช่ความชัน แต่ในบางสถานการณ์จุดตัดของสมการเส้นตรงมีค่าเป็นลบ เมื่อเจองานที่มีลักษณะง่ายมากๆ จะทำให้ผลการทำนายเวลาในการชี้ตำแหน่งมีค่าเป็นลบ ซึ่งมันเป็นไปไม่ได้ในความเป็นจริงโดยชี้ให้เห็นถึงข้อบกพร่องในการนำสมการมาประยุกต์ใช้หรืออาจเกิดจากการที่ไม่สามารถควบคุมความผันแปรของข้อมูลได้

Shumin Z and Rogier W, 2003 ศึกษาการเคลื่อนไหวของมนุษย์เกี่ยวกับการบังคับพวงมาลัยรถบนเส้นทางที่กำหนดตามกฎของสตีयरริง (Steering law) ในการทดลองนี้จะจำลองสถานการณ์และสภาพแวดล้อมในการขับรถให้เหมือนจริงบนเส้นทางโค้งที่มีระยะทางและความกว้างที่กำหนด โดยจะศึกษาสมรรถนะในการขับรถ 3 ลักษณะ คือ ขับตรง (Straight driving) เลี้ยวซ้าย (Left turning) และเลี้ยวขวา (Right turning) ผลการศึกษาพบว่า ความเร็วเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามความกว้างของเส้นทาง ซึ่งในการขับรถในทางตรงจะใช้เวลาในการขับน้อยที่สุดรองลงมาคือ การขับรถเลี้ยวขวาและเลี้ยวซ้ายตามลำดับ

Cockburn, Ahlström, and Gutwin, 2012 ศึกษาสมรรถนะในการสัมผัสโดยใช้ทั้งการแตะบนเป้าหมายและการลากเส้นตามที่กำหนดไว้ โดยการใช้นิ้วมือ สไตลัส และเมาส์ โดยได้จากการกำหนดระยะทางและความกว้างของเป้าหมายที่แตกต่างกัน ซึ่งในการทดลองมีระดับความยากของงาน 7 ระดับ คือ 2.32, 2.58, 3.09, 3.46, 4.09, 4.95, และ 5.36 ซึ่งจากการทดลองได้มีการเปรียบเทียบสมรรถนะในลักษณะของการแตะ การลาก และการลากเส้นตามรัศมี พบว่าการแตะโดยใช้นิ้วมือใช้เวลาที่น้อยที่สุด ส่วนการลากเส้นตามรัศมีโดยใช้สไตลัสใช้เวลาที่น้อยที่สุด แต่สไตลัสก็มีอัตราความผิดพลาดสูงที่สุดด้วย

Clifton Forlines and Ravin Balakrishnan, 2008 ได้ประเมินผลการตอบสนองต่อการสัมผัสทางตรง (Direct touch) กับทางอ้อม (Indirect touch) ที่ต้องใช้งานร่วมกับจอแสดงผลสำหรับการใช้งานสไตลัสบนแท็บเล็ตในรูปแบบงานแตะ โดยกำหนดความกว้างของเป้าหมายคือ 4, 8, 16 และ 32 พิกเซล และกำหนดระยะห่างระหว่างเป้าหมาย คือ 256 และ 1,024 พิกเซล พบว่า เมื่อความกว้างของเป้าหมายเพิ่มขึ้นที่ระยะห่างระหว่างเป้าหมายคงที่ การใช้งานสไตลัสบนแท็บเล็ตแบบ

สัมผัสทางตรงมีสมรรถนะในการทำงานสูงขึ้นกว่าแบบสัมผัสทางอ้อมและเมื่อระยะห่างระหว่างเป้าหมายเพิ่มขึ้นที่ความกว้างของเป้าหมายคงที่การใช้งานสไตลัสบนแท็บเล็ตแบบสัมผัสทางตรงมีสมรรถนะในการทำงานสูงขึ้นกว่าแบบสัมผัสทางอ้อมเช่นกัน โดยมีอัตราความผิดพลาดของการใช้งานสไตลัสบนแท็บเล็ตแบบสัมผัสทางตรงและทางอ้อม คือ 19.6% และ 34.2% ตามลำดับ ซึ่งในระหว่างการทดสอบการใช้งานสไตลัสบนแท็บเล็ตมักจะมีปัญหาเคอร์เซอร์เคลื่อนที่ไม่ถึงเป้าหมาย (Cursor undershoot) หรือเคลื่อนที่เลยเป้าหมาย (Cursor overshoot) อีกด้วย

นภัทร ยงบุญธนภัทร, 2556 ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของการถือและการใช้งานแท็บเล็ต โดยมีท่าทางในการถือ 3 ท่า คือ Cripboard Grib (CG), Flat Hand (FH) และ Thumb Extended with Thenar Support (TE) ด้วยการสั่งงานผ่านระบบสัมผัสทัชสกรีน (Touchscreen) คือ งานแตะ (Tapping task) และงานลาก (Dragging task) โดยใช้อุปกรณ์นำเข้าสู่ข้อมูล 2 ชนิด คือ นิ้วมือและปากกาดิจิตอล ดำเนินงานอย่างต่อเนื่องโดยแบ่งช่วงเวลาการดำเนินงานเป็น 3 ช่วงเวลาเพื่อศึกษาผลกระทบจากความล้า จากกฎของฟิตส์ (Fitts' law) และกฎของเสถียรริง (Steering law) พบว่าท่าทางการถือไม่มีผลต่อสมรรถนะการใช้งานแท็บเล็ต แต่อุปกรณ์นำเข้าสู่ข้อมูลทั้ง 2 ชนิดมีผลต่อการใช้งานซึ่งนิ้วมือให้สมรรถนะการใช้งานดีกว่าปากกาดิจิตอล ส่วนช่วงเวลามีผลต่อสมรรถนะการใช้งานเฉพาะงานแตะเท่านั้น

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานทัชแพดและทัชสกรีนโดยได้นำมุมการมองเห็น (Visual angle) มาประยุกต์ใช้ในการกำหนดขนาดของหน้าจอแสดงผล LED ซึ่งในขั้นตอนการวิเคราะห์ผล ซึ่งใช้บ็อกซ์พล็อต (Boxplot) สำหรับตัดข้อมูลระยะเวลาในการใช้งานที่เป็นค่านอกกลุ่ม (Outlier) ออกในแต่ละดัชนีความยากของแต่ละผู้เข้าร่วมการทดลอง ซึ่งจะแตกต่างจากงานวิจัยของนภัทร ยงบุญธนภัทร, 2556 ที่ใช้ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในการใช้งานในการวิเคราะห์ผล อีกทั้งยังทำการเปรียบเทียบจุดตัดและค่า  $R^2$  ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของผู้เข้าร่วมการทดลองในแต่ละอุปกรณ์ ถ้าพบว่าผลการเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า  $R^2$  ในแต่ละอุปกรณ์มีค่าไม่แตกต่างกันก็จะยังเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งงานวิจัยที่ได้กล่าวมาทั้งหมดไม่มีการวิเคราะห์ในส่วนนี้

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของการใช้ปากกาจิจิตอลลงบนทัชสกรีนและทัชแพดในรูปแบบงานแตะ (Tapping task) และงานลาก (Dragging task) ตามเงื่อนไขที่กำหนด อีกทั้งยังได้นำมุมการมองเห็น (Visual angle) มาประยุกต์ใช้กับหน้าจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของการใช้ปากกาจิจิตอลบนทัชแพด (Touchpad) ร่วมกับหน้าจอแสดงผลแบบ LED ที่มีมุมการมองเห็นขนาดต่างๆ

#### 3.1 ผู้เข้าร่วมงานวิจัย

นักศึกษามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์จำนวน 30 คนมีอายุระหว่าง 21-28 ปี ไม่มีอาการบาดเจ็บที่มือ สุขภาพร่างกายแข็งแรงไม่มีปัญหาด้านสายตาทั้งสองข้าง โดยทดสอบความสามารถในการมองเห็น ตามหลักการและแผ่นภาพทดสอบสายตา (Snellen chart) โดยใช้มาตรฐาน 20/20 ซึ่งเป็นค่าที่คนสายตาปกติสามารถมองเห็น หากพบผู้เข้าร่วมการทดลองมีสายตาไม่ปกติ เช่น สายตาสั้นหรือยาวเกินไปต้องสวมแว่นสายตาหรือใส่คอนแทคเลนส์ก่อนทำการทดลอง โดยแบ่งผู้เข้าร่วมการทดลองเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 การใช้งานปากกาจิจิตอลบนทัชสกรีน 10 คน

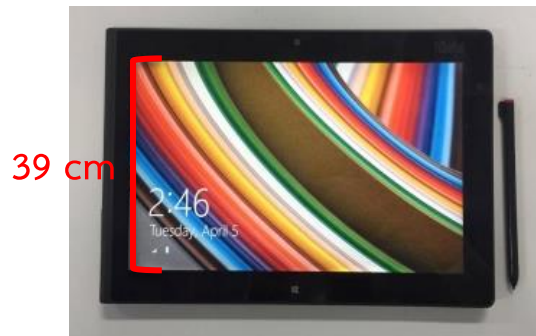
กลุ่มที่ 2 การใช้งานปากกาจิจิตอลบนทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กถึง 20 คน

กลุ่มที่ 3 การใช้งานปากกาจิจิตอลบนทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้น 20 คน

ซึ่งการใช้งานทัชแพดในกลุ่มที่ 2 และ 3 มีผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คนจากทั้งหมด 20 คนได้เคยทำการทดลองในกลุ่มที่ 1 มาก่อน

#### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. คอมพิวเตอร์แท็บเล็ต Lenovo Think Pad 10 มีความสูงของหน้าจอแสดงผล 39 เซนติเมตร ความละเอียด 1280 × 800 พิกเซล และปากกาจิจิตอลที่รองรับฟังก์ชันหน้าจอสัมผัสแบบ Capacitive มีความกว้าง 6 เซนติเมตรและความสูง 11.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 Lenovo Think Pad 10



รูปที่ 3.2 ปากกาดีจิตอล (Digital pen) ที่ใช้ในการทดลอง

2. จอแสดงผลแบบ LED ยี่ห้อ Samsung HD Flat TV ขนาดในแนวทแยง 32 นิ้ว ซึ่งมีความสูงของจอแสดงผล 40 เซนติเมตร ความละเอียด 1366 × 768 พิกเซล ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 จอแสดงผลขนาดเล็ก (Samsung HD Flat TV)

3. จอแสดงผลแบบ LED ยี่ห้อ Samsung 4K Ultra HD Smart LED TV ขนาดในแนวทแยง 65 นิ้ว ซึ่งมีความสูงของจอแสดงผล 80 เซนติเมตร ความละเอียด 3840 × 2160 พิกเซล ดังรูปที่ 3.4

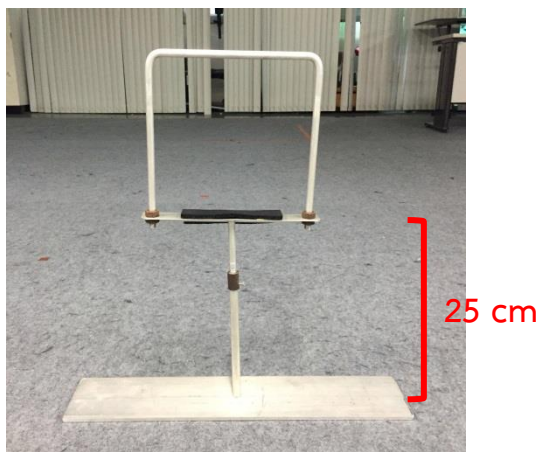


รูปที่ 3.4 จอแสดงผลขนาดใหญ่ (Samsung 4K Ultra HD Smart LED TV)

4. ที่รองคางสำหรับการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพด โดยมีความสูง 25 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 เพื่อป้องกันไม่ให้ระยะห่างในการมอง (Viewing distance) เปลี่ยนแปลงในระหว่างการทดลอง



รูปที่ 3.5 ที่รองคางสำหรับการใช้งานทัชสกรีน



รูปที่ 3.6 ที่รองคางสำหรับการใช้งานทัชแพด

5. เก้าอี้นั่งการยศาสตร์ที่สามารถปรับระดับความสูงต่ำได้ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เก้าอี้การยศาสตร์

6. โต๊ะสำหรับวางแท็บเล็ตมีความสูงจากพื้นโต๊ะ 75 เซนติเมตร กว้าง 60 เซนติเมตร และมีความยาว 130 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.8



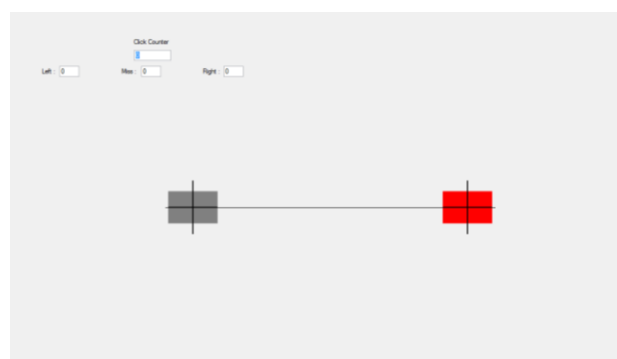


รูปที่ 3.8 โต๊ะสำหรับวางแท็บเล็ตและจอแสดงผลขนาดเล็ก

### 3.3 โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

#### 1. โปรแกรม Fitts' law

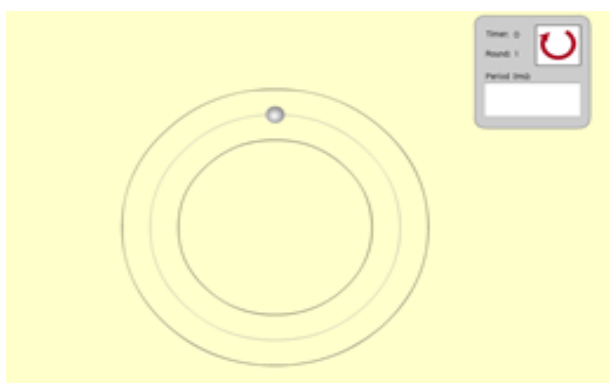
ทางภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการได้ออกแบบโปรแกรม In-house program ขึ้นมาสำหรับการทดสอบงานแตะ (Tapping task) ดังรูปที่ 3.9 โดยจะจับเวลาจากการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งสามารถกำหนดเงื่อนไขต่างๆ เช่น ความกว้างและความสูงของเป้าหมาย ระยะห่างระหว่างเป้าหมาย โดยมีหน่วยเป็นพิกเซล (pixel) นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถเก็บค่าระยะทางของเคอร์เซอร์ที่เลยเป้าหมายที่กำหนด (Cursor overshoot) โดยมีค่าระยะทางในหน่วยพิกเซล (pixel) เป็นบวกและค่าระยะทางของเคอร์เซอร์ที่ไม่ถึงเป้าหมายที่กำหนด (Cursor undershoot) โดยมีค่าระยะทางในหน่วยพิกเซล (pixel) เป็นลบ



รูปที่ 3.9 โปรแกรม Fitts' law

## 2. โปรแกรม Steering law

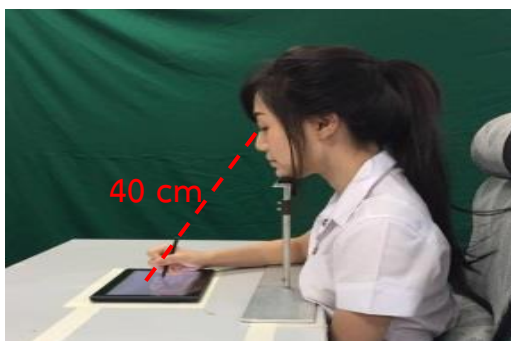
ทางภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการได้ออกแบบโปรแกรม In-house program ขึ้นมาสำหรับการทดสอบงานลากเป็นเส้นรอบวง (Circular dragging task) ดังรูปที่ 3.10 โดยจะจับเวลาจากการดับเบิลคลิกที่บอลจากนั้นเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดสิ้นสุดหรือจุดเดิม ซึ่งสามารถกำหนดเงื่อนไขต่างๆ เช่น ความกว้างของระยะทาง รัศมีในการเคลื่อนที่ โดยมีหน่วยเป็นพิกเซล (pixel) เมื่อผู้เข้าร่วมการทดลองลากออกนอกระยะทางที่กำหนด โปรแกรมจะหยุดและให้เริ่มต้นใหม่ทันที



รูปที่ 3.10 โปรแกรม Steering law

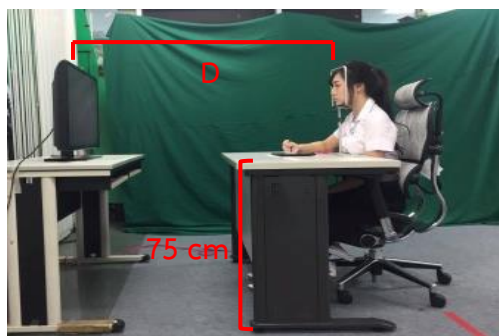
### 3.4 สถานที่ที่ใช้ในการทดลองและการออกแบบสถานีงาน

ห้องปฏิบัติการชั้น 8 อาคารเจริญวิศวกรรมคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถานีงานได้ถูกออกแบบดังรูปที่ 3.11 และ รูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 การทดสอบการใช้งานปากกาดีจิตอลบนทัชสกรีน

จากรูปที่ 3.11 เป็นการทดสอบการใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชสกรีน โดยทัชสกรีนวางในแนวราบกับพื้นจากนั้นวางที่รองคางติดกับขอบโต๊ะ ซึ่งกำหนดระยะห่างในการมองกึ่งกลางจอทัชสกรีนให้มีขนาด 40 เซนติเมตร



รูปที่ 3.12 การทดสอบการใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชแพด

จากรูปที่ 3.12 เป็นการทดสอบการใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชแพด โดยทัชสกรีนวางในแนวราบกับพื้นจากนั้นวางที่รองคางติดกับขอบโต๊ะ ซึ่งมีระยะห่างในการมองกึ่งกลางจอแสดงผลขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่จากมุมการมองเห็นขนาดต่างๆตามที่กำหนด

### 3.5 วิธีการดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้มีถูกออกแบบมาเพื่อศึกษาสมรรถนะการใช้งานของปากกาดีจิจิตอล โดยมี 2 ส่วนที่ศึกษา คือ 1. เปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพด 2. เปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานทัชแพดร่วมกับหน้าจอแสดงผลที่มีขนาดต่างๆ ซึ่งจะมีภาระงานของการทดลองมี 2 รูปแบบ คือ งานแตะ (Tap) ที่เป็นการแตะจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งและงานลาก (Drag) ที่เป็นการลากเส้นรอบวงจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุด โดยงานทั้งสองรูปแบบนี้เป็นการชี้ตำแหน่งโดยใช้ปากกาดีจิจิตอลเป็นอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล (Input device) และเลือกผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีอายุระหว่าง 21-28 ปี จำนวนทั้งหมด 30 คน ผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมดจะต้องมีสุขภาพร่างกายแข็งแรง ไม่มีอาการบาดเจ็บที่มือ โดยแบ่งผู้เข้าร่วมการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1. การใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชสกรีน 10 คน 2. การใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นขนาดเล็กถึง 20 คน 3. การใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นขนาดใหญ่ขึ้น 20 คน

สำหรับการใช้งานทัชแพดจะมีผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 10 คนจากทั้งหมด 20 คนได้เคยทำการทดสอบในกลุ่มที่ 1 มาก่อน เนื่องจากต้องการลดระยะเวลาในการทดลองให้สั้นลงโดยต้องมีระยะเวลาในการลองไม่เกิน 4 ชั่วโมงรวมระยะเวลาพักซึ่งจะไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะในการใช้งาน (ISO 9241-9, 1998) และได้เก็บข้อมูลการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กลงได้มากพอสมควรแล้ว อีกทั้งผู้เข้าร่วมการทดลองบางคนไม่ประสงค์จะทดลองต่อจึงได้กำหนดขั้นตอนในการดำเนินการออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

- **สำหรับการทดสอบการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กลง**

1. ทำการทดสอบระดับสายตาจากแผ่นภาพทดสอบสายตา (Snellen chart) โดยให้ผู้เข้าร่วมการทดลองยืนในระยะห่าง 6 เมตร หรือ 20 ฟุต และใช้มาตรฐาน 6/6 หรือ 20/20 ซึ่งเป็นค่าที่คนสายตาปกติสามารถมองเห็น หากมีระดับสายตาที่ผิดปกติผู้เข้าร่วมการทดลองต้องสวมแว่นสายตาหรือใส่คอนแทคเลนส์ก่อนทำการทดลอง

2. อธิบายรายละเอียดของการทดลองให้แก่ผู้เข้าร่วมการทดลองเข้าใจและลงนามในหนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

3. จัดเตรียมสถานีงานตามที่กำหนดและให้ผู้เข้าร่วมการทดลองนั่งในท่านั่งที่สบาย

4. ทดสอบการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชสกรีน โดยกำหนดระยะห่างในการมอง (Viewing distance) คือ 40 เซนติเมตร ที่มีระดับมุมการมองเห็น (Visual angle) เป็น 1045 MOA ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผลเท่ากับ 1:1 ทดสอบในรูปแบบงานแตะ (Tap) จำนวน 30 ครั้งในแต่ละความยากของงานที่ได้กำหนดไว้อย่างสุ่ม

5. ทดสอบการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชแพดร่วมกับจอแสดงผล โดยกำหนดให้ระยะห่างในการมอง (viewing distance) คือ 130, 161, 249 และ 554 เซนติเมตร ที่มีระดับมุมการมองเห็น (Visual angle) เป็น 1045, 845, 545 และ 245 MOA ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผลที่เล็กลงเท่ากับ 1 : 0.82 : 0.52 : 0.23 ทดสอบในรูปแบบงานแตะ (Tap) จำนวน 30 ครั้งของแต่ละความยากของงานที่ได้กำหนดไว้อย่างสุ่ม และในระหว่างการทดสอบจะให้ผู้เข้าร่วมการทดลองพัก 5 นาทีในแต่ละระดับมุมการมองเห็น

6. ผู้เข้าร่วมการทดลองพัก 15 นาทีระหว่างงานแตะกับงานลาก

7. ทดสอบการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชสกรีน โดยกำหนดระยะห่างในการมอง (Viewing distance) คือ 40 เซนติเมตร ที่มีระดับมุมการมองเห็น (Visual angle) เป็น 1045 MOA ซึ่งคิดเป็น

อัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผลเท่ากับ 1:1 ทดสอบในรูปแบบงานลาก (Drag) จำนวน 15 ครั้งในแต่ละความยากของงานที่ได้กำหนดไว้อย่างสุ่ม

8. บันทึกค่าที่ได้จากโปรแกรม

9. ทดสอบการใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็ก โดยกำหนดให้ระยะทางในการมอง (Viewing distance) คือ 130, 161, 249 และ 554 เซนติเมตร ที่มีระดับมุมการมองเห็น (Visual angle) เป็น 1045, 845, 545 และ 245 MOA ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผลที่เล็กลงเท่ากับ 1 : 0.82 : 0.52 : 0.23 ทดสอบในรูปแบบงานลาก (Drag) จำนวน 15 ครั้งของแต่ละความยากของงานที่ได้กำหนดไว้อย่างสุ่ม และในระหว่างการทดสอบจะให้ผู้เข้ารับการทดลองพัก 5 นาทีในแต่ละระดับมุมการมองเห็น

10. บันทึกค่าที่ได้จากโปรแกรม

11. เปลี่ยนผู้ทำการทดลองและทำซ้ำข้อ 1-11 จนครบทั้งหมด 20 คน

- **สำหรับการทดสอบการใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้น**

1. ทำการทดสอบระดับสายตาจากแผ่นภาพทดสอบสายตา (Snellen chart) โดยให้ผู้เข้ารับการทดลองยืนในระยะห่าง 6 เมตร หรือ 20 ฟุต และใช้มาตรฐาน 6/6 หรือ 20/20 ซึ่งเป็นค่าที่คนสายตาปกติสามารถมองเห็น หากมีระดับสายตาที่ผิดปกติผู้เข้ารับการทดลองต้องสวมแว่นสายตาหรือใส่คอนแทคเลนส์ก่อนทำการทดลอง

2. อธิบายรายละเอียดของการทดลองให้แก่ผู้เข้ารับการทดลองเข้าใจและลงนามในหนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

3. จัดเตรียมสถานีงานตามที่กำหนดและให้ผู้เข้ารับการทดลองนั่งในท่าที่นั่งที่สบาย

4. ทดสอบการใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชสกรีน โดยกำหนดระยะทางในการมอง (Viewing distance) คือ 40 เซนติเมตร ที่มีระดับมุมการมองเห็น (Visual angle) เป็น 1045 MOA ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผลเท่ากับ 1:1 ทดสอบในรูปแบบงานแตะ (Tap) จำนวน 30 ครั้งในแต่ละความยากของงานที่ได้กำหนดไว้อย่างสุ่ม

5. ทดสอบการใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชแพดร่วมกับจอแสดงผล โดยกำหนดให้ระยะทางในการมอง (Viewing distance) คือ 263, 178 และ 134 เซนติเมตร ที่มีระดับมุมการมองเห็น (Visual angle) เป็น 1045, 1545 และ 2045 MOA ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผลที่ใหญ่ขึ้นเท่ากับ 1 : 1.48 : 1.96 ทดสอบในรูปแบบงานแตะ (Tap) จำนวน 30 ครั้งของแต่ละความยาก

ของงานที่ได้กำหนดไว้อย่างสุ่ม และในระหว่างการทดสอบจะให้ผู้เข้าร่วมการทดลองพัก 5 นาทีในแต่ละระดับมุมมองเห็น

6. ผู้เข้าร่วมการทดลองพัก 15 นาทีระหว่างงานแต่ละกับงานลาก
7. ทดสอบการใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชस्कกรีน โดยกำหนดระยะห่างในการมอง (Viewing distance) คือ 40 เซนติเมตร ที่มีระดับมุมมองเห็น (Visual angle) เป็น 1045 MOA ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอแสดงผลเท่ากับ 1:1 ทดสอบในรูปแบบงานลาก (Drag) จำนวน 15 ครั้งในแต่ละความยากของงานที่ได้กำหนดไว้อย่างสุ่ม
8. บันทึกค่าที่ได้จากโปรแกรม
9. ทดสอบการใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชแพดร่วมกับจอแสดงผล โดยกำหนดให้ระยะห่างในการมอง (Viewing distance) คือ 263, 178 และ 134 เซนติเมตร ที่มีระดับมุมมองเห็น (Visual angle) เป็น 1045, 1545 และ 2045 MOA ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอแสดงผลที่ใหญ่ขึ้นเท่ากับ 1 : 1.48 : 1.96 ทดสอบในรูปแบบงานลาก (Drag) จำนวน 15 ครั้ง ของแต่ละความยากของงานที่กำหนดไว้อย่างสุ่ม และในระหว่างการทดสอบจะให้ผู้เข้าร่วมการทดลองพัก 5 นาทีในแต่ละระดับมุมมองเห็น
10. บันทึกค่าที่ได้จากโปรแกรม
11. เปลี่ยนผู้ทำการทดลองและทำซ้ำข้อ 1-11 จนครบทั้งหมด 20 คน

### 3.6 ความยากของงาน (Index of difficulty, ID)

จากการทดลองแบ่งออกเป็นงาน 2 รูปแบบ คือ งานแตะและงานลากจากโปรแกรม Fitts' law และ Steering law โดยผลลัพธ์ที่ได้จะต้องถูกด้วยกำหนดเงื่อนไขความยากในแต่ละงาน ดังนี้

#### 1. งานแตะ (Tapping task)

ผลลัพธ์ที่ได้จากรูปแบบงานแตะที่ทำการทดลองผ่านโปรแกรม Fitts' law คือ ระยะเวลาในการใช้งาน (MT) จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจำนวน 30 ครั้ง ตามความยากของงาน (ID) ที่กำหนด โดยแต่ละความยากของงานจะขึ้นกับความกว้างของเป้าหมาย (W) และระยะห่างระหว่างเป้าหมาย (D) ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้กำหนดความสูงของเป้าหมาย คือ 60 พิกเซล

ตารางที่ 3.1 ความยากของงานสำหรับงานแตะ

ความกว้างของเป้าหมาย (W)	ระยะห่างระหว่างเป้าหมาย (D)	ดัชนีความยาก (ID)
240 พิกเซล	100 พิกเซล	1.77
480 พิกเซล	100 พิกเซล	2.54
960 พิกเซล	100 พิกเซล	3.41
480 พิกเซล	20 พิกเซล	4.64
1200 พิกเซล	20 พิกเซล	5.93

## 2. งานลาก (Dragging task)

ผลลัพธ์ที่ได้จากรูปแบบงานแตะที่ทำการทดลองผ่านโปรแกรม Steering law คือ ระยะเวลาในการใช้งาน (MT) จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุดหรือจุดเดิม ตามความยากของงาน (ID) ที่กำหนดจำนวน 15 ครั้ง โดยแต่ละความยากของงานจะขึ้นกับความกว้างของระยะทาง (W) และรัศมีของระยะทาง (R) ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ความยากของงานสำหรับงานลาก

ความกว้างของระยะทาง (W)	รัศมีของระยะทาง (R)	ดัชนีความยาก (ID)
90 พิกเซล	100 พิกเซล	6.98
90 พิกเซล	200 พิกเซล	13.97
90 พิกเซล	300 พิกเซล	20.95
50 พิกเซล	200 พิกเซล	25.14
50 พิกเซล	250 พิกเซล	31.43

## 3.7 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น

- ชนิดของอุปกรณ์ (Type)
- อัตราส่วนของขนาดหน้าจอแสดงผล (Size)

ตัวแปรตาม คือ

- ระยะเวลาในการใช้งาน (MT)

- สมรรถนะในการใช้งาน (IP)
- Cursor overshoot
- Cursor undershoot

ตัวแปรควบคุม คือ

- จัดสถานีงานและอุปกรณ์ต่างๆให้อยู่ในสภาพที่กำหนด
- ระยะเวลาในการพัก

### 3.8 การออกแบบการทดลอง

ตารางการออกแบบการทดลองจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มการทดลอง คือ ตารางการออกแบบการทดลองการใช้งานปากกาดีจิจิตอลลงบนทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีมุมมองเห็นเล็กน้อยดังตารางที่ 3.3 และตารางการออกแบบการทดลองการใช้งานปากกาดีจิจิตอลลงบนทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นดังตารางที่ 3.4 สำหรับงานแตะ (Tapping task) และงานลาก (Dragging task)

ตารางที่ 3.3 ปัจจัยและระดับปัจจัยของกลุ่มการทดลองการใช้งานปากกาดีจิจิตอลลงบนทัชสกรีนกับทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีมุมมองเห็นเล็กน้อยทั้งงานแตะ (Tap) และงานลาก (Drag)

งาน	ชนิดของแท็บเล็ต				
	ทัชสกรีน	ทัชแพด			
		(1:1)	(1:0.82)	(1:0.52)	(1:0.23)
แตะ	MT/IP	MT/IP	MT/IP	MT/IP	MT/IP
ลาก	MT/IP	MT/IP	MT/IP	MT/IP	MT/IP



ตารางที่ 3.4 ปัจจัยและระดับปัจจัยของกลุ่มการทดลองการใช้งานปากกาจิจิตอลลงบนทัชสกรีนกับทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นทั้งงานแตะ (Tap) และงานลาก (Drag)

งาน	ชนิดของแท็บเล็ต			
	ทัชสกรีน	ทัชแพด		
		(1:1)	(1:1.48)	(1:1.96)
แตะ	MT/IP	MT/IP	MT/IP	MT/IP
ลาก	MT/IP	MT/IP	MT/IP	MT/IP

### 3.9 สมมติฐานการทดสอบ

#### 3.9.1 ทดสอบระยะเวลาในการใช้งาน

- เนื่องจากทัชแพดและทัชสกรีนมีลักษณะการรับรู้ข้อมูลแตกต่างกัน โดยทัชแพดมีการสัมผัสแบบทางอ้อมส่งผลให้มีระยะเวลาในการประมวลผลมากกว่าทัชสกรีนรวมถึงปัญหาที่มักเกิดจากการใช้งานทัชแพดได้แก่ Cursor lag, Cursor overshoot และ Cursor undershoot จึงได้เปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานระหว่างทัชสกรีนและทัชแพดที่มีมุมการมองเห็นเท่ากันทั้งงานแตะและงานลากตามสมมติฐานข้อที่ 1 และ 2

$H_1$  : การใช้งานทัชสกรีนมีระยะเวลาในการใช้งานต่ำกว่าทัชแพดสำหรับงานแตะ

$H_2$  : การใช้งานทัชสกรีนมีระยะเวลาในการใช้งานต่ำกว่าทัชแพดสำหรับงานลาก

- การใช้งานปากกาจิจิตอลบนทัชแพด โดยเลือกจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ที่มีขนาดของมุมการมองเห็นเท่ากัน ดังนั้นระยะเวลาในการใช้งานไม่ควรแตกต่างกัน จึงได้เปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นเท่ากันทั้งงานแตะและงานลากตามสมมติฐานข้อที่ 3 และ 4

$H_3$  : การใช้ทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นเท่ากันมีระยะเวลาในการใช้งานไม่แตกต่างกันสำหรับงานแตะ

$H_4$  : การใช้ทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นเท่ากันมีระยะเวลาในการใช้งานไม่แตกต่างกันสำหรับงานลาก

- การใช้งานปากกาดีจิตอลบนทัชแพด โดยเลือกจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กและถ้าเพิ่มระยะห่างในการวางจอแสดงผลให้ไกลขึ้น ทำให้มุมมองมองเห็นมีขนาดเล็กลง อาจส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการทำงาน จึงได้เปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองมองเห็นเล็กลงได้แก่ 1045, 845, 545 และ 245 MOA ทั้งงานแตะและงานลากตามสมมติฐานข้อที่ 5 และ 6

$H_5$ : การใช้งานทัชแพดที่มีมุมมองมองเห็นเล็กลงมีระยะเวลาในการทำงานแตกต่างกันสำหรับงานแตะ

$H_6$ : การใช้งานทัชแพดที่มีมุมมองมองเห็นเล็กลงมีระยะเวลาในการทำงานแตกต่างกันสำหรับงานลาก

- การใช้งานปากกาดีจิตอลบนทัชแพด โดยเลือกจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่และถ้าลดระยะห่างในการวางจอแสดงผลให้ใกล้ขึ้น ทำให้มุมมองมองเห็นมีขนาดใหญ่ขึ้น อาจส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการทำงาน จึงได้เปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองมองเห็นใหญ่ขึ้นได้แก่ 1045, 1545 และ 2045 MOA ทั้งงานแตะและงานลากตามสมมติฐานข้อที่ 7 และ 8

$H_7$ : การใช้งานทัชแพดที่มีมุมมองมองเห็นใหญ่ขึ้นมีระยะเวลาในการทำงานแตกต่างกันสำหรับงานแตะ

$H_8$ : การใช้งานทัชแพดที่มีมุมมองมองเห็นใหญ่ขึ้นมีระยะเวลาในการทำงานแตกต่างกันสำหรับงานลาก

### 3.9.2 จุดตัดและค่า $R^2$

- จุดตัดคือค่าระยะเวลาในการแตะเป้าหมายสำหรับงานแตะและระยะเวลาในการดับเบิลคลิกบอลลูกก่อนที่จะลากไปตามระยะทางของเป้าหมายสำหรับงานลาก ซึ่งระยะเวลาในส่วนนี้จะไม่มีความชันของสมการเส้นตรง ดังนั้นจุดตัดในทุกๆ การทดสอบควรมีค่าไม่แตกต่างกันทั้งงานแตะและงานลากดังสมมติฐานข้อที่ 9 – 16

$H_9$ : การใช้งานทัชสกรีนมีค่าจุดตัดไม่แตกต่างกันกับการใช้งานทัชแพดสำหรับงานแตะ

$H_{10}$ : การใช้งานทัชสกรีนมีค่าจุดตัดไม่แตกต่างกันกับการใช้งานทัชแพดสำหรับงานลาก

$H_{11}$ : การใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองมองเห็นเท่ากันมี

ค่าจุดตัดไม่แตกต่างกันสำหรับงานแตะ

H<sub>12</sub> : การใช้ทซ์แพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มุมมองเห็นเท่ากันมี

ค่าจุดตัดไม่แตกต่างกันสำหรับงานลาก

H<sub>13</sub> : การใช้งานทซ์แพดที่มุมมองเห็นเล็กลงมีค่าจุดตัดไม่แตกต่างกันสำหรับงานแตะ

H<sub>14</sub> : การใช้งานทซ์แพดที่มุมมองเห็นเล็กลงมีค่าจุดตัดไม่แตกต่างกันสำหรับงานลาก

H<sub>15</sub> : การใช้งานทซ์แพดที่มุมมองเห็นใหญ่ขึ้นมีค่าจุดตัดไม่แตกต่างกันสำหรับงานแตะ

H<sub>16</sub> : การใช้งานทซ์แพดที่มุมมองเห็นใหญ่ขึ้นมีค่าจุดตัดไม่แตกต่างกันสำหรับงานลาก

- ค่า  $R^2$  เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของสมการเส้นตรงที่อธิบายความผันแปรของค่าระยะเวลาในการใช้งานต่างๆที่กระจายอยู่รอบค่าเฉลี่ย โดยขั้นแรกได้ตัดข้อมูลที่เป็น Outlier ออกก่อนที่จะหาสมการความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงระหว่างระยะเวลาในการใช้งานกับความยากของงานของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคน ดังนั้นค่า  $R^2$  ในทุกๆการทดสอบควรมีค่าไม่แตกต่างกันทั้งงานแตะและงานลากดังสมมติฐานข้อที่ 17 – 24

H<sub>17</sub> : การใช้งานทซ์สกรีนมีค่า  $R^2$  ไม่แตกต่างกันกับการใช้งานทซ์แพดสำหรับงานแตะ

H<sub>18</sub> : การใช้งานทซ์สกรีนมีค่า  $R^2$  ไม่แตกต่างกันกับการใช้งานทซ์แพดสำหรับงานลาก

H<sub>19</sub> : การใช้ทซ์แพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มุมมองเห็นเท่ากันมี

ค่า  $R^2$  ไม่แตกต่างกันสำหรับงานแตะ

H<sub>20</sub> : การใช้ทซ์แพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มุมมองเห็นเท่ากันมี

ค่า  $R^2$  ไม่แตกต่างกันสำหรับงานลาก

H<sub>21</sub> : การใช้งานทซ์แพดที่มุมมองเห็นเล็กลงมีค่า  $R^2$  ไม่แตกต่างกันสำหรับงานแตะ

H<sub>22</sub> : การใช้งานทซ์แพดที่มุมมองเห็นเล็กลงมีค่า  $R^2$  ไม่แตกต่างกันสำหรับงานลาก

H<sub>23</sub> : การใช้งานทซ์แพดที่มุมมองเห็นใหญ่ขึ้นมีค่า  $R^2$  ไม่แตกต่างกันสำหรับงานแตะ

H<sub>24</sub> : การใช้งานทซ์แพดที่มุมมองเห็นใหญ่ขึ้นมีค่า  $R^2$  ไม่แตกต่างกันสำหรับงานลาก

### 3.9.3 ทดสอบสมรรถนะในการใช้งาน

- เนื่องจากทัชแพดและทัชสกรีนมีลักษณะการรับรู้ข้อมูลแตกต่างกัน โดยทัชแพดมีการสัมผัสแบบทางอ้อมส่งผลให้มีระยะเวลาในการประมวลผลมากกว่าทัชสกรีนรวมถึงปัญหาที่มักเกิดจากการใช้งานทัชแพดได้แก่ Cursor lag, Cursor overshoot และ Cursor undershoot อาจส่งผลให้สมรรถนะในการใช้งานลดลง จึงได้เปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานระหว่างทัชสกรีนและทัชแพดที่มุ่งการมองเห็นเท่ากันทั้งงานแตะและงานลากตามสมมติฐานข้อที่ 25 และ 26

H<sub>25</sub>: การใช้งานทัชสกรีนมีสมรรถนะในการใช้งานสูงกว่าทัชแพดสำหรับงานแตะ

H<sub>26</sub>: การใช้งานทัชสกรีนมีสมรรถนะในการใช้งานสูงกว่าทัชแพดสำหรับงานลาก

- การใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชแพด โดยเลือกจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ที่มีขนาดของมุมมองมองเห็นเท่ากัน ทำให้สมรรถนะในการใช้งานไม่ควรแตกต่างกัน จึงได้เปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองมองเห็นเท่ากันทั้งงานแตะและงานลากตามสมมติฐานข้อที่ 27 และ 28

H<sub>27</sub>: การใช้ทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่มีมุมมองมองเห็นเท่ากันมีสมรรถนะ

ในการใช้งานไม่แตกต่างกันสำหรับงานแตะ

H<sub>28</sub>: การใช้ทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่มีมุมมองมองเห็นเท่ากันมีสมรรถนะ

ในการใช้งานไม่แตกต่างกันสำหรับงานลาก

- การใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชแพด โดยเลือกจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กและถ้าเพิ่มระยะห่างในการวางจอแสดงผลให้ไกลขึ้น ทำให้มุมมองมองเห็นมีขนาดเล็กลง อาจส่งผลต่อสมรรถนะในการใช้งาน จึงได้เปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองมองเห็นเล็กลงได้แก่ 1045, 845, 545 และ 245 MOA ทั้งงานแตะและงานลากตามสมมติฐานข้อที่ 29 และ 30

H<sub>29</sub>: การใช้งานทัชแพดที่มีมุมมองมองเห็นเล็กลงมีสมรรถนะในการใช้งานแตกต่างกันสำหรับงานแตะ

H<sub>30</sub>: การใช้งานทัชแพดที่มีมุมมองมองเห็นเล็กลงมีสมรรถนะในการใช้งานแตกต่างกันสำหรับงานลาก

- การใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชแพด โดยเลือกจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่และถ้าลดระยะห่างในการวางจอแสดงผลให้ใกล้ขึ้น ทำให้มุมมองมองเห็นมีขนาดใหญ่ขึ้น อาจส่งผลต่อสมรรถนะในการใช้งาน จึงได้เปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองมองเห็นใหญ่ขึ้นได้แก่ 1045, 1545 และ 2045 MOA ทั้งงานแตะและงานลากตามสมมติฐานข้อที่ 31

และ 32

H<sub>31</sub>: การใช้งานทัชแพดที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นมีสมรรถนะในการใช้งานแตกต่างกันสำหรับงานแตะ

H<sub>32</sub>: การใช้งานทัชแพดที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นมีสมรรถนะในการใช้งานแตกต่างกันสำหรับงานลาก

### 3.9.4 ปัญหา Cursor overshoot และ Cursor undershoot สำหรับงานแตะ

- การใช้งานทัชแพดมักจะเกิดปัญหา Cursor overshoot และ Cursor undershoot ที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการใช้งานและความถูกต้องมากกว่าการใช้งานทัชสกรีน จึงได้เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเกิดปัญหาเหล่านี้ตามสมมติฐานข้อที่ 33

H<sub>33</sub>: การใช้งานทัชแพดมีเปอร์เซ็นต์การเกิด Cursor overshoot และ Cursor undershoot มากกว่าการใช้งานทัชสกรีนสำหรับงานแตะ

- การใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นเท่ากันมักจะเกิดปัญหา Cursor overshoot และ Cursor undershoot ที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการใช้งานและความถูกต้อง จึงได้เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเกิดปัญหาเหล่านี้ตามสมมติฐานข้อที่ 34

H<sub>34</sub>: การใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่มีเปอร์เซ็นต์การเกิด Cursor overshoot และ Cursor undershoot ไม่แตกต่างกันสำหรับงานแตะ

- การใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กลงได้แก่ 1045, 845, 545 และ 245 MOA มักจะเกิดปัญหา Cursor overshoot และ Cursor undershoot ที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการใช้งานและความถูกต้อง จึงได้เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเกิดปัญหาเหล่านี้ตามสมมติฐานข้อที่ 35

H<sub>35</sub>: การใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กลงมีเปอร์เซ็นต์การเกิด Cursor overshoot และ Cursor undershoot แตกต่างกันสำหรับงานแตะ

- การใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นได้แก่ 1045, 1545 และ 2045 MOA มักจะเกิดปัญหา Cursor overshoot และ Cursor undershoot ที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการใช้งานและความถูกต้อง จึงได้เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเกิดปัญหาเหล่านี้ตามสมมติฐานข้อที่ 36

H<sub>36</sub>: การใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นมีเปอร์เซ็นต์การเกิด Cursor overshoot และ Cursor undershoot แตกต่างกันสำหรับงานแตะ

### 3.10 การวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพด โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 18 โดยใช้ Generals Full Factorial Design ในการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานของแต่ละอุปกรณ์สำหรับงานแตะ (Tap) และงานลาก (Drag) เนื่องจากตัวแปรอิสระการทดลองคือ ดัชนีความยาก (ID) และ ชนิดของอุปกรณ์หรืออัตราส่วนของขนาดหน้าจอแสดงผลมีหลายระดับ และใช้ One Way ANOVA ในการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการทำงาน (IP) ของแต่ละอุปกรณ์สำหรับงานแตะ (Tap) และงานลาก (Drag) เนื่องจากค่าสมรรถนะในการทำงานเกิดจากส่วนกลับของความชัน (Slope) ที่ได้สมการเชิงเส้นตรง (Linear regression)



## บทที่ 4

### วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองของงานวิจัยนี้จะนำมุมมองเห็นมาประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานสำหรับงานแตะและงานลากของทั้ง 2 อุปกรณ์คือ แทชสกรีนและแทชแพด โดยได้กำหนดขนาดมุมมองเห็นของหน้าจอแทชสกรีนอยู่ที่ 1045 MOA ซึ่งเป็นขนาดมุมมองเห็นหลักในการเปรียบเทียบขนาดมุมมองเห็นของหน้าจอแสดงผลอื่นๆ ส่วนแทชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็ก จะกำหนดมุมมองเห็นที่เล็กลงไปได้แก่ 1045, 845, 545 และ 245 MOA ทำให้ผู้ใช้มองจอแสดงผลที่มีขนาดเล็ก โดยคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอแสดงผลเทียบกับหน้าจอแทชสกรีนคือ 1 : 1 : 0.82 : 0.52 : 0.23 ตามลำดับ และแทชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ จะกำหนดมุมมองเห็นที่ใหญ่ขึ้นได้แก่ 1045, 1545 และ 2045 MOA ทำให้ผู้ใช้มองจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอแสดงผลเทียบกับหน้าจอแทชสกรีนคือ 1 : 1 : 1.48 : 1.96 ตามลำดับ

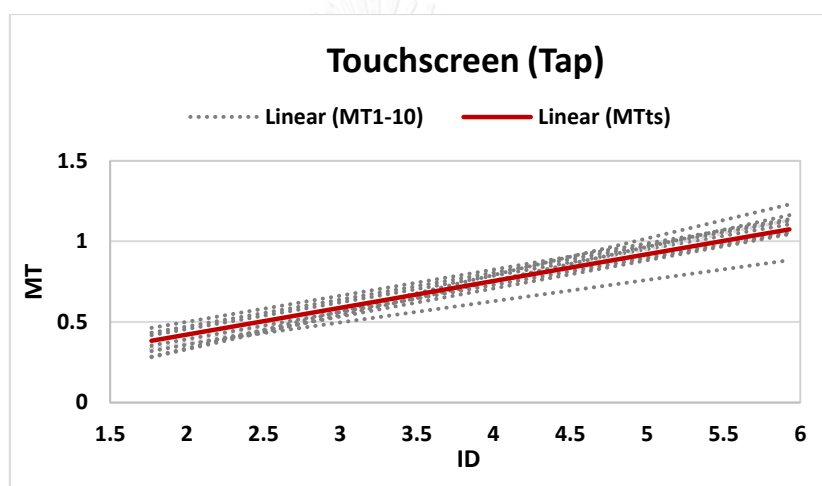
ในการทดลองมีผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวนทั้งหมด 30 คน โดยแบ่งเป็นกลุ่มการทดลอง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 คือ การใช้งานแทชสกรีน 10 คน กลุ่มที่ 2 คือ การใช้งานแทชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็ก (TV32) ที่มีมุมมองเห็นเล็กลง 20 คน และกลุ่มที่ 3 คือ การใช้งานแทชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ (TV 65) ที่มีมุมมองเห็นใหญ่ขึ้น 20 คน ซึ่งกลุ่มที่ 2 และ 3 มีผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 10 คนที่ได้เคยทดสอบในกลุ่มที่ 1 มาก่อน โดยข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมการทดลอง

กลุ่ม	เพศ		ค่าเฉลี่ยอายุ (ปี)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอายุ (ปี)
	ชาย	หญิง		
1	5	5	24.89	1.84
2	11	9	25.05	1.47
3	11	9	25.20	1.58

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานปากกาดีจิตอลระหว่างอุปกรณ์แทชสกรีนและแทชแพด ซึ่งก่อนที่จะทำการเปรียบเทียบได้ทำการคัดกรองข้อมูลระยะเวลาในการใช้งานที่เป็นค่านอกกลุ่ม (Outlier) เพื่อลดความผิดพลาดในการสรุปผลการทดลอง ซึ่งค่านอกกลุ่มนี้ใน

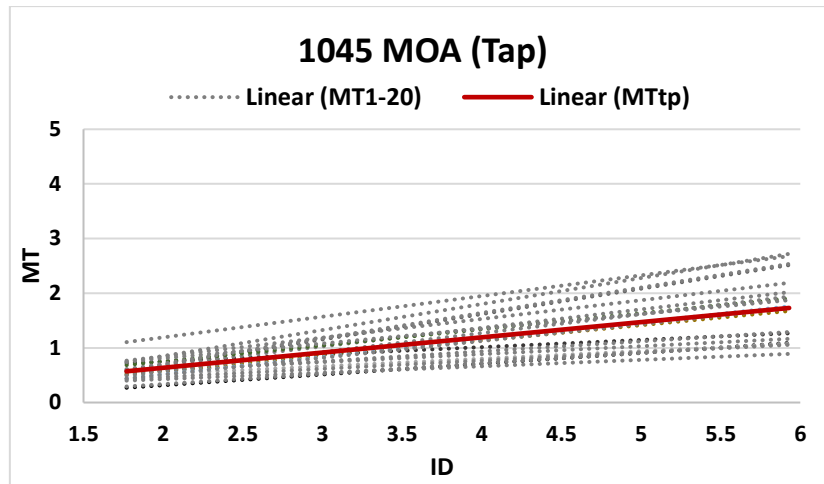
บางครั้งอาจเกิดจากความไม่ตั้งใจในขณะทดลองของผู้เข้าร่วมการทดลองหรือความไม่เสถียรของอุปกรณ์ โดยจะใช้วิธี Box Plot ในการตัดค่านอกกลุ่มออกของแต่ละดัชนีความยาก จะได้สมการเส้นตรงของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนและสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของอุปกรณ์มาจากค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการใช้งานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน สำหรับทัชสกรีนและอีก 20 คนสำหรับทัชแพด โดย linear (MT1-10) คือ สมการเส้นตรงของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1-10, linear (MT1-20) คือ สมการเส้นตรงของผู้เข้าร่วมการทดลองคนที่ 1-20, linear (MTTs) คือ สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชสกรีนและ linear (MTtp) คือ สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพด



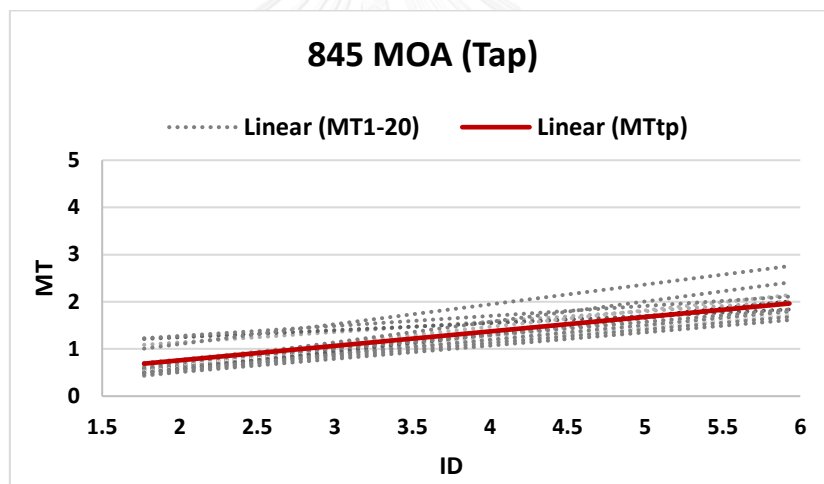
รูปที่ 4.1 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชสกรีนสำหรับงานแตะ

จากรูป 4.1 แสดงสมการเส้นตรงของผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คนและสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชสกรีนสำหรับงานแตะ พบว่ามีระยะเวลาในการใช้งานไม่เกิน 0.5 วินาทีที่ระดับความยากของงาน 1.77 และมีระยะเวลาในการใช้งานไม่เกิน 1.5 วินาทีที่ระดับความยากของงาน 5.93 จะเห็นว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งสมการที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชสกรีนคือ  $MT = 0.09 + 0.17ID$  และมีค่า  $R^2 = 0.93$  โดยสมการที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชสกรีนนี้สามารถอธิบายความผันแปรของค่าระยะเวลาในการใช้งานต่างๆ ที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้ถึง 93%

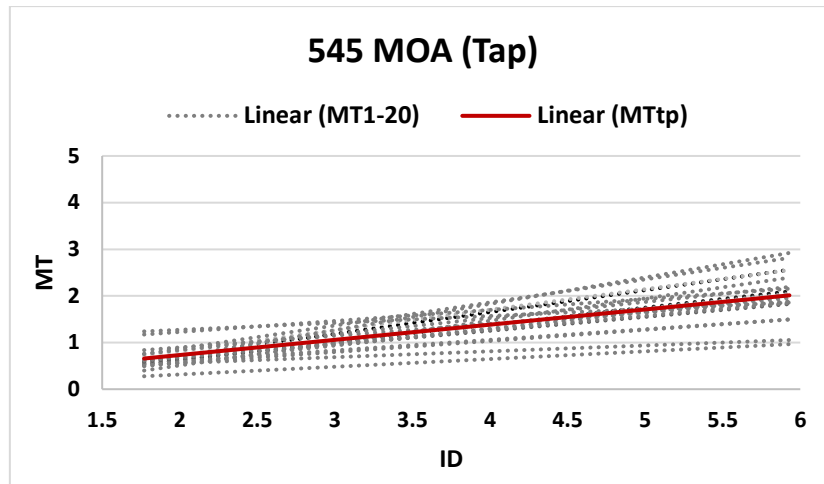




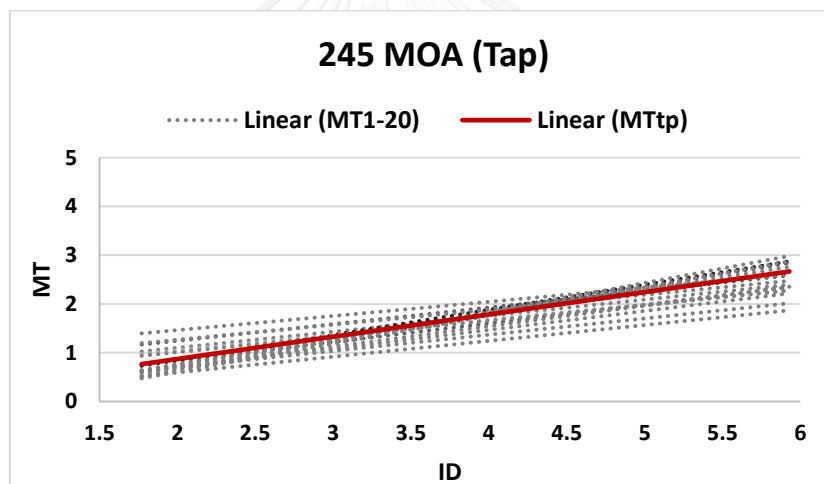
รูปที่ 4.2 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็ก  
ที่มุมการมองเห็น 1045 MOA สำหรับงานแตะ



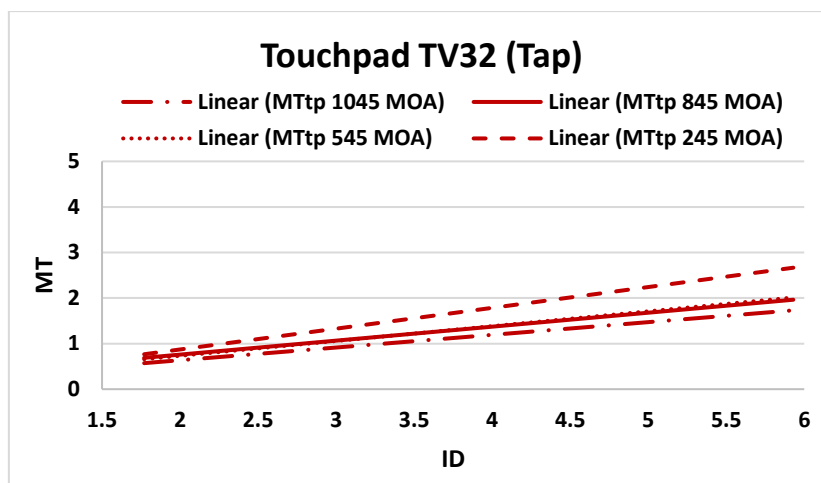
รูปที่ 4.3 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็ก  
ที่มุมการมองเห็น 845 MOA สำหรับงานแตะ



รูปที่ 4.4 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็ก  
ที่มุมการมองเห็น 545 MOA สำหรับงานแตะ

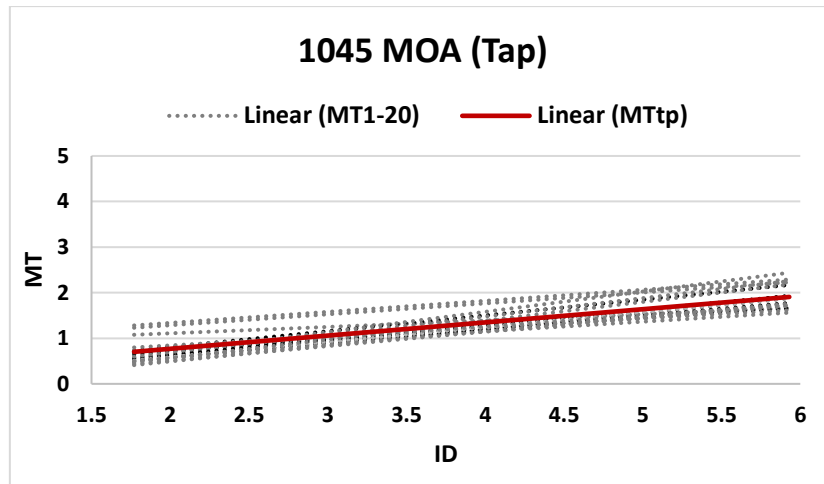


รูปที่ 4.5 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็ก  
ที่มุมการมองเห็น 245 MOA สำหรับงานแตะ

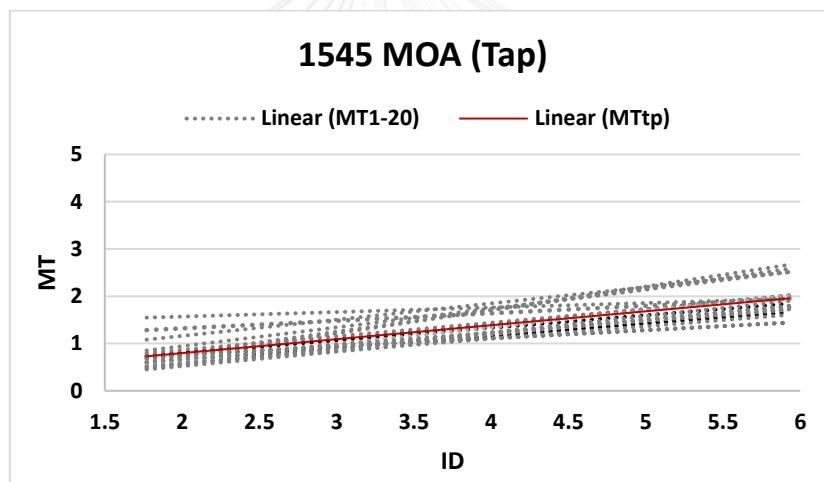


รูปที่ 4.6 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็น 1045, 845, 545 และ 245 MOA สำหรับงานแตะ

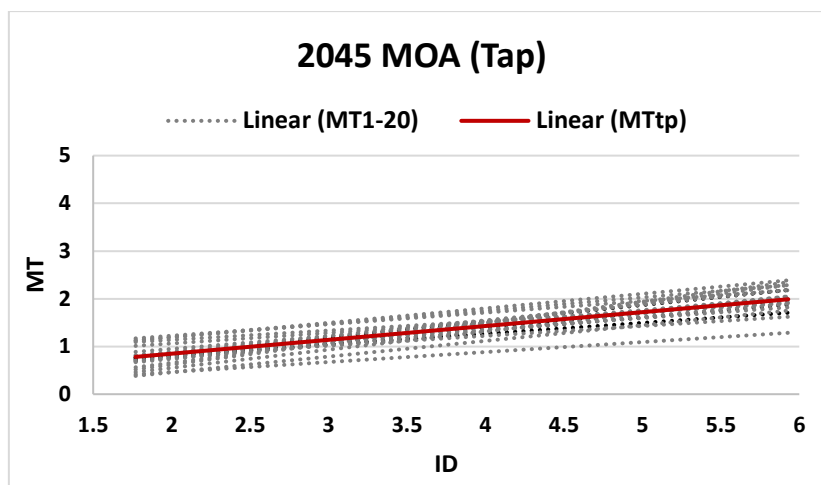
จากรูป 4.2-4.5 แสดงสมการเส้นตรงของผู้เข้าร่วมการทดลอง 20 คนและสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กสำหรับงานแตะ พบว่าที่ระดับความยากของงาน 1.77 มีระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยใกล้เคียงกันทุกมุมการมองเห็นแต่มีความชันของสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนในการใช้งานทัชแพดที่มีมุมการมองเห็น 1045 MOA ต่ำที่สุด ที่มีมุมการมองเห็น 845 และ 545 MOA มีความชันใกล้เคียงกันและมีมุมการมองเห็น 245 MOA มีความชันสูงที่สุดดังรูปที่ 4.6 ซึ่งสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดที่มีมุมการมองเห็น 1045, 845, 545 และ 245 MOA ได้แก่  $MT = 0.08 + 0.28ID$ ,  $MT = 0.15 + 0.31ID$ ,  $MT = 0.08 + 0.33ID$  และ  $MT = 0.04 + 0.46ID$  และมีค่า  $R^2 = 0.93, 0.90, 0.95$  และ  $0.93$  โดยสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดที่มีมุมการมองเห็นเล็กเหล่านี้สามารถอธิบายความผันแปรของค่าระยะเวลาในการใช้งานต่างๆที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้ถึง 93%, 90%, 95% และ 93% ตามลำดับ



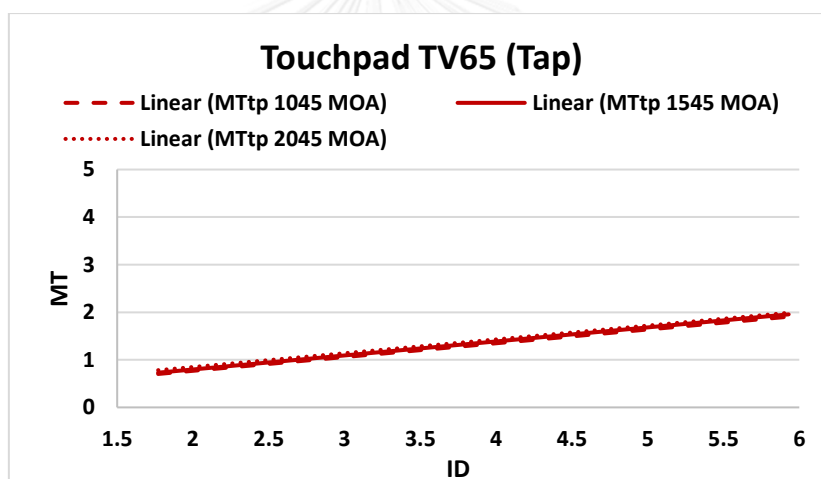
รูปที่ 4.7 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่  
ที่มุมการมองเห็นใหญ่ 1045 MOA สำหรับงานแตะ



รูปที่ 4.8 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่  
ที่มุมการมองเห็นใหญ่ 1545 MOA สำหรับงานแตะ



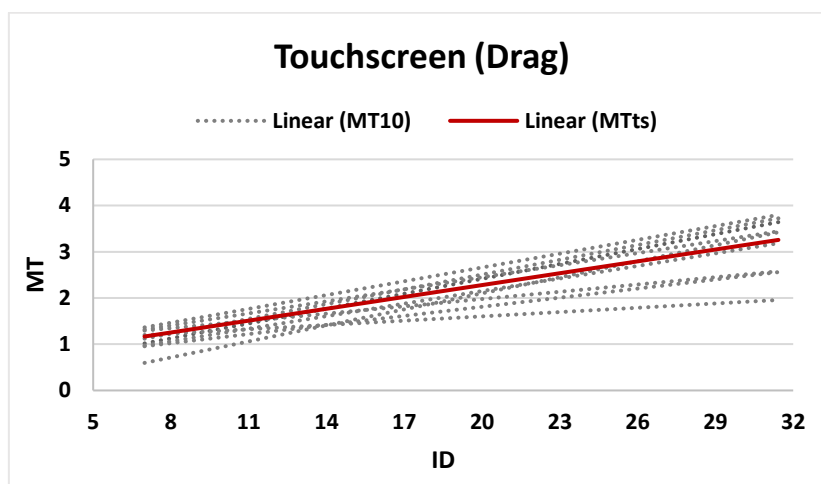
รูปที่ 4.9 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่  
ที่มีมุมมองเห็นใหญ่ 2045 MOA สำหรับงานแตะ



รูปที่ 4.10 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมอง  
มองเห็น 1045, 1545 และ 2045 MOA สำหรับงานแตะ

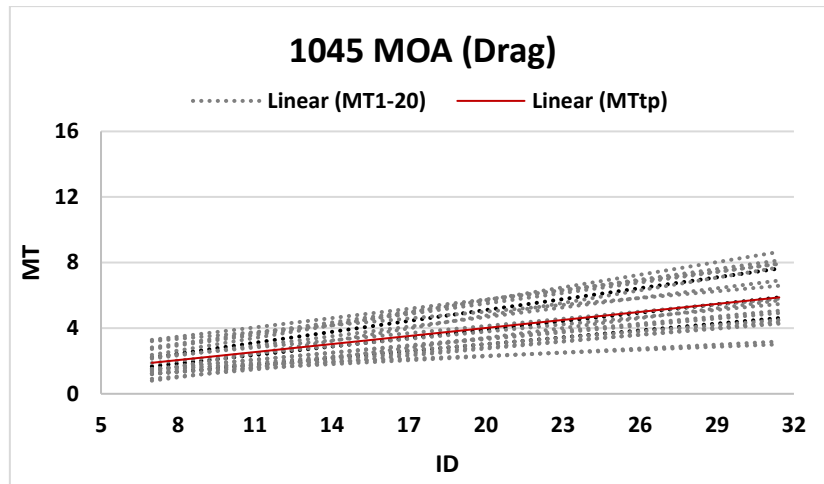
จากรูป 4.7-4.9 แสดงสมการเส้นตรงของผู้เข้าร่วมการทดลอง 20 คนและสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ พบว่าที่ระดับความยากของงาน 1.77 มีระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยใกล้เคียงกันและความชันของสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดใกล้เคียงกันทุกมุมมองเห็นดังรูป 4.10 ซึ่งสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดที่มีมุมมองเห็น 1045, 1545 และ 2045 MOA ได้แก่  $MT = 0.19 + 0.29ID$ ,  $MT = 0.21 + 0.29ID$  และ  $MT = 0.27 + 0.29ID$  และมีค่า  $R^2 = 0.89, 0.91$  และ  $0.90$  โดยสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดที่มีมุมมองเห็นใหญ่

ขั้นนี้สามารถอธิบายความผันแปรของค่าระยะเวลาในการทำงานต่างๆที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้ถึง 89%, 91% และ 90% ตามลำดับ

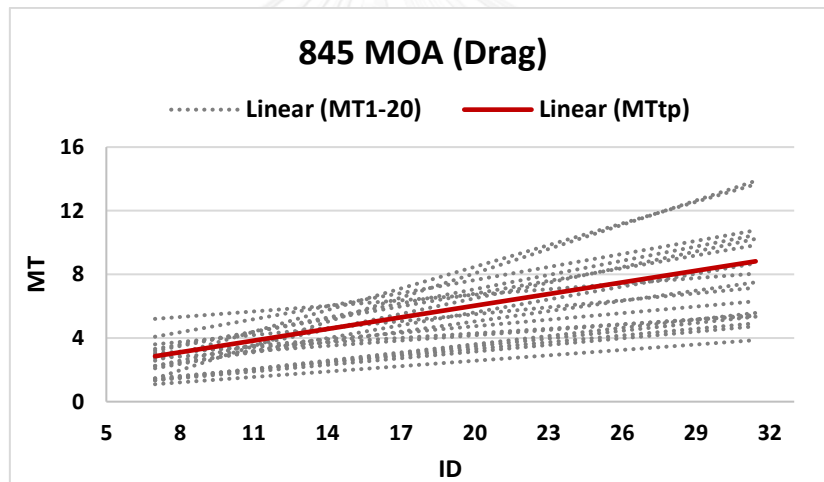


รูปที่ 4.11 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการทำงานทัชสกรีนสำหรับงานลาก

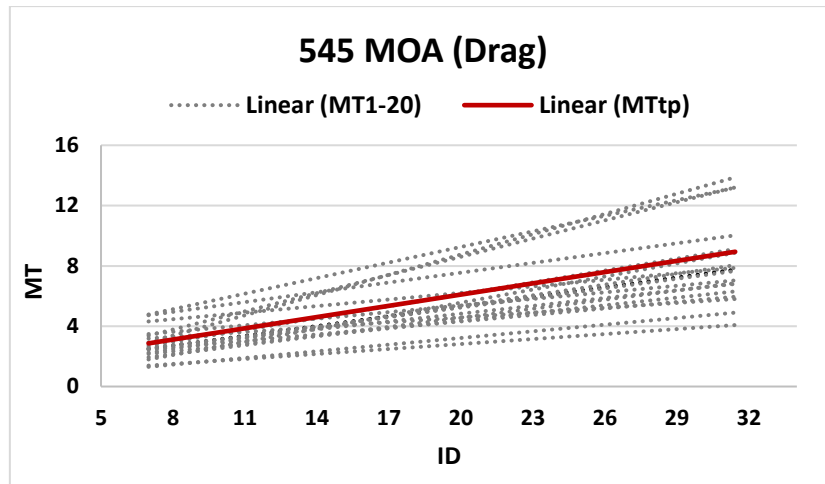
จากรูป 4.11 แสดงสมการเส้นตรงของผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คนและสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการทำงานทัชสกรีนสำหรับงานลาก พบว่ามีระยะเวลาในการทำงานไม่เกิน 1.5 วินาทีที่ระดับความยากของงาน 6.98 และมีระยะเวลาในการทำงานไม่เกิน 4 วินาทีที่ระดับความยากของงาน 31.43 ซึ่งสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของใช้งานทัชสกรีนมีความชันเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการทำงานทัชสกรีนคือ  $MT = 0.57 + 0.09ID$  และมีค่า  $R^2 = 0.98$  โดยสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการทำงานทัชสกรีนนี้สามารถอธิบายความผันแปรของค่าระยะเวลาในการทำงานต่างๆที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้ถึง 98%



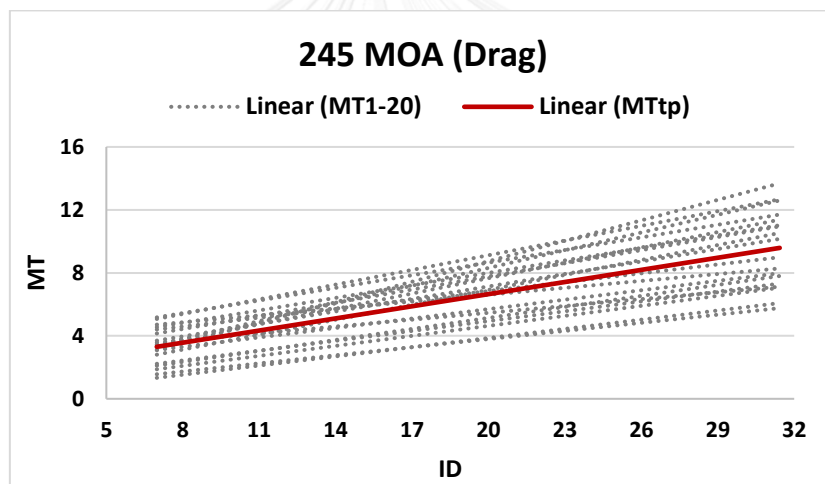
รูปที่ 4.12 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการทำงานที่ซัพพอร์ตร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็ก  
ที่มุมการมองเห็น 1045 MOA สำหรับงานลาก



รูปที่ 4.13 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการทำงานที่ซัพพอร์ตร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็ก  
ที่มุมการมองเห็น 845 MOA สำหรับงานลาก

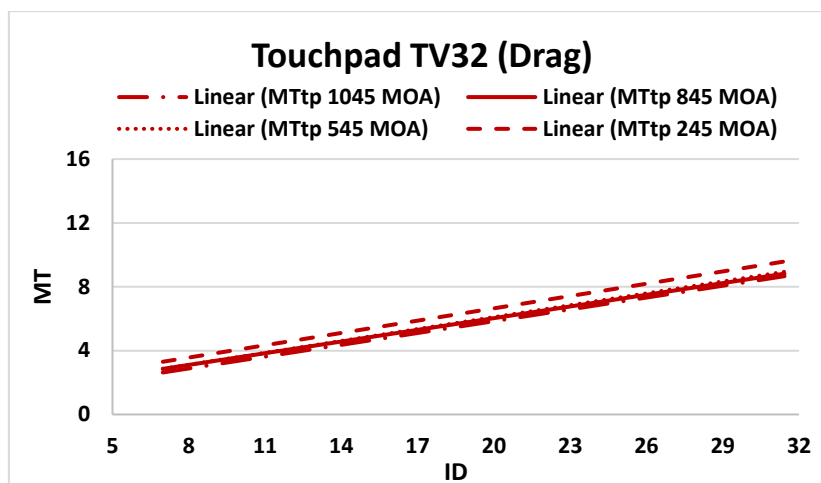


รูปที่ 4.14 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็ก  
ที่มุมการมองเห็น 545 MOA สำหรับงานลาก



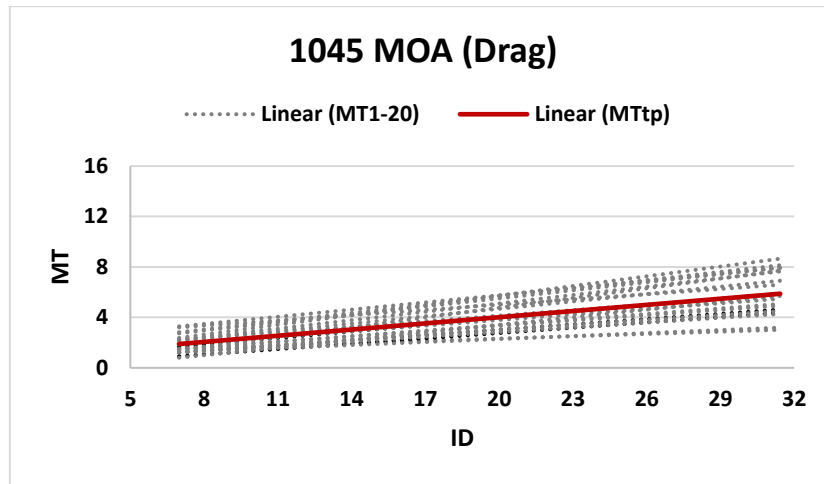
รูปที่ 4.15 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็ก  
ที่มุมการมองเห็น 245 MOA สำหรับงานลาก



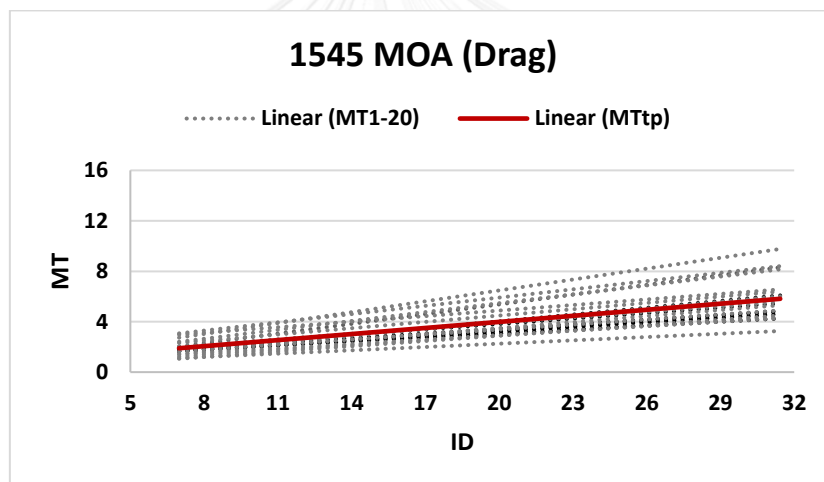


รูปที่ 4.16 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็น 1045, 845, 545 และ 245 MOA สำหรับงานลาก

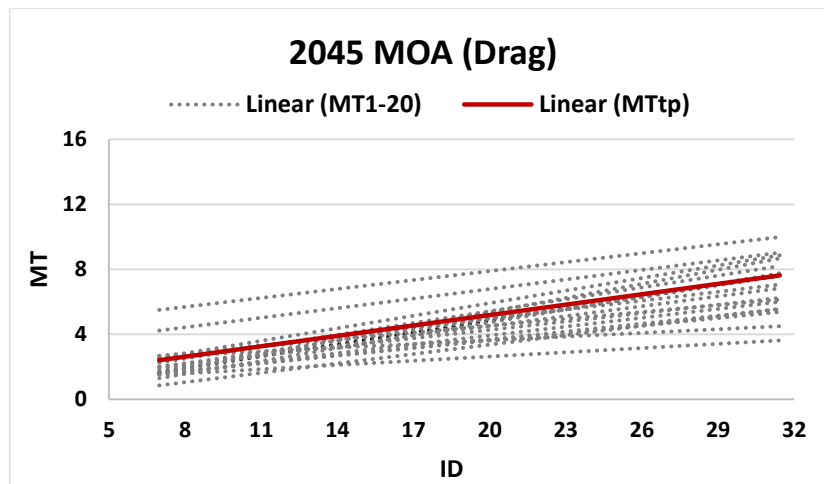
จากรูป 4.12-4.15 แสดงสมการเส้นตรงของผู้เข้าร่วมการทดลอง 20 คนและสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานลาก พบว่าที่ระดับความยากของงาน 6.98 มีระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยและความชันของสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดใกล้เคียงกันยกเว้นมุมการมองเห็น 245 MOA ที่มีจุดตัดและความชันสูงกว่าเล็กน้อยดังรูป 4.16 ซึ่งสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดที่มีมุมการมองเห็น 1045, 845, 545 และ 245 MOA ได้แก่  $MT = 0.91 + 0.25ID$ ,  $MT = 1.15 + 0.24ID$ ,  $MT = 1.13 + 0.25ID$  และ  $MT = 1.50 + 0.26ID$  และมีค่า  $R^2 = 0.99, 0.98, 0.99$  และ  $0.99$  โดยสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางนี้สามารถอธิบายความผันแปรของค่าระยะเวลาในการใช้งานต่างๆที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้ถึง 99%, 98%, 99% และ 99% ตามลำดับ



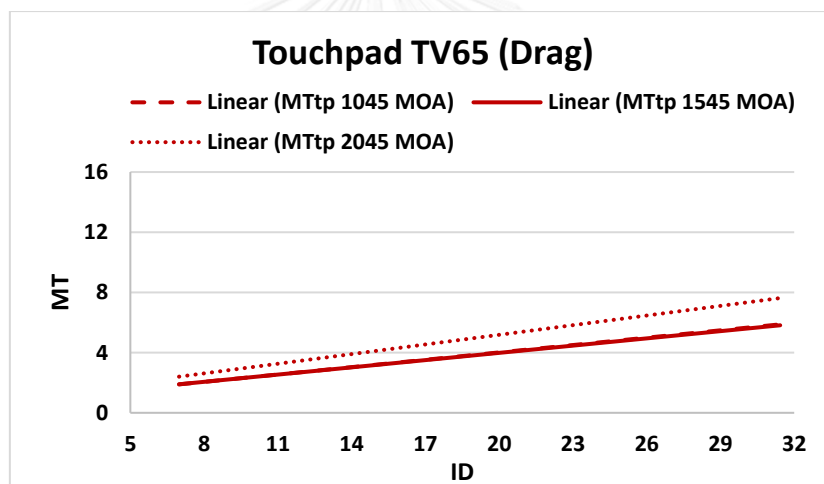
รูปที่ 4.17 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่  
ที่มุมการมองเห็น 1045 MOA สำหรับงานลาก



รูปที่ 4.18 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่  
ที่มุมการมองเห็น 1545 MOA สำหรับงานลาก



รูปที่ 4.19 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่  
ที่มีมุมมองเห็น 2045 MOA สำหรับงานลาก



รูปที่ 4.20 สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมอง  
มองเห็น 1045, 1545 และ 2045 MOA สำหรับงานลาก

จากรูป 4.17-4.19 แสดงสมการเส้นตรงของผู้เข้าร่วมการทดลอง 20 คนและสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก พบว่าที่ระดับความยากของงาน 6.98 มีระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยใกล้เคียงกันทุกมุมมองมองเห็นและมีความชันของสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดที่มีมุมมองเห็น 2045 MOA สูงกว่ามุมมองเห็นอื่นดังรูปที่ 4.20 ซึ่งสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดที่มีมุมมองเห็น 1045, 1545 และ 2045 MOA ได้แก่  $MT = 0.75 + 0.16ID$ ,  $MT =$

$0.78+0.16ID$  และ  $MT = 0.91+0.21ID$  และมีค่า  $R^2 = 0.99, 0.99$  และ  $0.98$  โดยสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชแพดที่มีมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นนี้สามารถอธิบายความผันแปรของค่าระยะเวลาในการใช้งานต่างๆที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้ถึง 99%, 99% และ 98% ตามลำดับ

สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับงานแตะและงานลาก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จะแบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

1. เปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของการใช้งานปากกาจิจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นต่างๆ สำหรับงานแตะและงานลาก
2. หาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear regression) ของเวลาในการเคลื่อนที่และค่าดัชนีความยากของงานกับอุปกรณ์ทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นต่างๆสำหรับงานแตะและงานลาก
3. เปรียบเทียบค่าของจุดตัดและค่า  $R^2$  (R-Square) ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของอุปกรณ์ทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นต่างๆ ในแต่ละผู้เข้าร่วมการทดลองสำหรับงานแตะและงานลาก
4. เปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานของการใช้งานปากกาจิจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นต่างๆ สำหรับงานแตะและงานลาก
5. วิเคราะห์ปัญหาเคอร์เซอร์ชี้เลยเป้าหมายที่กำหนด (Overshoot) และเคอร์เซอร์ชี้ไม่ถึงเป้าหมายที่กำหนด (Undershoot) ของอุปกรณ์ทัชสกรีนและทัชแพดที่มีมุมมองเห็นต่างๆ

#### 4.1 ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการแยกความผันแปรรวมออกตามแหล่งที่มาและสรุปผลโดยใช้ทฤษฎีทางสถิติ ซึ่งจะถูกต้องก็ต่อเมื่อข้อสมมติภายใต้ทฤษฎีนั้นเป็นจริงดังนี้

1. ส่วนเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ (Normality)
2. ส่วนเหลือมีความแปรปรวนคงที่ (Independence)
3. ส่วนเหลือมีการกระจายตัวอย่างอิสระ (Equal variances)

จากทุกการทดสอบ ANOVA พบว่าส่วนเหลือของระยะเวลาในการใช้งาน (MT) มีคุณสมบัติไม่ตรงตามข้อสมมติทั้งสาม จึงแปลงค่าข้อมูลทั้งหมดโดยใช้ลอการิทึมธรรมชาติ (Natural logarithm

transformation) ในการแปลงค่าให้กับข้อมูลระยะเวลาในการใช้งาน จากนั้นได้นำกลับไปตรวจสอบข้อสมมติอีกครั้งพบว่า ส่วนเหลือมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อสมมติทั้งสามข้อที่กล่าวมาข้างต้นในทุกๆ การทดสอบ ANOVA และสำหรับข้อมูลสมรรถนะในการใช้งาน (IP) มีคุณสมบัติของส่วนเหลือตรงตามข้อสมมติแล้วจึงไม่ต้องทำการแปลงข้อมูล ดังแสดงในภาคผนวก ค.

#### 4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับงานแต่ละตามแนวคิดของ Fitts' law

สำหรับงานแต่ละในงานวิจัยนี้ได้กำหนด 5 ค่าดัชนีของความยากคือ 1.77, 2.54, 3.41, 4.64 และ 5.93 โดยที่ผู้เข้าร่วมการทดลองจะต้องใช้ปากกาติจิตอลและไปกลับ 30 ครั้งในแต่ละระดับของความยาก (ID) สำหรับอุปกรณ์ทัชสกรีนและทัชแพดที่มุมการมองเห็น (Visual angle) ขนาดต่างๆ

##### 4.2.1 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของการใช้งานปากกาติจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดที่ขนาดจอแสดงผลต่างๆสำหรับงานแต่ละ

เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งสองชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ สำหรับงานแต่ละอาจจะมีผลทำให้ระยะเวลาในการใช้งานของผู้เข้าร่วมการทดลองแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของอุปกรณ์ทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้ร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดมุมการมองเห็นต่างๆ เพื่อหาอุปกรณ์ที่ช่วยทำให้มีระยะเวลาในการใช้งานเร็วที่สุดสำหรับงานแต่ละ โดยใช้ Full Factorial Design ในการวิเคราะห์

##### 4.2.1.1 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของการใช้งานปากกาติจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมการมองเห็นเท่ากันสำหรับงานแต่ละ

การวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 1 จำนวน 10 คน ของการทดลองในแต่ละอุปกรณ์ คือ ทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ โดยนำมุมการมองเห็น (Visual angle) มาประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดระยะห่างในการวางของแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งจะให้มีขนาดของหน้าจอแสดงผลเท่ากันหรือคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอ 1 : 1 : 1 โดยมีข้อมูลของระยะเวลาการใช้งานในเบื้องต้นแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยทั้ง 3 อุปกรณ์มีค่าเพิ่มขึ้นแปรไปตามระดับความยากของงานที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลระยะเวลาในการใช้งานเบื้องต้นของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็ก (TV32) และขนาดใหญ่ (TV32) สำหรับงานแตะ

อุปกรณ์	ดัชนีความยาก	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ทัชสกรีน	1.77	0.42	0.11
	2.54	0.50	0.09
	3.41	0.65	0.14
	4.64	0.88	0.33
	5.93	1.02	0.30
	ทั้งหมด	0.69	0.31
ทัชแพด (TV32)	1.77	0.74	0.31
	2.54	0.94	0.35
	3.41	1.25	0.36
	4.64	1.46	0.47
	5.93	2.17	0.63
	ทั้งหมด	1.31	0.66
ทัชแพด (TV65)	1.77	0.64	0.18
	2.54	0.82	0.17
	3.41	1.16	0.25
	4.64	1.31	0.28
	5.93	2.10	0.60
	ทั้งหมด	1.21	0.61

สำหรับปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์ในส่วนนี้ คือ ปัจจัยที่เกี่ยวกับชนิดของอุปกรณ์ (Type) ได้แก่ ทัชสกรีน, ทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอขนาดเล็ก (TV32) และทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอขนาดใหญ่ (TV65) กับปัจจัยที่เกี่ยวกับดัชนีของความยาก (ID) 5 ระดับ ได้แก่ 1.77, 2.54, 3.41, 4.64 และ 5.93 ซึ่งจะให้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแตะ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Intercept	4,791.355	1	4,791.36	40,300.52	<0.001
type	306.341	2	153.17	1,288.33	<0.001
ID	685.840	4	171.46	1,442.17	<0.001
type * ID	79.775	8	9.97	83.87	<0.001
Error	494.110	4,156	0.12		
Total	6,346.338	4,171			

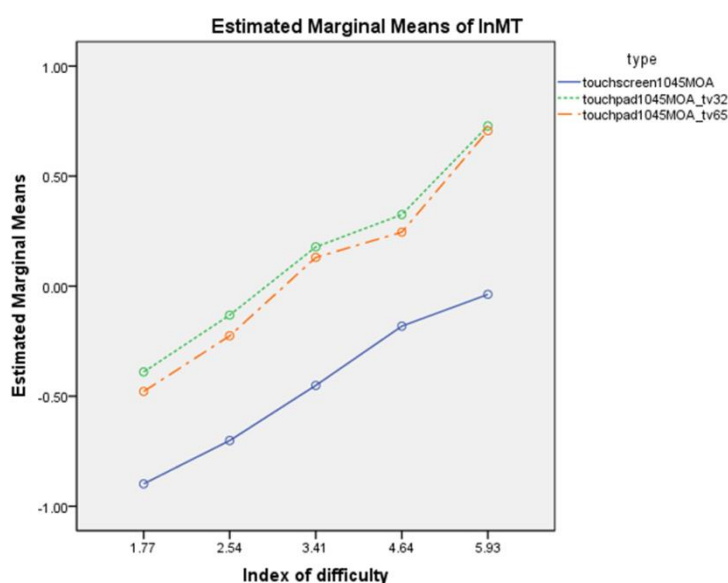
เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตารางที่ 4.3 พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของอุปกรณ์และดัชนีความยากของงานมีผลกระทบต่อระยะเวลาในการใช้งานอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.001$ ) เนื่องจากรูปที่ 4.21 เส้นกราฟของระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยมีลักษณะที่ไม่ขนานกัน จึงมีแนวโน้มที่จะมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทั้งสอง แสดงว่าปัจจัยในเรื่องชนิดของอุปกรณ์และดัชนีความยากของงานที่เพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาในการใช้งานเปลี่ยนแปลงไปด้วยสำหรับงานแตะ

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแตะ

อุปกรณ์	จำนวนข้อมูล	กลุ่ม		
		1	2	3
ทัชสกรีน	1,405	-0.46		
ทัชแพด (TV32)	1,398		0.14	
ทัชแพด (TV65)	1,368			0.08
Sig.		1.00	1.00	1.00

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแตะ พบว่าทั้งสามอุปกรณ์ที่มีขนาดหน้าจอแสดงผลเท่ากันหรือมุมการมองเห็นเท่ากันจะมีระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยแตกต่างกัน ซึ่งทัชสกรีนมีระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยต่ำที่สุด รองลงมาคือ ทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่และทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กตามลำดับ เนื่องจากทัชสกรีนเป็นอุปกรณ์

ที่สัมผัสทางตรง (Direct-touch interface device) กับจอแสดงผล ทำให้ผู้เข้าร่วมการทดลองสามารถควบคุมเคอร์เซอร์ได้ดีกว่าการใช้งานทัชแพดที่เป็นอุปกรณ์สัมผัสทางอ้อม (Indirect-touch interface device) ที่ต้องใช้จอแสดงผลอื่นร่วมด้วย ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ส่วนการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่มีระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยต่ำกว่าจอแสดงผลขนาดเล็ก เนื่องจากจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่ใช้ในการทดลองนี้มีความละเอียดของภาพมากกว่าจอแสดงผลขนาดเล็ก ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้



รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแต่ละ

#### 4.2.1.2 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานของการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นเล็กลงสำหรับงานแต่ละ

การวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 2 จำนวน 20 คนจากการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชแพด โดยนำมุมมองมองเห็นมาประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดระยะห่างในการวางอุปกรณ์ให้ไกลขึ้น คิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผล 1 : 1 : 0.82 : 0.52 : 0.32 เมื่อเทียบกับขนาดของหน้าจอดีทัชสกรีน และมีข้อมูลของระยะเวลาการทำงานในเบื้องต้นดังตารางที่ 4.5 พบว่าระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยของจอแสดงผลทั้ง 4 ขนาดมีค่าเพิ่มขึ้นแปรไปตามระดับความยากของงานที่เพิ่มมากขึ้น



ตารางที่ 4.5 ข้อมูลระยะเวลาในการใช้งานเบื้องต้นของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองมองเห็นเล็กสำหรับงานแตะ

ขนาดหน้าจอ แสดงผล	ดัชนีความยาก	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
1045 MOA (1 : 1)	1.77	0.62	0.21
	2.54	0.80	0.33
	3.41	0.99	0.40
	4.64	1.24	0.48
	5.93	1.83	0.77
	ทั้งหมด	1.09	0.63
845 MOA (1 : 0.82)	1.77	0.71	0.25
	2.54	0.88	0.29
	3.41	1.22	0.35
	4.64	1.34	0.26
	5.93	2.07	0.50
	ทั้งหมด	1.24	0.58
545 MOA (1 : 0.52)	1.77	0.72	0.29
	2.54	0.87	0.25
	3.41	1.32	0.43
	4.64	1.43	0.42
	5.93	2.11	0.64
	ทั้งหมด	1.29	0.65
245 MOA (1 : 0.32)	1.77	0.87	0.29
	2.54	1.07	0.30
	3.41	1.52	0.39
	4.64	1.84	0.73
	5.93	2.83	0.97
	ทั้งหมด	1.63	0.92

สำหรับปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์ในส่วนนี้ คือ ปัจจัยที่เกี่ยวกับขนาดของจอแสดงผล (Size) ได้แก่ 1 : 1 : 0.82 : 0.52 : 0.32 กับปัจจัยที่เกี่ยวกับดัชนีของความยาก (ID) 5 ระดับ ได้แก่ 1.77, 2.54, 3.41, 4.64 และ 5.93 ซึ่งจะให้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานแตะ

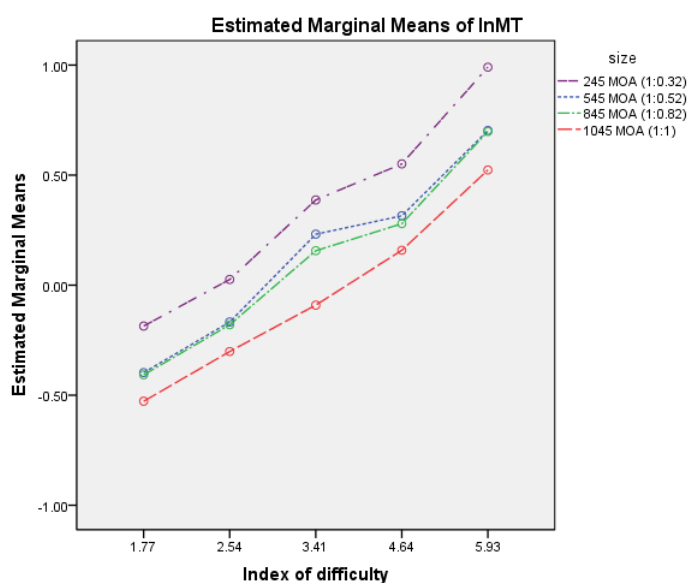
Source	SS	df	MS	F	Sig.
Intercept	210.31	1	210.31	2,130.66	<0.001
size	224.56	3	74.85	758.33	<0.001
ID	1,626.02	4	406.50	4,118.24	<0.001
size * ID	10.60	12	0.88	8.95	<0.001
Error	1,084.80	10,990	0.10		
Total	3,162.47	11,010			

เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตารางที่ 4.6 พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างขนาดของจอแสดงผลและดัชนีความยากของงานมีผลต่อระยะเวลาในการใช้งานอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.001$ ) เนื่องจากรูปที่ 4.22 เส้นกราฟของระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยมีลักษณะที่ไม่ขนานกัน จึงมีแนวโน้มที่จะมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทั้งสอง แสดงว่าปัจจัยในเรื่องมุมมองเห็นหรือขนาดหน้าจอแสดงผลที่เล็กกลางและดัชนีความยากของงานที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการใช้งานเปลี่ยนแปลงไปสำหรับงานแตะ

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานแตะ

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนข้อมูล	กลุ่ม			
		1	2	3	4
1045 MOA (1:1)	2,763	-0.50			
845 MOA (1:0.82)	2,750		0.11		
545 MOA (1:0.52)	2,760			0.14	
245 MOA (1:0.32)	2,737				0.36
Sig.		1.00	1.00	1.00	1.00

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานที่ซัพแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานแตะพบว่าที่ซัพแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็น 1045 MOA มีระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยต่ำที่สุด รองลงมาคือ 845, 545 และ 245 MOA ตามลำดับ เนื่องจากจอแสดงผลมีขนาดที่เล็กกลางซึ่งเล็กกว่าขนาดของที่ซัพแพด ทำให้ระยะทางในการเคลื่อนที่ของปากกานบนที่ซัพแพดกับระยะทางในการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์บนจอแสดงผลมีขนาดไม่เท่ากันซึ่งยากต่อการใช้งาน จะส่งผลให้เกิดปัญหาเคอร์เซอร์เคลื่อนที่เลยเป้าหมาย (Cursor overshoot) หรือเคอร์เซอร์เคลื่อนที่ไม่ถึงเป้าหมาย (Cursor undershoot) เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยของที่ซัพแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานแตะ

#### 4.2.1.3 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานของการใช้งานปากกาดิจิตอลบนที่ซัพแพดที่มีขนาดมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ

การวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 3 จำนวน 20 คนจากการใช้งานปากกาดิจิตอลบนที่ซัพแพด โดยนำมุมการมองเห็นมาประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดระยะห่างในการวางอุปกรณ์ให้ใกล้ขึ้น คิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผล 1 : 1 : 1.48 : 1.96 เมื่อเทียบกับขนาดของหน้าจอดีซัพแพดและมีข้อมูลของระยะเวลาการใช้งานในเบื้องต้นดังตารางที่ 4.8 พบว่าระยะเวลา

ในการใช้งานเฉลี่ยของจอแสดงผลทั้ง 3 ขนาดมีค่าเพิ่มขึ้นแปรไปตามระดับความยากของงานที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลระยะเวลาในการใช้งานเบื้องต้นของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแต่ละ

ขนาดหน้าจอแสดงผล	ดัชนีความยาก	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1045 MOA (1:1)	1.77	0.73	0.28
	2.54	0.91	0.27
	3.41	1.28	0.36
	4.64	1.29	0.26
	5.93	2.03	0.50
	ทั้งหมด	1.25	0.57
1545 MOA (1:1.48)	1.77	0.74	0.26
	2.54	0.95	0.33
	3.41	1.31	0.37
	4.64	1.36	0.36
	5.93	2.06	0.56
	ทั้งหมด	1.28	0.60
2045 MOA (1:1.96)	1.77	0.81	0.29
	2.54	0.99	0.25
	3.41	1.33	0.30
	4.64	1.40	0.36
	5.93	2.11	0.50
	ทั้งหมด	1.33	0.57

สำหรับปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์ในส่วนนี้ คือ ปัจจัยที่เกี่ยวกับขนาดของจอแสดงผล (Size) ได้แก่ 1 : 1 : 1.48 : 1.96 กับปัจจัยที่เกี่ยวกับดัชนีของความยาก (ID) 5 ระดับ ได้แก่ 1.77, 2.54, 3.41, 4.64 และ 5.93 ซึ่งจะให้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.9 ดังนี้

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการใช้งานทัชแพดสำหรับงานแกะ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Intercept	196.77	1	196.77	2,625.69	<0.001
size	7.28	2	3.64	48.60	<0.001
ID	1,028.81	4	257.20	3,432.01	<0.001
size * ID	1.26	8	0.16	2.10	0.03
Error	618.05	8,247	0.08		
Total	1,851.88	8,262			

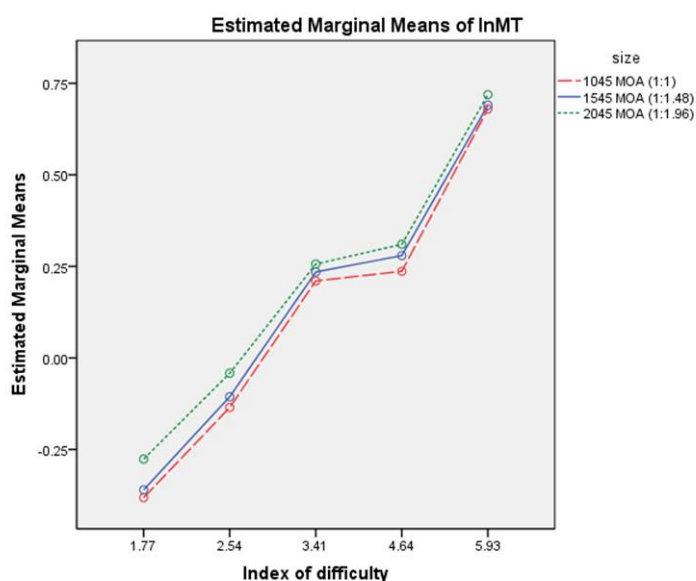
เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตารางที่ 4.9 พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างขนาดของจอแสดงผลและดัชนีความยากของงานมีผลต่อระยะเวลาในการใช้งานอย่างมีนัยสำคัญ ( $P = 0.03$ ) เนื่องจากรูปที่ 4.23 เส้นกราฟของระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยมีลักษณะที่ไม่ขนานกัน จึงมีแนวโน้มที่จะมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทั้งสอง แสดงว่าปัจจัยในเรื่องมุมมองมองเห็นหรือขนาดหน้าจอแสดงผลที่เล็กลงและดัชนีความยากของงานที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการใช้งานเปลี่ยนแปลงไปสำหรับงานแกะ

ตารางที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแกะ

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนข้อมูล	กลุ่ม		
		1	2	3
1045 MOA (1:1)	2,762	0.12		
1545 MOA (1:1.48)	2,724		0.15	
2045 MOA (1:1.96)	2,776			0.19
Sig.		1.00	1.00	1.00

จากตารางที่ 4.10 แสดงผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแกะพบว่าทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองมองเห็น 1045 MOA มีระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยต่ำที่สุด รองลงมาคือ 1545 และ 2045 MOA ตามลำดับ เนื่องจากจอแสดงผลมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นซึ่งใหญ่กว่าขนาด

ของทัชแพด ทำให้ระยะทางในการเคลื่อนที่ของปากกาบนทัชแพดกับระยะทางในการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์บนจอแสดงผลมีขนาดไม่เท่ากันซึ่งยากต่อการใช้งาน จะส่งผลให้เกิดปัญหาเคอร์เซอร์เคลื่อนที่เลยเป้าหมาย (Cursor overshoot) หรือเคอร์เซอร์เคลื่อนที่ไม่ถึงเป้าหมาย (Cursor undershoot) เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ

#### 4.2.2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear regression) ของเวลาในการใช้งานและค่าดัชนีความยากของงานกับอุปกรณ์ทัชสกรีนและทัชแพดที่มีมุมการมองเห็นต่างๆสำหรับงานแตะ

จากภาคผนวก ข.1-ข.3 แสดงสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น ค่า  $R^2$  และค่าสมรรถนะในการใช้งาน (IP) สำหรับการใช้งานปากกาติจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นขนาดต่างๆสำหรับงานแตะของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคน เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ต่อไป

#### 4.2.3 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของอุปกรณ์ทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมการมองเห็นต่างๆสำหรับงานแตะ

เนื่องจากสมรรถนะในการทำงานของแต่ละผู้เข้าร่วมการทดลองสามารถหาได้จากส่วนกลับของความชันของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ซึ่งก่อนที่จะทำการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการ

ทำงานของแต่ละอุปกรณ์นั้น ได้ทำการเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า  $R^2$  ที่ได้จากความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์ก่อนโดยใช้ตัวสถิติ One-Way ANOVA และ Duncan ในการวิเคราะห์สำหรับผลทดสอบ ANOVA พบว่าในแต่ละอุปกรณ์มีค่าจุดตัดและค่า  $R^2$  มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงแสดงผลการทดสอบของ Duncan เท่านั้นโดยจุดตัดของสมการเส้นตรงของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนคือ ระยะเวลาที่ผู้เข้าร่วมการทดลองใช้ในการคลิกเป้าหมายสำหรับงานแต่ละชิ้น จากรูปที่ 4.1-4.10 แสดงสมการเส้นตรงของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนและสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีมุมการมองเห็นขนาดต่างๆ จะพบว่าข้อมูลระยะเวลาในการใช้งานของผู้เข้าร่วมการทดลองในแต่ละคนกระจายตัวอยู่ใกล้เคียงกันในทุกระดับความยากของงาน (ID) และจุดตัดของสมการเส้นตรงเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันในทุกอุปกรณ์ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานของแต่ละอุปกรณ์ได้เป็นอย่างดี

#### 4.2.3.1 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานปากกา ดิจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดที่มีมุมการมองเห็นเท่ากันสำหรับงานแต่ละ

ในการวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 1 จำนวน 10 คนของการทดลองในแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งจากตารางที่ 4.11 พบว่าค่าเฉลี่ยของจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P = 0.22$ ) และจากตารางที่ 4.12 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่า  $R^2$  จากสมการเชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P = 0.41$ )

ตารางที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแต่ละ

อุปกรณ์	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
ทัชสกรีน	10	0.19
ทัชแพด (TV32)	10	0.30
ทัชแพด (TV65)	10	0.16
Sig.		0.22

ตารางที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  จากสมการเชิงเส้นตรงของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแกะ

อุปกรณ์	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
ทัชสกรีน	10	86.28
ทัชแพด (TV32)	10	84.07
ทัชแพด (TV65)	10	84
Sig.		0.41

#### 4.2.3.2 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานปากกา ดิจิตอลบนทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นเล็กลงสำหรับงานแกะ

ในการวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 2 จำนวนทั้งหมด 20 คน ซึ่งจากตารางที่ 4.13 พบว่าค่าเฉลี่ยของจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P = 0.10$ ) และจากตารางที่ 4.14 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่า  $R^2$  จากสมการเชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P = 0.75$ )

ตารางที่ 4.13 ผลการเปรียบเทียบจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีมุมมองเห็นเล็กลงสำหรับงานแกะ

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
1045 MOA (1:1)	20	0.34
845 MOA (1:0.82)	20	0.28
545 MOA (1:0.52)	20	0.18
245 MOA (1:0.32)	20	0.40
Sig.		0.10



ตารางที่ 4.14 ผลการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานแตะ

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
1045 MOA (1:1)	20	83.87
845 MOA (1:0.82)	20	84.06
545 MOA (1:0.52)	20	84.22
245 MOA (1:0.32)	20	84.64
Sig.		0.75

#### 4.2.3.3 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานปากกา ดิจิตอลบนทัชแพดที่มีขนาดมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ

ในการวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 3 จำนวนทั้งหมด 20 คน ซึ่งจากตารางที่ 4.15 พบว่าค่าเฉลี่ยของจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P = 0.64$ ) และจากตารางที่ 4.16 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่า  $R^2$  จากสมการเชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P = 0.77$ )

ตารางที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
1045 MOA (1:1)	20	0.29
1545 MOA (1:1.48)	20	0.31
2045 MOA (1:1.96)	20	0.34
Sig.		0.64

ตารางที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีมุมการมองเห็นเล็กถึงใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
1045 MOA (1:1)	20	82.29
1545 MOA (1:1.48)	20	81.99
2045 MOA (1:1.96)	20	82.64
Sig.		0.77

#### 4.2.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมการมองเห็นต่างๆสำหรับงานแตะ

เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งสองชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ อาจจะมีผลทำให้สมรรถนะในการใช้งานของผู้เข้าร่วมการทดลองแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานของอุปกรณ์ทัชสกรีนและทัชแพดที่มีมุมการมองเห็นขนาดต่างๆ เพื่อหาอุปกรณ์ที่ทำให้มีสมรรถนะในการใช้งานสูงที่สุดสำหรับงานแตะ โดยใช้ตัวสถิติ One-Way ANOVA และ Duncan ในการวิเคราะห์

##### 4.2.4.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมการมองเห็นเท่ากันสำหรับงานแตะ

การวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 1 จำนวน 10 คน ของการทดลองในแต่ละอุปกรณ์ คือ ทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตารางที่ 4.17 แสดงผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแตะพบว่า มีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของอุปกรณ์อย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.001$ )

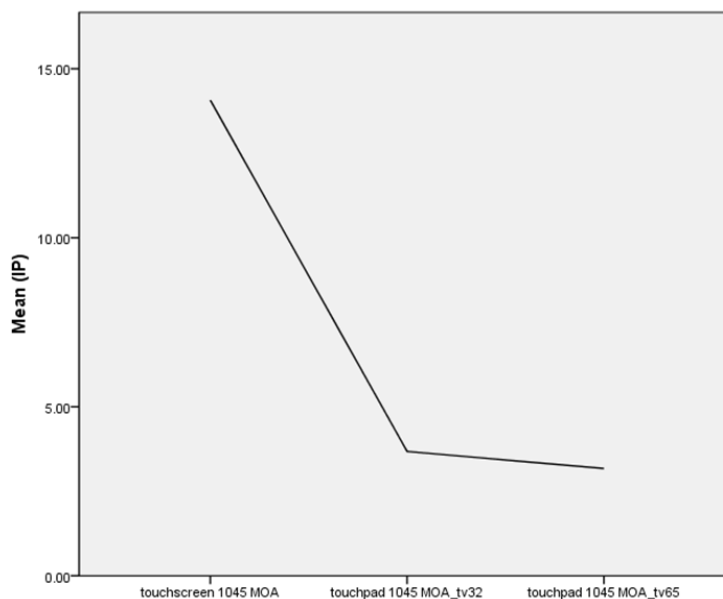
ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแกะ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Between Groups	5.69	2	2.85	8.14	<0.001
Within Groups	9.44	27	0.35		
Total	15.13	29			

ตารางที่ 4.18 ผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการใช้งานเฉลี่ยของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแกะ

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนคน	กลุ่ม	
		1	2
ทัชสกรีน	10	14.07	
ทัชแพด (TV32)	10		3.68
ทัชแพด (TV65)	10		3.17
Sig.		1.00	0.76

จากรูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแกะ พบว่าทัชสกรีนให้ค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยสูงสุด ส่วนการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ให้ค่าสมรรถนะในการใช้งานใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4.18 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทั้งสามอุปกรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าการใช้งานทัชสกรีนมีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยสูงสุด ( $P = 1.00$ ) และการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและจอแสดงผลขนาดใหญ่มีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P = 0.76$ ) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ แสดงว่าทัชสกรีนสามารถรับมือกับระดับความยากของงานที่เพิ่มขึ้นได้ดีกว่าทัชแพดและการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กสามารถรับมือกับระดับความยากของงานที่เพิ่มขึ้นได้พอๆกับการเลือกใช้อุปกรณ์จอแสดงผลขนาดใหญ่เมื่อกำหนดให้มุมมองมองเห็นมีขนาดเท่ากัน



รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานแตะ

#### 4.2.4.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานของการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นเล็กสำหรับงานแตะ

การวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 2 จำนวน 20 คน ของการทดลองทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็ก เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตารางที่ 4.19 แสดงผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กสำหรับงานแตะพบว่า มีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.001$ )

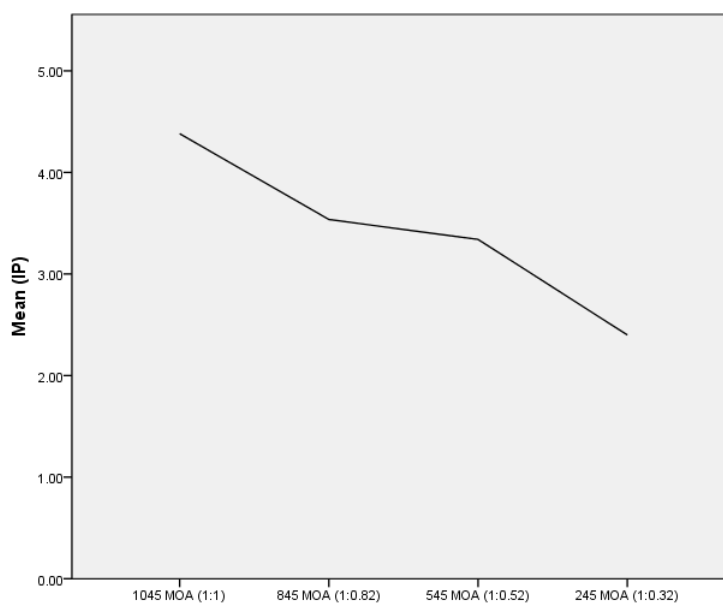
ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กสำหรับงานแตะ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Between Groups	39.71	3	13.24	6.86	<0.001
Within Groups	146.56	76	1.93		
Total	186.26	79			

ตารางที่ 4.20 ผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการใช้งานเฉลี่ยของของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานแตะ

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนคน	กลุ่ม		
		1	2	3
1045 MOA (1:1)	20	4.38		
845 MOA (1:0.82)	20		3.54	
545 MOA (1:0.52)	20		3.34	
245 MOA (1:0.32)	20			2.40
Sig.		0.06	0.66	1.00

จากรูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานแตะพบว่า มีสมรรถนะในการใช้งานลดลงตามมุมการมองเห็นที่เล็กลง นั่นคือจอแสดงผลมีขนาดเล็กกลางทำให้ความสามารถในการรับมือกับความยากของงานลดลงด้วย แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4.20 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานแตะที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็น 1045 MOA มีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยที่สูงที่สุด ( $P = 0.06$ ) รองลงมาคือ มุมการมองเห็น 845 MOA และ 545 MOA มีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ( $P = 0.66$ ) เนื่องจากทั้งสองมุมการมองเห็นนี้มีระยะห่างในการมองจอแสดงผลต่างกันเพียง 88 เซนติเมตรและมุมการมองเห็น 245 MOA มีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยต่ำที่สุด ( $P = 1.00$ )



รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานแตะ

#### 4.2.4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานของการใช้งานปากกาดีจิตอลบนทัชแพดที่มีขนาดมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ

การวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 3 จำนวน 20 คน ของการทดลองของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้น เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตารางที่ 4.21 แสดงผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะพบว่า มีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P = 0.73$ )

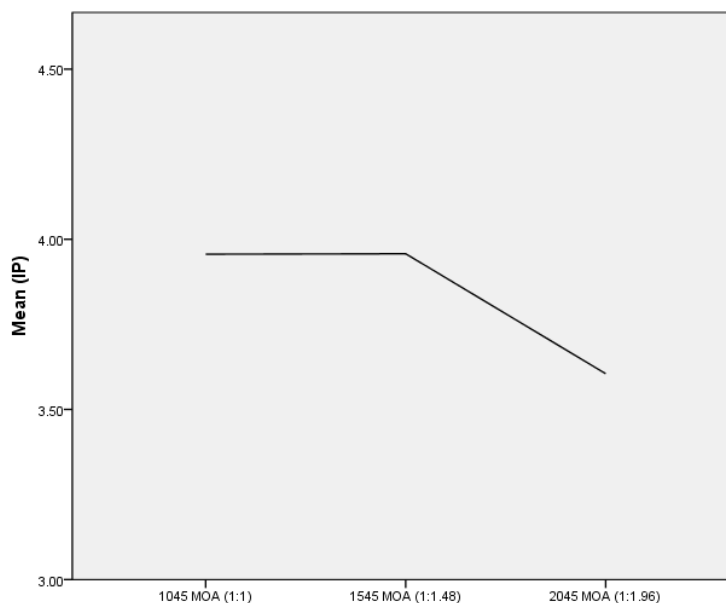
ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Between Groups	1.65	2	0.83	0.31	0.73
Within Groups	149.80	57	2.63		
Total	151.45	59			

ตารางที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะเฉลี่ยของของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
1045 MOA (1:1)	20	3.96
1545 MOA (1:1.48)	20	3.96
2045 MOA (1:1.96)	20	3.60
Sig.		0.52

จากรูป 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะพบว่า มีสมรรถนะในการใช้งานใกล้เคียงกันแต่ที่มุมการมองเห็น 2045 MOA มีสมรรถนะในการใช้งานต่ำกว่ามุมการมองเห็นอื่นๆเล็กน้อยและมีแนวโน้มที่ค่าสมรรถนะในการใช้งานจะลดลงอีกเมื่อมุมการมองเห็นมีขนาดใหญ่กว่าที่กำหนดไว้ เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4.22 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามุมการมองเห็นทั้งสามมีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ( $P = 0.52$ ) นั่นคือการเลือกใช้จอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ความสามารถในการรับมือกับความยากของงานใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัศนมาตรที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานแต่ละ

#### 4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับงานลากตามแนวคิดของ Steering law

สำหรับงานลากในงานวิจัยนี้ได้กำหนด 5 ค่าดัชนีของความยากคือ 6.98, 13.97, 20.95, 25.14 และ 31.43 โดยที่ผู้เข้าร่วมการทดลองจะต้องใช้ปากกาติจิตอลลากเป็นวงกลมจำนวน 15 ครั้งในแต่ละระดับของความยาก (ID) สำหรับอุปกรณ์ทัชสกรีนและทัศนมาตรที่มีมุมการมองเห็น (Visual angle) ขนาดต่างๆ

##### 4.3.1 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของการใช้งานปากกาติจิตอลบนทัชสกรีนและทัศนมาตรที่มีขนาดมุมการมองเห็นต่างๆสำหรับงานลาก

เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งสองชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ สำหรับงานลากอาจจะมีผลทำให้ระยะเวลาในการใช้งานของผู้เข้าร่วมการทดลองแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของอุปกรณ์ทัชสกรีนและทัศนมาตรที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดมุมการมองเห็นต่างๆ เพื่อหาอุปกรณ์ที่ทำให้มีระยะเวลาในการใช้งานเร็วที่สุดสำหรับงานลาก โดยใช้ Full Factorial Design ในการวิเคราะห์



#### 4.3.1.1 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานของการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมการมองเห็นเท่ากันสำหรับงานลาก

การวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 1 จำนวน 10 คน ของการทดลองในแต่ละอุปกรณ์ คือ ทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ โดยนำมามุมการมองเห็น (Visual angle) มาประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดระยะห่างในการวางของแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งจะทำให้มีขนาดของหน้าจอดีแสดงผลเท่ากันหรือคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดี 1 : 1 : 1 โดยมีข้อมูลของระยะเวลาการใช้งานในเบื้องต้นดังตารางที่ 4.23 พบว่าระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยทั้ง 3 อุปกรณ์มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นแปรไปตามระดับความยากของงานที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.23 ข้อมูลระยะเวลาในการทำงานเบื้องต้นของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก

อุปกรณ์	ดัชนีความยาก	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ทัชสกรีน	6.98	1.45	1.79
	13.97	1.78	0.47
	20.95	2.45	0.48
	25.14	2.74	0.57
	31.43	3.19	0.78
	ทั้งหมด	2.31	1.15
ทัชแพด (TV32)	6.98	2.39	1.16
	13.97	4.26	2.21
	20.95	6.32	3.26
	25.14	7.71	4.16
	31.43	9.25	4.62
	ทั้งหมด	5.99	4.13
ทัชแพด (TV65)	6.98	1.63	0.37
	13.97	2.62	1.00
	20.95	2.81	1.00
	25.14	4.55	1.20
	31.43	5.50	1.52
	ทั้งหมด	3.64	1.74

สำหรับปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์ในส่วนนี้ คือ ปัจจัยที่เกี่ยวกับชนิดของอุปกรณ์ (Type) ได้แก่ ทัชस्कริน, ทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอขนาดเล็ก (TV32) และทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอขนาดใหญ่ (TV65) กับปัจจัยที่เกี่ยวกับดัชนีของความยาก (ID) 5 ระดับ ได้แก่ 6.98, 13.97, 20.95, 25.14 และ 31.43 ซึ่งจะให้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.24 ดังนี้

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการใช้งานทัชस्कรินและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก

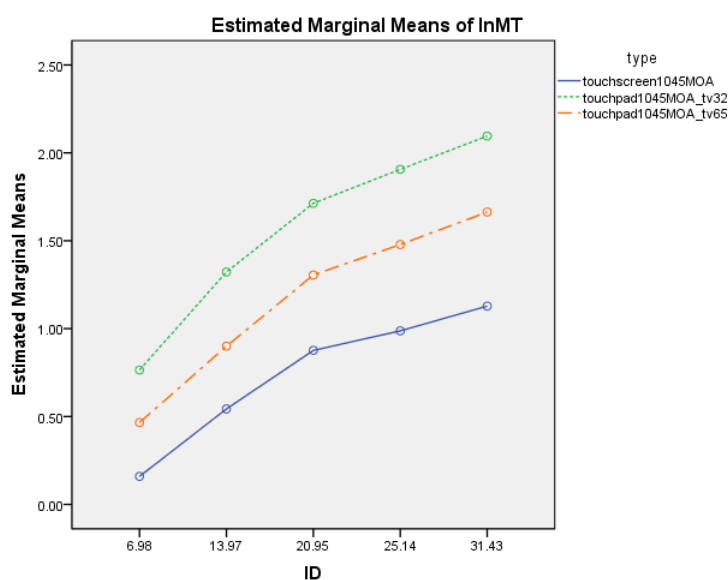
Source	SS	df	MS	F	Sig.
Intercept	2,810.40	1	2,810.40	19,905.02	<0.001
type	236.45	2	118.23	837.35	<0.001
ID	365.84	4	91.46	647.77	<0.001
type * ID	6.04	8	0.76	5.34	<0.001
Error	296.22	2,098	0.14		
Total	3,715.14	2,113			

เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตารางที่ 4.24 พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของอุปกรณ์และดัชนีความยากของงานมีผลต่อระยะเวลาในการเคลื่อนที่อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.001$ ) เนื่องจากรูปที่ 4.27 เส้นกราฟของระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยมีลักษณะที่ไม่ขนานกัน จึงมีแนวโน้มที่จะมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทั้งสอง แสดงว่าปัจจัยในเรื่องชนิดของอุปกรณ์และดัชนีความยากของงานที่เพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาในการใช้งานเปลี่ยนแปลงไปด้วยสำหรับงานลาก

ตารางที่ 4.25 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานทัชस्कรินและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนข้อมูล	กลุ่ม		
		1	2	3
ทัชस्कริน	706	0.73		
ทัชแพด (TV32)	711		1.56	
ทัชแพด (TV65)	696			1.17
Sig.		1.00	1.00	1.00

จากตารางที่ 4.25 แสดงผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก พบว่าทั้งสามอุปกรณ์ที่มีขนาดหน้าจอดีแสดงผลเท่ากันหรือมุมการมองเห็นเท่ากันจะมีระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยแตกต่างกัน ซึ่งทัชสกรีนมีระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยต่ำที่สุด รองลงมาคือ ทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ตามลำดับ เนื่องจากทัชสกรีนเป็นอุปกรณ์ที่สัมผัสทางตรง (Direct-touch interface device) กับจอแสดงผล ทำให้ผู้เข้าร่วมการทดลองสามารถควบคุมเคอร์เซอร์ได้ดีกว่าการใช้งานทัชแพดที่เป็นอุปกรณ์สัมผัสทางอ้อม (Indirect-touch interface device) ที่ต้องใช้จอแสดงผลอื่นร่วมด้วย ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ส่วนการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่มีระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยต่ำกว่าจอแสดงผลขนาดเล็ก เนื่องจากจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่ใช้ในการทดลองนี้มีความละเอียดของภาพมากกว่าจอแสดงผลขนาดเล็ก ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้



รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก

#### 4.3.1.2 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานของการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชแพดที่มีขนาดมุมการมองเห็นเล็กสำหรับงานลาก

การวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 2 จำนวน 20 คน จากการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชแพด โดยนำมุมการมองเห็นมาประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดระยะห่างในการวางอุปกรณ์ให้ไกลขึ้น คิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผล 1 : 1 : 0.82 : 0.52 : 0.32 เมื่อเทียบกับขนาดของหน้าจอดีทัชสกรีนและมีข้อมูลของระยะเวลาในการทำงานเบื้องต้นดังตารางที่ 4.26

พบว่าระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยของจอแสดงผลทั้ง 4 ขนาดมีค่าเพิ่มขึ้นแปรไปตามระดับความยากของงานที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.26 ข้อมูลระยะเวลาในการใช้งานเบื้องต้นของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กสำหรับงานลาก

ขนาดหน้าจอแสดงผล	ดัชนีความยาก	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1045 MOA (1 : 1)	6.98	2.87	1.28
	13.97	4.58	2.21
	20.95	6.30	2.86
	25.14	7.26	3.46
	31.43	8.80	3.88
	ทั้งหมด	5.96	3.55
845 MOA (1 : 0.82)	6.98	2.59	0.98
	13.97	4.40	1.51
	20.95	6.12	2.19
	25.14	7.06	2.85
	31.43	8.67	3.59
	ทั้งหมด	5.77	3.19
545 MOA (1 : 0.52)	6.98	2.82	1.06
	13.97	4.74	1.80
	20.95	6.25	2.07
	25.14	7.26	2.66
	31.43	9.03	3.60
	ทั้งหมด	6.03	3.20
245 MOA (1 : 0.32)	6.98	3.40	1.15
	13.97	5.02	1.56
	20.95	6.79	2.25
	25.14	8.00	2.50
	31.43	9.65	3.06
	ทั้งหมด	6.57	3.11

สำหรับปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์ในส่วนนี้ คือ ปัจจัยที่เกี่ยวกับขนาดของจอแสดงผลได้แก่ 1 : 1 : 0.82 : 0.52 : 0.32 กับปัจจัยที่เกี่ยวกับดัชนีของความยาก (ID) 5 ระดับ ได้แก่ 6.98, 13.97, 20.95, 25.14 และ 31.43 ซึ่งจะให้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.27 ดังนี้

ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการทำงานที่ซัพพอร์ตร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานลาก

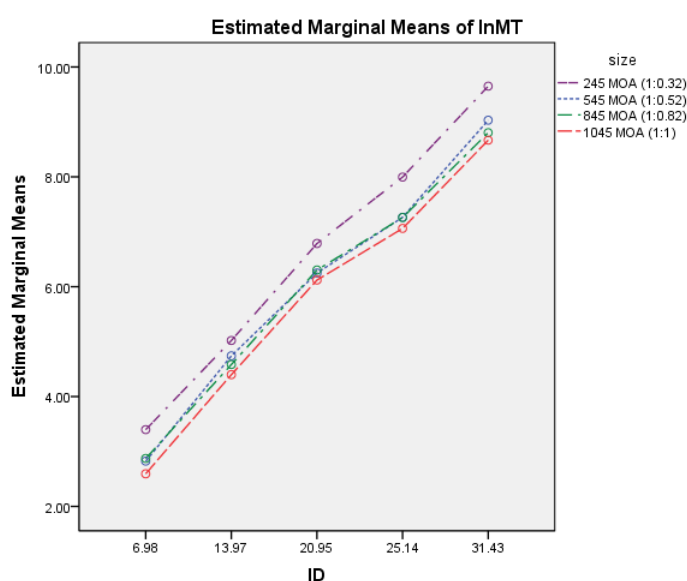
Source	SS	df	MS	F	Sig.
Intercept	208,691.52	1	208,691.52	33,731.95	<0.001
size	500.66	3	166.89	26.98	<0.001
ID	25,301.71	4	6,325.43	1,022.41	<0.001
size * ID	31.78	12	2.65	0.43	0.95
Error	34,806.72	5,626	6.19		
Total	269,361.55	5,646			

เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตารางที่ 4.27 พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างขนาดของจอแสดงผลและดัชนีความยากของงานมีผลต่อระยะเวลาในการทำงานอย่างมีนัยสำคัญ ( $P = 0.95$ ) เนื่องจากรูปที่ 4.28 เส้นกราฟของระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยมีลักษณะที่ไม่ขนานกัน จึงมีแนวโน้มที่จะมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทั้งสอง แสดงว่าปัจจัยในเรื่องมุมมองเห็นหรือขนาดหน้าจอแสดงผลที่เล็กกลางและดัชนีความยากของงานที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการทำงานเปลี่ยนแปลงไปสำหรับงานลาก

ตารางที่ 4.28 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานที่ซัพพอร์ตร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานลาก

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนข้อมูล	กลุ่ม		
		1	2	3
1045 MOA (1:1)	1,441	5.77		
845 MOA (1:0.82)	1,393		5.96	
545 MOA (1:0.52)	1,410		6.03	
245 MOA (1:0.32)	1,402			6.57
Sig.		1.00	0.44	1.00

จากตารางที่ 4.28 แสดงผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานลากพว่าทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็น 1045 MOA มีระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยต่ำที่สุด รองลงมาคือมุมการมองเห็น 845 MOA และ 545 MOA ซึ่งทั้งสองมุมการมองเห็นนี้มีระยะห่างในการมองจอแสดงผลต่างกันเพียง 88 เซนติเมตรทำให้มีระยะเวลาในการใช้งานใกล้เคียงกันโดยประมาณ ส่วนระยะเวลาในการใช้งานที่ต่ำที่สุดคือมุมการมองเห็น 245 MOA ตามลำดับ เนื่องจากจอแสดงผลมีขนาดที่เล็กกลางซึ่งเล็กกว่าขนาดของทัชแพด ทำให้ระยะห่างในการเคลื่อนที่ของปากกาบนทัชแพดกับระยะห่างในการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์บนจอแสดงผลมีขนาดไม่เท่ากันซึ่งยากต่อการใช้งาน จะส่งผลให้เกิดปัญหาเคอร์เซอร์เคลื่อนที่เลยเป้าหมาย (Cursor overshoot) หรือเคอร์เซอร์เคลื่อนที่ไม่ถึงเป้าหมาย (Cursor undershoot) เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานลาก

#### 4.3.1.3 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของการใช้งานปากกาจิจิตอลบนทัชแพดที่มีขนาดมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

การวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 3 จำนวน 20 คน จากการใช้งานปากกาจิจิตอลบนทัชแพด โดยนำมุมการมองเห็นมาประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดระยะห่างในการวางอุปกรณ์ให้ใกล้ขึ้น คิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผล 1 : 1 : 1.48 : 1.96 เมื่อเทียบกับ

ขนาดของหน้าจอทัชสกรีนและมีข้อมูลของระยะเวลาการใช้งานเบื้องต้นดังตารางที่ 4.29 พบว่าระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยของจอแสดงผลทั้ง 3 ขนาดมีค่าเพิ่มขึ้นแปรไปตามระดับความยากของงานที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.29 ข้อมูลระยะเวลาในการใช้งานเบื้องต้นของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

ขนาดหน้าจอแสดงผล	ดัชนีความยาก	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1045 MOA (1:1)	6.98	1.83	0.63
	13.97	3.04	1.18
	20.95	4.25	1.34
	25.14	4.91	1.52
	31.43	5.79	1.64
	ทั้งหมด	3.97	1.91
1545 MOA (1:1.48)	6.98	1.89	0.56
	13.97	2.95	0.89
	20.95	4.20	1.34
	25.14	4.89	1.41
	31.43	5.73	1.70
	ทั้งหมด	3.94	1.85
2045 MOA (1:1.96)	6.98	2.55	1.34
	13.97	3.72	1.54
	20.95	5.40	2.52
	25.14	6.19	2.36
	31.43	7.75	2.99
	ทั้งหมด	5.12	2.88

สำหรับปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์ในส่วนนี้ คือ ปัจจัยที่เกี่ยวกับขนาดของจอแสดงผลได้แก่ 1 : 1 : 1.48 : 1.96 กับปัจจัยที่เกี่ยวกับดัชนีของความยาก (ID) 5 ระดับ ได้แก่ 6.98, 13.97, 20.95, 25.14 และ 31.43 ซึ่งจะให้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.30 ดังนี้

ตารางที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการใช้งานสำหรับงานลาก

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Intercept	80,588.46	1	80,588.46	29,209.55	<0.001
size	1,303.73	2	651.86	236.27	<0.001
ID	9,911.22	4	2,477.80	898.09	<0.001
size * ID	210.94	8	26.37	9.56	<0.001
Error	11,769.80	4,266	2.76		
Total	103,830.17	4,281			

เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตารางที่ 4.30 พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างขนาดของจอแสดงผลและดัชนีความยากของงานมีผลต่อระยะเวลาในการใช้งานอย่างมีนัยสำคัญ ( $P = <0.001$ ) เนื่องจากรูปที่ 4.29 เส้นกราฟของระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยมีลักษณะที่ไม่ขนานกัน จึงมีแนวโน้มที่จะมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทั้งสอง แสดงว่าปัจจัยในเรื่องมุมมองเห็นหรือขนาดหน้าจอแสดงผลที่เล็กลงและดัชนีความยากของงานที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการใช้งานเปลี่ยนแปลงไปสำหรับงานลาก

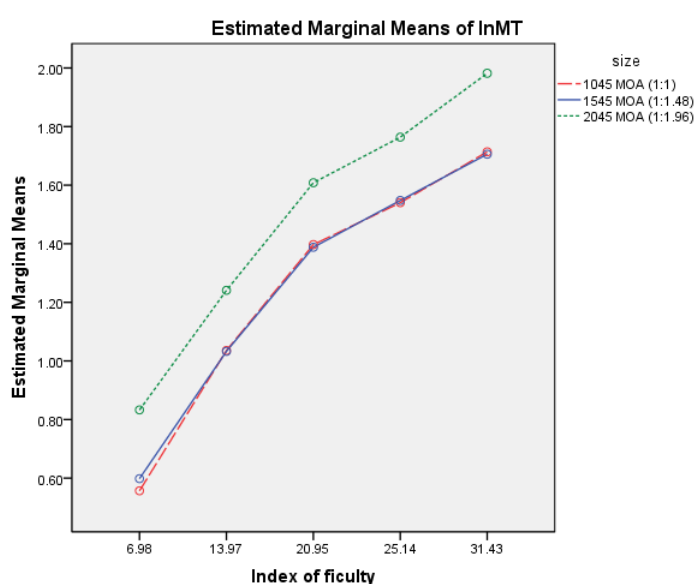
ตารางที่ 4.31 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานที่ซัพพอร์ตร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนข้อมูล	กลุ่ม	
		1	2
1045 MOA (1:1)	1,427	3.97	
1545 MOA (1:1.48)	1,430	3.94	
2045 MOA (1:1.96)	1,424		5.12
Sig.		0.60	1.00

จากตารางที่ 4.31 แสดงผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานที่ซัพพอร์ตร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลากพบว่าซัพพอร์ตที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองมองเห็น 1045 MOA มีระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยใกล้เคียงกับมุมมองมองเห็น 1545 MOA ซึ่งทั้งสองมุมมองมองเห็นนี้มีระยะห่างในการมองจอแสดงผลต่างกันเพียง 85 เซนติเมตรทำให้มีระยะเวลาในการใช้งานใกล้เคียงกันโดยประมาณและที่มุมมองมองเห็น 2045



MOA มีระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยแล้วสูงที่สุด เนื่องจากจอแสดงผลมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของทัชแพดถึงสองเท่าจะทำให้ระยะทางในการเคลื่อนที่ของปากกานทัชแพดกับระยะทางในการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์บนจอแสดงผลมีขนาดไม่เท่ากันซึ่งยากต่อการใช้งาน จะส่งผลให้เกิดปัญหาเคอร์เซอร์เคลื่อนที่เลยเป้าหมาย (Cursor overshoot) หรือเคอร์เซอร์เคลื่อนที่ไม่ถึงเป้าหมาย (Cursor undershoot) เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

#### 4.3.2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear regression) ของเวลาในการทำงานและค่าดัชนีความยากของงานกับอุปกรณ์ทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมการมองเห็นต่างๆสำหรับงานลาก

จากภาคผนวก ข.4-ข.6 แสดงสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น ค่า  $R^2$  และค่าสมรรถนะในการทำงาน (IP) สำหรับการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นขนาดต่างๆสำหรับงานลากของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคน เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ต่อไป

#### 4.3.3 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของอุปกรณ์ทัชสกรีน และทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นต่างๆสำหรับงานลาก

เนื่องจากสมรรถนะในการทำงานของแต่ละผู้เข้าร่วมการทดลองสามารถหาได้จากส่วนกลับของความชันของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ซึ่งก่อนที่จะทำการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการทำงานของแต่ละอุปกรณ์นั้น ได้ทำการเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า  $R^2$  ที่ได้จากความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์ก่อนโดยใช้ตัวสถิติ One-Way ANOVA และ Duncan ในการวิเคราะห์สำหรับผลทดสอบ ANOVA พบว่าในแต่ละอุปกรณ์มีค่าจุดตัดและค่า  $R^2$  มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงทำการแสดงผลการทดสอบของ Duncan เท่านั้นโดยจุดตัดของสมการเส้นตรงของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนคือ ระยะเวลาที่ผู้เข้าร่วมการทดลองใช้ในการดับเบิลคลิกบอลก่อนจะลากเส้นรอบวงซึ่งจากรูปที่ 4.11-4.20 แสดงสมการเส้นตรงของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนและสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีมุมมองเห็นขนาดต่างๆ จะพบว่าข้อมูลระยะเวลาในการใช้งานของผู้เข้าร่วมการทดลองในแต่ละคนกระจายตัวอยู่ใกล้เคียงกันในทุกๆระดับความยากของงาน (ID) และจุดตัดของสมการเส้นตรงเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันในทุกอุปกรณ์ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานของแต่ละอุปกรณ์ได้เป็นอย่างดี

##### 4.3.3.1 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานปากกา ดิจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นเท่ากันสำหรับงานลาก

ในการวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 1 จำนวน 10 คนของการทดลองในแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งจากตารางที่ 4.32 พบว่าค่าเฉลี่ยของจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P = 0.44$ ) และจากตารางที่ 4.33 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่า  $R^2$  จากสมการเชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P = 0.20$ )

ตารางที่ 4.32 ผลการเปรียบเทียบจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก

อุปกรณ์	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
ทัชสกรีน	10	0.89
ทัชแพด (TV32)	10	0.89
ทัชแพด (TV65)	10	0.63
Sig.		0.44

ตารางที่ 4.33 ผลการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  จากสมการเชิงเส้นตรงของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก

อุปกรณ์	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
ทัชสกรีน	10	93.96
ทัชแพด (TV32)	10	92.68
ทัชแพด (TV65)	10	90.84
Sig.		0.20

#### 4.3.3.2 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานปากกา ดิจิตอลบนทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นเล็กสำหรับงานลาก

ในการวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 2 จำนวน 20 คน ซึ่งจากตารางที่ 4.34 พบว่าค่าเฉลี่ยของจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P = 0.19$ ) และจากตารางที่ 4.35 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่า  $R^2$  จากสมการเชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P = 0.06$ )

ตารางที่ 4.34 ผลการเปรียบเทียบจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานลาก

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
1045 MOA (1:1)	20	1.19
845 MOA (1:0.82)	20	0.86
545 MOA (1:0.52)	20	1.18
245 MOA (1:0.32)	20	1.49
Sig.		0.19

ตารางที่ 4. 35 ผลการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานลาก

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
1045 MOA (1:1)	20	92.05
845 MOA (1:0.82)	20	91.96
545 MOA (1:0.52)	20	94.14
245 MOA (1:0.32)	20	94.98
Sig.		0.06

#### 4.3.3.3 การเปรียบเทียบค่าจุดตัดและค่า $R^2$ ที่ได้จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานปากกา ดิจิตอลบนทัชแพดที่มีขนาดมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

ในการวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 3 จำนวน 20 คน ซึ่งจากตารางที่ 4.36 พบว่าค่าเฉลี่ยของจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P = 0.54$ ) และจากตารางที่ 4.37 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่า  $R^2$  จากสมการเชิงเส้นตรงในแต่ละอุปกรณ์มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P = 0.31$ )

ตารางที่ 4.36 ผลการเปรียบเทียบจุดตัดจากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
1045 MOA (1:1)	20	0.71
1545 MOA (1:1.48)	20	0.76
2045 MOA (1:1.96)	20	0.90
Sig.		0.54

ตารางที่ 4.37 ผลการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  จากสมการเชิงเส้นตรงของการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
1045 MOA (1:1)	20	90.32
1545 MOA (1:1.48)	20	92.93
2045 MOA (1:1.96)	20	88.44
Sig.		0.31

#### 4.3.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของการใช้งานปากกาดีจิจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมการมองเห็นต่างๆสำหรับงานลาก

เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งสองชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ อาจจะมีผลทำให้สมรรถนะในการทำงานของผู้เข้าร่วมการทดลองแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการทำงานของอุปกรณ์ทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้ร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นขนาดต่างๆ เพื่อหาอุปกรณ์ที่ทำให้มีสมรรถนะในการใช้งานสูงที่สุดสำหรับงานลาก โดยใช้ตัวสถิติ One-Way ANOVA และ Duncan ในการวิเคราะห์

#### 4.3.4.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของการใช้งานปากกาดีจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดที่มีขนาดมุมมองเห็นเท่ากันสำหรับงานลาก

การวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 1 จำนวน 10 คน ของการทดลองในแต่ละอุปกรณ์ คือ ทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตารางที่ 4.38 แสดงผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลากพบว่า มีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของอุปกรณ์อย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.001$ )

ตารางที่ 4.38 ผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก

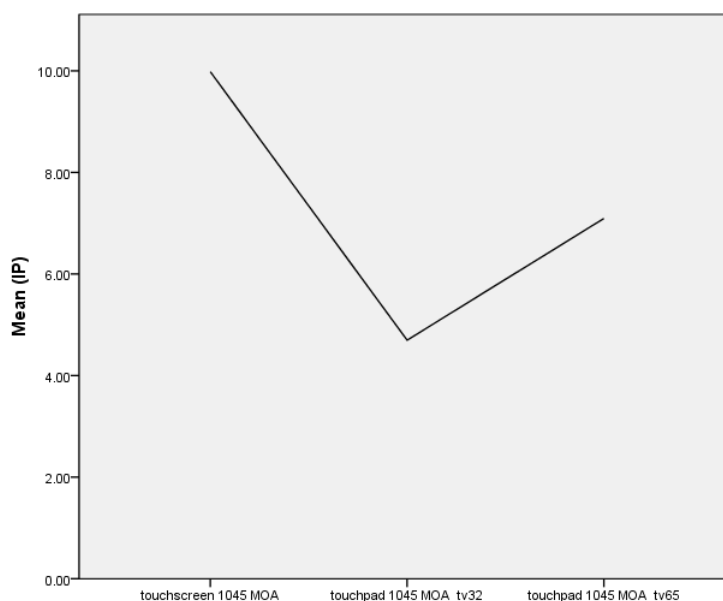
Source	SS	df	MS	F	Sig.
Between Groups	468.41	2	234.20	9.15	<0.001
Within Groups	691.29	27	25.60		
Total	1,159.70	29			

ตารางที่ 4.39 ผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนคน	กลุ่ม	
		1	2
ทัชสกรีน	10	9.74	
ทัชแพด (TV32)	10		4.70
ทัชแพด (TV65)	10		7.09
Sig.		1.00	0.30

จากรูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลากพบว่าทัชสกรีนให้ค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยสูงที่สุด ส่วนการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ให้ค่าสมรรถนะในการใช้งานใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4.39 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทั้งสามอุปกรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าการใช้

งานทัชสกรีนมีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยสูงสุด ( $P = 1.00$ ) และการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและจอแสดงผลขนาดใหญ่มีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P = 0.30$ ) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ แสดงว่าทัชสกรีนสามารถรับมือกับระดับความยากของงานที่เพิ่มขึ้นได้ดีกว่าทัชแพดและการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กสามารถรับมือกับระดับความยากของงานที่เพิ่มขึ้นได้พอๆกับการเลือกใช้อจอแสดงผลขนาดใหญ่เมื่อกำหนดให้มุมมองมองเห็นมีขนาดเท่ากัน



รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่สำหรับงานลาก

#### 4.3.4.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของการใช้งานปากกาจิจิตอลบนทัชแพดที่มีมุมมองมองเห็นเล็กสำหรับงานลาก

การวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 2 จำนวน 20 คน ในการทดลองทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองมองเห็นเล็กหรือคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผล ได้แก่ 1 : 1 : 0.82 : 0.52 : 0.32 เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าทั้งสี่ขนาดหน้าจอดีแสดงผลมีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P = 0.89$ ) ดังตารางที่ 4.40

ตารางที่ 4.40 ผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานลาก

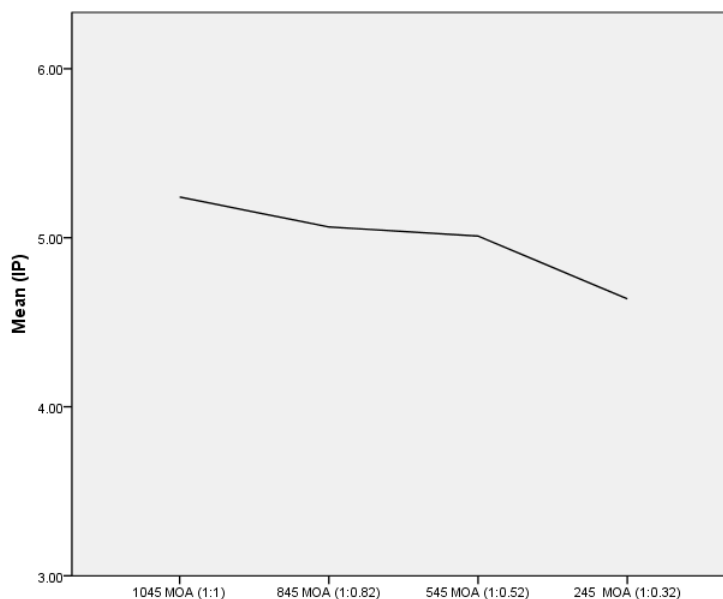
Source	SS	df	MS	F	Sig.
Between Groups	3.85	3	1.28	0.22	0.89
Within Groups	451.82	76	5.95		
Total	455.66	79			

ตารางที่ 4.41 ผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานลาก

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
1045 MOA (1:1)	20	5.24
845 MOA (1:0.82)	20	5.06
545 MOA (1:0.52)	20	5.01
245 MOA (1:0.32)	20	4.64
Sig.		0.48

จากรูปที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานลากพบว่า มีสมรรถนะในการใช้งานลดลงเล็กน้อยตามมุมการมองเห็นที่เล็กกลาง แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4.41 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กกลางสำหรับงานลากที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่ได้กำหนดไว้ทั้งสี่มุมการมองเห็น ได้แก่ 1045, 845, 545 และ 245 MOA มีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ( $P = 0.48$ ) แสดงว่าสำหรับงานลากการเลือกใช้จอแสดงผลขนาดเล็กนั้น ทำให้ผู้ใช้งานมีความสามารถในการรับมือกับความยากของงานพอกันๆ ในสี่มุมการมองเห็น อีกทั้งค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยมีแนวโน้มที่จะลดลงอีกเมื่อมุมการมองเห็นมีขนาดเล็กกว่าที่กำหนดไว้





รูปที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กสำหรับงานลาก

#### 4.3.4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชแพดที่มีขนาดมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

การวิเคราะห์ส่วนนี้ได้นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองในกลุ่มที่ 3 จำนวน 20 คน ในการทดลองทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นหรือคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอดีแสดงผล ได้แก่ 1 : 1 : 1.48 : 1.96 เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าทั้งสามขนาดหน้าจอดีแสดงผลมีค่าสมรรถนะการใช้งานเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P = 0.19$ ) ดังตารางที่ 4.42

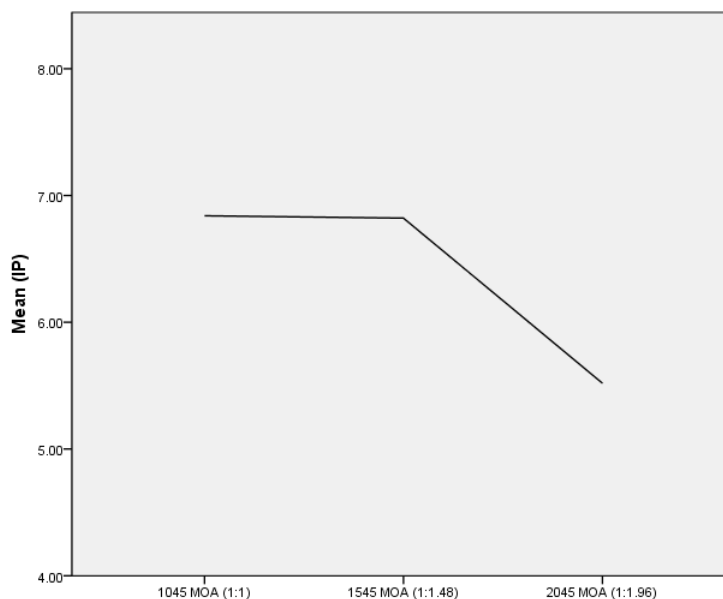
ตารางที่ 4.42 ผลการทดสอบ ANOVA ของค่าสมรรถนะในการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Between Groups	22.96	2	11.48	1.73	0.19
Within Groups	377.78	57	6.63		
Total	400.74	59			

ตารางที่ 4.43 ผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

ขนาดจอแสดงผล	จำนวนคน	กลุ่ม
		1
1045 MOA (1:1)	20	6.84
1545 MOA (1:1.48)	20	6.82
2045 MOA (1:1.96)	20	5.52
Sig.		0.13

จากรูปที่ 4.32 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลากพบว่า ที่มุมการมองเห็น 1045 MOA และ 1545 MOA มีสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยใกล้เคียงกันแต่ที่มุมการมองเห็น 2045 MOA มีสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4.43 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลากที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่ได้กำหนดไว้ทั้งสามมุมการมองเห็น ได้แก่ 1045, 1545 และ 2045 MOA มีค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ( $P = 0.13$ ) แสดงว่าสำหรับงานลากการเลือกใช้อจอแสดงผลขนาดใหญ่ นั้น ทำให้ผู้ใช้งานมีความสามารถในการรับมือกับความยากของงานพอกันๆในสามมุมการมองเห็น อีกทั้งค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยมีแนวโน้มที่จะลดลงอีกเมื่อมุมการมองเห็นมีขนาดใหญ่กว่าที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.32 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยของทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

#### 4.4 การวิเคราะห์ปัญหา Cursor overshoot และ Cursor undershoot

เนื่องจากโปรแกรมสำหรับงานลากไม่สามารถบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาเหล่านี้ได้ จึงได้วิเคราะห์ปัญหาเคอร์เซอร์ชี้เลยเป้าหมายที่กำหนด (Cursor overshoot) และเคอร์เซอร์ชี้ไม่ถึงเป้าหมายที่กำหนด (Cursor undershoot) สำหรับงานแต่ละเท่านั้น โดยนับจำนวนครั้งของการเกิดปัญหาเคอร์เซอร์ชี้เลยเป้าหมายที่กำหนดและเคอร์เซอร์ชี้ไม่ถึงเป้าหมายที่กำหนดแล้วคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการเกิดปัญหาเหล่านี้ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของการเกิดปัญหาเหล่านี้ที่ได้มาจากการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชสกรีนจะเป็นหลักในการเปรียบเทียบของเปอร์เซ็นต์การเกิดปัญหาที่ได้มาจากการใช้งานปากกาดิจิตอลบนทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นขนาดต่างๆ

ตารางที่ 4.44 เปอร์เซ็นต์การเกิดเคอร์เซอร์ชี้เลยเป้าหมาย เคอร์เซอร์ชี้ตรงเป้าหมายและเคอร์เซอร์ชี้ไม่ถึงเป้าหมายสำหรับงานแตะ

อุปกรณ์	เคอร์เซอร์ชี้เลยเป้าหมาย	เคอร์เซอร์ชี้ตรงเป้าหมาย	เคอร์เซอร์ชี้ไม่ถึงเป้าหมาย
ทัชสกรีน	17.84%	<b>67.88%</b>	14.28%
ทัชแพด TV32 (1045 MOA)	<b>31.95%</b>	40.44%	27.61%
ทัชแพด TV32 (845 MOA)	<b>41.06%</b>	34.19%	28.75%
ทัชแพด TV32 (545 MOA)	<b>41.83%</b>	30.73%	27.44%
ทัชแพด TV32 (245 MOA)	<b>70.83%</b>	3.76%	25.41%
ทัชแพด TV65 (1045 MOA)	24.07%	49.02%	<b>26.91%</b>
ทัชแพด TV65 (1545 MOA)	27.61%	33.31%	<b>39.08%</b>
ทัชแพด TV65 (2045 MOA)	26.91%	32.72%	<b>40.37%</b>

จากตารางที่ 4.44 พบว่าการใช้งานอุปกรณ์ทัชสกรีนเป็นอุปกรณ์สัมผัสโดยตรงกับหน้าจอแสดงผล จึงเกิดปัญหาเคอร์เซอร์ชี้เลยเป้าหมายและเคอร์เซอร์ชี้ไม่ถึงเป้าหมายที่กำหนดน้อยที่สุดคือ 17.84% และ 14.28% ตามลำดับ สำหรับการใช้งานทัชแพดพบว่าทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กลงได้แก่ 1045, 845, 545 และ 245 MOA เกิดปัญหาเคอร์เซอร์ชี้เลยเป้าหมายมากกว่าปัญหาเคอร์เซอร์ชี้ไม่ถึงเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งเกิดปัญหาเคอร์เซอร์ชี้เลยเป้าหมายเพิ่มขึ้นตามมุมการมองเห็นที่เล็กลงคือ 31.95%, 41.06%, 41.83% และ 70.83% ตามลำดับ เนื่องจากผู้เข้าร่วมการทดลองขยับปากกาดิจิตอลเร็วเกินไปจะเป็นการเร่งความเร็วให้กับเคอร์เซอร์ที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลทำให้เกิดปัญหาเคอร์เซอร์ชี้เลยเป้าหมายเป็นส่วนใหญ่ หากมุมการมองเห็นมีขนาดที่เล็กมากก็จะยิ่งทำให้ผู้เข้าร่วมการทดลองควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของมือได้ยากมากยิ่งขึ้น ส่วนทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นได้แก่ 1045, 1545 และ 2045 MOA พบว่าเกิดปัญหาเคอร์เซอร์ชี้ไม่ถึงเป้าหมายที่กำหนดมากกว่าเคอร์เซอร์ชี้เลยเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งเกิดปัญหาเคอร์เซอร์ชี้ไม่ถึงเป้าหมายที่กำหนดเพิ่มขึ้นตามมุมการมองเห็นที่ใหญ่ขึ้นคือ 26.91%, 39.08% และ 40.37% ตามลำดับ เนื่องจากจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่มากจะมีระยะในการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์ที่ปรากฏบนจอแสดงผลมีขนาดกว้างกว่าระยะการเคลื่อนที่ของปากกาดิจิตอลบนทัชแพด ซึ่งบ่อยครั้งที่ผู้เข้าร่วมการทดลองเร่งความเร็วไม่พอที่จะไปถึงเป้าหมายและพื้นที่ของทัชแพดมีจำกัด ก็จะส่งผลให้เกิดปัญหาเคอร์เซอร์ชี้ไม่ถึงเป้าหมายเป็นส่วนใหญ่

## บทที่ 5

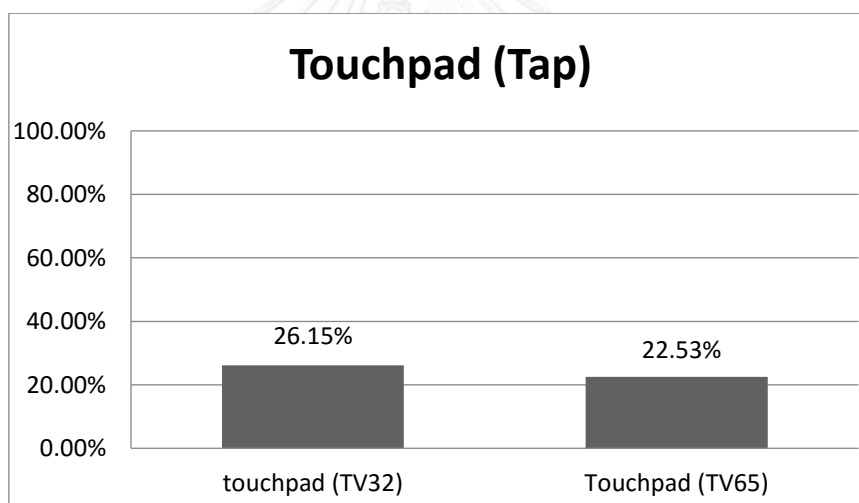
### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

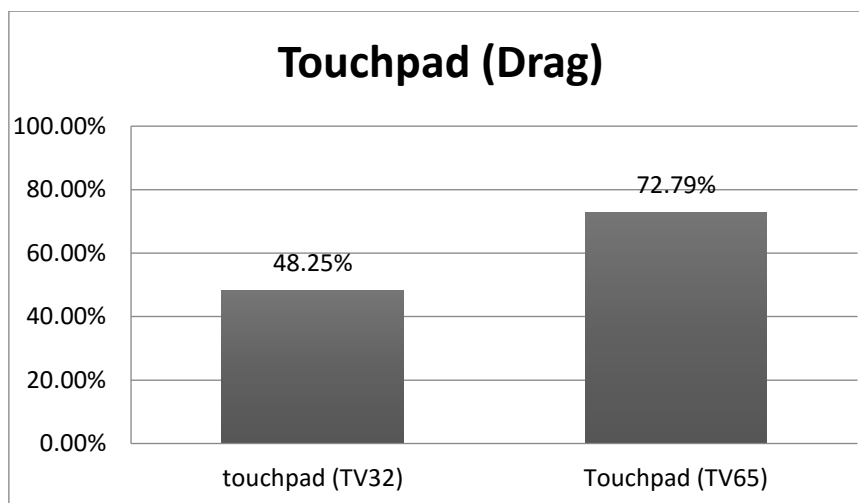
สำหรับในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานปากกาดีจิตอลบนทัชสกรีนและทัชแพดที่มีมุมมองเห็นขนาดต่างๆสำหรับงานแตะและงานลากตามมาตรฐาน ISO 9241-9 ที่อ้างอิงวิธีการทดสอบจากกฎของฟิตส์และสแตยริง เนื่องจากทัชสกรีนเป็นอุปกรณ์ที่มีการสัมผัสได้โดยตรงกับจอแสดงผล ส่วนทัชแพดเป็นอุปกรณ์ที่มีการสัมผัสทางอ้อมกับจอแสดงผล โดยทัชแพดจะต้องใช้งานร่วมกับจอแสดงผลอื่น ซึ่งผลวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้เป็นเหตุผลประกอบหนึ่งในการตัดสินใจในการเลือกซื้ออุปกรณ์ให้คุ้มค่าและเหมาะสมกับงบประมาณที่ตั้งไว้ อีกทั้งทำให้ผู้ใช้งานได้มีสมรรถนะในการใช้งานที่สูงที่สุดอีกด้วย โดยได้นำมุมมองเห็นมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดขนาดของจอแสดงผล ซึ่งขนาดมุมมองเห็นของหน้าจอตชสกรีนจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1045 MOA ซึ่งเป็นขนาดมุมมองเห็นหลักในการเปรียบเทียบขนาดมุมมองเห็นของหน้าจอตชสกรีนอื่นๆ ส่วนทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอทีวีขนาดเล็ก (TV32) จะกำหนดมุมมองเห็นได้แก่ 1045, 845, 545 และ 245 MOA ทำให้ผู้ใช้มองจอแสดงผลมีขนาดที่เล็กลง โดยคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอตชสกรีนเทียบกับหน้าจอตชสกรีนคือ 1 : 1 : 0.82 : 0.52 : 0.23 ตามลำดับ และทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ (TV65) จะกำหนดมุมมองเห็นได้แก่ 1045, 1545 และ 2045 MOA ทำให้ผู้ใช้มองจอแสดงผลมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น โดยคิดเป็นอัตราส่วนของขนาดหน้าจอตชสกรีนเทียบกับหน้าจอตชสกรีนคือ 1 : 1 : 1.48 : 1.96 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ทัชสกรีนมีระยะเวลาในการใช้งานเร็วที่สุดและสมรรถนะในการใช้งานสูงที่สุดและเกิดปัญหาเคอร์เซอร์เคลื่อนที่เลยเป้าหมายและไม่ถึงเป้าหมายน้อยที่สุดทั้งงานแตะและงานลากอีกด้วย สำหรับการใช้งานทัชแพดที่มีมุมมองเห็นที่เท่ากันพบว่า ทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กมีระยะเวลาการใช้งานมากกว่าทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่เล็กน้อยซึ่งจอแสดงผลขนาดใหญ่จะให้ความรู้สึกมั่นใจและความพึงพอใจในการใช้งานมากกว่าจอแสดงผลขนาดเล็กแต่มีสมรรถนะการใช้งานไม่ต่างกันทั้งงานแตะและงานลาก

สำหรับการเลือกขนาดจอแสดงผลที่จะต้องใช้ร่วมทัชแพดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาและสมรรถนะในการใช้งานอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งระยะห่างในการวางจอให้ไกลหรือใกล้ขึ้นจะมีผลทำให้การรับรู้ขนาดของหน้าจอตชสกรีนเปลี่ยนไปจากเดิม จึงได้ใช้มุมมองเห็นเป็นตัวกำหนด

ขนาดของจอแสดงผลที่สัมพันธ์กับระยะห่างในการวางจอแสดงผล ซึ่งการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นเล็กลงพบว่า ระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามมุมการมองเห็นที่เล็กลงทั้งงานแตะและงานลาก ส่วนสมรรถนะในการใช้งานเฉลี่ยจะลดลงตามมุมการมองเห็นที่เล็กลงเฉพาะงานแตะเท่านั้น เนื่องจากการใช้จอแสดงผลที่มีขนาดเล็กลงมักจะเกิดปัญหาเคอร์เซอร์ชี้เลยเป้าหมาย (Cursor overshoot) มากขึ้นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความแม่นยำหรือความถูกต้องในระหว่างการใช้งานอีกด้วย สำหรับงานลากมุมการมองเห็นที่เล็กลงจะไม่มีผลต่อสมรรถนะในการใช้งาน ส่วนการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นพบว่า ระยะเวลาในการใช้งานจะเพิ่มขึ้นตามมุมการมองเห็นที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและมักจะเกิดปัญหาเคอร์เซอร์ชี้ไม่ถึงเป้าหมาย (Cursor undershoot) ที่จะส่งผลกระทบต่อความแม่นยำหรือความถูกต้องในระหว่างการใช้งานเป็นส่วนใหญ่ แต่มีสมรรถนะในการใช้งานใกล้เคียงกันทั้งงานแตะและงานลาก



รูปที่ 5.1 เปอร์เซนต์สมรรถนะการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่เทียบกับการใช้งานทัชสกรีนที่มีมุมการมองเห็น 1045 MOA สำหรับงานแตะ



รูปที่ 5.2 เปอร์เซ็นต์สมรรถนะการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่เทียบกับ  
การใช้งานทัชสกรีนที่มุมการมองเห็น 1045 MOA สำหรับงานลาก

นอกจากปัจจัยทางด้านระยะเวลาและสมรรถนะในการใช้งานที่เป็นส่วนสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกซื้ออุปกรณ์แล้วปัจจัยทางด้านเงินทุนก็มีส่วนสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกซื้ออีกเช่นกัน เนื่องจากทัชสกรีนเป็นอุปกรณ์ที่มีสมรรถนะในการใช้งานที่สูงที่สุดและระยะเวลาในการใช้งานเร็วที่สุดก็มักจะมาพร้อมกับราคาที่สูงมาก ผู้ใช้งานหรือองค์กรต่างๆที่จำเป็นจะต้องซื้ออุปกรณ์พวกนี้เป็นจำนวนมากและไม่สามารถรับภาระในด้านเงินทุนนี้ได้ การใช้งานทัชแพดก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้ประหยัดต้นทุนในการซื้ออุปกรณ์ไปได้หลายเท่าตัว จากรูปที่ 5.1 แสดงเปอร์เซ็นต์สมรรถนะการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่เทียบกับการใช้งานทัชสกรีนที่มุมการมองเห็น 1045 MOA สำหรับงานแตะพบว่าการเลือกใช้อจอแสดงผลขนาดใหญ่มีความสามารถในการรับมือกับความยากของงานได้ 22.53% ต่ำกว่าจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีความสามารถในการรับมือกับความยากของงานได้ 26.15% ซึ่งจากการทดสอบการเปรียบเทียบรายคู่พบว่าจอแสดงผลทั้งคู่มีความสามารถในการรับมือกับความยากของงานเฉลี่ยแล้วใกล้เคียงกันและจากรูปที่ 5.2 แสดงเปอร์เซ็นต์สมรรถนะการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่เทียบกับการใช้งานทัชสกรีนที่มุมการมองเห็น 1045 MOA สำหรับงานลากพบว่าจอแสดงผลขนาดใหญ่มีความสามารถในการรับมือกับความยากของงานได้ 72.79% สูงกว่าจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีความสามารถในการรับมือกับความยากของงานได้ 48.25% ซึ่งจากการทดสอบการเปรียบเทียบรายคู่พบว่าจอแสดงผลทั้งคู่มีความสามารถในการรับมือกับความยากของงานเฉลี่ยแล้วใกล้เคียงกัน ดังนั้นการใช้งานทัชแพดควรจะเลือกใช้อจอแสดงผลขนาดใหญ่ (TV65) ที่มีอัตราส่วนของหน้าจอแสดงผล

เป็น 1 : 1 หรือมีขนาดจอแสดงผลเท่ากับขนาดของทัชแพด ซึ่งมีระยะห่างในการมองจอแสดงผลเท่ากับ 263 เซนติเมตร จะทำให้มีระยะเวลาในการทำงานเร็วและสมรรถนะในการทำงานสูงที่สุด รวมถึงการเกิดปัญหาเคอร์เซอร์ชี้เลยเป้าหมาย (Cursor overshoot) และปัญหาเคอร์เซอร์ชี้ไม่ถึงเป้าหมาย (Cursor undershoot) น้อยที่สุดรองจากการใช้งานทัชสกรีน โดยผู้ใช้งานหรือองค์กรต่างๆ สามารถนำวิธีการกำหนดขนาดหน้าจอแสดงผลโดยใช้มุมการมองเห็น (Visual angle) นี้ไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ของตนได้อีกด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในอนาคต

สำหรับงานวิจัยที่ได้สรุปดังกล่าวไว้ข้างต้นนี้ ยังมีปัจจัยและวิธีการต่างๆ ให้นักวิจัยที่สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมต่อได้ดังนี้

1. ปากกาดีจิจิตอลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดไว้เพียงแค่ขนาดเดียวเท่านั้น ซึ่งผู้วิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปากกาขนาดต่างๆ เพื่อวิเคราะห์หาขนาดปากกาที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดสมรรถนะในการทำงานสูงที่สุดสำหรับการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพด
2. กำหนดช่วงของมุมการมองเห็นให้กว้างขึ้นและศึกษาหามุมการมองเห็นใดๆที่ทำให้สมรรถนะในการใช้งานลดต่ำลงจนไม่สามารถทำงานได้ เพื่อเป็นมาตรฐานในการกำหนดช่วงของมุมการมองเห็น
3. ศึกษาสมรรถนะของการใช้งานทัชแพดกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นและจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นเล็กลง เนื่องจากงานวิจัยนี้มีพื้นที่จำกัดและโต๊ะที่ใช้วางทัชแพดมีขนาดใหญ่ไม่สามารถเลื่อนโต๊ะเข้าใกล้จอแสดงผลได้ จึงไม่ได้ทำการศึกษาประเด็นที่กล่าวมาในข้างต้น



## รายการอ้างอิง

### ภาษาอังกฤษ

- Albers, M. J. (2012). Human-Information Interaction and Technical Communication: Concepts and Frameworks USA: IGI Publishing Hershey.
- Clifton Forlines, R. B. (2008). Evaluating Tactile Feedback and Direct vs. Indirect Stylus Input in Pointing and Crossing Selection Tasks. Paper presented at the CHI 2008 Proceedings Florence, Italy.
- Cockburn, A., Ahlström, D., & Gutwin, C. (2012). Understanding performance in touch selections: Tap, drag and radial pointing drag with finger, stylus and mouse. *International Journal of Human-Computer Studies*, 70(3), 218-233. doi: 10.1016/j.ijhcs.2011.11.002
- Fitts, P. M. (1992). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*.
- ISO W. 9241-9. (1998). Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs). The international organization for standardization.
- Jukic, S. (2016). 4K & Ultra HD (UHD) Resolution – Comparison of 4k vs 1080 p and Everything You Need to Know. Retrieved 2016, April 6, from <http://4k.com/resolution>
- Lee, D. S. (2012). Preferred viewing distance of liquid crystal high-definition television. *Appl Ergon*, 43(1), 151-156. doi: 10.1016/j.apergo.2011.04.007
- Lexus. (2017). Rremote touch interface - Touchpad. Retrieved 15 June 2017, from <https://secure.drivers.lexus.com/lexusdrivers/video->

details?id=templatedata/ResourcesMain/ResourceVideos  
/data/technology/technology\_Remote\_Touch\_Interface\_Touchpad.dcr

- Mackenzie, S. (1992). Fitts' law as a research and design tool in human computer interaction. *Human computer interaction*, 7, 91-139.
- Nield, D. (2016). 15 memorable milestones in tablet history. Retrieved 13 June, 2017, from <http://www.techradar.com/news/mobile-computing/10-memorable-milestones-in-tablet-history-924916>
- Shieh, K. K., & Lee, D. S. (2007). Preferred viewing distance and screen angle of electronic paper displays. *Appl Ergon*, 38(5), 601-608. doi: 10.1016/j.apergo.2006.06.008
- Shumin Z. & Rogier W. (2003). Human Movement Performance in Relation to Path Constraint. Paper presented at the The IEEE Virtual Reality.
- Strickland, J. (2016). History of Tablets. Retrieved 13 June, 2017, from <http://computer.howstuffworks.com/tablets/tablet3.htm>
- Richard Coll, K. Z. a. J. H. C. (1994). A comparison of three computer cursor control devices pen on horizontal tablet, mouse and keyboard. *Information & Management*, 329-339.
- Wen Nivala, N. L. (2016). HANDWRITING ON A TOUCHSCREEN, WITH ANALYSIS. Retrieved 9 Feb 2016, from [http://www.optofidelity.com/files/uploads/2016/04/Optofidelity\\_whitepaper\\_hand\\_writing\\_final.pdf](http://www.optofidelity.com/files/uploads/2016/04/Optofidelity_whitepaper_hand_writing_final.pdf)
- Young, J. G., Trudeau, M., Odell, D., Marinelli, K., & Dennerlein, J. T. (2012). Touch-screen tablet user configurations and case-supported tilt affect head and neck flexion angles. *Work*, 41(1), 81-91. doi: 10.3233/WOR-2012-1337

## ภาษาไทย

เกี๊ยะตความรู้. (2555). จอคอมพิวเตอร้ (Computer Monitor) มีกี่ชนิด อดไรบ้าง. สืบค้น 10 เมษายน 2559, จ าก <http://www.xn-12cg1cxchd0a2gzc1c5d5a.net/%E0%B8%88%E0%B8%AD%E0%B8%84%E0%B8%AD%E0%B8%A1%E0%B8%9E%E0%B8%B4%E0%B8%A7%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C/>

ซ้่มซุง. (2556). ทีวี LCD ก้บ LED ต่่างกันย้่งง. สืบค้น 12 กรกฏาคม 2559, จาก <http://www.samsung.com/th/article/lcd-vs-led>

ซ้่มซุง. (2556). ระยะห้่างการดูทีวี. สืบค้น 8 กรกฏาคม 2559, จาก <http://www.samsung.com/th/article/lcd-vs-led>

สุชาดา พลาชัยภริรมย้ศิลและยยาวภาพร พิริยล้้าเลิศ. (2555). แต้บเลี้ดส้ือยอดนียมในยุคการเรียนแบบไฮบริด. Executive Journal, 134-140.

นภ้ทร ยงบุญชนภ้ทร. (2556). การเปรียบเทียบสมรรถนะของการถ้ือและการใช้งานแต้บเลี้ด. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณช้ิต), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภ้ทรพร เกียรติธรรม. (2555). ความสัมพันธ์ระห้่างลักษณะทางกายภาพของเมาส์และสมรรถนะการใช้งานของผู้ใช้. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณช้ิต), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภวารรณ ผิวแดง. (2557). การประเมินสมรรถนะของการใช้น้ิ้วมือและปากกาดีจิตอลดด้วยแต้บเลี้ดในเต้กประถมศึษาตามแนวคิดกฎของฟิตส์และกฎของสเดี้ยริง. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณช้ิต), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โรงพยาบาลกรุงเทพภูเกี้ต. (2559). หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด (Robotic Surgery). สืบค้น 9 กุมภาพันธ์ 2559, จ าก <http://www.phukethospital.com/Thai/Health-Information/Robotic-Surgery>

รศ.พญ.นภาพร ตนานูวิฒน์. (2551). การวัดระดับสายตาและการตรวจจอตา. สืบค้น 10 มีนาคม 2559, จาก <http://www.medicine.cmu.ac.th/dept/eye/lecture301.pdf>

วราภรณ์ พิทักษ์ธรรมคุณ. (2557). การประเมินสมรรถนะของการลากเมาส์การยศาสตร์ตามแนวทางของ STEERING LAW. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วacom. (2559). แหล่งความรู้ข้อมูล. สืบค้น 11 มกราคม 2559, จาก <http://www.wacom.com/th-th/enterprise/business-solutions/resources-and-information/emr-benefits>

ศูนย์ ลีวันแสงทอง. (2556). แขนกลหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด. สืบค้น 9 กุมภาพันธ์ 2559, จาก <http://www.siphospital.com/th/news/article-details.php?id=16>.

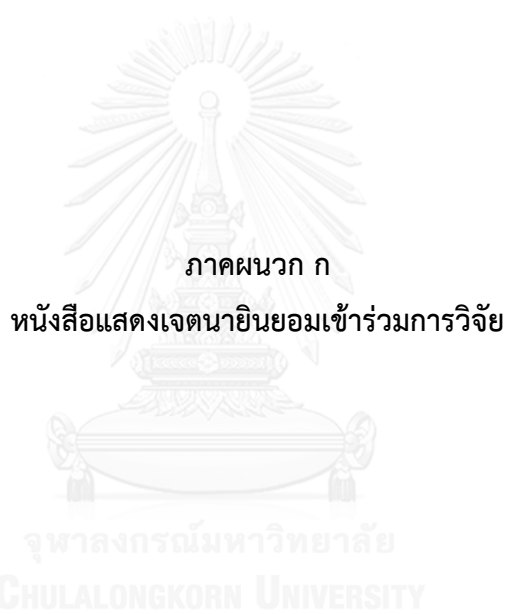
อธิปลักษณ์ ธนประสิทธิ์. (2556). แท็บเล็ตคืออะไร มีประวัติความเป็นมาอย่างไร. สืบค้น 13 กุมภาพันธ์ 2559, จาก <http://news.siamphone.com/news-13565.html>





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



## หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

### (Consent Form)

งานวิจัยเรื่อง “การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของทัชสกรีนและทัชแพด”

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า..... อายุ.....ปี

1. ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัย วิธีการวิจัย ประโยชน์และโทษจากการเข้าร่วมงานวิจัย
2. ข้าพเจ้าจะได้ทราบถึงสิทธิ์ที่ข้าพเจ้าจะได้รับข้อมูลเพิ่มเติมจากที่ข้าพเจ้าสงสัยด้วยความเต็มใจ ไม่ปิดบังซ่อนเร้น จนกว่าข้าพเจ้าพอใจ และงานวิจัยนี้ไม่มีความเป็นอันตรายต่อร่างกายของข้าพเจ้า
3. ข้าพเจ้ามีสิทธิ์จะถอนตัวหรืองดเข้าร่วมงานวิจัยนี้ได้ทุกเมื่อโดยไม่ต้องให้เหตุผล ข้าพเจ้ายินยอมให้ผู้วิจัยใช้ข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าที่ได้รับจากการทำจากการทำงานวิจัย แต่จะไม่เผยแพร่ต่อสาธารณะเป็นรายบุคคล โดยจะนำเสนอเป็นข้อมูลโดยรวมจากการทำวิจัยเท่านั้น
4. ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้วและมีความเข้าใจดีทุกประการและได้ลงนามในหนังสือแสดงเจตนายินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

ลงชื่อ.....

( )

ผู้เข้าร่วมการทดลอง





จากตาราง ข.1-ข.6 แสดงสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น ค่า  $R^2$  และค่าสมรรถนะในการทำงาน (IP) สำหรับอุปกรณ์ทัชสกรีนและทัชแพดที่ใช้งานร่วมกับแสดงผลที่มีมุมการมองเห็นขนาดต่างๆของแต่ละผู้เข้าร่วมการทดลอง เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ ข.1 สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการทำงานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 10 คน ของการใช้งานทัชสกรีนในรูปแบบงานแตะ

คนที่	สมการเส้นตรง	$R^2$ (%)	$IP = \frac{1}{b}$
1	$MT = 0.18 + 0.16ID$	90.90	6.17
2	$MT = 0.62 + 0.13ID$	88.30	7.69
3	$MT = 0.54 + 0.15ID$	85.30	6.62
4	$MT = 0.13 + 0.17ID$	84.24	6.06
5	$MT = 0.01 + 0.19ID$	84.20	5.18
6	$MT = 0.12 + 0.23ID$	79.29	4.41
7	$MT = 0.06 + 0.17ID$	93.50	5.95
8	$MT = 0.19 + 0.21ID$	79.68	4.72
9	$MT = 0.14 + 0.07ID$	89.70	5.99
10	$MT = 0.01 + 0.18ID$	87.73	5.71

ตาราง ข.2 สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการใช้งานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 20 คน สำหรับการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กลงในรูปแบบงานแตะ

ขนาดหน้าจอแสดงผล	คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
1045 MOA (1:1)	1	MT = 0.45 + 0.51ID	84.20	1.95
	2	MT = 0.65 + 0.53ID	88.20	1.88
	3	MT = 0.18 + 0.29ID	76.99	3.40
	4	MT = 0.09 + 0.37ID	82.03	2.71
	5	MT = 0.06 + 0.30ID	85.40	3.29
	6	MT = 0.51 + 0.30ID	72.56	3.28
	7	MT = 0.04 + 0.25ID	81.60	4.04
	8	MT = 0.93 + 0.16ID	93.90	6.37
	9	MT = 0.41 + 0.56ID	93.70	1.78
	10	MT = 0.54 + 0.17ID	82.15	5.74
	11	MT = 0.49 + 0.36ID	83.77	2.80
	12	MT = 0.17 + 0.22ID	80.67	4.50
	13	MT = 0.26 + 0.39ID	84.90	2.56
	14	MT = 1.32 + 0.21ID	90.00	4.67
	15	MT = 0.01 + 0.31ID	86.50	3.21
	16	MT = 0.06 + 0.32ID	89.60	3.13
	17	MT = 0.03 + 0.37ID	78.25	2.73
	18	MT = 0.29 + 0.45ID	84.20	2.21
	19	MT = 0.16 + 0.29ID	79.33	3.41
	20	MT = 0.08 + 0.32ID	79.41	3.16

ตาราง ข.2 (ต่อ) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการทำงานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 20 คน สำหรับการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กน้อยในรูปแบบงานแตะ

ขนาดหน้าจอแสดงผล	คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
845 MOA (1 : 0.82)	1	MT = 0.18 + 0.30ID	83.50	3.38
	2	MT = 0.35 + 0.28ID	84.50	3.52
	3	MT = 0.11 + 0.31ID	90.30	3.21
	4	MT = 0.05 + 0.35ID	75.02	2.88
	5	MT = 0.31 + 0.25ID	76.57	4.02
	6	MT = 0.93 + 0.16ID	86.60	6.44
	7	MT = 0.01 + 0.27ID	80.38	3.67
	8	MT = 0.99 + 0.14ID	92.40	7.06
	9	MT = 0.06 + 0.35ID	81.30	2.86
	10	MT = 0.48 + 0.37ID	89.90	2.72
	11	MT = 0.22 + 0.36ID	96.00	2.81
	12	MT = 0.01 + 0.29ID	78.04	3.43
	13	MT = 0.26 + 0.24ID	95.60	4.20
	14	MT = 0.77 + 0.56ID	85.60	1.79
	15	MT = 0.07 + 0.34ID	78.79	2.91
	16	MT = 0.09 + 0.29ID	75.39	3.45
	17	MT = 0.05 + 0.41ID	99.60	2.42
	18	MT = 0.22 + 0.38ID	83.70	2.64
	19	MT = 0.41 + 0.24ID	76.40	4.23
	20	MT = 0.05 + 0.32ID	71.68	3.09

ตาราง ข.2 (ต่อ) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการทำงานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 20 คน สำหรับการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กลงในรูปแบบงานแตะ

ขนาดหน้าจอแสดงผล	คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
545 MOA (1 : 0.52)	1	MT = 0.08 + 0.20ID	89.28	5.07
	2	MT = 0.04 + 0.19ID	77.90	5.26
	3	MT = 0.25 + 0.14ID	87.83	7.24
	4	MT = 0.17 + 0.15ID	90.49	6.66
	5	MT = 0.49 + 0.13ID	95.96	7.62
	6	MT = 0.20 + 0.18ID	92.07	5.45
	7	MT = 0.19 + 0.12ID	96.68	8.51
	8	MT = 0.30 + 0.15ID	87.40	6.89
	9	MT = 0.24 + 0.46ID	87.34	2.15
	10	MT = 0.02 + 0.28ID	84.31	3.58
	11	MT = 0.01 + 0.34ID	74.25	2.95
	12	MT = 0.17 + 0.29ID	79.54	3.41
	13	MT = 0.12 + 0.32ID	78.84	3.16
	14	MT = 0.44 + 0.38ID	87.26	2.64
	15	MT = 0.27 + 0.27ID	74.25	3.69
	16	MT = 0.11 + 0.31ID	84.54	3.25
	17	MT = 0.22 + 0.46ID	74.91	2.15
	18	MT = 0.10 + 0.48ID	82.62	2.10
	19	MT = 0.11 + 0.35ID	77.77	2.89
	20	MT = 0.16 + 0.34ID	81.08	2.92

ตาราง ข.2 (ต่อ) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการทำงานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 20 คน สำหรับการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กลงในรูปแบบงานแตะ

ขนาดหน้าจอแสดงผล	คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
245 MOA (1 : 0.32)	1	MT = 0.07 + 0.38ID	80.53	2.61
	2	MT = 0.45 + 0.56ID	78.43	1.78
	3	MT = 0.44 + 0.33ID	89.22	3.04
	4	MT = 0.18 + 0.51ID	87.12	1.94
	5	MT = 0.08 + 0.39ID	82.24	2.58
	6	MT = 0.42 + 0.31ID	92.40	3.19
	7	MT = 0.36 + 0.54ID	74.94	1.85
	8	MT = 0.30 + 0.53ID	83.60	1.89
	9	MT = 0.26 + 0.51ID	84.64	1.96
	10	MT = 0.05 + 0.32ID	84.43	3.08
	11	MT = 0.51 + 0.76ID	86.62	1.31
	12	MT = 1.06 + 0.83ID	74.28	1.21
	13	MT = 0.37 + 0.32ID	75.08	3.11
	14	MT = 0.13 + 0.42ID	84.05	2.39
	15	MT = 0.56 + 0.34ID	81.32	2.94
	16	MT = 0.03+ 0.33ID	90.66	2.99
	17	MT = 0.54 + 0.59ID	81.30	1.68
	18	MT = 0.88 + 0.29ID	96.81	3.44
	19	MT = 0.55 + 0.58ID	88.79	1.73
	20	MT = 0.65 + 0.31ID	96.25	3.26

ตารางที่ ข.3 สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการใช้งานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 20 คน สำหรับการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นในรูปแบบงานแตะ

ขนาดหน้าจอแสดงผล	คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
1045 MOA (1:1)	1	MT = 0.15 + 0.40ID	83.09	2.51
	2	MT = 0.11 + 0.45ID	92.53	2.21
	3	MT = 0.42 + 0.17ID	76.58	5.83
	4	MT = 0.14 + 0.32ID	81.96	3.15
	5	MT = 1.38 + 0.32ID	93.16	10.42
	6	MT = 0.28 + 0.26ID	82.74	3.79
	7	MT = 0.04 + 0.25ID	77.16	3.27
	8	MT = 0.47 + 0.34ID	83.34	2.91
	9	MT = 0.29 + 0.29ID	88.03	3.48
	10	MT = 0.14 + 0.26ID	81.40	3.92
	11	MT = 0.49 + 0.36ID	76.86	2.02
	12	MT = 0.27 + 0.50ID	83.67	3.83
	13	MT = 0.26 + 0.39ID	74.15	2.83
	14	MT = 0.07 + 0.35ID	78.83	4.00
	15	MT = 0.12 + 0.28ID	72.36	3.61
	16	MT = 0.03 + 0.31ID	74.96	3.25
	17	MT = 0.05 + 0.31ID	72.56	3.20
	18	MT = 0.14 + 0.34ID	97.62	2.90
	19	MT = 1 + 0.16ID	93.91	6.27
	20	MT = 0.42 + 0.17ID	74.82	5.77

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการทำงานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 20 คน สำหรับการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นในรูปแบบงานแตะ

ขนาดหน้าจอแสดงผล	คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
1545 MOA (1:1.48)	1	MT = 0.83 + 0.14ID	91.24	7.16
	2	MT = 0.11 + 0.35ID	94.77	2.88
	3	MT = 0.30 + 0.21ID	83.39	4.71
	4	MT = 0.10 + 0.31ID	92.80	3.28
	5	MT = 0.85 + 0.24ID	75.77	4.13
	6	MT = 0.28 + 0.23ID	75.75	4.31
	7	MT = 0.21 + 0.35ID	77.84	2.84
	8	MT = 0.81 + 0.24ID	83.16	4.17
	9	MT = 0.13 + 0.40ID	86.18	2.48
	10	MT = 0.02 + 0.30ID	76.63	3.04
	11	MT = 0.20 + 0.44ID	76.36	2.25
	12	MT = 0.01 + 0.30ID	86.51	3.32
	13	MT = 0.12 + 0.34ID	80.66	2.90
	14	MT = 0.45 + 0.20ID	83.70	5.09
	15	MT = 0.13 + 0.20ID	81.77	3.14
	16	MT = 0.07+ 0.32ID	80.95	3.04
	17	MT = 0.02 + 0.39ID	79.59	3.43
	18	MT = 0.26 + 0.41ID	76.45	2.43
	19	MT = 0.99 + 0.10ID	87.19	10.37
	20	MT = 0.30 + 0.24ID	75.13	4.15

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการทำงานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 20 คน สำหรับการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นในรูปแบบงานแตะ

ขนาดหน้าจอแสดงผล	คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
2045 MOA (1:1.96)	1	MT = 0.74 + 0.24ID	94.58	4.12
	2	MT = 0.17 + 0.34ID	75.04	2.94
	3	MT = 0.35 + 0.23ID	90.47	4.38
	4	MT = 0.19 + 0.28ID	76.45	3.52
	5	MT = 0.62 + 0.22ID	86.98	4.52
	6	MT = 0.40 + 0.21ID	79.47	4.84
	7	MT = 0.19 + 0.30ID	81.50	3.29
	8	MT = 0.64 + 0.28ID	85.29	3.60
	9	MT = 0.58 + 0.30ID	82.13	3.29
	10	MT = 0.23 + 0.33ID	84.43	3.03
	11	MT = 0.15 + 0.30ID	74.55	3.39
	12	MT = 0.39 + 0.24ID	74.73	4.14
	13	MT = 0.21 + 0.38ID	87.22	2.62
	14	MT = 0.14 + 0.32ID	80.53	3.11
	15	MT = 0.20 + 0.33ID	81.89	3.04
	16	MT = 0.17+ 0.41ID	79.56	2.42
	17	MT = 0.05 + 0.21ID	87.01	4.78
	18	MT = 0.26 + 0.44ID	76.69	2.27
	19	MT = 0.75 + 0.20ID	82.20	5.11
	20	MT = 0.41 + 0.27ID	92.10	3.69



ตารางที่ ข.4 สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการทำงานของผู้เข้าร่วมการทดลอง  
ทั้งหมด 10 คน ของการใช้งานทัชสกรีนในรูปแบบงานลาก

คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
1	MT = 0.27+ 0.11ID	95.65	9.32
2	MT = 0.67 + 0.10ID	93.11	10.04
3	MT = 0.93 + 0.11ID	88.52	9.50
4	MT = 0.98 + 0.10ID	96.06	9.70
5	MT = 0.96 + 0.11ID	92.08	8.75
6	MT = 0.38 + 0.11ID	97.19	9.40
7	MT = 0.43 + 0.10ID	95.40	9.53
8	MT = 0.21 + 0.12ID	96.62	8.65
9	MT = 0.34 + 0.09ID	98.15	11.05
10	MT = 0.71 + 0.09ID	86.82	11.49

ตารางที่ ข.5 สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการทำงานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 20 คน สำหรับการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กลงในรูปแบบงานลาก

ขนาดหน้าจอแสดงผล	คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
1045 MOA (1:1)	1	MT = 0.74 + 0.21ID	89.16	4.65
	2	MT = 0.48 + 0.14ID	86.96	7.07
	3	MT = 0.59 + 0.45ID	96.74	2.21
	4	MT = 0.31 + 0.11ID	93.86	8.83
	5	MT = 1.45 + 0.27ID	94.81	3.75
	6	MT = 1.11 + 0.30ID	89.49	3.36
	7	MT = 0.36 + 0.14ID	96.09	7.18
	8	MT = 1.58 + 0.54ID	85.55	1.84
	9	MT = 2.09 + 0.51ID	97.73	1.97
	10	MT = 0.21 + 0.16ID	96.37	6.12
	11	MT = 2.38 + 0.30ID	96.91	3.38
	12	MT = 2.59 + 0.15ID	99.57	6.87
	13	MT = 1.95 + 0.11ID	95.94	8.98
	14	MT = 2.00 + 0.14ID	93.98	7.29
	15	MT = 0.21 + 0.27ID	96.66	3.66
	16	MT = 0.33 + 0.33ID	90.91	3.06
	17	MT = 4.42 + 0.34ID	89.02	2.94
	18	MT = 0.17 + 0.17ID	94.62	5.82
	19	MT = 4.39 + 0.12ID	75.82	8.59
	20	MT = 0.21 + 0.27ID	80.90	3.70

ตารางที่ ข.5 (ต่อ) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการทำงานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 20 คน สำหรับการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กลงในรูปแบบงานลาก

ขนาดหน้าจอ แสดงผล	คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
845 MOA (1 : 0.82)	1	MT = 0.74 + 0.20ID	93.39	5.12
	2	MT = 0.15 + 0.15ID	90.43	6.81
	3	MT = 1.09 + 0.08ID	88.67	2.62
	4	MT = 0.23 + 0.12ID	90.09	8.15
	5	MT = 0.82 + 0.27ID	90.61	3.77
	6	MT = 0.65 + 0.26ID	92.76	3.90
	7	MT = 1.17 + 0.09ID	76.97	10.68
	8	MT = 0.49 + 0.46ID	94.98	2.17
	9	MT = 2.20 + 0.55ID	97.17	1.82
	10	MT = 0.82 + 0.18ID	97.98	5.54
	11	MT = 2.81 + 0.09ID	98.33	11.03
	12	MT = 2.90 + 0.15ID	96.64	6.74
	13	MT = 2.20 + 0.11ID	95.07	9.03
	14	MT = 0.76 + 0.47ID	89.16	2.14
	15	MT = 0.32 + 0.30ID	90.73	3.35
	16	MT = 1.72 + 0.25ID	96.55	3.95
	17	MT = 2.70 + 0.30ID	92.72	3.35
	18	MT = 0.21 + 0.27ID	91.15	3.48
	19	MT = 1.25 + 0.15ID	95.28	6.59
	20	MT = 0.98 + 0.22ID	80.60	4.60

ตารางที่ ข.5 (ต่อ) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการทำงานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 20 คน สำหรับการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กลงในรูปแบบงานลาก

ขนาดหน้าจอ แสดงผล	คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
545 MOA (1 : 0.52)	1	MT = 0.54 + 0.20ID	91.33	4.98
	2	MT = 0.62 + 0.11ID	85.97	9.09
	3	MT = 0.28 + 0.15ID	97.17	6.80
	4	MT = 0.56 + 0.40ID	94.93	2.49
	5	MT = 1.00 + 0.21ID	95.05	4.66
	6	MT = 0.58 + 0.24ID	95.22	4.21
	7	MT = 1.45 + 0.14ID	94.71	6.98
	8	MT = 2.37 + 0.34ID	93.83	2.91
	9	MT = 1.85 + 0.57ID	97.88	1.75
	10	MT = 1.38 + 0.17ID	97.88	5.79
	11	MT = 2.46 + 0.15ID	98.48	6.87
	12	MT = 3.30 + 0.15ID	98.62	6.88
	13	MT = 2.44 + 0.11ID	96.28	9.34
	14	MT = 0.20 + 0.45ID	94.08	2.23
	15	MT = 0.87 + 0.26ID	95.49	3.81
	16	MT = 2.87 + 0.37ID	88.02	2.74
	17	MT = 3.22 + 0.22ID	91.95	4.62
	18	MT = 0.22 + 0.29ID	90.82	3.46
	19	MT = 0.98 + 0.17ID	95.76	5.89
	20	MT = 1.00 + 0.21ID	89.36	4.72

ตารางที่ ข.5 (ต่อ) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการทำงานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 20 คน สำหรับการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดเล็กที่มีมุมมองเห็นเล็กน้อยในรูปแบบงานลาก

ขนาดหน้าจอ แสดงผล	คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
245 MOA (1 : 0.32)	1	MT = 0.48 + 0.23ID	93.57	4.29
	2	MT = 0.02 + 0.19ID	93.56	5.15
	3	MT = 0.36 + 0.17ID	97.75	5.82
	4	MT = 0.07 + 0.43ID	97.94	2.31
	5	MT = 0.77 + 0.21ID	95.54	4.80
	6	MT = 0.40 + 0.21ID	94.05	4.72
	7	MT = 0.60 + 0.32ID	91.10	3.16
	8	MT = 0.81 + 0.38ID	92.76	2.67
	9	MT = 0.54 + 0.56ID	99.37	1.78
	10	MT = 1.71 + 0.20ID	98.22	5.01
	11	MT = 3.69 + 0.15ID	94.06	6.85
	12	MT = 0.09 + 0.19ID	93.48	5.33
	13	MT = 2.56 + 0.15ID	97.11	6.90
	14	MT = 2.21 + 0.28ID	95.37	3.59
	15	MT = 2.71 + 0.26ID	96.16	3.78
	16	MT = 3.31 + 0.2ID	96.36	3.74
	17	MT = 2.90 + 0.31ID	94.62	3.22
	18	MT = 1.16 + 0.33ID	89.31	3.07
	19	MT = 1.67 + 0.08ID	97.02	12.80
	20	MT = 1.85 + 0.26ID	92.20	3.79

ตารางที่ ข.6 สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการใช้งานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 20 คน สำหรับการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นในรูปแบบงานลาก

ขนาดหน้าจอแสดงผล	คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
1045 MOA (1:1)	1	MT = 0.67 + 0.22ID	81.90	4.51
	2	MT = 0.24 + 0.14ID	98.78	7.17
	3	MT = 2.25 + 0.14ID	81.18	7.23
	4	MT = 1.11 + 0.06ID	79.46	16.45
	5	MT = 1.31 + 0.22ID	90.92	4.60
	6	MT = 0.47 + 0.17ID	89.04	5.81
	7	MT = 0.07 + 0.14ID	79.99	7.08
	8	MT = 1.96 + 0.19ID	84.94	5.27
	9	MT = 0.78 + 0.19ID	95.03	5.13
	10	MT = 1.24 + 0.21ID	91.02	4.69
	11	MT = 0.38 + 0.26ID	94.82	3.88
	12	MT = 0.47 + 0.15ID	93.32	6.83
	13	MT = 0.60+ 0.20ID	93.81	4.99
	14	MT = 1.22 + 0.15ID	92.27	6.86
	15	MT = 0.85 + 0.15ID	95.69	6.79
	16	MT = 0.70 + 0.08ID	91.68	12.63
	17	MT = 0.47 + 0.13ID	90.47	7.80
	18	MT = 0.54 + 0.14ID	95.82	7.18
	19	MT = 0.58 + 0.26ID	92.00	3.89
	20	MT = 0.33 + 0.13ID	94.20	7.97

ตารางที่ ข.6 (ต่อ) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการทำงานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 20 คน สำหรับการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมการมองเห็นใหญ่ขึ้นในรูปแบบงานลาก

ขนาดหน้าจอแสดงผล	คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
1545 MOA (1:1.48)	1	MT = 0.23 + 0.26ID	89.74	3.89
	2	MT = 0.95 + 0.12ID	91.17	8.03
	3	MT = 1.95 + 0.15ID	89.63	6.81
	4	MT = 0.50 + 0.09ID	90.59	11.40
	5	MT = 1.55 + 0.22ID	93.50	4.58
	6	MT = 0.97 + 0.14ID	89.35	7.00
	7	MT = 0.82 + 0.12ID	92.21	8.31
	8	MT = 0.78 + 0.23ID	94.16	4.26
	9	MT = 0.73 + 0.13ID	92.86	7.71
	10	MT = 0.73 + 0.29ID	94.25	3.48
	11	MT = 0.42 + 0.18ID	89.47	5.54
	12	MT = 0.35 + 0.16ID	97.47	6.33
	13	MT = 0.08 + 0.14ID	95.28	7.12
	14	MT = 0.38 + 0.18ID	94.66	5.59
	15	MT = 1.15 + 0.17ID	97.30	5.99
	16	MT = 0.97 + 0.10ID	96.01	9.56
	17	MT = 0.37 + 0.13ID	90.79	7.87
	18	MT = 0.59 + 0.12ID	91.81	8.52
	19	MT = 1.01 + 0.15ID	92.72	6.88
	20	MT = 0.72 + 0.13ID	95.66	7.53

ตารางที่ ข.6 (ต่อ) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นและค่าสมรรถนะในการทำงานของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 20 คน สำหรับการใช้งานทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลขนาดใหญ่ที่มีมุมมองเห็นใหญ่ขึ้นในรูปแบบงานลาก

ขนาดหน้าจอแสดงผล	คนที่	สมการเส้นตรง	R <sup>2</sup> (%)	IP = $\frac{1}{b}$
2045 MOA (1:1.96)	1	MT = 0.84 + 0.39ID	80.58	2.59
	2	MT = 0.29 + 0.18ID	91.60	5.51
	3	MT = 2.86 + 0.20ID	90.07	5.10
	4	MT = 0.89 + 0.09ID	91.23	11.53
	5	MT = 2.11 + 0.08ID	69.52	13.21
	6	MT = 0.82 + 0.17ID	94.96	5.80
	7	MT = 0.41 + 0.16ID	94.95	6.13
	8	MT = 0.56 + 0.24ID	93.54	4.11
	9	MT = 4.22 + 0.18ID	81.65	5.45
	10	MT = 3.10 + 0.43ID	82.34	2.32
	11	MT = 0.03 + 0.24ID	97.13	4.11
	12	MT = 1.69 + 0.14ID	90.94	7.06
	13	MT = 0.50 + 0.19ID	92.94	5.19
	14	MT = 0.56 + 0.26ID	92.56	3.78
	15	MT = 0.42 + 0.29ID	79.25	3.46
	16	MT = 0.53 + 0.15ID	94.57	6.50
	17	MT = 0.44 + 0.20ID	72.99	4.92
	18	MT = 0.37 + 0.23ID	89.88	4.35
	19	MT = 0.76 + 0.26ID	92.54	3.88
	20	MT = 1.26 + 0.19ID	95.53	5.37





## 1. ผลการวิเคราะห์ส่วนเหลือ (Residual) ของระยะเวลาในการใช้งาน (MT)

เนื่องจากข้อมูลมีคุณสมบัติไม่ตรงตามข้อสมมติ (Assumption) ที่กำหนด จึงได้ทำการแปลงข้อมูลโดยใช้ลอการิทึมธรรมชาติ (Natural logarithm) ในการแปลงค่าให้กับข้อมูลระยะเวลาในการใช้งาน (Movement time) ซึ่งส่วนเหลือของข้อมูลที่แปลงค่าแล้ว จะนำกลับไปตรวจสอบข้อสมมติอีกครั้งพบว่าในทุกๆ การทดสอบเปรียบเทียบ ส่วนเหลือมีการแจกแจงแบบปกติโดยใช้ตัวสถิติ Kolmogorov-Smirnov ส่วนเหลือมีความแปรปรวนคงที่โดยใช้ตัวสถิติ Levene และส่วนเหลือกระจายตัวอย่างอิสระ นั่นคือค่าเฉลี่ยของส่วนเหลือมีค่าเท่ากับ 0 ดังตาราง ค.1-ค.6

### 1.1 ส่วนเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ

ตาราง ค.1 ผลการทดสอบการแจกแจงปกติของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบระยะเวลาในการใช้งานของทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ

**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

		Residual for lnMT tstp	Residual for lnMT tv32	Residual for lnMT tv65
N		4171	11010	8262
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	.0000	.0000	.0000
	Std. Deviation	.29814	.31391	.27352
Most Extreme Differences	Absolute	.060	.030	.038
	Positive	.034	.030	.038
	Negative	-.060	-.024	-.021
Kolmogorov-Smirnov Z		3.865	3.141	3.464
Asymp. Sig. (2-tailed)		.060	.131	.084

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ตาราง ค.2 ผลการทดสอบการแจกแจงปกติของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานของทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residual for lnMT tstp	Residual for lnMT tv32	Residual for lnMT tv65
N		2113	5646	4281
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	.0000	.0000	.0000
	Std. Deviation	.37451	.39145	.33237
Most Extreme Differences	Absolute	.035	.032	.041
	Positive	.035	.019	.041
	Negative	-.022	-.032	-.017
Kolmogorov-Smirnov Z		1.595	2.415	2.710
Asymp. Sig. (2-tailed)		.112	.109	.087

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

#### 1.2 ส่วนเหลือมีความแปรปรวนคงที่

ตาราง ค.3 ผลการทดสอบความแปรปรวนของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานของทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ

#### Test of Homogeneity of Variances

Residual for lnMT tstp

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
68.427	2	4168	.169

Residual for lnMT tv32

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
112.624	3	11006	.091

Residual for lnMT tv65

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.628	2	8259	.364

ตาราง ค.4 ผลการทดสอบความแปรปรวนของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานของทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

#### Test of Homogeneity of Variances

Residual for InMT tstp

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
257.236	2	2110	.058

Residual for InMT tv32

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
41.096	3	5642	.265

Residual for InMT tv65

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
18.385	2	4278	.327

#### 1.3 ส่วนเหลือมีการกระจายตัวอย่างอิสระ

ตาราง ค.5 ผลการทดสอบการกระจายตัวของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานของทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ

#### One-Sample Test

	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Residual for InMT tstp	.000	4170	1.000	.00000	-.0091	.0091
Residual for InMT tv32	.000	11009	1.000	.00000	-.0059	.0059
Residual for InMT tv65	.000	8261	1.000	.00000	-.0059	.0059

ตาราง ค.6 ผลการทดสอบการกระจายตัวของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานของทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

One-Sample Test						
	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Residual for lnMT tstp	.000	2112	1.000	.00000	-.0160	.0160
Residual for lnMT tv32	.000	5645	1.000	.00000	-.0102	.0102
Residual for lnMT tv65	.000	4280	1.000	.00000	-.0100	.0100

## 2. ผลการวิเคราะห์ส่วนเหลือ (Residual) ของสมรรถนะในการทำงาน (IP)

ในทุกๆ การทดสอบเปรียบเทียบค่าสมรรถนะในการทำงานพบว่า ส่วนเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ โดยใช้ตัวสถิติ Kolmogorov-Smirnov ส่วนเหลือมีความแปรปรวนคงที่โดยใช้ตัวสถิติ Levene และส่วนเหลือกระจายตัวอย่างอิสระ นั่นคือค่าเฉลี่ยของส่วนเหลือมีค่าเท่ากับ 0 ดังตาราง ค.7-ค.12

## 2.1 ส่วนเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ

ตาราง ค.7 ผลการทดสอบการแจกแจงปกติของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานของทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ

		Residual for IP tstp	Residual for IP tv32	Residual for IP tv65
N		30	80	60
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	.0000	.0000	.0000
	Std. Deviation	.57038	1.36204	1.59341
Most Extreme Differences	Absolute	.199	.117	.179
	Positive	.199	.117	.179
	Negative	-.129	-.066	-.119
Kolmogorov-Smirnov Z		1.090	1.047	1.390
Asymp. Sig. (2-tailed)		.186	.223	.142

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ตาราง ค.8 ผลการทดสอบการแจกแจงปกติของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานของทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

		Residual for IP tstp	Residual for IP tv32	Residual for IP tv65
N		30	80	60
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	.0000	.0000	.0000
	Std. Deviation	4.88237	2.39148	2.53041
Most Extreme Differences	Absolute	.227	.106	.166
	Positive	.227	.106	.166
	Negative	-.136	-.076	-.093
Kolmogorov-Smirnov Z		1.242	.949	1.285
Asymp. Sig. (2-tailed)		.091	.328	.073

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

## 2.2 ส่วนเหลือมีความแปรปรวนคงที่

ตาราง ค.9 ผลการทดสอบความแปรปรวนของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบสมรรถนะในการทำงานของทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ

### Test of Homogeneity of Variances

Residual for IP tstp

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.352	2	27	.706

Residual for IP tv32

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
8.277	3	76	.052

Residual for IP tv65

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.594	2	57	.212

ตาราง ค.10 ผลการทดสอบความแปรปรวนของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบสมรรถนะในการทำงานของทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

### Test of Homogeneity of Variances

Residual for IP tstp

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.142	2	27	.053

Residual for IP tv32

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.062	3	76	.370

Residual for IP tv65

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.214	2	57	.808

### 2.3 ส่วนเหลือมีการกระจายตัวอย่างอิสระ

ตาราง ค.11 ผลการทดสอบการกระจายตัวของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานของทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานแตะ

One-Sample Test						
	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Residual for IP tstp	.000	29	1.000	.00000	-.2130	.2130
Residual for IP tv32	.000	79	1.000	.00000	-.3031	.3031
Residual for IP tv65	.000	59	1.000	.00000	-.4116	.4116

ตาราง ค.12 ผลการทดสอบการกระจายตัวของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบสมรรถนะในการใช้งานของทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

One-Sample Test						
	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Residual for IP tstp	.000	29	1.000	.00000	-1.8231	1.8231
Residual for IP tv32	.000	79	1.000	.00000	-.5322	.5322
Residual for IP tv65	.000	59	1.000	.00000	-.6537	.6537



### 3. ผลการวิเคราะห์ส่วนเหลือ (Residual) ของจุดตัด

ในทุกๆ การทดสอบเปรียบเทียบค่าจุดตัดพบว่า ส่วนเหลือมีการแจกแจงแบบปกติโดยใช้ตัวสถิติ Kolmogorov-Smirnov ส่วนเหลือมีความแปรปรวนคงที่โดยใช้ตัวสถิติ Levene และส่วนเหลือกระจายตัวอย่างอิสระ นั่นคือค่าเฉลี่ยของส่วนเหลือมีค่าเท่ากับ 0 ดังตาราง ค.13-ค.18

#### 3.1 ส่วนเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ

ตาราง ค.13 ผลการทดสอบการแจกแจงปกติของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบจุดตัดในการใช้งาน ทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานแต่ละ

**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

		Residual for constant tstp	Residual for constant tv32	Residual for constant tv65
N		30	80	60
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	.0000	.0000	.0000
	Std. Deviation	1.06113	.39938	.36484
Most Extreme Differences	Absolute	.126	.104	.141
	Positive	.126	.104	.141
	Negative	-.099	-.086	-.078
Kolmogorov-Smirnov Z		.690	.931	1.095
Asymp. Sig. (2-tailed)		.727	.351	.181

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ตาราง ก.14 ผลการทดสอบการแจกแจงปกติของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบจุดตัดในการใช้งาน  
ทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงาน  
ลาก

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Residual for constant tstp	Residual for constant tv32	Residual for constant tv65
N		30	80	60
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	.0000	.0000	.0000
	Std. Deviation	.67288	1.32586	.88204
Most Extreme Differences	Absolute	.177	.072	.141
	Positive	.177	.072	.141
	Negative	-.155	-.052	-.107
Kolmogorov-Smirnov Z		.970	.643	1.095
Asymp. Sig. (2-tailed)		.304	.802	.182

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

### 3.2 ส่วนเหลือมีความแปรปรวนคงที่

ตาราง ค.15 ผลการทดสอบความแปรปรวนของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบจุดตัดในการใช้งาน  
ทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงาน  
แตะ

#### Test of Homogeneity of Variances

Residual for a tstp

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.063	2	27	.939

Residual for a tv32

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.304	3	76	.084

Residual for a tv65

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.485	2	57	.618

ตาราง ค.16 ผลการทดสอบความแปรปรวนของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบจุดตัดในการใช้งาน  
ทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงาน  
ลาก

#### Test of Homogeneity of Variances

Residual for a tstp

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.636	2	27	.537

Residual for a tv32

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.540	3	76	.656

Residual for a tv65

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.849	2	57	.052

### 3.3 เหลือมีการกระจายตัวอย่างอิสระ

ตาราง ค.17 ผลการทดสอบการกระจายตัวของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบจุดตัดในการใช้งาน  
ทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงาน  
แตะ

#### One-Sample Test

	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Residual for constant tstp	.000	29	1.000	.00000	-.3962	.3962
Residual for constant tv32	.000	79	1.000	.00000	-.0889	.0889
Residual for constant tv65	.000	59	1.000	.00000	-.0942	.0942

ตาราง ค.18 ผลการทดสอบการกระจายตัวของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบจุดตัดในการใช้งาน  
ทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงาน  
ลาก

One-Sample Test						
	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Residual for constant tstp	.000	29	1.000	.00000	-.2513	.2513
Residual for constant tv32	.000	79	1.000	.00000	-.2951	.2951
Residual for constant tv65	.000	59	1.000	.00000	-.2279	.2279

#### 4. ผลการวิเคราะห์ส่วนเหลือ (Residual) ของค่า $R^2$

ในทุกๆ การทดสอบเปรียบเทียบค่า  $R^2$  พบว่า ส่วนเหลือมีการแจกแจงแบบปกติโดยใช้ตัวสถิติ  
Kolmogorov-Smirnov ส่วนเหลือมีความแปรปรวนคงที่โดยใช้ตัวสถิติ Levene และส่วนเหลือ  
กระจายตัวอย่างอิสระ นั่นคือค่าเฉลี่ยของส่วนเหลือมีค่าเท่ากับ 0 ดังตาราง ค.19-ค.25

#### 4.1 ส่วนเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ

ตาราง ค.19 ผลการทดสอบการแจกแจงปกติของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  ในการใช้งาน ทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงาน แต่ะ

		Residual for R2 tstp	Residual for R2 tv32	Residual for R2 tv65
N		30	80	60
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	.0000	.0000	.0000
	Std. Deviation	5.63310	6.60765	6.41479
Most Extreme Differences	Absolute	.105	.061	.105
	Positive	.105	.061	.105
	Negative	-.082	-.045	-.070
Kolmogorov-Smirnov Z		.576	.543	.817
Asymp. Sig. (2-tailed)		.894	.930	.517

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ตาราง ค.20 ผลการทดสอบการแจกแจงปกติของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  ในการใช้งาน ทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงาน ลาก

		Residual for R2 tstp	Residual for R2 tv32	Residual for R2 tv65
N		30	80	60
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	.0000	.0000	.0000
	Std. Deviation	5.00488	4.73770	6.02938
Most Extreme Differences	Absolute	.149	.146	.220
	Positive	.105	.105	.116
	Negative	-.149	-.146	-.220
Kolmogorov-Smirnov Z		.816	1.309	1.707
Asymp. Sig. (2-tailed)		.518	.065	.056

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

#### 4.2 ส่วนเหลือมีความแปรปรวนคงที่

ตาราง ค.21 ผลการทดสอบความแปรปรวนของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  ของการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานแต่ละ

##### Test of Homogeneity of Variances

Residual for R2 tstp

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.352	2	27	.706

Residual for R2 tv32

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.187	3	76	.320

Residual for R2 tv65

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.767	2	57	.469

ตาราง ค.22 ผลการทดสอบความแปรปรวนของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  ของการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงาน

##### Test of Homogeneity of Variances

Residual for R2 tstp

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.996	2	27	.382

Residual for R2 tv32

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.707	3	76	.055

Residual for R2 tv65

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
8.483	2	57	.051

### 4.3 เหลือมีการกระจายตัวอย่างอิสระ

ตาราง ค.23 ผลการทดสอบการกระจายตัวของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  ของการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานแต่ละ

One-Sample Test						
	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Residual for R2 tstp	.000	29	1.000	.00000	-2.1034	2.1034
Residual for R2 tv32	.000	79	1.000	.00000	-1.4705	1.4705
Residual for R2 tv65	.000	59	1.000	.00000	-1.6571	1.6571

ตาราง ค.24 ผลการทดสอบการกระจายตัวของส่วนเหลือในการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  ของการใช้งานทัชสกรีนและทัชแพดร่วมกับจอแสดงผลที่มีขนาดเล็กกลางและจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานลาก

One-Sample Test						
	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Residual for R2 tstp	.000	29	1.000	.00000	-1.8689	1.8689
Residual for R2 tv32	.000	79	1.000	.00000	-1.0543	1.0543
Residual for R2 tv65	.000	59	1.000	.00000	-1.5576	1.5576

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปณยณัฐ ธัญญกุลสัจจา เกิดเมื่อวันที่ 13 สิงหาคม พุทธศักราช 2534 เป็นคนจังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนารีรุฒิจังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาสถิติศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2556 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557





